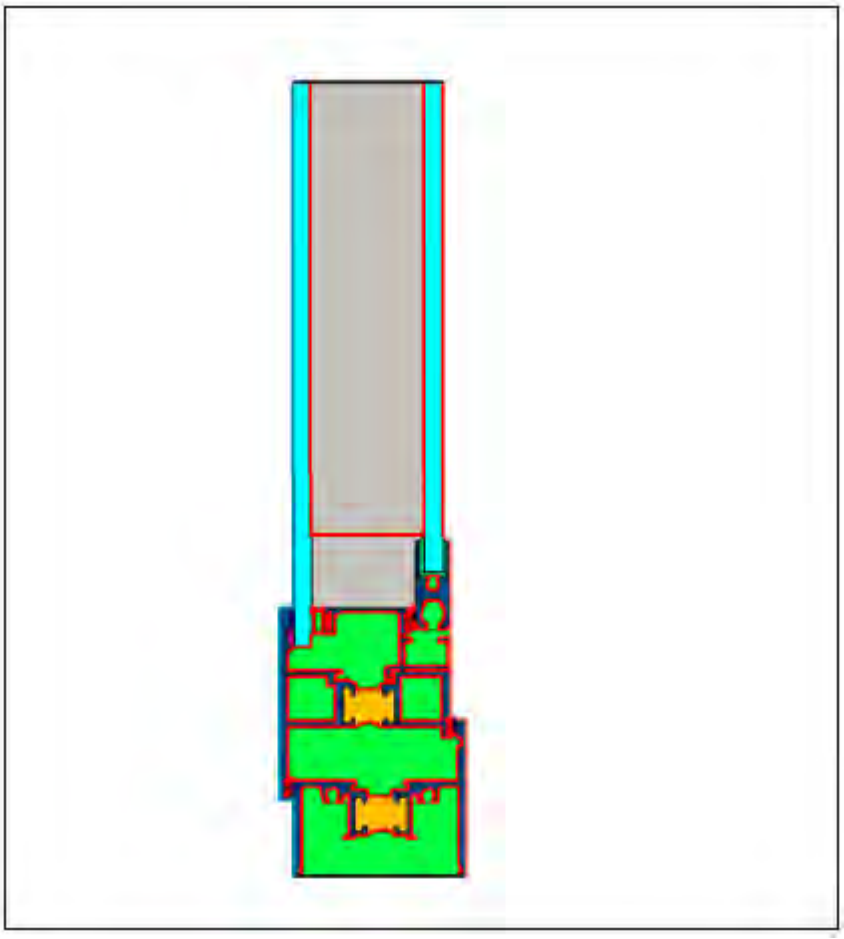
THERM 7 / WINDOW 7

NFRC 热工建模手册



原著者：美国门窗幕墙评级委员会（NFRC）

原著发布日期：2026年10月

译者：周雨祯（暖框科技公司）

The content of this manual was composed in English. There may be unintended discrepancies in translating this content from English and NFRC does not warrant or make guarantees as to the accuracy of this translation. The English version of the document is NFRC's official version. Therefore, if there are any discrepancies or conflicts between this translated version and the English version, the English version will control. The English version is located at our website at https://nfrccommunity.org/page/TD.

本手册的内容是用英文编写的。将英语翻译本手册的内容时可能存在意料之外的偏差，NFRC不直接或间接保证相关翻译的准确性。本手册的英文版是NFRC的正式版本。因此，如果本译文版与英文版本之间存在任何差异或冲突，则应以英文版本为准。英文版位于我们的官网 https://nfrccommunity.org/page/TD。

免责声明

本文件的编写工作受美国政府的资助。尽管本文件包含的信息理应是正确的，但美国政府及其任何机构、加州大学董事会及其任何雇员不对所披露的、明示或暗示的任何信息、设备、产品或工艺的准确性、完整性或适用性做出任何担保，不承担任何法律责任，不声明其使用不侵犯专利权。文中提及的任何特定商品，包括其工艺、商品名称、商标、制造商或服务，并不表示美国政府及其任何机构和加州大学董事会对其的认可、推荐或青睐。文中的所有内容仅代表作者本人的观点和意见，并不一定代表美国政府及其任何机构、加州大学和明尼苏达大学董事会的立场。

本手册派生于劳伦斯伯克利国家实验室的一名作者的原著手册，最初的手册是在伯克利实验室与美国能源部的合同（编号：DE-AC02-05CH11231）下完成的。美国政府保留，且出版商通过接受文章的出版，承认美国政府保留其非独家的、有偿的、不可撤销的、在全球范围内进行或许允许他人进行出版或复制本手册和原始手册的版权许可。

本手册的先前版本（直到6.3版）得到了美国能源部（DOE）能效及可再生能源助理秘书处、建筑技术办公室、建筑技术项目的支持，合同编号：DE-AC03-76SF00098。最初的热工建模手册得到了美国能源部能效及可再生能源助理秘书处、建筑技术办公室、州和社区项目的支持，合同编号：DE-AC02-05CH11231。

此后的版本，包括当前版本的编写，由 NFRC 的成员和工作人员完成。

NFRC 拥有《THERM 7/ WINDOW 7 NFRC 热工建模手册》的所有版权的许可证，同时也拥有使用、修改和创建本手册衍生作品版权的许可证。NFRC 保留此类衍生作品的版权。

本手册的内容首先是用英文编写的，今后可能被翻译成其它语言。本手册的英文版是NFRC的官方版本，若翻译版与英文版之间存在任何差异或冲突，应以英文版本为准。

THERM 7 / WINDOW 7 NFRC 热工建模手册

NFRC 发布日期：2015年5月，2016年1月，2016年7月，2017年7月，2020年9月，2021年2月，2022年10月，2023年3月，2024年7月，2026年1月，2026年10月

NFRC 热工建模手册中文版 发布日期：2022年10月，2026年10月

最初的热工建模手册：《THERM 6.3 / WINDOW 6.3 NFRC 热工建模手册》，原著发布日期：2011年1月，2013年6月，2013年7月，2014年1月

目录

1. 前言 12
1.1. 总述 12

2. 门窗幕墙产品 13
2.1. 概述 13
2.2. 门窗幕墙产品的开启方式 13
2.2.1. 铰链窗（转轴窗） 14
2.2.2. 平移窗 14
2.2.3. 平移玻璃门 14
2.2.4. 法式门和折叠玻璃门 14
2.2.5. 采光顶和屋面天窗 14
2.3 基本门窗幕墙类型的性能影响 15
2.3.1. 铰链窗 15
2.3.2. 平移窗 15
2.3.3. 平移玻璃门和法式门 15
2.4. 框架材料 16
2.4.1. 实木框架 16
2.4.2. 金属框架 16
2.4.3. 乙烯基框架 17
2.4.4. 玻璃纤维和热塑性工程塑料 17
2.4.5. 复合木制品 17
2.4.5. 复合式框架 17
2.5 基础的透明材料 17
2.5.1. 玻璃 18
2.5.2. 塑料 18
2.6. 提升透明产品的能效 19
2.6.1. 着色玻璃 19
2.6.2. 反射涂层和薄膜 20
2.6.3. 双层玻璃 20
2.6.4. 双层玻璃的涂层和颜色 20
2.6.5. 多层玻璃之间的空腔厚度 21
2.6.6. 窗格（Divided Lights） 21
2.6.7. 特殊产品 22
2.6.8. 多层面板或薄膜 22
2.6.9. 低辐射（Low-e）涂层 22
2.6.9.1. 涂层位置 24

2.6.9.2. 涂层类型 24
2.6.10. 中空层气体 25
2.7. 热改进的间隔条....25

3. 门窗幕墙传热的基础知识....27
3.1. 概述....27
3.2. 能量流动机制 27
3.3. 温差传热....28
3.3.1. 热传导....29
3.3.2. 热对流....29
3.3.3. 热辐射....30
3.3.4. U 值....30
3.3.4.1. 整体产品的 U 值 31
3.3.4.2. 玻璃（中心）U 值....31
3.3.4.3. 边缘传热效应....31
3.3.4.4. 框架和窗扇框....31
3.3.4.5. 整体 U 值 31
3.4. 太阳得热和可见光透射比 32
3.4.1. 确定太阳得热....32
3.4.2. 太阳得热系数（SHGC） 33
3.4.3. 可见光透射比....33
3.5. 抗结露 34
3.5.1. 玻璃类型和间隔条对结露的影响....34
3.5.2. 抗结露值....35
3.5.3. 室外结露....35
3.5.4. 玻璃之间结露....35
3.6. 空气渗透....36
3.7. 透明材料的太阳能特性....36
3.7.1. 透射比....37
3.7.2. 反射比....38
3.7.3. 吸收比....38
3.8. 玻璃的红外特性（发射率） 38

4. 算法概要 40
4.1. THERM 和 伯克利实验室的 WINDOW 的算法....40
4.1.1. WINDOW 程序 40
4.1.2. THERM 程序 40
4.2. WINDOW 的算法 41
4.3. THERM 的算法 42

4.4. 整体产品的计算 44
4.4.1. 传热系数（U 值） 44
4.4.2. 太阳得热系数（SHGC） 45
4.4.3. 可见光透射比（VT） 46
4.4.4. 抗结露（CR） 46

5. 使用 WINDOW 建模玻璃中心 49
5.1. 概述 49
5.2. 玻璃库 52
5.2.1. 从 IGDB 更新玻璃库 54
5.3. 遮阳层库与遮阳材料库 54
5.3.1. 从 CGDB 更新和/或添加遮阳层与遮阳材料 54
5.4. 玻璃系统库——玻璃中心 U 值 58
5.4.1. 环境条件库 61
5.4.2. 涂层 63
5.4.3. 空腔气体库 64
5.4.4. 夹层玻璃和应用膜 64
5.5. 太阳得热系数和可见光透射比 65

6. 使用 THERM 建模计算框架和玻璃边缘的传热 66
6.1. 概述 66
6.2. 截面建模 66
6.3. 绘制截面 69
6.3.1. 图纸和 DXF 文件的准备 69
6.3.2. 在文件属性选择合适的截面类型 69
6.3.3. 截面朝向 70
6.3.4. 不建模的组件 72
6.3.5. 外形可变的部件 73
6.3.6. 框架空腔 73
6.3.6.1. 封闭空腔 73
6.3.6.2. 微通风空腔 81
6.3.7. 因测试需要而形成的封闭空腔 85
6.3.8. 斜面和曲面的建模 87
6.3.9. 斜窗台的建模 87
6.3.10. 用 THERM 模拟超薄材料 89
6.4. 导入玻璃系统 90
6.4.1. 概述 90
6.4.2. 插入玻璃系统 91
6.4.3. 一次计算多个玻璃系统 92

6.4.4. Link（链接）玻璃空腔 94
6.4.5. 抗结露 97
6.5. 定义边界条件 101
6.5.1. 概述 101
6.5.2. 分配边界条件和 U 值标签 105
6.5.3. 空洞、重合的多边形和坏点 110
6.6. 计算结果 111
6.6.1. 划分网格 111
6.6.2. 误差估算 112
6.6.3. NFRC 认证建模所需的设置 112
6.6.4. 计算 114
6.6.5. 计算结果 116
6.6.6. 自定义的框架长度 117
6.6.7. 将 THERM 的结果导入 WINDOW 118

7. 使用 WINDOW 计算整体产品 120
7.1. 概述 120
7.2. 从 THERM 获得框架和玻璃边缘 U 值 120
7.3. 从 WINDOW 获得玻璃中心 U 值 121
7.4. 计算整体产品的 U 值、SHGC、VT 和 CR 123
7.4.1. 单一产品的 SHGC 和 VT（SHGC 0 & 1, VT 0 & 1） 125
7.4.2. 视线分组的方法 127
7.4.3. 带窗格的产品整体 U 值 128
7.5. 项目数据库 129

8. 特殊案例 132
8.1. 概述 132
8.2. 中框 133
8.2.1. 中框的建模 133
8.2.2. 计算中框 U 值 的步骤 134
8.2.3. 计算中框抗结露值的步骤 139
8.3. 窗格 141
8.3.1. 内部窗格 141
8.3.1.1. 建模的步骤 141
8.3.1.2. 空气填充的玻璃系统 142
8.3.1.3. 混合气体填充的玻璃系统 149
8.3.2. 仿窗格（外部窗格） 153
8.3.3. 真窗格 162
8.3.4. 门格条 170

8.4. 防风暴窗 175
8.4.1. 建模的步骤 175
8.4.2. 防风暴窗的建模范例 178
8.4.2.1. 在 WINDOW 中创建玻璃系统 178
8.4.2.2. 在 THERM 中计算 U 值 179
8.4.3. 防风暴窗的中框 183
8.4.4. 防风暴窗的抗结露计算步骤 184
8.4.5. 在 WINDOW 中计算整体产品 186
8.5. 天窗和斜玻璃幕墙系统 187
8.5.1. 建模的步骤 187
8.5.2. 天窗的安装细节 189
8.5.3. 嵌入式安装天窗的建模范例 190
8.6. 门 199
8.7. 间隔条 201
8.7.1. 概述 201
8.7.2. 将开口间隔条的空腔链接到玻璃系统的空腔 202
8.7.3. 间隔条系统内的封闭空气腔 203
8.8. 非通长的热桥组件 205
8.8.1. 建模的步骤 205
8.8.2. 计算公式 206
8.8.3. 算例 1：玻璃幕墙的螺栓 208
8.8.4. 算例 2：局部开槽的截面 212
8.8.5. 算例 3：非完全断热的截面 214
8.9. 现场施工的门窗幕墙产品（幕墙、窗墙、斜幕墙） 216
8.9.1. 幕墙、窗墙和斜幕墙 216
8.9.2. 幕墙的建模步骤 218
8.10. 车库门和卷帘门 226
8.10.1. 分段式车库门（保温的和非保温的） 226
8.10.1.1. Top Rail（顶轨）模型 227
8.10.1.2. Bottom Rail（底轨）模型 228
8.10.1.3. End Stile（立轨）模型 229
8.10.1.4. Meeting Rail（中框）和 Door Panel Core（门板芯）模型 230
8.10.1.5. Edge-of-Lite（门玻璃边缘）模型 231
8.10.2. 卷帘门 232
8.10.2.1. Top Rail（顶轨）模型 232
8.10.2.2. Bottom Rail（底轨）模型 233
8.10.2.3. End Stile（立轨）模型 234
8.10.2.4. Door Panel Core（门板芯）模型 235
8.11. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的夹层玻璃 236

8.11.1. 概述 236
8.11.2. 夹层玻璃中间层的数据 237
8.11.3. 使用 OPTICS 构建夹层玻璃 238
8.11.3.1. 新建一个夹层玻璃....238
8.11.3.2. 波长集....238
8.11.3.3. 在夹层玻璃中添加层 238
8.11.3.4. 在夹层玻璃中添加玻璃 239
8.11.3.5. 添加中间层 240
8.11.3.6. 在夹层玻璃中翻转层 240
8.11.3.7. 查看夹层玻璃的属性 241
8.11.3.8. 替换夹层玻璃中的一个层....242
8.11.3.9. 删除夹层玻璃中的一个层....242
8.11.3.10. 保存一个夹层玻璃....242
8.11.3.11. 编辑一个夹层玻璃....242
8.11.3.12. 夹层玻璃的计算警告 243
8.11.3.13. 查看夹层玻璃的计算警告....243
8.11.3.14. 将夹层玻璃保存到用户数据库，以便导入 WINDOW....243
8.11.3.15. 将 OPTICS 用户数据库中的夹层玻璃导入 WINDOW 247
8.12. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的应用膜.... 249
8.12.1. 概述 249
8.12.2. 膜的数据 249
8.12.2.1. IGDB 对于应用膜的提交要求 250
8.12.3. ANSI / NFRC 200 中的计算方法: 251
8.12.4. 在 OPTICS 中创建带应用膜的玻璃....251
8.12.4.1. 为无涂层的玻璃添加应用膜 251
8.12.4.2. 为有涂层的玻璃添加应用膜 256
8.12.4.3. 为夹层玻璃添加应用膜 256
8.12.4.4. 改变一个膜 256
8.12.4.5. 将带应用膜的玻璃层保存到用户数据库 257
8.12.4.6. 带应用膜的玻璃层的重命名 257
8.13. 带框架的中间片玻璃 258
8.13.1. 概述 258
8.13.2. THERM 建模细节 259
8.14. 遮阳系统的建模概述 260
8.14.1. WINDOW 的 Preferences 设置....261
8.14.2. 遮阳系统的状态 262
8.14.3. 建模规则和定义 262
8.14.4 用遮阳系统建模玻璃系统....263
8.15. 本章节特意留白.... 280

8.16. 玻璃内置百叶（整体式） 281
8.16.1. 全开的玻璃内置百叶 281
8.16.1.1. 可伸缩的玻璃内置百叶 282
8.16.1.2. 不可伸缩式玻璃内置百叶 287
8.16.2. 全闭的玻璃内置百叶 301
8.17. 室外编织遮阳帘 306
8.17.1. 全开的编织遮阳帘 306
8.17.1.1. 带可伸缩式编织遮阳帘的双层玻璃系统 307
8.17.2. 全闭的编织遮阳帘 310
8.18. 漫射玻璃 318
8.18.1. 漫射玻璃层的举例说明 318
8.18.2. 漫射中间层 319
8.18.3. 漫射应用膜 319
8.18.4. 建模的步骤 319
8.19. 环境控制的动态玻璃 323
8.20. 真空玻璃（VIG） 330
8.20.1. 创建真空空腔 330
8.20.2. 创建真空玻璃单元 333
8.20.3. 将真空玻璃导入 THERM 334
8.20.4. 模拟复合真空玻璃 335
8.21. 层间板系统 337
8.21.1. 创建层间板系统的中心（COG） 337
8.21.2. 用 THERM 模拟层间板系统 342
8.22. 中悬门窗 348
8.23. 圆顶天窗、玻璃砖、U 形玻璃、特种玻璃 349

9. 问题示例 352
9.1. 概述 352
9.2. 问题 1：乙烯基固定窗 353
9.2.1. 产品描述 353
9.2.2. 玻璃选项集 353
9.2.3. 玻璃中心 U 值 的建模（WINDOW） 354
9.2.4. 框架和玻璃边缘 U 值 的建模（THERM） 355
9.2.5. 整体产品的 U 值 计算 360
9.2.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和 V T 362
9.2.7. 乙烯基固定窗的图纸 365
9.3. 问题 2：铝合金推拉窗 367
9.3.1. 产品描述 367
9.3.2. 玻璃选项集 368

9.3.3. 玻璃中心 U 值 的建模（WINDOW） 368
9.3.4. 框架和玻璃边缘 U 值 的建模（THERM） 369
9.3.5. 整体产品的 U 值 计算 378
9.3.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和 VT 379
9.3.7. 铝合金推拉窗的图纸 382
9.4. 问题 3：嵌入式天窗 387
9.4.1. 产品描述 387
9.4.2. 玻璃选项集 387
9.4.3. 玻璃中心 U 值 的建模（WINDOW） 388
9.4.4. 框架和玻璃边缘 U 值 的建模（THERM） 389
9.4.5. 整体产品的 U 值计算 393
9.4.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和 VT 394
9.4.7. 天窗的图纸 397
9.5. 问题 4：实木平开门 398
9.5.1. 产品描述 398
9.5.2. 玻璃选项集 398
9.5.3. 玻璃中心 U 值 的建模（WINDOW） 399
9.5.4. 框架和玻璃边缘 U 值 的建模（THERM） 400
9.5.5. 整体产品 U 值、SHGC 和 VT 的计算 414
9.5.6. 实木平开门的图纸 414

10. 鸣谢 423

附录 A. 《ISO 15099》在 《ANSI / NFRC 100》和《ANSI / NFRC 200》中的应用 424

附录 B. 参考文献 426

1. 前言

1.1. 总述

本文件，即《THERM 7 / WINDOW 7 NFRC 热工建模手册》，主要介绍如何使用 THERM 7 和伯克利实验室的 WINDOW 7 为产品提供 NFRC 认可的热工建模，并假设用户已经熟悉这两个程序的操作。如果用户想要学习如何使用 THERM 和 WINDOW 程序，则有必要掌握《THERM 用户手册》和《WINDOW 用户手册》中的相关内容。

本手册介绍了：根据 NFRC 标准文件中的相关规定，产品在认证建模过程中允许使用的建模方法。虽然 THERM 7 和 WINDOW 7 还具备一些 NFRC 文件中未提及的建模功能，但那些功能是不能用于 NFRC 产品认证建模的。

一般情况下，本手册更多地引用而非重复《THERM / WINDOW 用户手册》中的内容。

如果《THERM / WINDOW 用户手册》与《THERM 7 / WINDOW 7 NFRC 热工建模手册》之间存在矛盾，则应以《THERM 7 / WINDOW 7 NFRC 热工建模手册》的内容为准。

当本手册与任何 NFRC 标准冲突时，应以 NFRC 标准为准。例如，如果发现本手册中的示例不符合 NFRC 当前的边部密封和测试标准，则应以 NFRC 标准而非该示例为准。NFRC 将定期发布技术解释，就使用 THERM 和伯克利实验室的 WINDOW 为产品提供热工建模事宜，进行澄清或提供建模的技术、规则和步骤。所有技术解释都可以通过 NFRC 的官网查阅。

2. 门窗幕墙产品

2.1. 概述

本章节的大部分内容摘自《住宅视窗：新技术和能效指南》一书，作者是：John Carmody, Stephen Selkowitz，Lisa Heschong。

虽然，包括玻璃在内的透明材料是目前门窗幕墙行业诸多创新和改进的重点，但要知道，任何门窗幕墙总体性能是各个产品组件共同作用的结果。除玻璃外，影响性能的组件还包含产品中固定和可开启部位的框架、相关五金和配件等。本章的开头将以图例方式介绍可供选择的产品同开启方式，后面几个小节将介绍旨在提高产品能效的框架和透明材料的最新发展。适当的现场安装也是保证性能的一个重要方面，本章的最后一节将介绍安装方面的内容。

2.2. 门窗幕墙产品的开启方式

门窗幕墙产品有多种开启方式（图2-1）。传统的开启方式包括铰链式或转轴式（例如平开、上悬和下悬），以及平移式（例如单悬提拉、双悬提拉和水平推拉）。此外，目前的市面上还提供包括防风暴窗、平移门和落地玻璃门、采光顶和屋面天窗，以及可以增筑到既有房屋上的凸窗、弓形窗、小型温室或阳光房等系统。



图 2-1：门窗幕墙产品的开启方式

2.2.1. 铰链窗（转轴窗）

铰链窗（或称“转轴窗”）包括平开、上悬和下悬三种形式——分别在侧面、顶部和底部设有铰链或转轴。为使外表面更容易清洁，一些制造商还推出中悬式和组合式的窗户。铰链窗，特别是平开窗，相比同等大小的平移窗，有着明显更好的通风效果。外平开窗打开后，由于窗扇是突出墙面的，因此可以通过调整开启幅度控制“捕风”量，但它的纱窗必须安装在室内。平开窗几乎可以整个打开，而平移窗的开窗面积只有整窗的一半不到。

2.2.2. 平移窗

平移窗是最常见的窗型，包括单悬提拉、双悬提拉和水平推拉三种形式，它们的通风面积是可变的，小到一条缝隙，大到接近整窗的一半，平移窗的纱窗可以安装在室内，也可以安装在室外。

在双悬提拉或双推拉窗中，两个窗扇都可以滑动。在双平移窗中，通风面积虽与单平移窗相同，但却可以将通风口设置在窗的顶部、底部或两端，以便更好地控制气流。

2.2.3. 平移玻璃门

平移玻璃门（阳台门）本质上是大号的平移窗。由于玻璃的尺寸极大，平移玻璃门放大了所有与舒适性和能效有关的问题——由于整个门的玻璃面积占比非常高，选择高性能玻璃可以带来显著的好处。

2.2.4. 法式门和折叠玻璃门

法式门（或称“落地玻璃门”）和折叠玻璃门越来越受欢迎。常规的双法式门由两个铰链门组成，没有中立柱，从而形成一个 1.5 ~ 1.8 米宽的敞口。折叠门通常是由成对的铰链门组成的，这样的一樘带两对铰链门的双折叠门就能创造出一个 3.7 米或更宽的敞口。

2.2.5. 采光顶和屋面天窗

采光顶通常安装在平坦或斜屋面的台座上，它们中的绝大多数是永久固定的，但有些也能开启。可开启式的采光顶带有一个加长的手摇曲柄和推杆锁，遥控电动开启也越来越常见。有些采光顶有一个圆顶轮廓，面层是一层或两层着色或半透明的塑料膜。

屋面天窗是一种介于采光顶和标准窗之间的复合产品。随着房主和设计师不断寻求通过在斜屋面下建造宜居客房来更好地利用空间，天窗变得越来越受欢迎，它们的面板使用玻璃而非塑料，并与标准窗相似，有多种可选的玻璃和遮阳产品。天窗可选择固定或可开启的，后者可选择手动或电动开启方式。此外，一些制造商还提供特殊的通风机制，可以在不开窗的情况下让空气流通，借助热空气自然上升的原理，利用可开启天窗或通风口有效地排出这些上升到天花板的热气。

采光顶和屋面天窗四周的保温构造比较特殊，因为它们通常被嵌入到房屋中保温最厚、框架最密集的部位，而且还必须满足更严格的防水要求。为了在天窗周围形成良好的排水效果，天窗通常安装在屋面上方的“台座”上，这些高于屋面 15 ~ 30 cm 的台座，形成额外的散热面，而且恰恰就在整个房屋中暖气的聚集处。理想情况下，台座的保温性能应与屋面相近；但实际上，它们的热阻（R值）通常很难达到或

高于 R-11，相当于传热系数（U值）0.51 W/(m² • K)。有些制造商提供由刚性保温泡沫预制的台座，并能在现场进一步增强保温性能。

安装在斜屋面上的天窗，通常包括金属披水系统。如果系统中的金属披水板与金属窗框接触，便会形成热桥。因此，与隔热断桥铝窗一样，应注意避免隔断室外的金属披水与室内热侧的金属窗框直接接触。

2.3 基本门窗幕墙类型的性能影响

固定和可开启的门窗幕墙产品之间有着微妙的性能差异。固定产品通常比同类的可开启产品有更小比例的框架和更高比例的玻璃，因此，采用高性能玻璃的固定产品具有更低（更好）的传热系数（U值），但由于框架面积较小，玻璃面积较大，太阳得热系数（SHGC）反而更高。固定产品空气渗透率很低，但它们无法提供自然通风，也不满足建筑规范的火灾逃生和疏散要求。

对于可开启产品，开启方式对整体的 U值 和 SHGC 的直接影响不大，但在空气渗透和通风性能方面有显著影响。开启方式有两种基本类型：铰链产品和平移产品。下面即将介绍的，是美国市场上常见的一些门窗幕墙产品，但特定制造商的特定产品可能另有不同。

2.3.1. 铰链窗

铰链窗（如平开、上悬、下悬）通常比同一制造商的平移窗（提拉、推拉）具有更低的空气渗透，因为铰链窗的关闭是通过扇框与框架的压紧实现的，两者之间可以使用更有效的挤压式密封胶条。在大多数情况中，窗扇从外侧关闭，因此室外的正风压往往会使窗扇关闭得更严实。铰链窗需要一个坚固的框架来支撑窗扇。在打开状态，突出的窗扇必须能抵抗风力，确保其不会轻易弯曲变形。此外，铰链窗应包含锁具，从而通过最大程度地压缩密封胶条使窗扇关紧。铰链窗的这些设计细节使得其比平移窗有更低的空气渗透。

2.3.2. 平移窗

平移窗（无论是单悬提拉、双悬提拉还是水平推拉）通常比铰链窗具有更高的空气渗透率。平移窗通常使用毛刷密封条，从而允许窗扇滑过。这种类型的密封条通常不如铰链窗中的挤压式密封胶条有效。由于窗扇反复平移运动造成磨损，毛刷密封条的有效性也随着时间的推移而降低。由于平移窗的框架和窗扇框只需要支撑自重，它们可以用更轻、截面更小的材料制成，然而，这种轻、小可能使得平移窗的框架弯曲，从而造成在大风条件下更高的空气渗透。制造商可以选择通过设计和材料选择来提高产品的刚度。

当然，为了提高平移窗的气密性，也可以通过将窗扇压紧到固定框架实现，例如，可以在双悬提拉窗的顶、底横梁，或者在推拉窗的固定边框上增设挤压式密封条。

2.3.3. 平移玻璃门和法式门

如前所述，平移门本质上是大号的推拉窗。然而，由于平移门的尺寸和重量都更大，底横梁还兼具门槛功能——既要有良好的通过性，而且要防水，因此它们更为复杂，事实上，门槛通常是所有门框中最难处理的。

法式门（或落地玻璃门）相比平移门，更接近传统的门。法式门可以使用与非透明门类似的密封条和五金件。然而，这些具有更宽敞口的折叠门是由多扇铰链门组合而成的，缺少抵抗正风压的刚度，因此门扇之间的接缝很难保证理想的密封性。

2.4. 框架材料

框架材料的选择，包括框架的壁厚、重量和耐久性，决定了门窗幕墙产品的物理特性，同时，它也对整体产品的热工性能也有主导性影响。越来越多的制造商正在生产混合或复合框架，通过多种材料的组合，满足所需的整体性能要求，因此，单凭肉眼检查框架的内外表面，无法准确评价该框架的性能。由于框架面积通常占整个门窗幕墙产品的 10% ~ 30%，框架性能将很大程度地影响整体产品的性能。

2.4.1. 实木框架

实木产品种类丰富，从平移窗到铰链窗。长久以来，实木产品的外观及其在房屋设计中的传统地位使其在住宅应用中广受喜爱。

实木产品的一个变体是用乙烯基或铝材包覆框架的室外表面，形成永久的耐候饰面，这样做的好处是可以降低外框的维护成本，同时保留了室内实木饰面的吸引力。

从热工角度看，采用实木框架的产品性能良好。实木框架越厚，它的保温性能越好，实木产品的热损失率通常都很低。不过，金属饰面、金属五金件或者转角部位的金属加强件都会降低实木框架的热工性能，如果有金属组件直接从冷侧延伸到热侧，那它会导致“热短路”，即热量迅速地通过该组件进行传导。

2.4.2. 金属框架

作为门窗幕墙产品的框架材料，金属（如铝合金或钢）的最大缺点是其高热导性，它容易进行加热，使门窗幕墙产品的整体 U值 大幅增高。由于金属框架的导热系数很高，与其它框架材料一样，金属框的热阻更多地取决于框架的表面积，而不是厚度或投影面积。因此，截面简单、紧凑的金属框远比凹凹凸凸的好得多。

在寒冷气候下，当门窗幕墙产品使用保温性能较差的金属框时，室内部分很容易产生比热损失更严重的问题——结露甚至结霜，而正是结露问题刺激了节能金属框的快速发展。

最常见的解决金属框热传导的方法是“断热”，即将框架组件拆分为室内和室外两部分，并使用导热系数更低的材料将它们重新连接起来。断热金属框的设计方式有很多，例如在铝合金门窗产品中应用最普遍的技术被称为“浇注式断热”。首先，铝框被挤压成中间带有一个空心槽的整体；接着，在空心槽中填充聚合物，等它固化成高强度的中间体；然后，将聚合物中间体两侧的铝材铣掉，只留下塑料中间体及其两端的铝片。从功能角度看，经过上述处理的铝框仍然是一个整体，但从热工角度看，聚合物中间体大大减缓了内外侧金属之间的热流速度。当然，实现“断热”还有其它制造技术（如，聚合物穿条等），但它们总体的热工性能相差不大。

2.4.3. 乙烯基框架

在北美，塑料用作门窗产品框架材料的历史是相对较新的。乙烯基，也被称为聚乙烯氯化物（PVC），是一种多功能材料，具有良好的保温性能。

PVC 框架的热工性能大致可与实木相媲美。为避免框内大的空腔使空气对流造成热损失，可以在框内将空腔分隔成若干个较小的空腔，添加隔热材料也能起到同样的作用。如今，有一大批制造商正在针对如何提升 PVC 门窗产品的保温性能而积极研发。

2.4.4. 玻璃纤维和热塑性工程塑料

除乙烯基门窗产品外，还有两种基于聚合物的技术都已问世，它们是玻璃纤维和热塑性工程塑料。这种框架的主要成分是玻璃纤维增强聚酯或玻璃纤维，通过拉挤成型，再加工组装成门窗产品。这些框架具有良好的尺寸稳定性，通过在框架内部制造多个空腔（类似于 PVC 窗框），实现良好的保温性能。

2.4.5. 复合木制品

复合木制品对绝大多数人来讲并不陌生，就像刨花板和层压木板，其中的木材颗粒和树脂被压缩形成一种强度更高的复合材料。木质门窗行业现在更进一步，创造出新一代的实木/聚合物复合材料，使其能被挤压成所需的窗框样式。同时，这些复合材料又是稳定的，不但具有与传统实木相同或更好的结构和热工性能，而且它们的防潮性和耐腐性还更好。复合木还可以像真的实木一样进行纹理装饰、着色或油漆。它们最初只被用于关键部位，如平移门的底横梁和门槛，但现在正被用于整个门窗产品。复合木可以重复利用原本只能被丢弃的大量锯末和实木废料，这使得它们在环保方面别具优势。

2.4.5. 复合式框架

制造商正越来越多地转向复合式框架设计，这些设计使用上述两种或两种以上的框架材料来生产完整的门窗幕墙产品系统。长期以来，木质门窗行业使用 PVC 或铝饰面来包覆室外框表面，以减少对外框的维护需求；PVC 和其他制造商则提供室内木贴面，以满足大多数房主对实木的喜好。分离式的窗框设计将室内的实木组件与室外的玻纤组件结合在一起。

2.5 基础的透明材料

门窗幕墙产品的透明部位常用两种基础材料：玻璃和塑料，前者是迄今为止最常见的材料，后者则有很多特定应用场景。

2.5.1. 玻璃

传统的门窗幕墙产品是由透明玻璃制成的。如今，大多数住宅用的透明玻璃都是通过浮法技术生产的。生产时，玻璃在熔融的锡床上就像“漂浮”起来了一样，这使得玻璃表面极其平坦，厚度均匀，并很少有视觉失真。由于含有少量铁杂质，玻璃呈现轻微的绿色，但通常不是很明显，除非从玻璃侧边进行观察。此外，还有一种被称作“超白玻璃”的更高质量的玻璃，，它的含铁量很低，可以消除绿色，也提供了更高的太阳能总透射比。

防窥玻璃，为了保护隐私而遮挡了视线，但绝大多数光仍能透过。这种效果通常通过装饰性的浮雕图案或磨砂表面的漫反射来实现。

通过在玻璃中加入各种化学物质，可以生产出多种颜色的玻璃。玻璃颜色通常以商号命名，但最常用的颜色通常可以描述为透明、青铜、灰色和蓝绿色。在透明玻璃之后，灰色玻璃最常用于住宅建筑，因为它们对感知到的光线颜色的影响最小。着色玻璃在本章的稍后介绍。

玻璃的机械性能、基本组成和表面特性都可以改变。热增强（半钢化）和全钢化处理可提高玻璃强度。半钢化玻璃的强度大约是普通玻璃的两倍。全钢化的生产方式是将玻璃重新加热至接近软化，然后快速冷却。全钢化玻璃破碎后，会分解成小碎片，而非长而危险的尖锐碎片。夹层玻璃是内外两层玻璃，中间夹持塑料层的三明治结构。夹层玻璃破碎后，玻璃碎片会留在中间层上。根据建筑规范，许多门窗幕墙产品在应用时，必须使用全钢化或夹层玻璃。

2.5.2. 塑料

已经过改良，一些塑料材料已经可以被当作透明材料使用，它们主要用于有特殊要求的门窗幕墙产品和采光顶。

下面列举了塑料透明材料的主要类型，并对其总体特性做了比较：

- 透明亚克力（Acrylic）：供应广泛，价格相对便宜，能提供各种着色和本体颜色，具有出色的可见光透射比和寿命。缺点是比玻璃柔软，易刮伤。
- 磨砂亚克力：与透明亚克力相似，只是它散射光线，遮挡视线，可提供不同的可见光透射比。大多数气泡天窗是由磨砂亚克力制成的。
- 透明聚碳酸酯（Polycarbonate，PC）：就像板状的亚克力，但它更硬更坚固，不易刮伤和破损，价格比亚克力高。
- 玻璃纤维增强塑料（Fiber-reinforced plastic, FRP）：一种坚韧、半透明、柔性的薄板材料，具有良好的透光性，通过将短玻纤嵌入聚合物基质中，形成扁平或带肋的板材，再将两层材料粘结到金属框架，并加入玻璃纤维保温材料，硬质、保温的、半透明的面板便形成了。FRP 也能做成波纹板，当作半透明的屋面材料，但表面侵蚀可能缩短其使用寿命。
- 挤塑多孔板（Extruded multicell sheet）：通常由亚克力或聚碳酸酯制成，是一种透明或着色的塑料，可以挤塑出双壁或三壁板，包含分隔腹板，用于提高强度、保温和散射光线。
- 聚酯（Polyester，PE）：一种高透的薄膜。聚酯薄膜可将两层玻璃之间的空腔分隔成多个空间，由于受到内外两层玻璃的保护，可免受擦碰和环境影响。它还能被加工成着色或携带涂层的薄膜，粘在需要节能改造的门窗幕墙产品的玻璃室内表面。

2.6. 提升透明产品的能效

提升透明产品的能效有三种基本方案：

1. 改变透明材料自身的化学成分或物理特性，如着色的透明材料，或者将透明材料制成夹层结构等。
2. 透明材料的表面设置涂层。在过去，人们使用反射涂层和贴膜减少太阳得热和眩光；而如今，低辐射和具有光谱选择性的涂层得到快速发展，用于提高门窗幕墙在冬季制热和夏季制冷时的节能表现。
3. 将两层或更多层的透明材料进行组合，并选择不同的气体填充空腔。例如，使用两层或两层以上的玻璃或薄膜，在两层材料之间的空腔内填充低导热系数的惰性气体，使用热改进的间隔条等。

为进一步提升能效，还上可将上述基本方案组合使用，下面将以玻璃材料为例，逐一介绍透明产品的能效提升方案：

2.6.1. 着色玻璃

塑料和玻璃材料都有大量的颜色可供选择。着色玻璃不但改变了门窗幕墙产品的颜色，而且还能吸收一部分太阳光和热。

从室内看，着色玻璃仍然是通透的，使外视不受阻碍。最常见的颜色是中性灰色、青铜色和蓝绿色，它们不会极大地改变视像的颜色，并且倾向于与其它建筑颜色很好地融合。根据特定的审美需求，设计师还有许多其它颜色选择。

着色玻璃是通过用特殊添加剂改变玻璃的化学配方而制成的。其颜色会随玻璃厚度和涂层的变化而变化。不同玻璃类型或颜色的组合都会导致组合产品的透射比、太阳得热系数、反射比和其它特性的不同。制造商会列出他们生产的不同颜色、厚度和组合玻璃产品的特性。

着色玻璃是专门定制的，以最大限度地吸收部分或全部太阳光谱，通常被称为“吸热”。所有吸收的太阳能最初都转化为玻璃内部的热量，从而提高玻璃温度，根据气候条件，单层着色玻璃最多有 50% 的热量将通过辐射和对流传递到室内。因此，与其它玻璃相比，着色玻璃的太阳得热会略低一些。

着色玻璃有两类：传统的着色玻璃既减少可见光透过，也降低太阳得热；光谱选择性着色玻璃可降低太阳得热，但允许更多可见光透过，进入室内。前者不得不经常在可见光透射比和太阳得热之间寻求平衡，对于青铜色和灰色色调，可见光透射比的降幅比太阳得热的降幅更大。虽然可以通过降低玻璃表面的亮度来减少眩光，但这样做却减少了进入房间的可见光量。

为解决传统着色玻璃减少可见光的问题，玻璃制造商开发了具有“光谱选择性”的新型着色玻璃。它们优先传输太阳光谱的可见光部分，但吸收近红外部分的阳光。这是通过在浮法玻璃工艺中添加特殊化学品来实现的。与其它着色玻璃一样，它们耐用，可用于单层和多层玻璃的门窗幕墙产品。这些玻璃具有浅蓝色或绿色色调，可见光透射比高于传统的青铜色或灰色玻璃，但太阳得热系数较低。因为它们是具有吸收性的，它们最好设置在中空玻璃的外片玻璃上。此外，它们还可以与低辐射涂层结合，以进一步提高性能。

2.6.2. 反射涂层和薄膜

虽然单层着色玻璃可降低室内太阳得热，但可见光透射比的降幅更大，并且着色玻璃对减少太阳得热的贡献也是有限度的，如果在此基础上还需要进一步减少太阳得热，可以使用反射涂层，通过提高材料的表面反射比来降低太阳得热系数，这些涂层通常由金属薄膜层组成。反射涂层有各种金属色（银、金、青铜），可应用于透明或着色玻璃。根据涂层的厚度、反射比及其在玻璃上的位置，最终玻璃的太阳得热系数可以有不同程度的降低。与着色玻璃一样，有反射涂层的玻璃，其可见光透射比的降幅往往大于太阳得热的降幅。

2.6.3. 双层玻璃

在暴风雪的冬季，在原本的窗外再添加一层防风暴窗，这是最早使用双层玻璃的门窗产品。它们通过在所有可开启窗扇的周围设置一圈密封，减少冬季风的空气渗透，并提高整窗的保温性能。

当制造商刚开始试验工厂密封的，且适合全年使用的双层玻璃时，他们曾经遇到了许多技术难题，例如：如何适应两层玻璃之间的热胀冷缩变形、如何防止在两层玻璃之间产生水汽，进而避免产生无法触及的冷凝水、以及当产品从装配工厂运输到安装现场时，如何考虑并适应大气压力差的影响等。多年来，通过尝试各种制造技术和材料选择，上述问题都已成功解决。

当双层玻璃首次上市时，两片玻璃的四周通常被熔融在一起，形成一个永久密封的空腔。然而近年来，间隔条和聚合物密封剂基本上取代了玻璃对玻璃的密封，并已被证明在住宅应用中足够耐久。两片玻璃面板由间隔条隔开并粘附在其上，密封剂设置在玻璃单元四周，形成隔气、隔潮的屏障。通常，间隔条中间填充有干燥剂，以吸收制造过程及随后可能出现在中空层内的残留水汽。密封的中空玻璃现在是一种成熟、可靠的技术。通过高质量密封剂的使用和完善的质量管理体系，所制造出的中空玻璃产品能维持几十年不出现密封失效。

2.6.4. 双层玻璃的涂层和颜色

双层玻璃上的太阳反射涂层和着色都能有效减少夏季的太阳得热，可是只有某些涂层有助于减少冬季的热损失，颜色则不会影响热损失率。虽然反射涂层通常位于玻璃的最外表面或面向空腔的表面，但事实上，四个玻璃面中的任何一个都可以设置反射涂层。涂层位置也取决于涂层的类型，由于某些真空沉积的反射涂层无法耐受户外环境、指纹或清洁剂，它们必须设置在密封的空腔中（#2面 或 #3面）；而玻璃生产过程中，通过高温工艺产生的热解涂层非常坚硬耐用，可设置在任何位置，但要注意每个位置将伴随不同的视觉和热工效果。其它高级的涂层，如低辐射和光谱选择性涂层通常应用于双层或三层玻璃的门窗幕墙产品，将在本章的稍后部分介绍。

双层玻璃的内片和外片玻璃可以分别使用不同类型的玻璃进行组装。通常，内片是标准的透明玻璃，而外片可以是着色玻璃、带反射涂层的玻璃或两者兼有。着色玻璃和透明玻璃都能降低太阳能总透射比，从而降低太阳得热系数。此外，由于内片透明玻璃、中空层的气体和低辐射涂层都有助于使外片玻璃吸收的大部分热量无法进入建筑内部，因此这种设计能进一步降低了太阳得热。

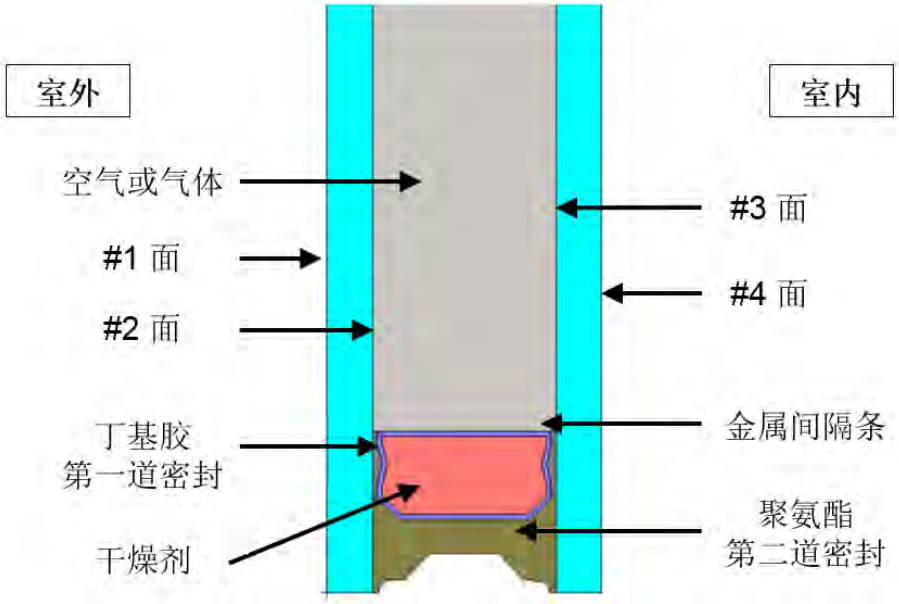


图 2-2：中空玻璃(IGU)的构造示意

2.6.5. 多层玻璃之间的空腔厚度

为减少传热，制造商可以灵活选择两层或两层以上玻璃之间的最佳空腔厚度。假如两层玻璃之间的空腔填充有空气或氩气，玻璃U值达到最佳时的空腔厚度是 12 mm。随着空腔变大，空腔中的热对流效应逐渐加强，玻璃 U值 慢慢增加；而在 9 mm 以下，通过空腔的传热效应明显加强，玻璃 U值 上升更快。氪气的最佳厚度约为 6 mm，因此，如果需要较小的空腔，例如在整体外部尺寸有限的使用三层玻璃的中空玻璃产品中，氪气可能是最佳选择，尽管它成本也最高。

2.6.6. 窗格（Divided Lights）

制造商一直在努力提供深受房主偏爱的窗格产品。传统的窗格产品是将一片大窗分隔成若干小窗格，其中的分隔细条被称为“窗棂（muntin）”。当使用单层玻璃时，窗棂实际上提高了门窗产品的保温性能，这是因为实木的保温性能是优于单层玻璃的。也有一些制造商开发出了将“真窗棂”和中空玻璃组合在一起的门窗产品。这些具有传统外观的窗棂将中空玻璃隔成一个个小窗格然而，这些产品成本高昂，且使用中空玻璃制造难度大，并且由于边数增多（如今这些边缘含有金属），导致热损失更大。

第二种选择是：生产一个单独的、大型的中空玻璃，将窗棂粘在两片玻璃之间，格栅被设置在一个大型中空玻璃的中间，从而创造出窗格的视觉效果。这么做虽然可以降低制造成本，但如果中间的格栅是金属的，并且它们同时接触了内外两片玻璃，则不能起到很好的保温作用。

第三种更节能的选择是：建造一个大板中空玻璃，将格栅通过粘接或卡扣方式固定到玻璃表面，以模拟窗格效果。由于没有额外的玻璃边缘及热损失，这种“窗格”的保温性能与不带窗格的门窗产品十分相近。

2.6.7. 特殊产品

玻璃砖是双层玻璃的一个特例。它们提供了一定的透射比，但又保护了视觉隐私。市面上的塑料砖的U值 比玻璃低，但安装时必要的灌浆会降低能效。此外，用于砖与砖之间，起到结构稳定作用的金属网和钢筋，存在热桥效应，也会降低能效。

塑料透明材料提供多种双层配置。双层亚克力气泡天窗是使用两层亚克力，两层之间的空腔厚度是变化的，从边部的 0 到气泡顶部的 7.6 cm。计算等效 U值 时，应取平均空腔厚度。

市面上还有具有多孔结构的聚碳酸酯板，可以通过与竖直或水平的分隔腹板固定。由于这些分隔腹板减少了小格内的空气对流，特别是有助于提高水平安装的聚碳酸酯板的保温性能。

2.6.8. 多层面板或薄膜

通过添加第二层玻璃，中空玻璃的保温性能就增加了一倍（U值 减半）。正如预期的那样，添加第三、第四层玻璃可以进一步增加中空玻璃的保温性能，但增益效果递减。

为满足人们对于更高能效产品的需求，使用三层和四层玻璃的门窗幕墙产品于上世纪八十年代问市。然而，这种产品也有不足之处，即每添加一层玻璃，虽然可以提高产品的保温性能，但也同时减少了可见光透射比和太阳得热，从而降低门窗幕墙产品在提供太阳得热或采光方面的价值。此外，额外的玻璃也增加了整体产品的重量，这使得安装和操作更加困难，运输成本也更高。

如上所述，在门窗幕墙产品中添加玻璃的数量有物理和经济上的限制。不过，多层面板的概念不仅限于玻璃材质，一项流行的创新是在内外两片玻璃之间用塑料薄膜代替原本的中间片玻璃。这种塑料薄膜非常轻巧，而且非常薄，不会增加整个中空玻璃的厚度。玻璃面板保护了塑料薄膜免受机械损伤、腐蚀、风化和风压造成的视觉扭曲，因此，塑料薄膜的强度和耐久性就不再是问题了。塑料薄膜经过特殊处理，可抵抗紫外线退化，而且经过热收缩，这样就能在任何条件下均保持平整。

塑料薄膜发挥着许多重要作用。首先，它通过将内部空腔分成多个腔室来降低中空玻璃的 U值，根据需要，可以在空腔内安装一层或两层塑料薄膜。其次，塑料薄膜表面可以镀上低辐射涂层，以进一步降低中空玻璃的 U值。此外，塑料薄膜表面可以镀上光谱选择涂层，既不会明显降低可见光透射，又能减少在炎热气候中的太阳得热。下一节内容将介绍不同的低辐射涂层和空腔气体对中空玻璃性能的影响。

2.6.9. 低辐射（Low-e）涂层

多层玻璃中的传热机制主要是热辐射，热量从热侧的玻璃传递到冷侧的玻璃。在玻璃表面涂上低辐射（low-emittance，简称 Low-e）材料，并使其朝向玻璃的中空层，可以阻断大部分通过辐射方式传递的热量，从而降低通过中空玻璃的总热流量。Low-e 涂层对中空玻璃保温性能的改善效果，相当于是在中空玻璃中再添加一片玻璃。

Low-e 涂层对太阳光谱的反射是可以调节的，包括可见光谱和红外光谱的特定部分。通过这种技术，可以设计出一种玻璃材料，以优化其保温性能、太阳得热和采光。

当使用传统的玻璃时，大量的太阳辐射可以通过门窗幕墙产品进入室内，接着室内物体的热量通过门窗幕墙产品又辐射出室外。因此，理想的门窗幕墙产品是在冬季能最大限度地提高太阳得热，最好允许所

有太阳光谱通过，但同时又能阻止热从室内再辐射出去。初代的 Low-e 涂层被设计成为具有高太阳得热系数和高可见光透射比，可允许最大量的阳光透入到室内，同时明显降低中空玻璃的 U值。

第二代 Low-e 涂层设计是尽量减少夏季太阳得热的同时允许一些可见太阳光透过，这么做可以阻挡太阳光谱的所有其它部分，包括紫外线和近红外线，以及从室外物体（如街道和相邻建筑）辐射的长波热量，如 图2-3 所示。第二代 Low-e 涂层被设计用于反射太阳近红外线，从而在保持高水平的可见光透射比的同时降低太阳得热系数，这一技术的应用可以进一步减少夏季太阳得热并控制眩光。

目前市场上有三种基本类型的 Low-e 涂层：

1. **高透型 Low-e：**根据玻璃涂层的工艺，这些 Low-e 玻璃产品通常被称为热解或硬涂层 Low-e 玻璃。这里展示的特性是典型的 Low-e 玻璃产品，旨在减少热损失，但允许较高的太阳得热。
2. **中透型 Low-e：**根据玻璃涂层工艺，这些 Low-e 玻璃产品通常被称为溅射或软涂层 Low-e 玻璃（注：低透型 Low-e 玻璃产品也使用溅射涂层）。这种涂层可减少热损失，并适当减少太阳得热。
3. **低透型 Low-e：**根据玻璃涂层工艺，这些 Low-e 玻璃产品通常被称为溅射或软涂层 Low-e 玻璃（注：中透型 Low-e 玻璃产品也使用溅射涂层）。这种类型的 Low-e 玻璃产品，有时也被称为光谱选择性Low-e 玻璃，它既能减少冬季的热损失，又能减少了夏季的太阳得热。与大多数着色和反射玻璃相比，这种 Low-e 玻璃产品在大幅降低太阳得热的条件下，有着更高的可见光透射比。

Low-e 涂层的类型和质量不仅会影响玻璃的传热系数（U值），还会影响可见光透射比（VT）和太阳得热系数（SHGC），所有这些属性在描述特定的门窗幕墙产品时都需要考虑。

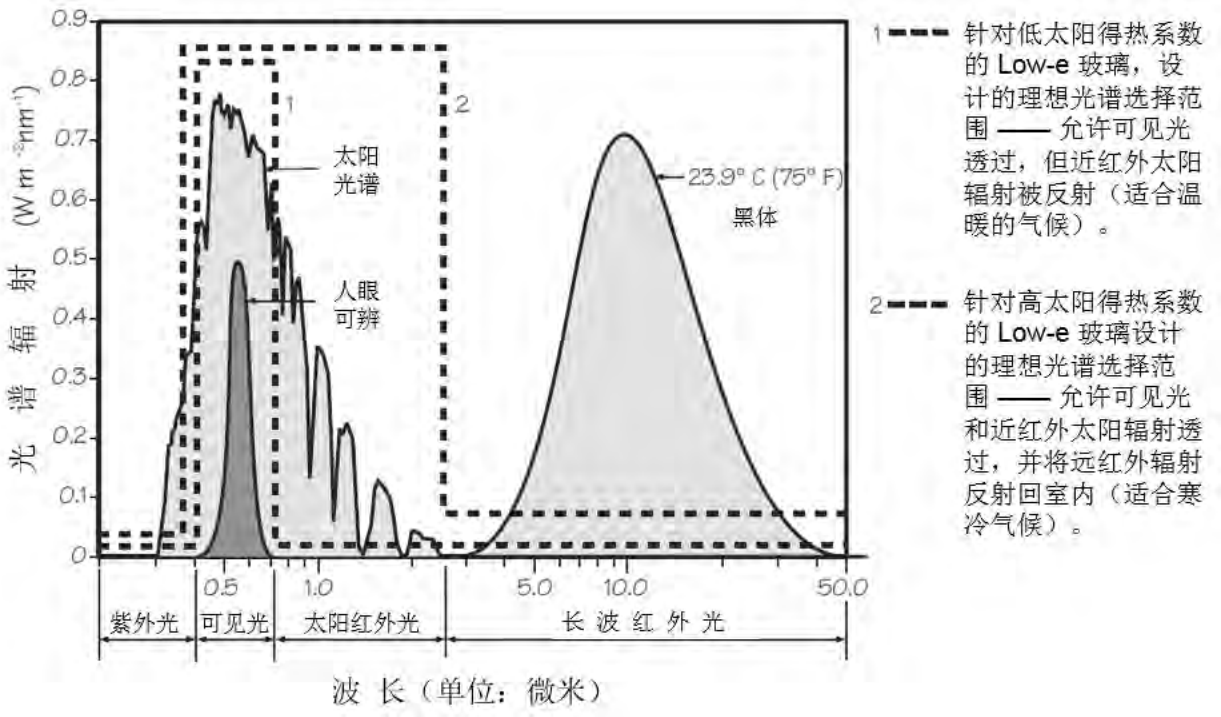


图 2-3：不同气候下玻璃的理想光谱透射比

(来源: "门窗幕墙的太阳得热对光源光谱和入射角的敏感度", 美国供热, 制冷和空调工程师协会论文集10, R.麦克卢尼, 1996年6月)

2.6.9.1. 涂层位置

在使用两片的中空玻璃的空腔内，Low-e 涂层的位置（#2面 或 #3 面）对玻璃 U值 影响不大，但它却会较大影响太阳得热系数（SHGC）。因此，在以制热能耗为主的气候中，建议在 #3面 设置 Low-e 涂层，以最大限度地提高冬季被动太阳得热，当然，这会略微降低控制夏季得热的能力。在以制冷能耗为主的气候中，在 #2面 设置 Low-e 涂层，通常最能减少太阳得热，并最大限度地提高能效。由于其它一些原因，制造商有时也会将 Low-e 涂层设置在其它表面。例如，在以制热能耗为主的气候中，为了最大限度地减小热应力，可将 Low-e 涂层设置在 #2面。在使用三玻两腔中空玻璃上，还能设置多道 Low-e 涂层（#2面 和 #4面），或者也可以在玻璃之间的透明薄膜上设置 Low-e 涂层，这些都具有进一步改善整体 U值 的累积效果，这种被称为“超级窗”的多面板组件将稍后介绍。

2.6.9.2. 涂层类型

Low-e 涂层有两种基本类型——溅射型和热解型，分别代表了它们的制作过程。最好的涂层是无色和光学清晰的，有些涂层可能呈现轻微的色调或具有微妙的反射效果，尤其是在某些照明条件或斜角观察条件下，这种情况更为明显。

溅射的涂层具有多层结构（通常为三层，至少有一层金属），并沉积在真空室的玻璃或塑料薄膜上。溅射涂层的总厚度仅为人类头发丝的万分之一。溅射的涂层通常使用银层，由于必须保护其免受潮和硬性接触，因此它们又被称为“软涂层（soft coating）”。溅射过程在低温条件下进行，这些涂层可以沉积在平板玻璃或薄塑料薄膜上。虽然溅射形成的涂层本身并不耐用，但通过设置在密封的双层或三层中空玻璃中，它们可以变得非常耐久。

溅射涂层的发射率 ε 通常比热解涂层的低。市面上，涂层产品的发射率通常为 0.02 ~ 0.10（ε = 0.20 表示表面接收的长波辐射能量的 80% 得到了反射，而 ε = 0.02 表示反射了 98%）。相比之下，无涂层玻璃的发射率 ε = 0.84，这意味着长波辐射能量只反射了 16%。

典型的热解涂层是一类金属氧化物，最常见的是带有一些添加剂的氧化锡，当玻璃表面仍然很热时，这种氧化锡会直接沉积在玻璃表面，使其与玻璃紧密结合，因此形成的涂层相当硬且耐用，这就是为什么它们又被称为“硬涂层（hard coating）”。虽然热解涂层的厚度可能是溅射涂层的 10 ~ 20 倍，但总体上它们仍是非常薄的。热解涂层可以暴露在空气中，用普通清洁产品清洗，即便磨损，也不会失去其低辐射的特性。

由于热解涂层的耐久性更强，可以设置在单层玻璃和独立的防风暴玻璃上，但因为基材必须经过高温处理，塑料上是做不了热解涂层的。不过，一般来说，热解涂层还是较多设置于中空玻璃的 #2面 或 #3面。尽管这些涂层的特性存在相当大的差异，但它们的发射率 ε 基本在 0.10 ~ 0.20 范围内。

夹层玻璃的中间膜上也可以设置 Low-e 涂层，这样的夹层玻璃能耐兼具光谱选择性和安全保护，但它的保温性能却与单层玻璃的相差不大，这是因为在此类配置中，Low-E 涂层不会暴露在空气中，从而对玻璃的 U值 几乎没有影响。

2.6.10. 中空层气体

提高中空玻璃保温性能的另一个方法，是降低通过中空层气体发生的热传递。起初，人们在中空玻璃边部密封之前，会将干燥空气或氮气充入中空层内。气流随着热量到达中空玻璃顶部，接着缓慢沉淀到较冷的底部。用导热系数更低的气体填充中空层，可最大限度地减少两片玻璃间的整体热量传递。

如今，制造商已经可以用氩气和氪气作为中空层的填充材料，热工性能也有了明显改善。氩气的特点是廉价、无毒、良好的惰性、通透和无味。填充氩气的中空玻璃，其中空层厚度与空气的相同，约为 12 mm。相比氩气，氪气具有更好的热工性能，但也更贵。当中空玻璃的中空层需要比通常的更薄（例如 6 mm）时，氪气则变得特别有用。为了平衡热工性能与成本，则可以考虑氪气和氩气的混合物。

如何在中空玻璃的空腔内将氩气和氪气充满，是制造商必须持续应对的挑战。充气时，将储存有惰性气体设备的管子插入中空玻璃边部的小孔，当惰性气体被泵入时，它将与原先的空气混合，使得中空层内的气体很难达到 100% 的浓度。最近的研究表明，90% 是当今制造商可以实现的典型浓度。一些制造商则利用真空设备，可以稳定地实现超过 95% 的惰性气体填充。与充满空气的同一中空玻璃相比，装有 90% 氩气和 10% 空气，且没有涂层中空玻璃，其中心的保温性能可以提高 5% 以上。然而，当氩气和氪气与 Low-e 涂层和多片玻璃的中空玻璃组合时，可以实现 15% ~ 20% 更明显的改进。由于 Low-e 涂层大大减少了辐射引起的热损失，惰性气体对剩余的对流和传导引起的热损失有着更大比例的影响。

2.7. 热改进的间隔条

中空玻璃的玻璃片之间必须通过间隔条隔开适当的距离。除了保持中空玻璃有一个合适的尺寸，间隔条系统还必须具备下列功能：

- 适应热膨胀和压力差引起的应力；
- 作为防潮屏障，防止水或水蒸汽通过，进而避免玻璃起雾；
- 作为中空层气体的密封件，防止中空层内的低导热惰性气体泄露；
- 作为保温屏障，减少“玻璃边缘”室内侧的结露。

在过去，由于使用双层玻璃的门窗幕墙产品用的是无法密封的木间隔条，玻璃之间的空腔是直接与室外连通的，这样做可以减少玻璃之间起雾的情况。尽管这一系统目前仍能良好的运作，但由于中空层不是密封的，因此不能填充惰性气体，也不能与某些类型的 Low-e 涂层一起使用。早期的玻璃单元通常采用玻璃边部焊接的方法实现中空层的密封，这种方法不会造成中空层漏气，但制造起来困难且成本高昂，而且玻璃的间距一般也不理想。上世纪 80年代 开始，中空玻璃的市场份额大幅增长，其标准解决方案是使用金属间隔条（通常是铝）和密封剂，间隔条内还填充了可以吸附潮气的干燥剂。间隔条通过有机密封剂固定在玻璃之间，既作为结构支撑，又充当了防潮屏障。这种中空玻璃有两种常用的间隔条系统：单道密封和双道密封系统。

在单道密封系统中，有机密封剂（通常是丁基材料）置于间隔条的后面，既能将两片玻璃固定在一起，又能防止水分侵入。这种密封通常不能阻止低导热惰性气体的泄露。

在双道密封系统中，第一道密封剂（通常是丁基）将间隔条密封在玻璃上，以防止水分的侵入和惰性气体泄露，第二道密封剂（通常是硅胶）作为结构支撑。当溅射型 Low-e 涂层与双道密封系统一起使用时，必须先从边部去除涂层（除膜），以提供更好的边部密封。

由于铝是一种热的良导体，大多数标准间隔条系统使用铝间隔条，这使中空玻璃边缘存在明显的热桥，从而降低了中空玻璃的保温功效。随着玻璃行业从标准中空玻璃转向 Low-e 涂层和惰性气体填充，这种边缘热损失的影响变得更加明显。在冬季，典型的铝间隔条使得带有 Low-e 涂层和惰性气体填充的中空玻璃 U值 提高，其提高幅度甚至还略高于其对于普通中空玻璃 U值 的影响。玻璃面积越小，边部对整体产品的性能影响越大。除了热损失增加外，较冷的边部，让玻璃室内侧也更容易产生结露。

为解决上述问题，制造商开发了一系列创新的间隔条系统，包括依赖于材料替代的解决方案以及全新的设计。减少热损失的一种方法是用导热系数较低的金属（如不锈钢）替换铝，并改变间隔条的截面几何外形。另一种方法是用使用更好保温材料的设计来取代金属。最常用的设计是将间隔条、密封剂和干燥剂的功能整合到一条胶带中，这种固体胶带是一种挤塑成形的热塑性化合物，并混合有干燥剂，它可以包覆一层薄薄的铝或不锈钢。还有一种方法是使用保温的硅胶发泡间隔条，它结合了干燥剂，其边缘有高强度粘合剂，可粘结到玻璃上，发泡材料背衬有第二道密封剂。乙烯基挤压型材和热成型玻璃纤维间隔条也已经被用来代替金属间隔条。

此外，还有一些复合技术方案，可以在金属间隔条中使用断热条，并与上面提到的一个或多个元素进行组合。这些方案中的一部分是专门为适应三层、四层或带有塑料薄膜的中空玻璃设计的。当然，所有这些技术方案都是为了一个最终目的，就是阻断通过“玻璃边缘”的传热。

随着制造商从普通中空玻璃逐步转向高性能中空玻璃，热改进的间隔条也变得越来越重要。通常认为间隔条对于“玻璃边缘”的传热影响并不局限于其自身的物理尺寸，而是波及约 63.5mm 宽的带状区域。为确定门窗幕墙整体产品的 U值，必须将这种“边缘效应”计算在内。然而，必须认识到这种“边缘效应”整体产品的 U值 的影响取决于产品的总面积。“边缘效应”对于面积越小的产品越重要，因为那表示该产品的“玻璃边缘”面积占比相对较大。对于典型住宅中尺寸为 0.8米 x 1.2米 的窗户，从标准铝间隔条（冷边）改为优质的热改进的间隔条（暖边），可使整窗的 U值 减小 0.06 ~ 0.11 $W/(m^2 \cdot K)$。

3. 门窗幕墙传热的基础知识

3.1. 概述

本章的大部分内容摘自《住宅视窗：新技术和能效指南》一书，作者是 John Carmody, Stephen Selkowitz，Lisa Heschong，其它信息可在《ASHRAE 2013 基础手册》中找到。

3.2. 能量流动机制

通过门窗幕墙产品的总能量传递具有以下特点：

- **温差传热：**当室内外存在温差时，热损失或热获得是通过门窗幕墙产品的框架和玻璃发生的，是热传导、对流和辐射综合作用的结果，门窗幕墙产品的传热系数一般用 U值 表示。
- **太阳得热：**无论外界温度如何，门窗幕墙产品都可以直接或间接地获得太阳辐射的热量。产品所获得的热能是以其太阳得热系数（SHGC）来衡量的。
- **空气渗透：**热量损失或增加也会因空气通过门窗组件缝隙的渗透而发生。这种效应通过测量在给定压力条件下，穿过单位面积（平方英尺或平方米）门窗产品的空气量（立方英尺或立方米/分钟）来衡量。在实际情况中，渗透会随着风致压力和温度致压力的变化而变化。在某些气候条件下，渗透还会通过提高室内湿度水平，从而增加夏季的制冷负荷。

《2001 ASHRAE 基础手册》包含了以下用于计算透过门窗幕墙产品的能量流的公式（假设无湿度差异且排除空气渗透）：

$q = U_t * A_{pf} (t_{out}-t_{in}) + (SHGC_t * A_{pf} * E_t)$ …… [3-1]

式中，

q，瞬时能流，W

U_t，整体传热系数（U值），$W/(m^2 \cdot K)$

t_{in}，室内空气温度，^oC

t_{out}，室外空气温度，^oC

A_{pf}，门窗幕墙的总投影面积，m^2

$SHGC_t$，总太阳得热系数，无量纲

E_t，总太阳辐射照度，W/m^2

该公式表明，可通过模拟获得的 U值 和 SHGC 属性是决定透过门窗幕墙产品能量流的主要因素。然而，空气渗漏也可能是导致热损失的一个因素，应当予以考虑。因此，NFRC 评级体系对产品 U值、SHGC 以及空气渗透率进行评级，并且 ANSI/NFRC 100、ANSI/NFRC 200 和 ANSI/NFRC 400 文件规定了计算整个产品这些数值的程序。包含空气渗漏的计算能量流应参考《2017 ASHRAE 基础手册》中的公式1：

$q = U_t * A_{pf} (t_{out}-t_{in}) + (SHGC_t * A_{pf} * E_t) + (AL* A_{pf})\rho C_p (t_{out}-t_{in})$ …… [3-2]

式中，

q，瞬时能流，W

U_t，整体传热系数（U值），$W/(m^2 \cdot K)$

t_{in}，室内空气温度，^oC

t_{out}，室外空气温度，^oC

A_{pf}，门窗幕墙的总投影面积，m^2

$SHGC_t$，总太阳得热系数，无量纲

E_t，总太阳辐射照度，W/m^2

AL，现有条件下的空气渗透，$m^3/(s \cdot m^2)$

ρ，空气容重，kg/m^3

C_p，特定的空气热量，$kJ/(kg \cdot K)$

3.3. 温差传热

门窗幕墙产品因温度而损失或获得热量，是三种传热方式组合的结果：

1. 热传导：通过玻璃、间隔条和框架传递（热量通过固体材料传递，就像不断升温的煎锅壁）
2. 热对流：通过门窗幕墙产品的室外表面、室内表面和玻璃之间的空气层传递（通过气体或液体的运动传递热量，好比蜡烛火焰上方冒出的热气）
3. 热辐射：在玻璃之间，或者中空玻璃与室内或室外之间的辐射热传递（热量在空间中的移动，而不依赖于空气的传导或对流，就像你隔着玻璃仍能感受到阳光的热量一样）。

玻璃吸收太阳辐射后将更有助于温差传热，而透过玻璃的太阳辐射和温差传热是独立的。被吸收的太阳辐射的一部分将进入室内，并将被纳入 SHGC，这三种传热方式如 图3-1 所示。热量从较热的物体流向较冷的物体，因此在冬季，热量会从室内流向室外；而在夏季，当室外温度高于室内时，热量会反向流动。

量化这三种传热方式传递的热量是用 U值，单位为 $W/(m^2 \cdot K)$ 或 $Btu / (h \cdot ft^2 \cdot ^oF)$。热阻 R值 是U值 的倒数。NFRC 的评级体系可以量化并预测门窗幕墙产品的 U值。

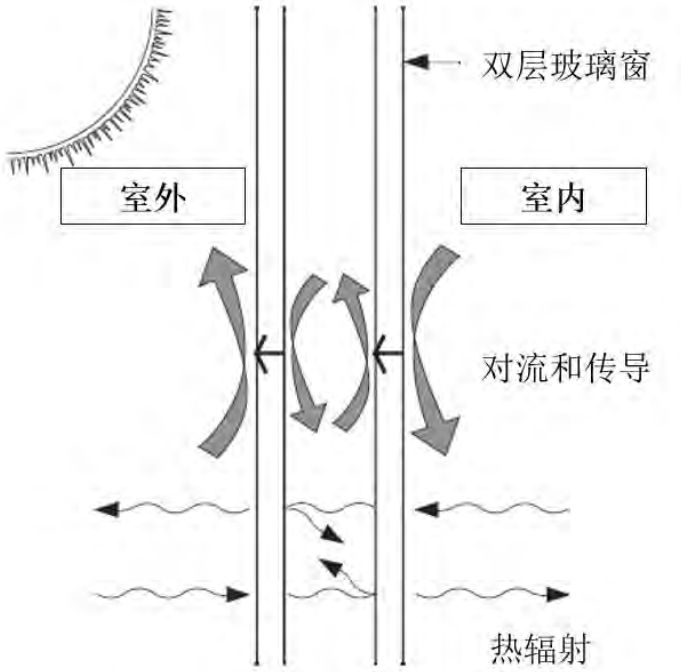


图 3-1：门窗幕墙产品的传热机制

3.3.1. 热传导

与保温性能良好的墙体相比，普通老式门窗幕墙产品的保温性能实在不敢恭维，单层玻璃门窗与一层金属板无异——事实上，玻璃室内外表面附近的空气对保温的贡献反而更大，这类产品可以被认为是墙体上的“热流漏洞”，其热损失率是保温墙体的 10 ~ 20 倍，保温性能差到可以让热量几乎不受阻碍地从室内流向室外。假设室内温度 21°C，室外温度 -18°C，那么单层玻璃的表面温度大约只有 -8°C，冷到足以在玻璃室内侧结霜。

3.3.2. 热对流

热对流发生在门窗幕墙产品的许多部位：玻璃的室内表面、玻璃的室外表面、框架内部的空腔、两层玻璃之间的空腔。

冰冷的玻璃内表面使附近的空气温度降低，密度较大的冷空气下落到地板上，并开始对流，这一现象通常被误认为是由于门窗幕墙产品漏风造成的。补救方法是安装热损失率更低的产品，以便获得更高的玻璃内表面温度。

玻璃外表面的空气膜是门窗幕墙产品热对流的另一个组成部分。当风吹过产品（引起对流），空气膜的保温效果将降低，使增加热损失率加大。

最后，当玻璃之间有空气时，对流可以加快热量通过这层空气的速度。门窗幕墙产品可以通过调整两层玻璃之间的间隙，以及选择一种比空气保温性能更好的惰性气体进行填充，用以最大限度地减少对流引起的热损失。

3.3.3. 热辐射

所有物体都发射不可见的热辐射，温度较高的物体比温度较低的物体发射更多的热辐射。把你的手放在烤箱前，你会感觉到烤箱玻璃表面散发出温暖的辐射能；同时，你的手也向烤箱玻璃辐射热量，但由于烤箱玻璃比你的手更温暖，辐射热将净流向你的手，并使手更加暖和。现在，想象一下在冬天把你的手靠近一扇玻璃窗，窗户表面可比你的手冷多了，它的每个面都散发着辐射能，但由于你的手相对更温暖，手向窗户散发的能量比吸收的多，因此你就会感觉到一种冷却效果。事实上，房间里冰冷的玻璃表面会使周围的一切都冷却下来。

3.3.4. U值

U值 是量化保温性能的标准参数，它表示通过门窗幕墙产品的热流速率。U值 代表门窗幕墙系统的整体传热系数，单位是 $W/(m^2 \cdot K)$ 或 $Btu / (h \cdot ft^2 \cdot {}^oF)$，它包含了特定环境条件下的热传导、对流和辐射，代表室内和室外空气温差为 1°C 时，每小时通过每平方米的门窗幕墙产品的热流量，U值 越小，说明它的热流速率越低。热阻 R值 是 U值 的倒数，即 R=1/U。

U值 取决于门窗幕墙产品装配中各个组件的热工性能，以及天气条件，如室内外温差，风速等。NFRC 已经将室外边界条件（称为环境条件）标准化，并统一采用以下温度、风速参数作为计算评级产品
U值 的条件：

- 风速：5.5 米/秒 （12.3 英里/小时）
- 室内温度：21.0°C （69.8°F）
- 室外温度：-18.0°C（-0.4°F）

采光顶和屋面天窗产品按照 20度 倾角（即与水平线的夹角为 20度）进行建模计算。

3.3.4.1. 整体产品的 U值

整体门窗幕墙产品的 U值 是将玻璃中心、玻璃边缘以及框架的 U值 进行面积加权得到的。

3.3.4.2. 玻璃（中心）U值

门窗幕墙产品中，玻璃 U值 主要受玻璃层数、玻璃之间的空腔尺寸、填充中空层的气体类型以及表面涂层特性的影响。人们常说的“玻璃 U值”，实际是指玻璃中心的 U值。

3.3.4.3. 边缘传热效应

玻璃 U值 的计算假设热流垂直于玻璃平面。然而，门窗幕墙产品是复杂的三维组件，材料和截面在相对较小的空间内有着较多变化。

例如，中空玻璃边部的金属间隔条就比中空玻璃中心的热流要高得多，这导致沿玻璃外缘的热损失增加。随着其余组件保温性能的增加，这一“边缘效应”的影响变得更加重要。

3.3.4.4. 框架和窗扇框

通过门窗产品框架的热损失可能相当显著：在一个典型的 1.2 米 × 0.9 米（4 英尺 × 3 英尺）的双提拉木框窗产品中，框架和窗扇大约占该产品面积的 30%。

横截面由单一均匀实心材料制成的框架中，U值基于热量通过该材料的传导。然而，带有各种加强件或包覆材料的中空框架和复合框架则更为复杂。在这种情况下，通过材料的传导必须与紧邻玻璃的空气对流，以及各个表面之间的辐射换热结合起来考虑。。

此外，门窗产品周围的框架很少保持相同的横截面。例如，水平推拉窗有七种不同的框架横截面，每种都有其各自的热流率。

3.3.4.5. 整体 U值

由于玻璃中心、玻璃边缘和框架的 U值 各不相同，如果不仔细描述，直接比较 U值 可能会产生误导。为了解决这个问题，美国门窗幕墙评级委员会（NFRC）引入了门窗幕墙产品 U值 的概念。在使用 NFRC 方法计算门窗幕墙产品的整体 U值 时，必须遵循一套特定的工程假设和程序。在大多数情况下，由于玻璃中心 U值 是低于框架 U值 的，因此面积加权后的整体产品 U值 反而高于玻璃中心 U值。

整体U值是根据竖直放置状态下的产品计算的，产品安装角度的改变也会影响其 U值。

3.4. 太阳得热和可见光透射比

门窗幕墙产品的第二个主要能量特性是能够控制透过透明材料的太阳能。通过门窗幕墙产品获得的太阳能往往是决定住宅建筑空调负荷的最重要的因素，从太阳辐射获得热量的强度可以大大超过其它来源（如，室外空气温度或湿度）。

可见光透射比（VT）是一种光学特性，表示透过玻璃的可见光的数量。虽然 VT 并不直接影响制热和制冷能效，但它被用于评价节能门窗幕墙产品，请参阅 第3.4.2节 和 第3.4.3节。

太阳得热的来源是来自太阳直射、天空辐射、或经地面和其它物体表面的反射。有的辐射直接透过玻璃进入室内，有的辐射可能被玻璃吸收，然后间接进入室内。阳光是由许多波长的电磁辐射组成的，从不可见的短波紫外线，到可见光谱，再到较长的不可见的近红外波，大约一半的太阳能是可见光，剩下的大部分是红外线和少量的紫外线，阳光的这一特性使得有选择性地接受或拒绝太阳光谱的不同部分成为可能。虽然通过门窗幕墙产品减少太阳辐射在某些气候和季节是有利的，但在冬季条件下，最大限度地增加太阳得热可以明显提高能效。这些经常相互冲突的指标使选择“最佳”产品成为一项具有挑战性的任务。关于门窗幕墙产品的这方面特性的详细介绍，请参阅 第2.6.9节。

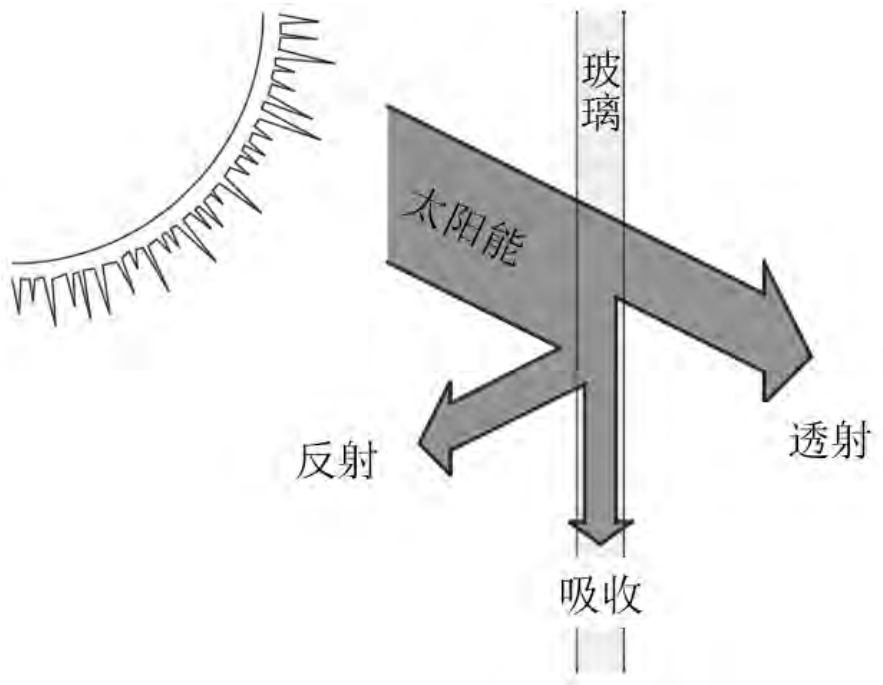


图 3-2：玻璃的反射, 透射和吸收特性决定了太阳得热的变化

3.4.1. 确定太阳得热

太阳得热系数（SHGC）和遮阳系数（SC）都被用来表示透过门窗幕墙产品的太阳辐射量，两者都以“太阳得热包含直接透射辐射和吸收后再向室内传递的辐射”为条件（图3-3），但 SHGC 和 SC 的参照对象是不同的。SHGC 是 NFRC 评级所需计算的，SHGC 取代 SC 是因为它更准确地反映了角度依赖效应。SC 表示阳光法向/垂直入射时，透过系统的太阳能与透过 3 mm 透明玻璃的太阳能的比值。

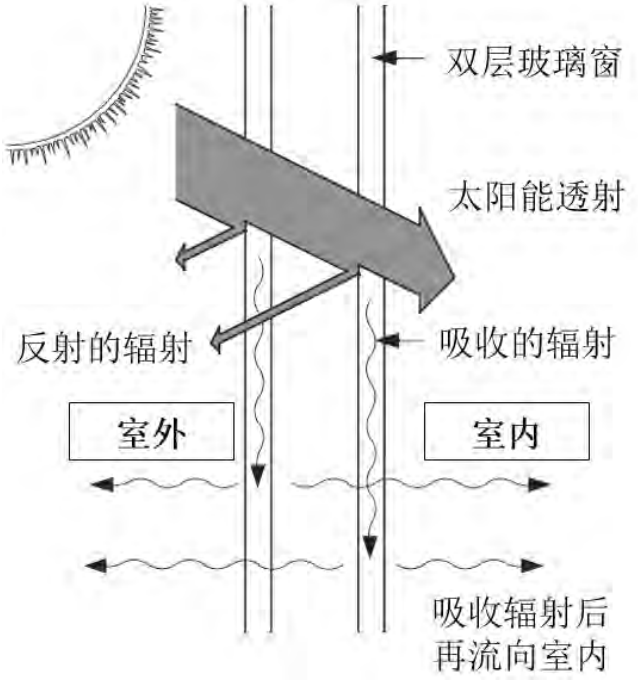


图 3-3：玻璃的反射，透射和吸收特性决定了太阳得热的变化

3.4.2. 太阳得热系数（SHGC）

太阳得热系数（SHGC）表示透过门窗幕墙系统的总太阳辐射能与入射的太阳辐射能的比值。虽然任何辐射入射角都有与之对应的 SHGC，但 NFRC 规定计算 SHGC 时的太阳入射角为 0度，即垂直于玻璃面。SHGC 代表了整个门窗幕墙产品系统的性能，是在广泛条件下反映太阳得热的准确指标。SHGC 是范围在 0 ~ 1.0 的无量纲数。SHGC值 大表示系统的太阳得热高，反之则表示得热低。

3.4.3. 可见光透射比

可见光透射比是指通过透明材料的光谱中可见光部分的量。这一特性并不直接影响建筑的冷热负荷，但它是评价节能门窗幕墙产品的重要因素之一。可见光透射比受透明材料类型、层数和任何可能携带的涂层的影响，这些影响将在本章稍后详细介绍，同时回顾各种透明材料和涂层技术。透明材料的可见光透射比范围可以高达 90% 以上（超白玻璃），也可以低至 10% 以下（带有高反射涂层的着色玻璃）。

可见光透射比是与采光、视野、隐私、控制眩光和室内陈设褪色等多方面息息相关，然而这些方面经常是有矛盾的，如夜晚良好的视野需要高透光率，但高透可能伴随眩光。为了满足这些矛盾，且不断变化的需求，通常会首先选择高透光率的材料，然后添加附件，如遮阳帘或活动百叶帘来调节透射比。

NFRC 在产品标签上会注明可见光透射比，但需要注意的是 NFRC 的评级是针对整体产品的，是透明材料和框架的组合效果。在多数情况下，用户可能只需要知道透明材料的透光率就可以了，然而确保比较对象的同类性也是很重要的，即材料比材料，产品比产品。

在过去，降低太阳得热的产品（包括着色和涂层）也会同时降低可见光透射比。然而，新的光谱选择性着色玻璃和选择性涂层可以在降低太阳得热的同时，保持可见光透射比几乎不变。

3.5. 抗结露

一直以来，人们时常受到窗户结露（冷凝水）的困扰。在寒冷的冬季，使用单层玻璃的窗户，由于玻璃室内表面温度低于露点或霜点，人们不得不忍受玻璃表面结露和结霜问题。过多的冷凝水会滋生和助长霉菌，损坏并腐蚀室内饰面。相对湿度是引发结露的要素之一，降低室内相对湿度有助于减少结露的发生。

与玻璃一样，窗框的室内表面也会出现结露现象，特别是金属框架的导热非常快，在寒冷的天气会“出汗”或结霜。解决窗框结露问题是断热铝窗研发的主要动力。

空气渗透可能与结露结合产生更大的问题。只要有一条通路让暖湿空气通过或绕过窗框，湿气就会在低于露点温度的部位凝结成水。冷凝水通常发生在框架或墙体内部，并引发霉菌，危害人体健康，还会加速窗框腐烂或生锈。为避免此类问题的发生，窗框与墙洞之间的缝隙必须适当地密封。在某些情况下，例如寒冷冬季的白天，渗入得干燥空气反而有助于消除窗户表面的结露。

结露不仅给普通窗户，还会给采光顶和屋面天窗带来麻烦。天窗 “漏水”经常被误诊，更多的时候，“漏”下来的水滴其实是发生在寒冷天窗内表面上的冷凝水。当室内空气中的水汽过多，天窗通常是最先发生结露的地方。保温性能良好的天窗，加上合适的空气流通，将有助于减少结露。此外，使用高隔热的玻璃和精心设计的框架也可以帮助解决结露问题。许多天窗系统的窗框上会设计一个小“水槽”，冷凝水会在那里无害化收集，直到它自然蒸发回到室内空气中。

《NFRC 501: 如何计算门窗幕墙产品的抗结露指数评级》包含更多与门窗幕墙产品抗结露相关的信息。

3.5.1. 玻璃类型和间隔条对结露的影响

图3-4 显示了四种玻璃在不同室外温度和室内相对湿度条件下发生结露的可能性。结露可以发生在曲线上或曲线以上的任何一点。当窗的 U值 改善时，发生结露的条件范围会缩小。

使用 图3-4 时必须谨慎，因为它只显示了玻璃中心（即距离框与玻璃交界点 ≥ 63.5 mm 的区域）发生结露的机会。结露通常最先产生在玻璃边部的下缘，那里的温度普遍低于中心。

如 图3-4 所示，双玻产品比单玻的室内表面温度更高，从而减少结露和结霜，加入 Low-e 涂层和氩气后，发生结露的机会可以进一步降低。带 Low-e 涂层的三玻产品的室内表面温度最高，如果相对湿度保持在合理水平，室内表面不会发生任何结露。

即使玻璃的中心高于露点温度，结露仍可能出现在中空玻璃的角部或边部这些相对较冷的部位。一般来说，随着玻璃保温性能改善，发生结露的区域面积就会减小；随着室外温度降低、室内相对湿度增大，发生结露的机会就会增加。

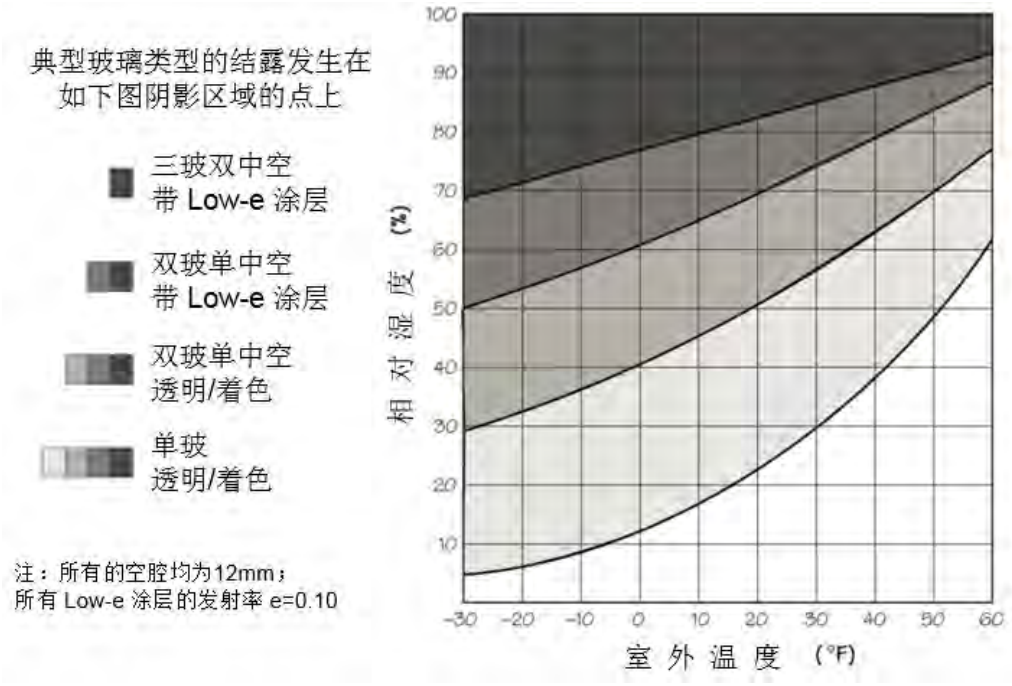


图 3-4：在不同的室外温度和室内相对湿度条件下，玻璃中心发生结露的概率

3.5.2. 抗结露值

NFRC 制定了一套抗结露（CR）评级体系，用于在特定的一组环境条件下，比较不同门窗幕墙产品抵抗其内表面形成冷凝水的能力。《NFRC 500-2017: 门窗幕墙产品抗结露值的确定方法》中规定了抗结露（CR）的计算方法。2020年，NFRC 开发并实施了一种更新的结露计算方法，称为结露指数（CI），并记录在《ANSI/NFRC 500（2020或更新版本）：测定门窗幕墙产品的结露指数评级方法》中。除了使用了相同的环境条件外，结露指数（CI）的计算与抗结露（CR）完全不同。对于特定的建筑部位、特定的室内外环境条件，结露指数（CI）评级可以帮助客户找到最合适的门窗幕墙产品，

3.5.3. 室外结露

在某些气候条件下，窗玻璃的室外表面可能会发生结露。这种情况更多发生在使用了 Low-e 涂层或薄膜、低导热惰性气体填充、且玻璃 U值 非常低的高性能窗上。为防止热量从室内流出，窗玻璃的外片表面温度虽然接近室外空气，但仍可能低于露点温度，从而导致外片玻璃表面结露。结露往往发生在晴朗的夜空、静止的空气、相对湿度高以及温度适宜等条件下，但就像其它室外物体的表面在夜间形成露珠一样，室外玻璃表面的水珠会随白天温度升高而消失。正是由于玻璃良好的隔热性能创造了这种条件，使玻璃外表面冷到发生结露。

3.5.4. 玻璃之间结露

除了室内外玻璃表面结露，双层玻璃之间也可能产生结露。当水汽进入到两片玻璃之间的空腔内，便会在较冷的外片玻璃表面发生结露，这更让人恼火，不仅因为冷凝水遮挡视线，污染玻璃表面，而且如果原本密封的中空玻璃出现这种情况，还意味着必须整个更换玻璃了。如果问题出现在非密封的双层玻璃单元上，补救工作则相对更简单。

为防止潮气入侵，工厂制造的中空玻璃采用永久式密封，中空层内可以充入干燥空气或氩气等惰性气体。玻璃边部的间隔条中充有干燥剂，用于吸附生产过程中残余的、或今后使用中意外侵入空腔的少量水汽，不过干燥剂的吸附能力是有限的，当空腔内的水汽含量超过吸附极限，玻璃之间仍然会起雾。如果制造时存在缺陷，这种情况可能发生在最初几年；或者几十年后密封胶老化失效导致。制造过程中的质量控制、密封胶的选择、窗系统的设计，甚至安装都会影响中空玻璃的失效率。一旦密封的中空玻璃失效，一般不可能修复，必须整个更换。中空玻璃的水汽也会降低 Low-e 涂层的有效性，并表明填充气体可能正在泄漏。大多数制造商提供对中空玻璃失效的质量保证，保修期从几年到与窗同寿命不等。

当非密封的双层玻璃之间发生结露时，有几种可行的补救方法。大多数提供非密封双层玻璃的制造商都有一个连接中空层和外部空气的小管，管道在冬季通常是干燥的。发生结露时，先检查确保内片玻璃与窗框是否紧密密封，如果是因为气管堵塞引起的，只需疏通气管。在某些情况下，降低室内湿度也有助于缓解玻璃之间的结露问题。

3.6. 空气渗透

空气渗透是指空气通过建筑围护结构的缝隙渗透。空气渗透导致冷热负荷增加，这是因为从建筑物室外来的空气需要被加热或冷却。窗户和门通常是造成住宅中大量空气渗透的主要原因。在极端的条件下，取决于产品类型和质量，空气渗透可能会导致与产品的其它部分一样多的热损失或热获得。空气渗透的程度取决于当地的气候条件，特别是风环境和房屋周围的微气候。通常，U值 和 SHGC 的能效影响远超过空气渗透。门窗幕墙产品（包括窗扇框和框架）的紧密密封和防风雨条对控制空气渗透至关重要。

高质量的固定类产品有助于减少渗透，因为它们相比可开启部分更容易密封和保持紧密。可开启类产品的通风功能是必要的，但也因此更容易漏风。空气渗透率低的可开启产品具有良好的设计、高质量的施工和防风雨条等特点，有些还配有机械开关装置，能起到紧密关闭、避免漏风的作用，正因如此，带有压缩式密封条的窗型，如上悬、下悬和平开窗等，通常比平移窗产品的气密性更好。随着时间的推移，平移窗产品使用的毛刷密封条更容易磨损，当它们在风压作用下弯曲时，就会造成较大的空气渗透。

3.7. 透明材料的太阳能特性

当太阳辐射穿过透明材料时，会发生三件事：一部分透射进入室内，一部分被反射，其余的被吸收，这些是决定透明材料关于太阳能特性（即，太阳得热系数 SHGC 和遮阳系数 SC）的三个组成部分。调节不同波长的太阳能总透射比、反射比和吸收比的比例，一直是近年来门窗幕墙能效方面创新的来源。

可见光只占电磁波谱的一小部分（如 图2-3）。除蓝色和紫色，还有紫外线和其它高能短波，从 X射线到伽马射线。除红光外，还有高温物体发出的近红外，由室温物体发出的远红外，以及更长的微波和无线电波。

不同种类的透明材料对光谱不同部分的透射比也不同。从最简单的角度来看，当你向外看时，一层看起来是绿色的玻璃会从可见光谱的绿色部分传输更多的阳光，并反射/吸收更多的其它颜色；同样，古铜色的玻璃将吸收蓝色和绿色，并传递温暖的颜色，中性的灰色色调能同等地吸收大部分颜色。同理也适用于可见光谱之外，大多数玻璃至少对某些紫外线是部分透的，而塑料通常对紫外线更不透。玻璃对远红外辐射是不透的，但对近红外辐射通常是透的。巧妙利用这些特点能创造一些非常有用的玻璃产品。

影响太阳能透过的玻璃的基本特性有：可见光透射比、反射比、吸收比。下面将分别进行介绍。

3.7.1. 透射比

透射比是指辐射能透过玻璃的百分比。透射比可以定义为不同类型的光或能量，如“可见光透射比”、“紫外线透射比”或“总太阳能透射比”，每一个都描述了玻璃的不同特征。可见光透射比（VT）是整个门窗幕墙产品系统透过太阳光谱的可见光部分的比率。虽然任何可见光入射角都有与之对应的 VT，但通常参照太阳入射角。可见光的透射比决定了使用透明材料的门窗幕墙产品，其采光效果和视野清晰度。例如，着色玻璃的可见光透射比比透明玻璃的低。

随着透明材料技术的进步，制造商可以控制透明材料在不同应用场景下的表现。基片（玻璃或塑料）的基本性能可以有多种选择，还可以在基片的表面添加涂层。例如，为采光和减少得热而优化的产品应该在光谱的可见部分透过足够数量的光，同时排除电磁光谱的近红外部分不必要的得热。 另一方面，如果想要在冬天提高太阳得热，应该选择性地透过尽可能多的可见光和近红外光，并阻挡远红外范围内的低能辐射热。这些是光谱选择性和 Low-e 涂层的策略，将在本章后面介绍。

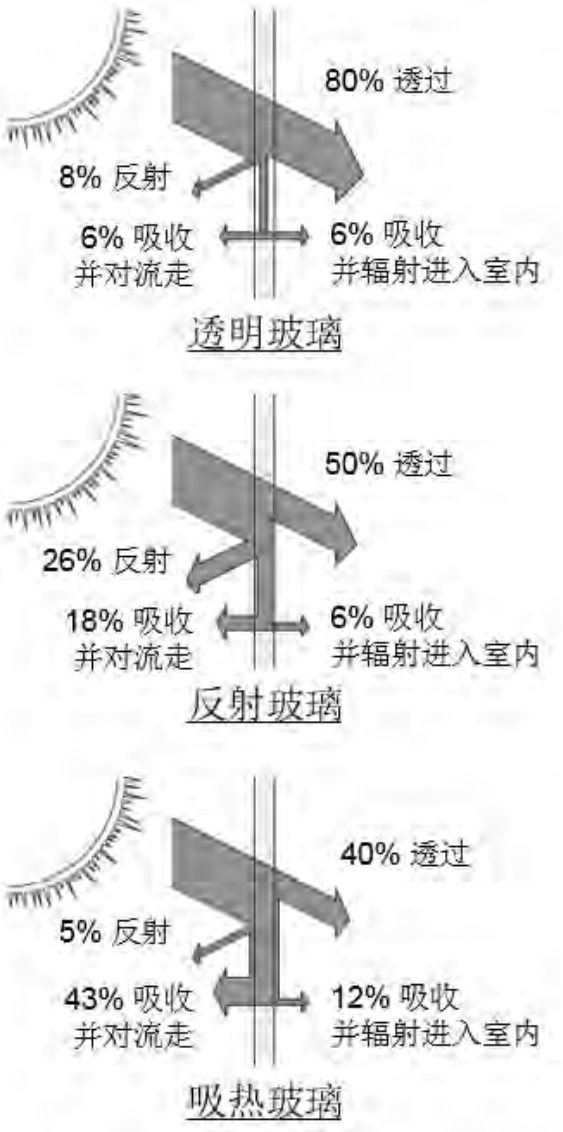


图 3-5：不同类型的玻璃对太阳辐射的反射，透射，吸收和再辐射具有不同的特性

3.7.2. 反射比

就像水面反射光线一样，玻璃表面也会反射光线。光滑玻璃表面能像镜子一样制造镜面反射，就像你在商店橱窗里看到自己的影像一样。玻璃的自然反射比取决于玻璃表面的质量、所用的涂层和光线的入射角。今天，几乎所有在美国生产的玻璃都是浮法玻璃，在反射比方面有着非常相似的质量。光线的入射角越大，反射的光就越多，透射或吸收的光就越少。当光线的入射角大于 70度 时，即使是透明玻璃也能反射至少 50% 的光线。（入射光线与法线所形成的夹角称为光的入射角。）

即使涂层类型是透明的 Low-e，人们也可以通过观察反射形成的明亮图像来检验涂层。夜晚，在离开玻璃几英寸的地方点着一根火柴，观察火柴在玻璃上的反射，你会看到每一层玻璃都有两张间隔很近的图像，因为每一层玻璃的前后表面都反射出相应的图像，两组图像的间距与两片玻璃的间距一致。在其中的一个反射图像上，如果看到细微的颜色变化，则说明玻璃上有 Low-e 涂层。

在弱光条件下，不同玻璃反射比的区别变得尤为明显。较亮的一面就像镜子，因为从较暗的一面透过玻璃的光线量小于从较亮的一面反射的光线量，这一现象可以从白天的室外或晚上的室内观测到。在一些特殊场合，人们不希望看到反射图像，比如在阳光明媚的日子透过商店橱窗观看商品，有些特制的涂层可以消除这种反射效果。

在玻璃表面涂上各种金属涂层可提高玻璃的反射比。早期的工艺使用水银和锡的液态合金来制造镜子。1865年 发明的镀银工艺提高了镜子的性能。今天，镜面可以通过真空沉积铝或银，或在玻璃制造时直接使用耐用的热解涂层。较厚的涂层可以让玻璃形成全反射，几乎不透明；较薄的涂层则是部分反射和部分透射的。

大多数常见的涂层能反射光谱的所有部分。然而在过去的二十年中，研究人员已经了解到许多关于涂层设计的知识，这些涂层可以应用于玻璃和塑料，只反射选定波长的辐射能。改变远红外和近红外能量的反射比，为寒冷气候下的 Low-e 涂层和炎热气候下的光谱选择性 Low-e 涂层奠定了基础。

3.7.3. 吸收比

能量除了可以透过玻璃、被玻璃反射，还可以被玻璃吸收。一旦玻璃吸收了任何辐射能，能量就转化为热量，并提高玻璃的温度。

典型的 3 mm 厚的透明玻璃只能吸收大约 4% 的入射阳光。玻璃的吸收比可以通过在玻璃中加入吸收太阳能的化学物质进行提高。如果玻璃吸收了可见光，它就会呈现黑色；如果玻璃吸收紫外线或近红外辐射，那它的视觉外观则几乎没有变化。透明玻璃吸收的可见光非常少，而深色玻璃吸收的可见光相当多。吸收的能量转化为热量，使玻璃升温。因此，当这些有色的“吸热”玻璃暴露在阳光下，它们摸起来会比透明玻璃更热。吸热玻璃通常是灰色、青铜色或蓝绿色的，主要用于降低太阳得热系数和控制眩光，由于阻挡了一部分太阳能，它们有助于减少建筑物中空调设备的冷负荷，但吸热并不是减少冷负荷最有效的方法。关于这点，稍后将继续介绍。

3.8. 玻璃的红外特性（发射率）

当热能或光能被玻璃吸收时，它要么被流动的空气对流走，要么被玻璃表面再辐射出去。材料辐射能量的能力叫做它的辐射率或发射率。门窗幕墙产品，和所有其它家庭用品一样，通常以长波远红外能量的

形式散发或辐射热量，这种辐射热的散发是门窗幕墙产品的重要传热途径之一，因此，减少产品的散热，可以大大提高其保温性能。

对于光谱的长波部分，普通玻璃的发射率 ε 为 0.84，这意味着它散发的能量是物体在其温度下可发射能量的 84%，也就是说，当长波辐射（不考虑透过）照射到玻璃表面时，84% 的辐射被吸收，只有 16% 被反射回去。相比之下，Low-e 涂层的玻璃发射率 ε 可低至 0.04，这种玻璃在其温度下只散发 4% 的能量，剩下 96% 的入射长波红外辐射被反射回去了。

4. 算法概要

4.1. THERM 和 伯克利实验室的 WINDOW 的算法

本章将简要介绍 THERM 和 伯克利实验室的 WINDOW （以下简称 WINDOW） 的计算算法，用户可在 http://windows.lbl.gov/software 上找到与本章引述内容相关且更详细的文档。除本手册的“附录A”外，这两个程序的算法都基于《ISO 15099》。

4.1.1. WINDOW 程序

WINDOW 程序用于计算：

- 玻璃系统的“玻璃中心”性能（“玻璃中心”是指，距离框与玻璃交界点 ≥ 63.5 mm 的区域）
- 面积加权平均后的整体产品性能（用 WINDOW 计算玻璃中心的性能、用 THERM 计算框架、玻璃边缘、窗格和窗格边缘的性能）

WINDOW 的算法说明文档可在 LBNL 的官网上找到https://windows.lbl.gov/software/window

- 《WINDOW 5：程序描述，一款分析门窗幕墙产品热工性能的电脑程序》 R. Mitchell, C. Kohler, D. Arasteh, John Carmody, C. Huizenga, Dragan Curcija, LBNL-44789 DRAFT, 2001年6月;
- 《TARCOG：带或不带遮阳装置的玻璃系统热工性能计算的数学模型和计算机算法》
- 《Conrad 5 & Viewer 5 技术和编程文档》
- 《百叶帘遮阳装置光学特性的计算》
- 《WINDOW 中彩釉玻璃的光学模型》
- 《一种预测复杂门窗幕墙系统太阳得热的新方法，1. 矩阵计算概述与推导》
- 《一种预测复杂门窗幕墙系统太阳得热的新方法，2. 阵阵计算的详细描述》

更多相关文档详询 LBNL 官网：https://windows.lbl.gov/tools/window/documentation

4.1.2. THERM 程序

THERM 程序用于计算：

- 框架和玻璃边缘的性能，将 THERM 的计算结果导入 WINDOW，便能用 WINDOW 计算整体产品的性能。

4.2. WINDOW 的算法

通过门窗幕墙产品的传热是产品的内外温差和入射太阳辐射的函数。为了评估通过特定产品的传热，必须指定其配置和物理尺寸，这包括玻璃性能（可见光，总太阳和红外光学性能，导热系数）、空腔气体（空气或低导热惰性气体）的热学性能、间隔条和框架的特性，以及环境条件。

通过门窗幕墙产品玻璃中心区域的传热主要是一维传热，分析方法是将玻璃系统的截面分拆成节点，并计算各节点之间的传热。在稳态条件下，节点的温度使得进入每个节点的净能量通量与离开每个节点的净能量通量相等。为了实现能量平衡，WINDOW 将用户定义的玻璃系统建模计算为一维稳态热阻网络，如 图4-1 所示，然后用迭代求解方法收敛于正确的温度分布，从这个温度分布，可以计算出任何所需的性能指标。

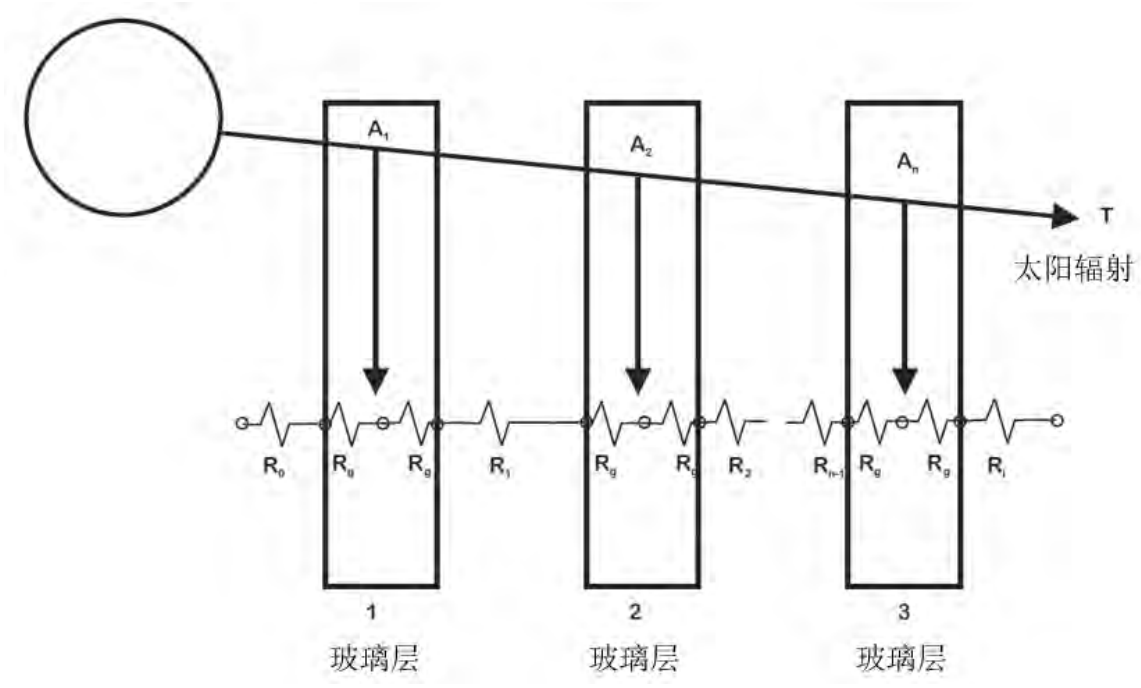


图 4-1：WINDOW程序使用热阻网络的方法，计算玻璃中心的传热

每层玻璃分配两个温度节点（正面和背面），以及室外和室内空气温度节点，每个节点之间的热阻等于辐射传热系数和传导/对流传热系数之和的倒数，根据温度分布计算外表面、内表面和充气空腔的随温度变化的传导、对流和有效辐射传热系数。固体被认为是均匀材料，其内部节点之间的传热系数简单地取决于材料的导热系数。

传导/对流传热系数是根据经验关系计算的。室外空气膜的系数取决于风速和风向。室内空气膜的系数是向内表面温度、室内温度和门窗幕墙产品高度之间差值的函数，空腔的传热系数由经验公式计算努塞尔数（Nusselt Number）。努塞尔数是一个无因次数，它与空腔表面的温差、空腔气体的宽度、高度及其热学特性有关。门窗幕墙产品的倾角，因其与传导/对流的相关性，也被纳入计算条件。

利用表面红外半球发射率和温度，根据斯蒂芬玻尔兹曼（Stephan-Boltzmann）定律计算出各表面的辐射能量通量，辐射节点间的净辐射通量除以相关的温差得到有效辐射传热系数。

门窗幕墙产品的整体 U值 是衡量通过产品传热的指标。在不考虑太阳辐射的情况下，整体 U值 是整体热阻 R值 的倒数。太阳得热系数（SHGC）由于是衡量太阳辐射通过产品的能量转移的指标，它是根据玻璃和框架系统的太阳能/光学特性以及被吸收的太阳能传递到室内来计算的。

为了精确地建模计算带有多个光谱选择性玻璃的玻璃系统（例如，具有不同波长的太阳光学特性的玻璃，或带有多个 Low-e 涂层的玻璃），WINDOW 采用多波段模型。在该模型中，WINDOW 按波长计算单层玻璃或玻璃系统的太阳光透射比和反射比，然后通过适当的加权函数对其属性进行加权，得到总太阳、可见光、热红外特性，以及损伤加权透射比和 0.30 ~ 0.38 微米 之间的透射比。为了建立多波段模型，WINDOW 需要每片玻璃的光谱数据文件，这些数据文件由 LBNL 负责更新和维护，并可从 NFRC 官方渠道获取。如果玻璃系统中的某些单层玻璃没有光谱数据文件，WINDOW 将基于其所陈述的可见光和太阳特性，假设这些玻璃具有平坦的光谱表现。而对于 NFRC 评级产品的热工建模，则必须使用 NFRC 认可的光谱数据文件（在 WINDOW 玻璃库中以“#”符号标示）。

4.3. THERM 的算法

THERM 采用二维传热模型，利用有限元方法进行二维能量控制方程的数值求解。THERM 中门窗幕墙节点模型的几何外形由框架和玻璃两部分构成，其中的玻璃材料由 WINDOW 导入，框架的材料特性则被直接赋予。同时，用户还需要为模型定义适当的边界条件，例如，将暴露在室内和室外空气中的框架表面定义为相应的室内和室外边界条件，框架底面与玻璃顶面被定义为绝热。为了顺利进行数值运算，模型中的所有材料特性和表面边界条件都必须进行相应的定义。

室内和室外表面的边界条件包括对流和辐射两部分。室内侧的对流部分是通过使用与温度相关的表面换热系数，并基于其与自然对流的关联来确定的。每种框架材料类型都有一个恒定的表面对流换热系数。通过使用详细的、基于辐射角系数的辐射模型，辐射部分被明确地建模，该模型假设室内环境温度均匀，且为黑体（发射率 ε = 1.0），每个框架和玻璃表面都分配有合适的发射率，虽然大多数物体表面的发射率为 0.9，但金属如磨光铝的发射率为 0.2。室外侧对流部分被定义为与风速有关的常数。室外侧辐射部分以简化的黑体假设为条件（即，门窗幕墙的每一个室外表面都能 100% 看到室外环境，视野系数 1.0），进行准确建模计算。

玻璃和框架空腔的对流和辐射是通过近似计算的“等效导热系数 —— K_{eff} 值”来表达的，它假设气体是一种等效固体，其导热系数等于气体的基础导热系数，加上对流和辐射对导热系数的增益效果。玻璃的等效导热系数从 WINDOW 导入，而框架空腔的等效导热系数由 THERM 根据几何外形、热流方向、表面发射率和温度自动计算。框架空腔类型有封闭和部分通风（微通风）两种。对于与室外空气接触的空腔，须根据其截面配置和尺寸确定其类型。

数值运算完成后，程序的误差估算模块会进行局部误差估算。根据误差级别对模型中有问题的区域进行再细化，并重新计算整个模型。这一过程会反复进行，直到没有局部区域显示高于规定的误差级别。程序所用的误差估算模块是基于 Zinkiewitz 的误差能量范数方法，《THERM 用户手册》对此进行了详细说明。

关于详细的 THERM 程序计算流程，请参阅位于 https://windows.lbl.gov/software/therm 的最新版《THERM 用户手册》和《Conrad 5 和 Viewer 5 技术和编程文档》。

图 4-2 简要展示了 THERM 程序的计算流程。

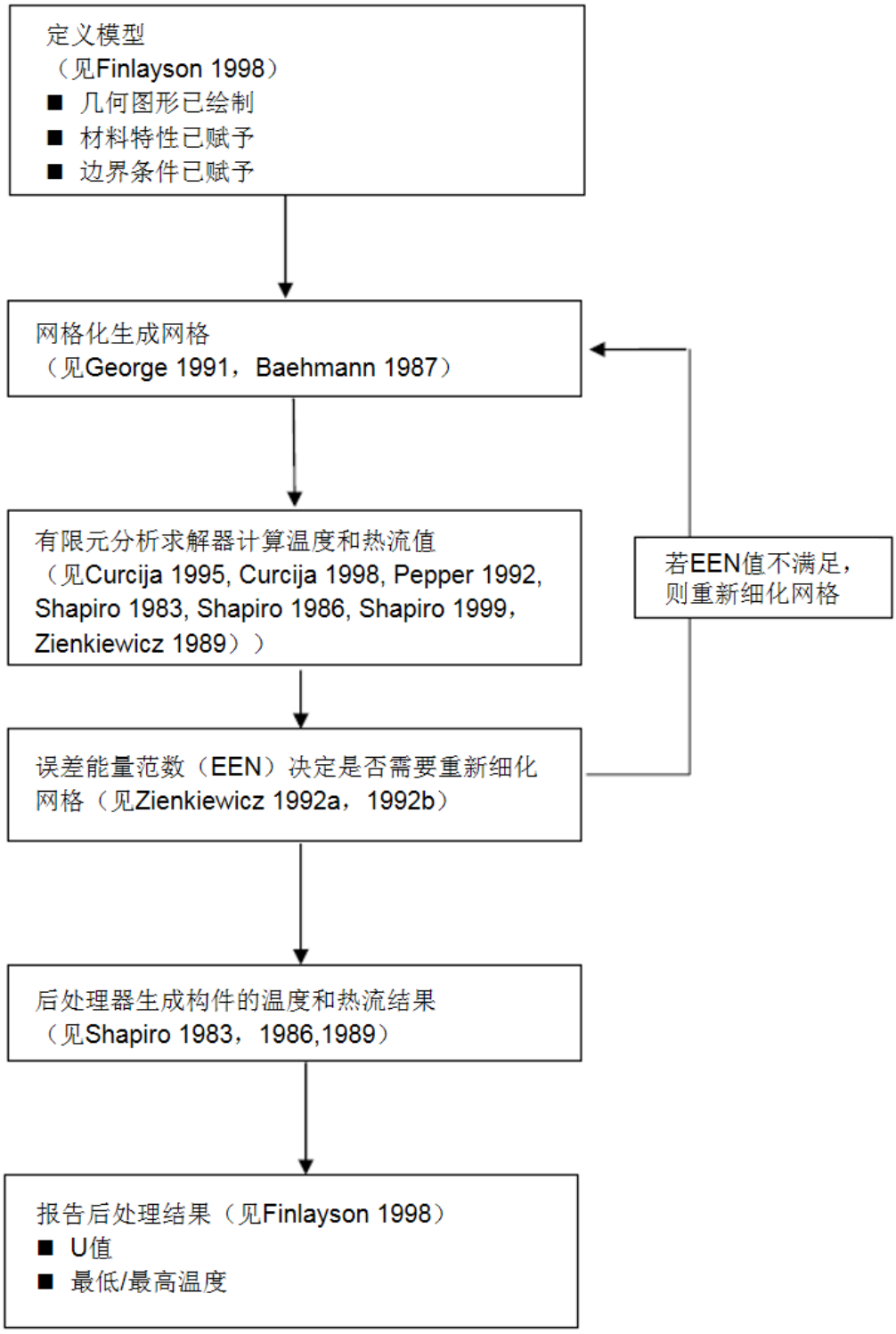


图 4-2：THERM程序的计算流程图

4.4. 整体产品的计算

门窗幕墙产品的整体性能，包括 U值、SHGC 和 VT，是产品各组件性能和面积加权平均的结果，这些组件包括：

- 玻璃系统的玻璃中心
- 框架
- 玻璃边缘
- 窗格
- 窗格边缘

玻璃边缘和窗格边缘的性能值取决于相关玻璃系统的玻璃中心性能值。

整体产品面积加权计算可以使用 WINDOW 或其它（如电子表格等）计算工具，面积加权计算的过程如下：

① 将组件的性能值乘以该组件的面积

② 将性能值乘以面积的加权分量进行总求和

③ 将上述数值的总和除以产品的总投影面积

在进行整体产品的面积加权计算时，应按照产品类型（固定式、铰链式、提拉式、推拉式）确定需要参与计算的组件（顶横梁、底横梁、边立柱和中立柱）。

4.4.1. 传热系数（U值）

根据《ANSI / NFRC 100：确定门窗幕墙产品热工性能的方法》的 第4.6.3节，整体产品的传热系数（U值）采用面积加权方法进行计算，具体 [公式4-1] 如下：

$$U_t = \frac{\left[\sum (U_f * A_f) + \sum (U_d * A_d) + \sum (U_e * A_e) + \sum (U_{de} * A_{de}) + \sum (U_c * A_c)\right]}{A_{pf}} \quad \text{…… [4-1]}$$

式中：

U_t，整体产品的 U值，W/(m² • K)， Btu/(hr • ft² • °F)

A_{pf}，产品的投影面积，m²，ft²

U_f，框架的 U值，W/(m² • K)，Btu/(hr • ft² • °F)

A_f，框架的面积，m²，ft²

U_d，窗格的 U值，W/(m² • K)，Btu/(hr • ft² • °F)

A_d，窗格的面积，m²，ft²

U_e，玻璃边缘的 U值，W/(m² • K)，Btu/(hr • ft² • °F)

A_e，玻璃边缘的面积，m^2，ft^2

U_{de}，窗格的边缘 U值，$W/(m^2 \cdot K)$，$Btu/(hr \cdot ft^2 \cdot {}^oF)$

A_{de}，窗格的边缘面积，m^2，ft^2

U_c，玻璃中心的 U值，$W/(m^2 \cdot K)$，$Btu/(hr \cdot ft^2 \cdot {}^oF)$

A_c，玻璃中心的面积，m^2，ft^2

4.4.2. 太阳得热系数（SHGC）

总太阳得热系数（SHGC）是门窗幕墙产品中透明和非透明组件的面积加权平均值，它是太阳能总透射比、太阳吸收比和流向室内热能部分的函数，产品各组件的 SHGC 须分别计算，详细算法见《ISO 15099》。

对于 NFRC 评级产品，SHGC值 的计算方法应遵照《ANSI / NFRC 200》 第4.7节 的规定。所有透明部位（包括玻璃中心、玻璃边缘和窗格边缘）的 SHGC 相等。只要确定非透明组件的 SHGC，就能根据透明和非透明部位进行 SHGC 的面积加权，计算得到门窗幕墙产品的总 SHGC值，[公式4-2] 如下：

$$SHGC_t = \frac{\left[(SHGC_f * A_f) + (SHGC_d * A_d) + (SHGC_e * A_e) + (SHGC_{de} * A_{de}) + (SHGC_c * A_c)\right]}{A_{pf}}$$

…… [4-2]

式中：

$SHGC_t$，整体产品的 SHGC，无量纲

A_{pf}，产品的投影面积，m^2，ft^2

$SHGC_f$，框架的 SHGC，无量纲

A_f，框架的面积，m^2，ft^2

$SHGC_d$，窗格的 SHGC，无量纲

A_d，窗格的面积，m^2，ft^2

$SHGC_e$，玻璃边缘的 SHGC，无量纲

A_e，玻璃边缘的面积，m^2，ft^2

$SHGC_{de}$，窗格边缘的 SHGC，无量纲

A_{de}，窗格边缘的面积，m^2，ft^2

$SHGC_c$，玻璃中心的 SHGC，无量纲

A_c，玻璃中心的面积，m^2，ft^2

4.4.3. 可见光透射比（VT）

对于 NFRC 评级产品，VT值 的计算方法应遵照《ANSI / NFRC 200》 第4.7节 的规定。整体产品的可见光透射比（VT）采用面积加权方式进行计算，[公式4-3] 如下：

$$VT_t = \frac{\left[(VT_f * A_f) + (VT_d * A_d) + (VT_e * A_e) + (VT_{de} * A_{de}) + (VT_c * A_c)\right]}{A_{pf}} \quad \text{…… [4-3]}$$

式中：

VT_t，整体产品的 VT，无量纲

A_{pf}，产品的投影面积，m^2，ft^2

VT_f，框架的 VT，无量纲

A_f，框架的面积，m^2，ft^2

VT_d，窗格的 VT，无量纲

A_d，窗格的面积，m^2，ft^2

VT_e，玻璃边缘的 VT，无量纲

A_e，玻璃边缘的面积，m^2，ft^2

VT_{de}，窗格边缘的 VT，无量纲

A_{de}，窗格边缘的面积，m^2，ft^2

VT_c，玻璃中心的 VT，无量纲

A_c，玻璃中心的面积，m^2，ft^2

非透明组件（包括所有框架和窗格）的可见光透射比（VT_f , VT_d）为零。此外，根据《ANSI / NFRC 200》的规定，玻璃中心、玻璃边缘和窗格边缘的可见光透射比相等，即 $VT_c = VT_e = VT_{de}$。

4.4.4. 抗结露（CR）

整体产品的抗结露（CR）可通过两种方法确定。在现有的抗结露（CR）评级被废止之前，抗结露（CR）评级将与新的结露指数（CI）评级共存一段时间。当今后抗结露（CR）评级被正式废止时，结露指数（CI）评级将作为唯一的 NFRC 评级体系。

这两种方法都使用玻璃边缘和框架的室内表面温度的计算结果。在进行抗结露（CR）计算时，需要遵照《NFRC 500-2017: 门窗幕墙产品抗结露值的确定方法》，使用伯克利实验室的 WINDOW 进行计算；而新的结露指数（CI）评级则不使用 WINDOW 进行结露指数（CI），而是使用 NFRC 官方的“结露指数（CI）温度读取工具软件”，并配合专有的电子表格进行计算。计算结露指数标（CI）时，必须遵照《ANSI/NFRC 500: 门窗幕墙产品结露指数（CI）评级的确定方法》，并使用产品框架、玻璃边缘、玻璃中心的最低温度，前二者出自 THERM 截面模型，后者出自 WINDOW。

由于室内表面温度的空间分布对于抗结露值的计算至关重要，而玻璃空腔的等效导热系数模型虽然能产生足够精确的平均结果，却不能产生足够精确的局部结果，因此计算玻璃空腔时使用了不同的表面对流

换热系数，而非等效导热系数。详细方法已经在《Conrad 5 和 Viewer 5 技术和编程文档》中给出（Curcija 2006年著）。

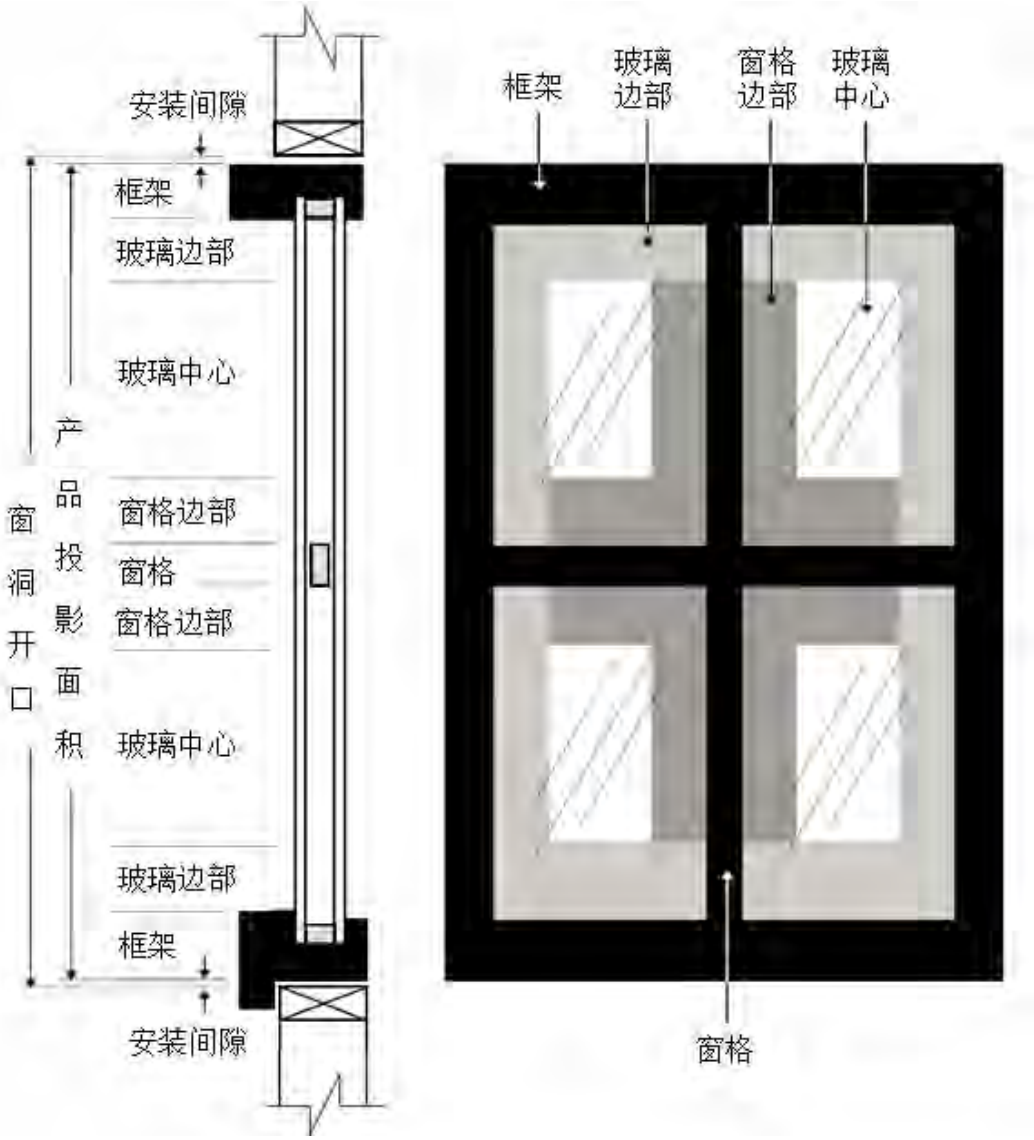


图 4-3：产品组件的定义
左图是产品的剖面，右图是产品的立面

下图摘自《ANSI / NFRC 100》标准文件，详细说明了参与面积加权计算中产品各个组件的定义。WINDOW 具有整体产品面积加权的计算功能。

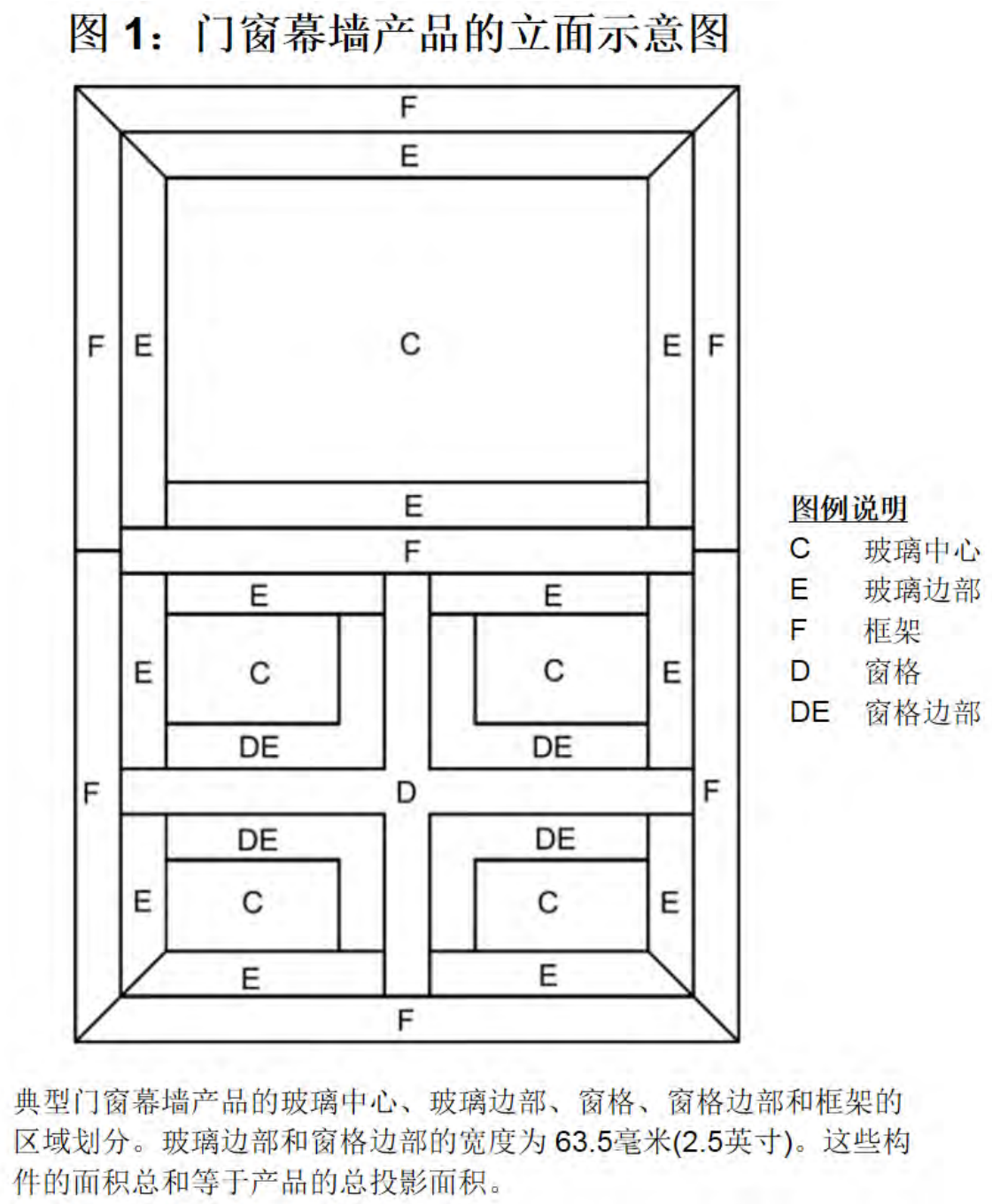


图 4-4：参与整体产品面积加权的组件在立面上的位置

5. 使用 WINDOW 建模玻璃中心

5.1. 概述

WINDOW 可用于计算“玻璃中心性能”，这些性能包括：U值（U_c），太阳得热系数（$SHGC_c$），可见光透射比（VT_c）和抗结露（CR），计算过程遵照下列标准文件：

- 《ANSI / NFRC 100：确定门窗幕墙产品热工性能的方法》
- 《ANSI / NFRC 200：确定门窗幕墙产品在标准太阳入射角下的太阳得热系数的方法》
- 《NFRC 300：确定简单门窗幕墙产品太阳光学特性的方法》
- 《NFRC 500：确定门窗幕墙产品的抗结露值的方法》
- 《ANSI/NFRC 500：确定门窗幕墙产品的结露指数评级的方法》
- 《ISO 15099：门窗和遮阳设备的热工性能——详细计算》

建议用户在阅读本手册之前，从 LBNL 官网 https://windows.lbl.gov/tools/window/documentation 的《WINDOW 用户手册》中，对“如何使用 WINDOW”的内容加以了解。

对于 NFRC 认证模拟，在 WINDOW 软件中计算玻璃中心 U 值的设置和程序如下：

- 为了在 WINDOW 软件中得出合理的结果，在 Preferences（首选项） 中正确设置这些数值非常重要。设置应如下所示：

Thermal Calc（热工计算） 选项卡

- Calculation standard（计算标准）：ISO 15099
- Integral Model（集成模型）：ISO 15099

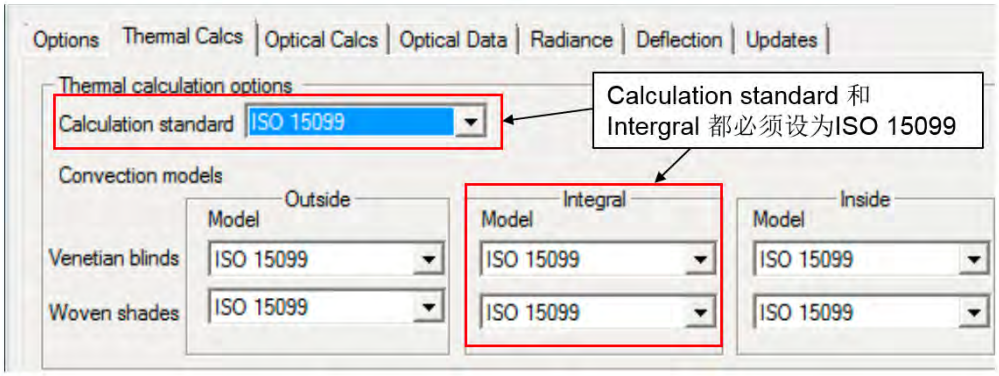


图 5-1：WINDOW程序 Preferences > Thermal Calcs 的正确设置

Optical Calc（光学计算）选项卡

- Use matrix method for specular systems (glazing systems without shading devices)（对于镜面系统使用矩阵方法，无遮阳设备的玻璃系统）：不勾选
- Write CSV output file（写入CSV输出文件）：不勾选。在未勾选此选项的情况下，默认情况下“写入 XML BSDF 输出”将连同“生成太阳波段和可见光波段的完全光谱平均矩阵”一起呈灰色显示，无法选择。
- Spectral data（光谱数据）：Full spectral data (全光谱数据)
- Number of visible bands（可见波段数）：5
- Number of IR bands（红外波段数）：10
- Angular basis（角度基础）：W6 half-size (半尺寸)
- Solar/Visible range（太阳/可见光范围）：Directional diffuse（定向散射）
- FIR Range（远红外范围）：Directional diffuse（定向散射）
- # of segments（分组）：5

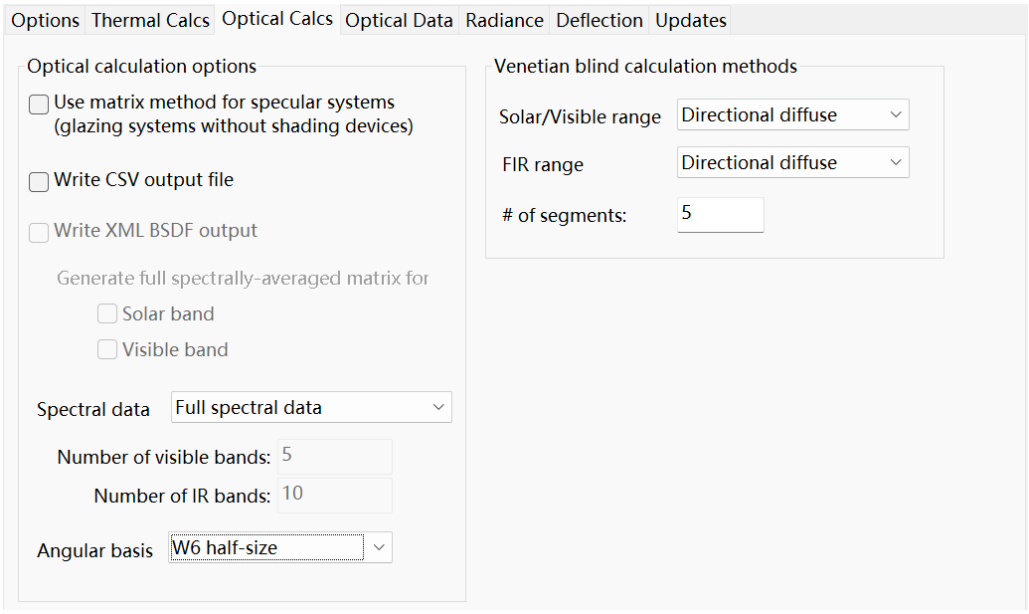


图 5-2：WINDOW程序 Preferences > Optical Calcs 的正确设置

Options (选项) 选项卡

- **Use Nominal Heights (使用名义高度)**：不勾选
- **Default Frame Absorptance (默认框吸收率):** 不会影响玻璃系统的建模，但会影响整窗的 SHGC，因此必须注意：除玻璃幕墙系统设为 0.5 外，其余所有产品均应为 0.3。

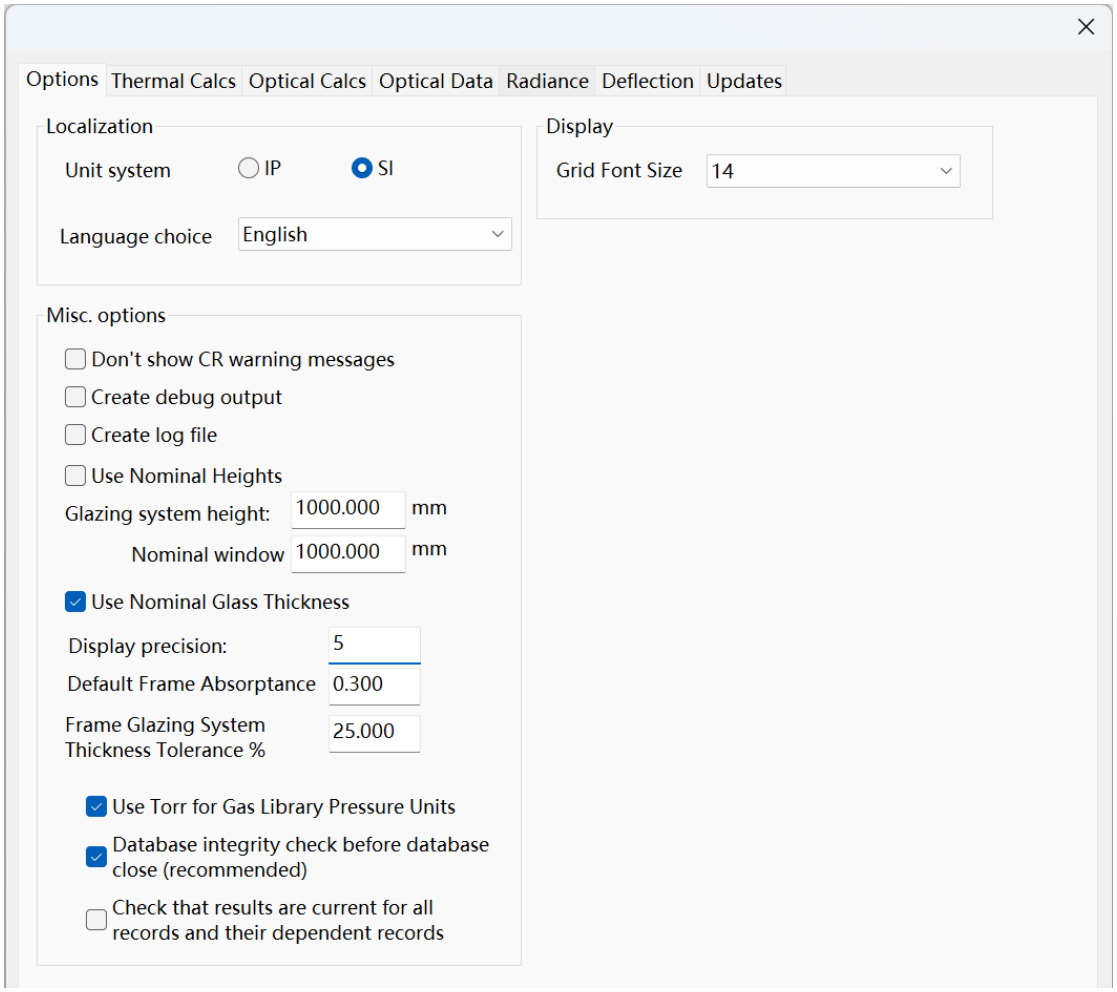


图 5-3：WINDOW程序 Preferences > Options 的正确设置

- 确认 Glass Library (玻璃库) 中的条目是否来自当前获批的、与 Optics 软件关联的 IGDB（国际玻璃数据库）。LBNL 的官网包含 IGDB 更新文件，网站链接如下：https://windows.lbl.gov/igdb-downloads
- 为要建模的产品创建一个 Glazing System（玻璃系统），该玻璃系统由 Glass Library (玻璃库) 和 Gas Library (气体库) 中的条目组成。
- 然后，将此玻璃系统导入 THERM 程序，以计算框和玻璃边缘的 U值。
- 在 Window Library（窗库）中构建整个产品时，WINDOW 程序同样会使用该玻璃系统。

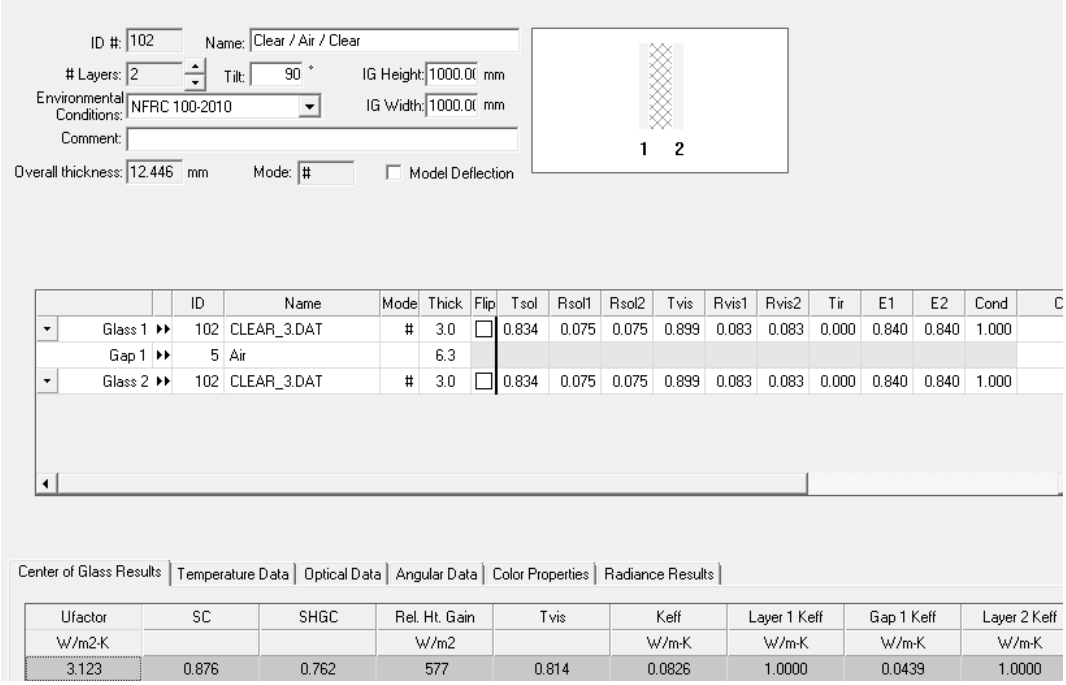


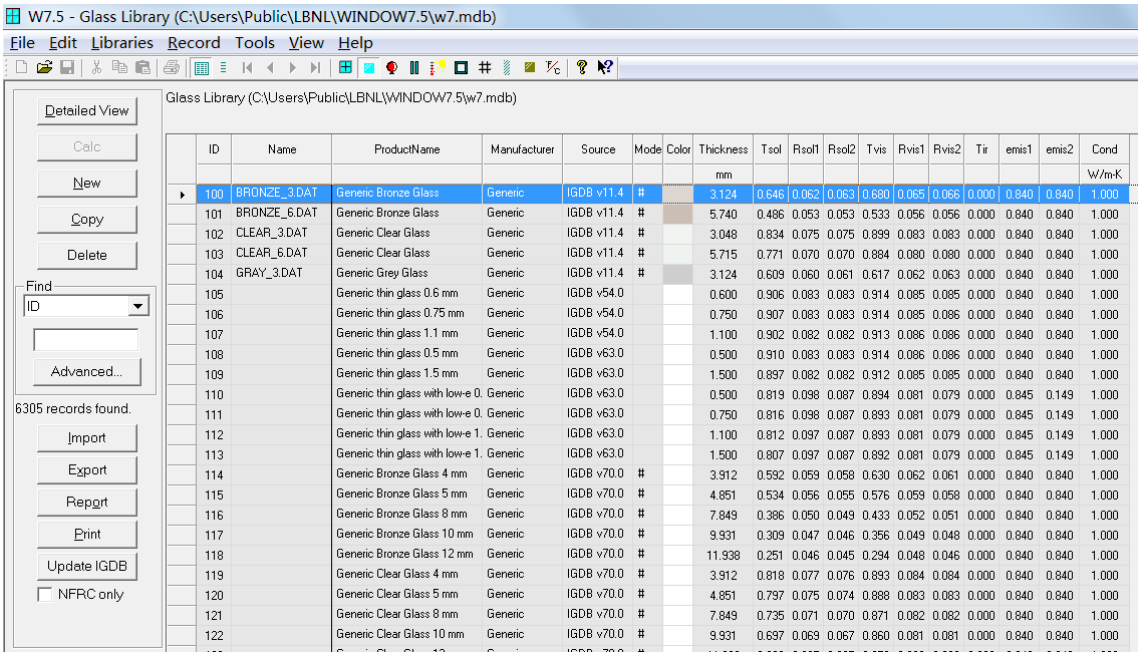
图 5-4：WINDOW程序 Glazing System的详情页面

5.2. 玻璃库

Glass Library (玻璃库) 包含可用于构建 Glazing System（玻璃系统）的单层玻璃。对于 NFRC 认证模拟，必须使用来自 IGDB（国际玻璃数据库）中经 NFRC 批准的玻璃。WINDOW 软件会安装当前的 IGDB，但 IGDB 数据库会经常更新，因此请查看第 5.1 节中提到的网站以获取更新。IGDB 的数据是根据《NFRC 300》标准确定的。当使用经 NFRC 批准的玻璃数据时，Glass Library（玻璃库）（如图 5-5 所示）和 Glazing System（玻璃系统）（如图 5-4 所示）的 模式 (Mode) 字段中都会出现 “**#**” 井号。所有认证模拟都必须使用最新的、经 NFRC 批准的 IGDB。

从 IGDB 导入的玻璃库包含特定制造商的玻璃产品，以及一些不带涂层的通用型产品，制造商名称被设置为 Generic（通用的）。这些通用型产品的性能参数并非出自任何特定的玻璃产品，而是采用至少两个样品光谱数据的平均值。

有关如何在 Optics 程序中创建夹层玻璃和贴膜，并将其导入 WINDOW程序 Glass Library (玻璃库) 的说明，请参阅第 8 节。



ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	Cond
							mm										W/m-K
100	BRONZE_3.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.646	0.062	0.063	0.680	0.065	0.066	0.000	0.840	0.840	1.000
101	BRONZE_6.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.740	0.486	0.053	0.053	0.533	0.056	0.056	0.000	0.840	0.840	1.000
102	CLEAR_3.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.048	0.834	0.075	0.075	0.899	0.083	0.083	0.000	0.840	0.840	1.000
103	CLEAR_6.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.715	0.771	0.070	0.070	0.884	0.080	0.080	0.000	0.840	0.840	1.000
104	GRAY_3.DAT	Generic Grey Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.609	0.060	0.061	0.617	0.062	0.063	0.000	0.840	0.840	1.000
105		Generic thin glass 0.6 mm	Generic	IGDB v54.0			0.600	0.906	0.083	0.083	0.914	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000
106		Generic thin glass 0.75 mm	Generic	IGDB v54.0			0.750	0.907	0.083	0.083	0.914	0.085	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
107		Generic thin glass 1.1 mm	Generic	IGDB v54.0			1.100	0.902	0.082	0.082	0.913	0.086	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
108		Generic thin glass 0.5 mm	Generic	IGDB v63.0			0.500	0.910	0.083	0.083	0.914	0.086	0.086	0.000	0.840	0.840	1.000
109		Generic thin glass 1.5 mm	Generic	IGDB v63.0			1.500	0.897	0.082	0.082	0.912	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000
110		Generic thin glass with low-e 0.	Generic	IGDB v63.0			0.500	0.819	0.098	0.087	0.894	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
111		Generic thin glass with low-e 0.	Generic	IGDB v63.0			0.750	0.816	0.098	0.087	0.893	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
112		Generic thin glass with low-e 1.	Generic	IGDB v63.0			1.100	0.812	0.097	0.087	0.893	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
113		Generic thin glass with low-e 1.	Generic	IGDB v63.0			1.500	0.807	0.097	0.087	0.892	0.081	0.079	0.000	0.845	0.149	1.000
114		Generic Bronze Glass 4 mm	Generic	IGDB v70.0	#		3.912	0.592	0.059	0.058	0.630	0.062	0.061	0.000	0.840	0.840	1.000
115		Generic Bronze Glass 5 mm	Generic	IGDB v70.0	#		4.851	0.534	0.056	0.055	0.576	0.059	0.058	0.000	0.840	0.840	1.000
116		Generic Bronze Glass 8 mm	Generic	IGDB v70.0	#		7.849	0.386	0.050	0.049	0.433	0.052	0.051	0.000	0.840	0.840	1.000
117		Generic Bronze Glass 10 mm	Generic	IGDB v70.0	#		9.931	0.309	0.047	0.046	0.356	0.049	0.048	0.000	0.840	0.840	1.000
118		Generic Bronze Glass 12 mm	Generic	IGDB v70.0	#		11.938	0.251	0.046	0.045	0.294	0.048	0.046	0.000	0.840	0.840	1.000
119		Generic Clear Glass 4 mm	Generic	IGDB v70.0	#		3.912	0.818	0.077	0.076	0.893	0.084	0.084	0.000	0.840	0.840	1.000
120		Generic Clear Glass 5 mm	Generic	IGDB v70.0	#		4.851	0.797	0.075	0.074	0.888	0.083	0.083	0.000	0.840	0.840	1.000
121		Generic Clear Glass 8 mm	Generic	IGDB v70.0	#		7.849	0.735	0.071	0.070	0.871	0.082	0.082	0.000	0.840	0.840	1.000
122		Generic Clear Glass 10 mm	Generic	IGDB v70.0	#		9.931	0.697	0.069	0.067	0.860	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000

图 5-5：WINDOW程序的 Glass Library

在上图的左侧菜单中，特别需要注意的是 NFRC only 复选框；如果勾选该项，则仅显示 模式 (Mode) 列中带有“#”的记录，这些是已获 NFRC 认证可用于模拟的记录。

点击 Detailed View 可查看当前被选中 Glass Layer（玻璃层）的所有特性，每条记录的属性如下：

- ID：每个玻璃层都有独一无二的编号。对于从 OPTICS 导入的记录，该编号使用 IGDB 中的“NFRC ID”。对于自定义的记录，则由 WINDOW 自动分配编号，用户也可变更编号，但要确保修改后的编号是唯一的。
- Name：玻璃层的名称。对于从 IGDB 导入的记录，该名称会被自动赋予。
- Product Name：产品名称，出自 IGDB。
- Manufacturer：玻璃制造商的名称。对于从 IGDB 导入的记录，该名称会被自动赋予。
- Source：玻璃层记录的来源，分以下两种情况：
  - ✧ IGDB +（版本号）：说明是从 IGDB 导入的数据，并带有版本号，如 v11.4。这些玻璃的光谱数据信息全部来自 IGDB。
  - ✧ User：说明是用户新建的记录，这些自定义记录是没有完整光谱数据的。
- Mode：玻璃层是否得到 NFRC 批准的标识。除了从 OPTICS 6 的用户数据库导入的夹层玻璃和应用膜外，只有在该栏带“#”的记录才可用于 NFRC 认证建模，请参阅 第8章。
- Color：图片代表玻璃层的颜色。
- Thickness：玻璃层的厚度，单位：mm（公制），英寸（英制）
- Tsol：玻璃层的太阳透射比。

- Rsol1：玻璃层室外面的太阳反射比。
- Rsol2：玻璃层室内面的太阳反射比。
- Tvis：玻璃层的可见光透射比。
- Rvis1：玻璃层室外面的可见光反射比。
- Rvis2：玻璃层室内面的可见光反射比。
- Tir：玻璃层对热红外（长波）的透射比。
- emis1：玻璃层室外面的红外（长波）发射率
- emis2：玻璃层室内面的红外（长波）发射率

5.2.1. 从 IGDB 更新玻璃库

IGDB 的更新文件定期发布在 LBNL 官网上：https://windows.lbl.gov/software/igdb ，更新频率大约是每三个月一次，当收到更新通知后，建议尽快到 WINDOW 的玻璃库中进行更新，详细的操作步骤也可在上述网站找到。

5.3. 遮阳层库与遮阳材料库

Shading Layer Library (遮阳层库) 和 Shading Material Library (遮阳材料库) 共同构成了 CGDB (复杂玻璃数据库)。Shading Layer Library (遮阳层库) 包含单个威尼斯式遮阳帘或漫射玻璃（即烧结或蚀刻玻璃层、漫射中间层和漫射贴膜）。遮阳层的光学属性位于 Shading Material Library (遮阳材料库) 中，该库不用于构建玻璃系统，但计算玻璃中心系统数值需要这些记录。对于 NFRC 认证模拟，必须使用 CGDB中经 NFRC 批准的复杂遮阳层，它们在“认证 (Certification)”列（如图5-213 所示）和玻璃系统库（如 图5-1 所示）中通过出现的“#”符号来表示。

有关如何创建带有威尼斯遮阳帘或编织遮阳帘的玻璃系统的说明，请参阅第 8.14 节；有关漫射玻璃的说明，请参阅第 8.18 节。

5.3.1. 从 CGDB 更新和/或添加遮阳层与遮阳材料

CGDB (复杂玻璃数据库) 由 LBNL 大约每三个月更新一次，更新文件可在 LBNL 官网上获取，网址：https://windows.lbl.gov/software/cgdb 上述网站上有关于如何进行此更新的详细说明，但需要了解的是，每个版本的 WINDOW 软件都有对应版本的数据库。这些数据库基本上就是仅包含复杂玻璃记录的 WINDOW 数据库，因此产品可以轻松导入任何 WINDOW 数据库（注意软件版本的兼容性）。例如：WINDOW 7 CGDB 数据库的名称可能是“W7_8-CGDB-37_0-AllRecords”。

默认情况下，CGDB 将安装在您计算机的以下路径：C:\Users\Public\LBNL\LBNL Shared。

要从 CGDB 导入记录，请务必注意：应在相应库的 List View (列表视图) 中导入遮阳层或遮阳材料，以便找到并添加正确的记录。如果您尝试在遮阳材料库中导入威尼斯遮阳帘叶片，则只会导入叶片的光学属性，而不会导入玻璃系统所需的详细威尼斯遮阳帘特征（例如倾斜角或升起高度等）。

如按 ANSI/NFRC 100 和 ANSI/NFRC 200 使用默认的威尼斯遮阳帘叶片，则需要在遮阳材料库中创建一个具有特定默认光学属性的条目。请参见 图5-6 ，图5-7。

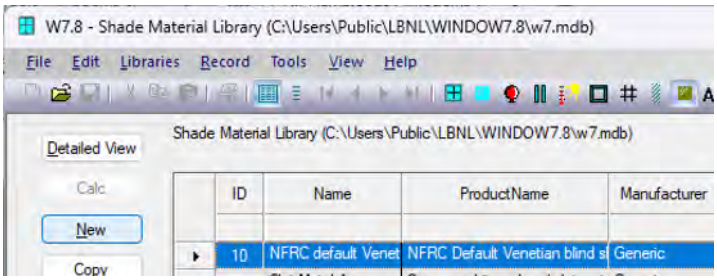


图 5-6：在Shading Material Library中点击 New，为默认的百叶叶片创建一个新条目

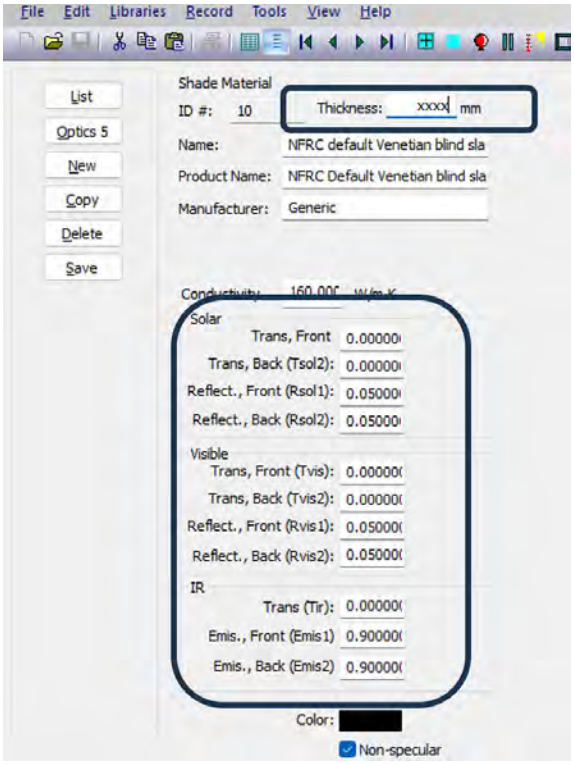


图 5-7：定义默认百叶叶片的参数

建模师只需更改叶片厚度（见图 5-7 中圈出的 xxxx），该值因叶片类型的不同而不同。所有其他条目均保持默认值，包括勾选 Non-specular(非镜面)。

以下是将遮阳层导入 Shading Layer Library (遮阳层库) 的步骤，导入时，该遮阳层的光学特性也将自动添加到 Shading Material Library (遮阳材料库) 中：

1. Shading Layer Library (遮阳层库)：将复杂玻璃从 CGDB 导入遮阳层库。

在遮阳层库的 List View (列表视图) 中，点击 Import (导入) 并 Browse (浏览) 至 CGCB 数据库。

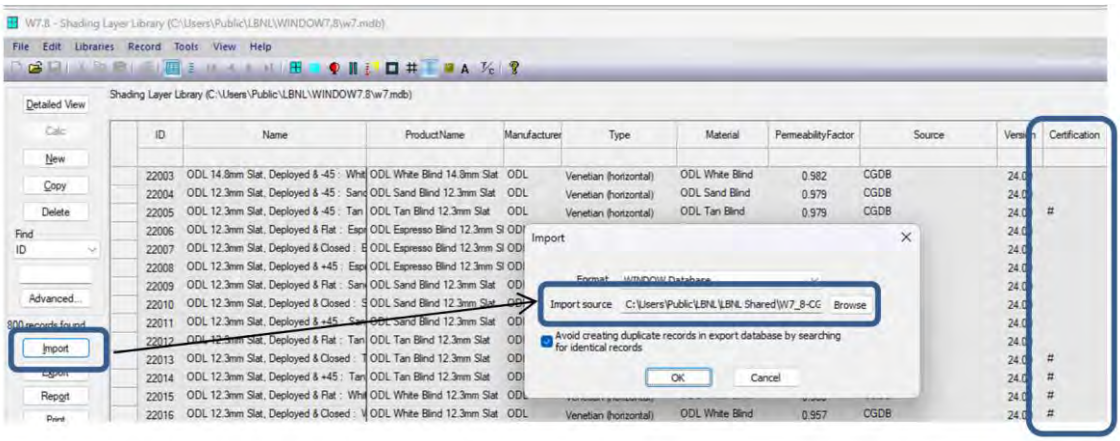


图 5-213. Browse至CGDB 数据库，将复杂玻璃条目导入 Shading Layer Library

当出现对话框时，选中要导入的记录并点击 Select (选择)，或点击 Select All (全选) 导入所有记录。只有带“#”标识（即 NFRC 认可）的遮阳层才能用于产品认证。

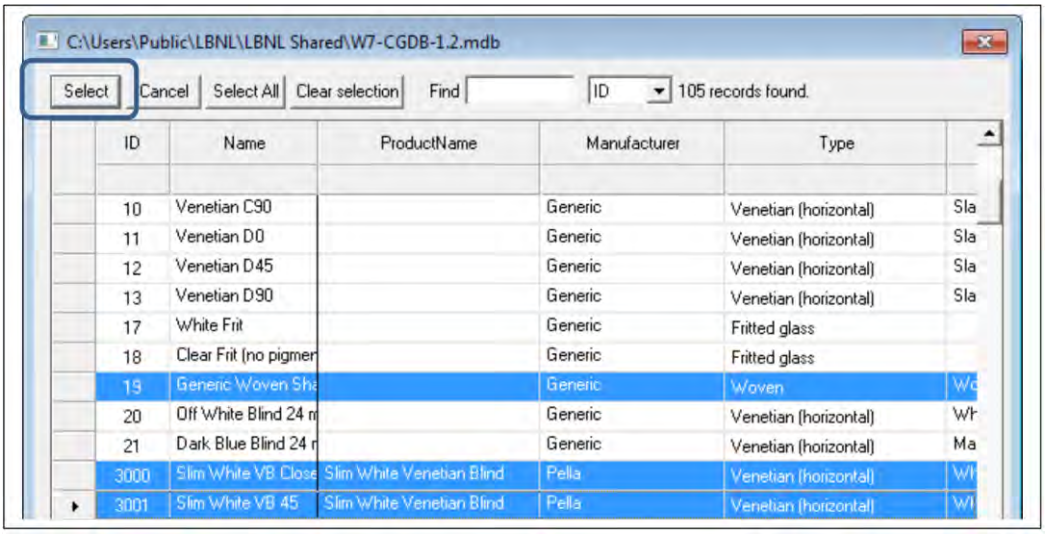


图 5-8：选择要导入Shading Layer Library的条目

所选条目将被导入 Shading Layer Library (遮阳层库)，且该条目的所有相关光学特性也将被添加到 Shading Material Library (遮阳材料库) 中（如适用）。

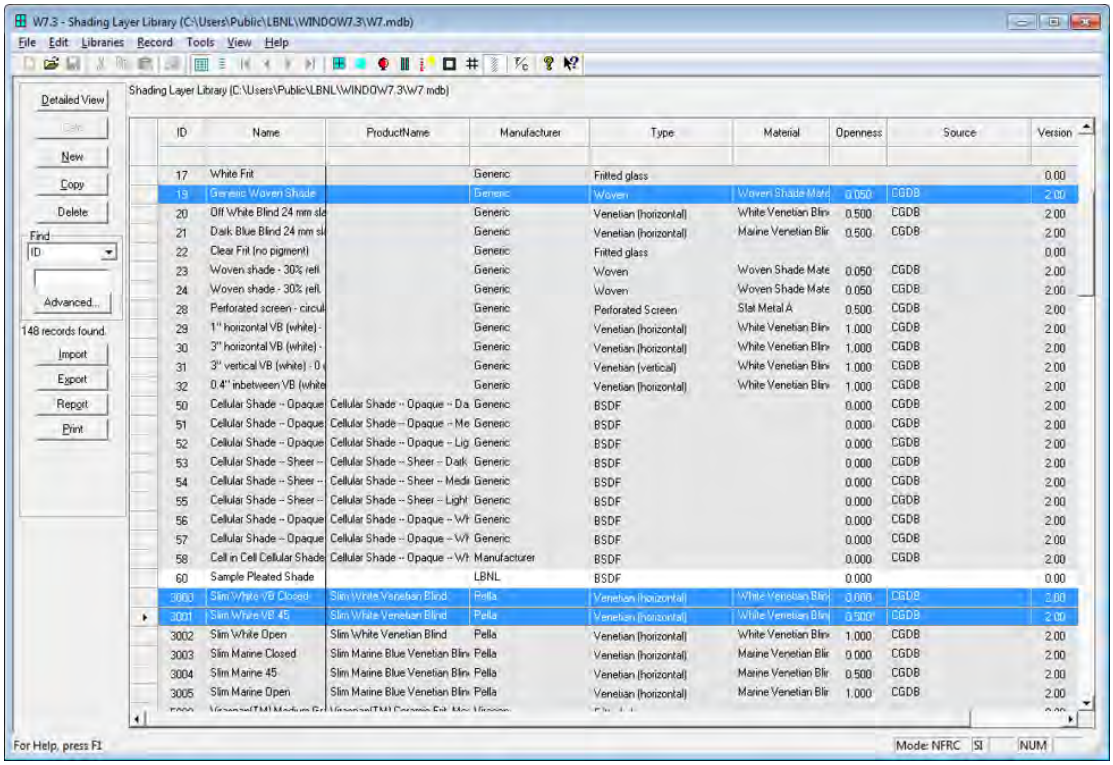


图 5-9：所选条目已导入Shading Layer Library

5.4. 玻璃系统库——玻璃中心 U值

玻璃中心 U值 是在 WINDOW程序 的 Glazing System Library（玻璃系统库） 中确定的。玻璃系统是通过从 Glass Library (玻璃库) 中指定玻璃层，以及层与层之间的气体填充材料（如空气或氩气）来创建的。如本手册第8节所述，遮阳系统可以通过玻璃系统来进行建模。有关创建玻璃系统的详细说明，请参阅《WINDOW 5.0用户手册》。图5-10 展示了一个简单的玻璃系统库条目。

定义玻璃系统时，必须指定 # Lay (玻璃层数)、Tilt (倾角) 和 Environmental Conditions (环境条件)。对于 NFRC 认证计算，环境条件具有受限的取值，这将在下一节中讨论。此外，玻璃层必须来自 Glass Library (玻璃库)，并使用来自 IGDB (国际玻璃数据库) 的获批记录，且玻璃层的 Mode (模式) 必须带“#”（图5-10）。

注：要查看保留四位小数的U值，请点击 File (文件) > Preferences (首选项)，在 Options (选项) 中，将 Display Precision (显示精度) 设为“4”。

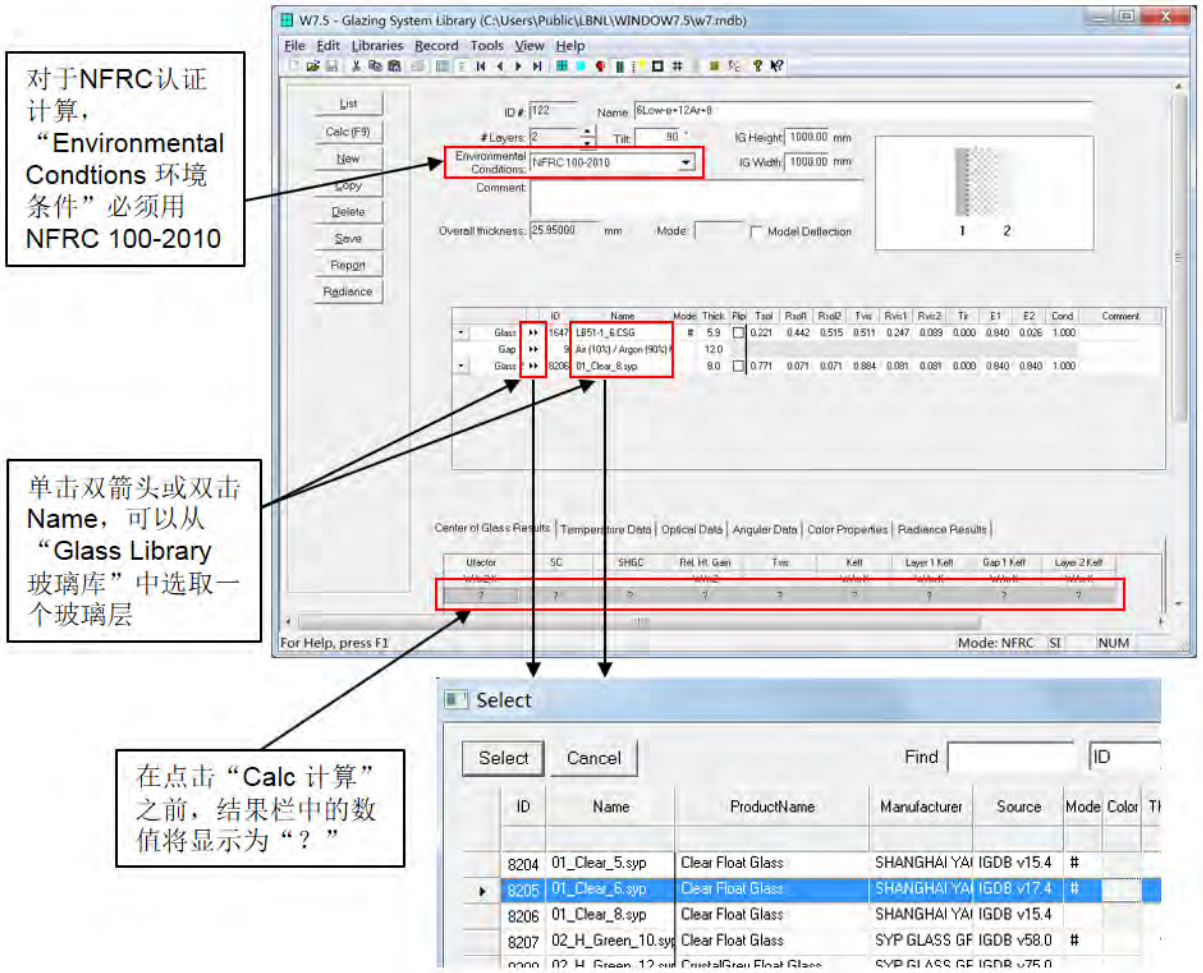


图 5-10：在Glazing System Library中选择Glass Layer

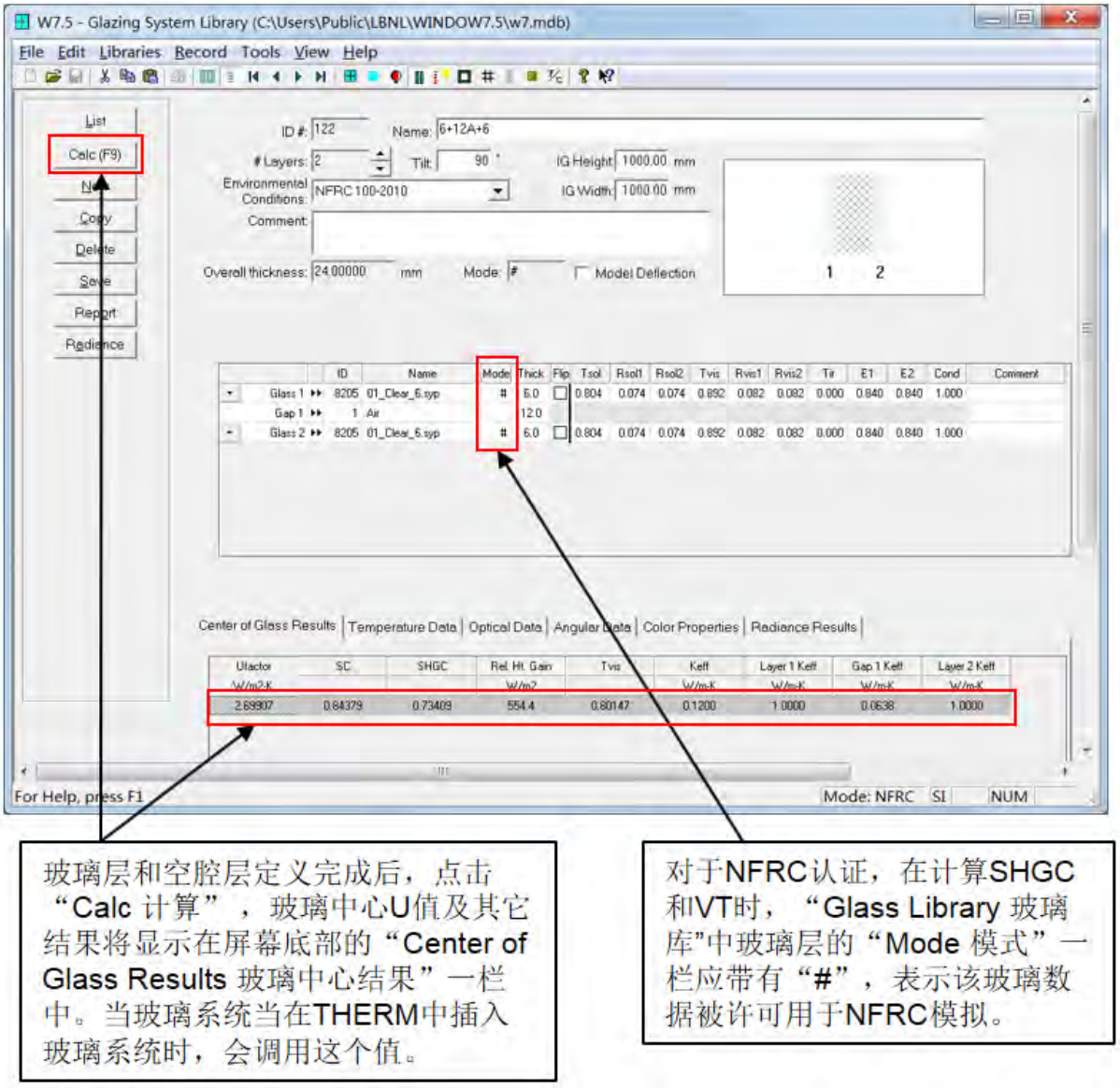


图 5-11：在Glazing System Library中计算结果

如上图所示，Glazing System（玻璃系统）的性能参数将显示在屏幕底部的 Center of Glass Results（玻璃中心的计算结果）栏中。计算玻璃中心 U值 时，是以 Glazing System（玻璃系统）的默认高度为 1米（1000 mm）作为条件的，而当使用 Window Library（窗库）计算整体产品 U值 时，程序将根据产品的实际高度重新计算玻璃中心 U值。本手册“第7章：使用 WINDOW 计算整体产品”将对此详细说明。

玻璃系统库中的所有记录都可通过点击 List，以列表方式展示。

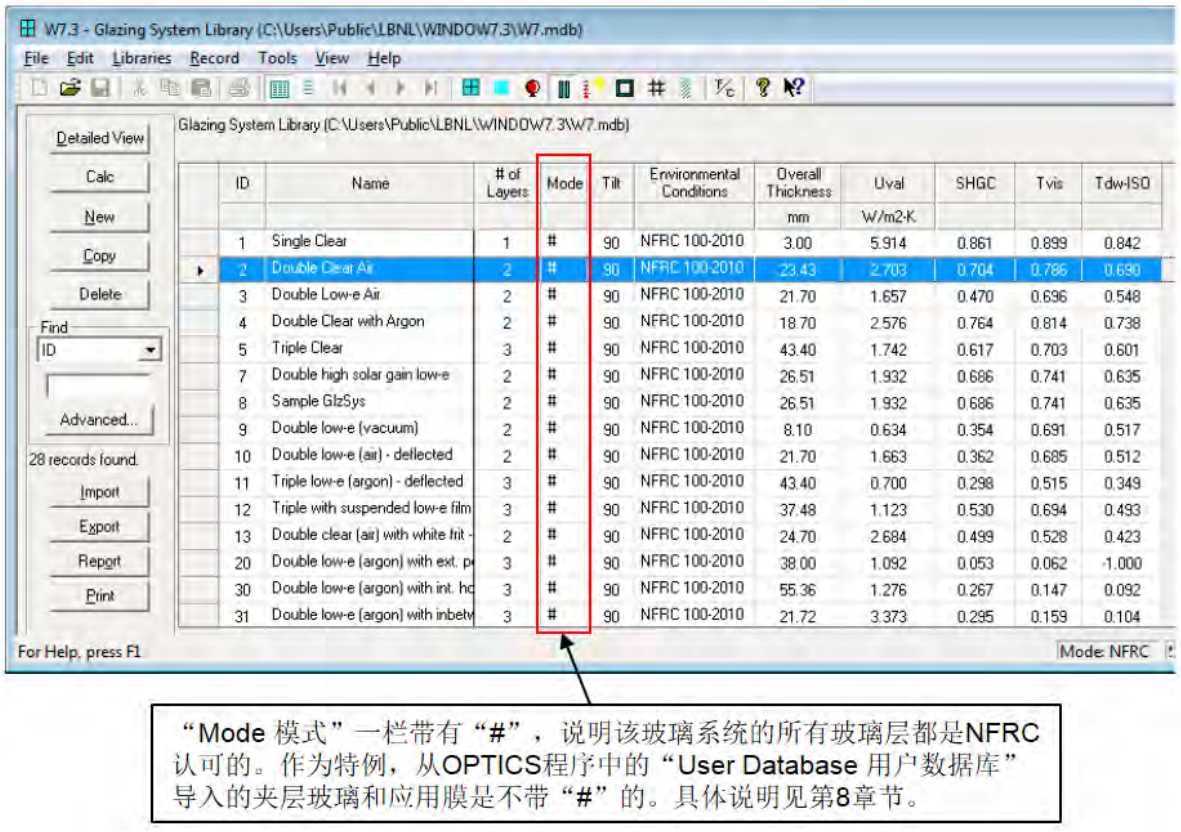


图 5-12：列表展示WINDOW Glazing System Library

5.4.1. 环境条件库

Environmental Conditions Library（环境条件库）中有预设的 Environmental Conditions（环境条件）。对于 NFRC 认证建模，Environmental Conditions（环境条件）必须设为 NFRC 100-2010，《ANSI / NFRC 100》标准文件对该条件的具体参数进行了规定。

图5-13 显示了 Environmental Conditions Library（环境条件库）中的 NFRC 100-2010 条件。

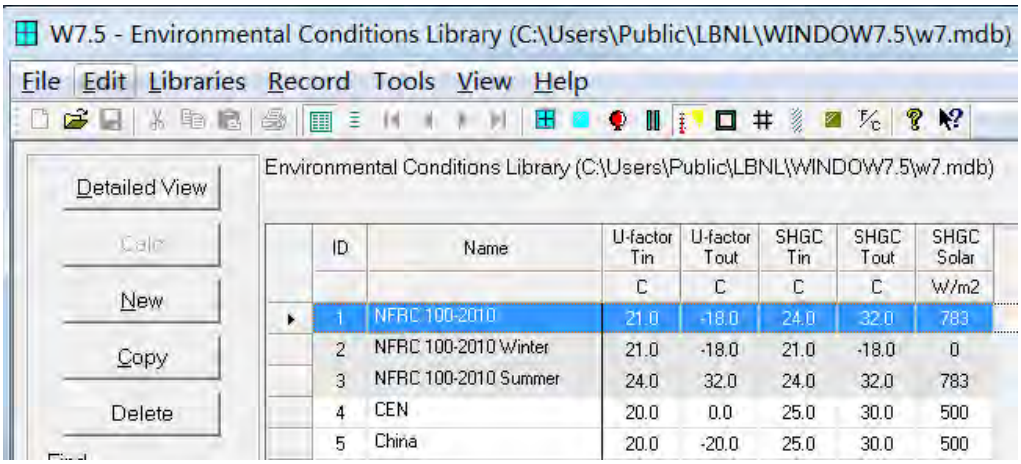


图 5-13：WINDOW Environmental Conditions Library

图5-14 和 表5-1 列出了 NFRC U值 计算所用的 NFRC 100-2010 参数。

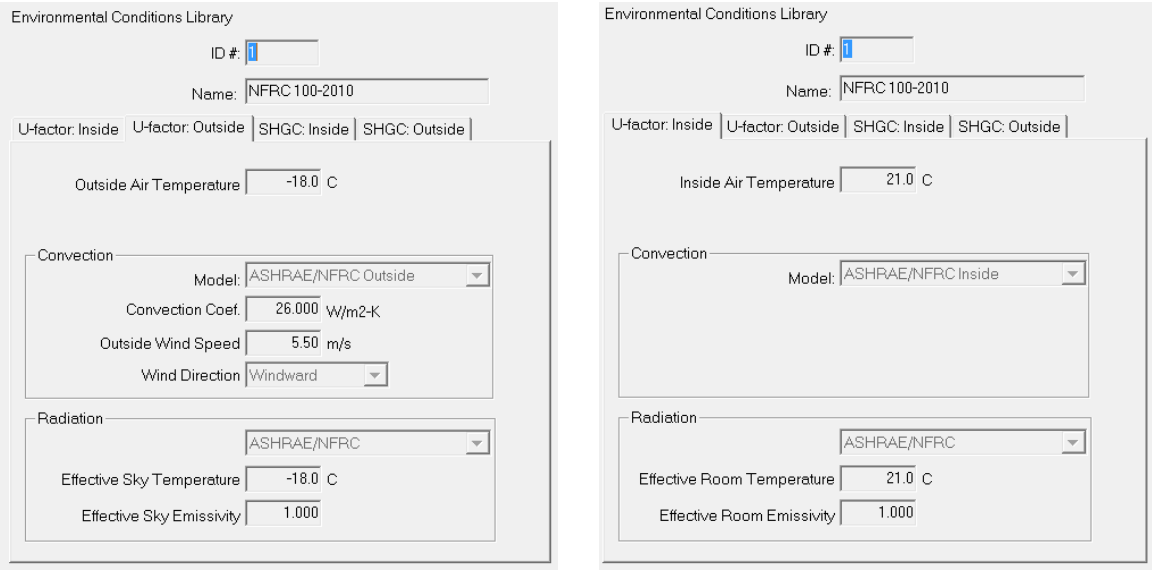


图 5-14：NFRC U值计算用的环境条件参数(左图为室外参数，右图为室内参数)

表 5-1：NFRC U值计算用的环境条件参数

参数	公制单位	英制单位
Outside Temperature 室外温度	-18.0 ºC	-0.4 ºF
Inside Temperature室内温度	21.0 ºC	69.8 ºF
Wind Speed 风速	5.5 m/s	12.3 mph
Wind Direction风向	迎风	迎风
Direct Solar太阳辐射照度	0 W/m^2	0 Btu/(hr • ft^2)
Sky Temperature (Tsky) 天空温度	-18.0 ºC	-0.4 ºF
Sky Emissivity (Esky) 天空发射率	1.00	1.00

图5-15 和 表5-2 列出了NFRC SHGC 和 VT 计算所用的 NFRC 100-2010 参数。

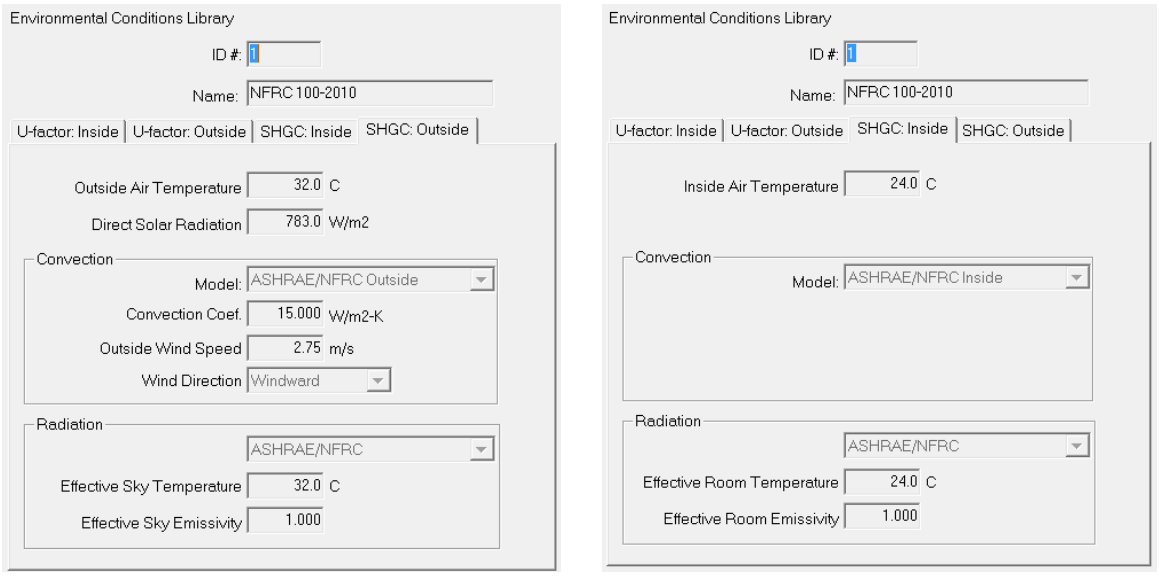


图 5-15：NFRC SHGC和VT计算用的环境条件参数(左图为室外参数，右图为室内参数)

表 5-2：NFRC SHGC和VT计算用的环境条件参数

参数	公制单位	英制单位
Outside Temperature 室外温度	32.0 ºC	89.6 ºF
Inside Temperature室内温度	24.0 ºC	75.2 ºF
Wind Speed 风速	2.75 m/s	6.15 mph
Wind Direction风向	迎风	迎风
Direct Solar太阳辐射照度	783 W/m^2	248.2 Btu/(hr • ft^2)
Sky Temperature (Tsky) 天空温度	32.0 ºC	89.6 ºF
Sky Emissivity (Esky) 天空发射率	1.00	1.00

WINDOW 和 THERM 软件具有创建自定义环境条件的功能，用于评估产品设计。然而，若是为了 NFRC 认证进行模拟，则只允许使用预定义的 NFRC 100-2010。

5.4.2. 涂层

镀膜在玻璃层上的位置会影响玻璃中心 U值，进而影响整个产品的计算，因此正确指定其位置非常重要。当使用 WINDOW 玻璃库中的玻璃条目时，如果镀膜不在正确的表面上，则应翻转玻璃层。要翻转玻璃层，请在玻璃层处于编辑模式时，选中 Flip (翻转)，玻璃表面将会翻转，这会在玻璃系统的图形显示中以虚线标示出来。

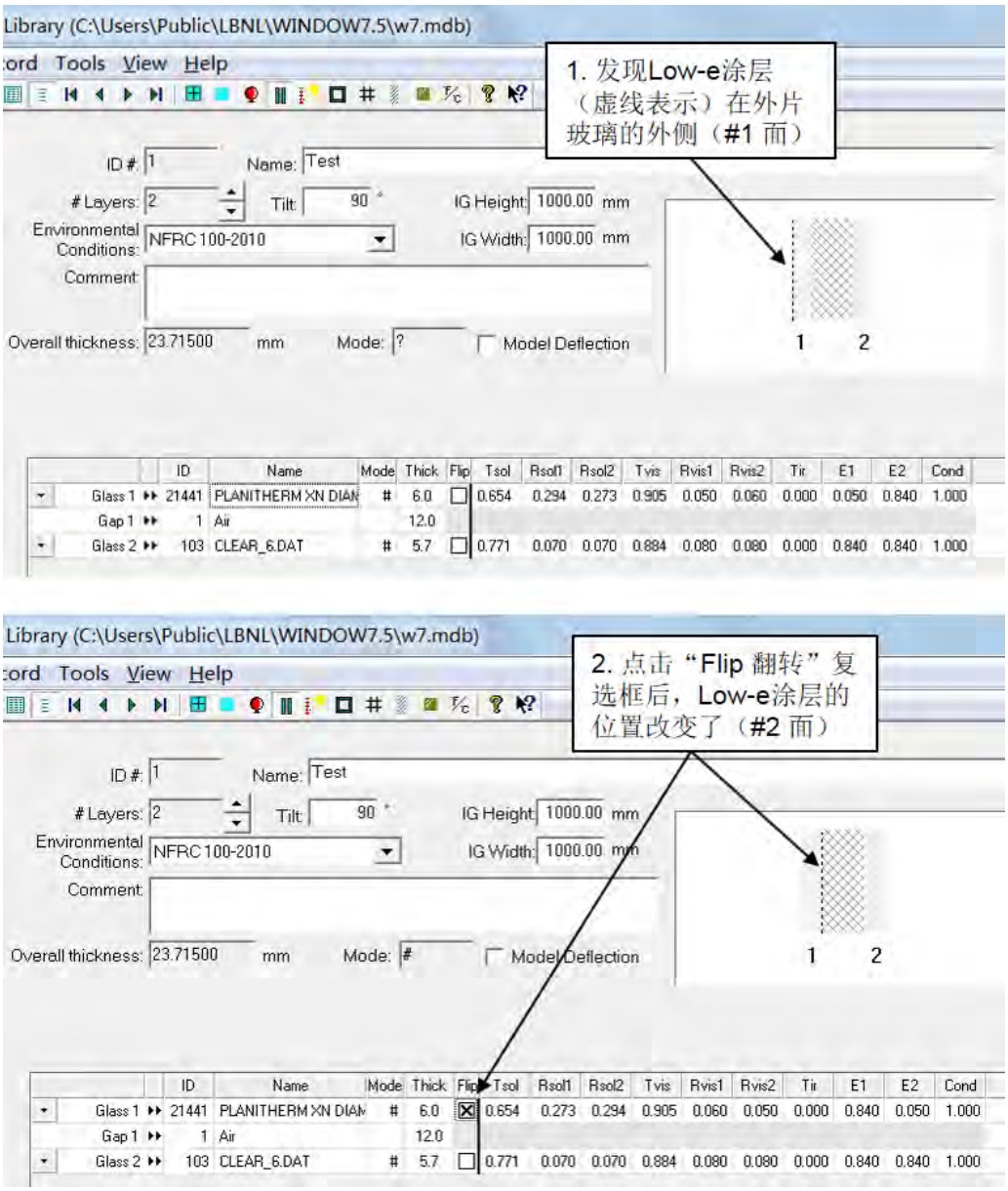


图 5-16：使用Flip改变涂层的位置

5.4.3. 空腔气体库

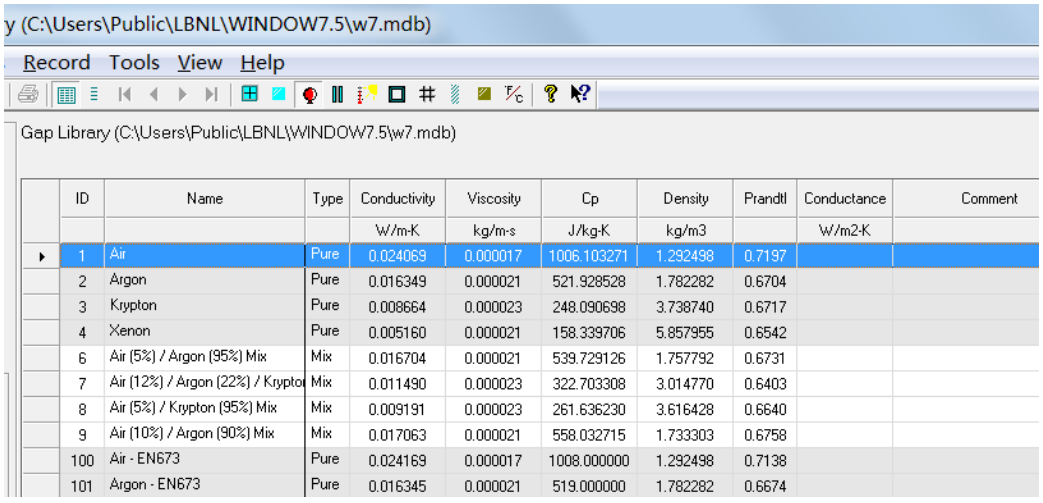
Glass Layer（玻璃层）之间空腔所填充的气体对玻璃中心 U值 的影响很大，但对 SHGC 的影响很小。对于 NFRC 认证建模，需要对门窗幕墙产品中使用的气体进行建模。当在 WINDOW 中创建 Glazing System（玻璃系统）时，用户须从 Gap Library（空腔气体库）中选择合适的气体作为空腔的填充材料，或者使用新建的混合气体。

当一种气体被用来填充 Glass Layer（玻璃层）之间的空腔时，该气体总是会与空气混合。混合气体中的空气含量取决于包括充气工艺在内的许多因素，常见的充气工艺有：真空室填充，用带浓度传感器的双探针填充，单探针定时填充。表5-3 显示了每种工艺可以实现的最大气体浓度。对于 NFRC 认证建模，建模师应要求制造商提供其产品所使用的充气技术和气体浓度。

表 5-3：气体填充技术及其浓度

填充技术	可实现的最高气体浓度
真空腔体填充	97%
带浓度传感器的双探针填充	氩气95% 其它惰性气体（氪气、氙气等）：90%
单探针定时填充	所有气体类型 90%

对于填充了多种气体的中空玻璃，建模时应使用制造商给定的气体浓度，但在任何情况下，都不允许超过 表5-3 中的“最高气体浓度”。例如采用“带浓度传感器的双探针”填充技术，混合气体为氪气、氙气时，混合气体的最高气体浓度不应超过 90%。



ID	Name	Type	Conductivity	Viscosity	Cp	Density	Prandtl	Conductance	Comment
			W/m-K	kg/m-s	J/kg-K	kg/m3		W/m2-K	
1	Air	Pure	0.024069	0.000017	1006.103271	1.292498	0.7197		
2	Argon	Pure	0.016349	0.000021	521.928528	1.782282	0.6704		
3	Krypton	Pure	0.008664	0.000023	248.090698	3.738740	0.6717		
4	Xenon	Pure	0.005160	0.000021	158.339706	5.857955	0.6542		
6	Air (5%) / Argon (95%) Mix	Mix	0.016704	0.000021	539.729126	1.757792	0.6731		
7	Air (12%) / Argon (22%) / Krypto	Mix	0.011490	0.000023	322.703308	3.014770	0.6403		
8	Air (5%) / Krypton (95%) Mix	Mix	0.009191	0.000023	261.636230	3.616428	0.6640		
9	Air (10%) / Argon (90%) Mix	Mix	0.017063	0.000021	558.032715	1.733303	0.6758		
100	Air - EN673	Pure	0.024169	0.000017	1008.000000	1.292498	0.7138		
101	Argon - EN673	Pure	0.016345	0.000021	519.000000	1.782282	0.6674		

图 5-17：WINDOW Gap Library

5.4.4. 夹层玻璃和应用膜

本手册 第8章 将介绍如何使用 OPTICS 创建 Laminates（夹层玻璃）和 Applied Films（应用膜）。

5.5. 太阳得热系数和可见光透射比

NFRC 标准文件《ANSI / NFRC 200：确定门窗幕墙产品在标准太阳入射角下的太阳得热系数的方法》包含了计算产品的太阳得热系数（SHGC）和可见光透射比（VT）的规则和定义。此外，有关产品分组和详细算法，亦可参阅《ANSI / NFRC 200》。

使用 Glazing System Library（玻璃系统库）获得玻璃中心 U值 时，SHGC 和 VT 的计算结果也会同时获得，并显示在屏幕底部的 Center of Glass Results（玻璃中心的计算结果）栏中，如下图所示。

如本手册 第7章 所述，计算 Glazing System（玻璃系统）的 SHGC 和 VT 的目的，是为在 Window Library（窗库）中计算整体产品以及与 NFRC 相关的 SHGC 0/1、VT 0/1 的情况。

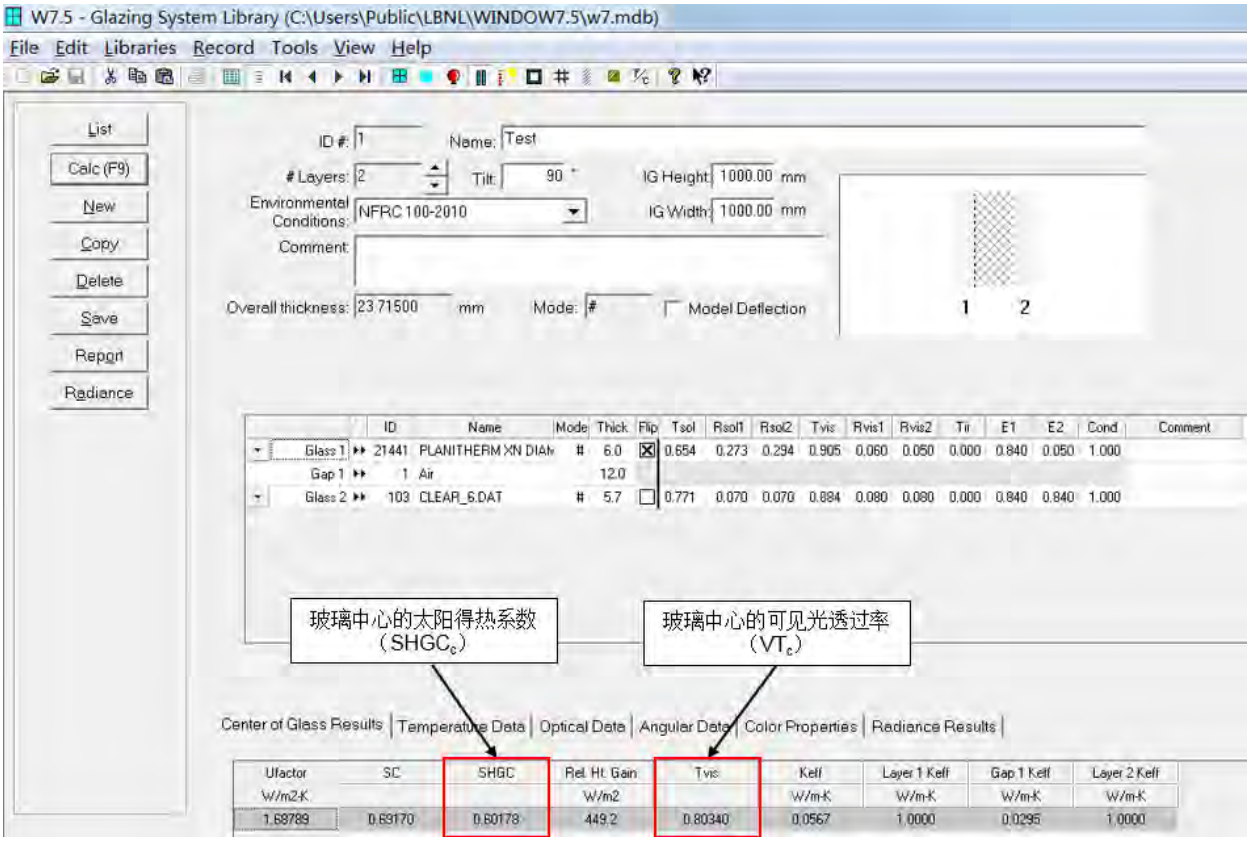


图 5-18：Glazing System Library 中，玻璃中心SHGC 和VT 的计算结果

6. 使用 THERM 建模计算框架和玻璃边缘的传热

6.1. 概述

要确定整体产品的 U值，必须先确定各个组件的 U值（包括：从 WINDOW 中获得的玻璃中心 U值、从 THERM 中获得的框架和玻璃边缘的 U值），然后通过面积加权方式得到整体产品的 U值。

《ANSI / NFRC 100：确定门窗幕墙产品热工性能的方法》是 U值 计算方面的权威性文件。当遇到本手册未涵盖的问题时，用户应当首先翻阅该标准文件，寻找答案；另一方面，NFRC 的技术解释作为《ANSI / NFRC 100》的补充性文件，也可用作解决问题时的参考。

6.2. 截面建模

为了准确计算通过整体门窗幕墙产品的传热，必须将产品划分成多个截面，再按照各个截面（底横梁、顶横梁、边立柱、中立柱和窗格）使用 THERM 分别建模，并计算其框架和玻璃边缘的 U值。

门窗幕墙产品的固定/开启类型以及每个框架的配置，决定了截面模型的数量。图6-1 列举了需绘制的截面，表6-1 示意了每种固定/开启类型需建模的截面及其数量（最小和最大值），其中最大值是考虑到每个框架的截面都不同，每个都要建模。如果框架的某些截面是相同的，例如，固定窗左右两个边立柱的截面是相同的，只需建一个边立柱的模型即可。然而根据《ISO 15099》，在进行抗结露建模时，须遵照新的空腔建模计算要求，这就是说：如果底横梁、顶横梁和边立柱的框架内部存在空腔，那么这些截面应分别建模；如果只为计算 U值，对于几何外形相同的顶、底横梁，只需任选其一建模计算即可。

本手册虽未一一列出《ANSI / NFRC 100》 表4-3 中的所有产品类型，但 表6-1 或 图6-1中 的四个基本类别包括了前者中的所有类型。

表 6-1：需建模的截面及其模型数量

固定/开启类型	**需建模的截面数量**			**具体截面部位**
	最小值		**最大值**	
	计算U值和结露评级	**仅计算U值**		
单扇（固定、平开、上下悬等）	3 若边立柱相同	2 若顶横梁和底横梁相同	4	■ 顶横梁 ■ 边立柱（1或2个） ■ 底横梁
双扇提拉（提拉窗等）	5 若上部的左右边立柱相同，且下部的左右边立柱也相同	4 若顶横梁和底横梁相同	7	■ 固定或开启的顶横梁 ■ 固定和开启的边立柱 ■ 固定和开启的底横梁 ■ 中立柱
双扇平推（推拉窗、平移门等）	7	5 若顶横梁和底横梁相同	7	■ 固定和开启的顶横梁 ■ 固定和开启的边立柱 ■ 固定和开启的底横梁 ■ 中立柱
双扇平开（窗墙，幕墙等）	4 若左右顶横梁相同、左右底横梁相同、左右边立柱也相同	4	7	■ 固定和开启的顶横梁 ■ 固定和开启的边立柱 ■ 固定和开启的底横梁 ■ 中立柱

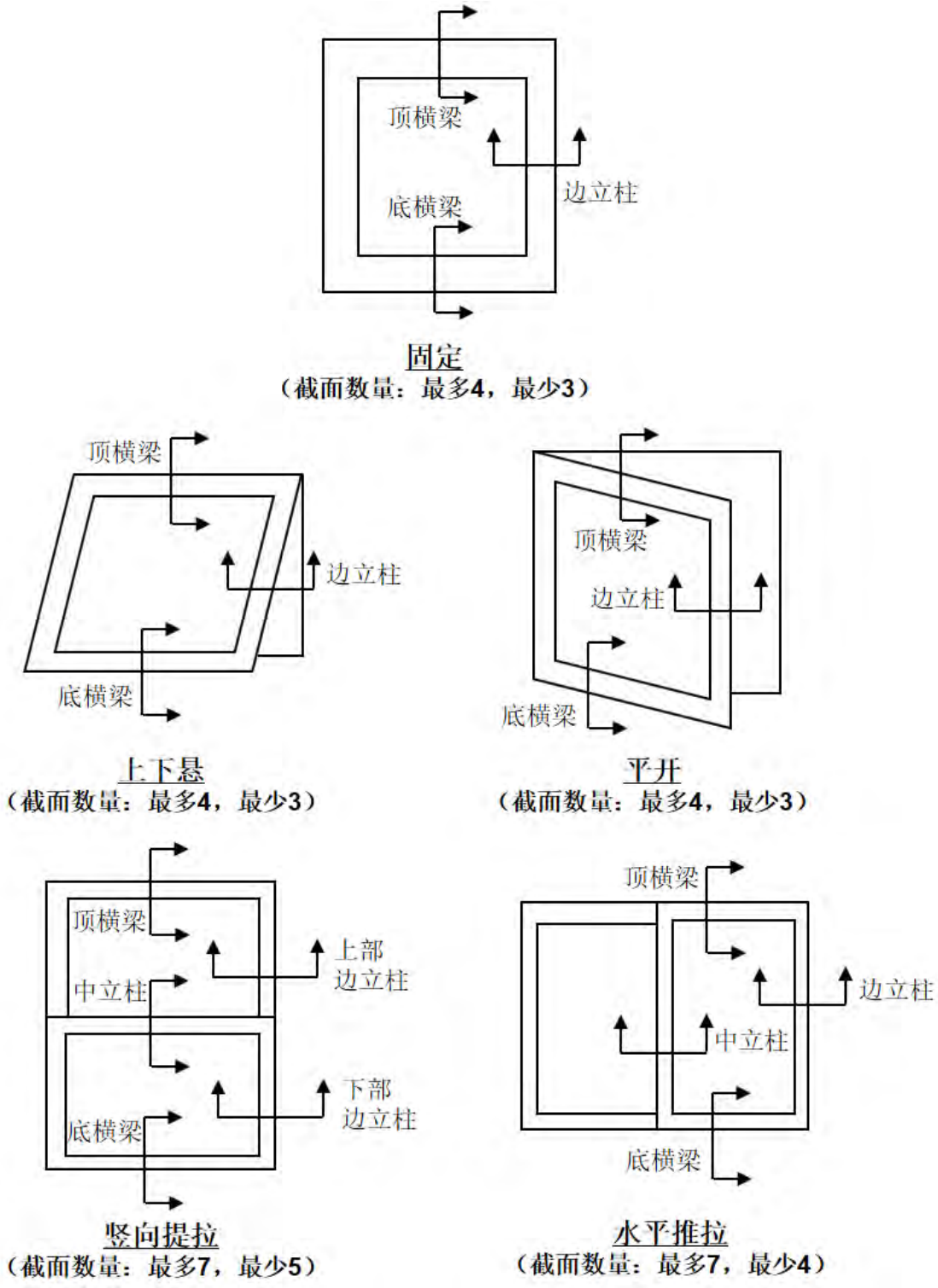


图 6-1：固定和开启类型所对应的截面模型数量

6.3. 绘制截面

确定哪些截面需要建模后，下一步是在 THERM 中把它们绘制出来。在《THERM 用户手册》“第5章：绘制截面几何外形”中包含了关于如何绘制截面图形的详细说明，本节主要介绍与 NFRC 认证建模相关的内容。

6.3.1. 图纸和 DXF 文件的准备

为了能在 THERM 中精确重现真实的框架截面，有必要使用带尺寸标注的图纸或 DXF 格式文件，请参阅《THERM 用户手册》“第5.2节：导入 DXF 或位图文件为底图”。如果只有纸质图纸，而没有 DXF 文件，则需要用到 THERM 自身的绘图功能，重新绘制截面图，请参阅《THERM 用户手册》“第5.5节：使用键盘绘图”。

6.3.2. 在文件属性选择合适的截面类型

在 THERM File Properties（文件属性） 对话框中指定 Cross Section Type（截面类型）极为重要。横截面类型与玻璃系统的朝向共同决定了 ISO 15099 模拟模型中实现了多少项参数，例如框架空腔重力矢量。

设置截面类型的具体步骤如下：

① 鼠标移至主菜单 → File

② 点击 Properties，打开 THERM File Properties 对话框

③ 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择合适的截面类型

截面类型的设置结果将显示在 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中的 Type栏，也会显示在程序的右下角（图6-2）。

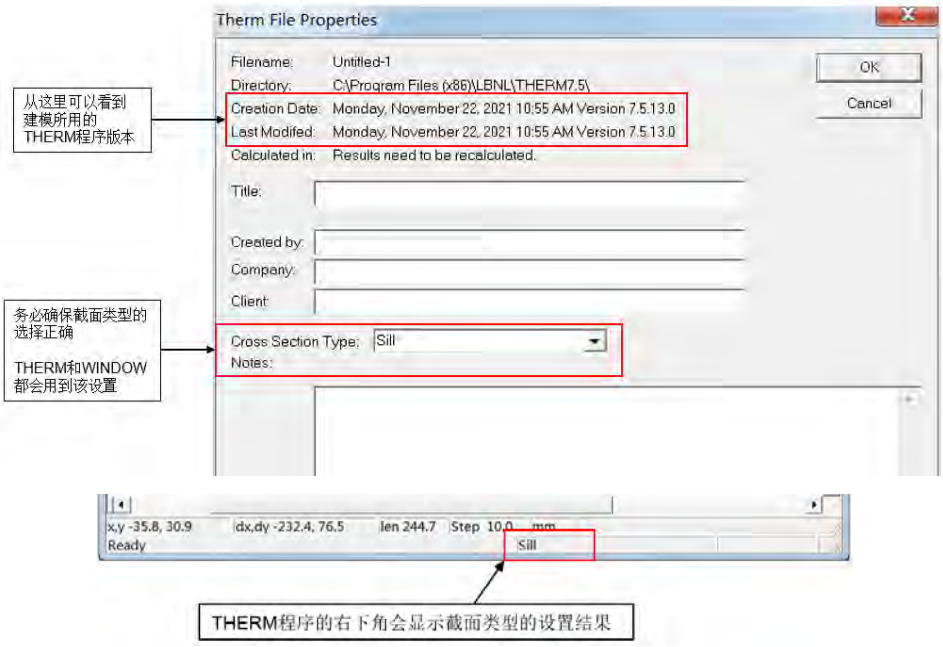


图 6-2：THERM File Properties中的Cross Section Type决定了重力矢量和抗结露计算参数

6.3.3. 截面朝向

对于使用 THERM 的 NFRC 认证建模，截面中所有的玻璃系统必须是竖直向上或/和竖直向下的，而不应是水平方向的（天窗除外，它是按 20度 倾角建模的，本手册 第8.5节 介绍了天窗的建模方法）。在新建截面时，鉴于行业惯例，人们通常会把框架节点绘制成水平方向的，但要注意：在导入玻璃系统之前，必须将截面旋转到正确的位置（玻璃向上或向下）。

边立柱截面也可以按照上述方法建模。图6-3 显示了 DXF 底图文件中可能出现的情况：边立柱和中立柱被绘制成水平方向。在导入玻璃系统之前，截面必须旋转 90度，对于顶横梁，玻璃应该朝下；对于底横梁和边立柱，玻璃应该朝上；对于中横梁和中立柱，玻璃应该一上一下。截面模型的室内面朝右，室外面朝左，举例如 图6-4。

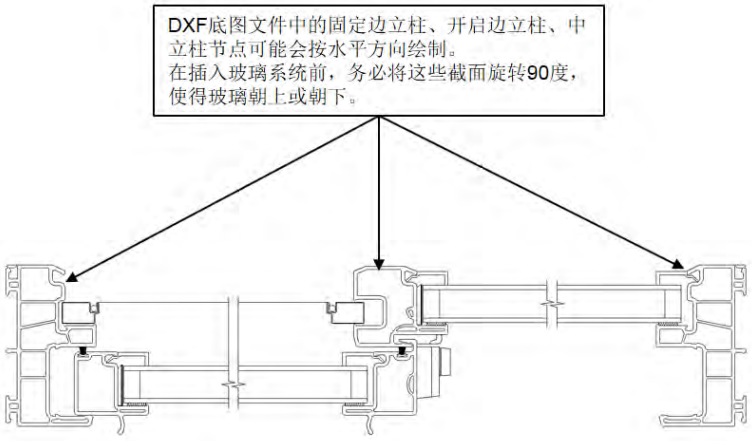


图 6-3：示例的DXF文件中，框架节点被绘制成水平的，在导入玻璃系统之前，必须将它们旋转90度

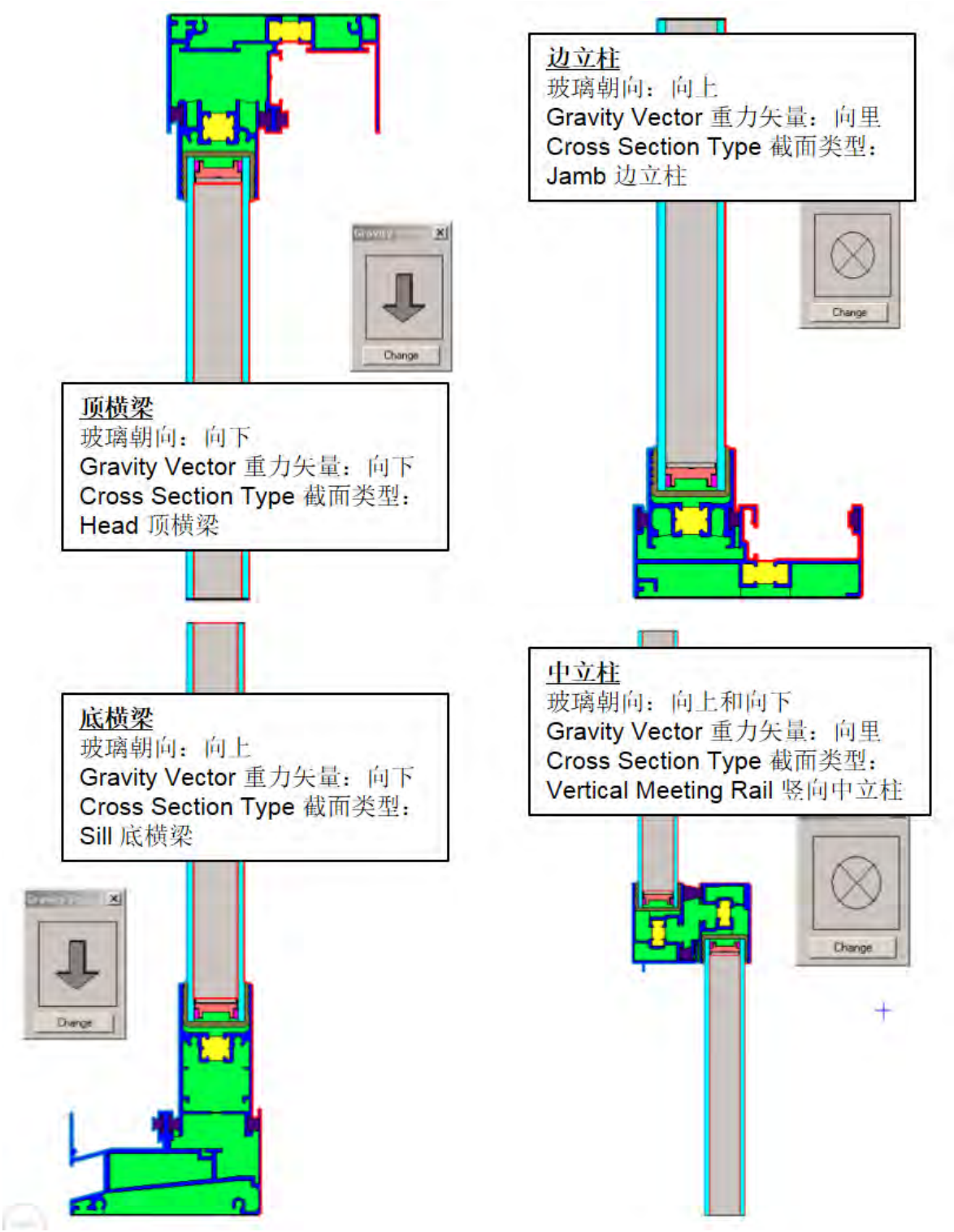


图 6-4：推拉门窗的截面示例: 正确的玻璃朝向, 截面类型和重力矢量

6.3.4. 不建模的组件

《ANSI / NFRC 100》明确列举了不在 THERM 建模范围内的门窗幕墙产品组件，它们是：

- 纱窗系统：包括纱窗的固定件和装饰件。为了匹配纱窗系统，产品框架可能会做少量修改，在这种情况下，允许使用不带纱窗的产品代表带纱窗的产品。
- 可选的内饰面
- 应用于玻璃室内侧或室外侧表面的可拆卸式格栅（类似防盗窗）。在某些情况下，玻璃空腔内的格栅或窗格是必须建模的，具体见“第8.3节：内部窗格的建模”。
- 边立柱、顶、底横梁上的可选扩展件
- 室内或室外的遮阳设备，除了门窗幕墙产品自带的遮阳帘/百叶（请参阅 第8.14节 和 第8.16节）。
- 可从门窗幕墙产品上拆除、并在测试时拆除的上墙件，它们可能是木窗上的乙烯基上墙件，或乙烯基、铝窗上的可拆除式上墙件。永久性的、在测试期间安装的上墙件是必须建模的。

此外，正如 ANSI/NFRC 100 中所述，“包括但不限于幕墙中的螺钉和螺栓，以及未完全断桥的浇注断桥隔热条，均应进行模拟”。目前，不需要建模的组件包括：

- 非通长的铰链
- 非通长的锁具
- 平衡块
- 非通长的控制五金
- 泄水孔、玻璃垫块
- 抗剪块
- 转角插件

ANSI/NFRC 100 规定，非连续元件应进行模拟；但它要求建模师核实桥接构件比例 (Fb) 是否满足本手册第 8.8.2 节中两个说明条款之一。由于其长度比例 (Fb) 和/或由此产生的等效导热系数 (Keff)，通常需要使用计算得出的等效导热系数 (Keff) 进行建模的典型桥接元件包括但不限于：

- 幕墙中的螺丝和螺栓
- 不完全断热的浇注式隔热条
- 玻璃幕墙系统中，金属材质的玻璃垫块

在某些情况下，允许建模师自行确定是否需要对非通长组件进行建模，如需要，任选以下两种方法中的一种进行建模：

- 按通长组件建模
- 按沿等温面间隔的组件建模，请参阅本手册 第8.8节。

6.3.5. 外形可变的部件

在门窗幕墙产品中存在一些外形可变的部件，如玻璃压线、金属扣件、挡风雨胶条和隔热条槽口等。在 DXF 文件和装配图中，它们时常被绘制成未变形的状态（特别是在 DXF 文件中，它们常与其它部件重合在一起），这就需要建模师有能力准确分辨和适当简化，确保模型的传热与实际情况一致，例如，外形可变的密封条与框之间形成的细小空隙，可以直接用一整块固体材料代替。

6.3.6. 框架空腔

根据《ISO 15099》的规定，THERM 对框架空腔进行矩形化的对流建模计算。对于一个真正的矩形腔体，THERM 可以直接计算，而不用对其进行分割。然而，对于一些非矩形的框架空腔，建模师则必须根据特定的分割方法手动将这种空腔分割为独立的部分，以更准确地建模计算其内部真实发生的对流，这是因为由于几何外形的关系，有一部分空腔的对流是独立的。

在 NFRC 认证建模中有两种主要的空腔类型：

- Frame Cavity NFRC 100（封闭空腔）：适用于不受室外空气对流影响的框架空腔。
- Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100（微通风空腔）：适用于带有外露开口的、且受室外空气对流一定影响的框架空腔。微通风空腔的定义见 第6.3.6.2节 的介绍，同时该内容也与《ISO 15099 - 2003》 第6.7.1节 的描述一致。

针对这两种空腔类型，当空腔的几何外形呈现“窄喉”和“尖角”的特征时，必须对其进一步评估，以确认是否需要被分割，其中：

- “窄喉”是指空腔局部变窄，可以发生在两个较大的空腔之间，也可以存在于一个较大的空腔和一个较小的空腔之间，如 V形槽、齿槽或螺丝槽。
- “尖角”（仅适用于微通风空腔）是指空腔的两个直壁相互成小于 90度 的角，并且一端的开口大，一端的开口小。

了解上述几何外形的尺寸，对于判定空腔类型及是否需要被分割是很重要的，因此建模师必须通过准确识别不同类型的“喉 throat(s)”，并在恰当位置添加“分割线”，才能正确地分割空腔。喉的划分按线段实测长度确定。本章 第6.3.6.1节 和 第6.3.6.2节 介绍了封闭空腔和微通风空腔的分割规则。

6.3.6.1. 封闭空腔

当发现封闭空腔中有一个 ≤ 5 mm 的“喉”，首先要知道它的努塞尔数（Nusselt Number），双击该空腔，这时会出现一个 Properties for Selected Polygon(s)（选定多边形的属性） 对话框，其中的

“Nu”就是该空腔的努塞尔数，它代表空气对流的强弱程度，它的值取决于空腔的大小和模型的朝向（水平或竖直）。

例如，有一个固定的窗，它的四个边框的截面都是相同的，对于几何外形相同的框架空腔，边立柱的Nu与顶、底横梁的 Nu 是不同的。因此，在确定框架空腔的 Nu 之前，必须确保对 THERM 文件属性中的截面类型进行了正确的设置，这点至关重要。

由于模型的运算可能会使 Nu 发生变化，因此在执行运算命令前，必须在 THERM 中查看封闭空腔的 Nu。如果模型运算前，封闭空腔的Nu ≤ 1.2，即使运算后Nu ＞ 1.2，也不需要分割空腔了；如果模型运算前，封闭空腔的Nu ＞ 1.2，则应检查该空腔的几何外形。

没有“窄喉”的封闭空腔不需要进行分割；对于有“窄喉”的封闭空腔，如果“喉”＞ 5 mm，则不需要进行分割；如果“喉”≤ 5 mm，则必须进一步检查。

封闭空腔内“窄喉”的定义如下：

1. 两点之间的距离 ≤ 5 mm

2. 在两个空腔区域之间的空腔变窄，点到壁的距离 ≤ 5 mm。但要注意：这种点到壁的规则，不适用于相邻两壁的夹角 ≥ 90º 的情况，请参阅 图6 -11 的错误示范。

3. 不适用于壁到壁的情况。

4. “窄喉”的示例如下：

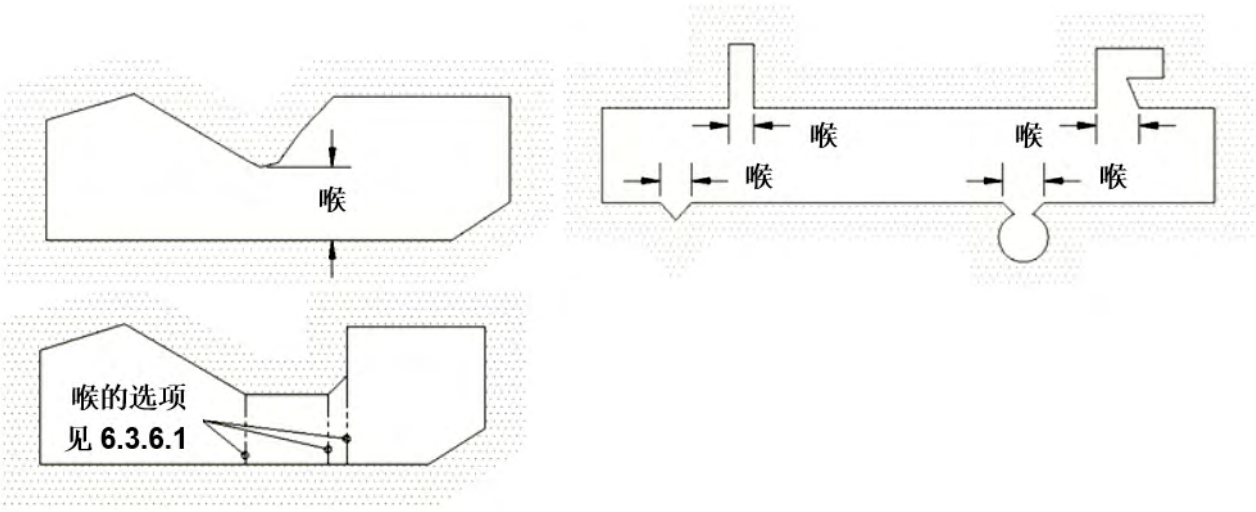


图 6-5：框架封闭空腔与各种喉

5. 在THERM 模型中，有时会出现阶梯式收窄的“喉”，比如框架或胶条的弯弧处。当封闭空腔内存在多个狭窄的部位，则应将“喉”设置在测量值最接近 ≤ 5 mm 的部位。例如，在下面的示例中，“喉”是设置在 4.8 mm 的位置：

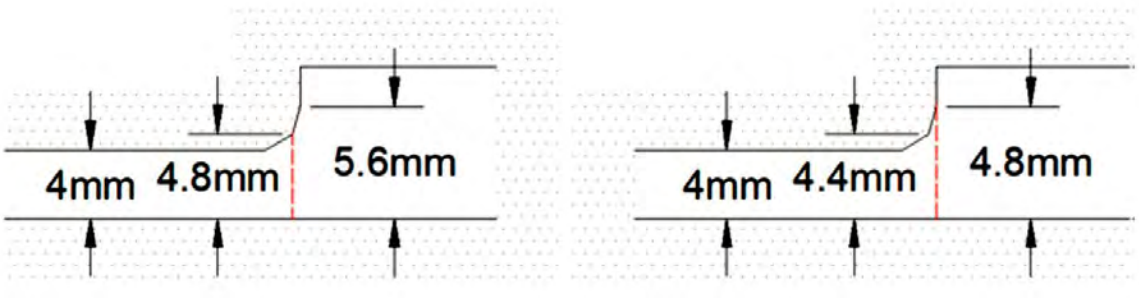


图 6-6：框架封闭空腔内阶梯式收窄的喉

如果封闭空腔同时满足Nu ＞ 1.2 且“喉” ≤ 5 mm 这两个条件，那它就必须再分割。这里需要特别注意：对于水平的和竖直的截面，两者的封闭空腔分割方法是不同的，图6-7 显示了一个未分割的框架空腔，在被当作水平截面和竖直截面被分割后，可以明显看出一些区别（图6-10 和 图6-15）。

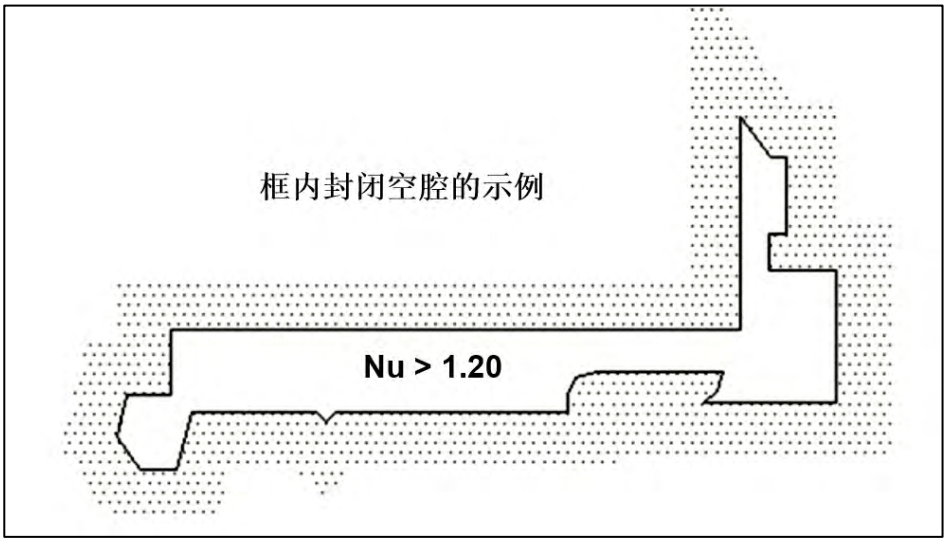


图 6-7：未经分割的框架封闭空腔

6. 水平截面封闭空腔的“分割”流程如下：

① 鼠标移至主菜单 → File

② 点击 Properties 打开 THERM File Properties 对话框

③ 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择合适的截面类型（Head, Sill, Horizontal Meeting Rail等）

④ 使用 Frame Cavity NFRC 100 填充整个空腔，并检查封闭空腔的Nu，

⑤ 若 Nu ＞ 1.2，则

⑥ 通过任何方向（**水平、竖直、斜**）的“分割线”识别所有“喉”。

⑦ 在“喉”处，将一个整体的空腔分割成两个最大的空腔。

⑧ 检查这两个新空腔的 Nu，若

a. 任何新空腔的 Nu ≤ 1.2，则该空腔不必再分割；

b. 任何新空腔的 Nu ＞ 1.2，则应对该空腔重复步骤 ⑥ ~ ⑧ 的操作，直到它的Nu ≤ 1.2 或没有可用的“喉”。

7. 以假设 图6-7 所示的封闭空腔出于一个**水平**框架截面为例，逐一说明“分割”步骤：：

① 检查封闭空腔的 Nu，若 Nu ＞ 1.2，则寻找是否存在 5 mm 以下的“喉”。

② 只要能在封闭空腔内的任意两点、或点到壁之间画出一根长度 ≤ 5 mm 线（**线可以是任意方向**），那么这根线的位置就是一个“喉”。

③ 对于同一个封闭空腔，可能存在多处符合上述条件的“喉”，但只存在一处可以将一个大空腔分割成两个最大的空腔（图6-8）。

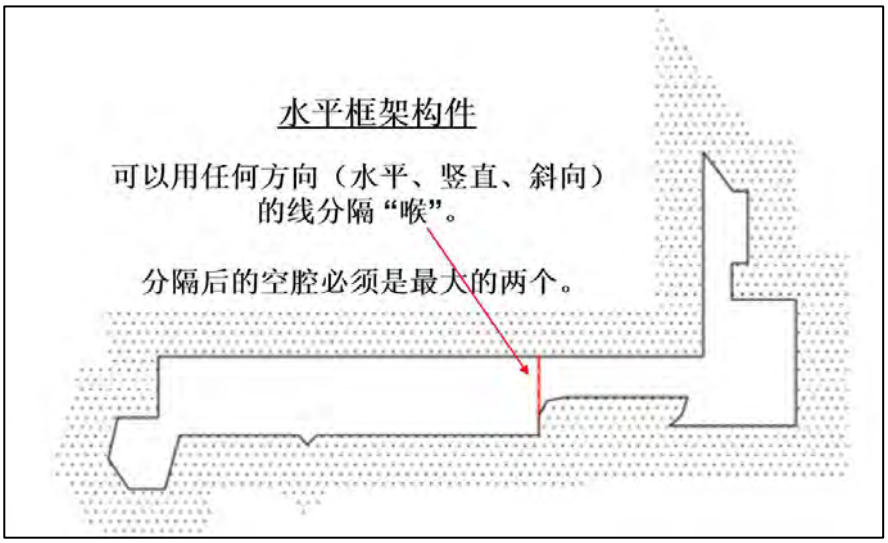


图 6-8：水平截面的框架封闭空腔被分割成两个最大的空腔

④ 检查两个新空腔的 Nu（图6-9），如果它们的 Nu 都 ≤ 1.2，那就不需要进一步分割了；如果新空腔中的任意一个Nu ＞ 1.2，则必须对该空腔重复上述三步的操作（图6-10）。

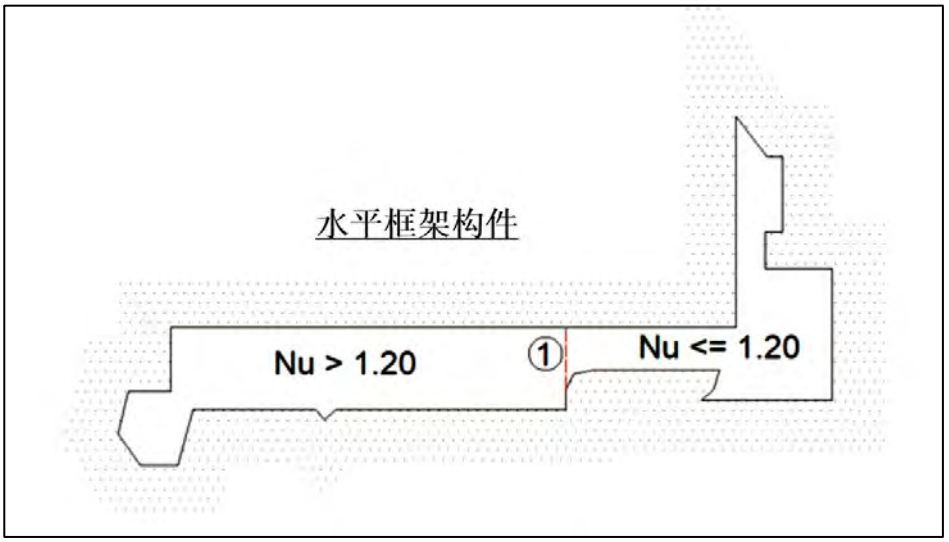


图 6-9：在喉①处进行分割，左侧空腔的Nu＞1.2，因此需进一步分割

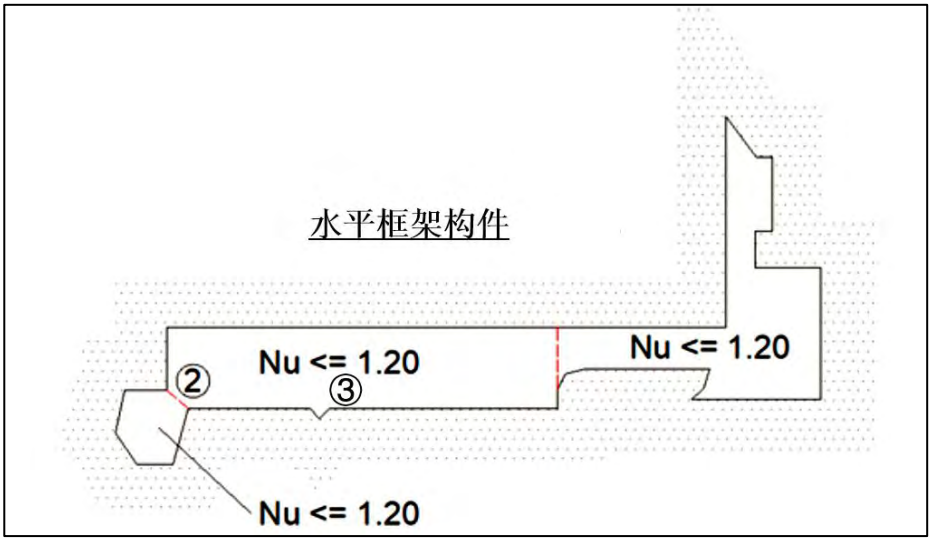


图 6-10：左腔内虽然有两个≤5mm的喉，但只有在喉②处用斜线分割，才能产生两个最大的空腔，且两个空腔的Nu都≤1.2，

因此最终从喉②处分割后，分割工作结束，喉③则不必理会

注意：图6-11 中分别展示了正确和错误的框架空腔分割示例，因为不存在“窄喉”，左图是正确的；右图箭头所指的分割线是非常常见的错误：虽然这是一条从点到壁的直线，但相邻的墙的角度 ≥ 90º（即不限制空气流通），因此不允许在此分割空腔。不要强制让框架空腔的 Nu ≤ 1.2。

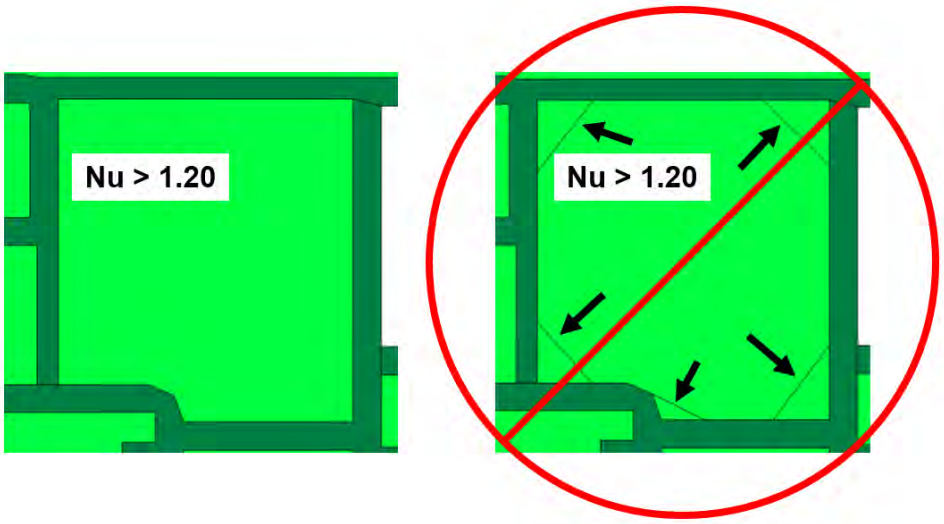


图 6-11：框架封闭空腔不应分割转角

8. 竖直截面封闭空腔的“分割”流程如下：

① 鼠标移至主菜单 → File

② 点击 Properties 打开 THERM File Properties 对话框

③ 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择合适的截面类型（Jamb, Vertical Meeting Rail等）

④ 使用 Frame Cavity NFRC 100 填充整个空腔，并检查封闭空腔的 Nu，

⑤ 若 Nu ＞ 1.2，则

⑥ 只能通过**水平**的“分割线”识别所有“喉”。

⑦ 在“喉”处，将一个整体的空腔分割成两个最大的空腔。

⑧ 检查这两个新空腔的 Nu，若

a. 任何新空腔的 Nu ≤ 1.2，则该空腔不必再分割；

b. 任何新空腔的 Nu ＞ 1.2，则应对该空腔重复步骤 ⑥ ~ ⑧ 的操作，直到它的 Nu ≤ 1.2 或没有可用的“喉”。

9. 以假设 图6-7 所示的封闭空腔出于一个**竖直**框架截面为例，逐一说明“分割”步骤：

① 检查封闭空腔的 Nu，若 Nu ＞ 1.2，则寻找是否存在 5 mm 以下的“喉”。

② 只要能在封闭空腔内的任意两点、或点到壁之间画出一根长度 ≤ 5 mm 线（**只能是水平的线**），那么这根线的位置就是一个“喉”。

③ 对于同一个封闭空腔，可能存在多处符合上述条件的“喉”，但只存在一处可以将一个大空腔分割成两个最大的空腔（图6-12），要注意与 图6-8 的不同。

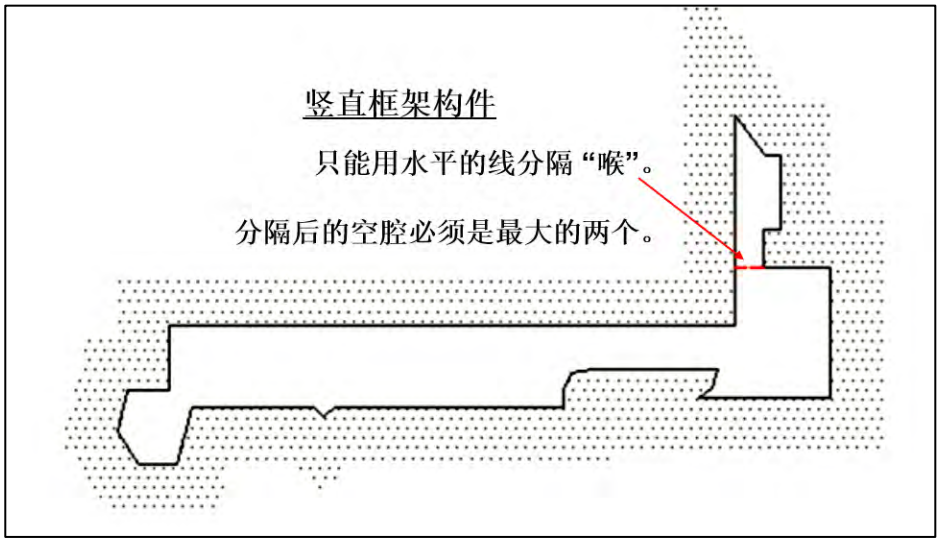


图 6-12：竖直截面的框架封闭空腔被分割成两个最大的空腔

④ 检查两个新空腔的 Nu（图6-13），如果它们的 Nu 都 ≤ 1.2，那就不需要进一步分割了；如果新空腔中的任意一个Nu ＞ 1.2，则必须对该空腔重复上述三步的操作（图6-14 图6-15）。**特别强调：对于每个新空腔，仍然只能使用水平线来分割喉，并创建两个最大的空腔。**请仔细阅读本节的示例，以便充分理解封闭空腔的多步分割。

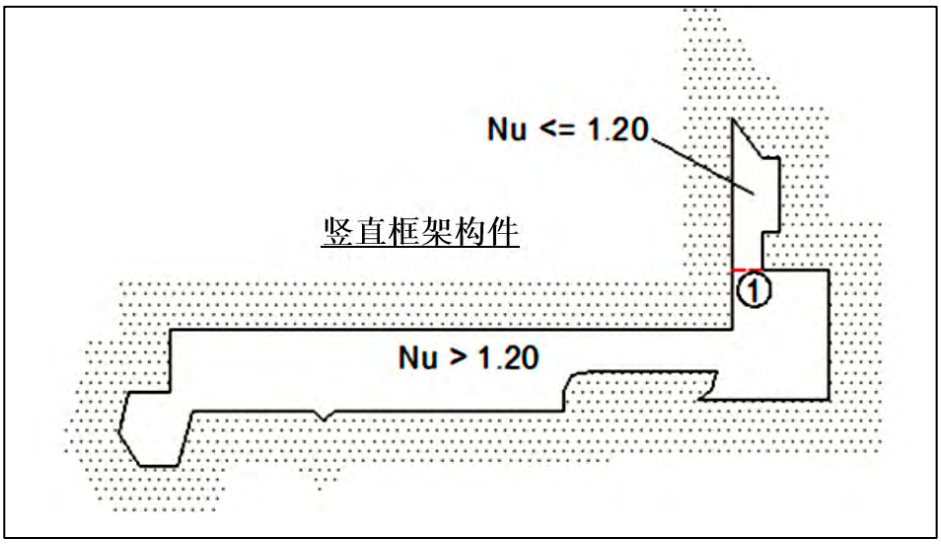


图 6-13：在喉①处分割空腔，左侧较大空腔的Nu＞1.2，因此需进一步分割

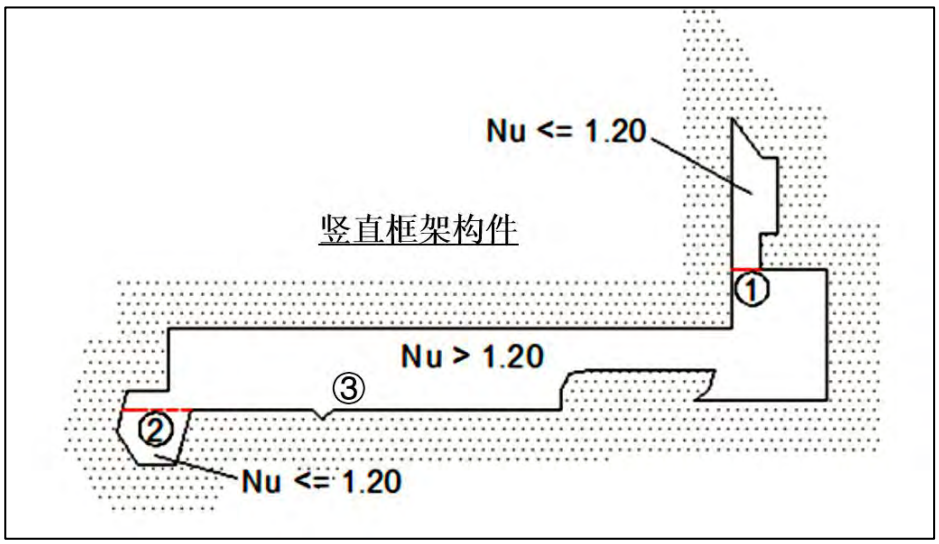


图 6-14：左侧较大的空腔内还有两个≤5mm的喉，但只有在喉②处用水平线分割，才能产生两个最大的空腔

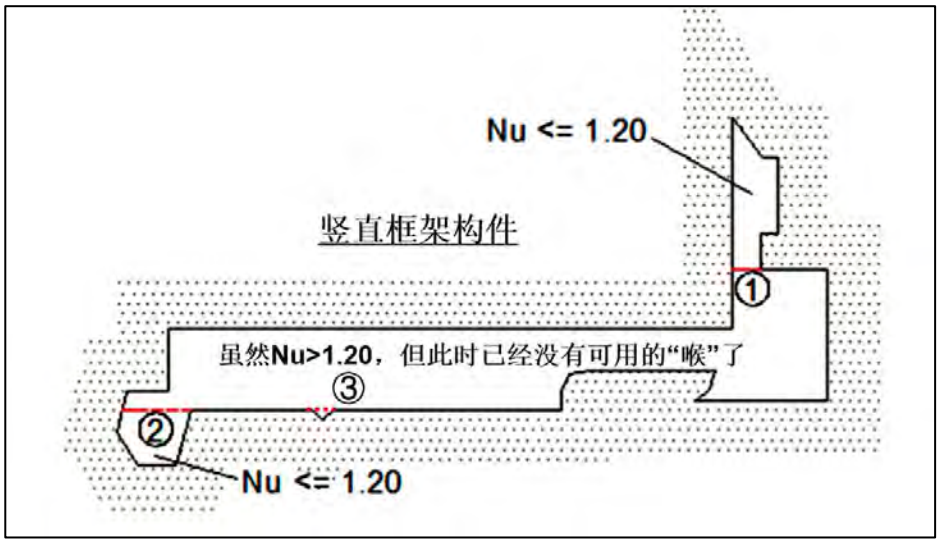


图 6-15：先后在喉②，喉③处分割后，大空腔的Nu仍＞1.2，

但此时已不再存在≤5mm的水平分割线，因此分割工作结束，最终分割后的效果如上图

6.3.6.2. 微通风空腔

微通风空腔是一种暴露于室外的开口空腔，且带有一个外露的“喉”（见 第6.3.6节 的定义），这种“喉宽”＞ 2 mm、≤ 10 mm；“喉深”大于等于“喉宽”。微通风空腔的确定方法参考了《ISO 15099 - 2003》 第6.7.1节，下面用示意图说明“喉宽b”和“喉深d”：

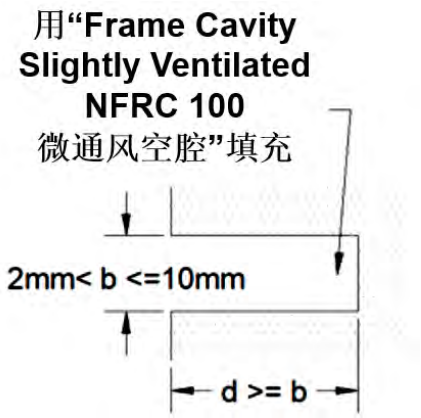


图 6-16：Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100(微通风空腔)

与封闭空腔不同，无论框架是水平的还是竖直的，框内微通风空腔的“喉”都可以用任意方向（水平、竖直或斜向）的分割线进行测量、分割。

外露开口的“喉”尺寸满足特定条件时，“喉”处的通风效果接近完全通风（而不再是微通风），因此在建模时须保持开口现状，不视作微通风空腔。这些特定条件是：

1. “喉宽b”＞ 2 mm，且 ≤ 10 mm，且“喉深d”＜“喉宽b”
2. “喉宽b”＞ 10 mm

满足两者任意一条，即保持开口现状，如图所示。

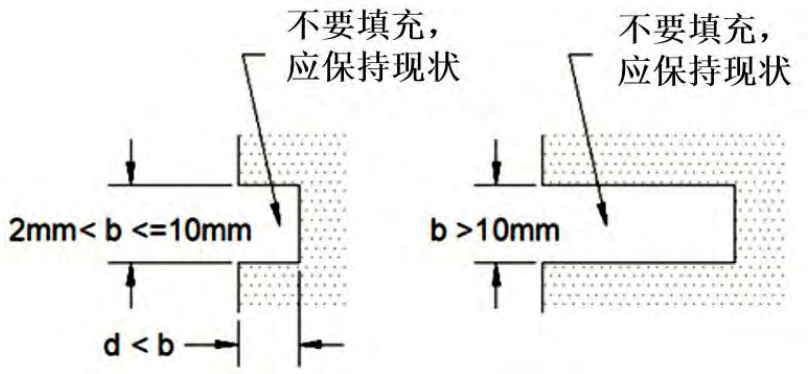


图 6-17：喉的尺寸满足以上任意一个条件时，开口部位将不视作微通风空腔

许多情况下，门窗幕墙产品的外露开口并不是一个简单的矩形。在实际产品的建模过程中，遇到几何外形复杂、且带有外露开口的通风空腔时，往往需要**多步建模步骤如下：**

① 首先，确定所有“喉宽b”≤ 2 mm 的“喉”位置（无论“喉深d”是多少），并用标准的 Frame Cavity NFRC 100 填充，使该空腔成为一个与通风空腔相邻的封闭空腔。

② 接着，按照上述规则对剩余的空腔进行相应处理，并在适用的情况下使用 Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100 填充，或保持开口现状。

多步建模的情况可能发生在中框或曲面结合的部位（图6-18），或室外接缝中的挡风雨胶条（图6-19）。 如果室外开口需要多步建模，外部的“喉”应定在“喉宽”最接近 10 mm 但不超过 10 mm 的位置。在下面的 图6-18 中，不存在 2 mm “喉宽”，外部狭窄处的宽度为 9.8 mm，因此整个狭窄处应被指定为 Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100 (原文此处为 unventilated cavity 封闭腔体，译者认为是笔误，应改为封闭腔体)。

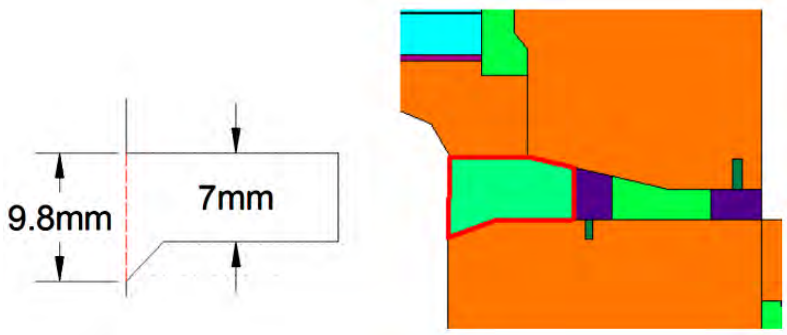


图 6-18：通风空腔中的多步建模

如果在挡风雨胶条周围等复杂几何外形中出现多个台阶，首先找到 ≤ 2 mm 宽的“喉”，并用 Frame Cavity NFRC 100 填充，然后重新评估其余的狭窄部位。需要注意的是：微通风空腔的“喉深d”不包含填充了 Frame Cavity NFRC 100 的任何封闭空腔。下面的 图6-19 说明了在相同的室外开口结构中使用通风、封闭空腔的正确和错误建模。

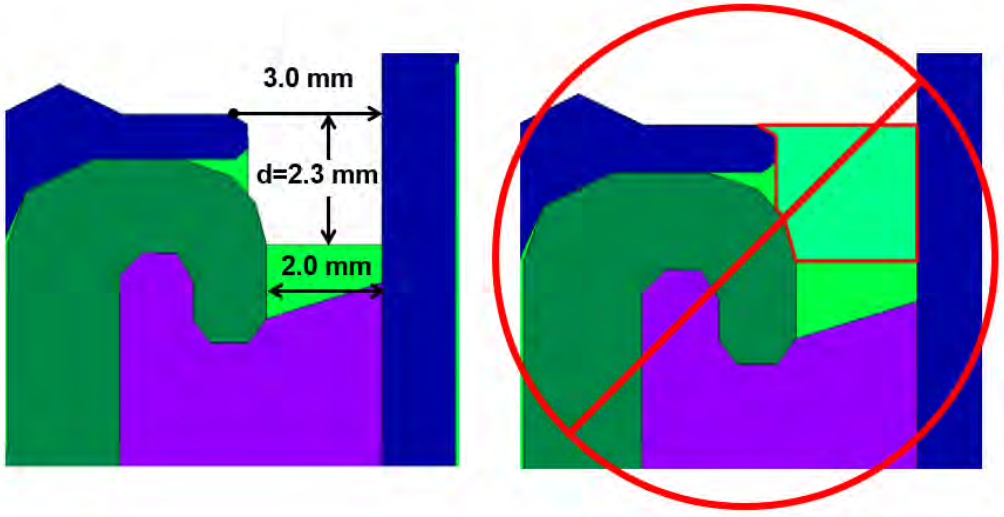


图 6-19：带有防风雨条的通风空腔多步建模

下面的 图6-20 和 图6-21 列举了更多组合了通风和封闭空腔的多步建模示例：

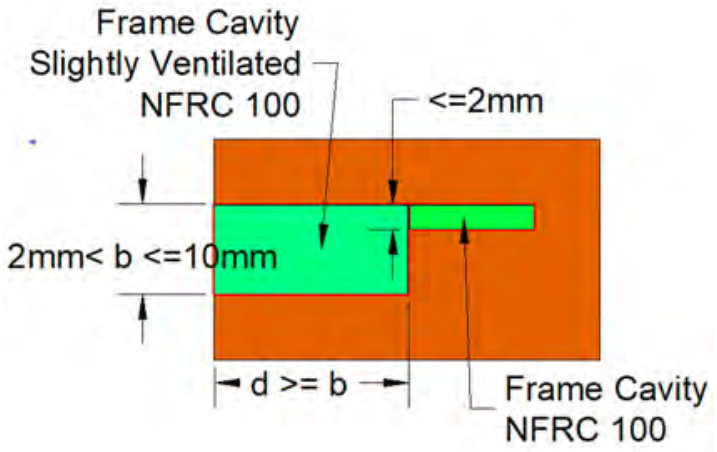


图 6-20：在用Frame Cavity NFRC 100填充了最内部≤2mm的缝隙后,
对符合条件的室外开口使用Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100进行填充

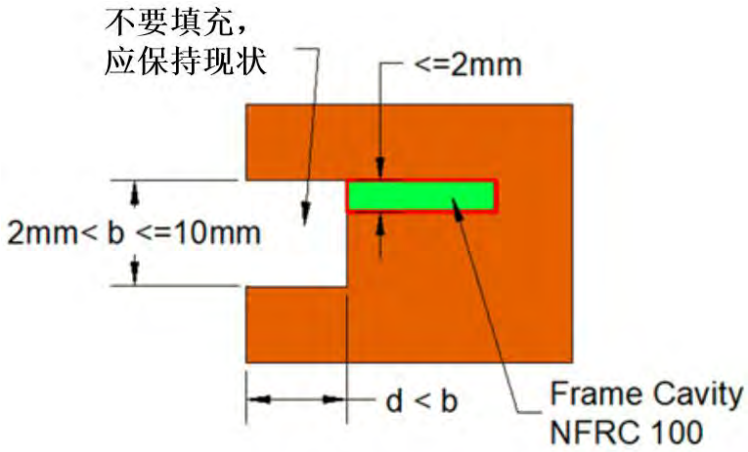


图 6-21：在用Frame Cavity NFRC 100填充了最内部≤2mm的缝隙后,
对不符合条件的室外开口，保持开口现状(不填充)

此外，还存在一种特殊的、形状似尖角的通风空腔（图6-22）。

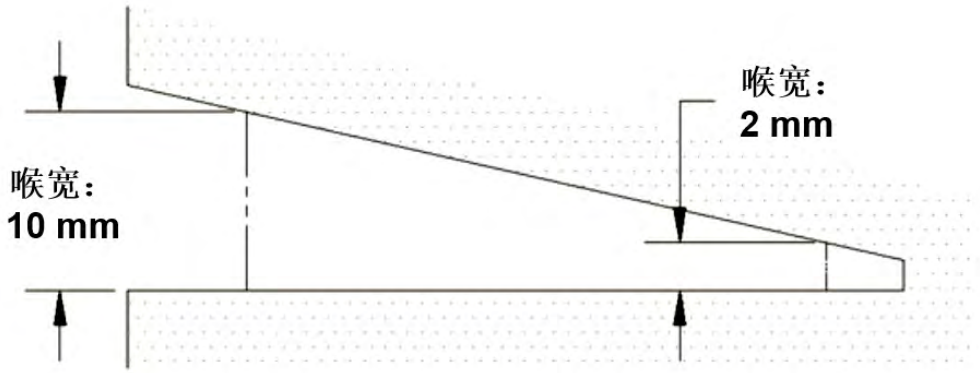


图 6-22：尖角形的通风空腔

在建模尖角形的通风空腔时，建模师必须首先确定相邻两壁之间的水平或竖直距离等于 10 mm 的位置，接着从那个 10 mm 的位置开始，通过定位或测量等功能过渡到 2 mm 的位置。如果尖角形顶部的宽度 ＞ 2 mm，则指定空腔的 10 mm 以下部分为 Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100。

然而，如果尖角形顶部相邻两壁之间的距离 ≤ 2 mm，那么这两个距离 2 mm 的点就是封闭空腔的开始，并用标准 Frame Cavity NFRC 100 填充。接着，建模师必须重新评估“喉宽b”和“喉深d”，（d 现在等于 10 mm 点和 2 mm 点之间的距离），并根据前面提到的规则，判定剩余的空腔是否满足微通风空腔的条件，从而进行相应的建模操作。图6-23 展示了在填充 2 mm“喉”后，“喉深d”的尺寸变化及其对空腔类型的影响。

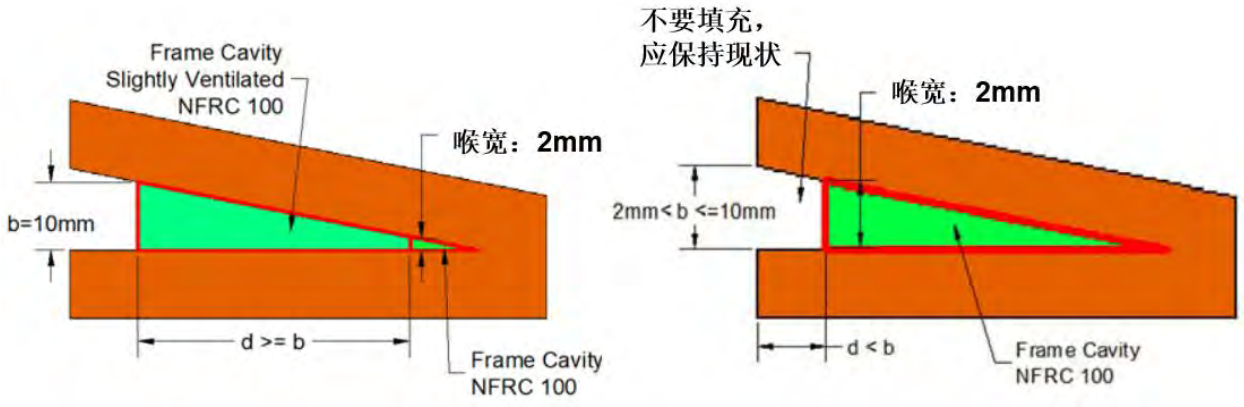


图 6-23：根据缝隙尺寸填充尖角形的室外开口

6.3.7. 因测试需要而形成的封闭空腔

进行产品物理性能测试期间，为了避免空气渗透造成测试误差，产品的框架与洞口的室内外接缝都会贴上胶带进行密封，这些密封产生的空腔应按照标准的 Frame Cavity NFRC 100 进行填充建模。

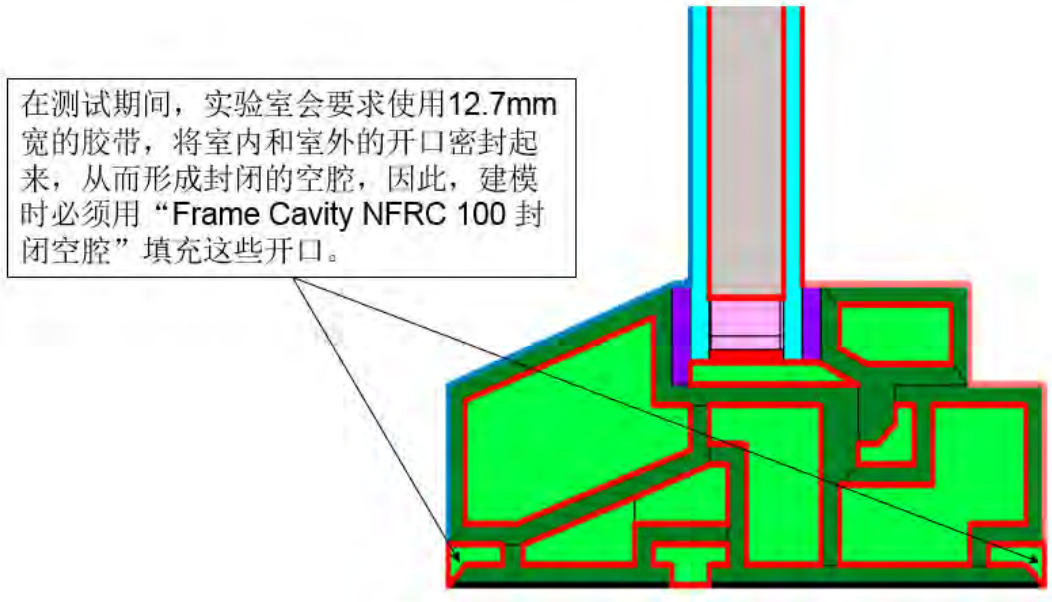


图 6-24：用Frame Cavity NFRC 100填充朝向室内的空腔

框架室内侧的密封胶条与玻璃之间，或者框架与框架之间通常会存在接缝，空气很可能会通过这些缝隙，并沿着一定的路径从室外进入室内（或从室内进入室外）。由于产品性能测试需要排除这种漏气造成的干扰，因此在测试前，除了封闭室外开口，实验室也会将这些室内接缝用胶带封闭起来。实验室封堵上限 12.7 mm（自框底起算）。为此，在建模时，需要找到这些将被实验室封闭的接缝区域，并用 Frame Cavity NFRC 100 进行填充。如有必要，可以咨询实验室，确认是否还有其它的漏气路径需要被密封。

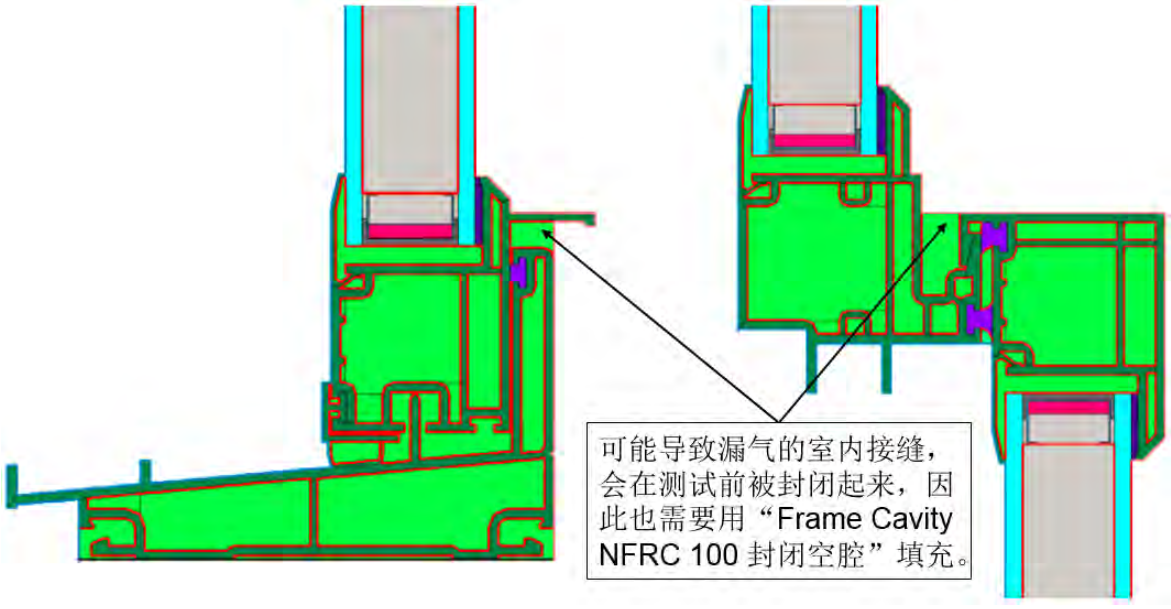


图 6-25：为防止漏气，用胶带封住接缝，从而形成了封闭空腔，这些空腔用Frame Cavity NFRC 100填充

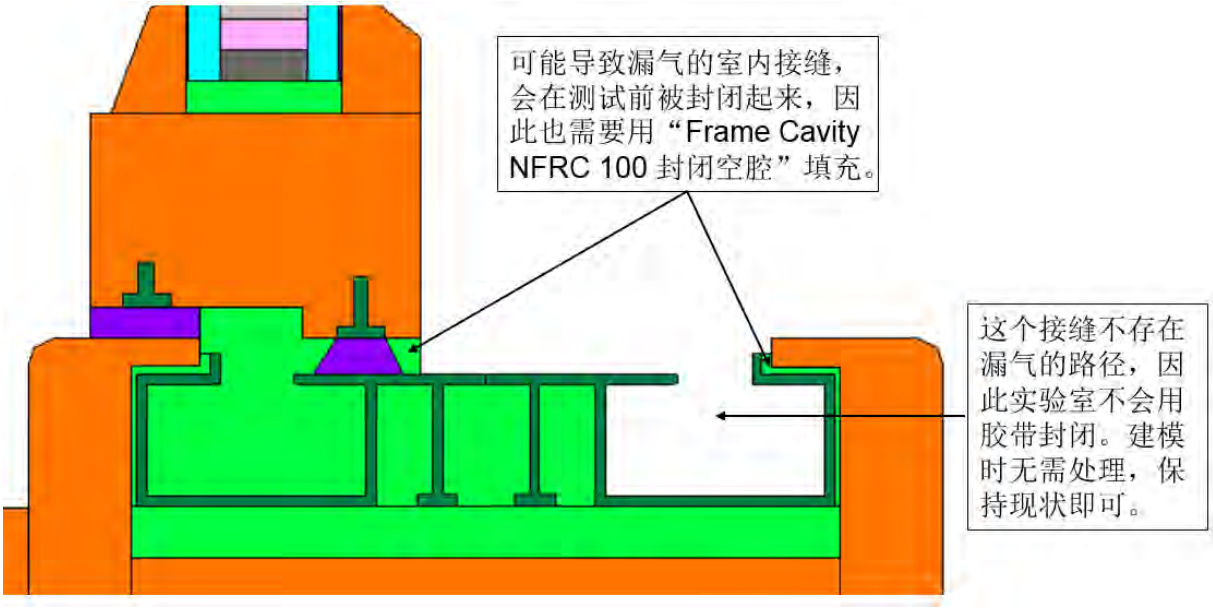


图 6-26：室内接缝的密封与不密封

玻璃的密封材料是典型的外形可变部件（见 第6.3.5节），图6-27 展示了建模师可以如何建模计算外形可变的玻璃密封。由于玻璃的密封部位一般不存在漏气，即便存在接缝，实验室也不会用胶带封闭，因此建模时无需处理。

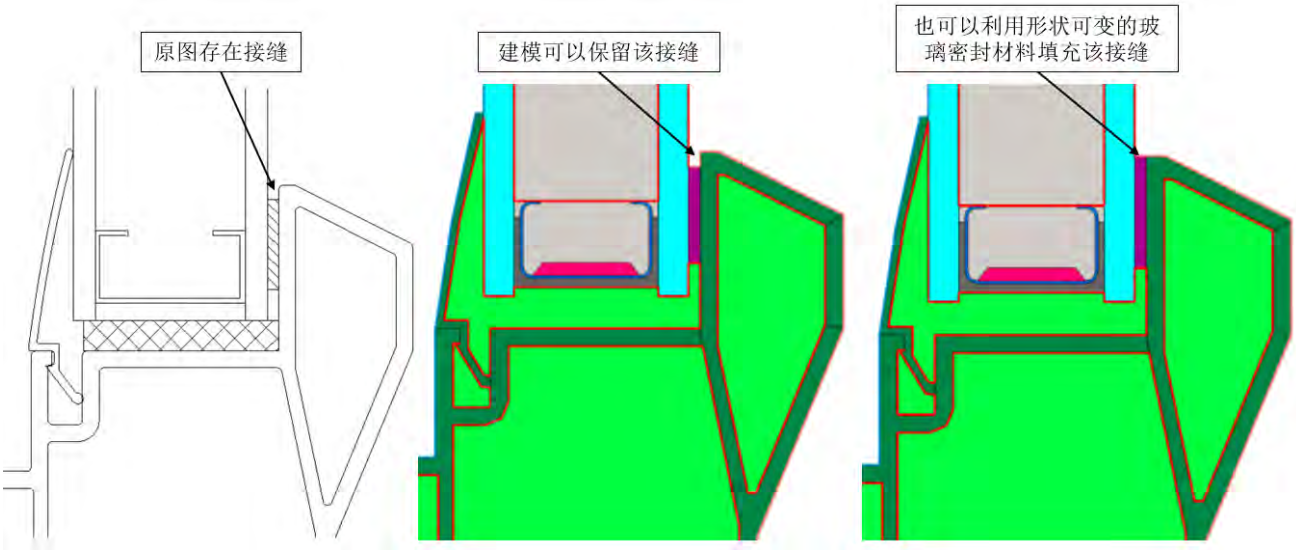


图 6-27：玻璃密封的接缝可以不用Frame Cavity NFRC 100填充

6.3.8. 斜面和曲面的建模

由于 THERM 可以精确地建模计算斜面的几何外形，因此不需要改变斜面的边界条件。

对于曲面或弧形多边形，导入 DXF 文件时，THERM 会自动生成多个线段，用于拟合曲线。线段的数量决定了最终模型与产品原始几何外形的相近程度。**设置线段数量的步骤如下：**

① 鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences

② 进入 Drawing Options 页面，在Arc to Polygon（圆弧到多边形）栏中输入数字“45”。

有关这部分的详细介绍，请参阅 LBNL THERM 网站文档“绘图提示文件”中关于“圆弧的说明”的部分。一般来说，Arc to Polygon 为 45度，即可将型材中的小圆和圆角转换成精度足够好的多个线段，而不引入不必要的细节。对于曲率较大的节点，代表线上所有的点必须在距离实际线或曲线 5 mm 范围内的，根据《ISO 15099》，标准代表线与实际线或曲线之间的平均距离（含所有点）不得大于 2.5 mm。

6.3.9. 斜窗台的建模

带有斜窗台（底横梁）产品的建模必须与实际的测试情况相同。当测试竖向提拉窗或固定窗时，斜窗台下方的空间被保温材料填满了，因此在热工建模时，窗台下方也必须用保温材料进行填充（图6-28）。

将保温材料底面的边界条件定义成 Adiabatic（绝热），面向室内表面的边界条件则与其它室内组件一样。保温材料室内面的 U值标签 定义为 Frame（框架），以确保在产品整体 U值 的面积加权中被正确计入。

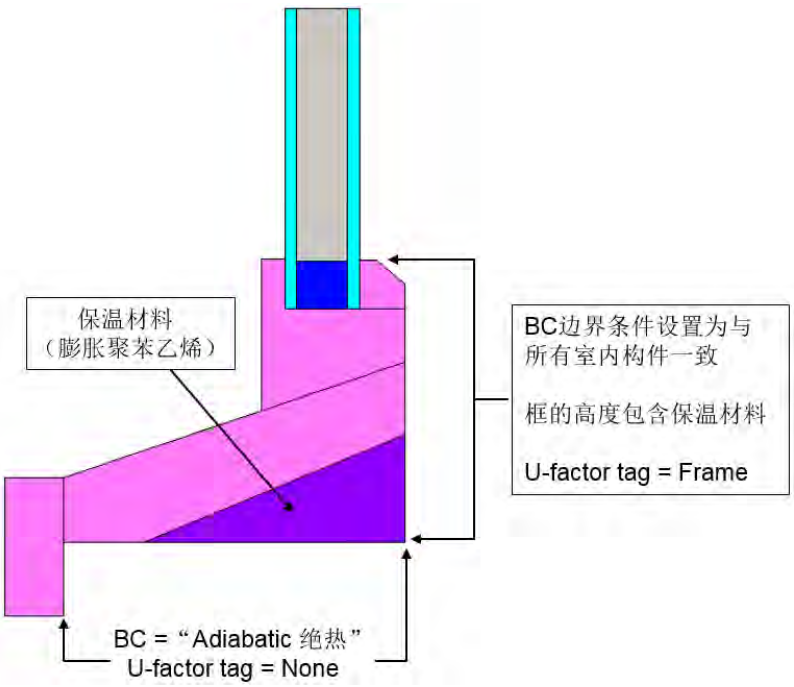


图 6-28：斜窗台按照实际测试的情况进行建模，窗台底部有保温材料

6.3.10. 用 THERM 模拟超薄材料

厚度小于 0.127mm (0.005") 的薄金属箔需要特别注意，建模师可根据周围材料的情况，自行决定采用以下两种选项中的哪一种。对于厚度小于 0.127mm (0.005") 且导热系数小于 10 W/mK 的超薄非金属层（例如：间隔条组件中的防潮膜），可以不进行建模。

方法1： 为了模拟超薄的金属箔，可将其厚度增加一定的倍数，并将导热系数除以相同的倍数。按实际厚度的 x 倍绘制金属箔，并使用 NFRC101 中查得的导热系数的 1/x 作为等效导热系数。修改后的厚度不得超过 0.005"。

方法2： 如果超薄金属与其他薄材料（厚度 < 0.127 或 0.05"）粘合在一起，则可以使用第 8.8.4 节中记录的等温面法（isothermal planes method）来确定组合材料的等效导热系数。

无论使用哪种选项，也无论材料是金属还是非金属，都应采用原始材料的表面发射率。

计算示例：

方法1

厚度为 0.0003" 的铝，k = 160 W/m-K，厚度缩放到 0.005"

缩放系数 x = 0.005" / 0.0003" = 16.6667

$K_{eff} = k \cdot (1/x)$

$= 160 \cdot (1 / 16.6667)$

= 9.6 W/m-K @ 0.005"

方法2 示例

厚度 0.0003" 的铝粘合到 0.0038" 厚的高密度聚乙烯（polythene HD）上

$K_{eff} = F_b \cdot K_b + F_n \cdot K_n$

其中，

铝：K_b = 160 W/m-K，D_b = 0.0003"

高密度聚乙烯：K_n = 0.500 W/m-K，D_n = 0.0038"

D_t = 0.0003" + 0.0038" = 0.0041"

$F_b = D_b / D_t$ = 0.0003" / 0.0041" = 0.0732

$F_n = D_n / D_t$ = = 0.0038" / 0.0041" = 0.9268

K_{eff} = 0.0732 · 160 W/m-K + 0.9268 · 0.500 W/m-K

= 12.1754 W/m-K @ 厚度 0.0041"

如有必要，允许使用 方法1 的算法对 方法2 的结果进行再缩放。

将 0.0041" 的结果重新缩放至 0.0040"：

x = 0.0040" / 0.0041" = 0.9756

$K_{eff-rs} = K_{eff} \cdot (1 / 0.9756)$ = 12.1754 W/m-K · 1.025

= 12.5 W/m-K @ 厚度 0.0040"

6.4. 导入玻璃系统

当框架截面绘制完成后（可能需要旋转到竖直方向），下一步就是导入玻璃系统。《THERM 用户手册》 “第5.9节：导入玻璃系统”包含了相关的详细信息，本手册增加了关于计算多个玻璃系统的介绍。

6.4.1. 概述

对于 NFRC 认证建模，当玻璃系统应从 WINDOW 的玻璃系统库导入到 THERM 模型中。THERM 就能从 WINDOW 中获得关于玻璃的以下信息：表面换热系数、空腔的等效导热系数、室内外边界条件。

第6.3节 中已经提到，玻璃系统应该始终以竖直（向上或向下）的方向导入截面（为此可能需要旋转截面），随后就需要在 THERM 模型中设置一个玻璃导入时的参照点。

设置 Locator 的步骤如下：鼠标移至主菜单 → Draw → 点击 Locator，通过在 THERM 模型图中点击 鼠标左键，画出一个圆点。图6-29 展示了在导入并决定玻璃系统的方向时，定位点应处的位置。玻璃系统的方向在一定程度上决定了重力矢量，因此正确建模是非常重要的。

注意：一般来说，最好在导入玻璃系统和定义边界条件之前，旋转或翻转截面。然而，天窗是个例外（它的模型是斜的），在这种情况下，应在竖直方向导入玻璃系统，定义边界条件，然后旋转整个截面。

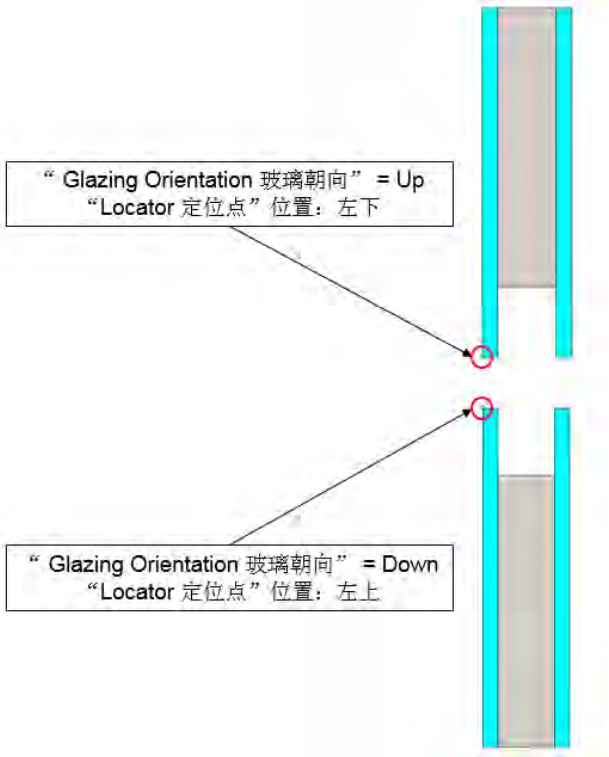


图 6-29：当导入不同朝向的Glazing System时, Locator的位置

6.4.2. 插入玻璃系统

《THERM 用户手册》介绍了如何把用于 U值 和抗结露计算的玻璃系统从 WINDOW 导入 THERM。图6-30 对插入玻璃系统的操作步骤做了详细说明。

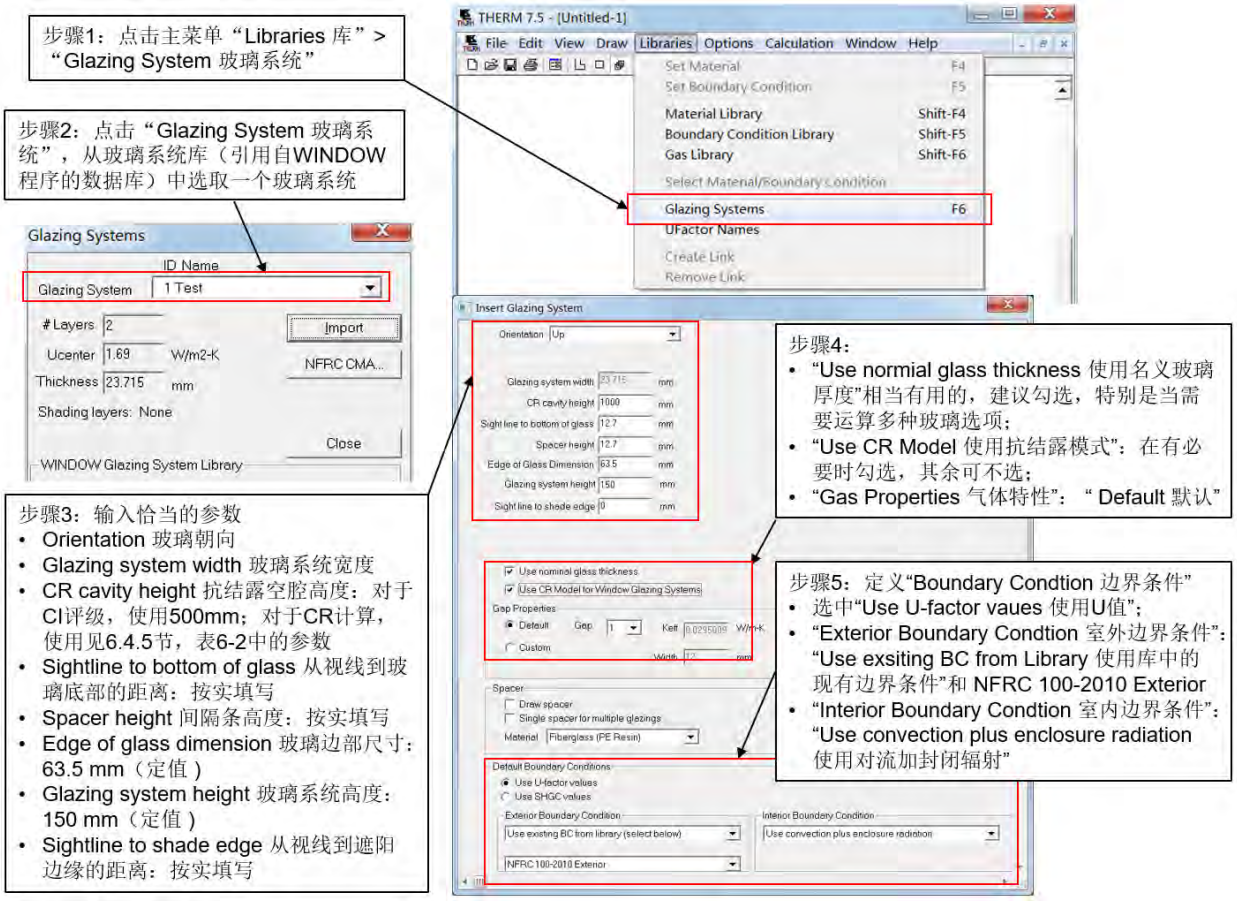


图 6-30：插入一个Glazing System

当插入一款玻璃系统时，NFRC 认证建模的要求如下：

- CR cavity height（抗结露空腔高度）：

  对于 ANSI/NFRC 500 结露指数（CI）评级，该数值取 500mm

  对于 NFRC 500-2017 抗结露（CR）评级，见本手册的 第6.4.5节，表6-2

  上述两者的计算都需在激活（打勾）“Use CR Model for Window Glazing Systems”功能时进行。

- Edge of Glass（玻璃边缘）：63.5 mm（或2.5英寸）

- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（或6.0英寸），适用于所有产品

- Exterior Boundary Condition（室外边界条件）：设为 Use existing BC from Library，并选择 NFRC 100-2010 Exterior，以便 THERM 将其分配到所有室外表面。

- Interior Boundary Condition（室内边界条件）：设为 Use convection plus enclosure radiation，这样，THERM 就会自动计算玻璃系统的边界条件，并使用自动封闭辐射模式，不需要手动进行封闭。

当导入玻璃系统时，建议勾选 Use nominal glass thickness（使用名义玻璃厚度） 复选框，激活该功能对于一次计算多各玻璃系统是很有帮助的，如果所有的玻璃系统的厚度都相同，在建模计算时会省去很多麻烦。关于该功能的更详细说明，可以参阅《THERM 用户手册》。

6.4.3. 一次计算多个玻璃系统

THERM 有一种非常有用的功能：允许多个玻璃选项关联到一个 Base Glazing System（基础玻璃系统），从而实现在同一个的框架截面上，**一次计算多个玻璃系统，步骤如下：**

1. 确定要建模的框架截面。用于框架截面的多个玻璃系统，即 Glazing Options（玻璃选项），必须在其几何外形上完全相同，包括总厚度、空腔厚度、间隔条高度和视线尺寸。此外，还必须确定框架截面的数量，包括窗格和中框，然后在 THERM 中进行对它们所配套的 Glazing Options 进行定义。

2. 创建和建模计算 Base Case File（基础文件）。对于每个框架和玻璃选项集，首先要创建一个具有完整框架截面和一个玻璃系统（即基础玻璃系统）的 THERM 文件，接着为这个模型创建边界条件，确保在导入玻璃系统时勾选 Use convection plus enclosure radiation（使用对流加封闭辐射），然后执行 Calc 进行计算，以确保几何外形是正确的，这样就得到了 Base Case File。

3. 添加玻璃选项（图6-31，图6-32）：

① 双击 THERM 模型中的玻璃图形，打开 Glazing System Info（玻璃系统信息） 对话框

② 点击 Glazing Options

③ 点击 Add，打开 Add Glazing Options（添加玻璃选项） 对话框

④ 查看当前的 Glazing System Library（玻璃系统库）中所有可用的玻璃系统，这些玻璃系统的特征是：与 Base Glazing System（基础玻璃系统）的 Glass Layer（玻璃层）和总厚度完全相同。（注：如有必要，可勾选 Use nominal glass thickness（使用名义玻璃厚度） 复选框，使所有玻璃系统的厚度一致。）

⑤ 在 Add Glazing Options（添加玻璃选项） 对话框中，使用 Shift 或 Ctrl + 点击的方式选择想要与 Base Glazing System（基础玻璃系统）相关联的玻璃系统

⑥ 点击 Ok ，确认并关闭对话框。

4. THERM 将为每个玻璃选项自动创建一个独立文件，并在 Glazing System Options（玻璃系统选项）对话框中，通过单选方式选择该独立文件的命名规则，有两种选择：在 Base Case File（基础文件）的文件名后，添加玻璃系统的名称或编号作为新文件名。

5. 分配边界条件：THERM 将自动定义并计算每个单独的玻璃选项的边界条件。

6. 计算结果：完成上述步骤后，就可以建模计算各个文件了，或者可以通过 Calc Manager（计算管家）功能添加所有需要计算的文件，相关内容将在“第6.6节：计算结果”中详细说明。

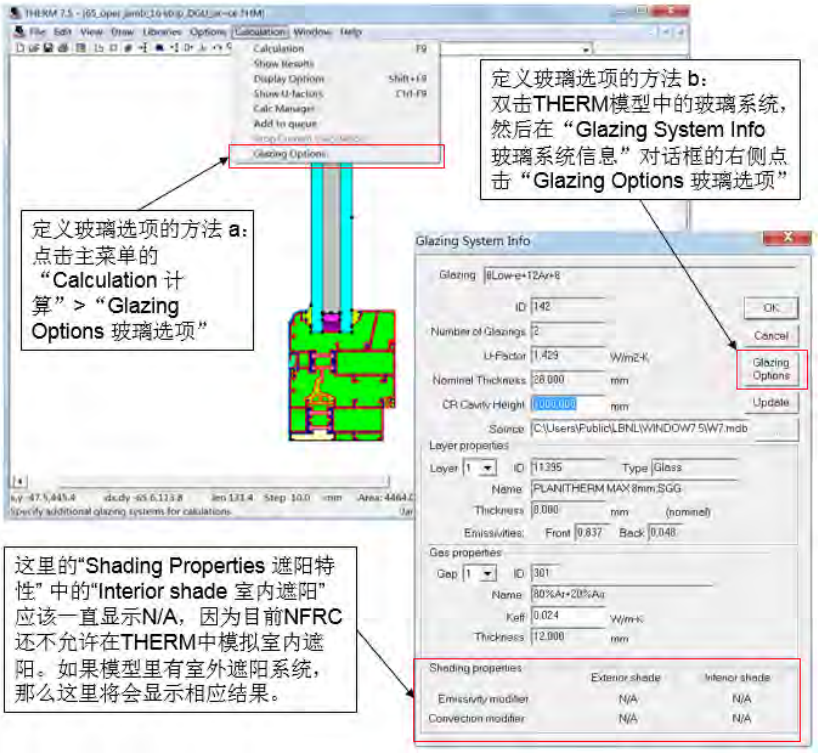


图 6-31：定义Glazing Options

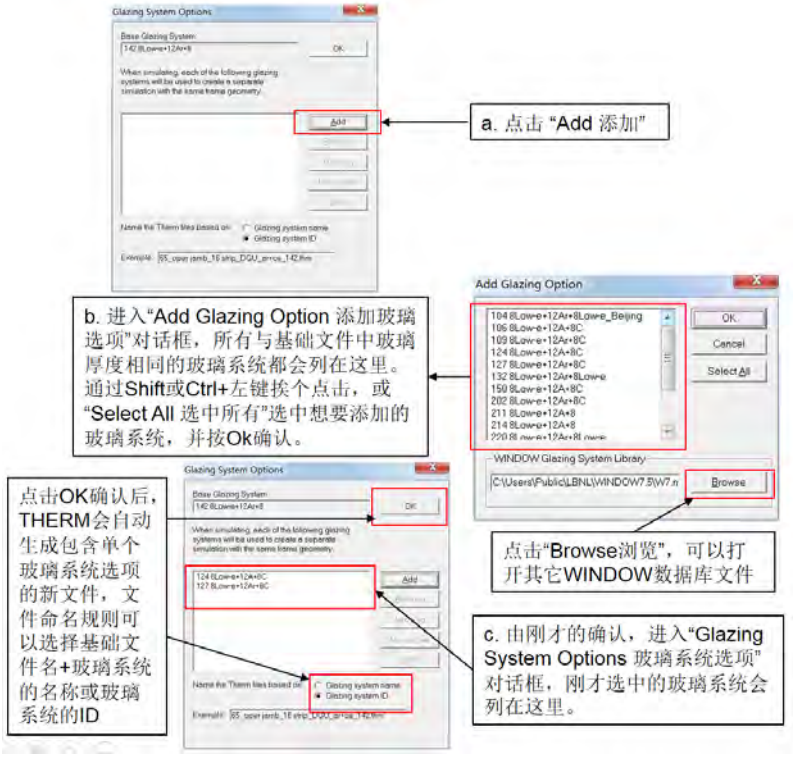


图 6-32：选择与Base Glazing System相关联的Glazing System

6.4.4. Link（链接）玻璃空腔

当一个玻璃系统的空腔接触另一个空腔时，在建模方面有两种情形：

- 将玻璃系统的空腔与另一个空腔之间建立“Link（链接）”，而不是将后者建成框架空腔；
- 将非玻璃系统的空腔建成框架空腔；

具体选择何种建模方法，取决于玻璃系统的空腔与其它空腔的几何关系，常见的情况如下：

- **非密封的玻璃单元（如防风暴板和玻璃之间的活动百叶）**

1. 在与玻璃系统空腔相邻的那个空腔的狭窄处（“喉”），应用 5 mm 规则：即，如果“喉”小于5 mm，则视作该空腔为框架空腔。

2. 如果一个空腔与两个玻璃系统的空腔接壤，并且每个玻璃系统空腔的“喉”都 ＞ 5 mm，则通过 THERM 的 Create Link（建立链接）功能，将该空腔的传导系数“链接”到具有最大“Keff 等效导热系数”的那个玻璃系统空腔，**具体操作步骤如下：**

① 双击玻璃系统，查看到各个玻璃空腔的 Keff ，并找到Keff 值最大的那个玻璃系统。

② 选中需要“链接”的框架空腔

③ 鼠标移至主菜单 → Libraries → 点击 Create Link

④ 出现“吸墨”图标，通过鼠标移动到步骤 ① 中那个 Keff 值最大的玻璃系统，在其空腔（灰色多边形）上点击 鼠标左键

⑤ 框架空腔的图块变成灰色多边形，完成。

- **密封的玻璃单元 （中空玻璃）**

Create Link 的 5 mm 规则 不适用于中空玻璃。即便“喉”小于 5 mm，所有接触玻璃系统的空腔之间都是连通的，如 U形 间隔条的空腔，也不需要再进行任何的特别操作。

- **内部窗格（格栅）：**

上述规则不适用于内部窗格。当内部窗格的边缘与Glass Layer（玻璃层）之间的距离小于 3 mm 时，才须进行相应的建模，请参阅“第8.3节：窗格”。

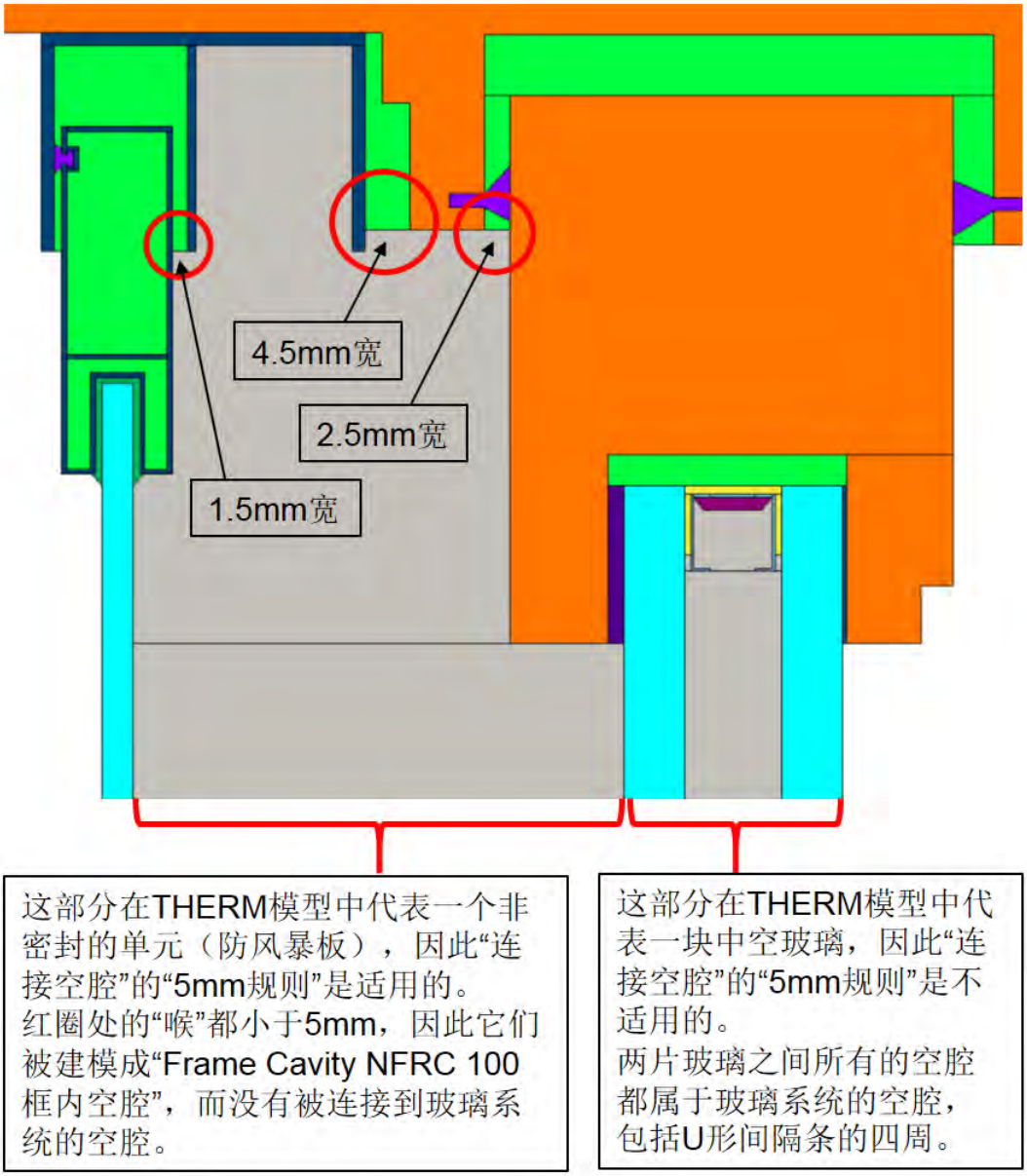


图 6-33：示例模型中，一部分空腔是中空玻璃的一部分，另一些是非密封玻璃系统的一部分.

由此形成的一部分空腔与中空玻璃的空腔Link，另一部分空腔根据“5mm规则”，被定义为Frame Cavity NFRC 100

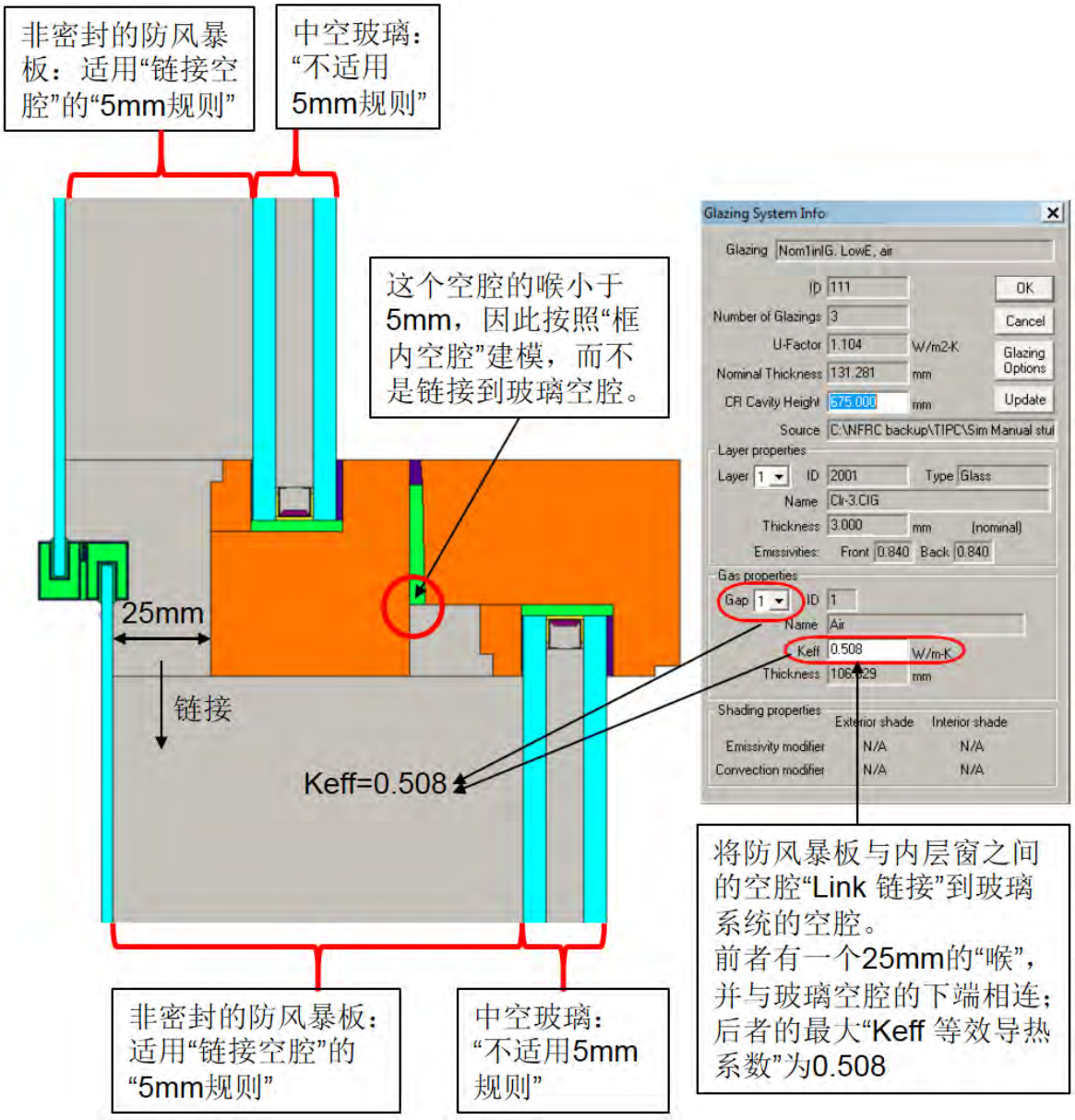


图 6-34：将防风暴板与内层窗之间空腔的喉大于5mm，因此被Link到中空玻璃的空腔.

由于中空玻璃有两个空腔，应当Link到Keff值较大的那个空腔

6.4.5. 抗结露

THERM 有 CR Model（抗结露模式），CR 模式的激活方式有两种：

- 在导入玻璃系统时，在 Insert Glazing System 对话框内，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 的复选框。
- 鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 THERM File Options 页面，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 复选框。

当在模型中导入玻璃系统时，如 第6.4.2节 所述，CR cavity height（抗结露空腔高度）应根据所需的结露评级体系（NFRC 500-2017 或 ANSI/NFRC 500 2020或更新的版本）进行确定。

A) NFRC 500-2017 抗结露（CR）评级

CR cavity height（抗结露空腔高度）按表6-2 填写。如果实际产品的玻璃高度没在 表6-2 中列出，则将产品的高度减 100 mm 后的值用于抗结露计算的默认玻璃高度。以落地玻璃门为例，《ANSI / NFRC 100》中的 表4-3 列出的模型高度为 2090 mm，因此实际玻璃高度，即在 THERM 中的 CR cavity height 应为 1990 mm。

表 6-2：抗结露计算用的玻璃高度默认值

实际产品的高度	抗结露建模用的默认玻璃高度 （在 THERM 的 CR cavity height 中输入该数值）
2000 mm	1900 mm
1500 mm（竖向平移）	每个窗扇 675 mm
1500 mm（非竖向平移）	1400 mm
1200 mm	1100 mm
600	500 mm

B) ANSI/NFRC 500 结露指数（CI）评级

结露指数（CI）评级今后将取代抗结露（CR）评级，但两者在未来几年还将共存一段时间。CR cavity height（抗结露空腔高度）应当输入一个常量500mm，与产品类型和高度无关。

激活 THERM 的抗结露模式后，将玻璃系统的空腔内将自动生成边界条件（图6-35）。再进行该模型的建模计算时，THERM 会自动计算 U值 和抗结露结果。

抗结露计算不适用于竖向截面，如边立柱、中立柱或窗格中立柱等。即使抗结露模式处于激活状态，THERM 也不会对这些截面类型执行抗结露建模计算。

抗结露计算模式也不适用于玻璃中空层内嵌遮阳系统的情况。当抗结露模式不适用于整体产品的抗结露计算时，作为代替，WINDOW 将使用从 THERM 的 U值 计算中得到的温度，如表6-3 所示。

就 NFRC 500-2017 的整体产品抗结露（CR）评级而言，THERM 从抗结露和 U值 的建模计算中生成温度数据，WINDOW 使用这些数据来计算框架的抗结露值（通过 Frame Library（框架库）的详细视图显示）以及整体产品的抗结露值（通过 Window Library（窗库）的详细视图显示）。然而，当需要根据 ANSI/NFRC 500 进行结露指数（CI）评级时，应当使用 NFRC 官方的软件 CI Temperature Reading Tool（结露指数温度读取工具），该软件和用户手册可从 NFRC 官网获取。热工建模师有义务学习并理解结露指数（CI）的确定方法，具体内容见 LEAFF 手册 “Linear Energy Analysis For Fenestration (LEAFF), Trendline Approach Component Based Calculation and Condensation Index Simulation Manual”

表 6-3：WINDOW使用的温度(根据不同产品类型和倾角)

产品类型 （来自THERM）	WINDOW 整体产品的倾角，在 Window Library（窗库）的详细视图输入	WINDOW 计算整体产品的抗结露（CR）和结露指数（CI）时使用的温度
水平组件： 底横梁，顶横梁，中横梁，水平窗格	90	抗结露（CR）值
水平组件和竖向组件： 底横梁，顶横梁，中横梁，水平窗格，边立柱，中立柱，竖向窗格	≥ 0，≤ 20	U值
竖向组件： 边立柱，中立柱，竖向窗格	90	U值
水平组件和竖向组件： 底横梁，顶横梁，中横梁，水平窗格，边立柱，中立柱，竖向窗格	＞ 20，＜ 90	不计算抗结露（CR）值

当根据 NFRC 500-2017 进行抗结露（CR）评级时， WINDOW 在 Window Library（窗库）中执行计算时，就会应用这些规则。为了得到 WINDOW 的计算结果，建模师必须在 THERM 中为 WINDOW 提供适当的建模。例如，假设在倾角 90度 窗的建模计算中，缺少底横梁或顶横梁的抗结露值，那么所需的抗结露温度数据就不存在，最终结果是 WINDOW 无法计算整体产品的抗结露值，程序也会提示：哪些截面图缺少抗结露值。

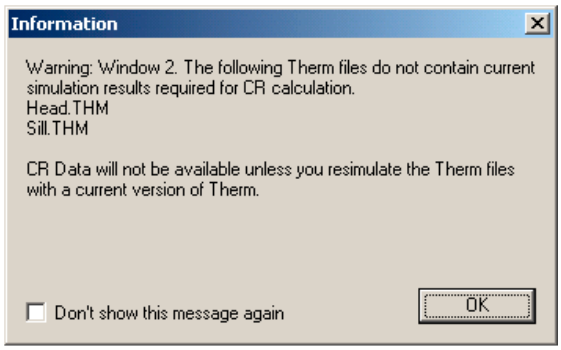


图 6-35：如果检测到THERM文件中缺少抗结露温度数据, WINDOW将会显示一条提示消息

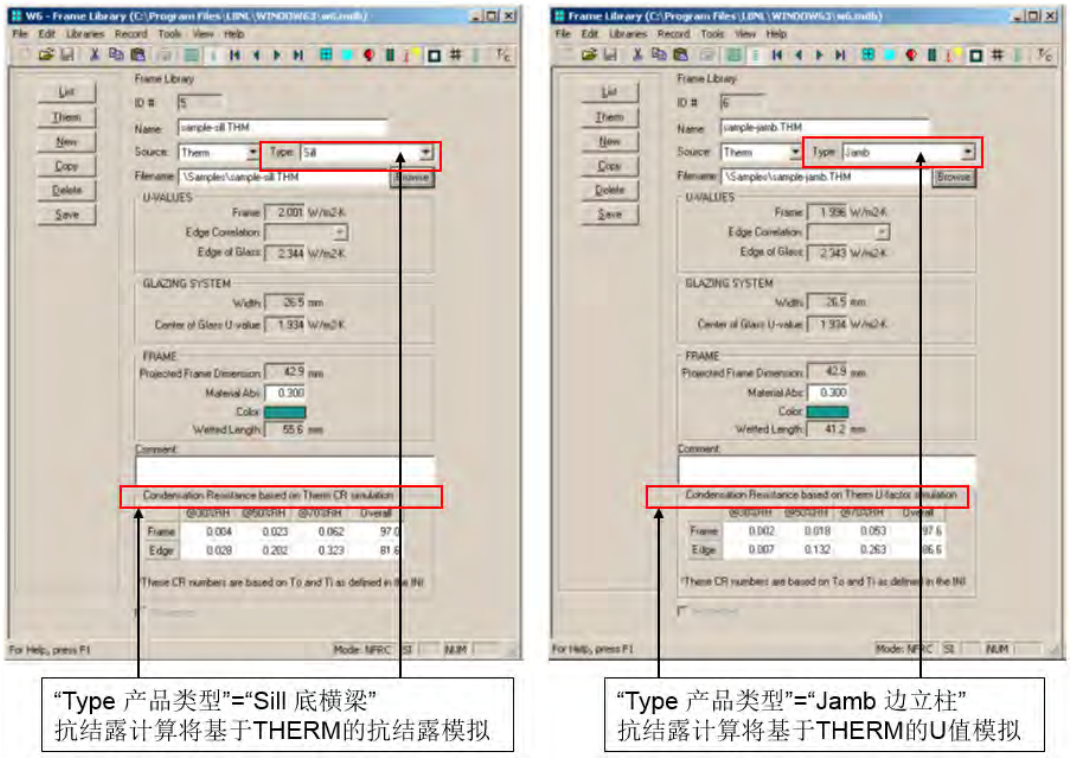


图 6-36：WINDOW Frame Library的详细视图，显示与抗结露一起使用的THERM温度数据的类型，抗结露计算可以基于U值或抗结露值

当根据 ANSI/NFRC 500 进行结露指数（CI）评级时，由于不使用 WINDOW 软件，上述信息可忽略。

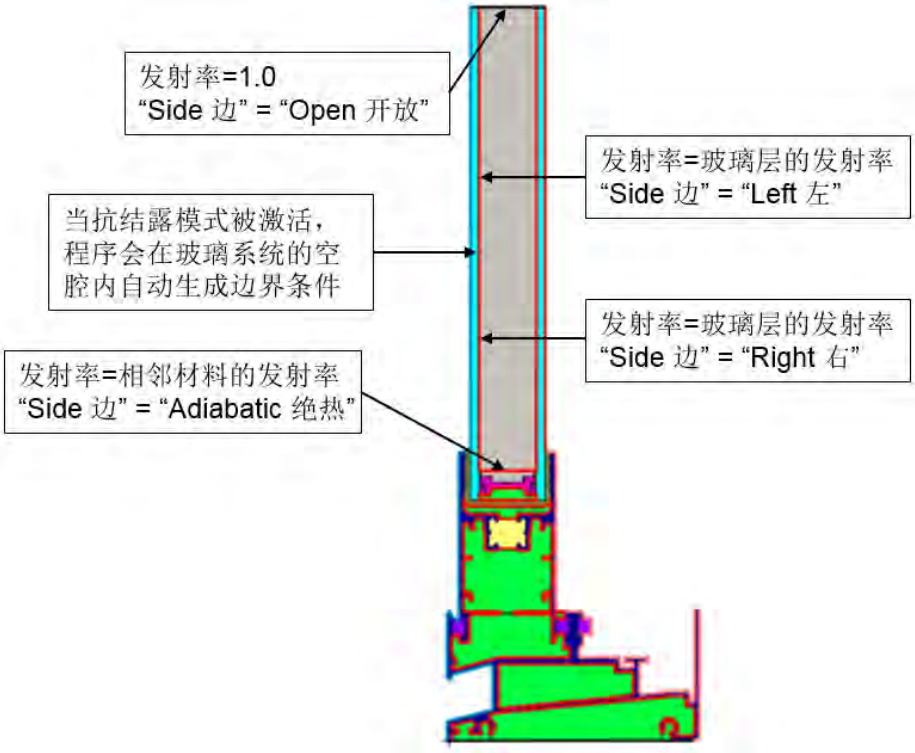


图 6-37：CR模式被激活状态下的模型

6.5. 定义边界条件

《THERM 用户手册》 第6章 详细说明了如何在模型中定义边界条件，本手册对此做了补充。

6.5.1. 概述

模型周长上的所有表面以及辐射封闭附近的表面都必须被赋予 Boundary Conditions（边界条件），这些边界条件将确定模型周长中每个单元的温度和表面换热系数，截面模型室内外表面各自对应其边界条件，而且是不同的，不传热表面的边界条件被定义为 Adiabatic（绝热）。

有三种主要的边界条件：

1. Interior（室内条件）：所有室内组件的表面都使用同一个室内边界条件，并假定这些表面暴露在自然对流中，相关的换热系数取决于该表面的温度，而温度又与材料本身的特性相关。

- **对于玻璃系统**：玻璃系统的室内表面应设置为与从 WINDOW 导入的玻璃系统相关联的边界条件。简而言之：WINDOW 计算玻璃中心的表面温度，当从 WINDOW 导入的玻璃系统时，THERM 将使用这些数据自动计算玻璃边缘的边界条件。

  从 WINDOW 导入玻璃系统时（F6键），将右下角的 Interior Boundary Condition（室内边界条件）设置为 Use convection plus enclosure radiation（使用对流加封闭辐射），这样，玻璃系统的室内边界条件的 Radiation Model（辐射模式） 就会被设置成 AutoEnclosure（自动封闭），在随后的建模过程中，THERM 都将自动赋予其辐射封闭特性（这也是 NFRC 认证建模的要求），用户不必再手动定义边界条件。边界条件的名称一般是：“文件名_玻璃系统名_U-factor Inside Film”。双击代表边界条件的线段可以查看其具体参数（图6-38）。

- **对于框架**：选择预设的室内边界条件的一种，并赋予框架的室内表面。Boundary Conditions Library（边界条件库）中包含了分别适用于 90度 和 20度 倾角截面的室内边界条件，还各自对应不同的框架材料类型，上述所有边界条件的 Radiation Model 均为 AutoEnclosure。这些预设条件是：

  1) Interior Aluminum Frame (Convection only) 室内普通铝框（仅对流）
  2) Interior Thermally Broken Frame (Convection only) 室内断热铝框（仅对流）
  3) Interior Thermally Improved Frame (Convection only) 室内热改进铝框（仅对流）
  4) Interior Wood/Vinyl Frame (Convection only) 室内木/乙烯基框架（仅对流）
  5) Interior (20 tilt) Aluminum Frame (Convection only) 室内（20度倾角）普通铝框（仅对流）
  6) Interior (20 tilt) Thermally Broken Frame (Convection only) 室内（20度倾角）断热铝框（仅对流）
  7) Interior (20 tilt) Thermally Improved Frame (Convection only) 室内（20度倾角）热改进铝框（仅对流）
  8) Interior (20 tilt) Wood / Vinyl Frame (Convection only) 室内（20度倾角）木/乙烯基框架（仅对流）

如果实际框架所用的材料跨多个类别，例如实际框架的材料是铝和木的组合，那么它表面的边界条件取决于室内暴露面积最大的那个材料。室内边界条件的建模规则是：即便室内框架是由多种材料组合而成的，它的表面也只能被赋予一种边界条件（图6-39）。

对于钢蒙皮门的边界条件，请参阅 第8.6节。

2. Exterior（室外条件）：所有组件的室外表面都统一使用 NFRC 100-2010 Exterior，包括玻璃系统。NFRC 100-2010 Exterior 的主要参数是：温度：-18 ºC 或 -0.4 ºF，风速：5.5 米/秒 或 12.3 英里/小时，对流换热系数：26 W/(m² • K) 或 4.58 Btu / (h • ft² • ºF)。

3. Adiabatic（绝热条件）：绝热边界条件用于所有假定没有热流的表面。假定两个截面模型的传热是相互独立的，因此像是单个截面中玻璃系统的顶部和底部，或是测试箱体与产品框架之间的交界面等部位，都被定义为 Adiabatic（绝热）。

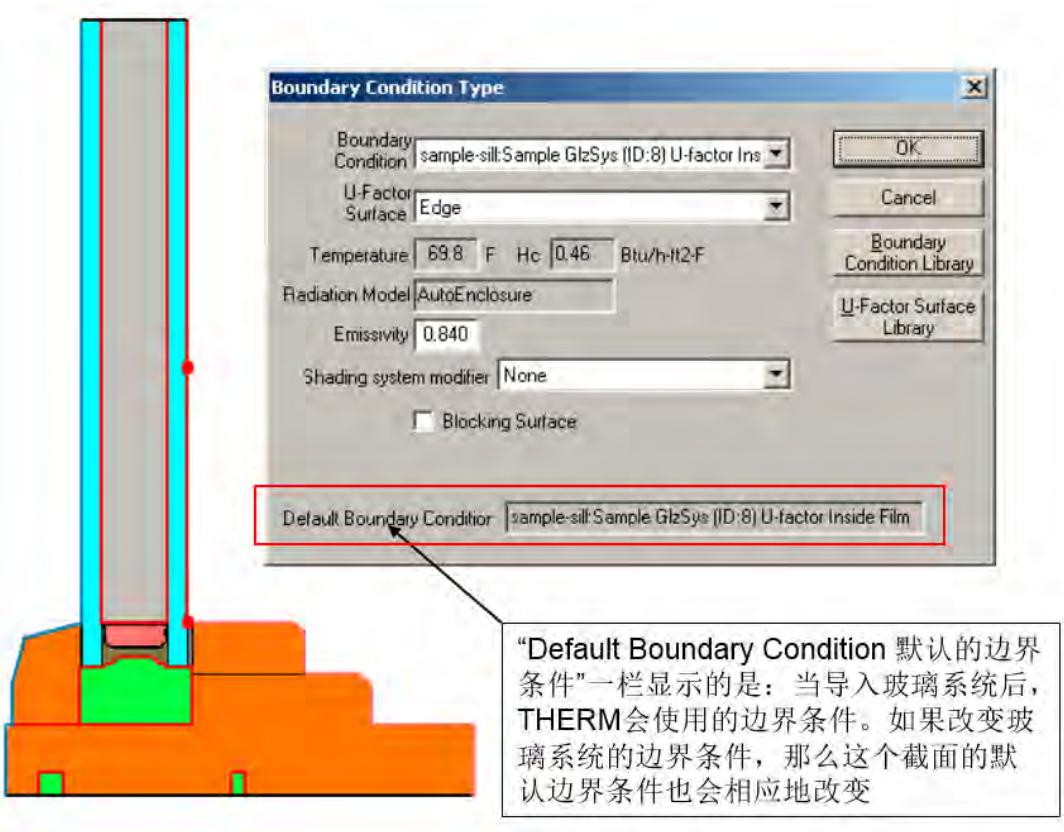


图 6-38：双击代表边界条件的线段，将显示该边界条件的具体参数

Boundary Conditions Library（边界条件库）的打开方式：

鼠标移至主菜单 → Libraries → 点击 Boundary Conditions Library；或双击代表边界段，其中包含了 Adiabatic（绝热）和由 NFRC 定义的标准边界条件，如 表6-4 所示。默认条件下，室外边界条件用蓝色，室内边界条件用红色，绝热边界条件用黑色线段表示。

表 6-4：边界条件的定义

Boundary Conditions 边界条件	Radiation Model 辐射模式	Convective Film Coefficient 对流换热系数			
		Tilt 倾角=90°		Tilt 倾角=20°	
		W/ (m^2 • K)	Btu/ (h • ft^2 • °F)	W/ (m^2 • K)	Btu/ (h • ft^2 • °F)
NFRC 100-2010 Exterior	Blackbody 黑体	26.00	4.578	26.00	4.578
Interior Aluminum Frame (Convection only) 室内普通铝框（仅对流）	Automatic Enclosure Model 自动封闭模式	3.29	0.579	4.65	0.819
Interior Thermally Broken Frame (Convection only) 室内断热铝框（仅对流）		3.00	0.528	4.09	0.72
Interior Thermally Improved Frame (Convection only) 室内热改进铝框（仅对流）		3.12	0.549	4.32	0.761
Interior Wood/Vinyl Frame (Convection only) 室内木/乙烯基框架（仅对流）		2.44	0.429	3.09	0.544
玻璃系统的室内侧 文件名_玻璃系统名_U-factor Inside Film		依据所导入的玻璃系统在 WINDOW 中的计算结果			
钢表皮门板		门板的非金属边缘使用Wood/Vinyl Frame 门板的钢或铝边缘使用Thermally-Improved			
非透明层间板的室内侧		在玻璃幕墙中框上使用与上述边界条件相当的设置			

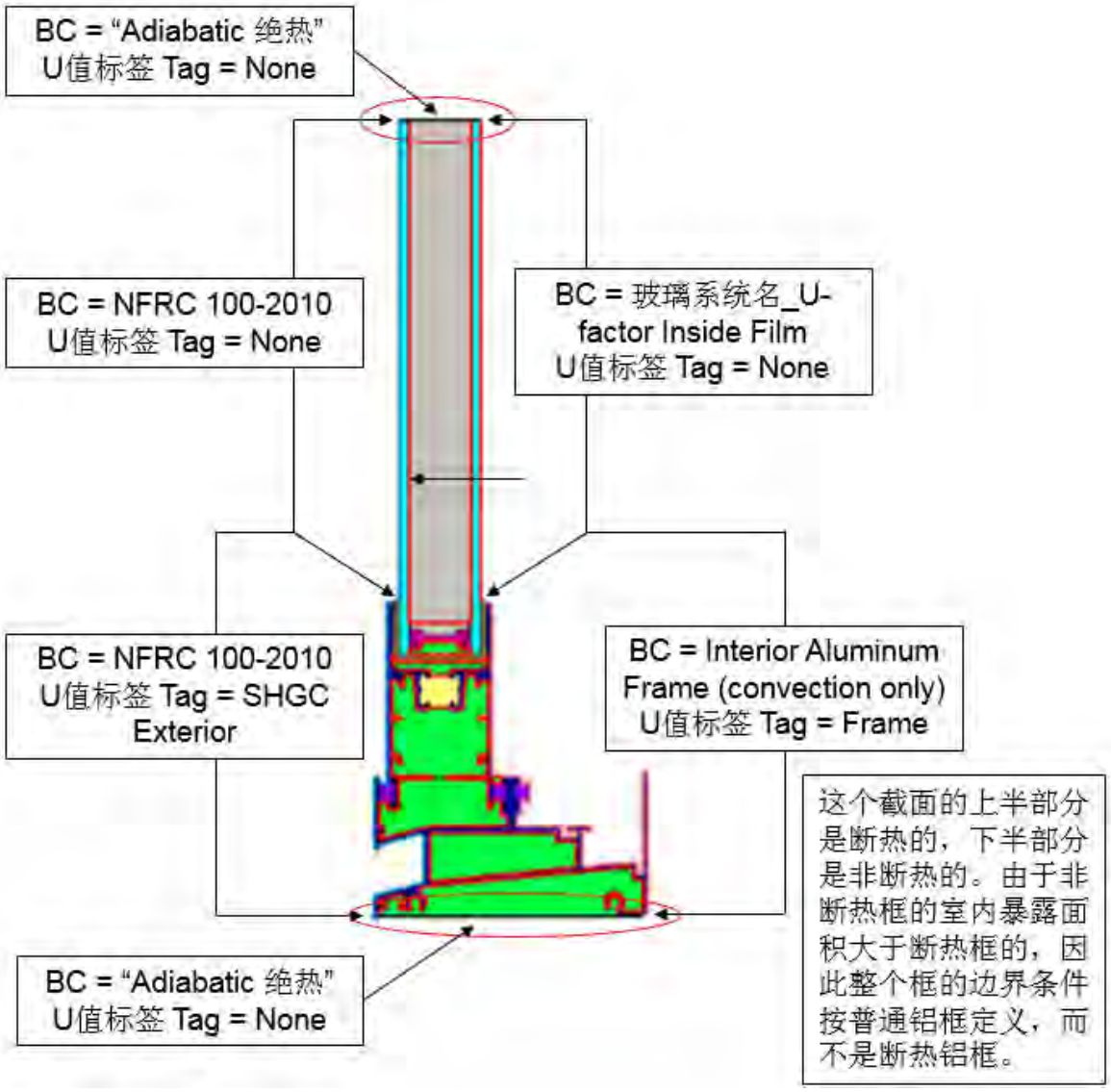


图 6-39：定义截面边界条件的示例

6.5.2. 分配边界条件和 U值标签

创建截面的边界条件有三种方法：

- 直接点击工具栏 

快捷图标
- 鼠标移至主菜单 → Draw → 点击 Boundary Conditions
- 按 F10键

THERM 将为截面的所有表面，包括室内、室外和从 WINDOW 导入的玻璃系统，自动分配边界条件，但在大多数情况下，用户需要重新分配框架的边界条件：

- NFRC 100-2010 Exterior，用于玻璃系统和框架的整个室外表面
- Adiabatic（绝热），用于玻璃系统和框架的顶部和底部
- 玻璃系统和框架的室内表面，根据 第6.5.1节 和 表6-4 的描述，选择适当的边界条件。

《THERM 用户手册》“第6章：定义边界条件”中对此进行了详细的描述。

除了为组件分配边界条件，还须为每个边界条件分配相应的 U-factor Surface Tags（U值标签）。在 THERM 计算前，必须将“标签”分配给所需计算的组件表面。用户可以在 U-factor Names（标签库）中任意添加或删除“标签”，但要特别注意：对于将在 WINDOW 中使用的 U值 计算结果，其“标签”必须严格按照下列名称一致，包括大小写（注意：WINDOW 无法识别其它任何名称）：

- Frame（框架）：用于所有应被当作框架 U值 计算的室内组件，包括框架和视线以下玻璃系统的边缘。请参阅《ANSI / NFRC 100》中的“图4-2：门窗幕墙产品的垂直剖面图”。根据从 WINDOW 导入玻璃系统时输入的 Site line to Bottom of Glass（视线到玻璃底部的距离）数值，THERM 将自动把该 U值标签 分配给视线以下的玻璃系统。
- Edge（玻璃边缘）：用于所有应被当作玻璃边缘 U值 计算的所有玻璃系统的室内边缘。根据从 WINDOW 导入玻璃系统时输入的 Edge of Glass dimension（玻璃边缘的尺寸）数值，THERM 将自动把该 U值标签 分配给玻璃系统的边缘。对于 NFRC 认证建模，该尺寸应为 63.5 mm。
- None（无）：用于所有玻璃系统的室外部分，和玻璃系统边缘以外的室内部分（即 86.5 mm）。除了玻璃系统外的所有表面都会被默认分配到该 U值标签。
- SHGC Exterior：用于视线以下的所有外表面。有些遮阳系统是安装在玻璃之间或玻璃外部的，部分玻璃可能由于遮阳系统的五金件而遮挡了视线，并因此获得该“标签”。该标签用于计算室外框架的外露表面积所对应的SHGC（太阳得热系数），并进一步用于 WINDOW 中整体产品的 SHGC 计算。

关于 Blocking Surface 阻断表面 复选框，对于框架，应该勾选；对于玻璃系统，则不应勾选。

更改各组件表面边界条件的操作步骤如下：

- **修改单个边界段：**双击相应的边界段 → 出现 Boundary Condition Type（边界条件类型）对话框 → 在对话框内，通过下拉菜单指定该边界段的边界条件和 U值标签
- **同时修改多个边界段：**先点击第一个边界段 → 然后逆时针方向双击最后一个边界段 → 出现 Boundary Condition Type（边界条件类型）对话框 → 在对话框内，通过下拉菜单指定所选的多个边界段的边界条件和 U值标签；或者，点击工具栏中的快捷图标 → 先点击一个边界段（相当于从中复制）→ 再点击要修改的边界段（相当于粘贴到），这样就完成了把原边界段的边界条件和 U值标签 一起分配给了新边界段。
- 分配边界条件时，可以“撤销”（只限一步）操作，鼠标移至主菜单 → Edit → 点击 Undo，或 Ctrl+Z 实现。

所有室内边界条件的 Radiation Model（辐射模式）应显示为AutoEnclosure（自动封闭）。如果不是，可以进入 Boundary Conditions Library（边界条件库），选择打开某个需修改的边界条件，在 Radiation（辐射）一栏内，选择 Auto Enclosure Model（自动封闭模式）。

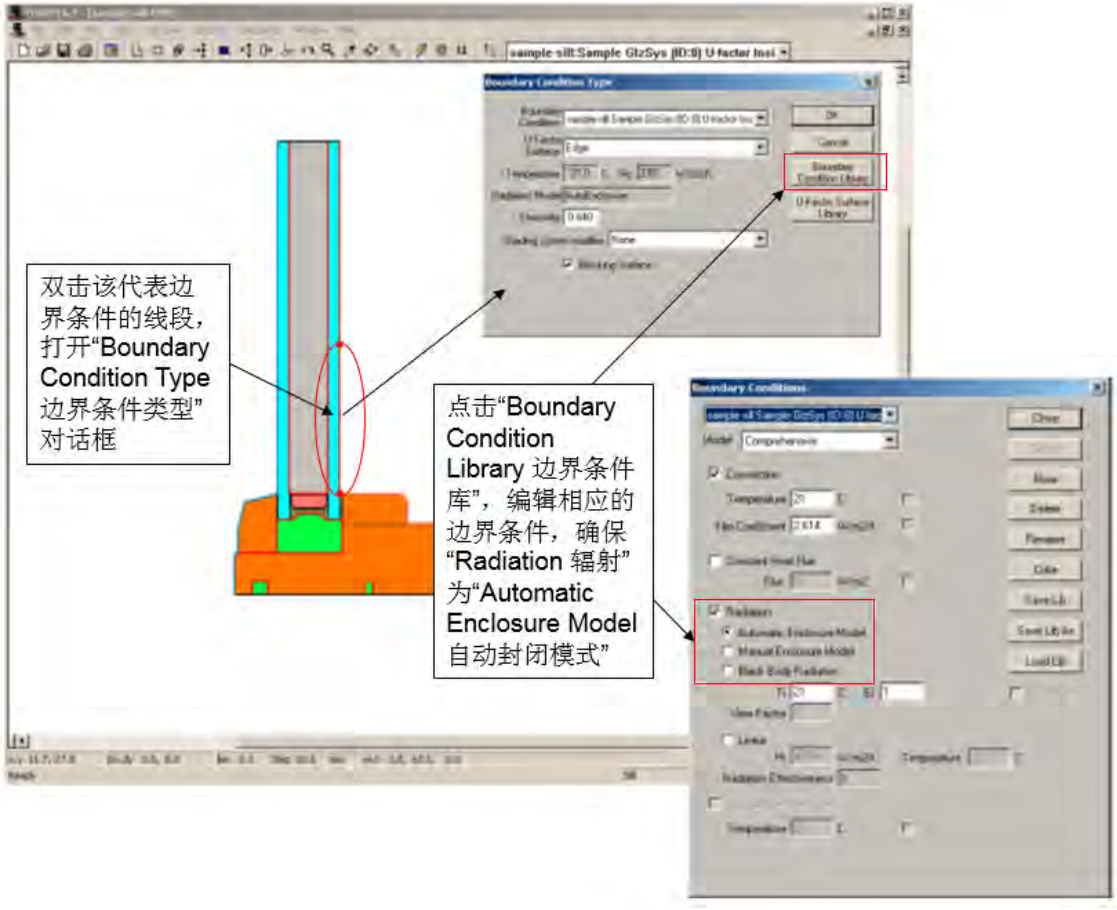


图 6-40：确保室内边界条件的Radiation Model为AutoEnclosure

当一个模型生成边界条件后，程序会把它们保存在模型文件中，直到它们重新生成。如果要重新生成边界条件，程序会显示一个 Generating Boundary Conditions（生成边界条件） 对话框，其中有三个关于如何生成边界条件的选项，如 图6-41 所示：

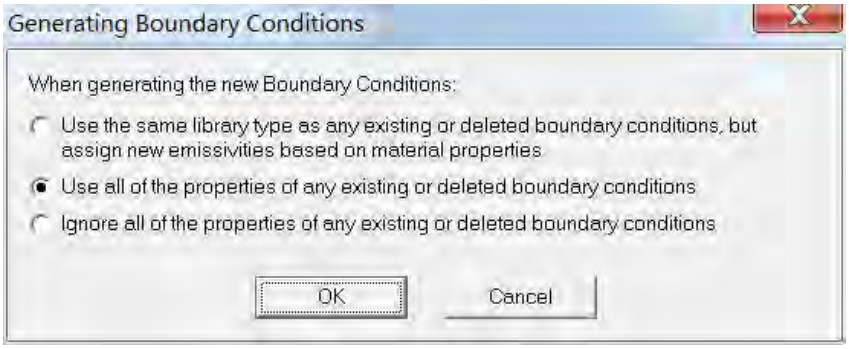


图 6-41：重新生成边界条件时显示的对话框

关于此对话框，选第一项后，程序将提取原模型中材料的发射率，但是，如果手动编辑过材料边界条件（如框架空腔）的发射率，则不要选择此项。

删除一个边界段后，所有的边界条件都会被自动删除。

边界条件和 U值标签 存储在程序的数据库中，可以鼠标移至主菜单 → Libraries 中的相应选项进行新建或修改，请参阅《THERM 用户手册》“第6.2节：分配边界条件的定义”。

THERM 偶尔会忽略玻璃系统的边界条件，这时就得从 Boundary Conditions Library（边界条件库）中重新分配它们。

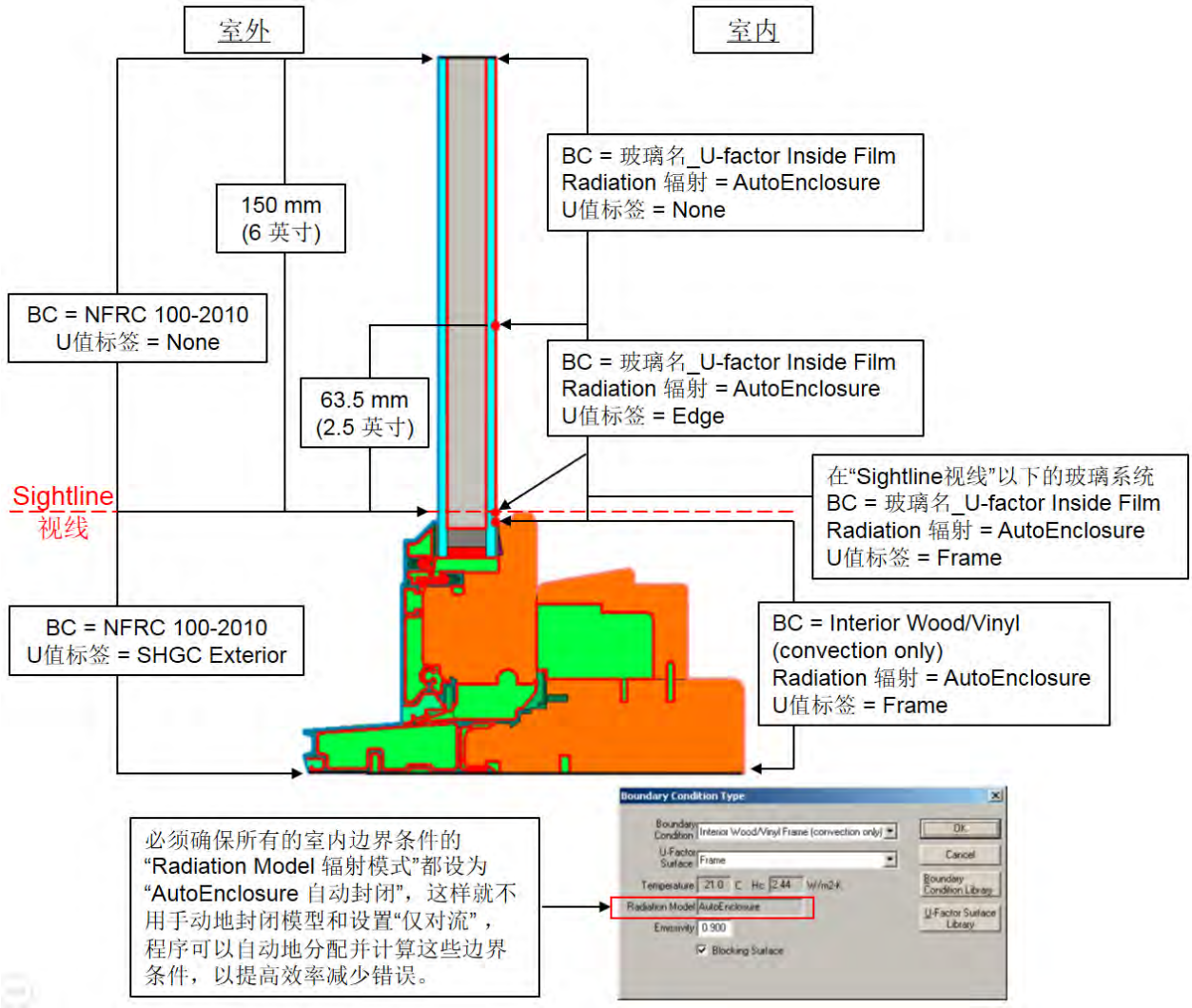


图 6-42：常用的边界条件分配方法

门窗上墙件的边界条件：建模时，将 NFRC 100-2010 Exterior 分配给上墙件的室外部分，U值标签设为 None，如 图6-43 所示。

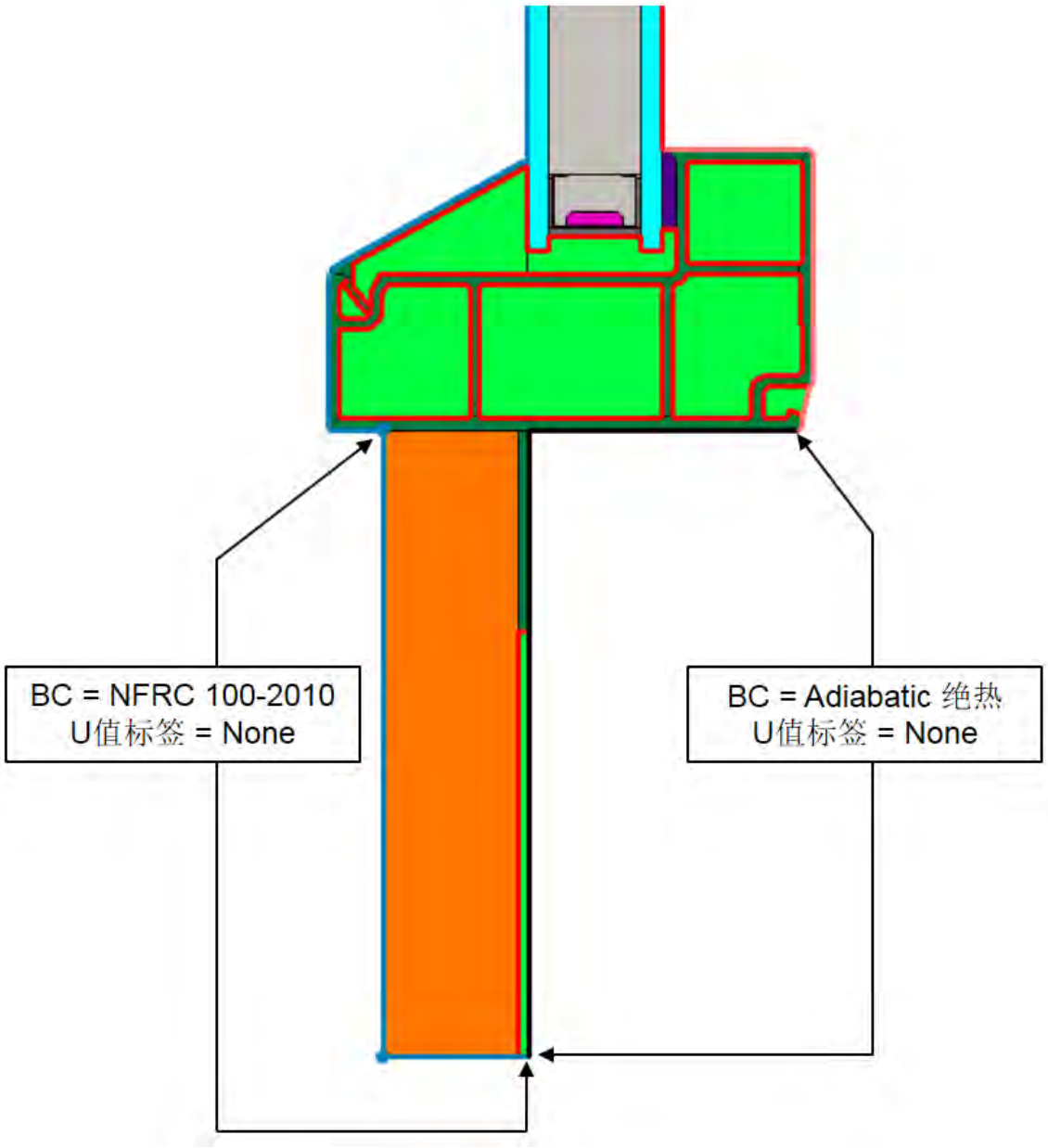


图 6-43：分配门窗上墙件的边界条件

6.5.3. 空洞、重合的多边形和坏点

为了运算过程的顺利进行，必须正确定义截面的几何外形，不允许有任何不能被 THERM 处理的空洞、重合的多边形或坏点。THERM 中有许多功能可以帮助避免绘图时产生空洞、重合的多边形和坏点：

- Always Check for Overlapping Polygon（总是检查重合多边形），是一个可以用来避免图形重合的主要工具，开启方式：鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 Drawing Options，从中可以找到这个复选框并勾选。虽然不是必须开启的，但建议大多数情况下开启该功能。
- Show Voids/Overlaps（显示空洞/重合），也是一个很好用的工具（鼠标移至主菜单 → View 中勾选），当截面中存在空洞和重合的多边形时，程序会给出明显的视觉提示。

除了通过上述功能，避免在绘图过程中创建有问题的几何外形外，THERM 在计算边界条件时，还会执行一些错误检查，以确保模型的几何外形是正确的。

例如，在计算边界条件时，THERM 能识别出相距 0.01 mm ~ 0.1 mm 范围内的所有点（距离小于 0.01 mm 的点将自动合并）。出现如 图6-44 的弹框，说明有两个点的距离超过了程序容错范围，这时，一般选择 Automatically adjust points within tolerance options（自动调整公差范围内的点），Ok 确认后，THERM 将自动修复所有的坏点，这种方法现在也适用于带薄膜的玻璃系统。如果不确定是否让程序自动调整坏点，可以选择 Mark the points but don’t adjust them（标记但不调整坏点） 选项，THERM 便会用红圈提示问题区域，随后可以手动检查所有圈出的点，并进行适当的修复，或者重新生成边界条件并让程序自动调整它们。如果标记的点是图纸中需要保留的实际细节，则不需要对其进行修复，尽管由于细节太多，在建模计算过程中可能会导致网格划分问题。一旦检查完图纸中所有圈出的区域，再次点击工具栏中的快捷图标，如果程序识别出“坏点”，但您希望保留细节，只需点击确定，边界条件将生成。“让THERM 自动调整”是一个各有好坏的功能，这就是为什么应该先手动检查所有的点，再让程序调整它们之前，还要记住，自动修复之后是不能被撤销的。

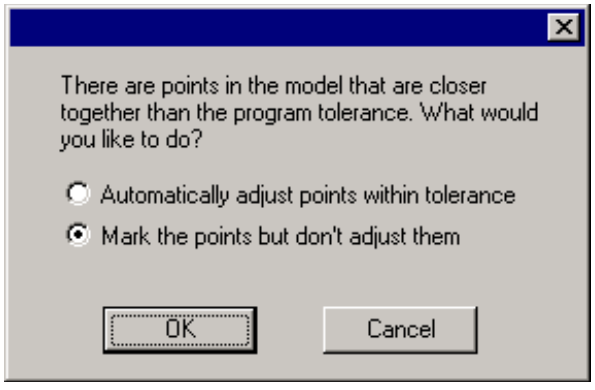


图 6-44：当定义边界条件时，可能会提示几何外形中存在问题

修复距离太近点的最好方法是删除或移动出错点。很多时候，有问题的点处在所有相邻的多边形中，所以最好是通过 Shift + 鼠标左键 方式选中所有多边形，然后删除该点，这样它就会从所有选定的多边形中删除。

THERM 还通过检查“单独的边”来标记空洞和重合的多边形——假如有两条相邻的边，每条边上有不同数量的点，THERM也用红圈标记空洞和重合的多边形。一种消除方法是“抖动”点：将点从相邻多边形移开，然后将它们移回去，让程序将它们“捕捉”到多边形上；另一种消除方法是：删除有问题的多边形，并点击工具栏中的快捷图标，重新创建新多边形，THERM 将会自动对齐所有点，并确保不形成空洞。

THERM 还可以发现由点相互坍缩造成的无效多边形（零面积多边形）。在这种情况下，零面积多边形的顶点和其它额外的点都必须删除。主菜单 → View → 关闭 Material Color 和 Boundary Conditions，有时有助于发现问题所在。

即便模型中存在“坏点”，且虽已被标出，但希望保留下来，THERM 可能仍能进行建模计算。这是因为在某些情况下，截面的细节需要保留这些所谓的“坏点”，并按此细节进行建模计算。

如果对截面边界上的多边形进行了修改，则必须重新生成边界条件；但如果所有修改的部位都在多边形内部，则原有的边界条件不会被自动删除。不管怎么样，在这种情况下，再次重新生成边界条件仍然是一个好主意，这样可以确保所有表面上的所有点之间都定义了边界段。

6.6. 计算结果

当正确定义了截面的边界条件时，就可以进行建模计算了，操作方法是：点击工具栏中的快捷图标，或鼠标移至主菜单 → Calculation → 点击 Calculation，或按 F9键。

6.6.1. 划分网格

在计算一开始，THERM 首先会将要几何外形网格化，网格是自动生成的，相关的工作原理可以在《THERM 用户手册》的“附录C”中找到。

Quadtree Mesh Parameter（四叉树网格参数）值的大小决定了网格的精细程度。用户可以改变网格参数值，该值越大，网格中最大的单元就越小，计算结果就越精确，但运算时间相应就越长。NFRC 要求网格参数的默认值为 6，如 表6-5 所示。

有时，网格生成模块不能为已绘制的几何外形创建一个封闭的网格，创建失败的原因是在截面中存在过于精细的细节，THERM 会圈出网格化失败的点，如果发生这种情况，首先应该：

- **输入较大的 Quadtree Mesh Parameter（四叉树网格参数）值，并重新运行计算**。这可以让程序生成更细的网格，但运行时间会更长。默认的网格参数值是 6，对于单个截面，需要网格参数值大于 8 的情况下很少发生，但可能会用于通高产品的建模计算。鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences → 进入 Simulation 页面，找到 Automatically increment mesh parameter（自动增加网格参数）的复选框，勾选后，程序将自动增加网格参数，直到出现网格划分错误。

  如果这不起作用，则：

- **简化不必要的复杂细节**。请记住：圆圈点通常位于两个多边形之间的边界上，但导致问题的细节可能在这两个多边形的任何地方，而往往不在被圈起来的地方。一种尝试方法是将有问题的大多边形分解成小多边形，同时保持几何外形不变；另一种方法是删除不必要的点，如曲线，因为每个点都会生成一个网格节点。

6.6.2. 误差估算

THERM 有一个内置的误差估算模块，可以在需要的地方自动细化网格，误差估算方法的详细内容见《THERM 用户手册》的“附录C”。误差估算模块返回 % Error Energy Norm（能量范数误差），这与热流（能量）的梯度有关，如果返回值大于限值，则 THERM 会在热流变化率高的区域对网格进行细化。

THERM 中 Maximum % Error Energy Norm（能量范数误差的最大值） 默认为 10%（图6-45）。激活这个选项可以迫使 THERM 进行误差估算，并返回误差估算值（与 U值 结果一起记录），程序是否细化网格取决于 % Error Energy Norm（能量范数误差）的结果。如果出现错误消息，说明无法满足误差要求，则需增加 Maximum Iterations 最大迭代次数（默认为3次迭代）。% Error Energy Norm（能量范数误差）小于 10% 意味着 U值 的不确定性小于 1%。

6.6.3. NFRC 认证建模所需的设置

鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 THERM File Options 页面，按照 表6-5 进行相应设置：

表 6-5：NFRC认证建模所需的THERM设置

设置	NFRC 认证建模的要求
Quad Tree Mesh Parameter 四叉树网格参数	≥ 6
Maximum % Error Energy Norm能量范数误差的最大值	10%
Run Error Estimator 运行误差估算	必须勾选

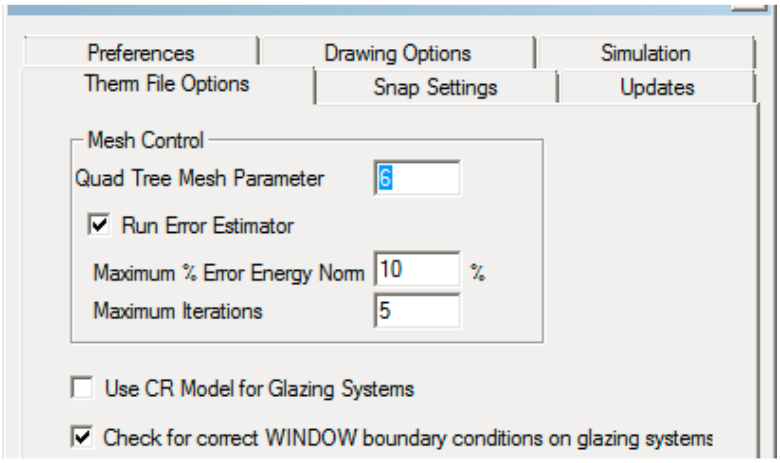


图 6-45： NFRC要求的THERM File Options页面设置

在 Simulation 页面中，Relaxation Parameter（松弛参数）可以设为“1.0”，但必须勾选 Automatically adjust relaxation parameter（自动调整松弛参数），如 图6-46 所示：

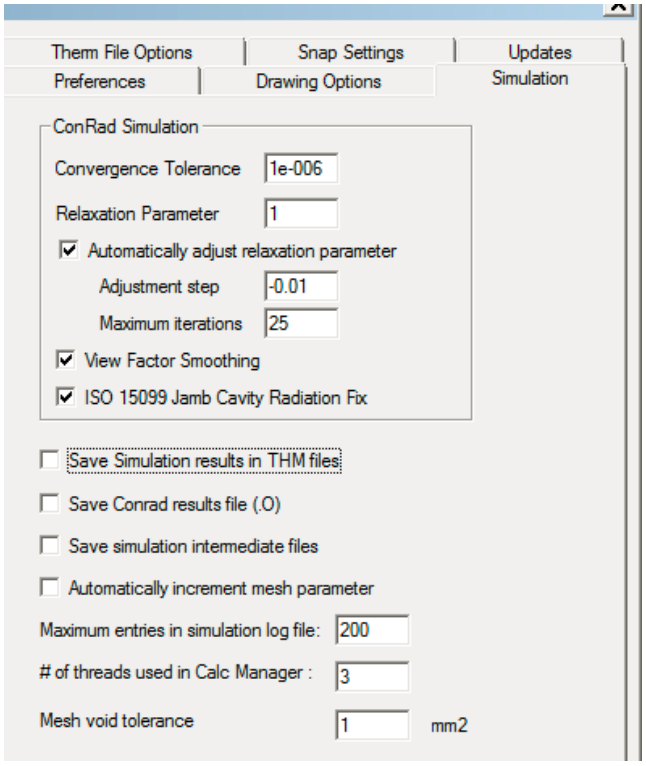


图 6-46：Simulation页面的选项设置

6.6.4. 计算

THERM 可以在后台计算一个模型文件，但同时不影响另一个建模工作的进行。用户还可以使用 Calc Manager（计算管家）功能（鼠标移至主菜单 → Calculation），一次提交多个模型文件，程序会按文件的添加顺序自动计算，计算状态可以在 Calc Log（计算日志）中查看。

计算多个玻璃选项：

当创建了 Base Case File（基础文件）与多个玻璃选项的关联后（见“第6.4.3节：一次计算多个玻璃系统”），点击工具栏中的快捷图标，或鼠标移至主菜单 → Calculation → 点击 Calculation，或按 F9键，会出现 Glazing Option Simulation（玻璃选项的建模） 对话框，并提供下列选项（图6-47）：

- **“Create the glazing option files and perform all simulations 创建玻璃选项文件并执行所有建模计算”**：该选项是默认选项，它会创建与基础文件中定义的多个玻璃选项所对应的THERM 文件，并运行它们。
- **“Simulate the current file (base file) only 只建模计算当前文件（基础文件）”**：这个选项可以用于，在建模计算所有玻璃选项前，检查基础文件中的几何外形是否存在错误。
- **“Create the glazing option files but do not perform the simulation 创建玻璃选项文件但不执行建模计算”**：这个选项将创建与基础文件中定义的多个玻璃选项所对应的 THERM 文件，并按玻璃系统名或编号命名这些新模型文件，但不会建模计算。随后，这些文件可以被单独打开和建模计算，也可以通过 Calc Manager（计算管家） 进行建模计算。

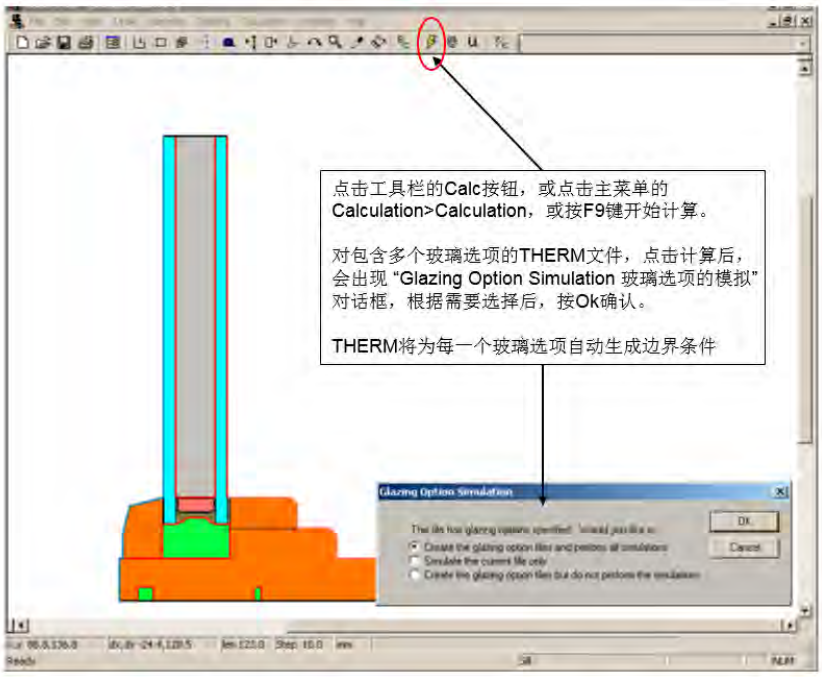


图 6-47：当创建了一个Base File与多个玻璃选项，运行计算时会提供三个选项

多个带有多玻璃选项的基础文件，也可以添加到 Calc Manager（计算管家）（图6-48），但这种情况下不会出现上述三个选项，而是直接按第一个选项执行，即创建并建模计算所有文件。计算状态可以在 Calc Log（计算日志）中查看，点击标题栏还可以对信息进行排序。

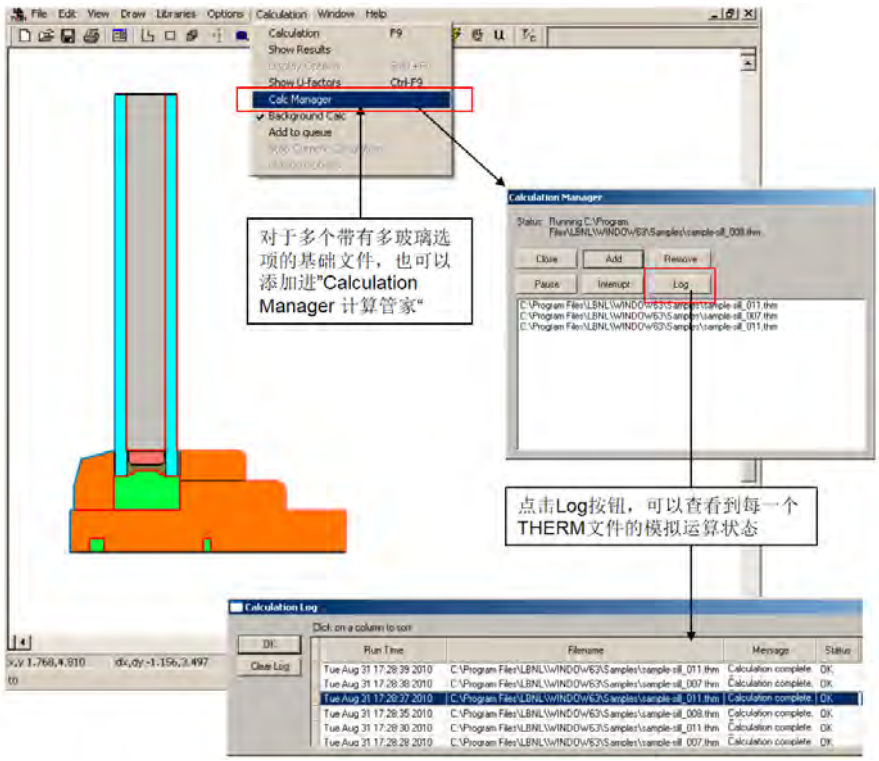


图 6-48：Calc Manager可以用来一次计算多个玻璃选项的模型文件

6.6.5. 计算结果

计算完成后，鼠标移至主菜单 → Calculation → 点击 Show U-factor，或工具栏中的快捷图标，查看 U值 计算结果（图6-49）。

此外，可以通过鼠标移至主菜单 → Calculation → 点击 Show Results，或工具栏中的快捷图标，以图形方式显示结果。

U值 计算结果 的查看方式有：Projected X（垂直于X轴）、Projected Y（垂直于Y轴）、Total Length（总长度）、Custom Length（自定义长度）、Projected in Glass Plane（垂直于玻璃面）、Custom Rotation（自定义旋转角度）。通常情况下，按照Projected in Glass Plane（垂直于玻璃面）作为 U值 的计算结果。不过，在 THERM 中的一些特殊情况下，必须用到Custom Length（自定义长度），下面的“第6.6.6节：自定义框架长度”将通过示例，对此进行介绍。

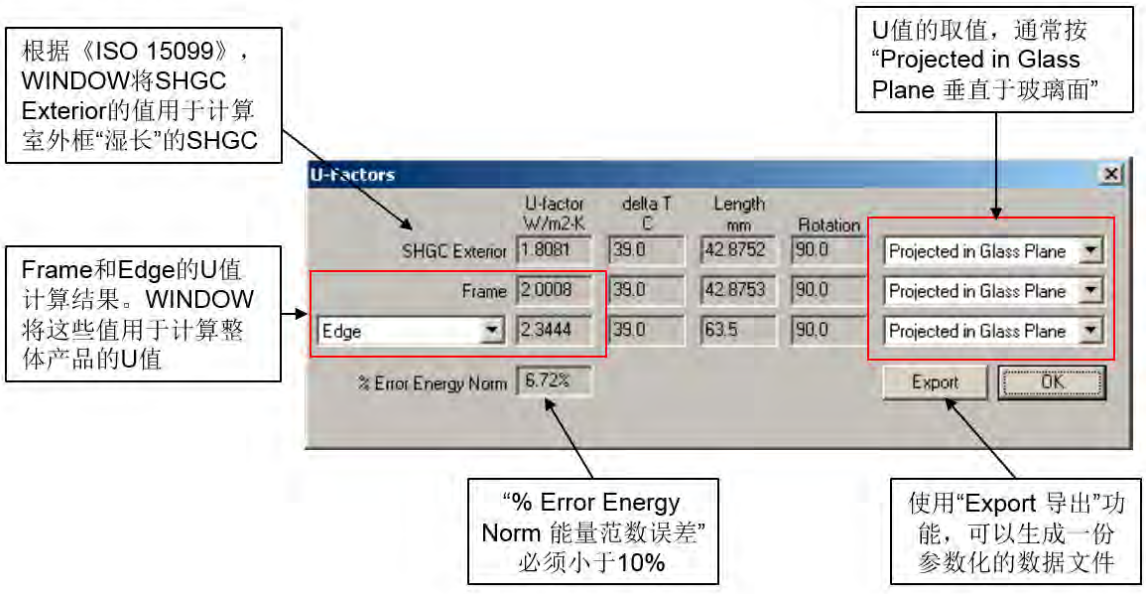


图 6-49：通过“Show U-factor”功能查看U值计算结果

鼠标移至主菜单 → View → 勾选 Temperature at Cursor，可以显示指针所在部位的温度。

此外，点击工具栏中的快捷图标，除了查看某线段的长度外，还能查看该线段的平均温度，方法是：鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 Drawing Options（绘图选项） 页面，勾选 Tape Measure Average Temperature（卷尺测量平均温度） 复选框。

THERM 有一个自动生成报告的功能，通过报告可以看到对 THERM 文件中所有细节的总结，包括所有空腔的多边形编号等。鼠标移至主菜单 → File → 点击 Report，可以查看和打印报告。

THM 模型文件通常有 1 MB 左右，为了节省磁盘空间，可以通过下列方法减小文件体积。鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 Simulation 页面，不勾选 Save Simulation results in THM files（在THM文件中保存建模计算结果），这样的 THM 文件将只包含用于运行建模计算的几何外形和边界条件、U值 计算结果和报告，而没有详细的温度数据，文件体积只有 100 k 不到。

6.6.6. 自定义的框架长度

当绝热边界的某一段与带有 U值标签 的边界，在投影方向“重合”时，THERM 就无法正确计算框架的投影长度（图6-50），从而将导致 U值 计算结果不正确。这种情况会出现在某些天窗模型中，尽管它也有可能出现在任何模型中。显示 U值 结果的对话框中有一个功能，允许输入自定义的框架长度，以便 THERM 计算正确的 U值，图6-51 对使用自定义的框架长度功能的步骤进行了说明。

对于一次计算多个玻璃选项，设置每个选项的自定义框架长度可能相当麻烦。有种技巧是先在基础文件中设置自定义的框架长度，然后程序将自动为每个多个玻璃选项拾取自定义的框架长度值。

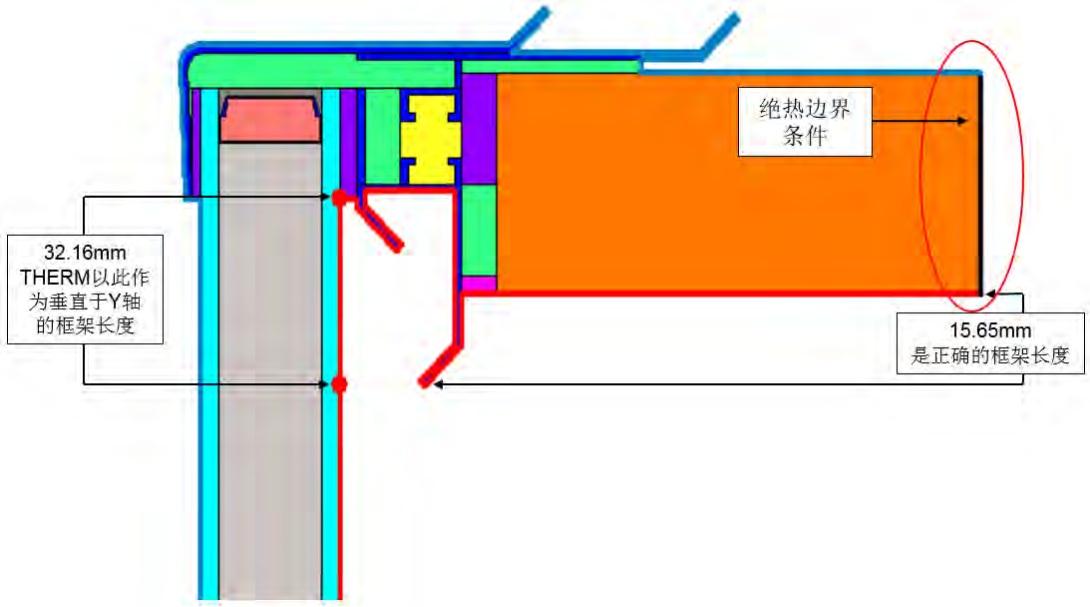


图 6-50：由于绝热边界条件与室内边界条件在Y轴方向上重合，THERM无法计算垂直于Y轴方向的框长所对应的U值

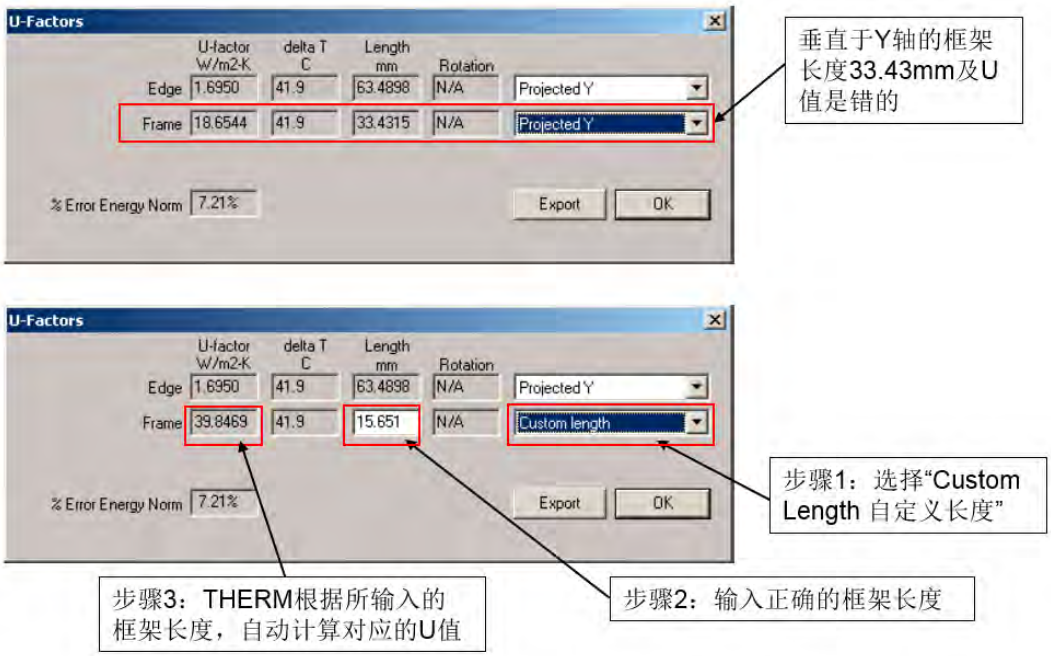


图 6-51：Custom Length功能允许输入自定义的框架长度

6.6.7. 将 THERM 的结果导入 WINDOW

在 WINDOW 中计算整体产品时，需要用到每个截面的 U值 和温度，因此必须将包含 U值 和温度计算结果的 THERM 模型文件导入 WINDOW 中，这在《WINDOW 用户手册》的“第4.7.3节：导入 THERM 文件”中有详细说明，基本步骤是：

① 创建 THERM模型，计算结果，保存并关闭文件。

② 打开 WINDOW，点击工具栏中的  快捷图标，进入Frame Library（框架库）的列表视图。

③ 点击 Import（导入） → 从下拉菜单中选中 Therm Files 选项，并确认 → 选择要导入的 THM 文件，使用 Shift 或 Ctrl +点击 可选择多个文件。

④ WINDOW 询问如何为 Frame Library（框架库）中的新记录编号，可以从最后一个现有记录开始，也可以覆盖现有记录。

⑤ WINDOW 将把每个 THM 文件中的模型结果作为单独的记录添加到 Frame Library（框架库）中，默认会将 THM 文件的名称设置为该条记录的名称。

⑥ 如果有必要，根据《ANSI / NFRC 200》规范，鼠标移至WINDOW主菜单 → File → 点击 Preferences，进入 Options 页面，将 Default Frame Absorptance（默认的框架吸收比）设置为：“0.30（门窗）”或“0.50（幕墙）”。

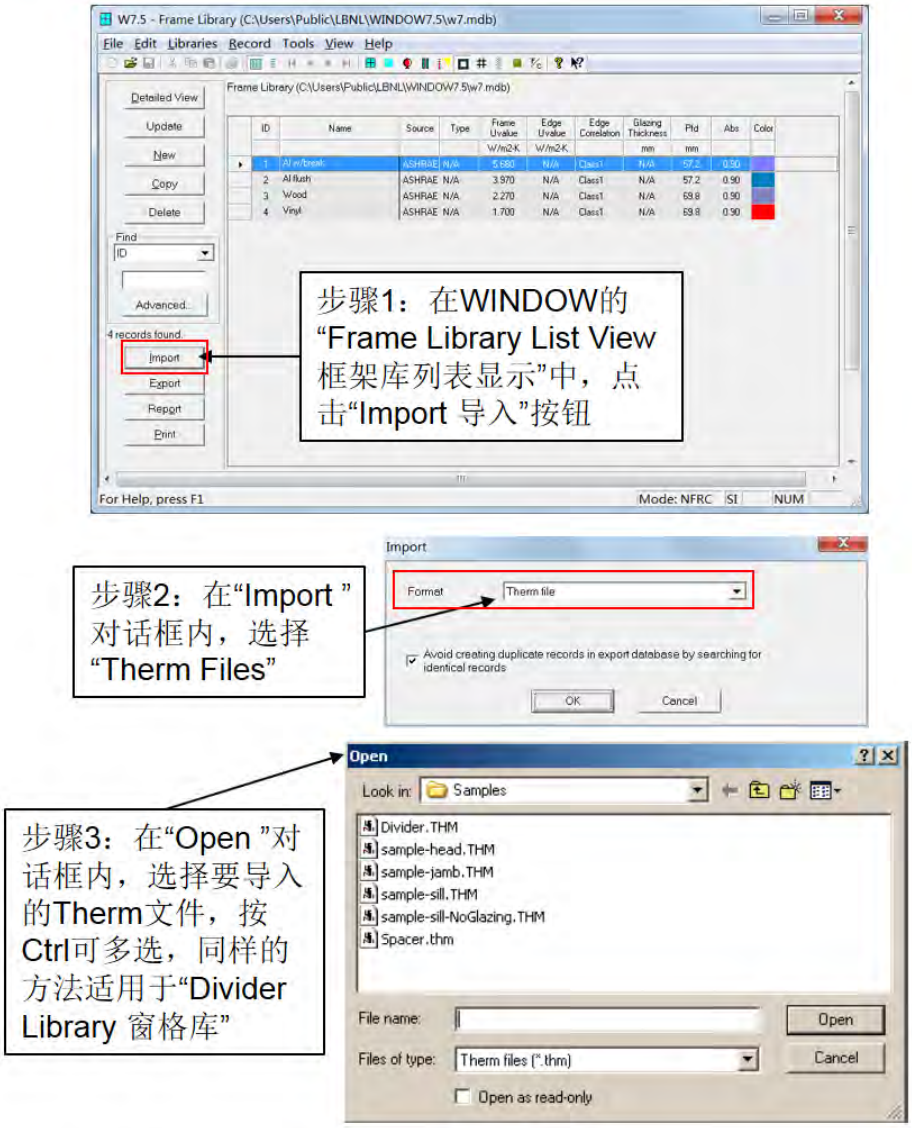


图 6-52：在WINDOW Frame Library中导入THERM模型文件

7. 使用 WINDOW 计算整体产品

7.1. 概述

WINDOW 是根据《ANSI / NFRC 100》和《ISO 15099》的规定，通过产品各组件的 U值 及其面积的加权平均和产品高度，计算确定整体产品 U值 的。产品组件的 U值 包含：

- 从 THERM 获得各个框架截面（包含框架和窗格）的 Frame（框架）和 Edge（玻璃边缘）U值。这些 U值 是基于垂直于玻璃面的正投影面积，即 U值 计算结果栏中的 Projected in the Glass Plane（垂直于玻璃面）选项，并按面积加权方法计算得到的，而非整个框架和玻璃边缘的表面积。
- 从 WINDOW 获得“玻璃中心”U值

WINDOW 根据《ANSI / NFRC 200》的规定，通过对整体产品进行面积加权，计算其 SHGC（太阳得热系数）和 VT（可见透过率）；根据《NFRC 500-2017》的规定，计算整体产品的 抗结露值（CR）。对于结露指数（CI），不能使用 WINDOW 计算，热工建模师必须遵照 ANSI/NFRC 500（2020或更新版本）进行计算。

WINDOW 不能对某些门窗幕墙产品进行整体的面积加权计算，包括入户门（第8.6节）、车库门或卷帘门（第8.10节）。对于这些情况，允许使用电子表格对其进行面积加权计算。

7.2. 从 THERM 获得框架和玻璃边缘 U值

正如“第6.6.7节：将 THERM 结果导入 WINDOW”中所介绍的，为了计算 WINDOW 中的整体产品值，可以将THERM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）和 Divider Library（窗格库）中。当进行完上述导入操作后，从 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中的 Source（来源）栏中，可以看到当前的框架数据是否为从 THERM 导入的，如 图7-1 所示。

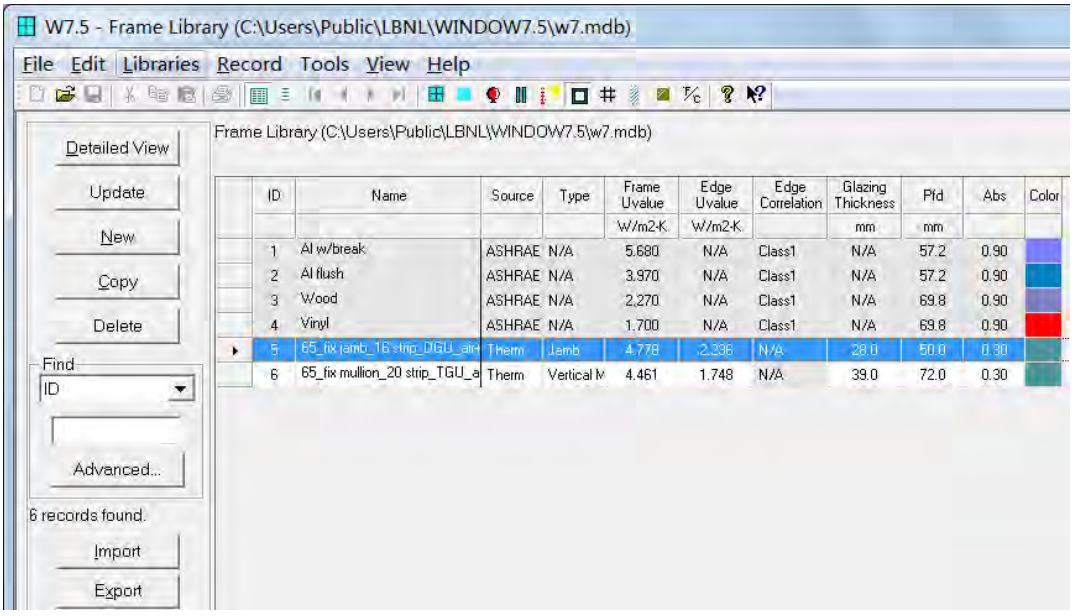


图 7-1：WINDOW Frame Library中可以看到从THERM导入的框架数据

7.3. 从 WINDOW 获得玻璃中心 U值

《WINDOW 用户手册》包含了关于计算玻璃中心 U值 的详细信息。对于 NFRC 认证建模，在创建玻璃系统前，必须确认制造商提供的玻璃层是否符合 NFRC 的要求，标准是：玻璃层的光谱数据必须源自 NFRC 当前认可的 IGDB，通过查看 Mode 栏是否带有“#”符号（夹层玻璃和应用膜除外，具体见 第8章）。

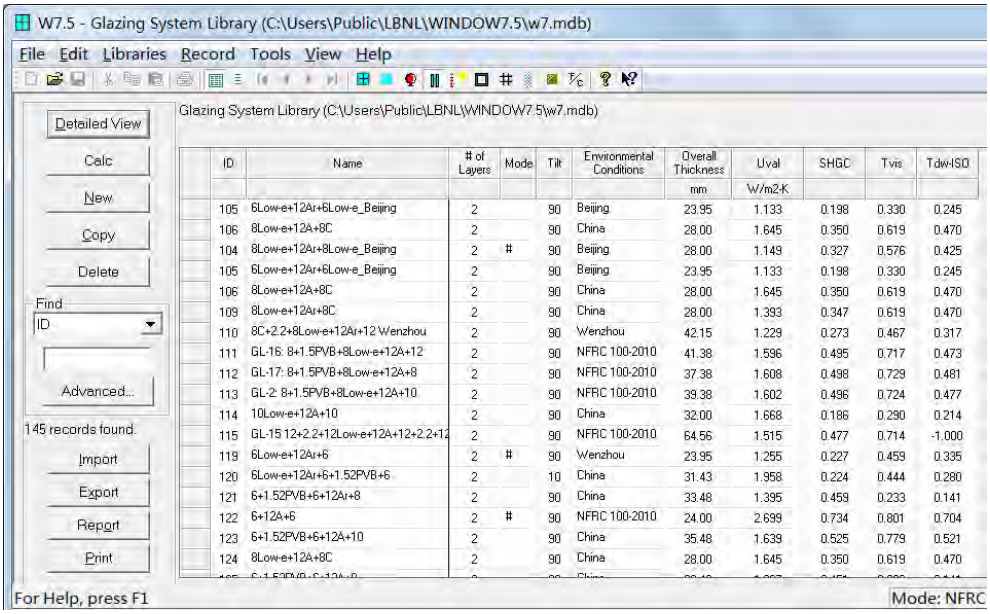


图 7-2：Window Glazing System Library中，可通过列表或详览方式查看Glazing System的性能参数

可以通过点击工具栏快捷图标、按 F5键 等方式，访问 WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）。还可以通过点击 Detailed View 或 List ，以详览或列表方式查看玻璃系统的性能参数（图7-2）。

在玻璃系统库中，显示的玻璃中心 U值 是基于默认高度为 1米 的玻璃系统。当该玻璃系统用于实际产品中时，玻璃中心 U值 将根据 Window Library（窗库）中指定的实际产品高度重新进行计算。因此，Glazing System Library（玻璃系统库）和 Window Library（窗库）的玻璃中心 U值 可能会略有不同（图7-3）。

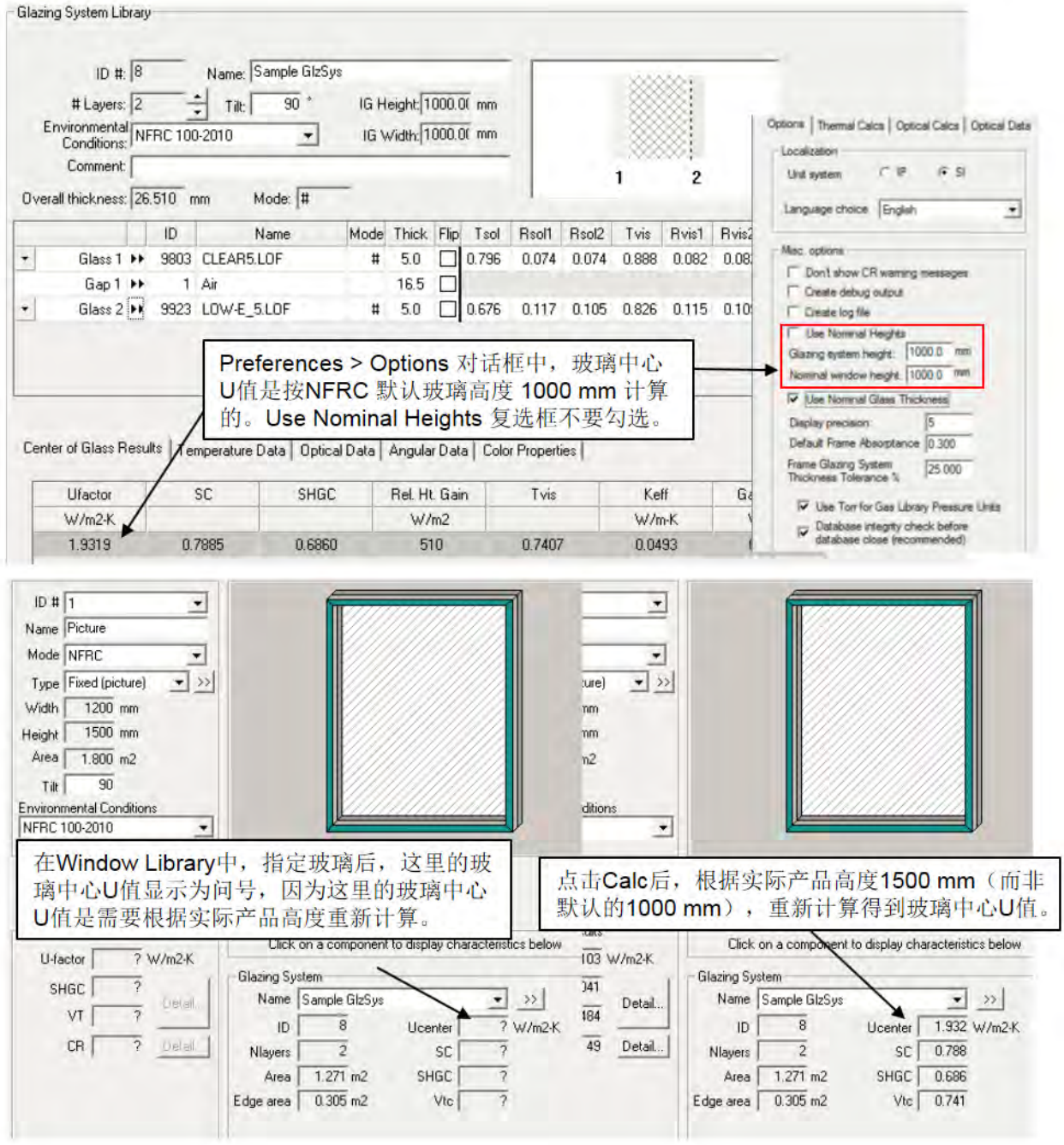


图 7-3：Window Glazing System Library 中的玻璃中心U值，有别于Window Library 中的玻璃中心U值

7.4. 计算整体产品的 U值、SHGC、VT 和 CR

当 THERM 结果被导入 WINDOW Frame Library（框架库） 和 Divider Library（窗格库），并且所需的 Glazing System（玻璃系统）已经在 WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中定义后，就可以在 Window Library（窗库）中计算整体产品的 U值、SHGC、VT 和 CR值。《WINDOW 用户手册》详细介绍了关于这些值得计算方法，下面的内容只是简要说明。

在 Window Library（窗库）详图中，根据门窗幕墙产品类型，在屏幕左侧的参数栏内指定适当的值：

- Mode 栏：应选 NFRC
- Type 栏：根据实际产品类型进行选择，还可以点击下拉菜单右边的 >>（双箭头），查看完整的选项列表。所列的产品类型选项都是 NFRC 官方规定的尺寸，最后三个选项是可以自定义的，但不允许用于 NFRC 认证建模工作。
- Environmental Conditions（环境条件）：应选 NFRC 100-2010

在屏幕右侧上方，点击产品示意图上的组件（玻璃、框架等），右侧下方会出现相应组件的信息。对于玻璃，从 Glazing System Library（玻璃系统库）中选择适当 Glazing System（玻璃系统）；对于框架或窗格，从 Frame Library（框架库） 和 Divider Library（窗格库）中选择适当的框架或窗格。当指定完所有组件后，点击左侧的 Calc (F9)，WINDOW 就会进行整体产品 U值、SHGC、VT 和 CR 的运算。此外，为了获得 NFRC 评级数值，程序还将计算 SHGC0、SHGC1、VT0、VT1（如 图7-4 的左下角），具体将在下一节详细介绍。

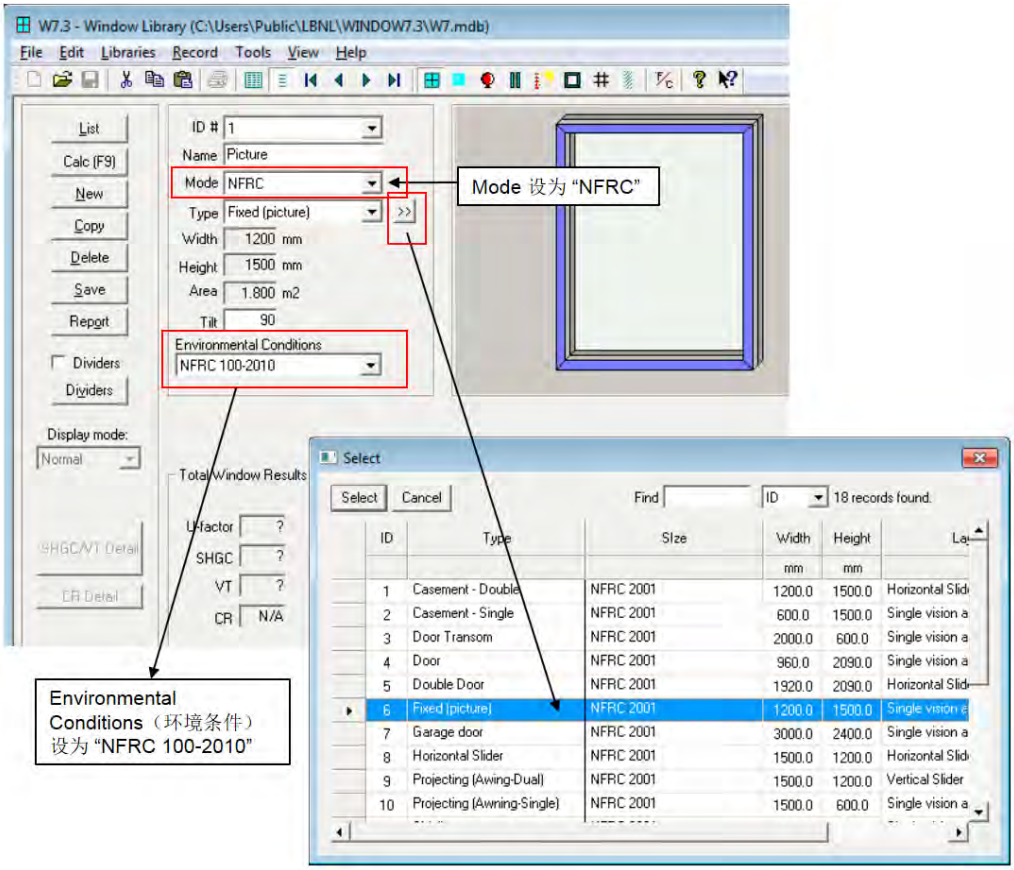


图 7-4：在Window Library的详细视图中定义整体产品

计算结果显示在左下方的 Total Window Results（整窗结果）栏（图7-5）。点击 SHGC / VT Detail 可查看 SHGC0、SHGC1、VT0、VT1 值，点击 CR Detail 可查看用于确定整体产品 CR 的中间值。

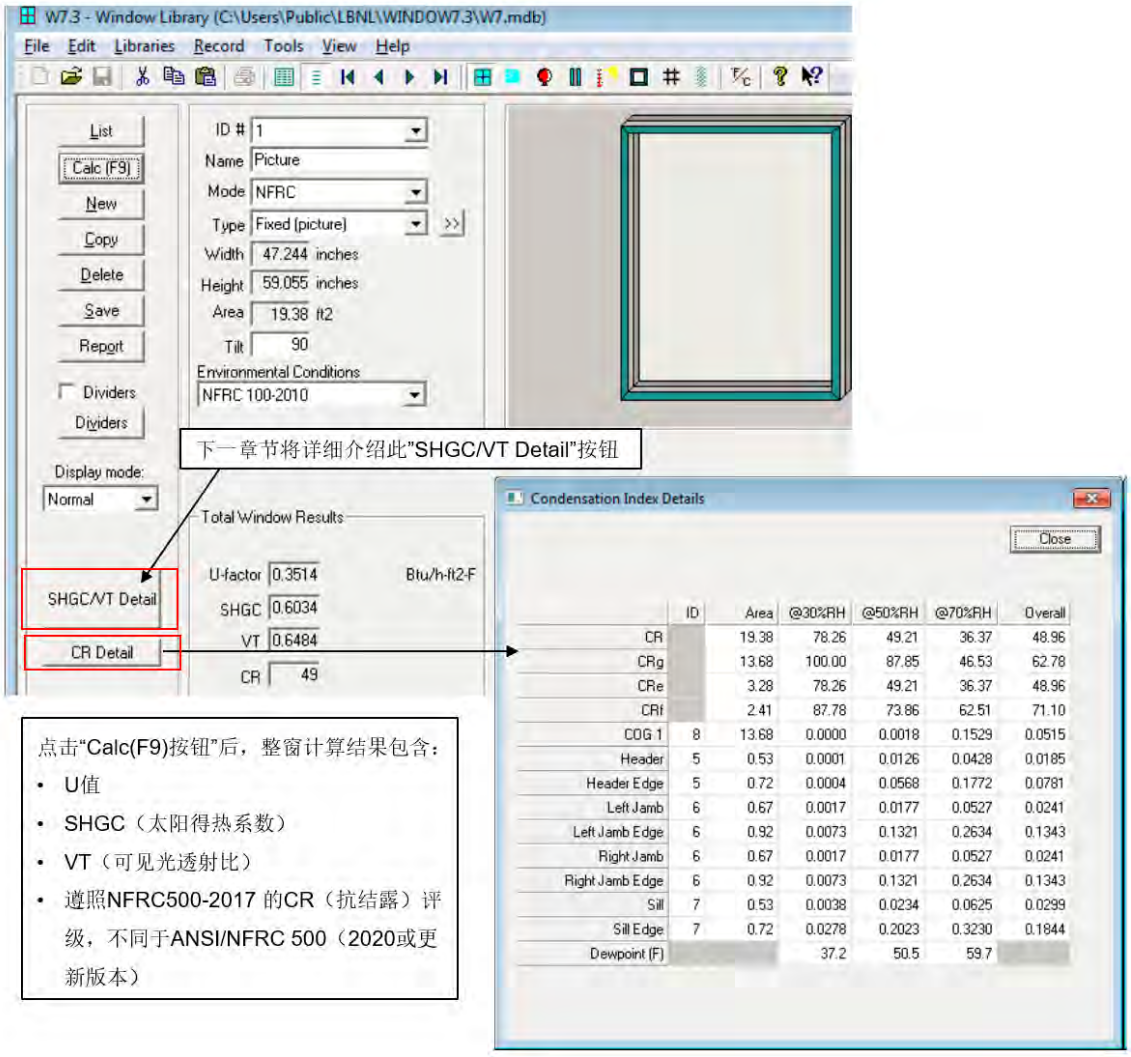


图 7-5：Window Library的详细视图，展示整体产品的计算结果

7.4.1. 单一产品的 SHGC 和 VT（SHGC 0 & 1, VT 0 & 1）

针对单一产品的不同型号尺寸，不需要每次都重新计算其 SHGC 和 VT。《ANSI / NFRC 200》规定了确定单一产品的 SHGC0、SHGC1、VT0、VT1 值的方法，并可用于 NFRC 评级。

《ANSI / NFRC 200》 第4.2.3.A节 规定：在 WINDOW 中计算 SHGC 0 & 1，VT 0 & 1 时，产品建模选用最好的玻璃系统和最差的框架和玻璃边缘（即玻璃中心 U值 最低，整体产品 U值 最高），得到上述计算结果后，再使用 [公式4-1]、[公式4-2]，计算任何其它玻璃选项的 SHGC 和 VT。

建模计算圆顶天窗时（见本手册 第8章），其玻璃使用最好的玻璃系统，且玻璃中心值必须为实测值，框架和玻璃边缘为建模计算结果。这一要求适用于以下三种情况：

- 无窗格
- 窗格 ＜ 25.4 mm（1 英寸），按 19 mm（0.75 英寸）进行建模
- 窗格 ≥ 25.4 mm（1 英寸），按 38 mm（1.5 英寸）进行建模

当 WINDOW 在 Window Library（窗库）中自动计算时，根据《ANSI / NFRC 200》的规定，将使用默认窗格的热工参数。点击 Total Window Results（整窗结果）栏旁边的 SHGC / VT Detail，可以显示这些值，如 图7-6 所示。

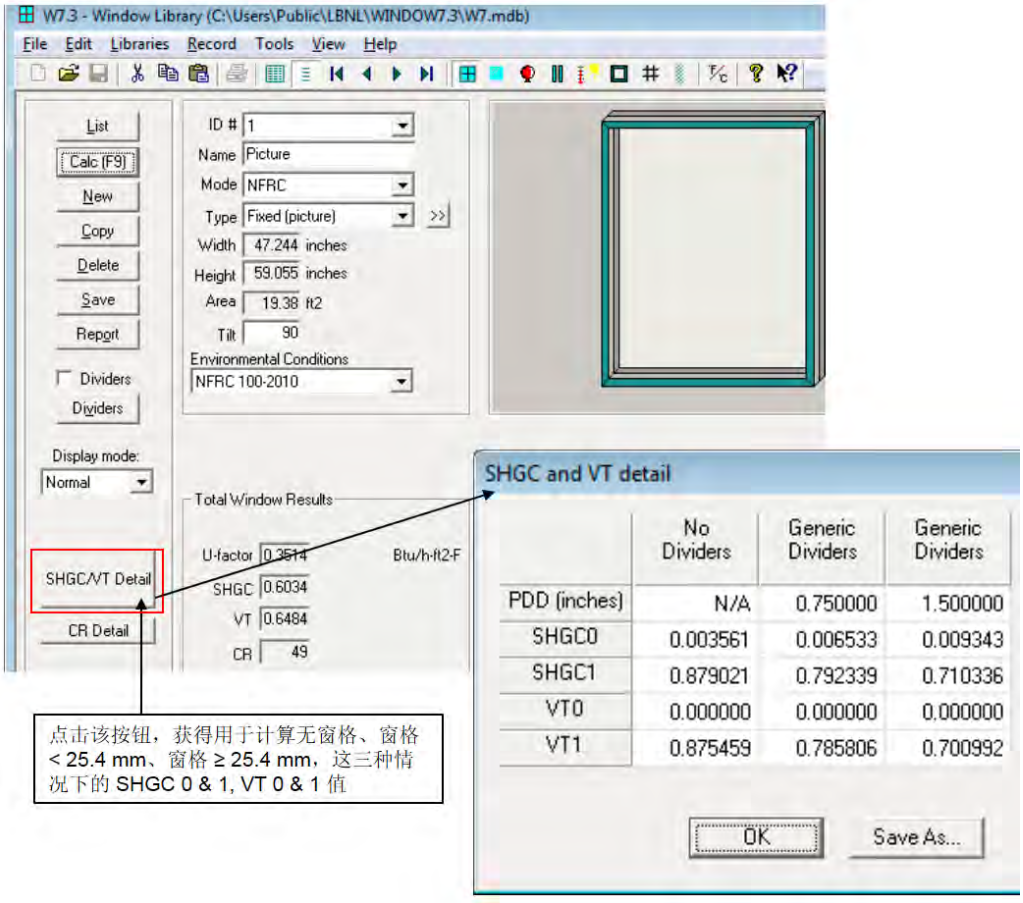


图 7-6：点击SHGC/VT Detail按钮以获得SHGC 0 & 1和VT 0 & 1结果

如果产品带有实际的窗格，程序将计算通用型窗格和实际窗格的 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 值，如图7-7 所示。对于 NFRC 认证建模，应该始终使用默认窗格的结果。

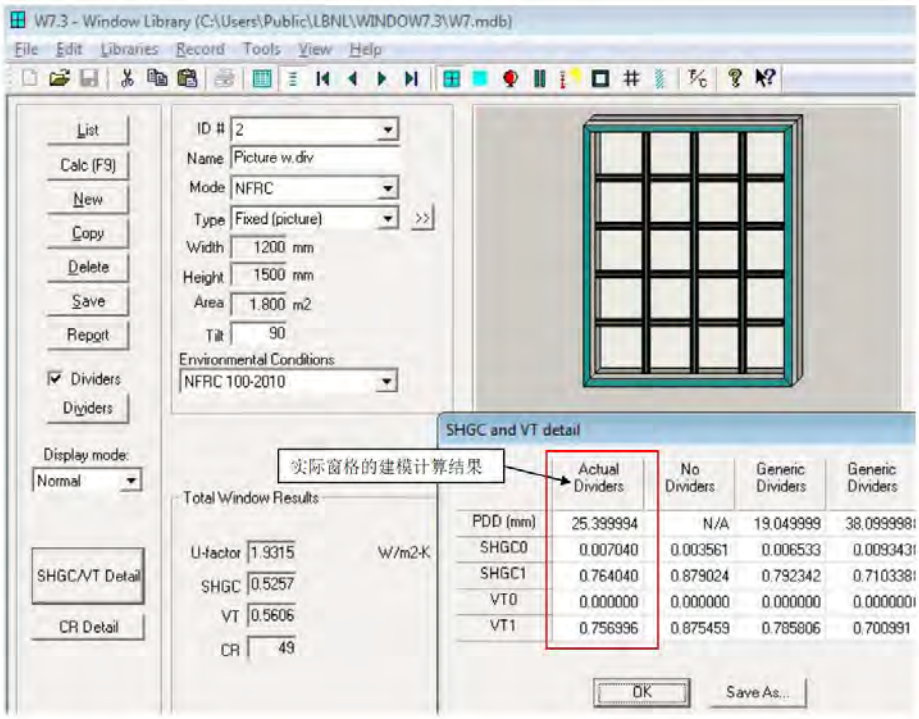


图 7-7：显示实际窗格的SHGC 0 & 1和VT 0 & 1建模计算结果

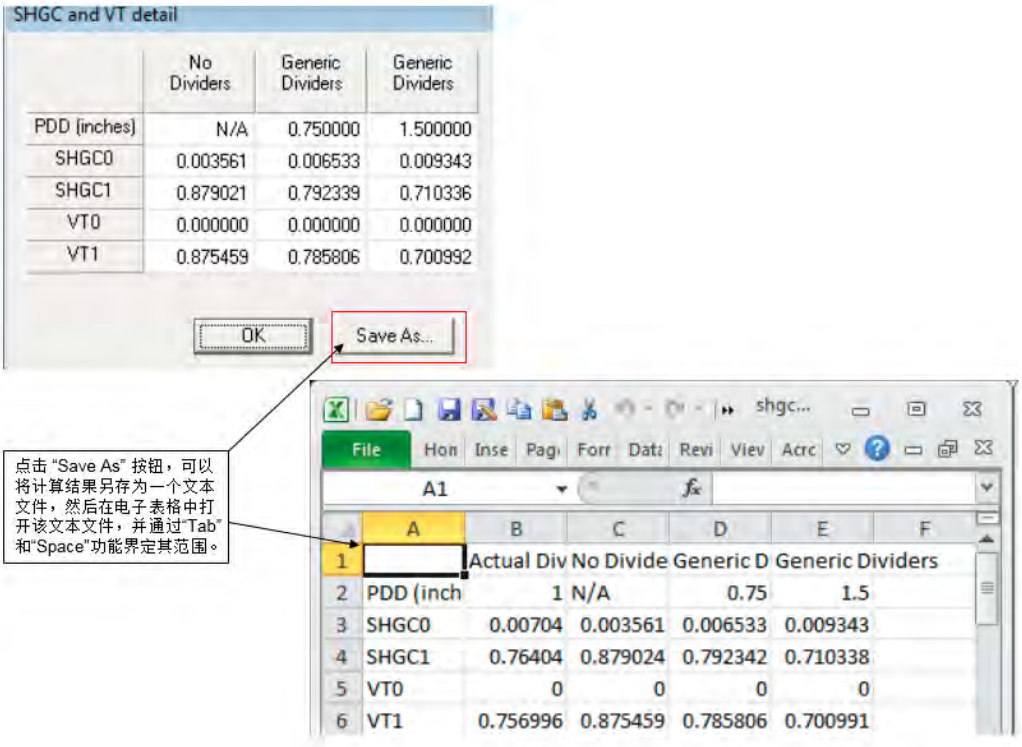


图 7-8：SHGC 0 & 1和VT 0 & 1结果可以保存到一个文本文件，并通过电子表格打开

7.4.2. 视线分组的方法

对于具有不同框架宽度的产品线，可能需要进行多次建模以获得 SHGC值 的计算结果。为减少建模计算次数，NFRC 开发了以下分组方法，该方法基于《ANSI / NFRC 200》标准文件的 第4.2.3.E节。

下面将介绍 SHGC 的分组方法和步骤，对于具有最大和最小采光洞口的产品：

① 确定两个产品的 SHGC

使用玻璃中心 SHGC* 值最高的产品，确定采光洞口最大的产品和采光洞口最小的产品的整窗 SHGC，使用《ANSI / NFRC 200》的 [公式4-1]。

$SHGC_{largest} = SHGC0_{largest} + SHGCc\ (SHGC1l_{argest} - SHGC0_{largest})$

$SHGC_{smallest} = SHGC0_{smallest} + SHGC_{c}\ (SHGC1_{smallest} - SHGC0_{smallest})$

*说明：为了达到本方法的目的，您必须从玻璃中心 SHGC值 最高的玻璃选项开始，或者对每个不同的玻璃选项或一组玻璃选项都这样做，始终使用最高的玻璃中心 SHGC值 作为起点。

② 计算两个产品的差异（$SHGC_{diff}$）

$SHGC_{diff} = SHGC_{largest} - SHGC_{smallest}$

③ 确定所需 SHGC 组的数量（NGN）

为了确定这一系列产品所需的 SHGC 组（NGN）的数量，将 $SHGC_{diff}$ 除以 0.05：

$NGN = SHGC_{diff} \div 0.05$

④ 计算两个产品的采光面积差（$Area_{diff}$）

计算采光面积最大的产品与采光面积最小的产品之间的采光面积差：

$Area_{diff} = Area_{daylight,largest} - Area_{daylight,smallest}$

⑤ 计算分组面积带宽（GABW）

将面积差除以需要的 SHGC 组数，得到分组面积带宽 GABW（Grouped Area Band Width），所得的小数进位取整：

$GABW = Area_{diff} / NGN$

⑥ 确定 Sightline Group Leader（视线组长）

视线组长是每个波段的中点：

$Group\ leader = Area_{daylight,largest} - [(Group\ leader\ Number - 0.5) * GABW]$

举个例子：

$1st\ Group\ leader = Area_{daylight,largest} - (0.5* GABW)$

$2nd\ Group\ leader = Area_{daylight,largest} - (1.5* GABW)$

$3rd\ Group\ leader = Area_{daylight,largest} - (2.5* GABW)$

以此类推计算。

⑦ **计算每个 Sightline Group Leader（视线组长）的 SHGC 和 VT**

为每个视线组长建模，并使用 SHGC0、SHGC1、VT0、VT1 计算各组的 SHGC 和 VT。

7.4.3. 带窗格的产品整体 U值

通用型窗格只用于计算 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1值，而不能用于计算整体产品的 U值。如果产品本身带有窗格，那么该实际窗格需要在 THERM 中建模，并将该 THERM 文件导入 WINDOW 的 Divider Library（窗格库），供稍后使用（不同于 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1值)。如 图7-9，7-10 所示。

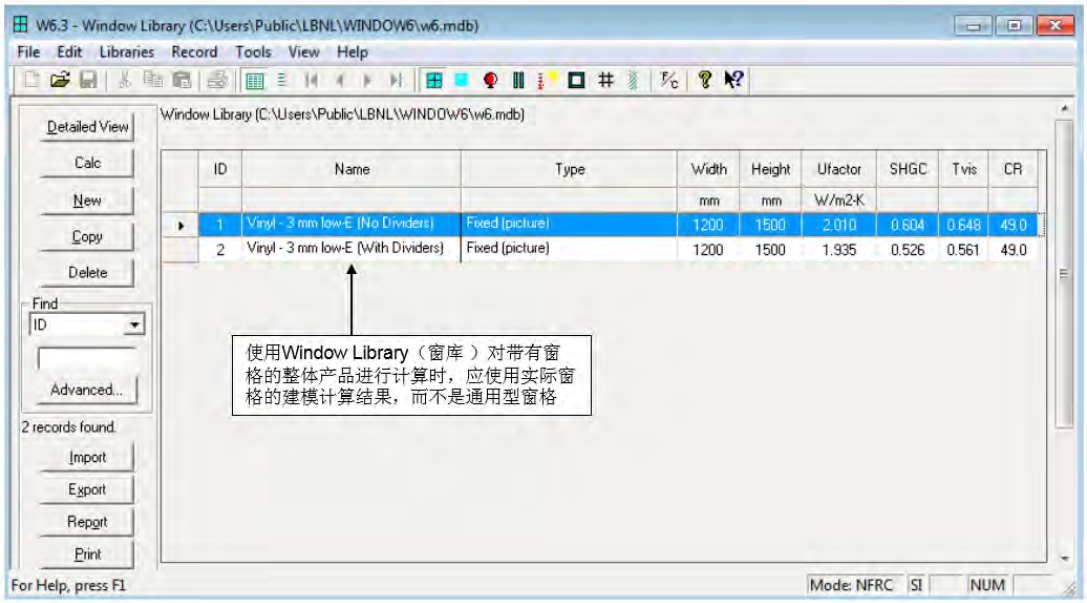


图 7-9：Window Library 中的"窗格U值"

Window Library（窗库）详细视图显示此产品使用的窗格来自 THERM 文件，而不是通用型窗格。

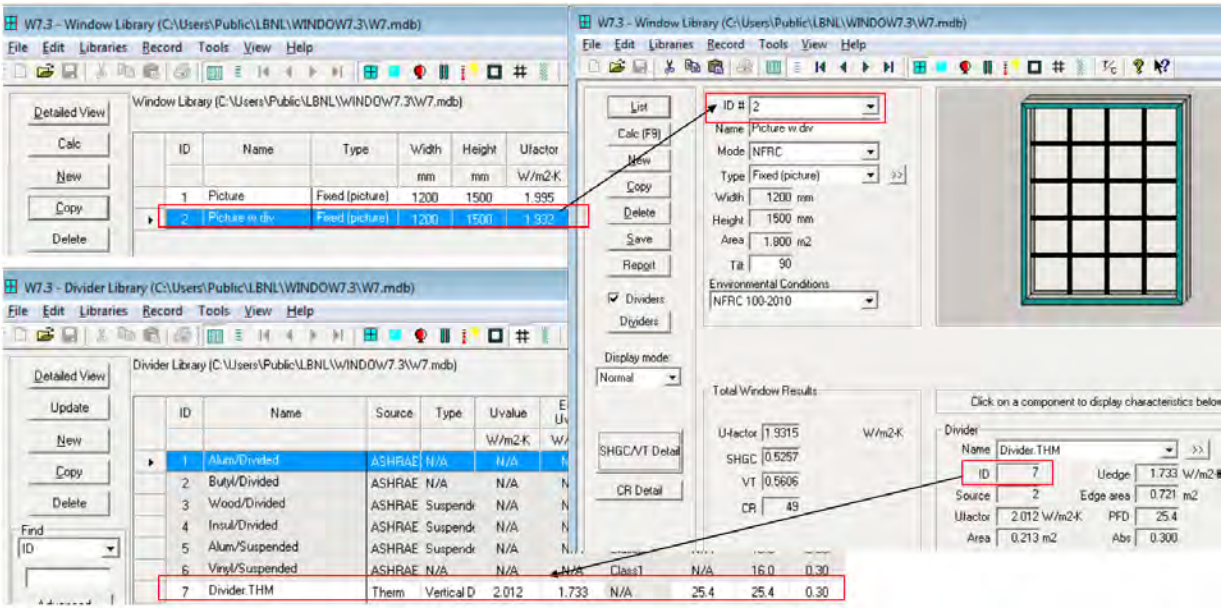


图 7-10：Window Library 中的"窗格U值"

7.5. 项目数据库

WINDOW 程序数据库的文件体积可能很大，例如，包含在程序安装包中的默认数据库 w7.mdb 文件体积大约是 100 MB。文件体积大的一个主要原因是玻璃库中的记录。玻璃库中有 6000 多条记录，每条记录都包含该玻璃层的所有光谱数据，从而导致数据库文件体积很大。然而，对于任何特定的建模项目，一般只会用到其中的一小部分玻璃层。为了减小 WINDOW 项目数据库文件的体积，可以只保留 Glazing System（玻璃系统）和 Window Library（窗库）中用到的记录（特别是 Glass Library（玻璃库）中的记录）。这样的数据库只包含建模项目所需的信息，而不是最初的整个 Glass Library（玻璃库），因此文件体积可以压缩到 1 MB 左右，以这种方式保存较小的数据库在本手册中被称为 Project Database（项目数据库）。

在每种库的列表视图中都有一个 Export（导出） 按钮，可以用来将选定的记录导出到另一个数据库。这个 Export（导出） 功能可以用来生成项目数据库。许多库都会引用其它库中一些数值，因此，当从库中导出一条记录时，WINDOW 还必须导出从该记录中引用的任何其它记录。图7-11 显示了每个库如何从其它库中引用。Glass Library（玻璃库），Gap Library（空腔气体库），Environmental Conditions Library（环境条件库），Frame Library（框架库），Divider Library（窗格库） 都是独立的库，这意味着它们不引用任何其它库。不过，Glazing System Library（玻璃系统库）和 Window Library（窗库）引用了许多其它库。例如，为了将玻璃系统的所有信息导出到另一个数据库，WINDOW 程序还必须从 Gap Library（空腔气体库）、Glass Library（玻璃库）和 Environmental Conditions Library（环境条件库）中导入引用记录。但有一点很重要：在导出的数据库中，只需要这些引用库中所需的记录，所以在 Glass Library（玻璃库）里可能只有两三个记录，而不是原先的 6000+ 个记录。这使数据库文件体积变小。

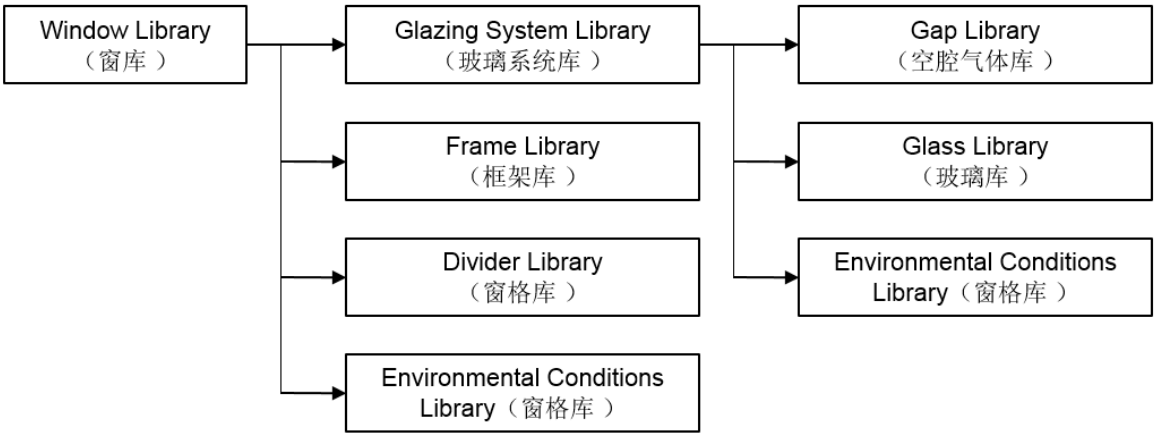


图 7-11：WINDOW项目数据库中的数据级别

以这种方式保存 WINDOW 数据库的方法如下：

选择要导出的库“级别”，一般来说，最完整的“级别”是 Window Library（窗库）。

- 从 Window Library（窗库）开始：这将意味着所有直接或间接从这些库中使用的库记录将包括在项目数据库中：
  - Glazing System Library（玻璃系统库）：Window Library（窗库）记录中引用的所有玻璃系统
  - Frame Library（框架库）：Window Library（窗库）记录中引用的所有框架
  - Divider Library（窗格库）：如果窗格已经建模了，则在 Window Library（窗库）记录中引用的所有窗格
  - Glass Library（玻璃库）：Window Library（窗库）记录中使用的玻璃系统所用的玻璃层
  - Gap Library（空腔气体库）：Window Library（窗库）记录中使用的玻璃系统所用的空腔气体
  - Environmental Conditions Library（环境条件库）：所有玻璃系统和Window Library（窗库）记录中的环境条件
  - Shading Layer Library（遮阳层库）：在玻璃系统中引用遮阳层库中的记录，并从玻璃系统导出到项目数据库
  - Shading Material Library（遮阳材料库）：在遮阳层库的记录中引用遮阳材料，且该遮阳层被用于玻璃系统的建模，则从中导出相关遮阳材料的记录
- 从 Glazing System Library（玻璃系统库）开始：这意味着用于定义玻璃系统的库中记录将被写入项目数据库，而没有其它记录：
  - Glazing System Library（玻璃系统库）：Glazing System Library（玻璃系统库）引用的所有所玻璃系统
  - Glass Library（玻璃库）：Glazing System Library（玻璃系统库）引用的所有玻璃层
  - Gap Library（空腔气体库）：Glazing System Library（玻璃系统库）引用的所有空腔气体
  - Environmental Conditions Library（环境条件库）：Glazing System Library（玻璃系统库）和Window Library（窗库）中的引用的所有环境条件
  - Shading Layer Library（遮阳层库）：在玻璃系统中引用遮阳层库中的记录，并从玻璃系统导出到项目数据库
  - Shading Material Library（遮阳材料库）：在遮阳层库的记录中引用遮阳材料，且该遮阳层被用于玻璃系统的建模，则从中导出相关遮阳材料的记录

注意：当创建项目数据库时，程序可能会显示一条提示消息，说明某些记录已经存在（基于检测到重复的记录 ID），并询问您是否想要覆盖它，如 图7-12 所示。

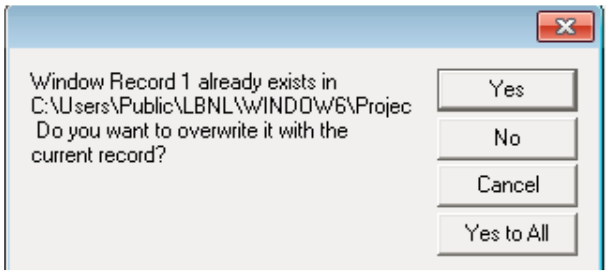


图 7-12：此提示消息将在导出期间始终显示

当新建的项目数据库含有 Environmental Conditions Library（环境条件库）中的 1# 记录时，图7-12 的消息总是会出现，因为程序写入的默认“空白”数据库包含一个默认的环境条件记录。对于新建的项目数据库，点击 Yes 以覆盖现有记录；如果要将记录导入到现有数据库中，则应该确定现有数据库中已经定义了哪些记录及其 ID 编号，并确定是否应要覆盖这些原有记录。

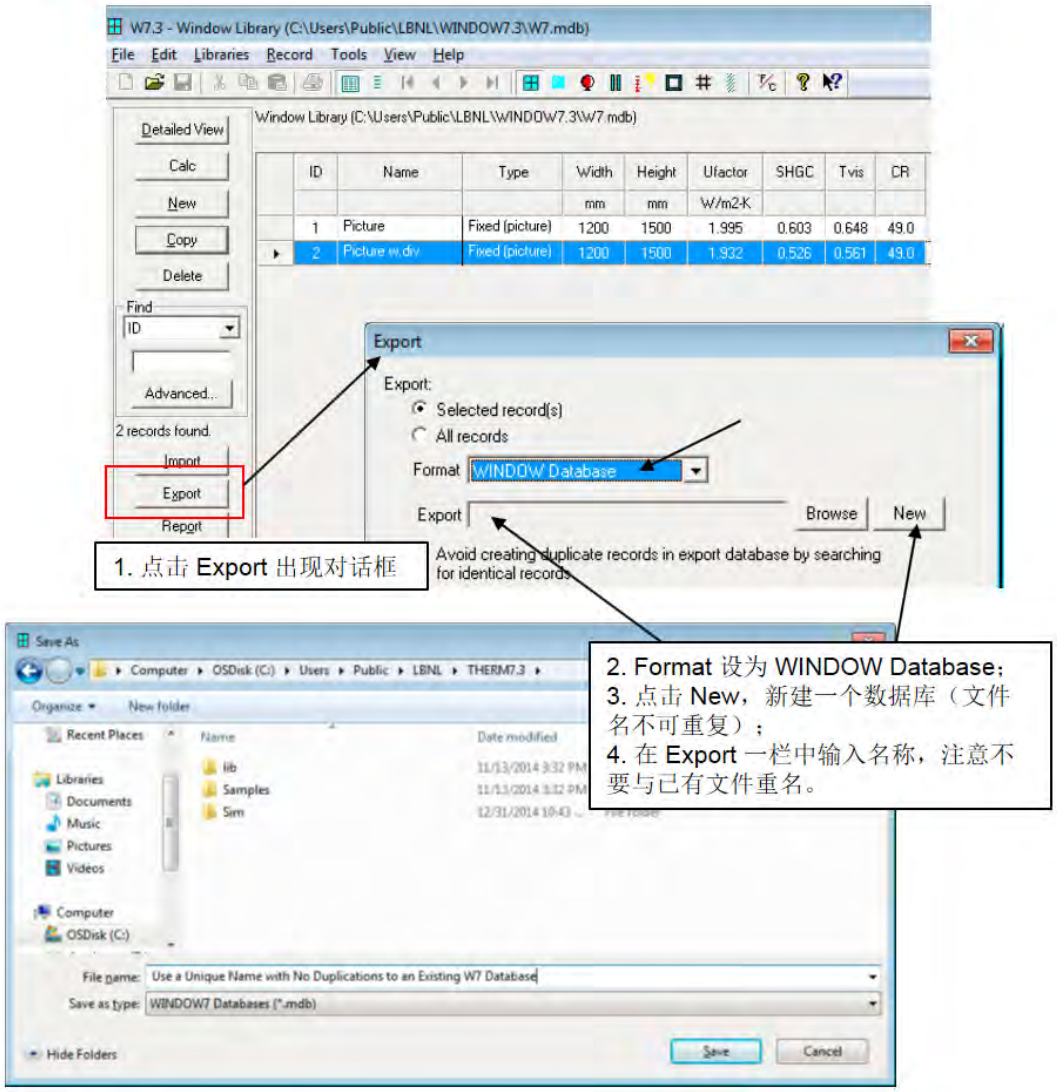


图 7-13：创建项目数据库

8. 特殊案例

8.1. 概述

本节将介绍下列特殊案例：

8.1. 概述 132

8.2. 中框 133

8.3. 窗格 141

8.4. 防风暴窗 175

8.5. 天窗和斜玻璃幕墙系统 187

8.6. 门 199

8.7. 间隔条 201

8.8. 非通长的热桥组件 205

8.9. 现场施工的门窗幕墙产品（幕墙、窗墙、斜幕墙） 216

8.10. 车库门和卷帘门 226

8.11. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的夹层玻璃 236

8.12. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的应用膜 249

8.13. 带框架的中间片玻璃 258

8.14. 遮阳系统的建模概述 260

8.15. 本章节特意留白 280

8.16. 玻璃内置百叶（整体式） 281

8.17. 室外编织遮阳帘 306

8.18. 漫射玻璃 318

8.19. 环境控制的动态玻璃 323

8.20. 真空玻璃（VIG） 330

8.21. 层间板系统 337

8.22. 中悬门窗 348

8.23. 圆顶天窗、玻璃砖、U 形玻璃、特种玻璃 349

8.2. 中框

中框截面是指在平移窗（推拉或提拉窗）中，处于窗扇之间接合部位的框架。在本手册中，术语“Meeting Rail（中框）”一般指门窗幕墙产品的中部框架，它可以是中横梁，也可以是中立柱。

8.2.1. 中框的建模

中框截面建模时，两侧的窗扇和它们相关的玻璃系统也都需要建模。图8-1 所示为推拉窗的中框。中框截面的建模方法与 THERM 中的任何其它模型没有什么不同，但有几点注意事项：

- 需要导入两个玻璃系统，一个朝上，一个朝下，见本手册“第6.3.3节：截面朝向”。如果 DXF 文件中的框架截面是水平方向绘制的，那么在导入玻璃系统前，需要将它旋转到正确的位置。
- 每个玻璃系统的室内边界条件中，玻璃边缘的 U值标签 都为 Edge，最终显示的计算结果是程序自动计算的两侧玻璃的平均 U值。

下面的介绍列出了制作带有两个玻璃系统中框截面的步骤，并指定了正确的边界条件和 U值标签。

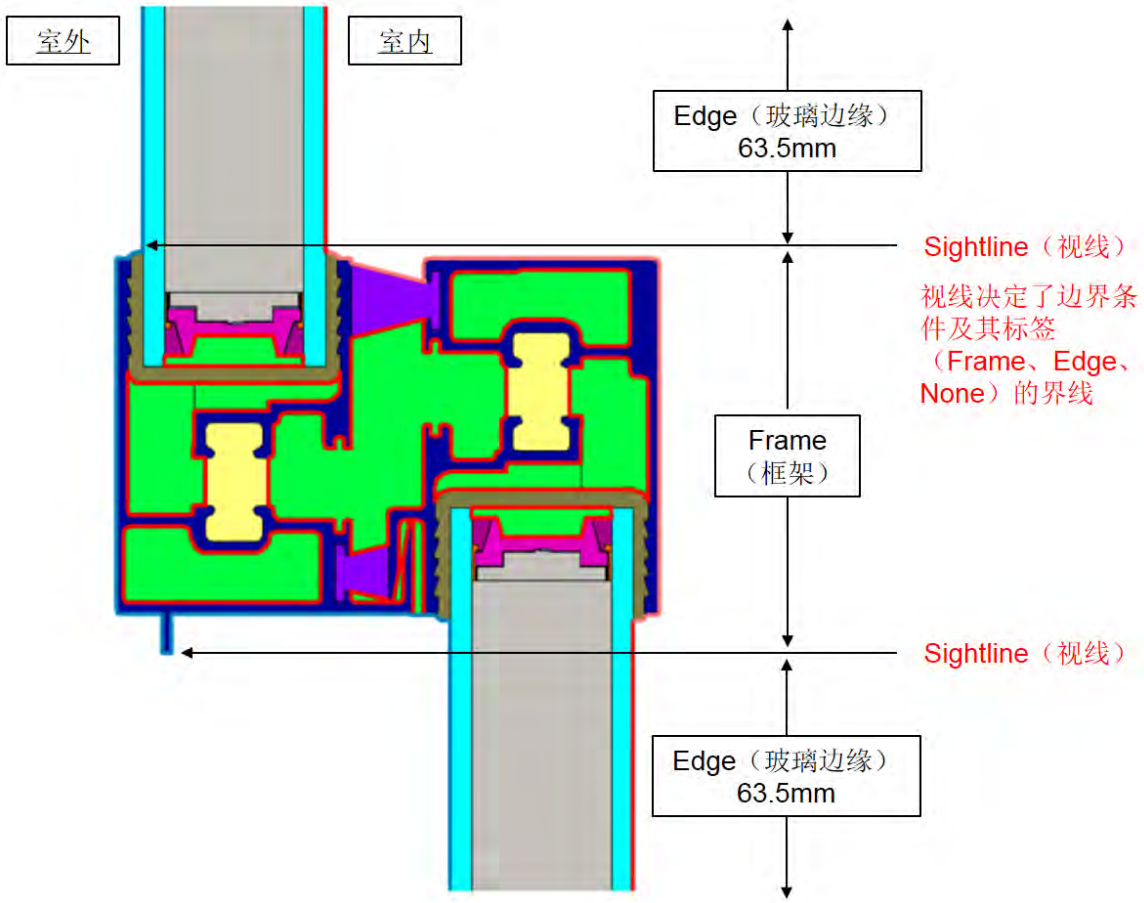


图 8-1：Meeting Rail截面

8.2.2. 计算中框 U值 的步骤

① 使用带尺寸的图纸或 DXF 文件，创建中框节点中的框架模型。如 图8-2 所示，推拉窗的中框截面的框架部分已经创建完成。

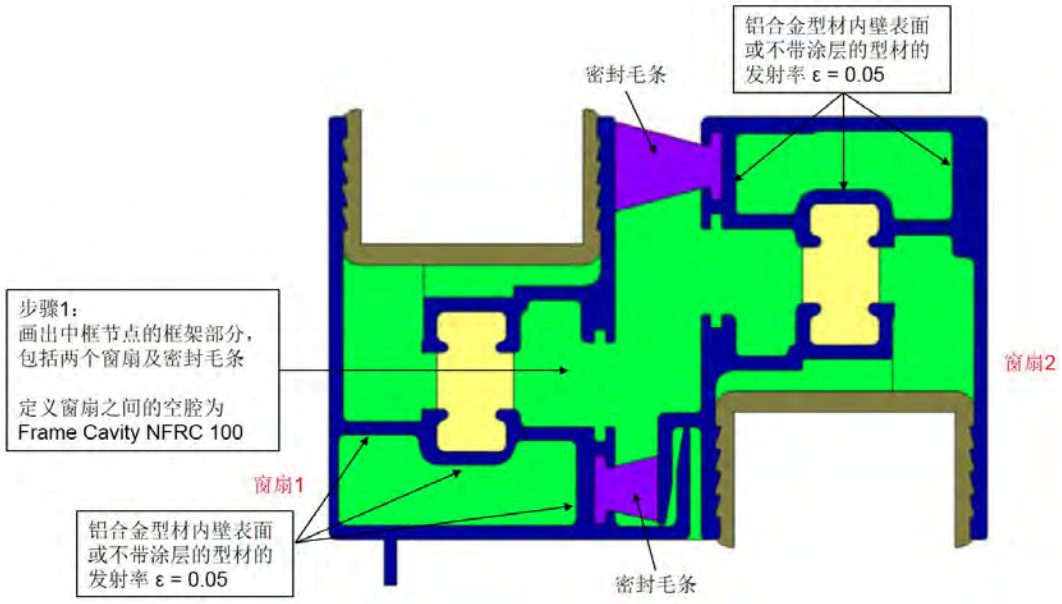


图 8-2：Meeting Rail截面模型的框架部分

② 如 图8-3 所示，在第一个玻璃系统的左下角画出用于插入玻璃系统的 Locator（定位点），使用 Shift+F2 或者主菜单 → Draw → 点击 Locator，激活该功能后，再在指定位置点击 鼠标左键 即可。

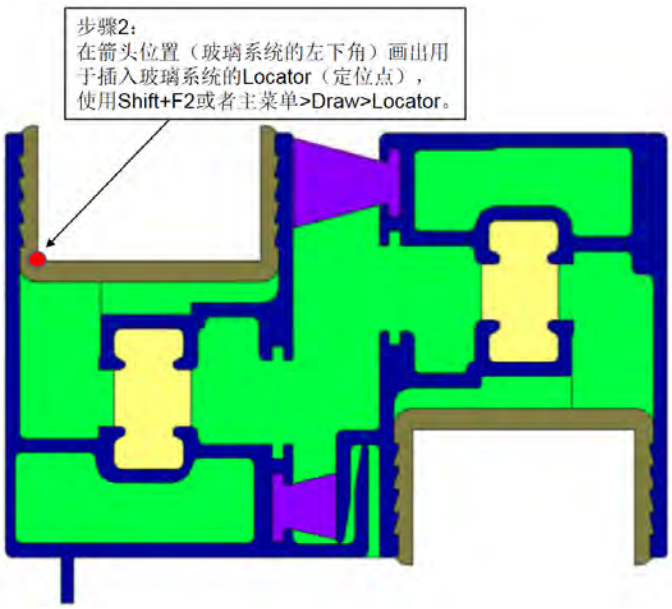


图 8-3：第一个Glazing System的Locator位置

③ 使用 F6键 或者主菜单 → Libraries → 点击 Glazing Systems，插入上层玻璃系统，如 图8-4 所示。在本例中，间隔条稍后将被复制并粘贴到截面中。

假如间隔条的开口是朝向玻璃系统空腔的，则须使用 Link（链接） 功能，将玻璃系统空腔的导热系数“链接”到开口间隔条的周围空腔，方法是：主菜单 → Libraries → 点击 Create Link

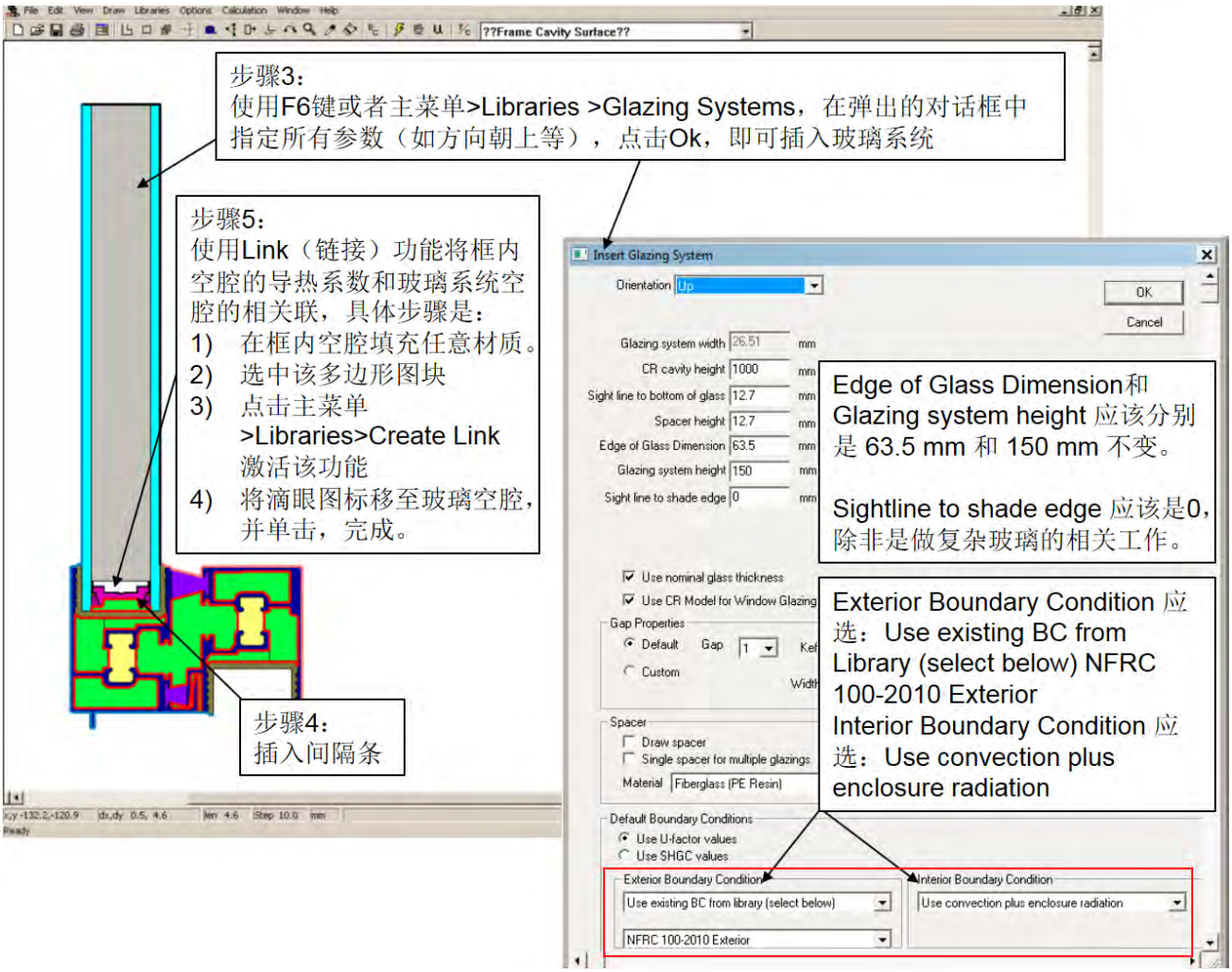


图 8-4：插入第一个Glazing System

④ 将 Locator（定位点）重新设置到第二个玻璃系统的左上角

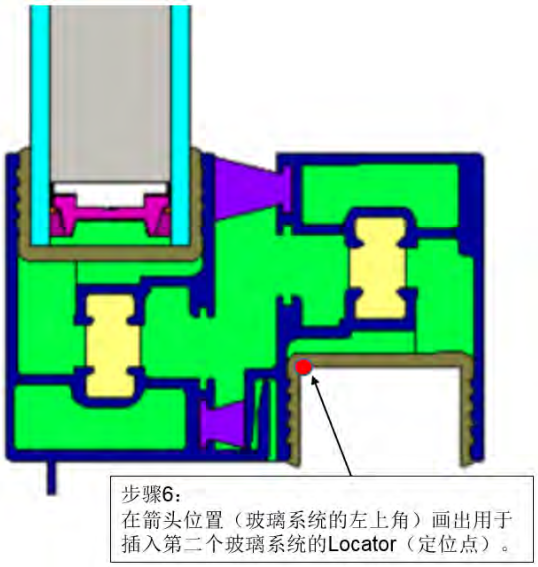


图 8-5：第二个Glazing System的Locator位置

⑤ 插入第二个玻璃系统，将 Orientation（玻璃朝向） 设为 Down（向下），并输入正确的 Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部距离）和 Spacer height（间隔条高度）。

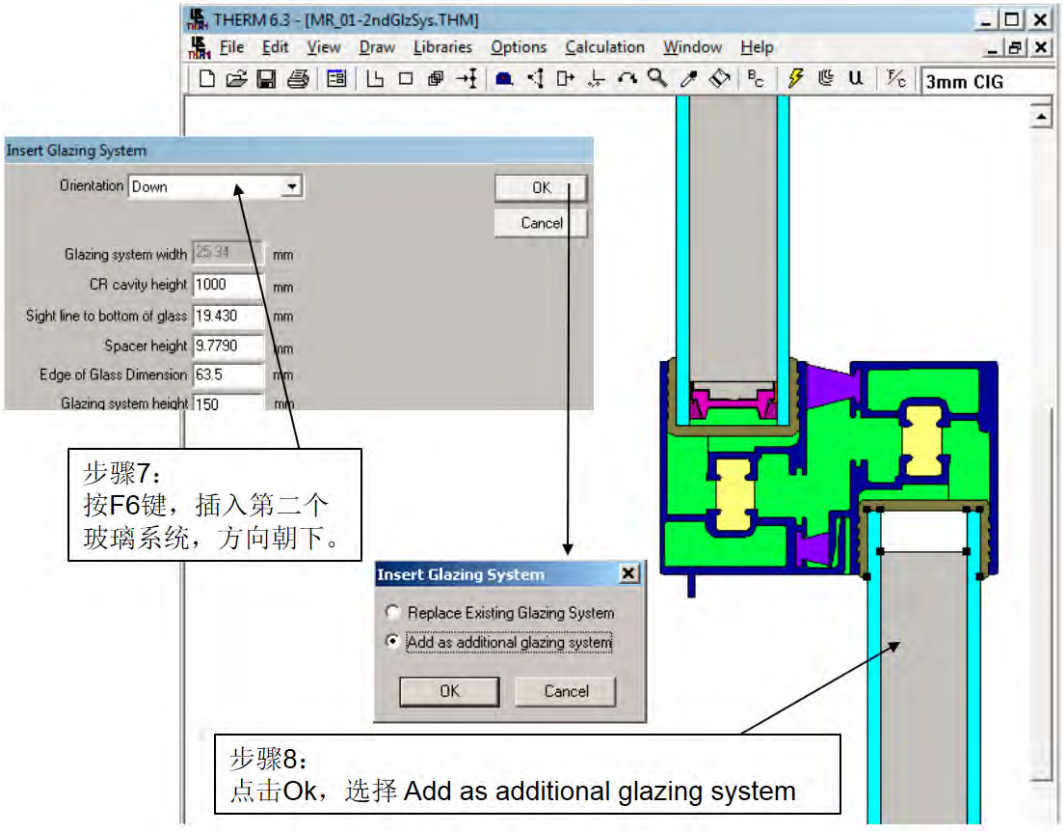


图 8-6：插入第二个Glazing System

⑥ 如有必要，添加间隔条并创建与玻璃系统空腔 Link（链接） 的空腔材料

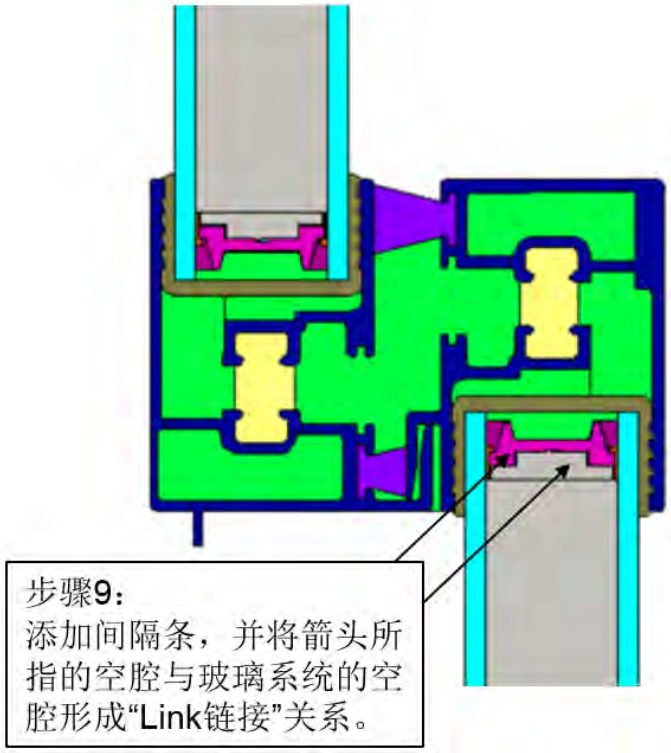


图 8-7：添加自定义的Spacer

⑦ 通过点击工具栏快捷图标，或主菜单 → Draw → Boundary Conditions，或按 F10键 来定义边界条件。确保室内边界条件中 Radiation Model 设为 AutoEnclosure ，室内玻璃边缘的边界条件中的 U-factor Tag（U值标签）设为 Edge 。详细设置如 图8-8 所示。

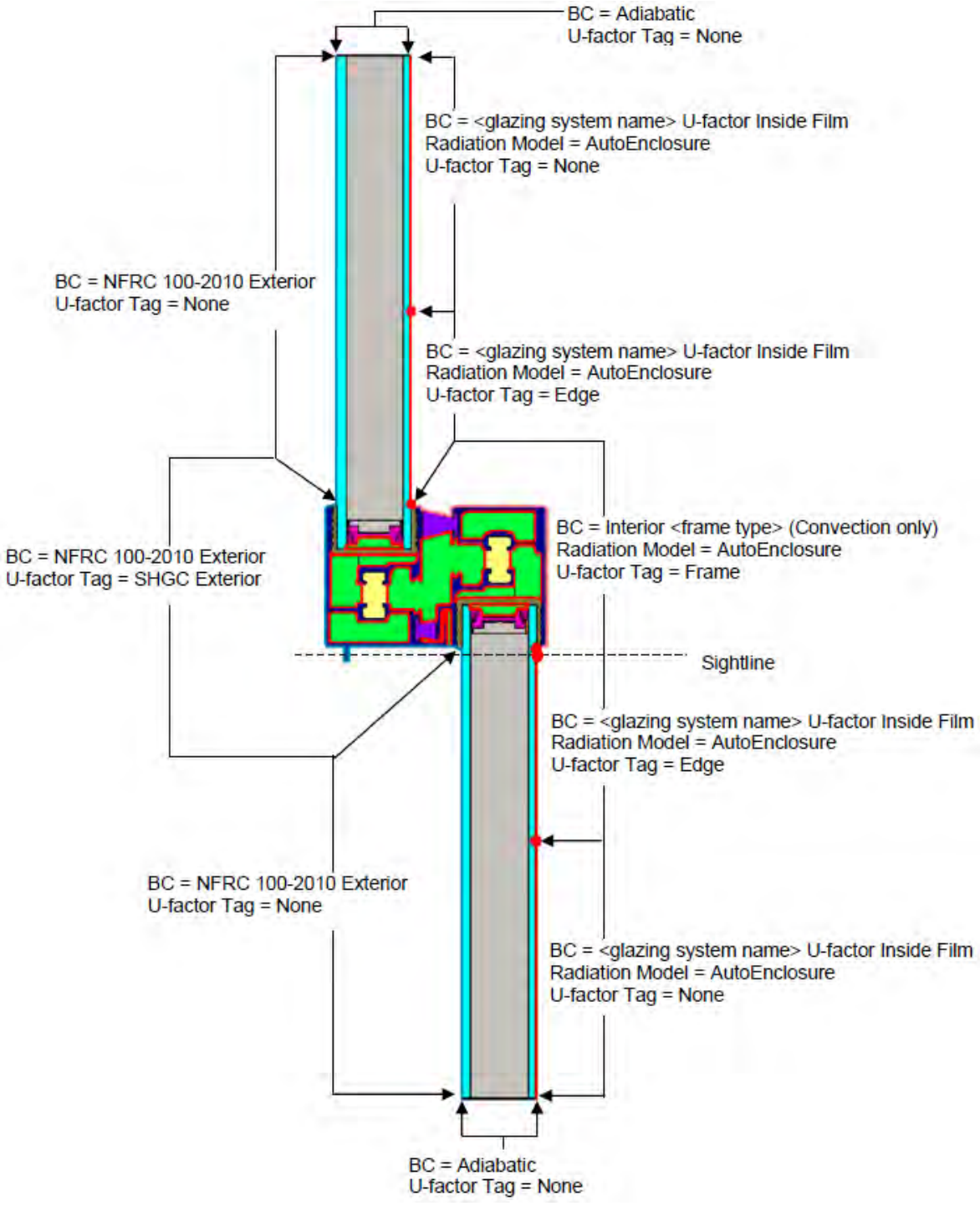


图 8-8：定义Meeting Rail的边界条件

⑧ 进行计算：点击工具栏快捷图标，或主菜单 → Calculation → Calculation，或按 F9键。得到 U值标签 Frame 和 Edge 的计算结果，如 图8-9 所示。

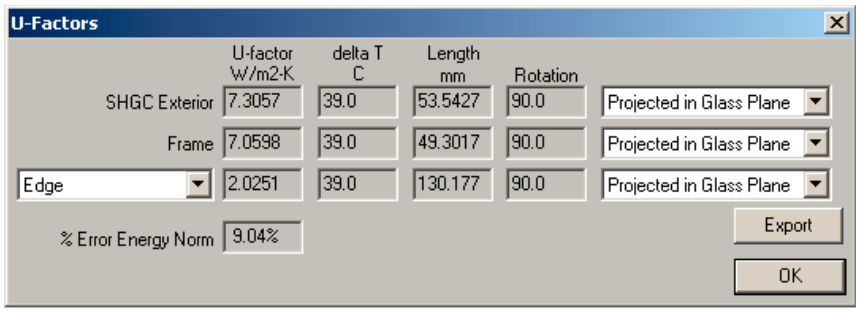


图 8-9：计算结果

⑨ 将该 THM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）。

8.2.3. 计算中框抗结露值的步骤

CR值（抗结露值）的模型计算仅适用于 Horizontal Meeting Rail（例如提拉窗的中横梁）一类的水平截面，而对于竖直截面（如 Vertical Meeting Rail），THERM 则不会计算其 CR值。

根据 NFRC 500-2017 计算 CR值 时，首先要在 THERM 中计算得到抗结露相关信息，再在 WINDOW 中计算整体产品的CR值。根据 ANSI/NFRC 500 计算结露指数（CI）时，应当使用“CI 温度读取工具”，并配合专有的电子表格计算整体产品的结露指数（CI）。抗结露模式的激活方式有两种：

- 在导入玻璃系统时，在 Insert Glazing System 对话框内，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 的复选框。
- 鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 THERM File Options 页面，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 复选框，如下图所示。

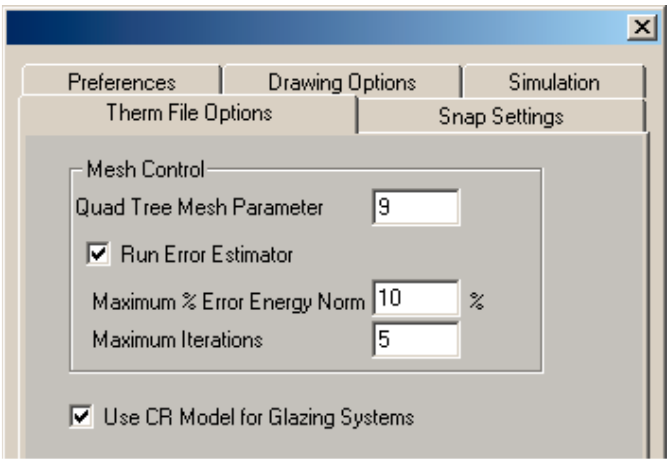


图 8-10：在Options>Preferences>Therm File Options中，勾选Use CR Model for Glazing Systems

当抗结露模式被激活后，玻璃系统的空腔周围会出现红色的边界条件线段，这时需要进行以下操作：

① 检查这些边界条件，包括：

a. 校验材料表面的发射率，如标准玻璃为 0.84，大多数框架材料为 0.90，未涂漆铝为 0.05 等。

b. 校验玻璃系统空腔的末端（绝热）的发射率，是否为 1.0。

c. 校验模型中的空腔高度，计算 CR 时，应符合 第6.4.5节 的 表6-2 中的空腔高度；计算 CI 时，应取 500mm

② 模型运算，程序将计算得到 U值 和 CR值 的结果。

③ 将该 THM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库），并用于在 Window Library（窗库）中创建整个产品。需要注意的是抗结露计算仅适用于 Horizontal Meeting Rail（例如提拉窗的中横梁）一类的水平截面。

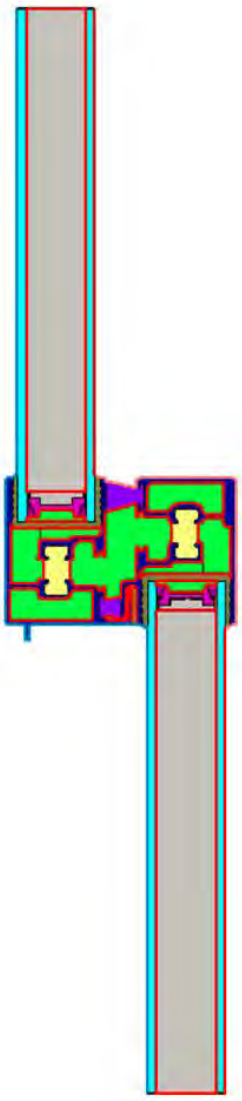


图 8-11：当CR模式被激活后，玻璃系统空腔周围将出现红色的边界条件线段

8.3. 窗格

8.3.1. 内部窗格

内部窗格（Internal Dividers，或Suspended Grilles）是一种在玻璃空腔内设置了个格栅的玻璃系统。《ANSI / NFRC 100》标准文件的 第4.2.4节 和 第4.2.5节 规定了什么样的窗格需要建模，本节介绍的是在满足窗格建模前提时，使用 WINDOW 和 THERM 进行建模的方法。

8.3.1.1. 建模的步骤

与最初版本的 THERM 相比，THERM 7 和 WINDOW 7 对于所有窗格形状和填充气体类型的建模步骤没有改变。

Link（链接）框架空腔和玻璃空腔

在 第6章 介绍的框架空腔与玻璃空腔的“Link（链接）”规则中，内部窗格是一个例外。只有当内部窗格的外表面与玻璃系统的内表面之间的距离小于或等于 3 mm 时，才需要建模。对于异形的内部窗格，也作了一个简化的假设，即 5 mm 规则 是不适用的，窗格边缘和玻璃之间的空腔按照框架空腔建模，该空腔的边界延伸到窗格组件的顶部和底部，有关详细描述，请参阅下面的示例。

建模步骤如下：

在 WINDOW 中：

① 不需要额外的建模步骤，因为在窗格模型中使用的玻璃系统与不带窗格的模型是一样的。

在 THERM 中：

② 最新的《ISO 15099》标准的建模假设是：理论上，水平和竖直的窗格需要分开建模。然而，一种保守的简化方法是将包括水平窗格在内的所有窗格按照竖直窗格建模，这样就可以在 THERM 中只需创建一个窗格模型，然后在 WINDOW 中调用它。

③ 将所有窗格的 Cross Section Type（截面类型） 设为 Vertical Divider（竖直窗格）。

④ 插入两个玻璃系统，一个朝上，Spacer height（间隔条高度）设置为与窗格高度相同的值；一个朝下，Spacer height（间隔条高度）设置为 0。

⑤ 注意：THERM 中的抗结露模式不适用于窗格，因为它们的截面类型都是 Vertical Divider（竖直窗格）。然而，当在 WINDOW 中创建产品，用到这些窗格时，WINDOW 仍然会通过使用窗格的 U值 温度来计算整个产品的 CR值。

⑥ 在上层玻璃系统的空腔内，画出窗格的实际几何外形。

⑦ 根据玻璃系统空腔内实际填充的气体，为玻璃系统和窗格之间的空腔以及窗格内部的空腔分配适当的框架空腔材料，如下所示：

a. 对于玻璃系统的空腔内为空气的窗格：按 Frame Cavity NFRC 100 填充

b. 对于玻璃系统的空腔内为除空气以外的其它气体的窗格：除非该气体已经用于玻璃系统，且在 Gas Library（气体库）中可以找到该气体，否则，需要在 Material Library（材料库）中新建一个与 Frame Cavity NFRC 100 材料相似的新气体材料，并将这个新材料分配给窗格中的空腔，具体操作参阅下面的例子。

⑧ 分配边界条件及 U值标签。

⑨ 计算结果。

⑩ 将 THM 文件导入 WINDOW 的 Divider Library（窗格库），以便在 Window Library（窗库）中创建整体产品时调用该窗格。

8.3.1.2. 空气填充的玻璃系统

下面几页将详细说明空气填充的玻璃系统中带窗格的建模步骤。

在 THERM 中：

① 设置 Cross Section Type（截面类型）为 Vertical Divider（竖直窗格）。

② 对于窗格，玻璃系统的导入步骤与其它产品相同，设置如下：

- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：窗格的高度（在本例中为 19.05 mm）
- Spacer height（间隔条高度）：窗格的高度（在本例中为 19.05 mm）
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选 Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

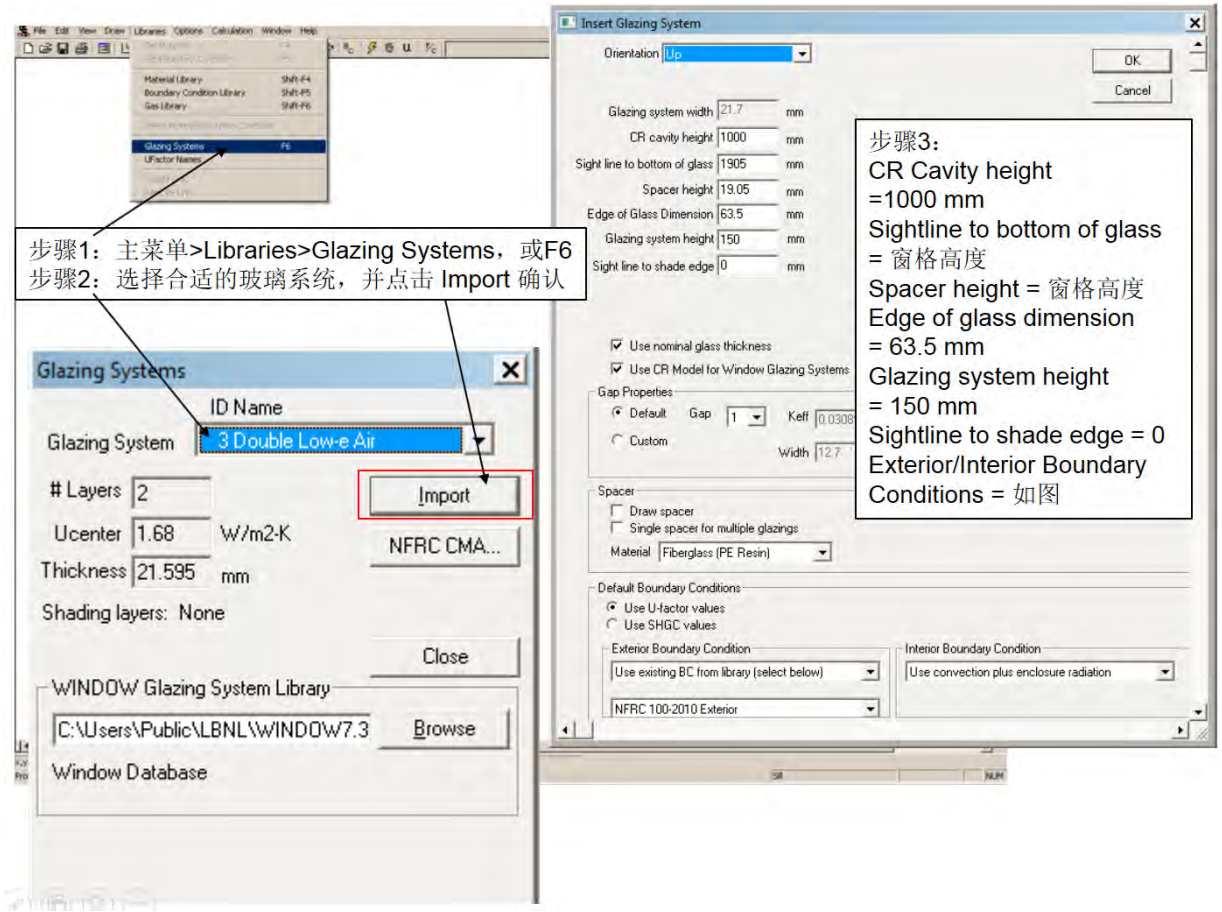


图 8-12：导入第一个Glazing System, Orientation选Up

③ 在第一个玻璃系统的下方，导入第二个玻璃系统，这时的Locator（定位点）是不需要移动的，但要注意在弹出的对话框内选择 Add as additional glazing system（添加作为额外的玻璃系统），具体设置如下：

- Orientation（朝向）：Down
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：0
- Spacer height（间隔条高度）：0
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

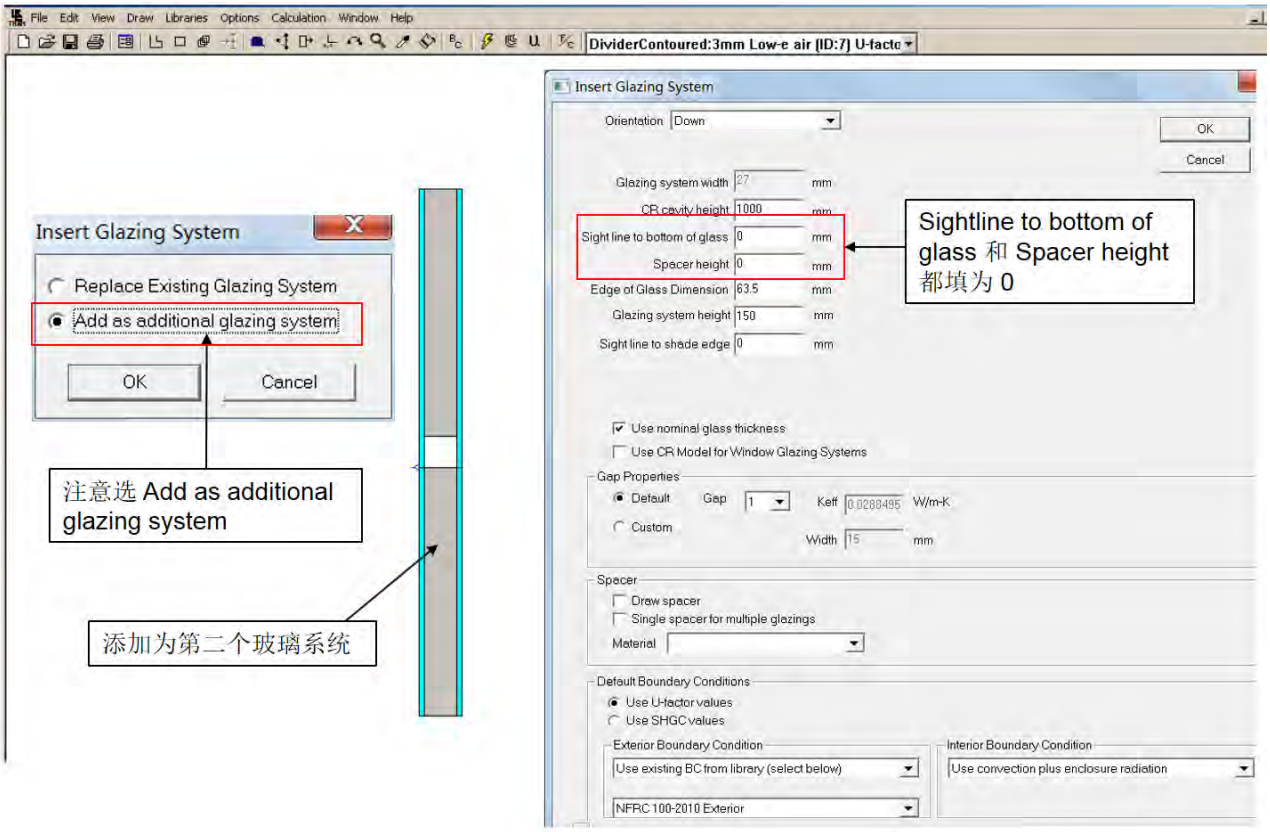


图 8-13：导入第二个Glazing System, Orientation选Down

④ 绘制空腔中代表窗格的多边形，也可以直接从另一个 THERM 文件复制粘贴。下图的例子是一个铝合金材质的窗格。

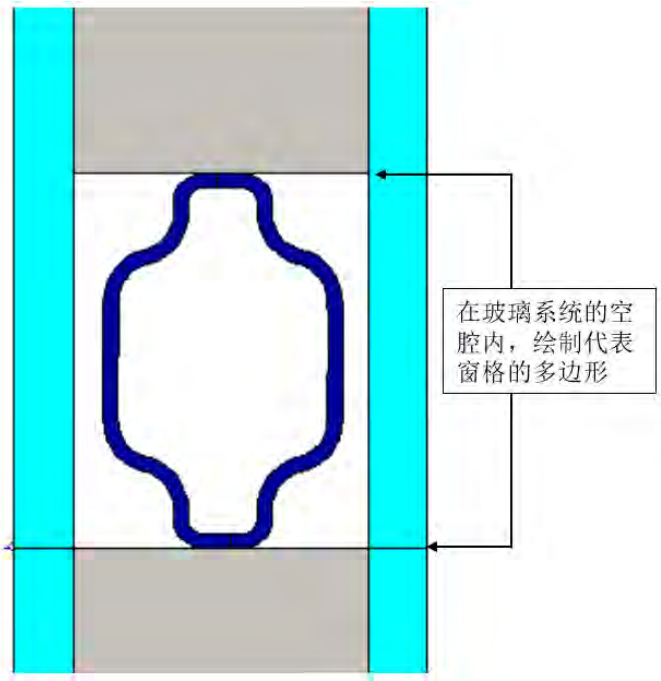


图 8-14：绘制多边形来表示窗格

⑤ 由于只有当内部窗格和玻璃表面的间距小于 3 mm 时，该窗格才需要建模，因此将框架空腔 Link（链接） 到玻璃空腔的 5 mm 规则 不适用于内部窗格。当内部窗格满足建模条件时，窗格周围和内部的空腔都被视作框架空腔，并使用 Frame Cavity NFRC 100 进行填充。

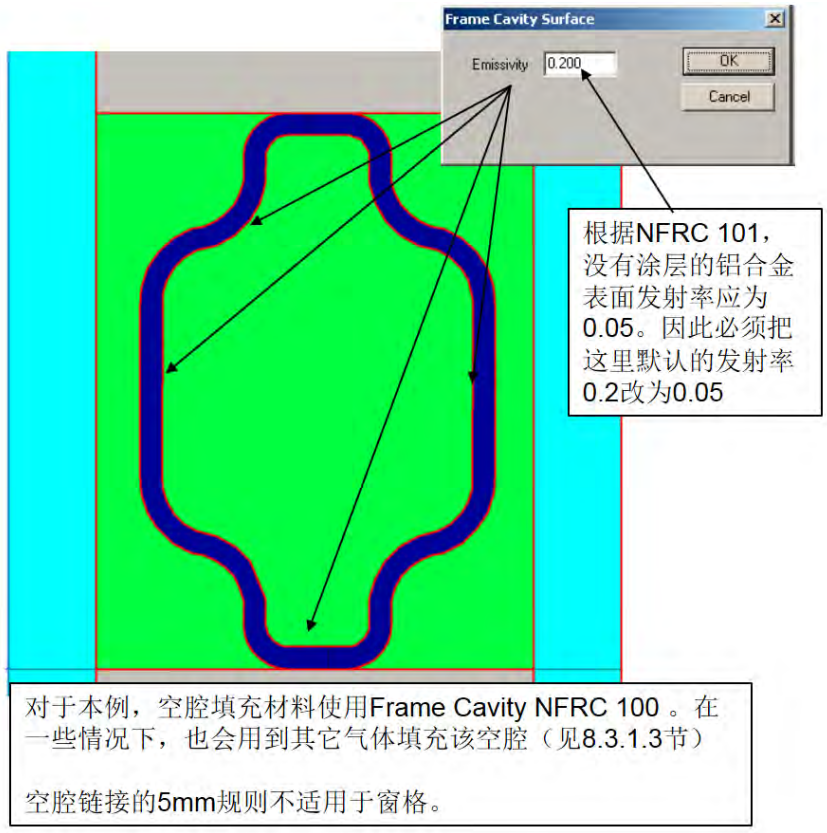


图 8-15：使用Frame Cavity NFRC 100填充窗格周围和内部的空腔

⑥ 定义边界条件，Radiation Model（辐射模式）设为 AutoEnclosure（自动封闭）。

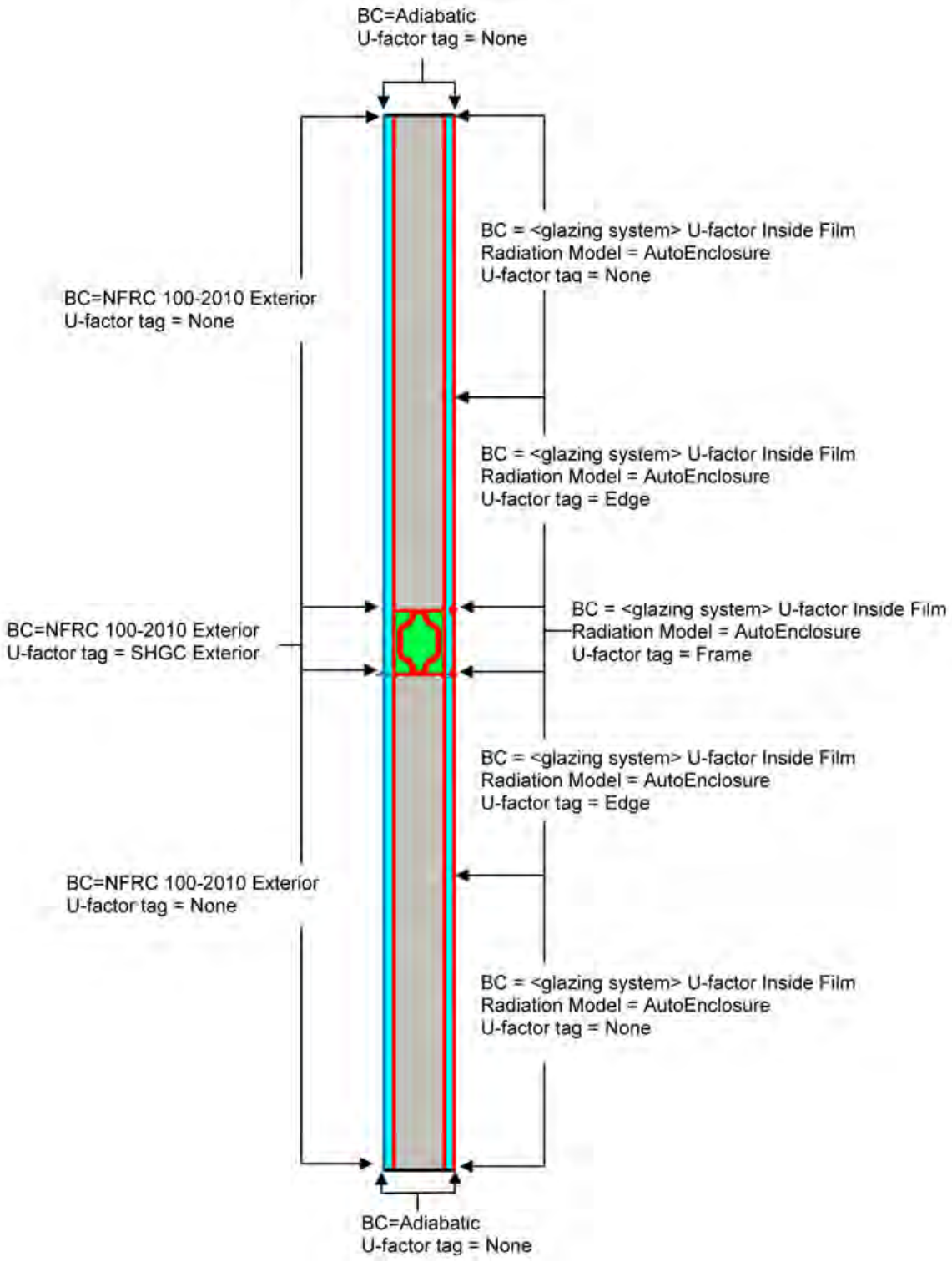


图 8-16：分配边界条件及U值标签

⑦ 计算结果。

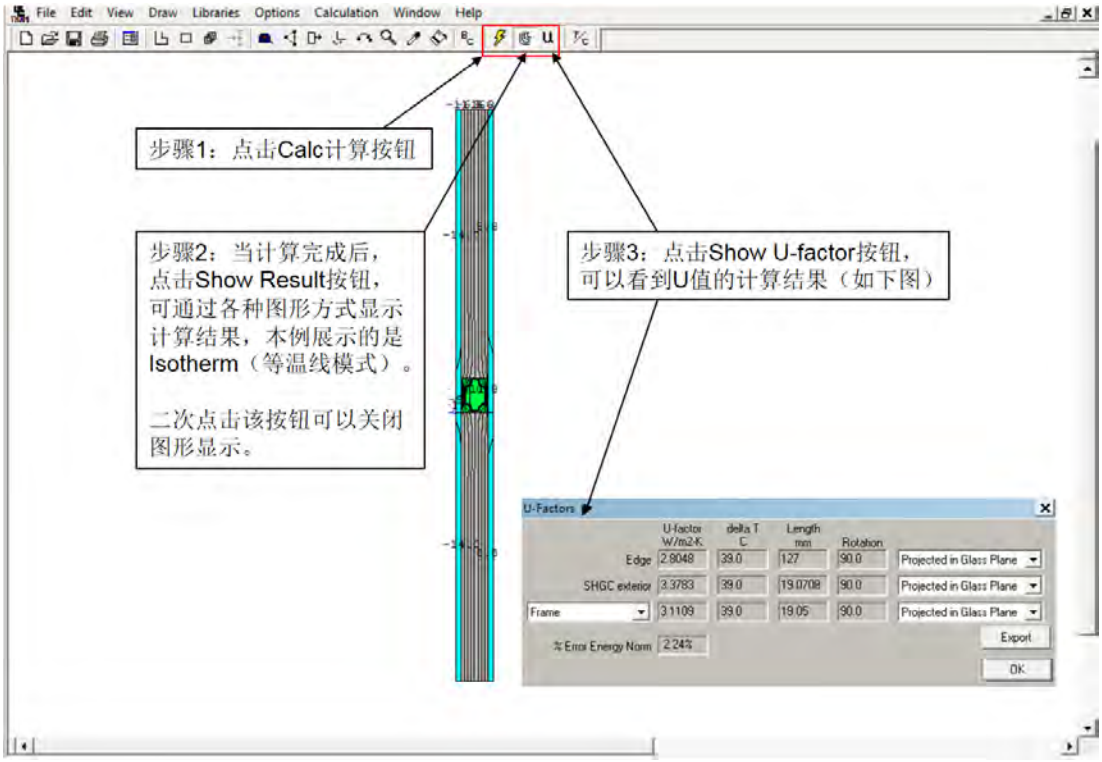


图 8-17：计算并查看结果

⑧ 保存 THM 文件：主菜单 → File → Save As…

⑨ 将包含计算结果的 THM 文件导入 WINDOW Divider Library（窗格库），如 图8-17 所示。有关导入THERM 文件的更多信息，请参阅《WINDOW 用户手册》的“第4.7.3节：导入 THERM 文件”。

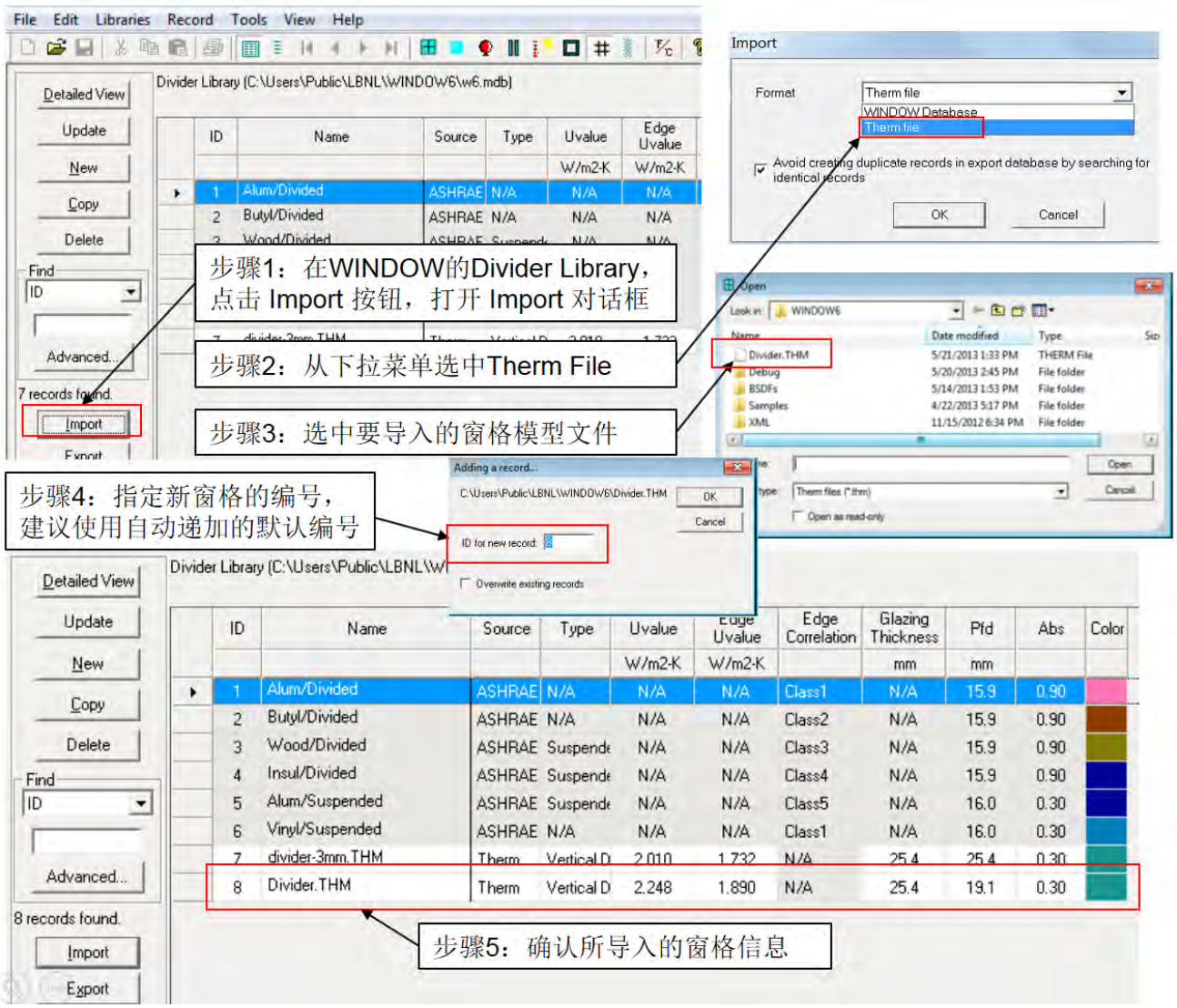


图 8-18：将THM文件导入WINDOW Divider Library

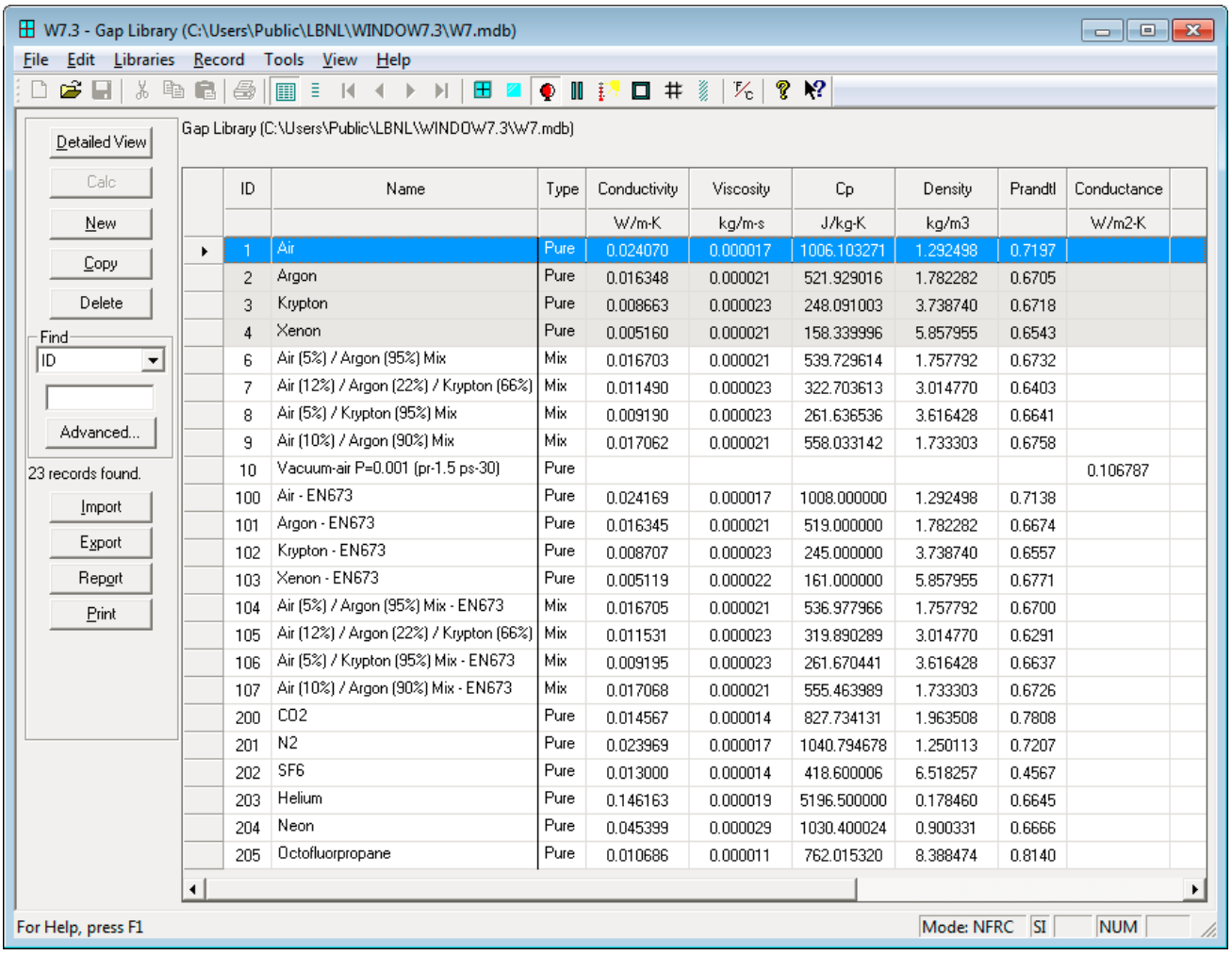
⑩ 在 WINDOW 主界面使用新导入的窗格计算整体产品的性能参数。

8.3.1.3. 混合气体填充的玻璃系统

如果窗格建模用的玻璃系统是填充了混合气体的，则必须用与玻璃系统相同的混合气体来填充窗格周围和内部的空腔，这意味着必须定义一种新材料，该材料具有混合气体的特性。

THERM 的 Gas Library（气体库）包含了标准气体和一些混合气体的样本，这些气体并不是在 THERM 中创建的，而是先在 WINDOW 的 Gap Library（空腔气体库）中创建，再被导入到 THERM 的 Gas Library（气体库）。混合气体导入到 THERM 后，它们可以在窗格建模时被引用，作为一种新的框架空腔材料，具体步骤如下图。

① 在 WINDOW 的 Gap Library（空腔气体库）中创建一种混合气体，具体步骤见本手册 第5.3.3节或《WINDOW 用户手册》“第4.6节：气体库”。假设该混合气体已创建，并被用于产品玻璃系统的建模。



ID	Name	Type	Conductivity	Viscosity	Cp	Density	Prandtl	Conductance
			W/m-K	kg/m-s	J/kg-K	kg/m3		W/m2-K
1	Air	Pure	0.024070	0.000017	1006.103271	1.292498	0.7197	
2	Argon	Pure	0.016348	0.000021	521.929016	1.782282	0.6705	
3	Krypton	Pure	0.008663	0.000023	248.091003	3.738740	0.6718	
4	Xenon	Pure	0.005160	0.000021	158.339996	5.857955	0.6543	
6	Air (5%) / Argon (95%) Mix	Mix	0.016703	0.000021	539.729614	1.757792	0.6732	
7	Air (12%) / Argon (22%) / Krypton (66%)	Mix	0.011490	0.000023	322.703613	3.014770	0.6403	
8	Air (5%) / Krypton (95%) Mix	Mix	0.009190	0.000023	261.636536	3.616428	0.6641	
9	Air (10%) / Argon (90%) Mix	Mix	0.017062	0.000021	558.033142	1.733303	0.6758	
10	Vacuum-air P=0.001 (pr-1.5 ps-30)	Pure						0.106787
100	Air - EN673	Pure	0.024169	0.000017	1008.000000	1.292498	0.7138	
101	Argon - EN673	Pure	0.016345	0.000021	519.000000	1.782282	0.6674	
102	Krypton - EN673	Pure	0.008707	0.000023	245.000000	3.738740	0.6557	
103	Xenon - EN673	Pure	0.005119	0.000022	161.000000	5.857955	0.6771	
104	Air (5%) / Argon (95%) Mix - EN673	Mix	0.016705	0.000021	536.977966	1.757792	0.6700	
105	Air (12%) / Argon (22%) / Krypton (66%)	Mix	0.011531	0.000023	319.890289	3.014770	0.6291	
106	Air (5%) / Krypton (95%) Mix - EN673	Mix	0.009195	0.000023	261.670441	3.616428	0.6637	
107	Air (10%) / Argon (90%) Mix - EN673	Mix	0.017068	0.000021	555.463989	1.733303	0.6726	
200	CO2	Pure	0.014567	0.000014	827.734131	1.963508	0.7808	
201	N2	Pure	0.023969	0.000017	1040.794678	1.250113	0.7207	
202	SF6	Pure	0.013000	0.000014	418.600006	6.518257	0.4567	
203	Helium	Pure	0.146163	0.000019	5196.500000	0.178460	0.6645	
204	Neon	Pure	0.045399	0.000029	1030.400024	0.900331	0.6666	
205	Octofluorpropane	Pure	0.010686	0.000011	762.015320	8.388474	0.8140	

图 8-19：在WINDOW Gap Library中创建必要的Gas Mixture

② 如果当前的 THERM 的 Gas Library（气体库）中没有所需的混合气体，则需要将 WINDOW 的 Gap Library（空腔气体库）中导入 THERM 的Gas Library（气体库）。

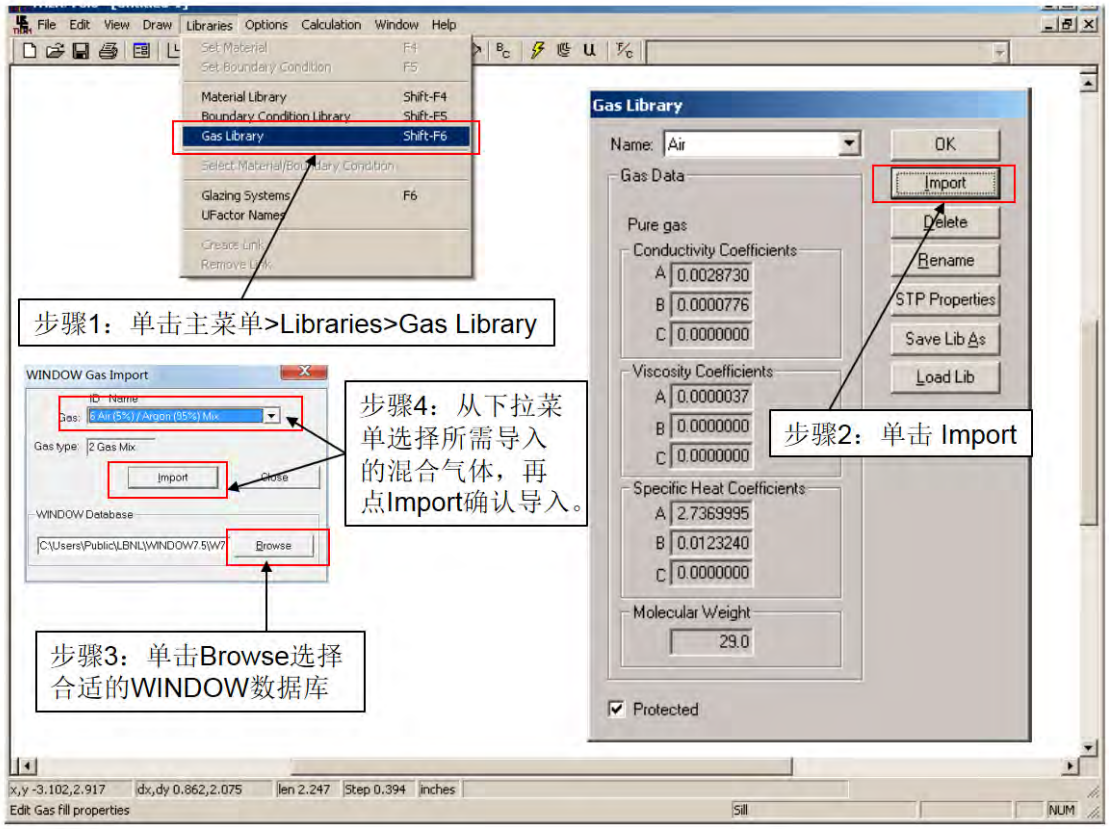


图 8-20：将WINDOW中的Gas Mixture导入THERM Gas Library

③ 在 THERM Material Library（材料库）中，新建一种基于 Frame Cavity 的框架空腔材料，并在 Gas Fill（气体填充）中选 Gap Library（空腔气体库）中的混合气体。

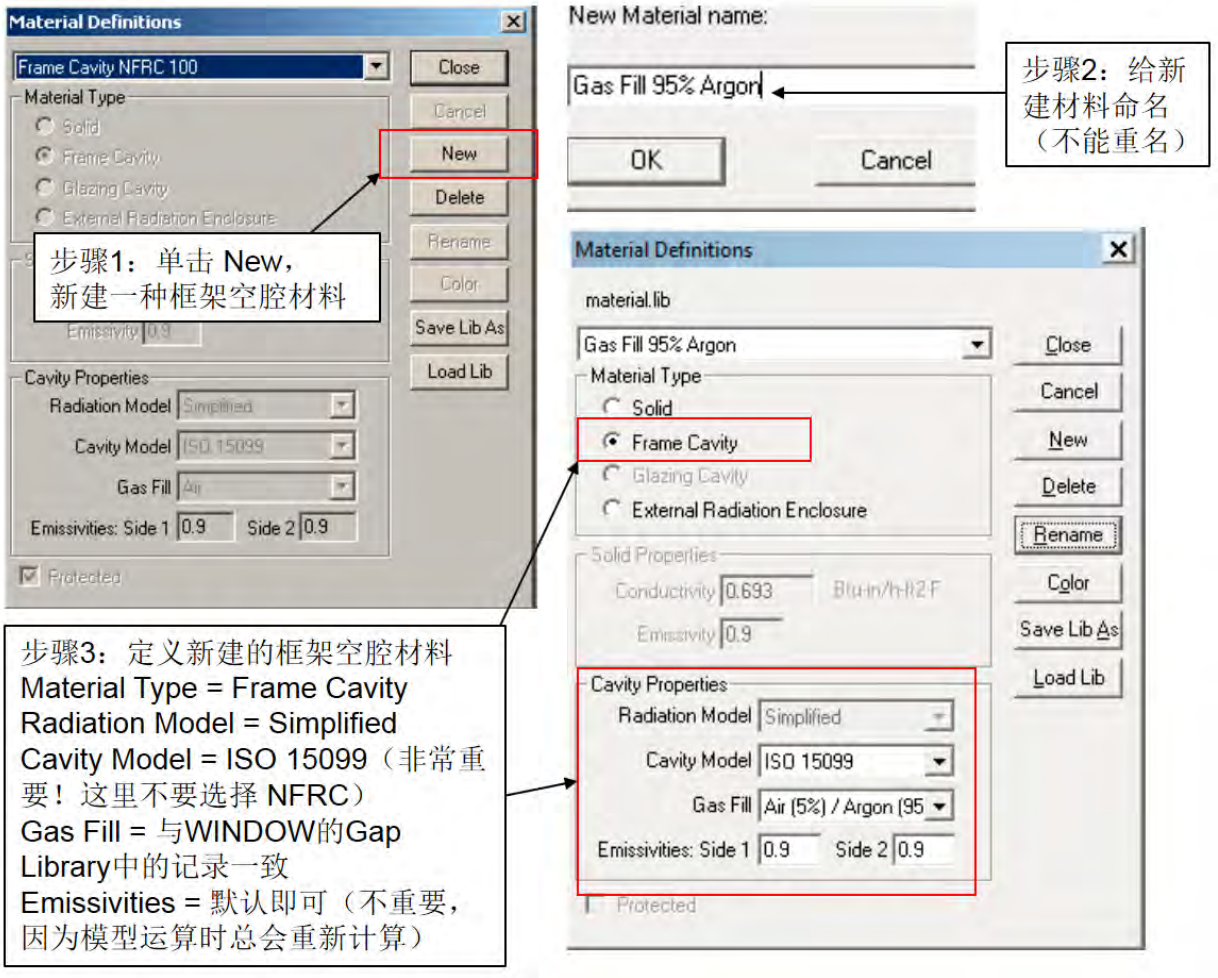


图 8-21：将WINDOW中的Gas Mixture导入THERM Gas Library

④ 将这种新的框架空腔材料，用于填充窗格的空腔。

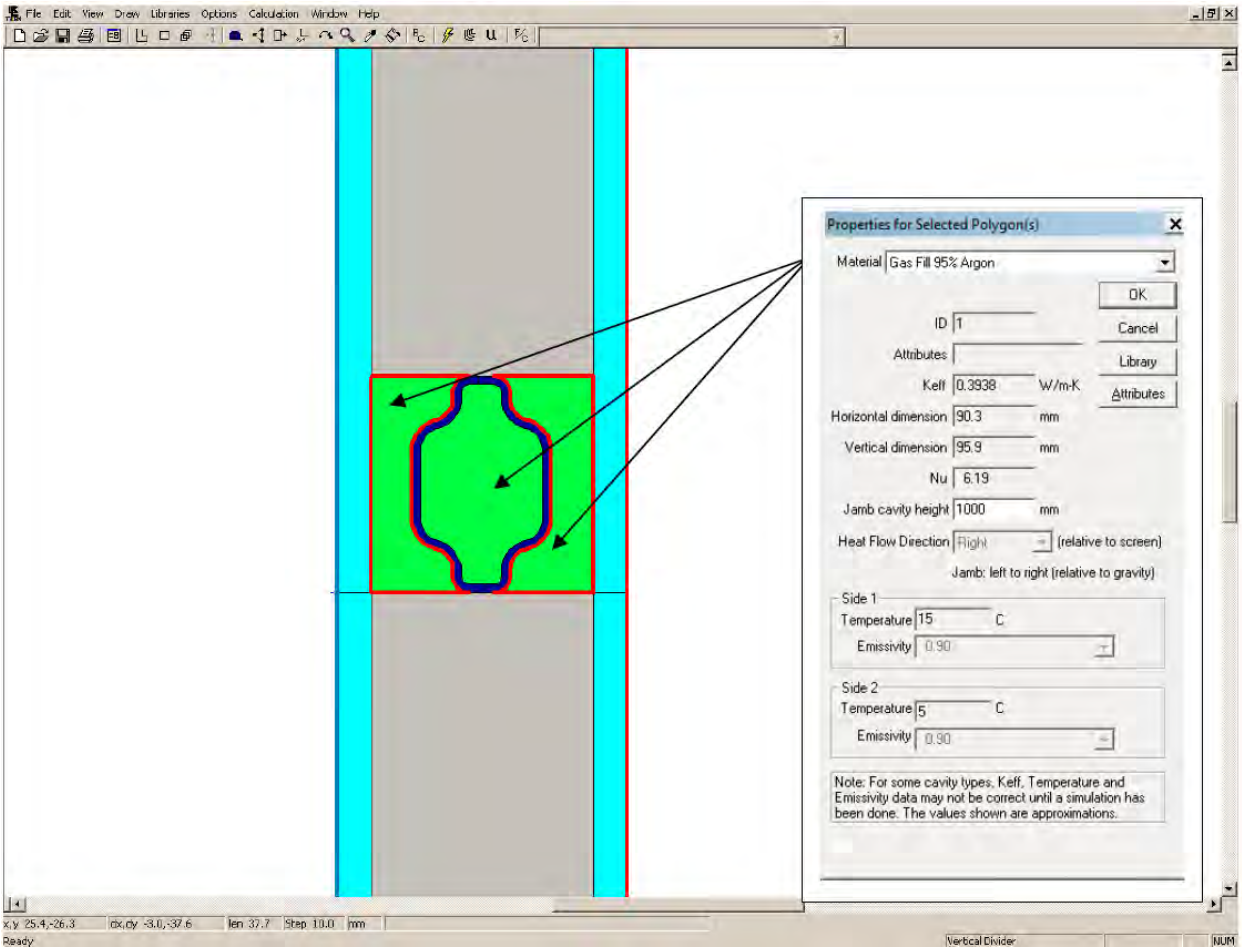


图 8-22：使用新的框架空腔材料填充窗格的空腔

8.3.2. 仿窗格（外部窗格）

仿窗格（Simulated Divided Lites，SDL）是指一种在玻璃的室内和室外表面附加一些装饰元素的玻璃系统，它具有与真正的小分格窗相近的外观。仿窗格的玻璃系统内部有一个金属加强件，它与粘贴在中空玻璃外表面的材料是一个系统。后者根据《ANSI / NFRC 100》是不需要建模的，尽管如此，图8-23还是显示了一个完整的仿窗格模型，这是制造商的一个选项（玻璃外侧材料建模/不建模）。

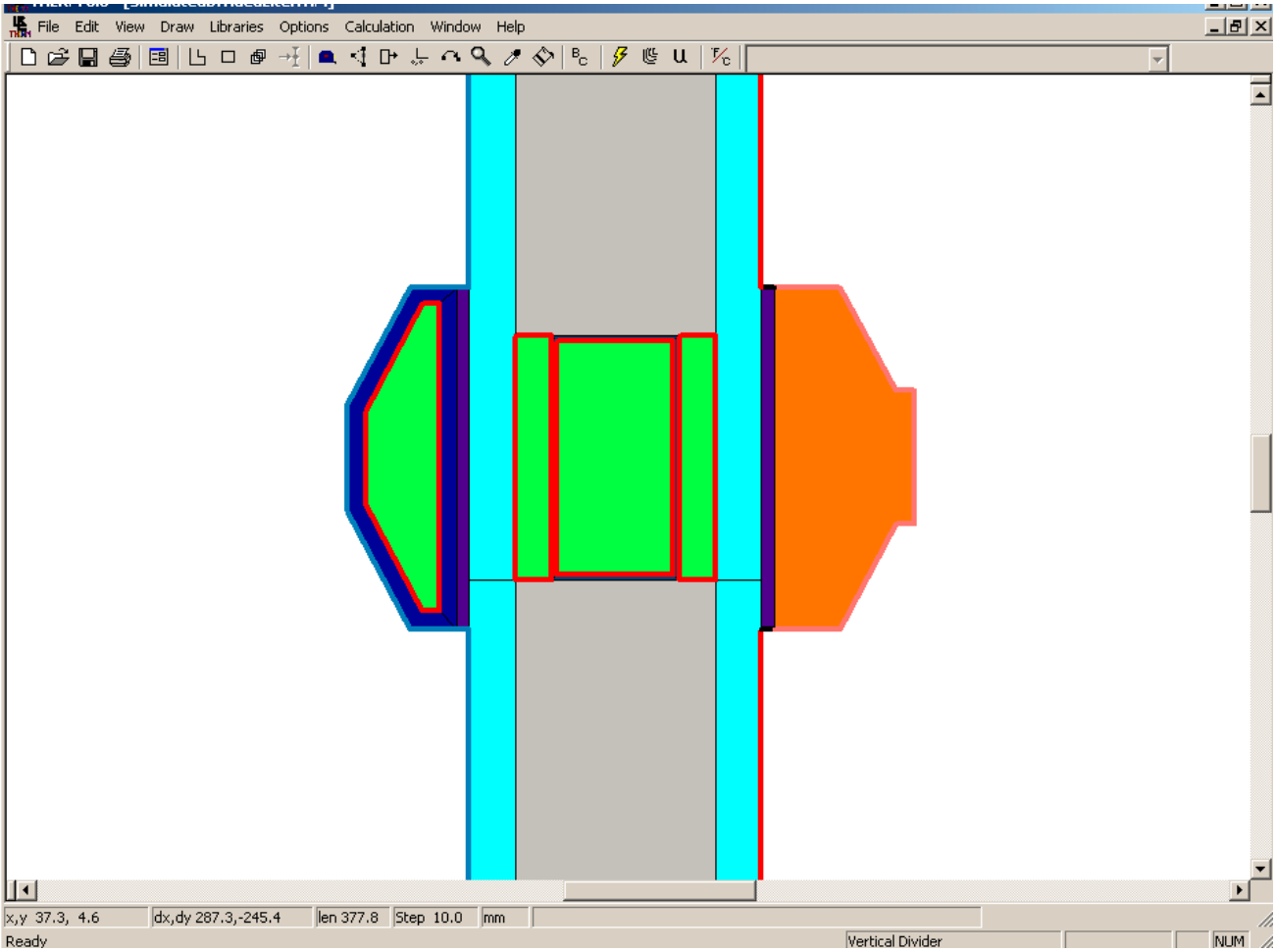


图 8-23：一个完整的仿窗格模型

内部的窗格，比如仿窗格的玻璃系统空腔中的金属加强件，是介绍的框架空腔与玻璃空腔的Link（链接）规则的例外。只有当内部窗格的外表面与玻璃系统的内表面之间的距离小于或等于 3 mm 时，才需要建模。对于异形的内部窗格，也作了一个简化的假设，即 5 mm 规则 不适用，窗格边缘和玻璃之间的空腔按照框架空腔建模，该空腔的边界延伸到窗格组件的顶部和底部，有关详细描述，请参阅下面的示例。

在 THERM 中：

① 设置 Cross Section Type（截面类型）为 Vertical Divider（竖直窗格）。

② 对于窗格，玻璃系统的导入步骤与其它产品相同，设置如下：

- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：最高处的非透明构件的高度,而不是窗格之间的距离。由于在本例中，室外和室内的装饰构件（SDL）的高度相同，这里量取室内木装饰条的高度——31.8 mm。
- Spacer height（间隔条高度）：同Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

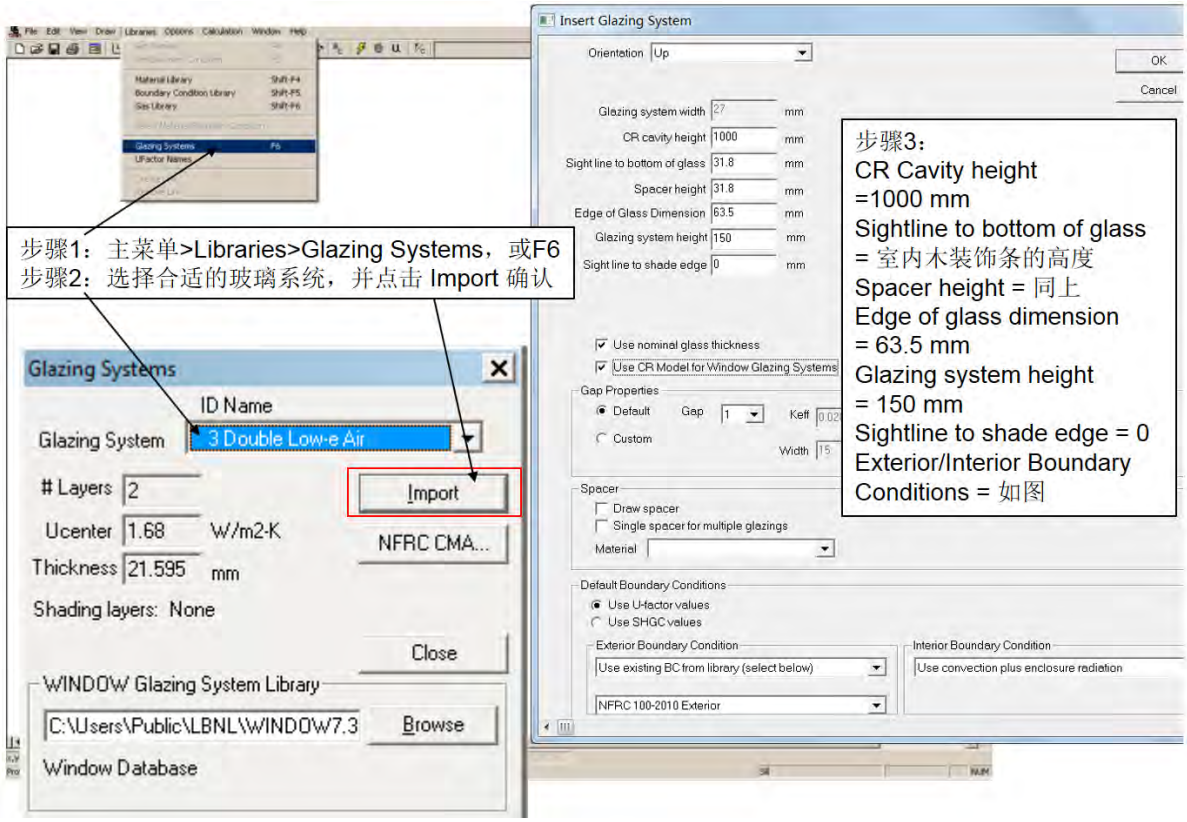


图 8-24：导入第一个玻璃系统，方向朝上

③ 在第一个玻璃系统的下方，导入第二个玻璃系统，这时的Locator（定位点）是不需要移动的，但要注意在弹出的对话框内选择 Add as additional glazing system（添加作为额外的玻璃系统），具体设置如下：

- Orientation（朝向）：Down
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：0
- Spacer height（间隔条高度）：0
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

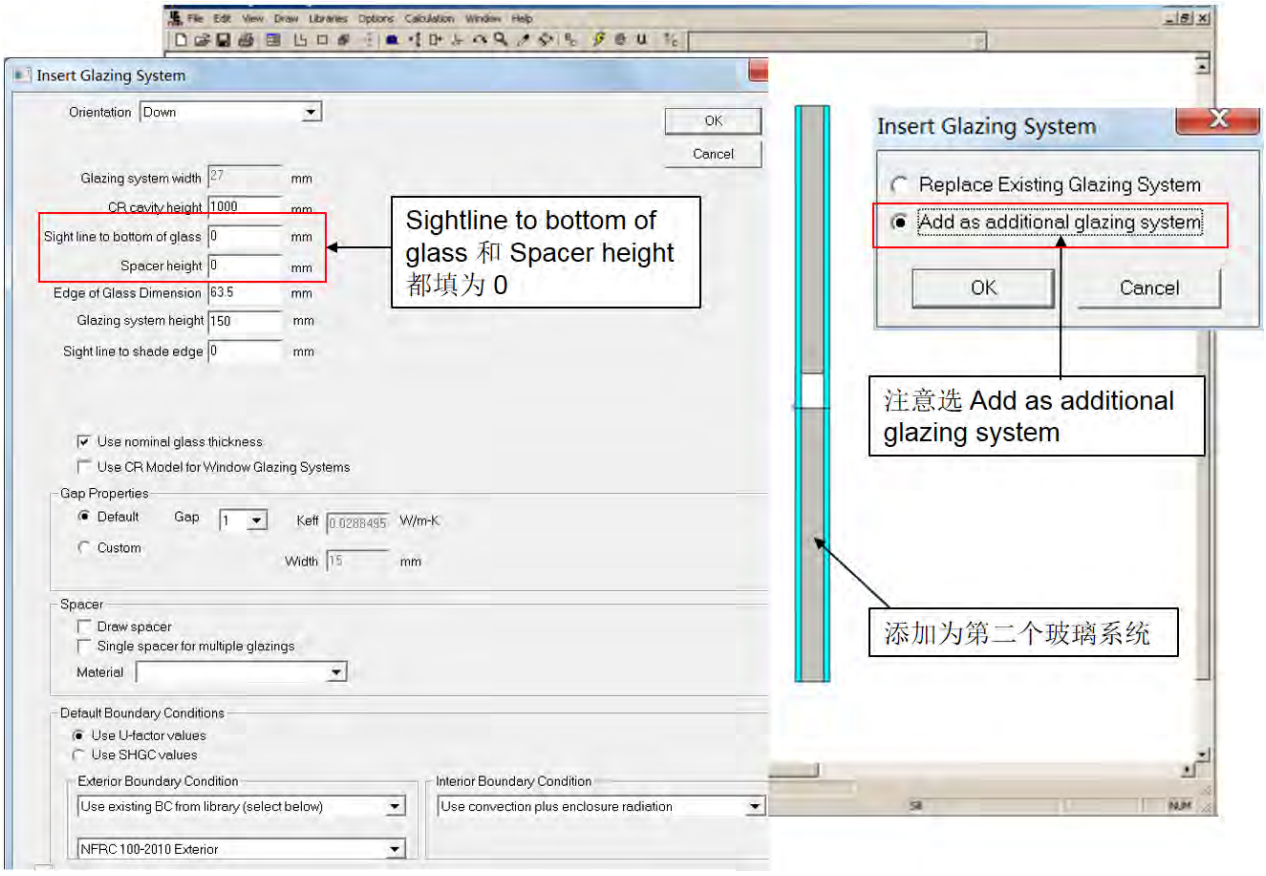


图 8-25：导入第二个玻璃系统，方向朝下

④ 绘制空腔中代表窗格的多边形，也可以直接从另一个 THERM 文件复制粘贴。下图的例子是一个铝合金材质的窗格，居中在玻璃系统的空腔。由于室内外的装饰条（SDL）决定了 Sightline（视线），因此这个窗格模型看起来和上一个例子中的看起来略有不同（多了窗格顶底部位的空腔）。

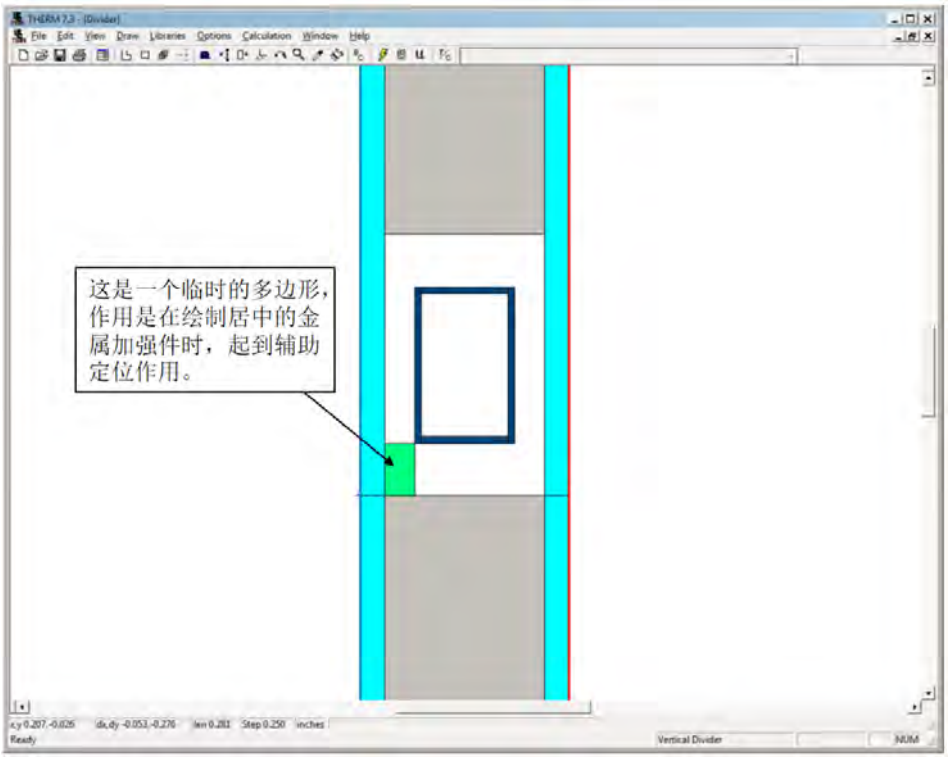


图 8-26：绘制临时的多边形作为金属加强件的定位

⑤ 首先点击工具栏的快捷图标，拖动代表玻璃系统空腔多边形上的点，使其与窗格的顶底部齐平（如 图-27 的左图），接着，使用 Frame Cavity NFRC 100 填充窗格与玻璃之间、窗格内部的空腔（如 图-27 的右图）。

注：在本例中，玻璃系统是一个封闭的中空玻璃。对于非封闭的双层玻璃，5 mm 规则 是适用的。

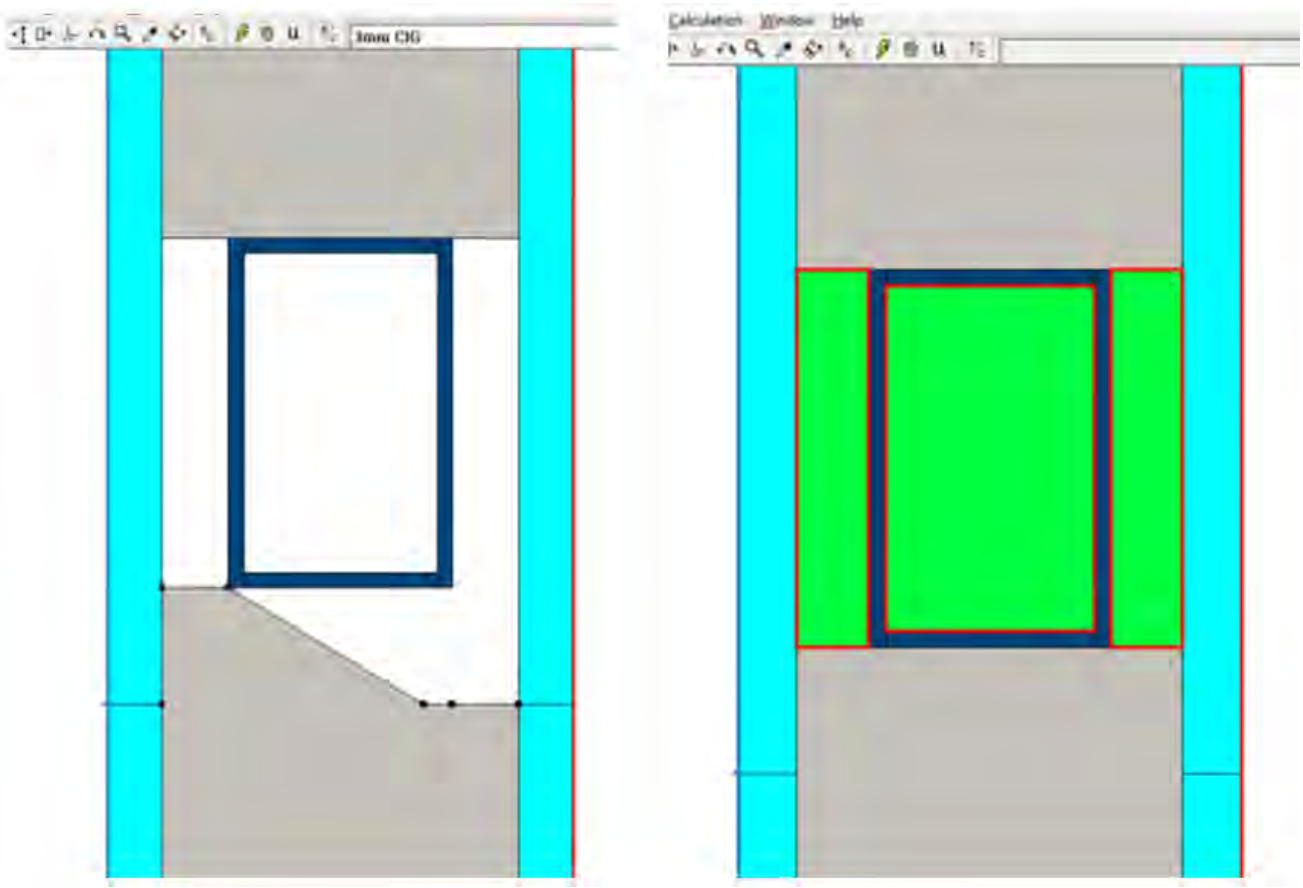


图 8-27：先用Move Points拖动玻璃系统空腔的点，再用Frame Cavity NFRC 100填充剩余的空腔

⑥ 绘制代表仿窗格室内外装饰构件的多边形，并赋予其合适的材质。

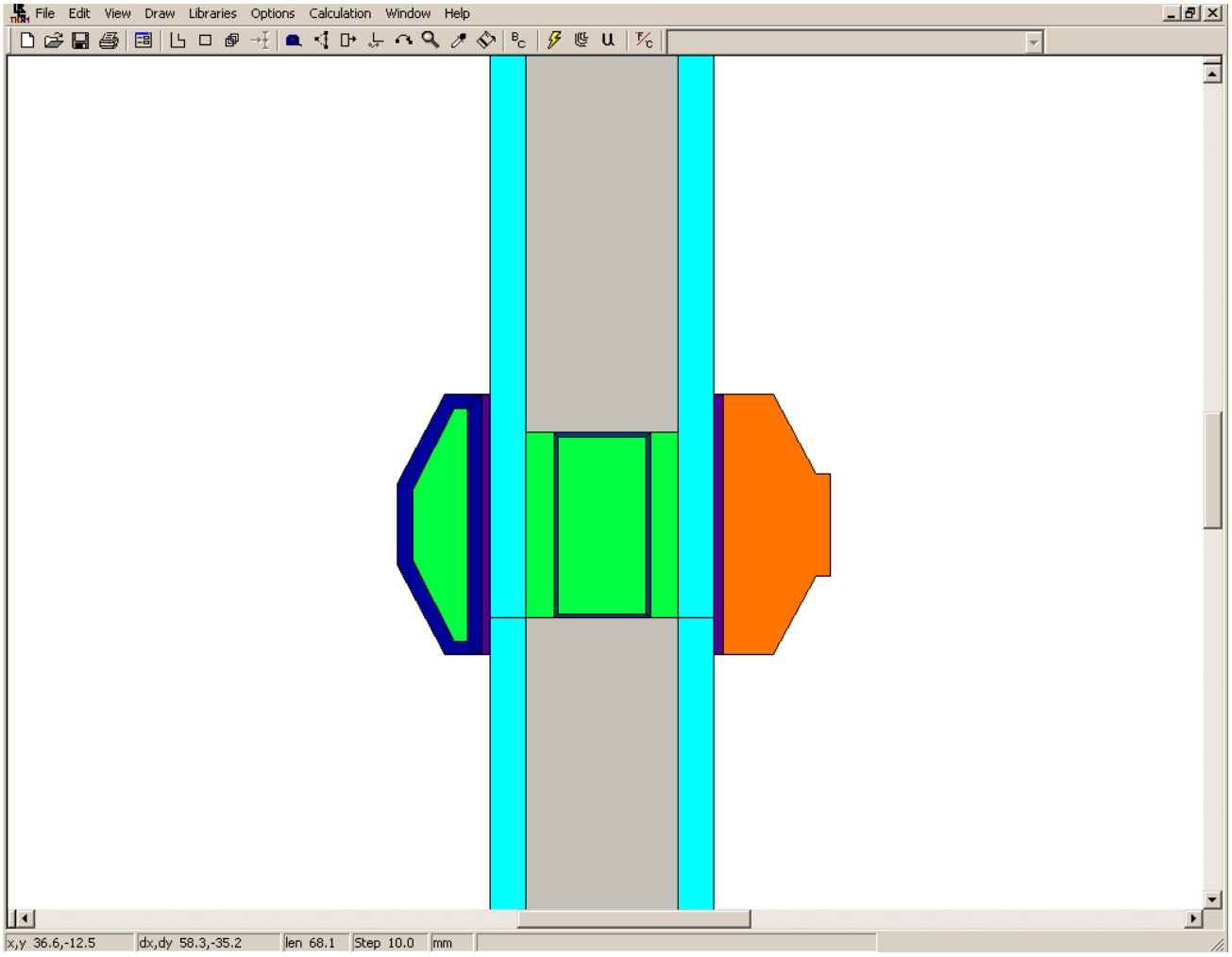


图 8-28：绘制代表仿窗格室内外装饰构件的多边形，并赋予其合适的材质

⑦ 定义边界条件，Radiation Model（辐射模式）设为 AutoEnclosure（自动封闭）。

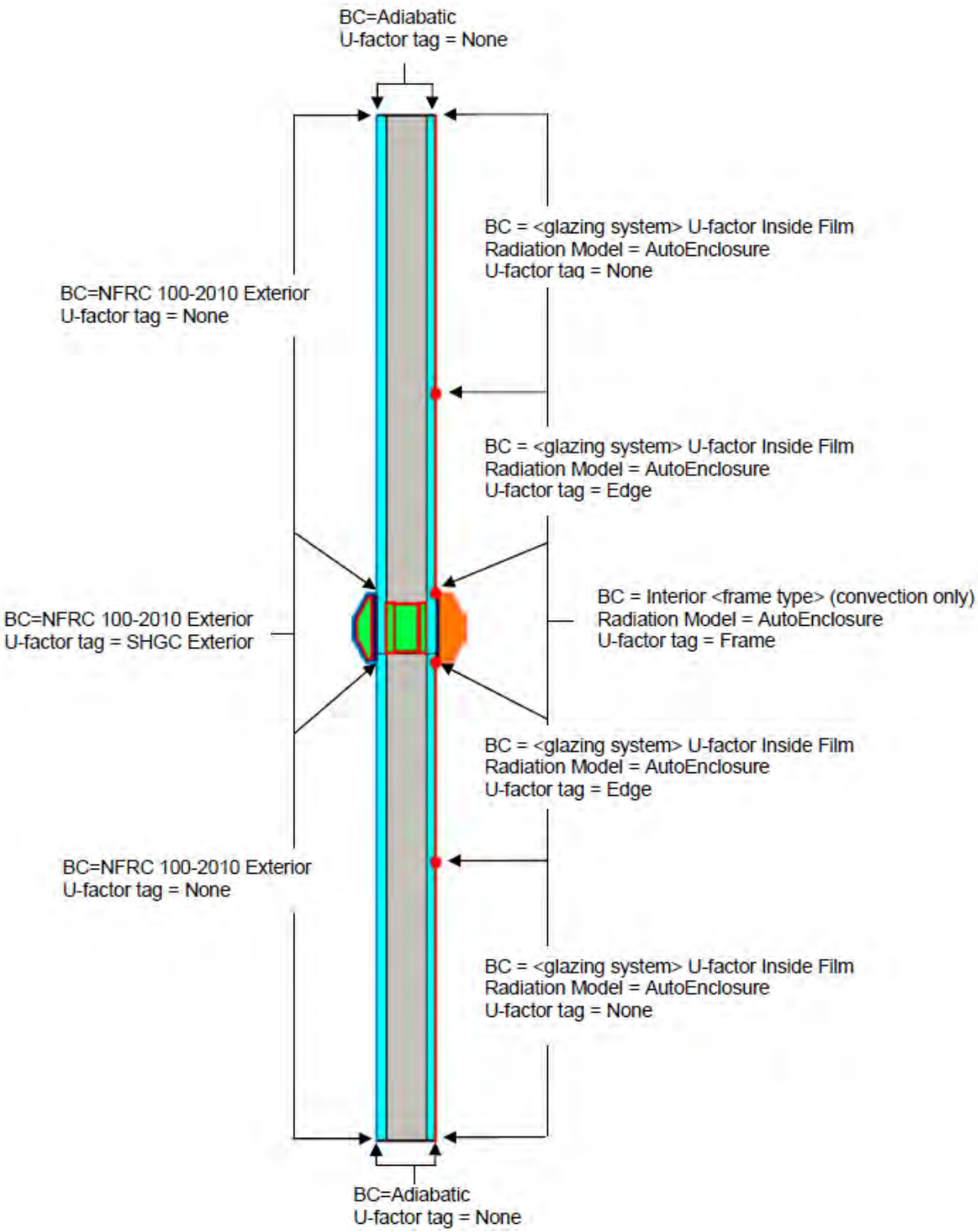


图 8-29：分配边界条件及U值标签

⑧ 计算结果。

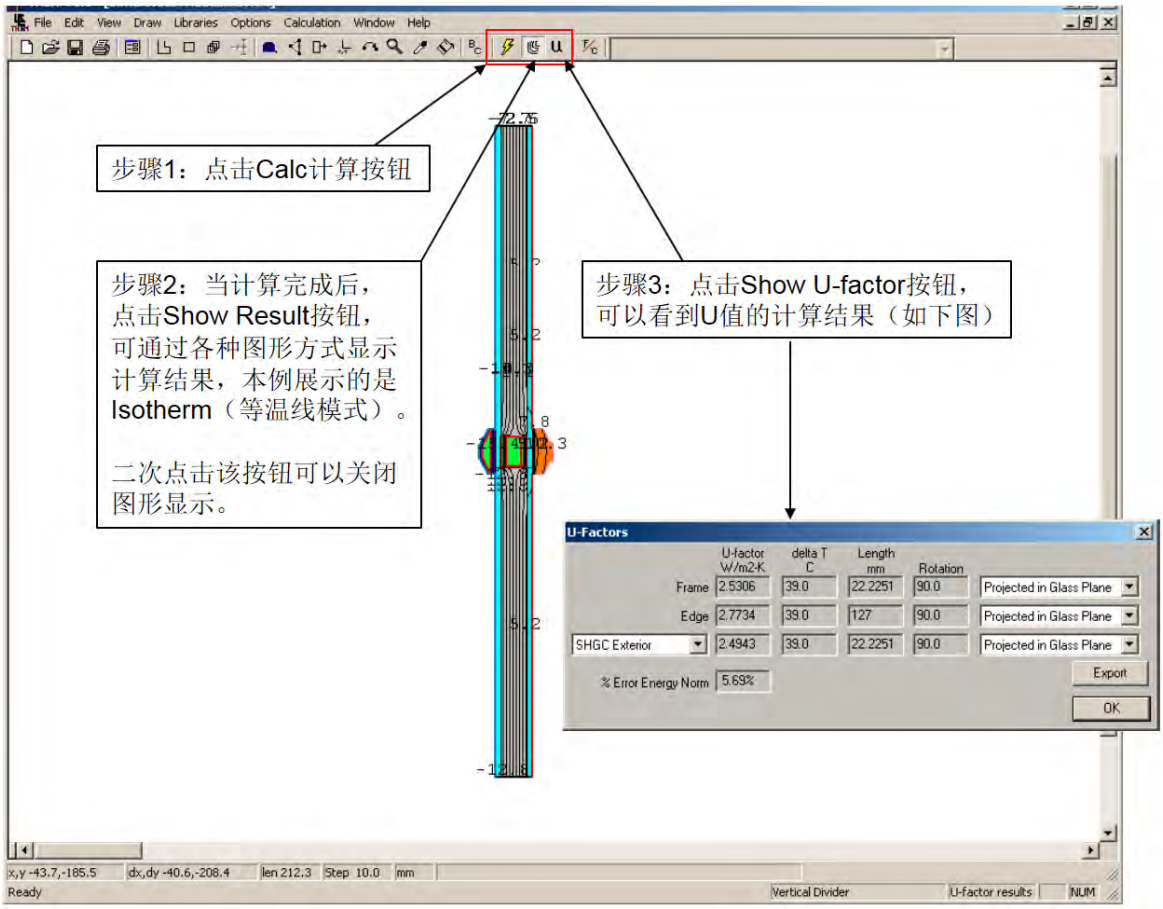


图 8-30：计算并查看结果

⑨ 保存 THM 文件：主菜单 → File → Save As…

⑩ 将包含计算结果的 THM 文件导入 WINDOW Divider Library（窗格库），如 图8-17 所示。有关导入THERM 文件的更多信息，请参阅《WINDOW 用户手册》的“第4.7.3节：导入 THERM 文件”。

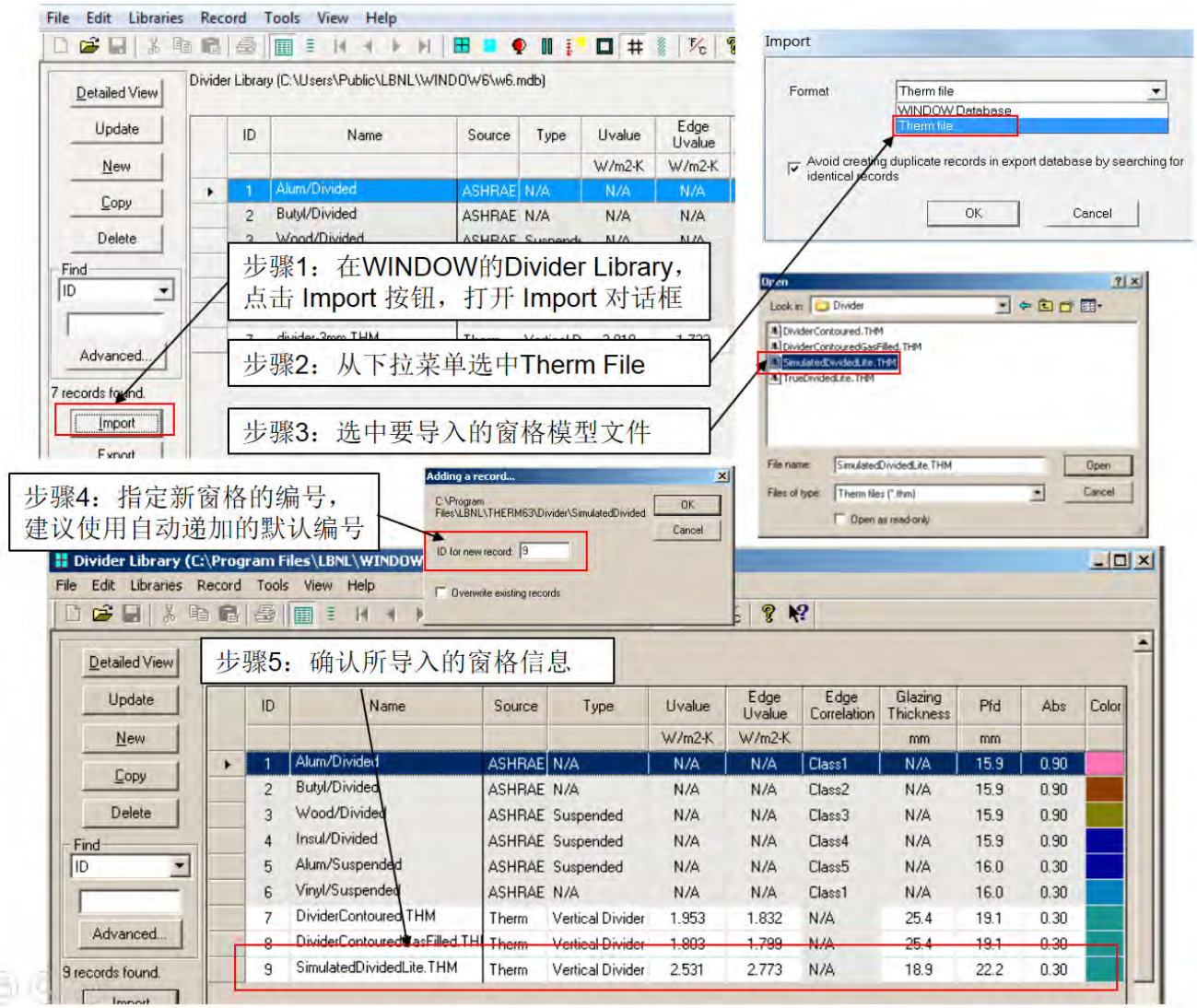


图 8-31：将THM文件导入 WINDOW Divider Library

⑪ 在 WINDOW 主界面使用新导入的窗格计算整体产品的性能参数。

8.3.3. 真窗格

真窗格（True Divided Lites）是一种包含分开的玻璃及分隔构件的玻璃系统，如 图8-32 所示。

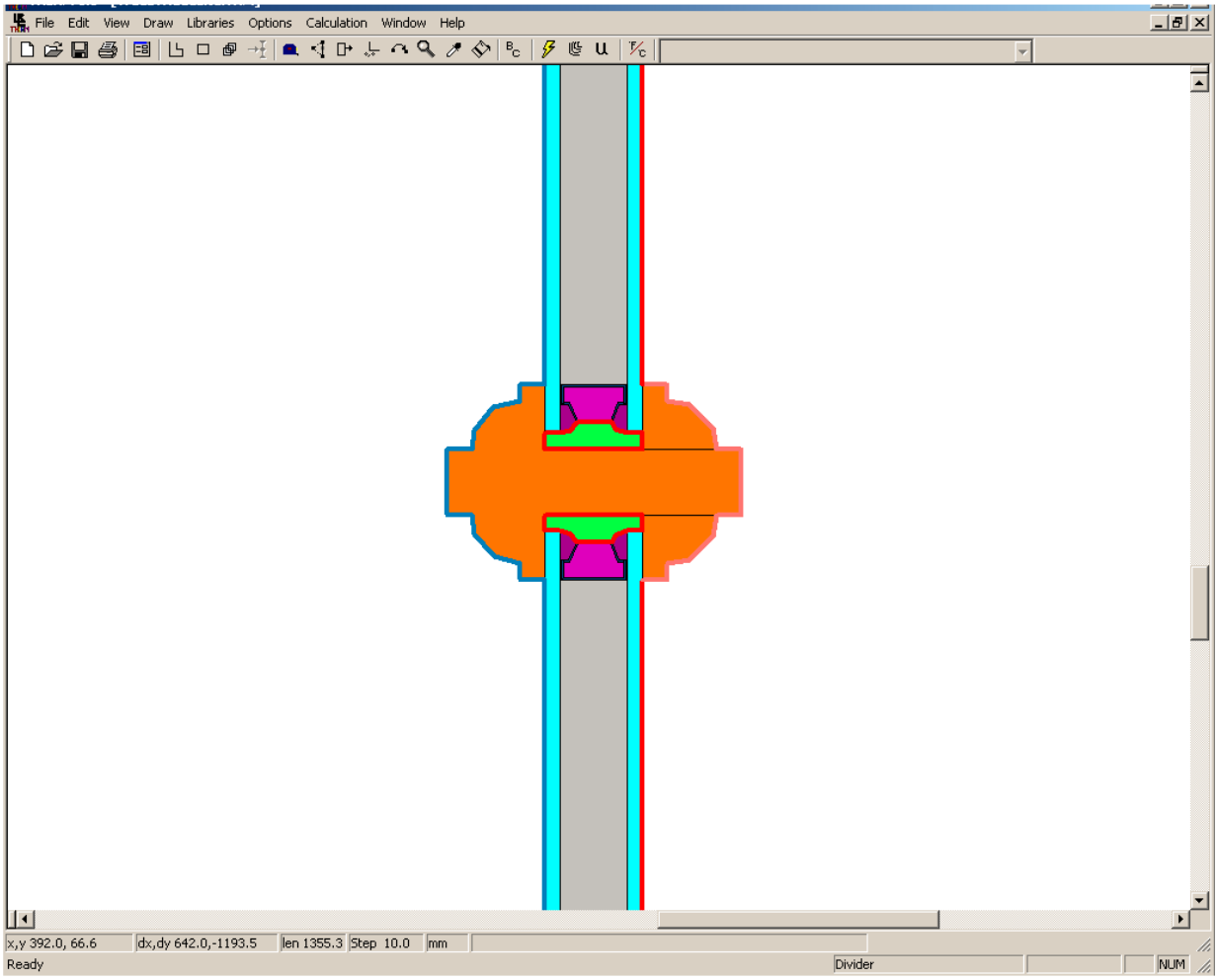


图 8-32：THERM中的真窗格模型

在 THERM 中：

对于本例，比较容易的做法是先画出代表分隔构件的多边形，再导入玻璃系统，具体步骤如下：

① 设置 Cross Section Type（截面类型）为 Vertical Divider（竖直窗格）。

② 绘制代表分隔构件的多边形，如 图8-33。

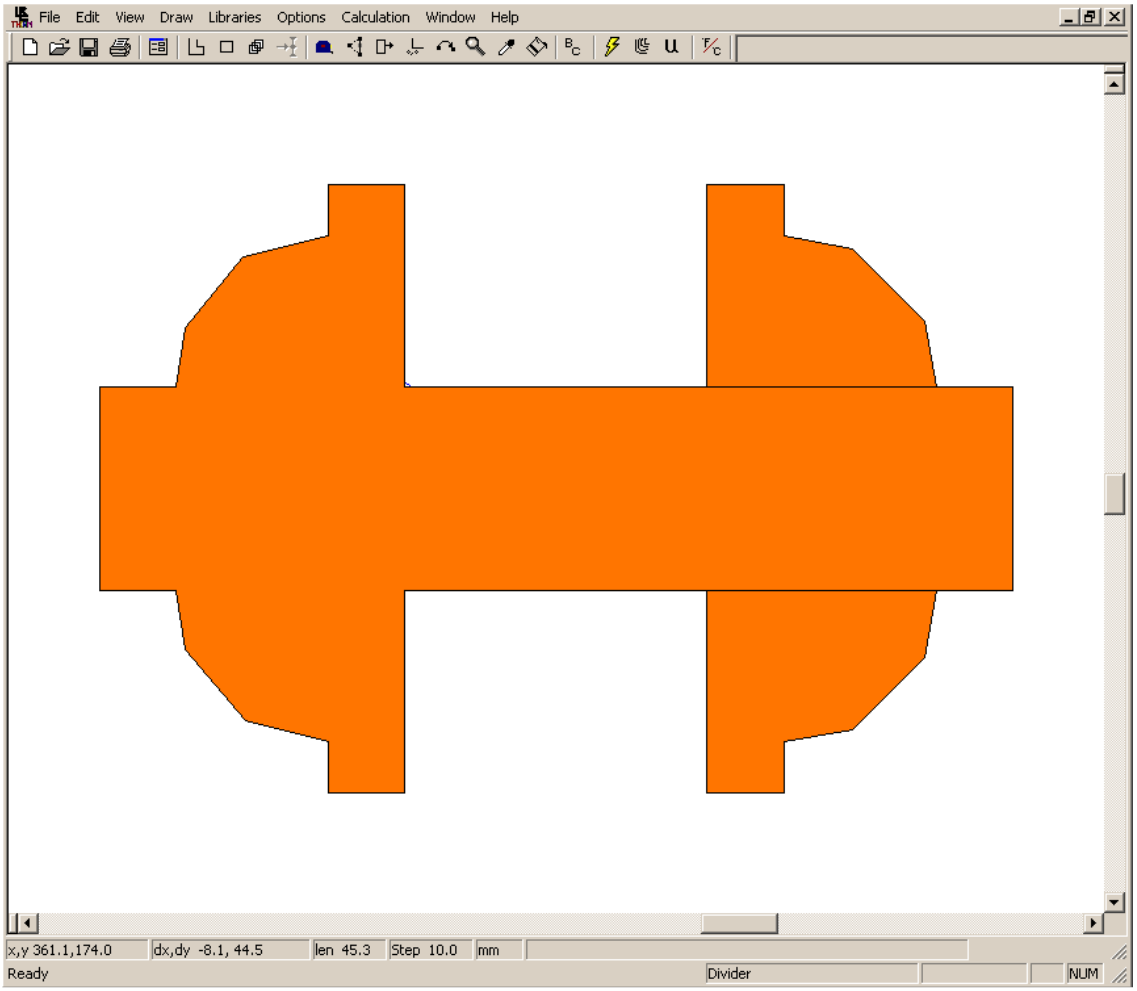


图 8-33：在THERM中，先绘制代表分隔构件的多边形，再导入玻璃系统

② 分隔构件绘制完成后，导入第一个玻璃系统，具体步骤和设置如下：

- 将 Locator（定位点）设置在恰当的位置。对于本例，Locator（定位点）位于分隔构件上半部分的底部上方 3.175 mm 处。
- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：分隔构件的高度，9.525 mm。

- Spacer height（间隔条高度）：间隔条的高度，9.525 mm。
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

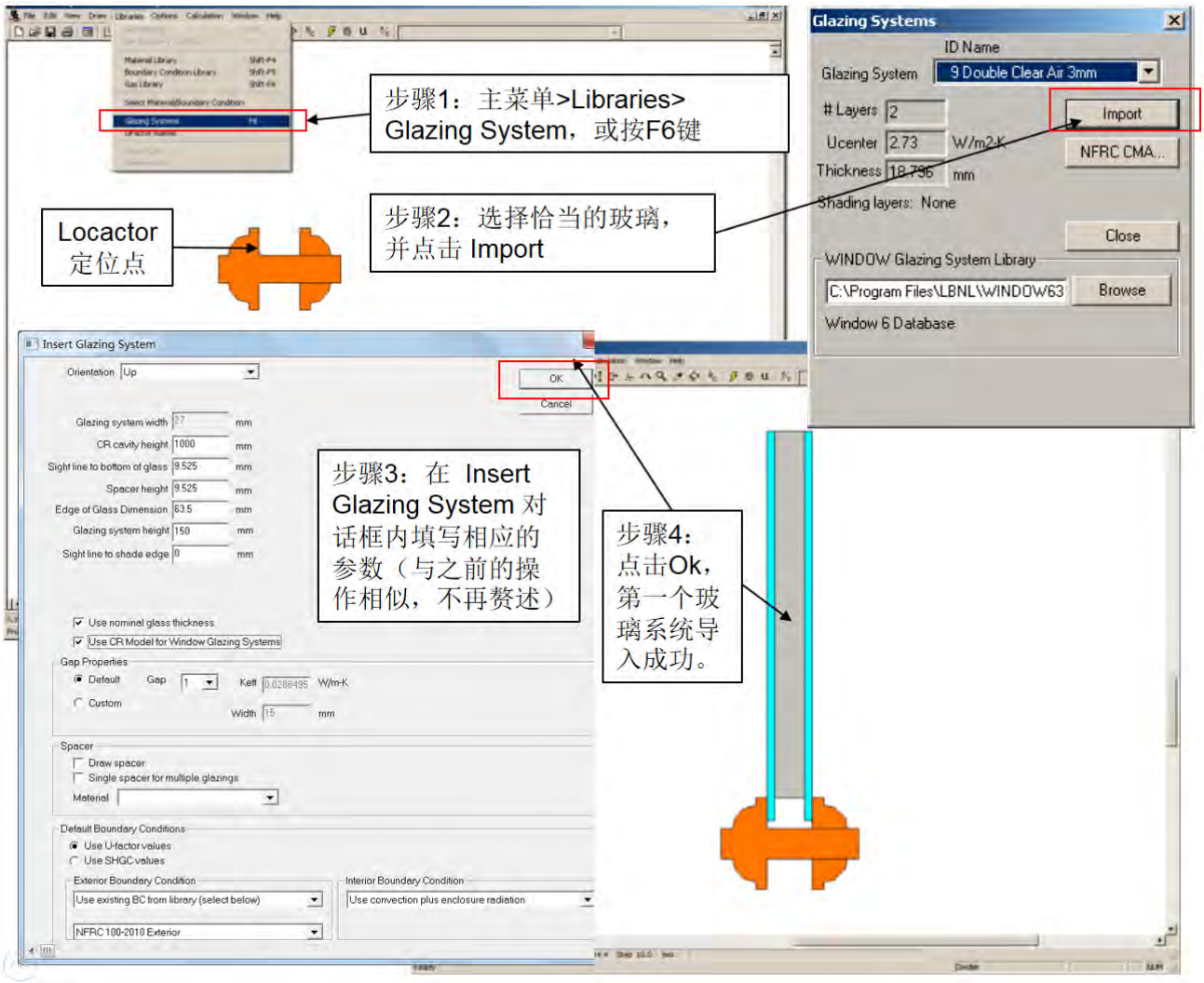


图 8-34：导入第一个玻璃系统，方向朝上

④ 在第一个玻璃系统的下方，导入第二个玻璃系统，注意 Locator（定位点）的位置需要重新设置，并在弹出的对话框内选择 Add as additional glazing system（添加作为额外的玻璃系统），具体设置如下：

- 将 Locator（定位点）设置在恰当的位置。对于本例，Locator（定位点）位于分隔构件下半部分顶部的下方 3.175 mm 处。
- Orientation（朝向）：Down
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：分隔构件的高度，9.525 mm。
- Spacer height（间隔条高度）：间隔条的高度，9.525 mm。
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

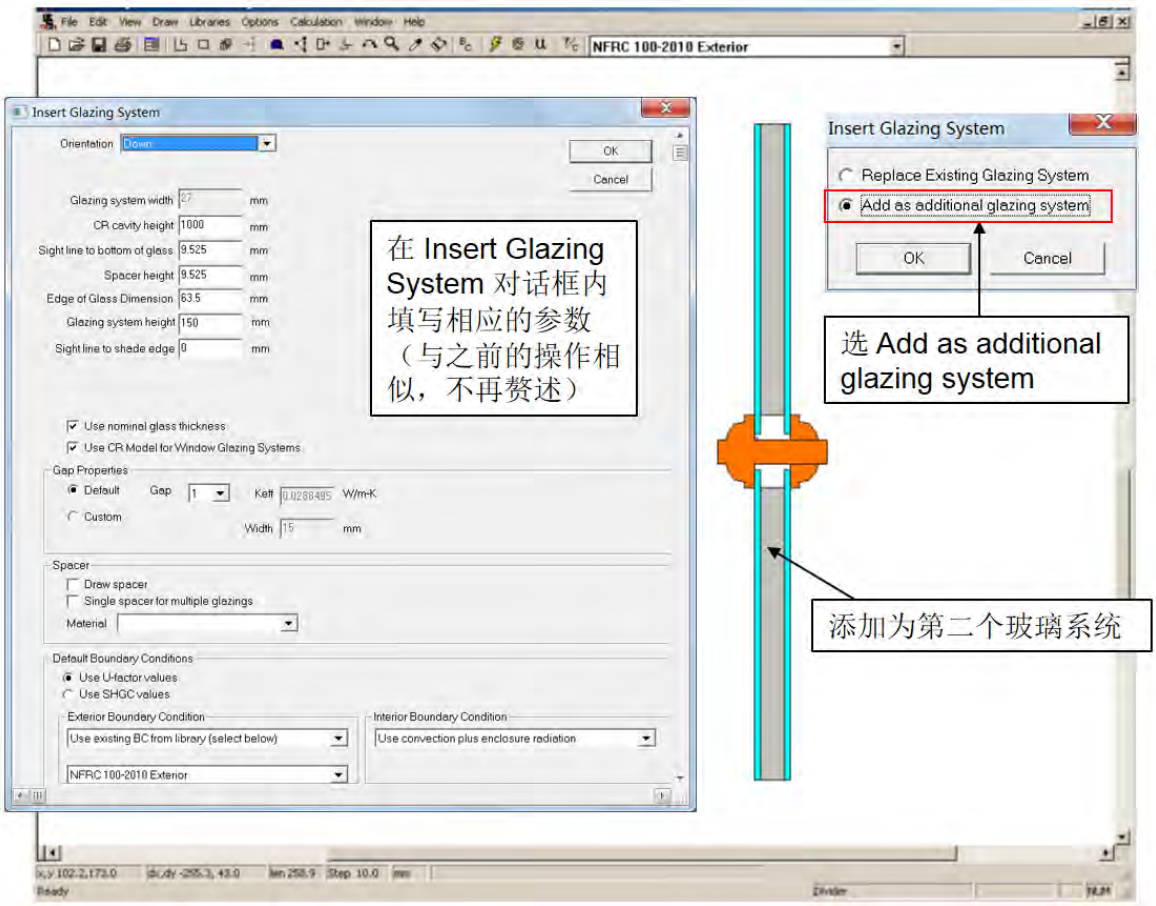


图 8-35：导入第二个玻璃系统，方向朝下

⑤ 添加恰当的间隔条、密封胶、干燥剂和框架空腔填充材料。

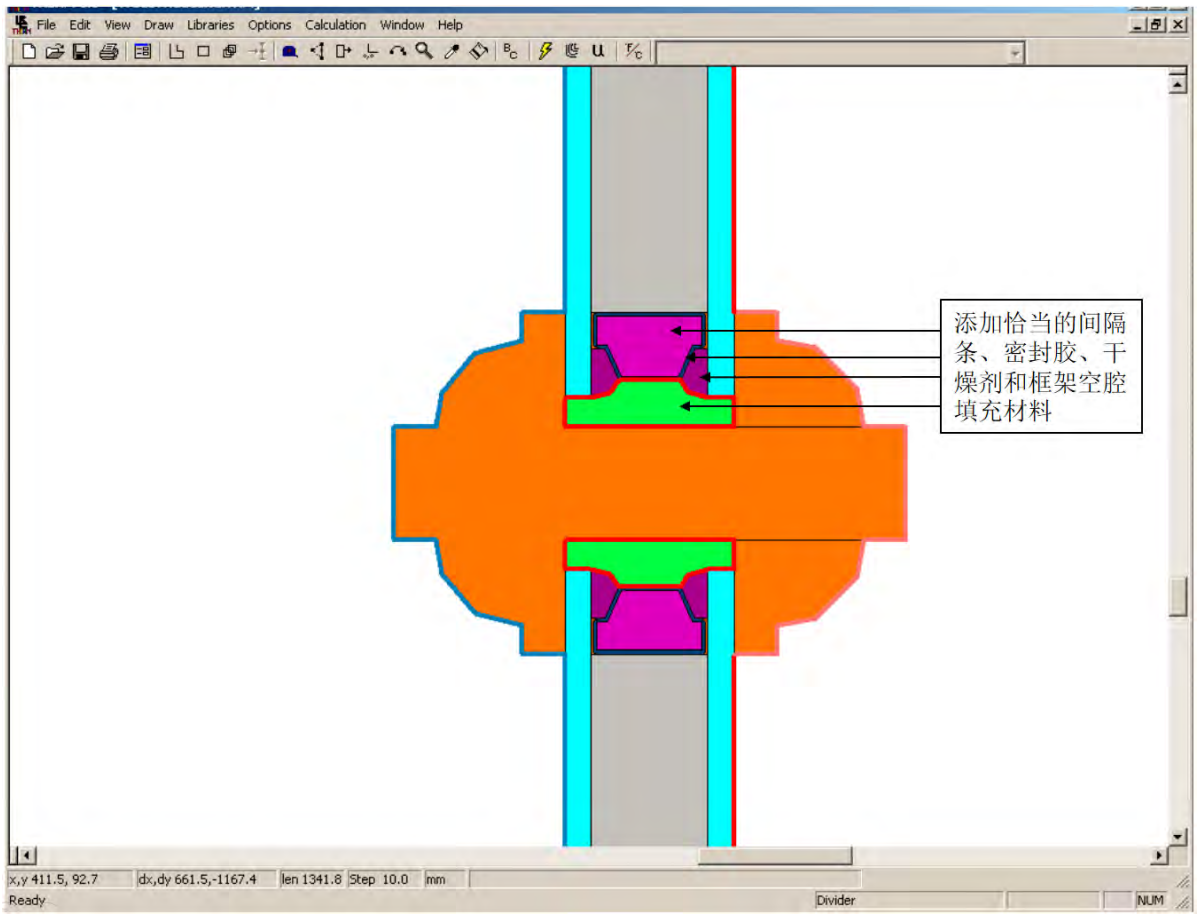


图 8-36：添加真窗格模型中的所有其它构件

⑥ 定义边界条件，Radiation Model（辐射模式）设为 AutoEnclosure（自动封闭）。

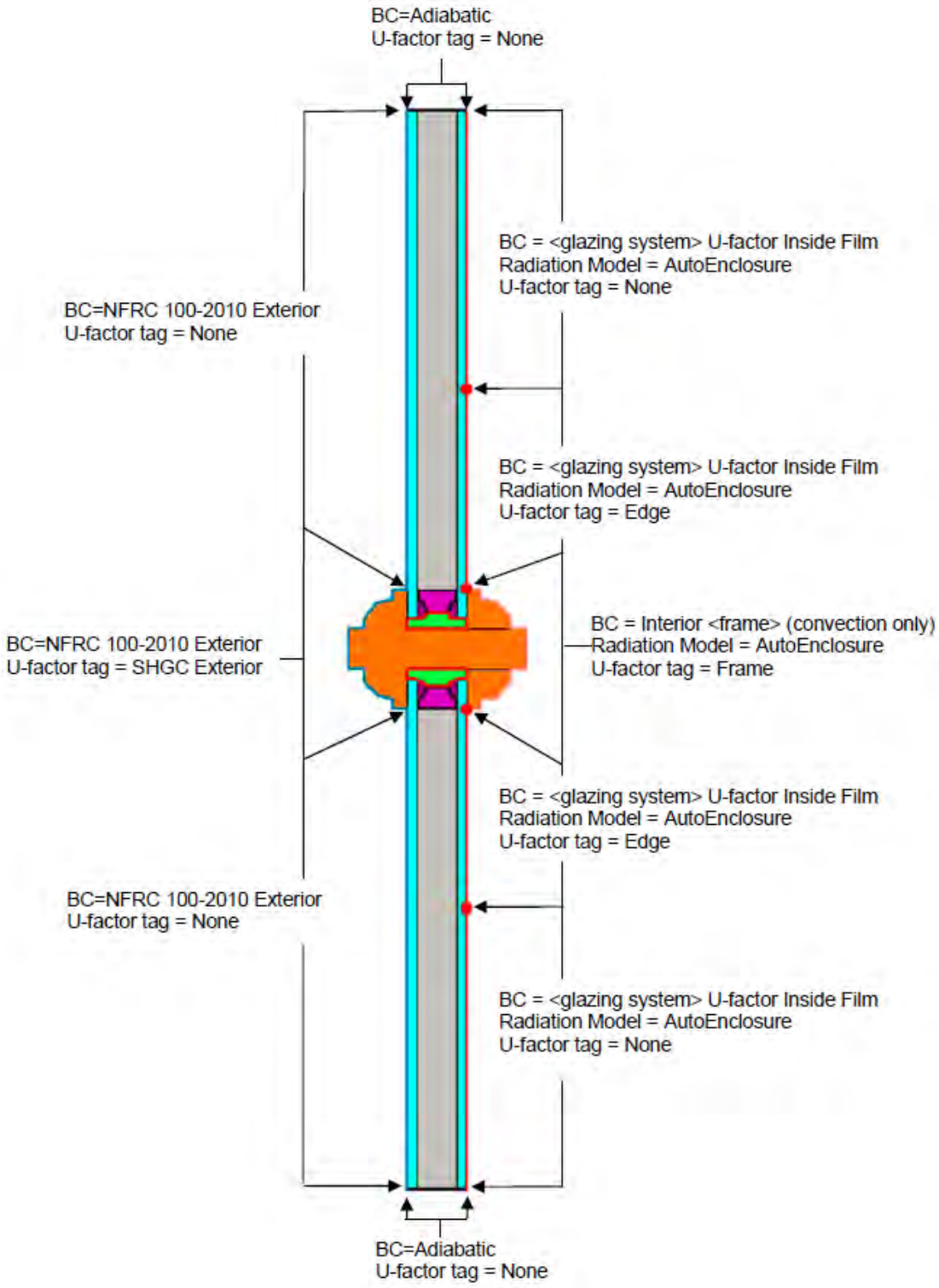


图 8-37：分配边界条件及U值标签

⑦ 计算结果。

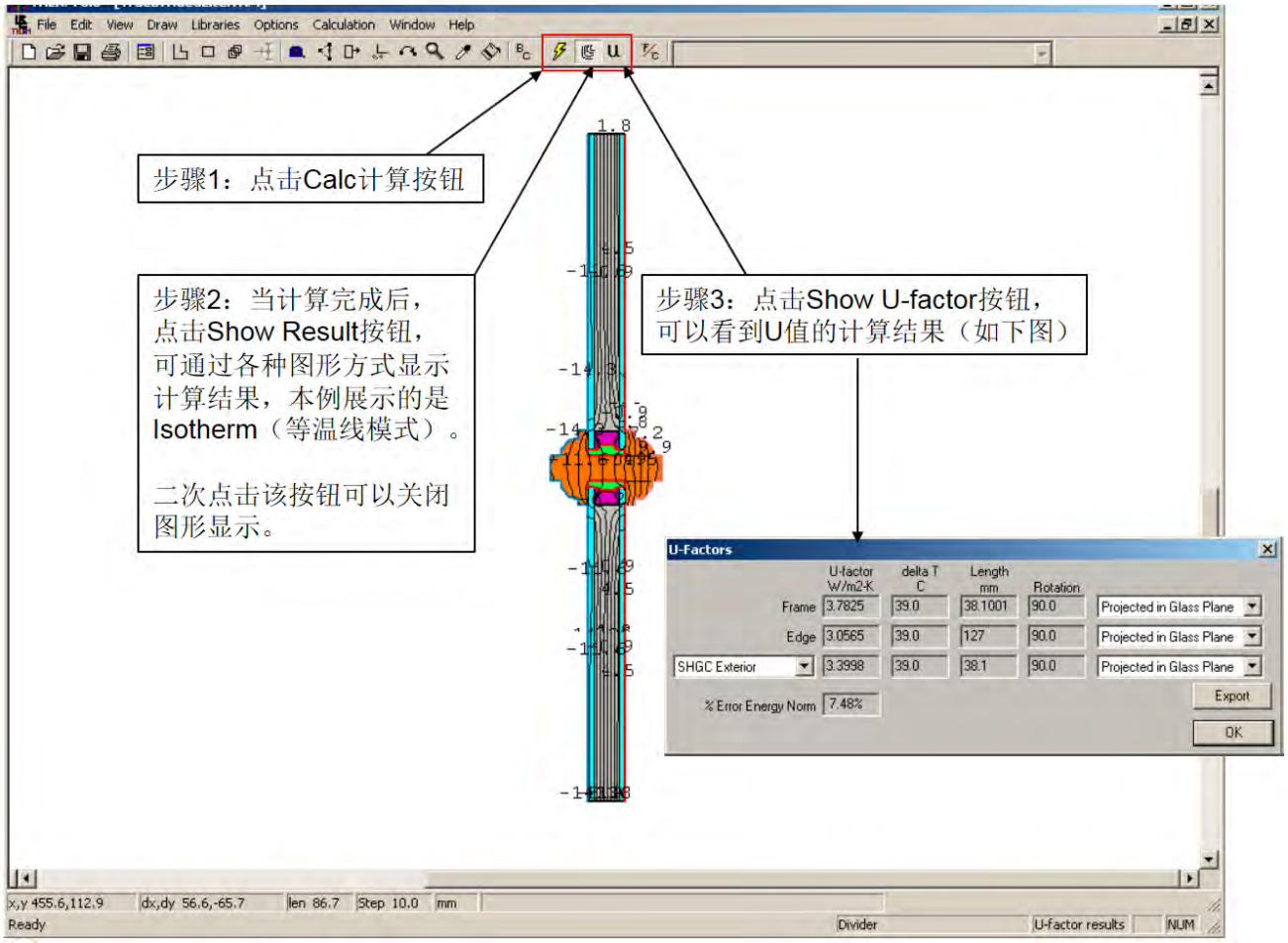


图 8-38：计算并查看结果

⑧ 保存 THM 文件：主菜单 → File → Save As…

⑨ 将包含计算结果的 THM 文件导入 WINDOW Divider Library（窗格库），如 图8-17 所示。有关导入THERM 文件的更多信息，请参阅《WINDOW 用户手册》的“第4.7.3节：导入 THERM 文件”。

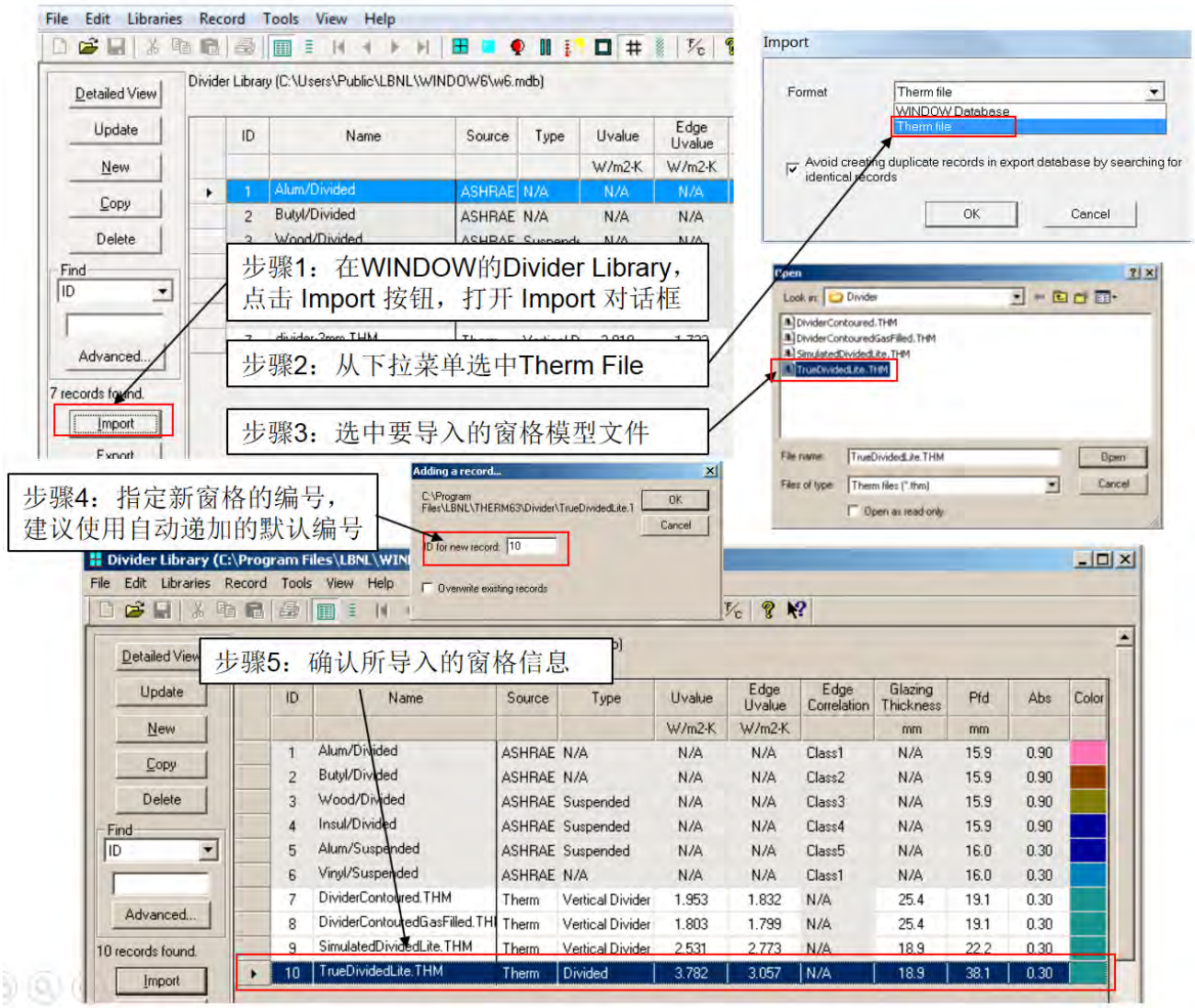


图 8-39：将THM文件导入 WINDOW Divider Library

⑩ 在 WINDOW 主界面使用新导入的窗格计算整体产品的性能参数。

8.3.4. 门格条

门玻璃格条建模时，可以使用 NFRC 默认的格条。格条的默认形状是 H形，格条的默认材质是黄铜，导热系数和发射率参照《NFRC 101》的“附录 B”。格条的 DXF 文件可以从 NFRC 的官网下载。

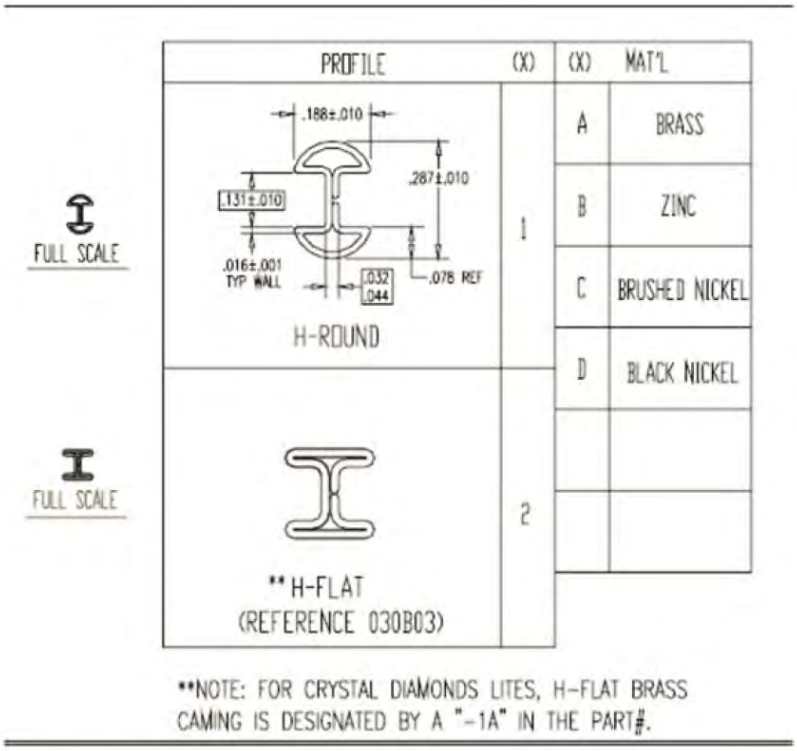


图 8-40：标准化的门格条图纸

在 第6章 介绍的框架空腔与玻璃空腔的 Link（链接） 规则中，两片玻璃之间的装饰性门格条是一个例外。只有当门格条的外表面与玻璃系统的内表面之间的距离小于或等于 3 mm 时，才需要建模。对于异形的门格条，也作了一个简化的假设，即 5 mm 规则 是不适用的，门格条边缘和玻璃之间的空腔按照框架空腔建模，该空腔的边界延伸到窗格组件的顶部和底部，有关详细描述，请参阅下面的示例。

在 THERM 中：

在本例中，使用了三玻双中空玻璃，其中的中间片玻璃带有门格条。对于这种情况，比较容易得的建模方法是先绘制代表门隔条的多边形，再导入玻璃系统。

① 设置 Cross Section Type（截面类型）为 Vertical Divider（竖直窗格）。

② 绘制代表门格条的多边形。

③ 插入第一个玻璃系统（三玻两腔的中空玻璃），设置如下：

- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：0
- Spacer height（间隔条高度）：0
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

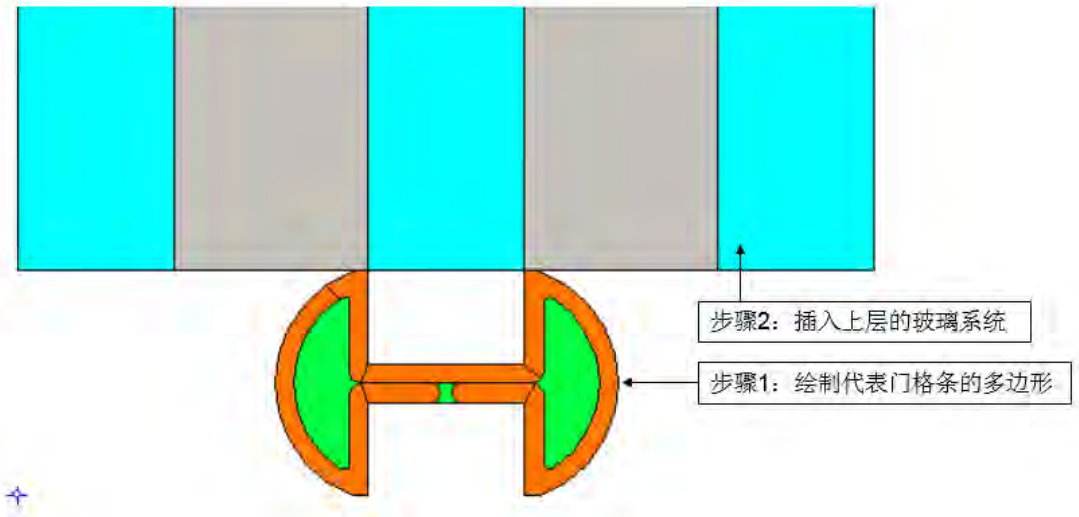


图 8-41：绘制代表门格条的多边形，然后导入第一个玻璃系统

④ 在第一个玻璃系统的下方，导入第二个玻璃系统，需要重新设置Locator（定位点），而且注意在弹出的对话框内选择 Add as additional glazing system（添加作为额外的玻璃系统），具体设置如下：

- Orientation（朝向）：Down
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm（39英寸）
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：0
- Spacer height（间隔条高度）：0
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

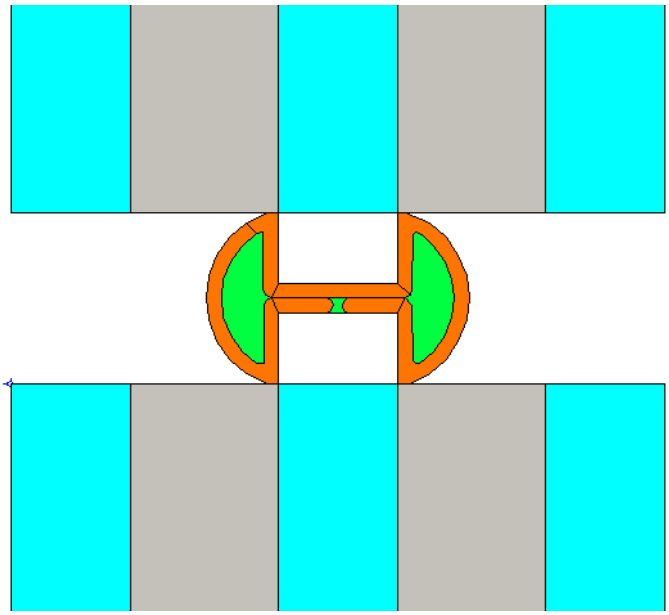


图 8-42：导入第二个玻璃系统

⑤ 鼠标移至主菜单 → Options，点击 Preferences，进入 Drawing Options 页面，勾选 Allow editing of IG polygons，这样就可以拖动玻璃系统上的点，改变其几何外形。

⑥ 点击工具栏快捷图标 → 分别拖动两个玻璃系统的中间片玻璃的端点，使其与门格条的端点重合，如 图8-43 所示。

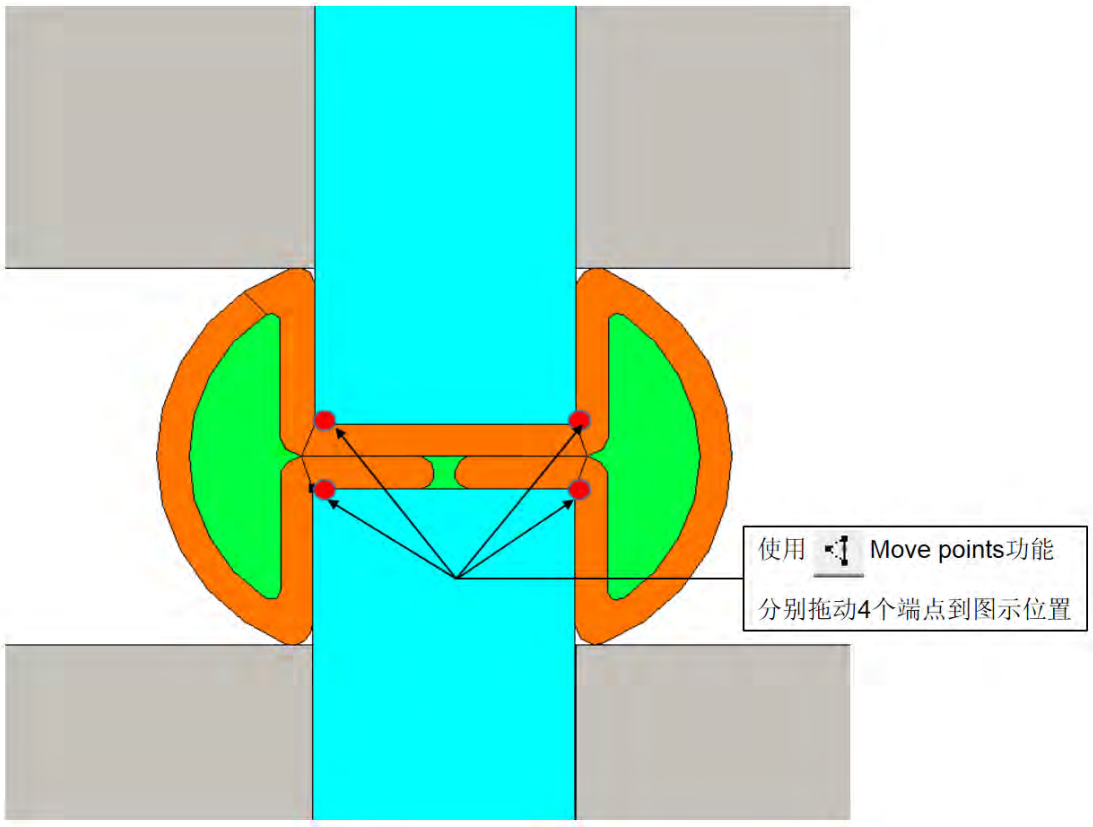


图 8-43：分别将上下两个玻璃系统的中间片玻璃的端点拖动到图示位置

⑦ 点击工具栏快捷图标 → 拖动两个玻璃系统中任意一个玻璃系统的内外两片玻璃，与另一个玻璃系统的内外片玻璃边部重合，使整个中空玻璃封闭起来。如 图8-44 所示。

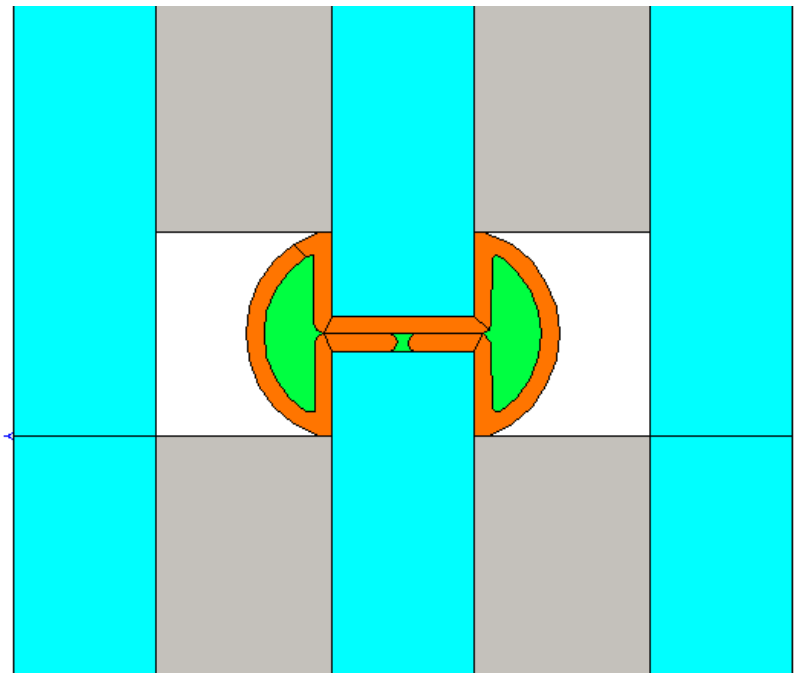


图 8-44：拖动两个玻璃系统中任意一个玻璃系统的内外两片玻璃，使整个中空玻璃封闭

⑧ 如果中空玻璃的空腔填充的是空气，先使用 Frame Cavity NFRC 100 填充空腔，再正常分配边界条件。如果中空玻璃的空腔填充的是混合气体，则按照与 第8.3.1.3节 相似的步骤进行操作。

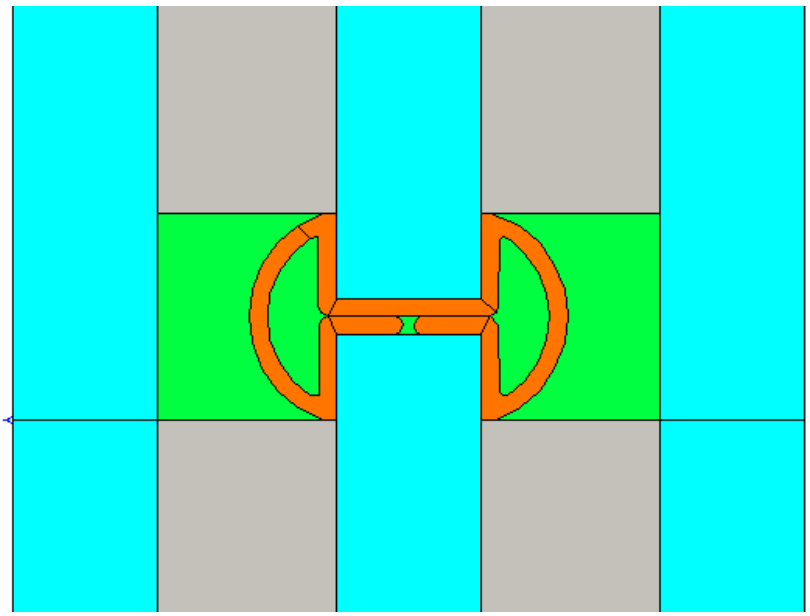


图 8-45：使用Frame Cavity NFRC 100填充门格条周围和内部的空腔

8.4. 防风暴窗

防风暴窗的建模不同于普通的中空玻璃窗，这是因为中空玻璃窗与防风暴窗之间的间距通常很大，如图8-46 所示。除此之外，就像所有其它产品，防风暴窗的建模也必须包含所有的相关截面（边框、中框和窗格等）。

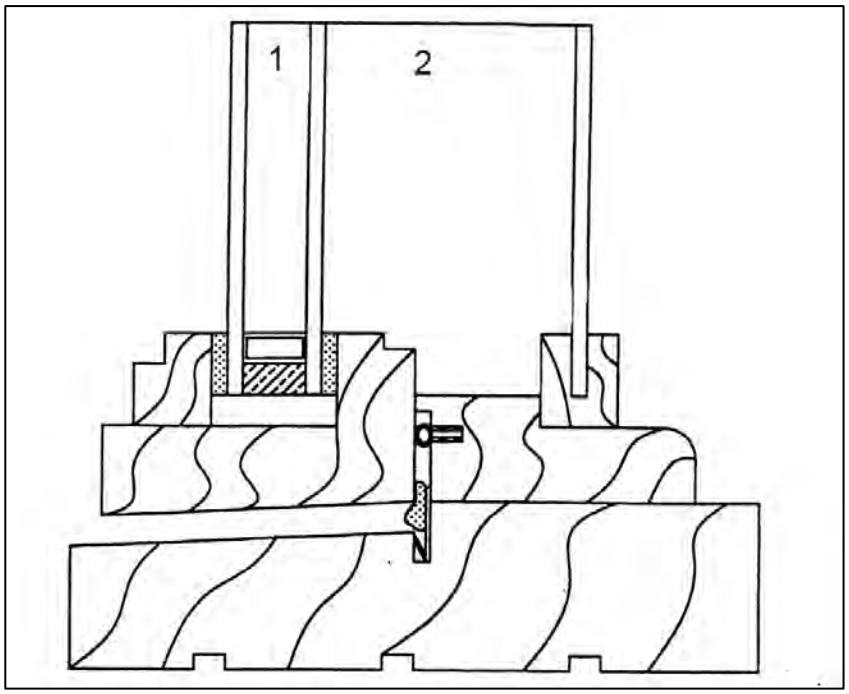


图 8-46：产品的室内侧有一个防风暴窗

8.4.1. 建模的步骤

防风暴窗的建模步骤概括如下，下面几节还将通过算例进行更详细地介绍。

■ 如果产品不是平移窗（推拉窗或提拉窗），而是平开窗、固定窗等，那么采用下面的方法：：

在 WINDOW 中：

① 创建一个包含三个玻璃层的玻璃系统，每个玻璃层的间距按照实际建模

在 THERM 中：

② 绘制产品的各个框架组件

③ 将玻璃系统导入THERM

Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）

Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）

④ 填充玻璃系统下方的空腔，并使用主菜单 → Libraries → Create Link 功能将该空腔与玻璃空腔形成关联。

⑤ 分配边界条件

a. 将 Exterior Boundary Condition 设为 Use existing BC from library，并选择 NFRC 100-2010 Exterior，并将 U值标签 SHGC Exterior 分配给室外构件。

b. 将玻璃系统的Interior Boundary Condition 设为 convection plus enclosure radiation；框架组件的室内边界条件，则根据该框架的类型（普通、断热、半断热等）确定。

⑥ 计算该模型。

■ 如果产品**是**平移窗（推拉窗或提拉窗），那么玻璃系统和防风暴窗之间的空腔宽度会随着框架截面的不同而变化，那么则采用下面的方法：：

在 WINDOW 中：

① 在打开 WINDOW 程序之前，找到并用记事本打开 W7.X.ini 文件，添加一行语句：

FrameToleranceGlazingSystemThickness=5

注意：

- W7.X.ini 文件名中的“X”代表 WINDOW 7 程序的版本号。对于 NFRC 认证建模，必须使用 NFRC 认可的程序版本进行建模工作。
- 上述误差设置的语句中是没有空格的，该语句可以添加在 ini 文件的任何地方。如果该语句已存在，但“=（等于号）”后面不是“5”，那么需要手动改为“5”。这个“5”代表框和玻璃系统厚度之间的允许误差，数字 5 代表允许 500% 的误差，通过这个设置，可以迫使 WINDOW 不进行厚度误差的校验，从而允许程序进行不同玻璃系统厚度的计算。
- W7.X.ini 文件在硬盘中的位置：因操作系统而异。
  对于 Microsoft Windows XP，它在C:\Program Files\LBNL\Settings
  对于 Microsoft Windows 7 和 8，它在C:\Users\Public\LBNL\Settings

② 创建两个玻璃系统及其之间的空腔，使其适合THERM 中的框架截面，以便进一步建模

在 THERM 中：

③ 绘制产品的各个框架组件

④ 将玻璃系统导入THERM

Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）

Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）

⑤ 填充玻璃系统下方的空腔，并使用主菜单 → Libraries → Create Link 功能将该空腔与玻璃空腔形成关联。

⑥ 分配边界条件

a. 将 Exterior Boundary Condition 设为 Use existing BC from library，并选择 NFRC 100-2010 Exterior，并将 U值标签 SHGC Exterior 分配给室外构件。

b. 将玻璃系统的Interior Boundary Condition 设为 convection plus enclosure radiation；框架组件的室内边界条件，则根据该框架的类型（普通、断热、半断热等）确定。

⑦ 计算各个模型。

在 WINDOW 中：

⑧ 将具有正确玻璃系统几何外形的框架截面模型 THERM 文件导入 Frame Library（框架库）。

⑨ 在 Window Library（窗库）中，构建整窗产品，指定各个构件为相应的框架和玻璃系统，包括中框（你不能在中框里“指定”玻璃系统的厚度，只能引用它）。

⑩ 按照当前的组件组合，计算整体产品的性能值。

⑪ 关闭程序，再次打开 W7.X.ini 文件，执行以下步骤：

⑫ 将“FrameToleranceGlazingSystemThickness”改为 0.25 （25% 是 NFRC 可接受的误差）

8.4.2. 防风暴窗的建模范例

下面以 图8-46 中的产品为例进行详细说明。

8.4.2.1. 在WINDOW中创建玻璃系统

① 制作一个由三层玻璃组成的玻璃系统，Gap 1 是中空玻璃的空腔尺寸，Gap 2 是中空玻璃与防风暴窗之间的间距，都按实际产品的数据填写。

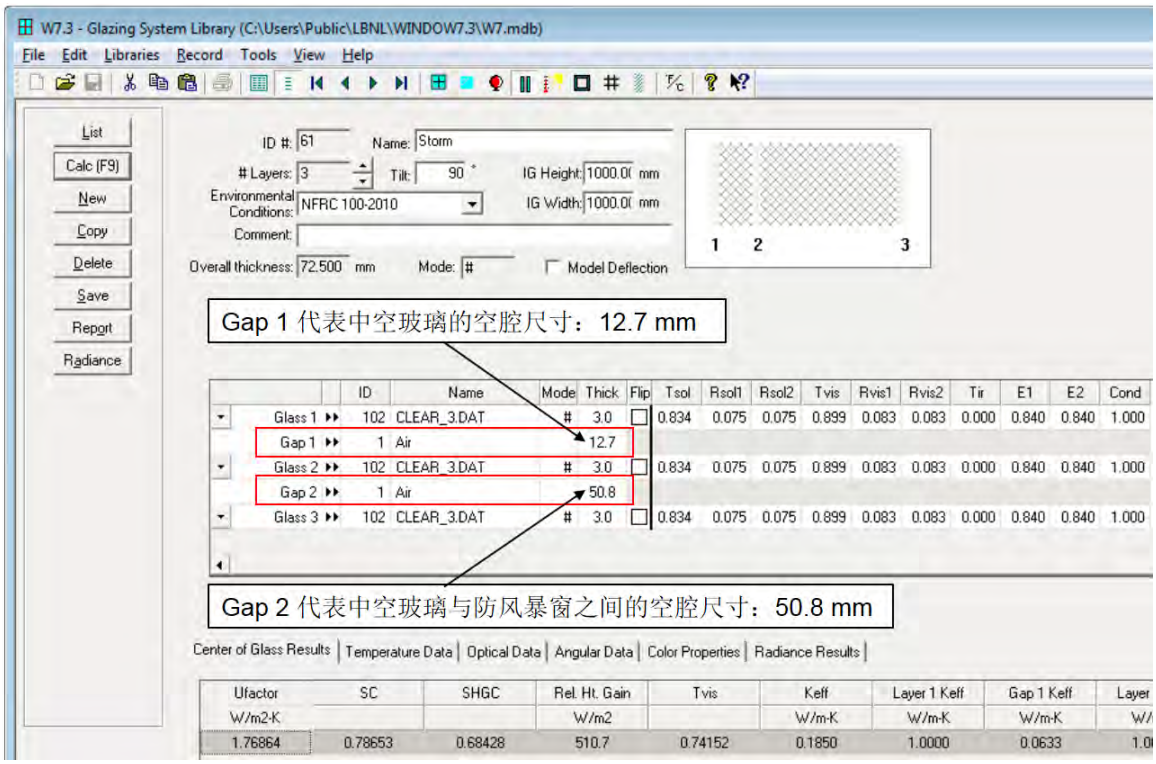


图 8-47：创建一个三层玻璃的玻璃系统，包含一大一小两个空腔

8.4.2.2. 在THERM中计算U值

下面将详细说明将玻璃系统导入 THERM 的步骤。

① 画出所需的框架截面（如顶底横梁、边立柱、中立柱、窗格等）

② 主菜单 → File，打开 Properties，下拉选择合适的 Cross Section Type，如 Head，Sill，Jamb，Meeting Rail，Divider 等等。

③ 导入带有正确防风暴窗空腔尺寸的玻璃系统（之前在 WINDOW 中创建的），在这种情况下，玻璃系统有 2 个Gap（Gap 1 和 Gap 2）。

Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）

Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）

Exterior Boundary Condition 设为 Use existing BC from library，并选择 NFRC 100-2010 Exterior 将玻璃系统的Interior Boundary Condition 设为 convection plus enclosure radiation；框架组件的室内边界条件，则根据该框架的类型（普通、断热、改进的断热等）确定。

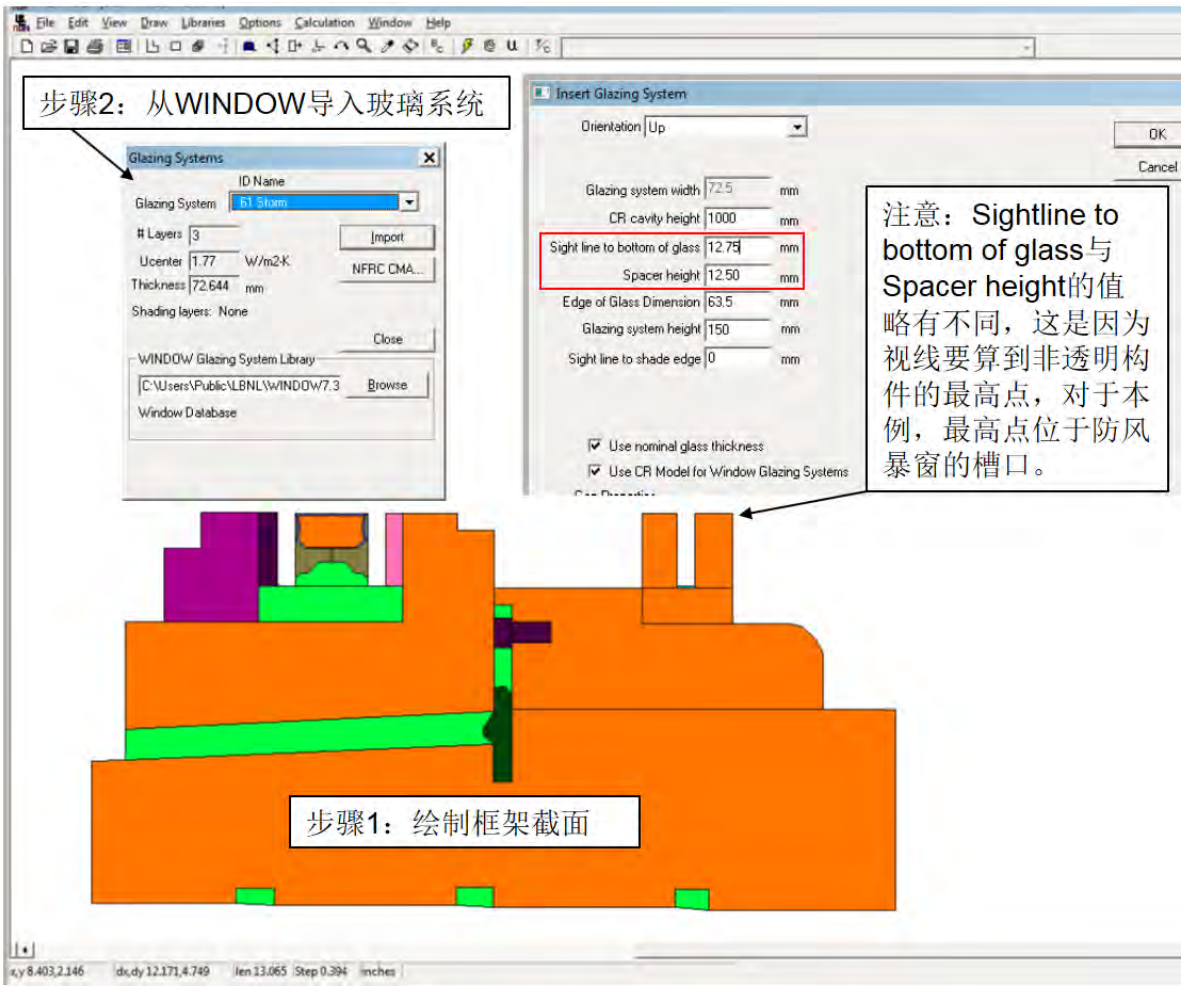


图 8-48：插入玻璃系统

④ 在本例中，玻璃系统 Gap 2 的底部和框架之间形成了一个小空腔，而该空腔的尺寸25.7 mm 小于 Gap 2 的尺寸 50.8 mm，因此需要将小空腔的特性 Link（链接） 到大空腔（具体见 第6.4.4节），即把该空腔的特性 Link（链接） 到 Gap 2 。

具体操作步骤是：先用任意材料填充该空腔 → 选中该空腔 → 点击主菜单 > Libraries > Create Link → 出现  “眼药”图标 → 将  移动至Gap 2 并点击 → 完成。

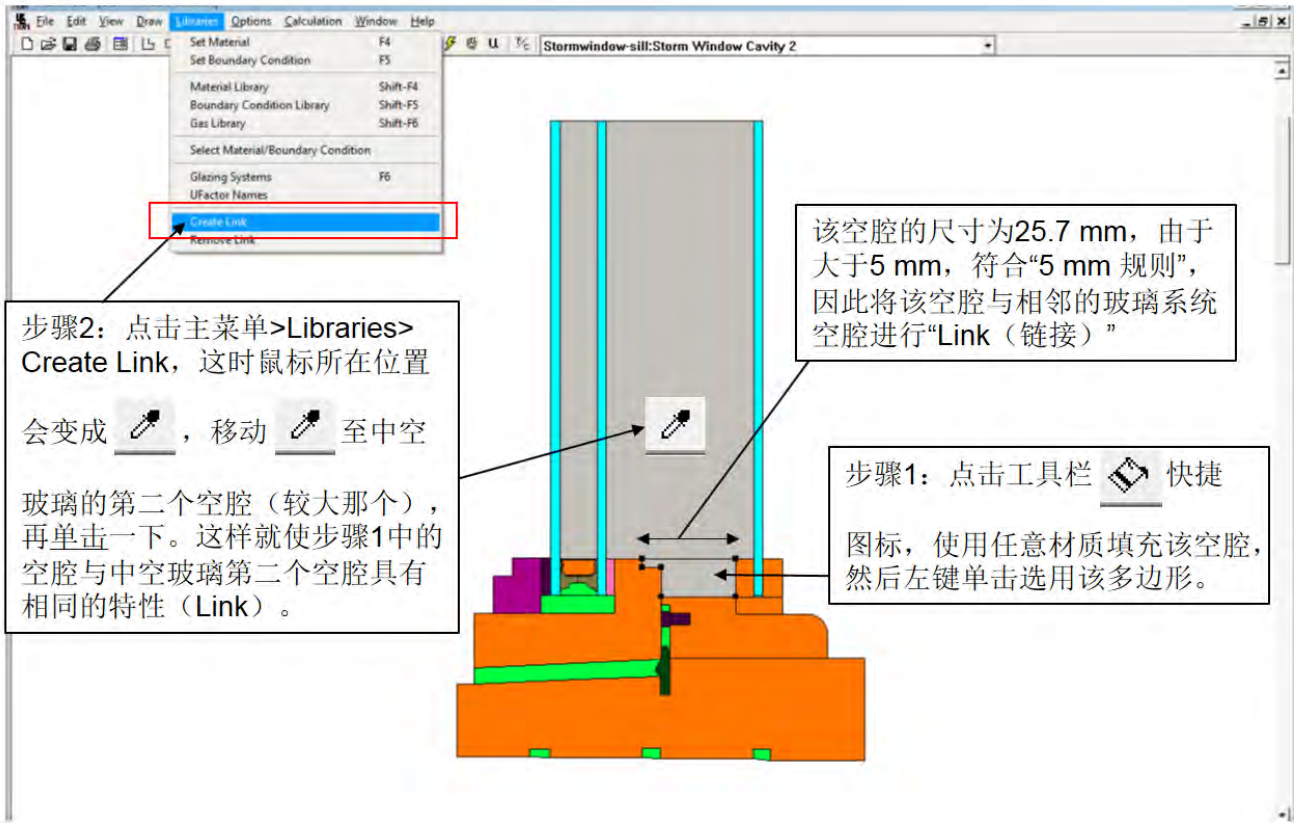


图 8-49：若符合条件，将框架空腔Link到玻璃系统的空腔

⑤ 通过点击工具栏快捷图标，生成边界条件。 图8-50 显示了一个防风暴窗截面的边界条件设置细节。确保室内边界条件中 Radiation Model 设为 AutoEnclosure

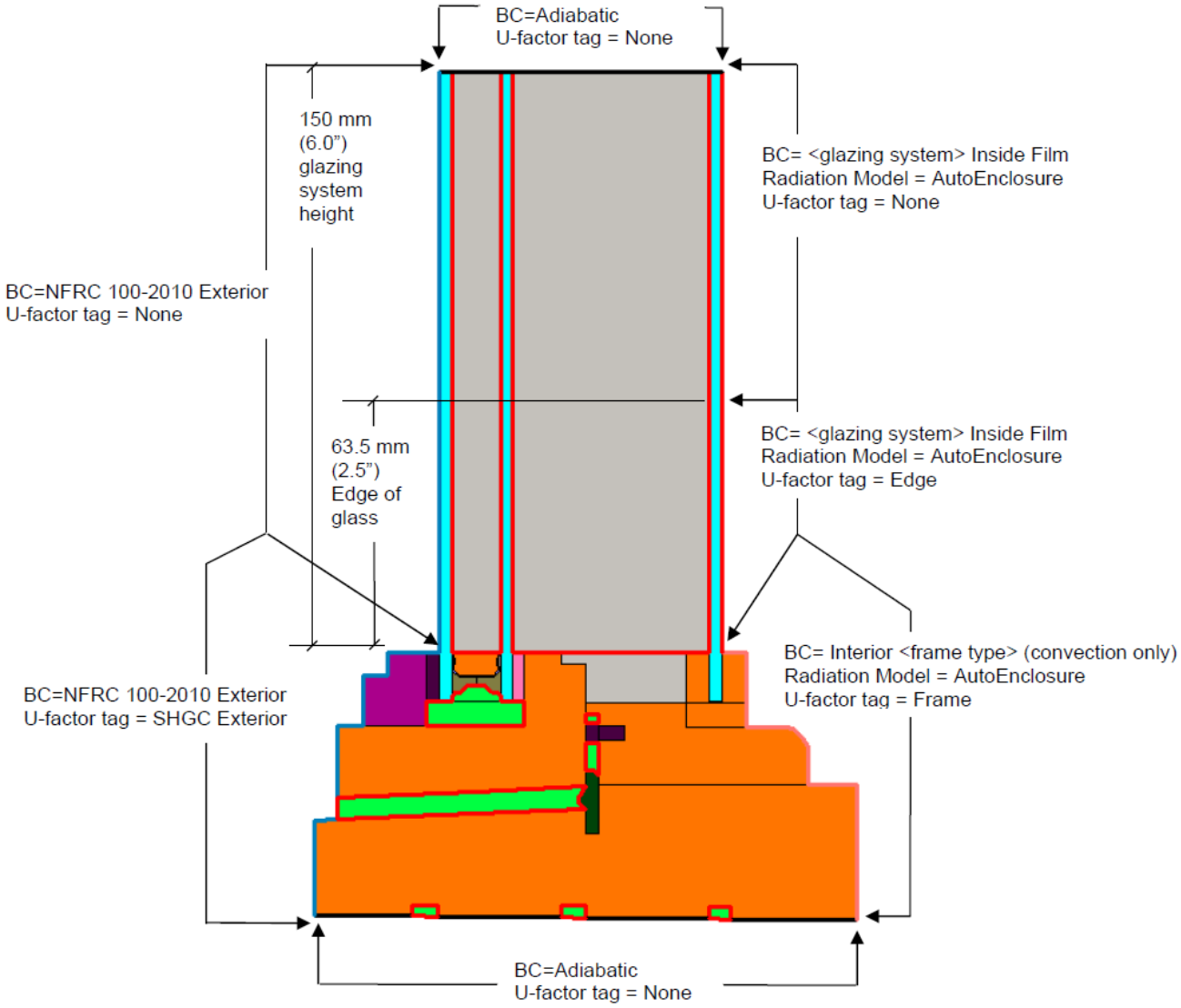


图 8-50：定义边界条件

⑥ 计算该模型，并保存文件。

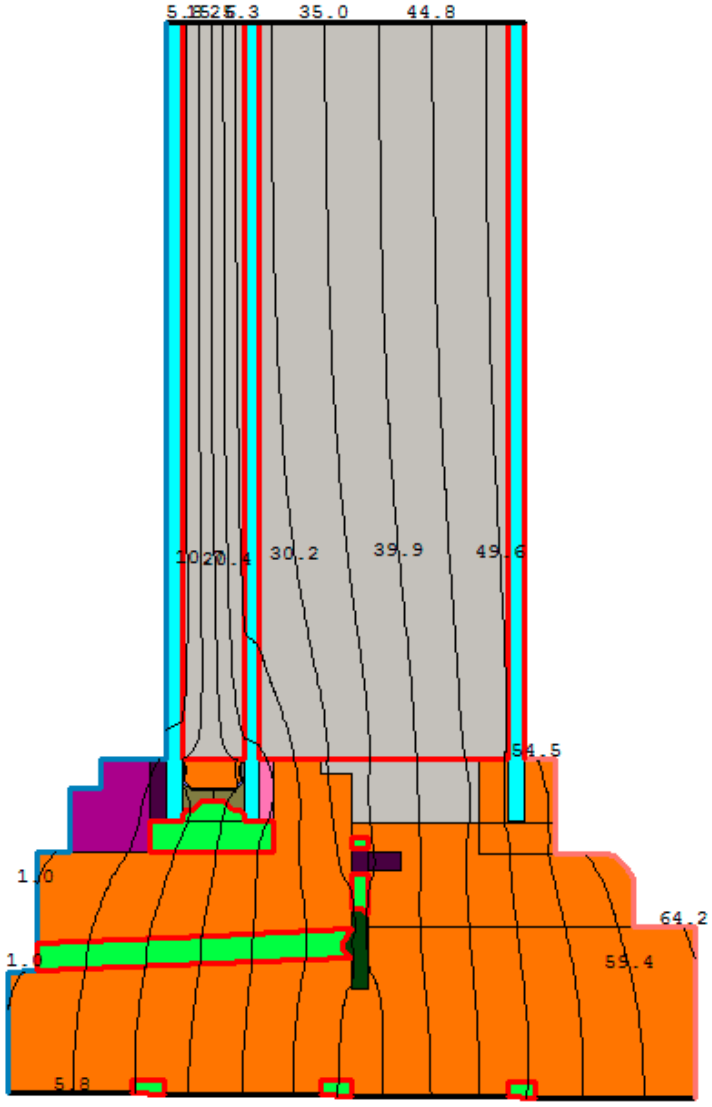


图 8-51：运行该模型的计算

8.4.3. 防风暴窗的中框

对于带中框的防风暴窗，如果防风暴面板和主窗扇之间的空腔尺寸 ＞ 5 mm，那么该空腔需要与具有最高 Keff （等效导热系数）值的玻璃系统的空腔相关联。密封和非密封双层玻璃的框架空腔/玻璃空腔 Link（链接） 规则请参阅 第6章。

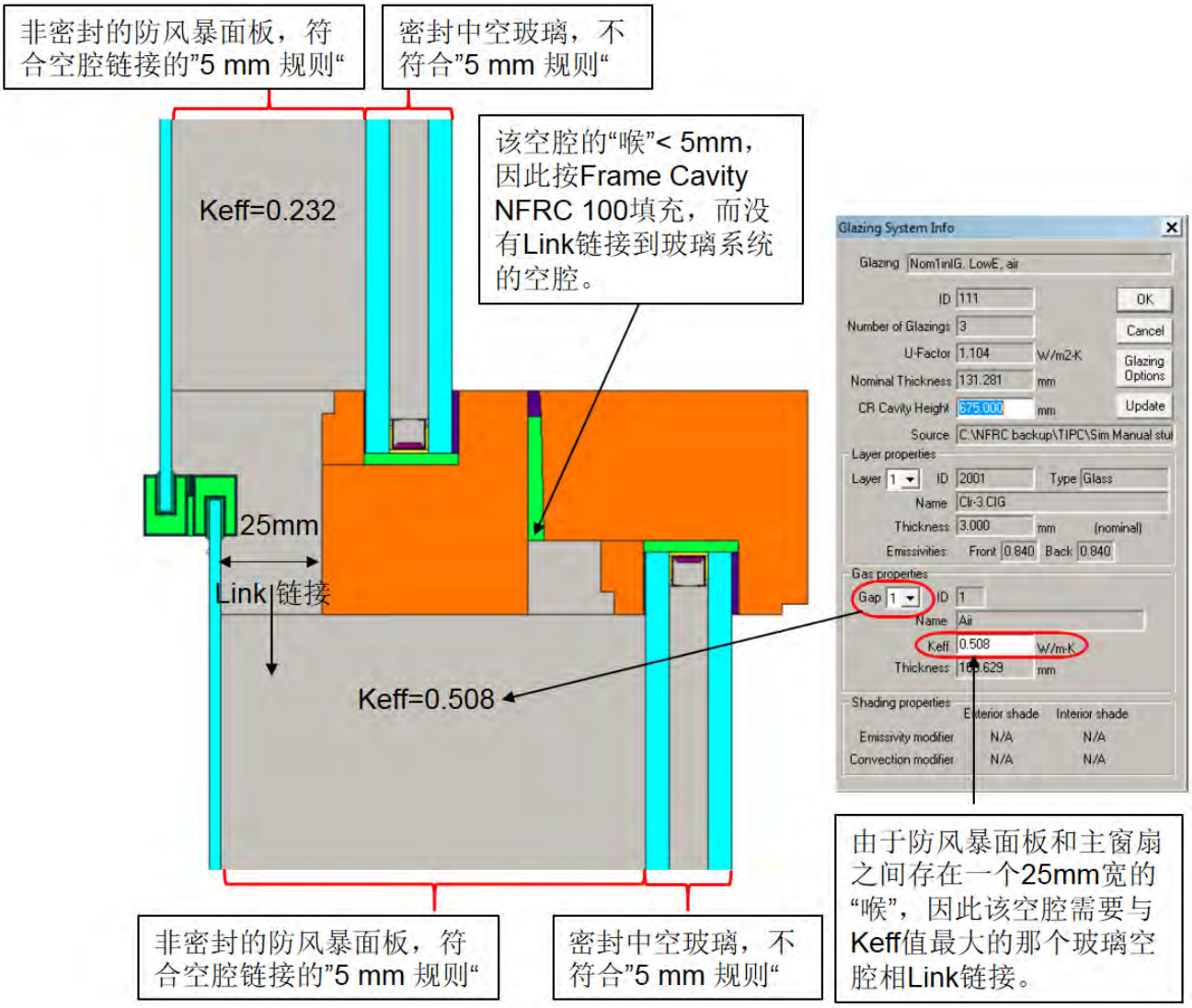


图 8-52：由于防风暴面板和主窗扇之间存在一个>5mm的喉，因此该空腔需要与Keff值最大的那个玻璃空腔相Link

8.4.4. 防风暴窗的抗结露计算步骤

抗结露计算模型仅适用于水平框架组件，如 Head 或 Sill 构件。THERM 不会计算截面类型设置为 Jamb 或 Vertical Meeting Rail 文件的抗结露值。

THERM 有 CR 抗结露计算模式，CR 模式的激活方式有两种：

在 THERM 中，有两种计算抗结露的方法。WINDOW 将根据 NFRC 500-2017 计算总CR等级。WINDOW 不计算 ANSI/NFRC 500 规定的 CI 等级；因此，应使用 NFRC 的“CI 温度读取工具”以及专有电子表格来计算整体产品的 CI：

- 在导入玻璃系统时，在 Insert Glazing System 对话框内，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 的复选框。
- 鼠标移至主菜单 → Options → 点击 Preferences，进入 THERM File Options 页面，勾选 Use CR Model for WINDOW Glazing System 复选框（如 图8-53）。

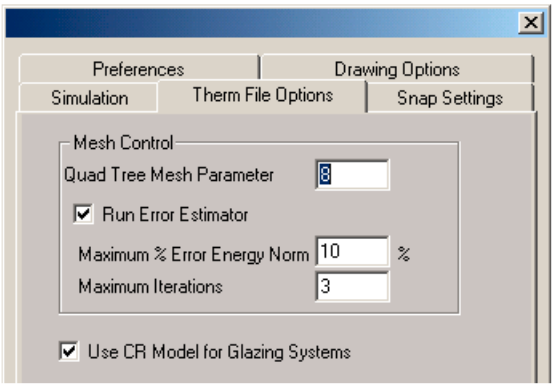


图 8-53：激活抗结露计算模式的方法之一：勾选Use CR Model for glazing Systems

当 CR 模式被激活后，玻璃系统的空腔周围会出现红色的边界条件线段，这时需要进行以下操作：

① 检查这些边界条件，包括：

a. 校验材料表面的发射率，如标准玻璃为 0.84，大多数框架材料为 0.90，未涂漆铝为 0.05 等。

b. 校验玻璃系统空腔的末端（绝热）的发射率，是否为 1.0。

c. 按表 6-2（6.4.5 节）取实际空腔高度，CI 评级取 500 mm

② 模型运算，程序将计算得到U值和抗结露值的结果。

③ 将该 THM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库），并用于在 Window Library（窗库）中创建整个产品。

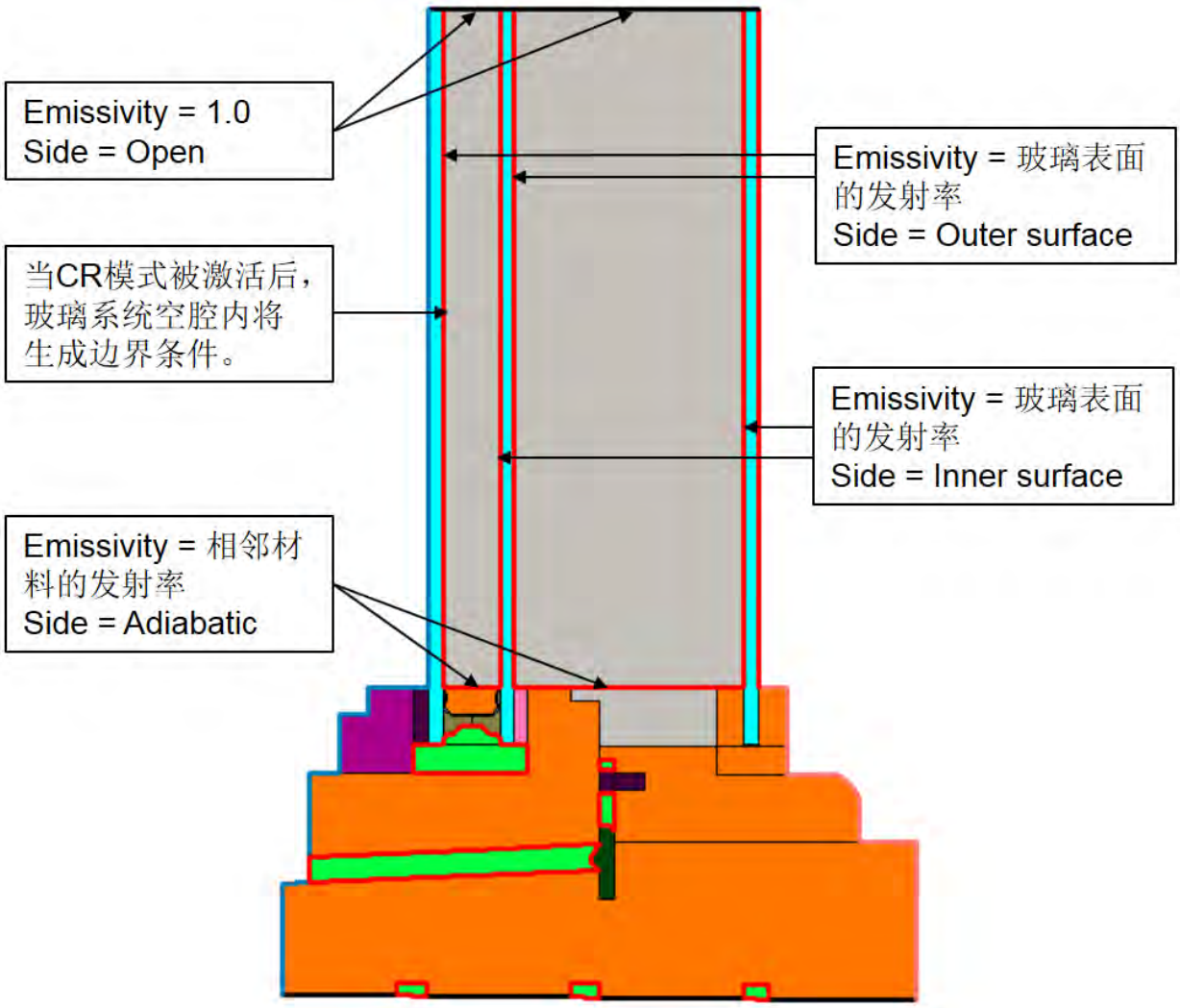


图 8-54：当CR模式被激活后，玻璃系统空腔内将生成边界条件，双击检查每个边界段的发射率

8.4.5. 在 WINDOW 中计算整体产品

下面介绍如何在 WINDOW 中进行防风暴窗产品的整体计算。

① 将防风暴窗各组件的 THERM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）。

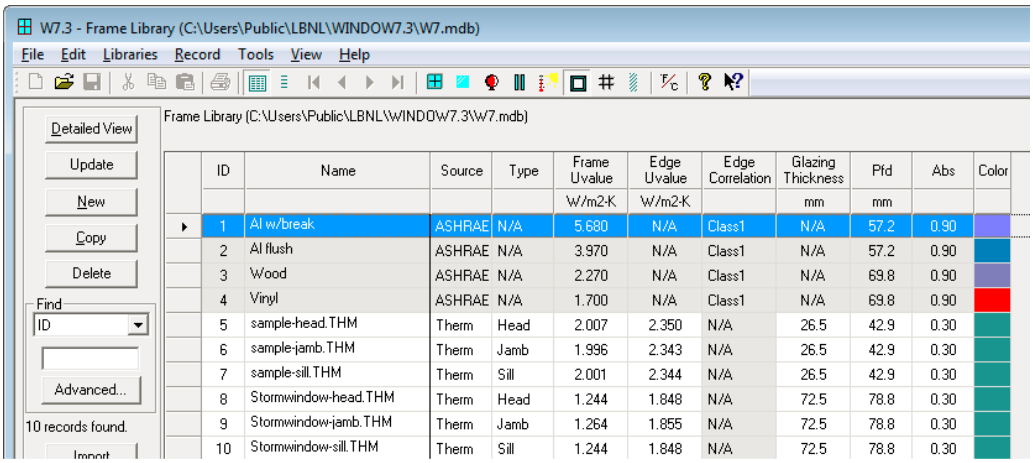


图 8-55：导入防风暴窗的THERM文件

② 在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中，使用之前导入的 THERM 文件和玻璃系统构建防风暴窗的整体产品，并运行计算。

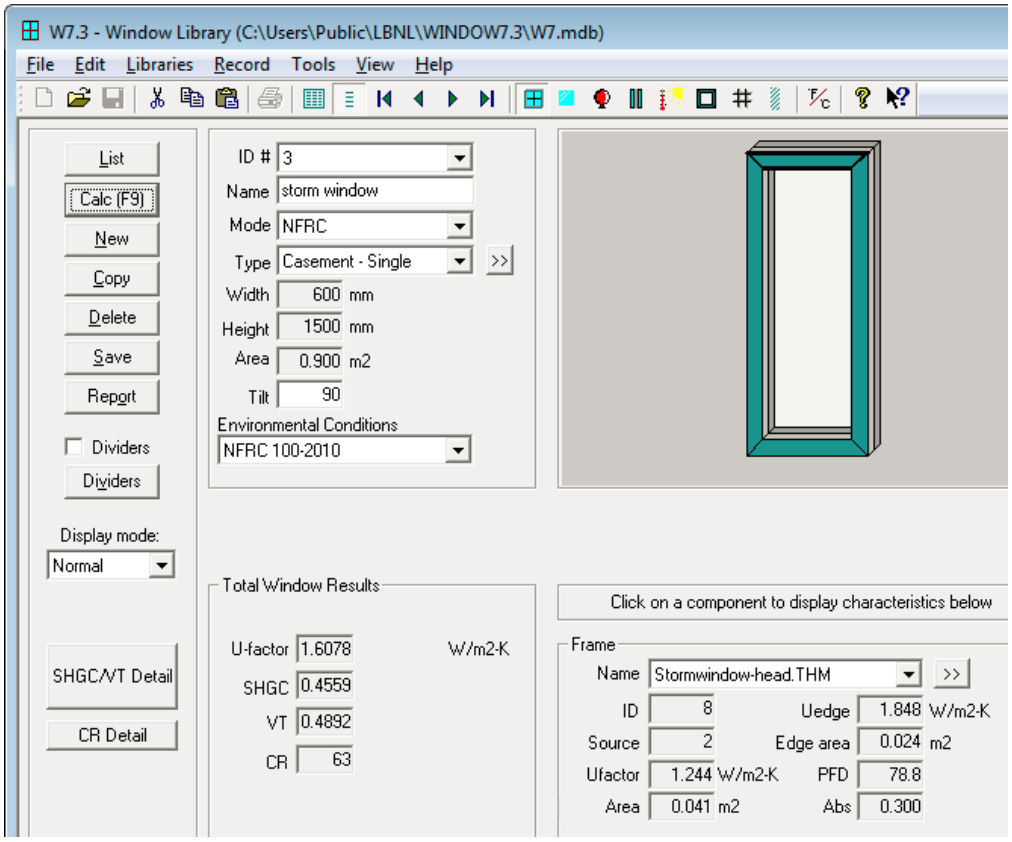


图 8-56：在Window Library构建整个防风暴窗产品，并进行计算

8.5. 天窗和斜玻璃幕墙系统

本节将介绍天窗和斜玻璃幕墙/窗墙的建模过程，与其它产品相似，它们也都按照截面建模。此外，根据《ANSI / NFRC 100》标准文件，天窗和斜玻璃幕墙系统按照水平倾角 20度 建模。

8.5.1. 建模的步骤

天窗的建模步骤如下：

在 WINDOW 中：

① 在 WINDOW 中创建天窗的玻璃系统：

- 将 Tilt（倾角）设置为“20”度

在 THERM 中：

② 绘制出所需的框架截面，包括Head，Sill，Jamb（如果它们的几何外形都不一样的话）。由于Jamb（边立柱）的倾斜是发生在 Z轴 方向上的，这在 THERM 的二维视图中是无法显示的，因此它们需要被绘制成竖直方向的，以正确地反映重力矢量在Z轴方向的倾斜。

③ 不要在 THERM 的任何天窗截面模型中使用 CR（抗结露）计算模式。WINDOW 将根据 U值 结果的温度计算 CR值。（即便在截面模型中启用了 CR 模式，在计算整个产品的 CR值 时，WINDOW 也将只使用 U值 的温度结果而不是 CR 温度结果）。

④ 主菜单 → File，打开 Properties，下拉选择合适的 Cross Section Type，具体如下所示：

- 对于 Sill（底横梁）：设置截面类型为“Sill”，重力矢量应朝“下”
- 对于 Head（顶横梁）：设置截面类型为“Head”，重力矢量应朝“下”
- 对于 Jamb（边立柱）：设置截面类型为“Jamb”，重力矢量应朝“右”（需要手动设置）
- 对于斜玻璃幕墙的 Vertical Meeting Rail（中立柱）：设置截面类型为“Vertical Meeting Rail”，重力矢量应朝“右”（需要手动设置）

⑤ 在天窗的截面类型被正确设置后，模型中的框架空腔高度无需改变，使用默认值 1000 mm 即可。

⑥ 将 WINDOW 中的玻璃系统导入到 THERM 中的截面模型

CR cavity height（抗结露空腔高度）： 默认值（1000 mm）

Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）

Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）

Orientation（朝向）：分别是

- 对于 Sill（底横梁）：Up
- 对于 Head（顶横梁）：Down
- 对于 Jamb（边立柱）：Up

⑦ 分配边界条件。室内边界条件要注意以下设置：

- Radiation Model 设为 AutoEnclosure
- 框架的室内边界条件，设为“Interior 20 tilt …+ 相应的框架类型”

⑧ 将截面旋转成与水平方向成 20度 角：

- 对于 Sill（底横梁）和 Head（顶横梁）：整个模型顺时针旋转70度
- 对于 Jamb（边立柱）和斜玻璃幕墙的 Vertical Meeting Rail（中立柱）：不要旋转模型

⑨ 建模计算各个天窗截面并保存文件。

⑩ 查看各个截面的 U值 计算结果，为了确保 U值 所对应的投影方向是正确的，应检查投影方向的下拉列表显示为 Projected in Glass Plane（垂直于玻璃面），如 图8-57所示。

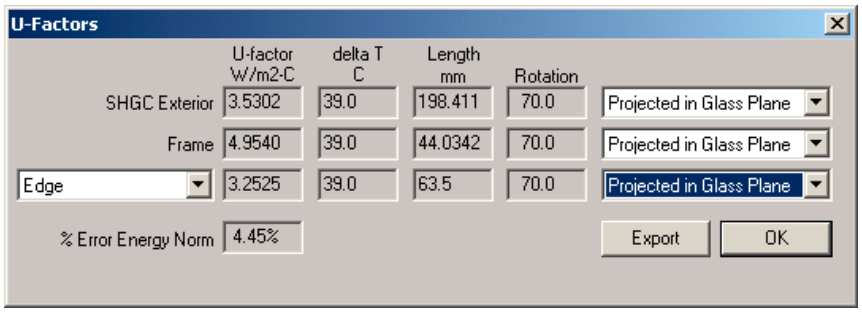


图 8-57：检查以确保投影方向为Projected in Glass Plane

在某些情况下，绝热边界的一段可能与 U值标签 Frame 的部分在投影方向“重合”，这时THERM就无法正确计算框架的总长度，解决方法是在如上图 U-Factors 对话框的下拉列表中选择 Custom Frame Length（自定义框长）。关于这部分内容请参阅本手册 第6.6.6节。

在 WINDOW 中：

⑪ 将计算后的截面 THERM 模型文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）和 Divider Library（窗格库）（若适用）。

⑫ 在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中构建并计算整体产品的性能值。确保将 Window Library（窗库）的详览页面中的 Tilt（倾角）改为 20。

8.5.2. 天窗的安装细节

将天窗安装到屋顶系统的方法主要有两种：嵌入式安装（insert-mounted）或屋顶式安装（roof-mounted），下图显示了这两种不同的安装方式。每种安装方式对 Adiabatic（绝热）边界条件的定义略有不同，而且每种安装方式都有不同的 Projected Frame Length（投影框架长度），详细的建模规则可以在《ANSI / NFRC 100》标准文件和 NFRC 技术解释中找到。在台座式安装的天窗建模时，如果遇到投影框架高度为零的情况，为了创造一个非零的框架高度，则必须在室内玻璃上定义一个 0.25 mm 的 Frame U值标签。

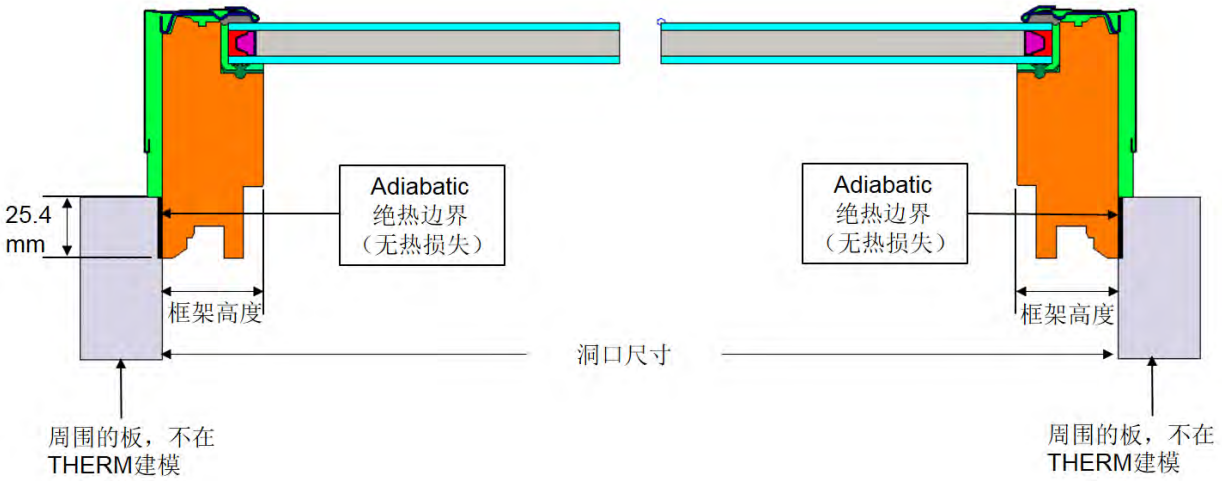


图 8-58：嵌入式安装的天窗

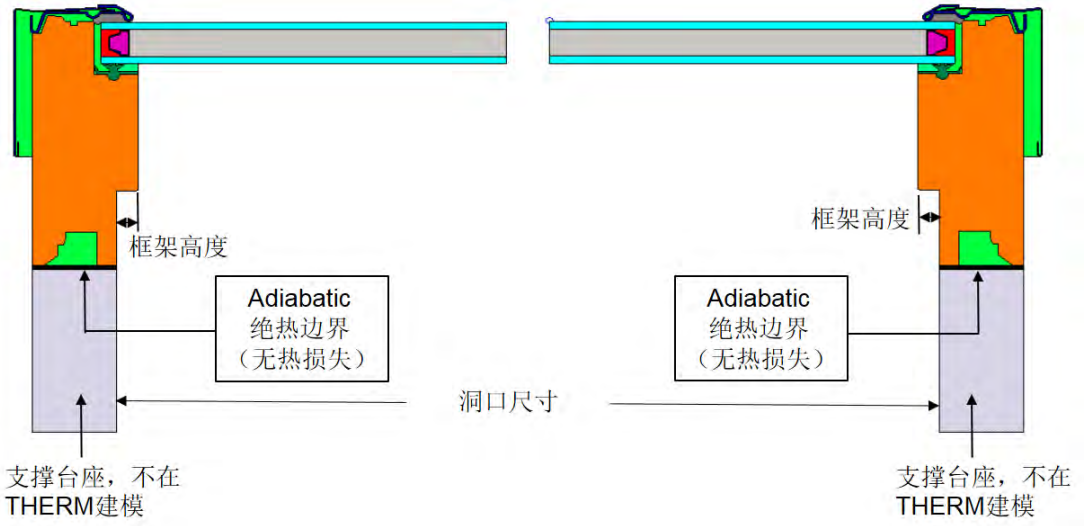


图 8-59：屋顶式安装的天窗

8.5.3. 嵌入式安装天窗的建模范例

下面介绍的是一个嵌入式安装天窗的建模过程。

在 WINDOW 中：

① **Glazing System Library（玻璃系统库）：**本例中的天窗玻璃是一个由通用型玻璃层组成的双层玻璃系统，注意 Tilt（倾角）必须改为 20度。对于倾角小于 60度 的玻璃系统，WINDOW 程序会发出一个提示信息，这是正常的，不用理会。

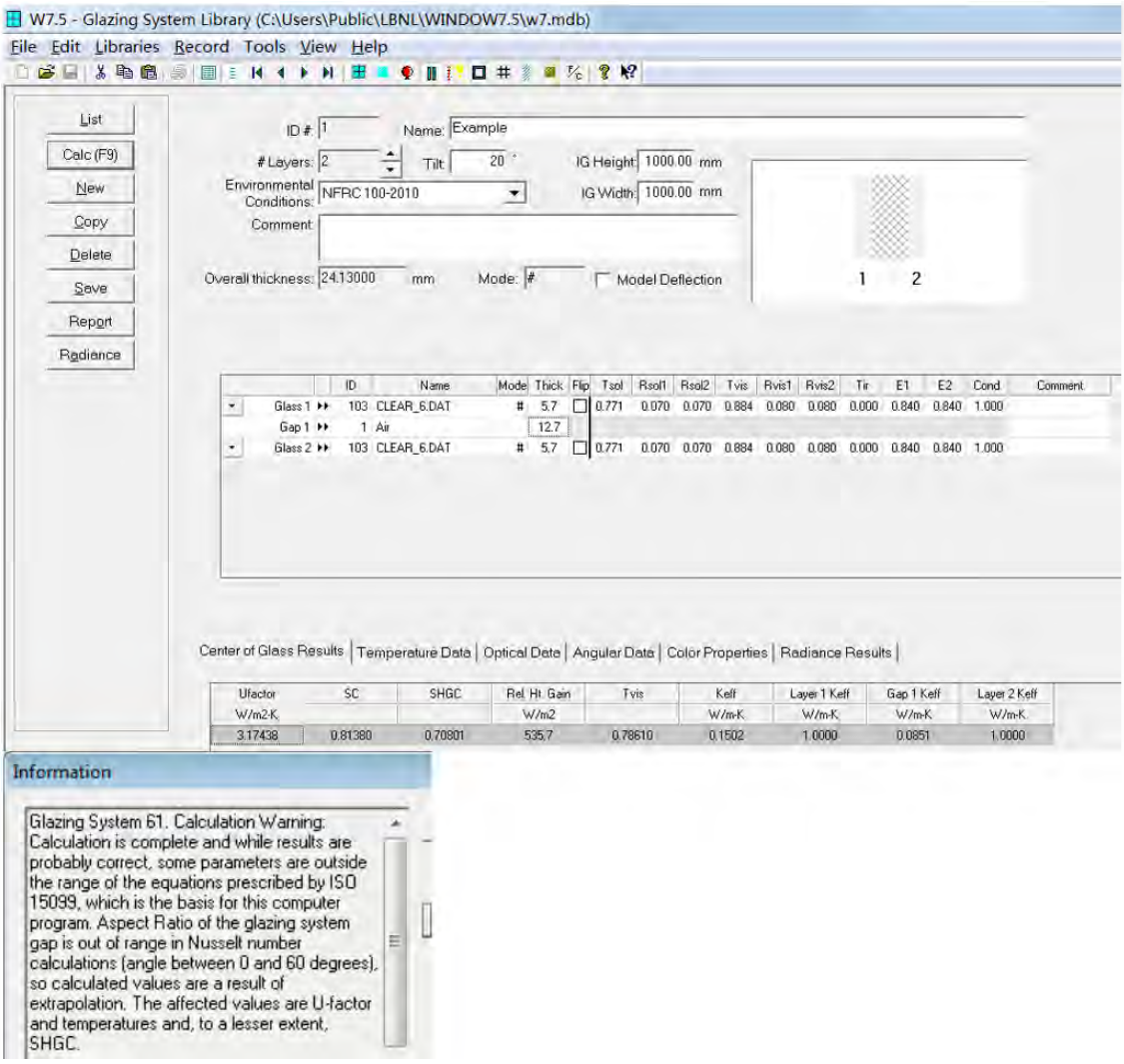


图 8-60：在Glazing System Library中创建一个新的玻璃系统, Tilt设为20度

② **保存文件：**确保玻璃系统已保存（在 Record 页面，点击 Save ）。

在 THERM 中，对于 Sill：

① 绘制 Sill（底横梁）截面，并按 图8-61 所示设置 Locator（定位点）

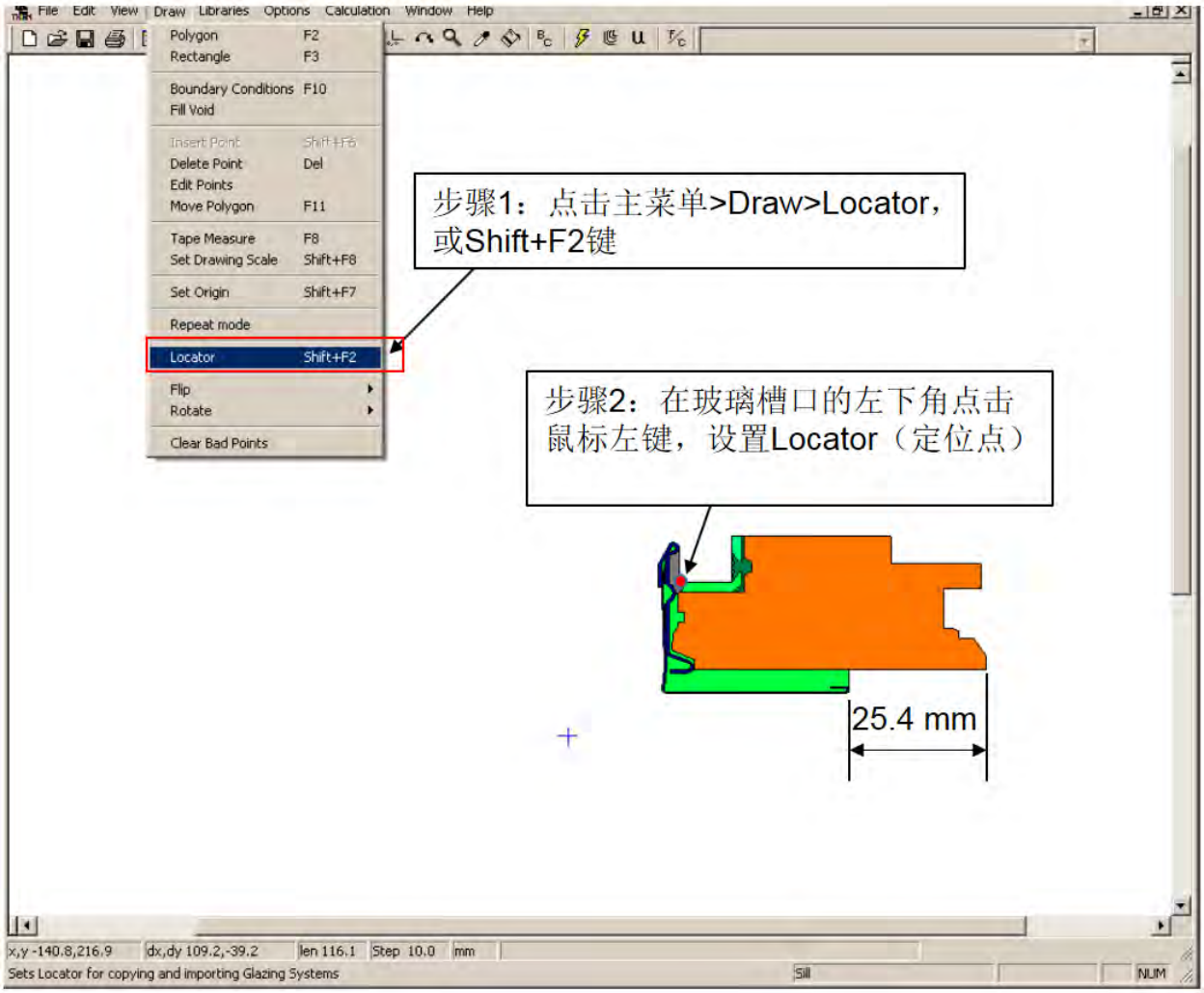


图 8-61：设置导入玻璃系统所需的Locator

② 在 Sill 模型中插入玻璃系统，具体设置如下：

- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity height（抗结露空腔高度）：1000 mm
- Sightline to bottom of glass（视线与玻璃底部之间的距离）：根据实际测量值
- Spacer height（间隔条高度）：根据实际测量值
- Edge of Glass Dimension（玻璃边缘尺寸）：63.5 mm（2.5英寸）
- Glazing System Height（玻璃系统高度）：150 mm（6.0英寸）

- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：0（遮阳系统没有建模）
- Gap Properties（空腔属性）：勾选Default（默认）
- Draw spacer（绘制间隔条）：不勾选

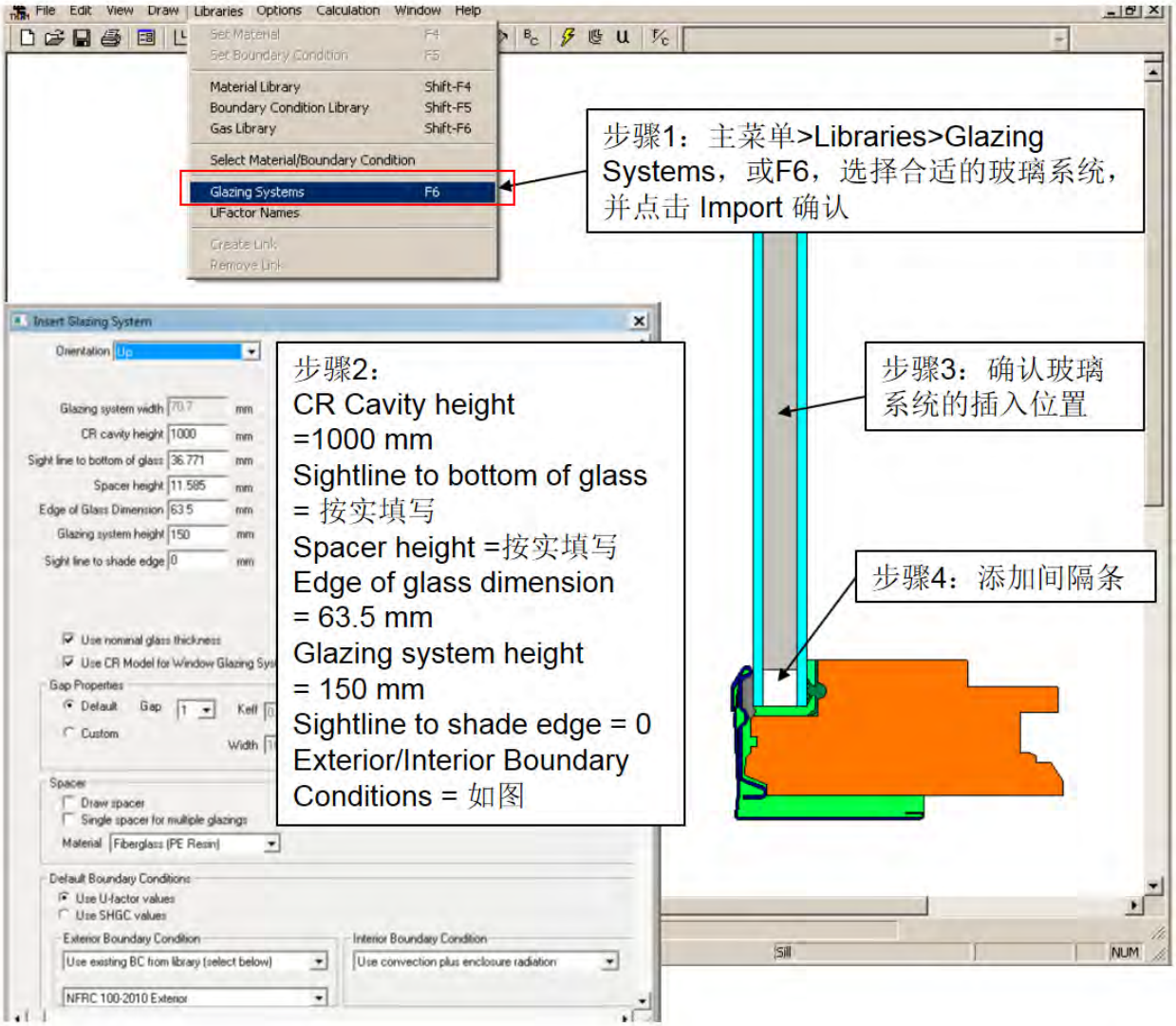


图 8-62：插入玻璃系统

- 注：如果使用 THERM 的“多个玻璃选项”功能，则建议在旋转截面前进行多个玻璃选项的设置，这样 THERM 就能自动定义所有玻璃选项的边界条件。

③ **分配边界条件和 U值标签：**点击工具栏快捷图标，并修复所有可能出现的多边形问题（参阅本手册“第6.5.3节：空洞、重合和坏点”）。

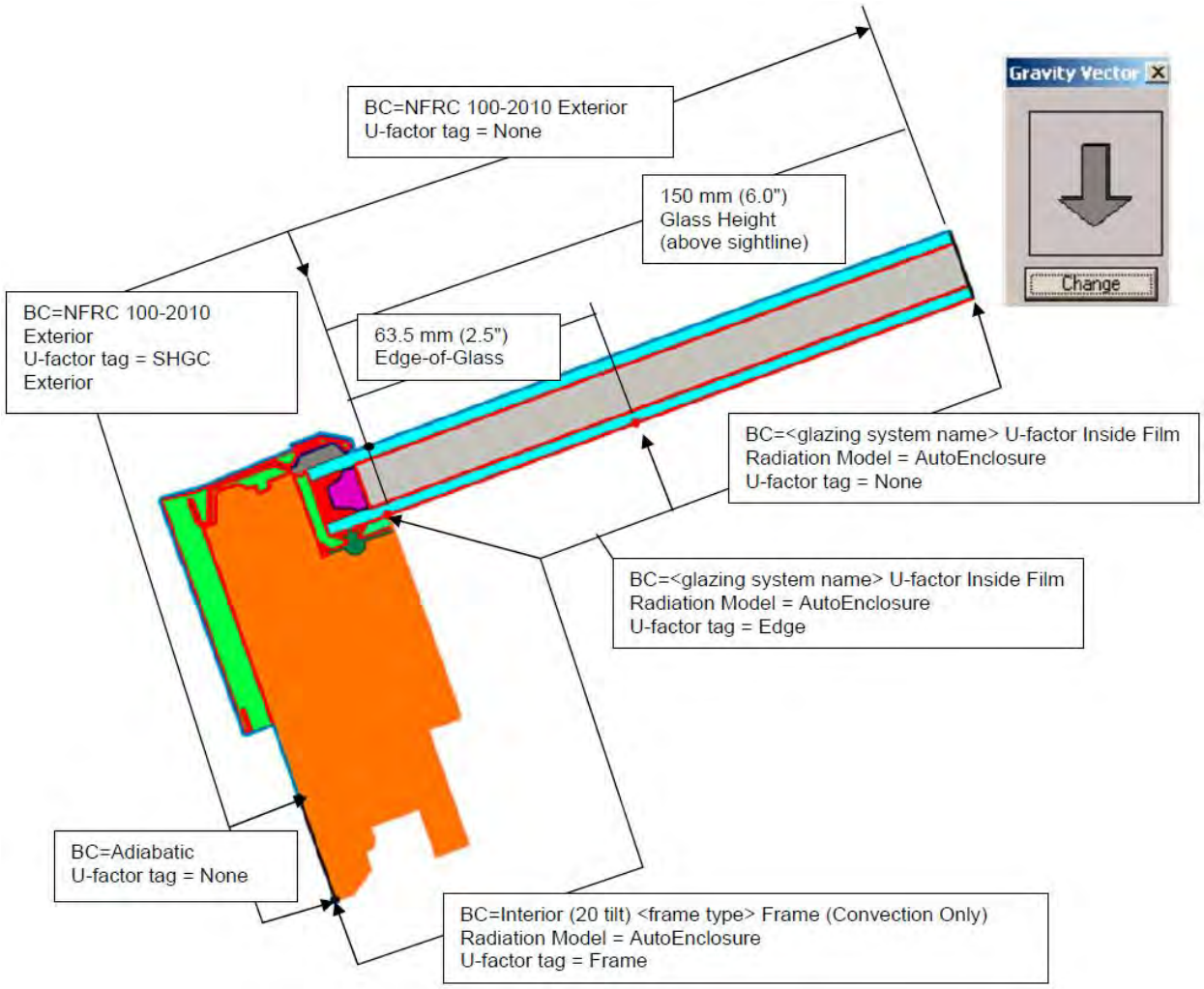


图 8-63：分配边界条件和U值标签(Sill)

④ 旋转截面图形到与水平面成20度夹角。对于本例中的 Sill 截面，操作步骤如下：鼠标移至主菜单 → Draw → Rotate → 点击 Degree → 在接下来出现的对话框中，输入 70度，Clockwise（顺时针）。

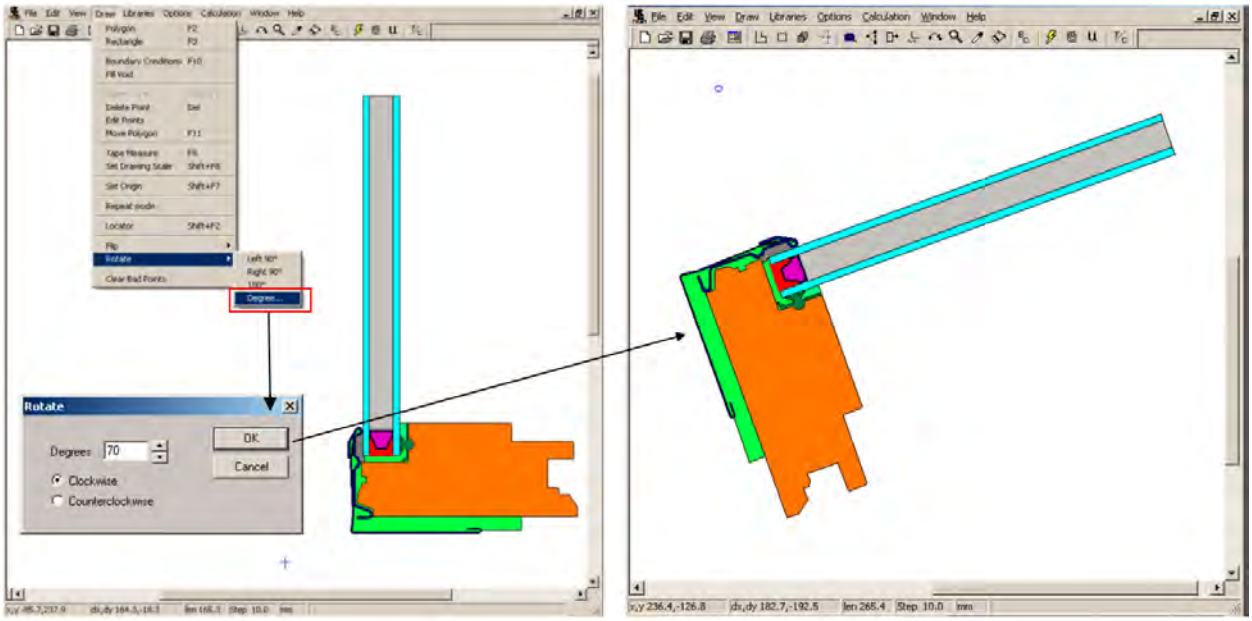


图 8-64：在分配完边界条件和U值标签后，再旋转截面图形

⑤ 检查截面的重力矢量（主菜单 → View → 点击 Gravity Arrow），它应该指向下（如 图8-63）。

⑥ 运行模型计算。

⑦ 点击工具栏U快捷图标，查看U值计算结果，对于倾斜的截面模型，U值标签 Frame，Edge，SHGC Exterior 所对应投影方向应该选择 Projected in Glass Plane。

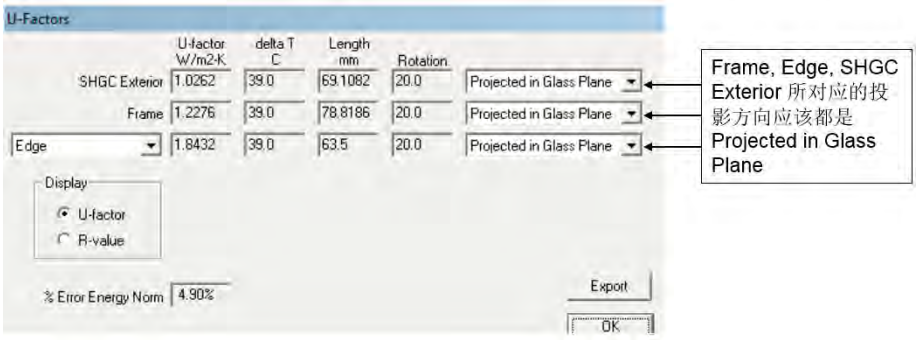


图 8-65：U值结果栏中，选择Projected in Glass Plane

在 THERM 中，对于 Head：

① 绘制 Head（顶横梁）截面，设置截面类型为 Head，并导入方向朝下的玻璃系统（以便获得正确的重力矢量方向）。

② 分配边界条件如 图8-66 所示。

③ 旋转截面图形到与水平面成 20度 夹角。对于本例中的 Head 截面，操作步骤如下：鼠标移至主菜单 → Draw → Rotate → 点击 Degree → 在接下来出现的对话框中，输入 70度，Clockwise（顺时针）。

④ 检查截面的重力矢量（主菜单 → View → 点击 Gravity Arrow），它应该指向下。

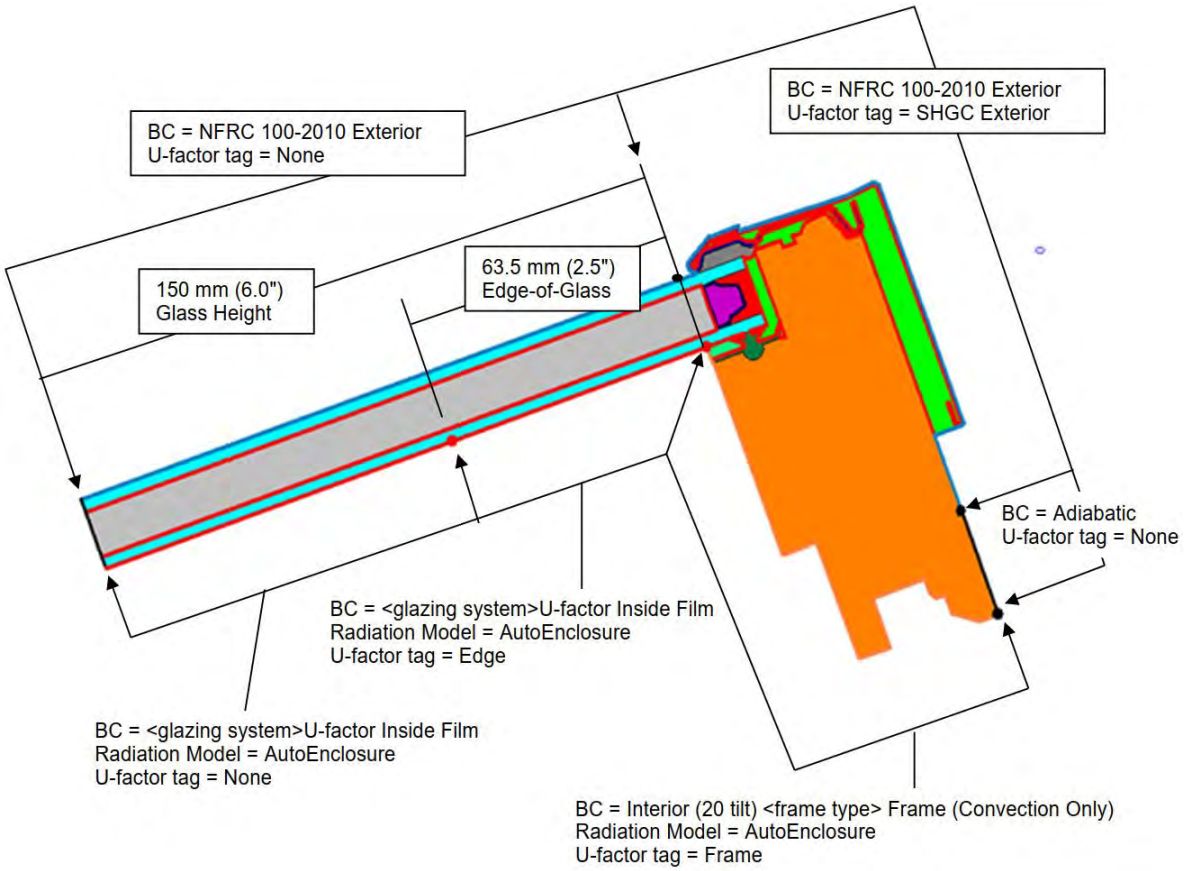


图 8-66：分配边界条件和U值标签(Head)

⑤ 运行模型计算。

⑥ 点击工具栏快捷图标，查看U值计算结果，对于有倾角的截面模型，U值标签 Frame，Edge，SHGC Exterior 所对应投影方向应该选择 Projected in Glass Plane。

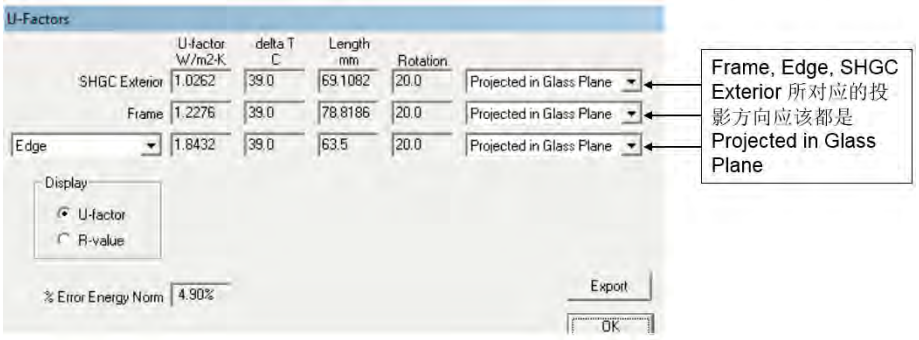


图 8-67：U值结果栏中，选择Projected in Glass Plane

在 THERM 中，对于 Jamb：

① 创建 Jamb（边立柱）截面，建模步骤和 Sill、Head 相似，除了以下几项：

- Jamb（边立柱）是按竖直方向建模的
- 截面类型设置为 Jamb
- 导入玻璃系统时，方向朝上
- 重力矢量需要手动改为“Right（向右）”，这与实际天窗中边立柱的重力方向一致。

② 运行模型计算。

由于截面并没有旋转，U-Factors 对话框中的投影方向选择 Projected Y 或 Projected in Glass Plane 都是可以的，两者的结果是相同的。

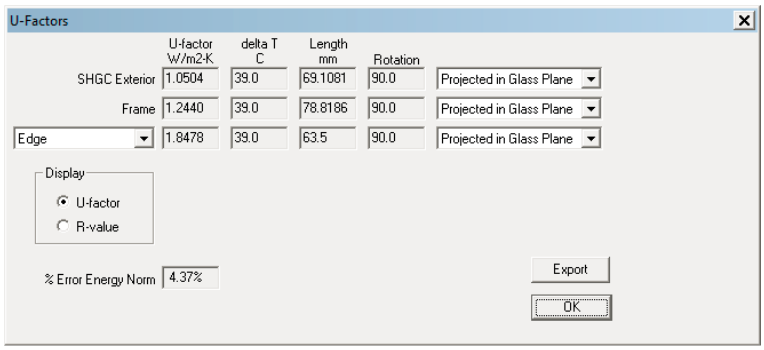


图 8-68：U值结果栏中，选择Projected Y或者Projected in Glass Plane都可以

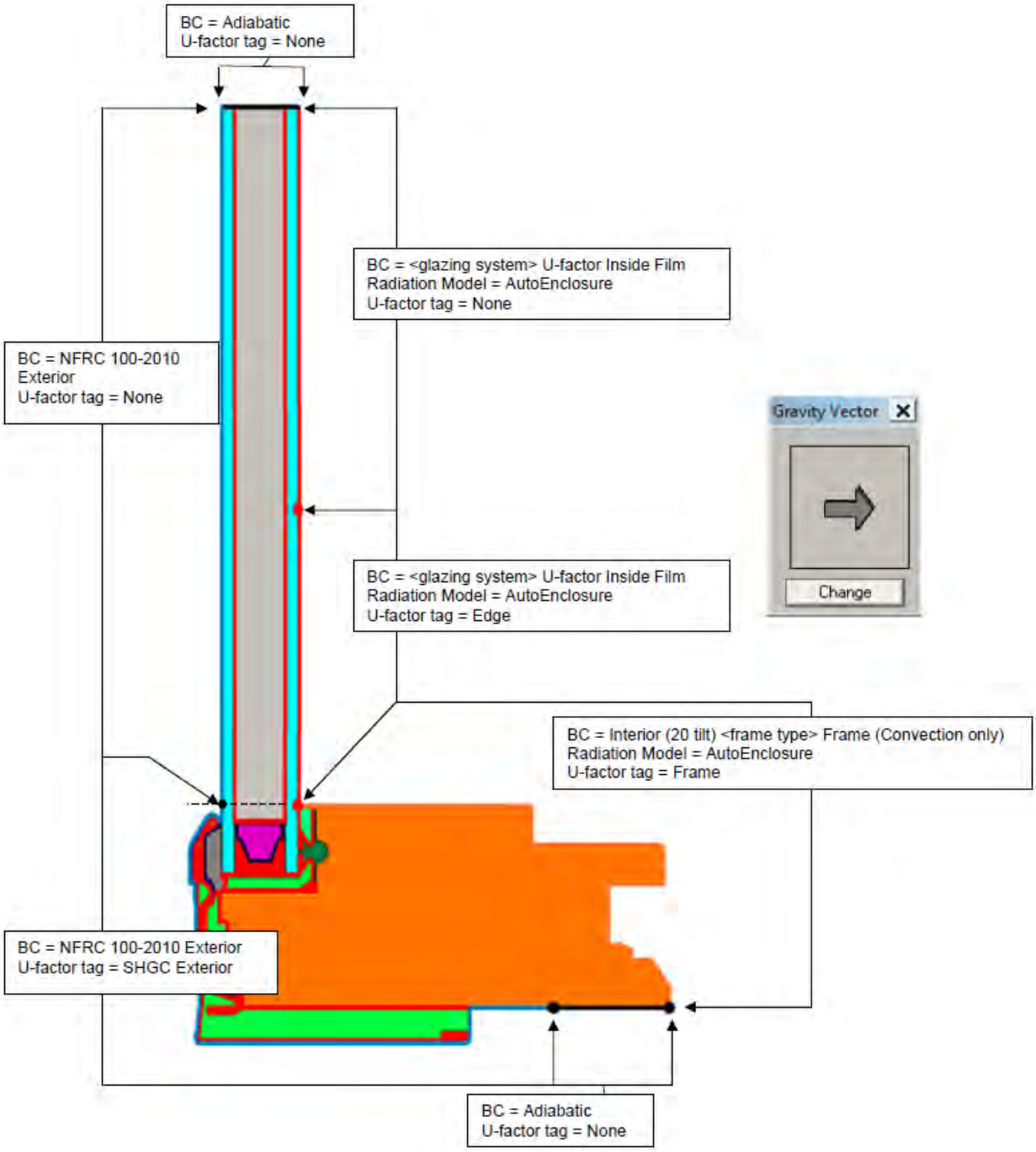
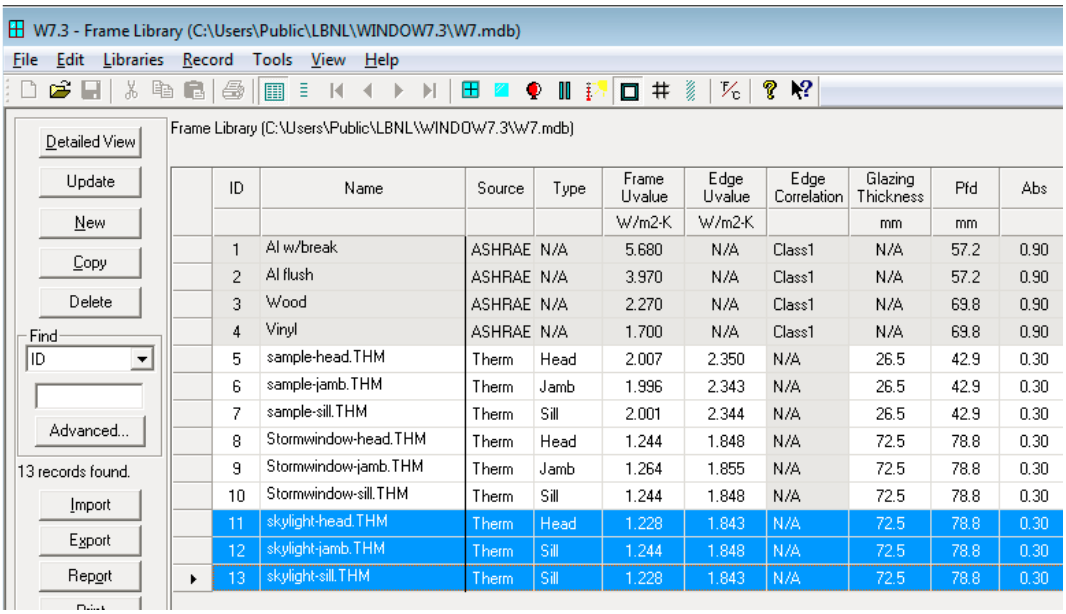


图 8-69：分配边界条件和U值标签(Jamb)

在 WINDOW 中，计算整体产品的 U值：

① 在 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中，导入 Head、Sill、Jamb 等截面的 THERM 文件。



	ID	Name	Source	Type	Frame Uvalue	Edge Uvalue	Edge Correlation	Glazing Thickness	Pfd	Abs
					W/m2-K	W/m2-K		mm	mm	
	1	Al w/break	ASHRAE	N/A	5.680	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
	2	Al flush	ASHRAE	N/A	3.970	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
	3	Wood	ASHRAE	N/A	2.270	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
	4	Vinyl	ASHRAE	N/A	1.700	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
	5	sample-head.THM	Therm	Head	2.007	2.350	N/A	26.5	42.9	0.30
	6	sample-jamb.THM	Therm	Jamb	1.996	2.343	N/A	26.5	42.9	0.30
	7	sample-sill.THM	Therm	Sill	2.001	2.344	N/A	26.5	42.9	0.30
	8	Stormwindow-head.THM	Therm	Head	1.244	1.848	N/A	72.5	78.8	0.30
	9	Stormwindow-jamb.THM	Therm	Jamb	1.264	1.855	N/A	72.5	78.8	0.30
	10	Stormwindow-sill.THM	Therm	Sill	1.244	1.848	N/A	72.5	78.8	0.30
	11	skylight-head.THM	Therm	Head	1.228	1.843	N/A	72.5	78.8	0.30
	12	skylight-jamb.THM	Therm	Sill	1.244	1.848	N/A	72.5	78.8	0.30
▸	13	skylight-sill.THM	Therm	Sill	1.228	1.843	N/A	72.5	78.8	0.30

图 8-70：将天窗各个组件的THERM模型文件导入WINDOW的Frame Library

② 在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中通过定义各个组件的特性，构建整体产品。确保 Type（类型） 一栏内显示的各个组件的 Tilt（倾角）为 20度。

③ 点击 Calc（F9） 后，会出现提示信息，这是正常的，不用理会。

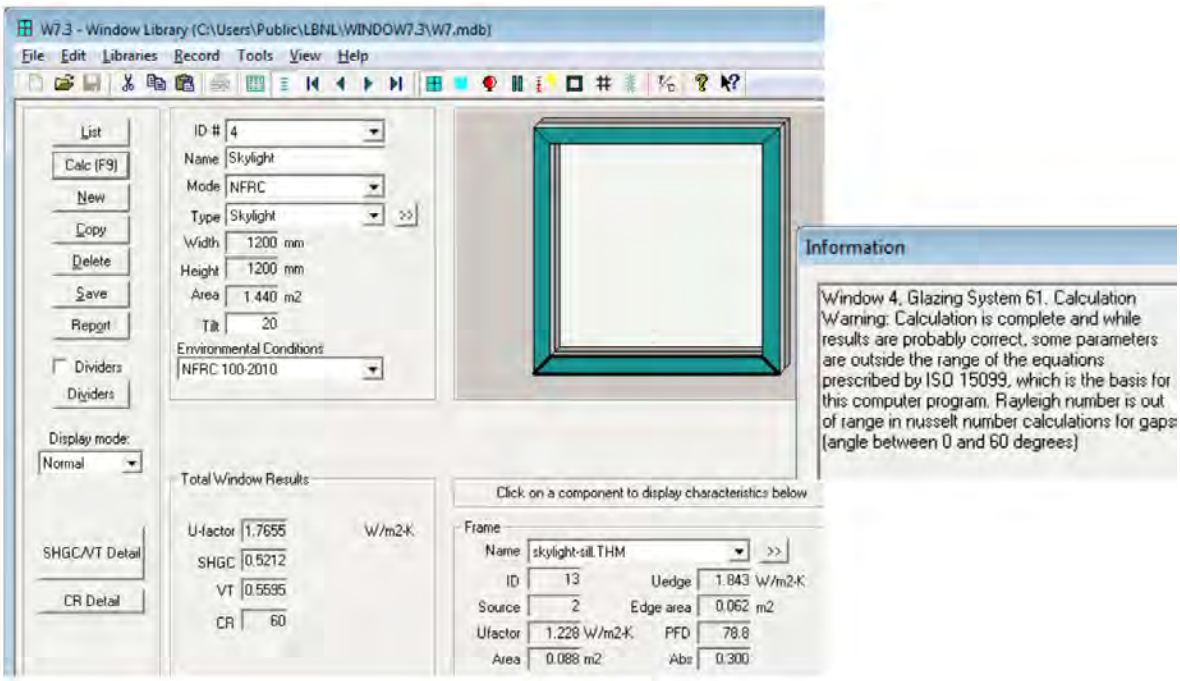


图 8-71：在Window Library中创建整体天窗产品

8.6. 门

入户门通常带有更多的非透明部分,因此对于它的建模是不同于窗类产品的，因为在THERM中有更多的不透明部分要建模。《ANSI / NFRC 100》标准文件对门的建模流程做了详细规定，在做入户门的建模工作前，应该仔细阅读相关内容。

NFRC 规定了一个门中必须建模 9 个的部位，它们是：

- 框架（Frame）
- 门玻璃框架（Lite Frame）
- 格条（Divider）
- 格条边缘（Edge-of-divider）
- 门玻璃边缘（Edge-of-Lite）
- 门玻璃中心（Center-of-Lite）
- 门板芯（Door Core）
- 面板（Panel）
- 面板边缘（Edge-of-Panel）

《ANSI / NFRC 100》包含一些示意图，用以说明上述须在 THERM 中建模部分所对应的门上位置。

当在建模带门格条的玻璃选项时，可以使用 NFRC 默认门格条样式，有关中空玻璃内部格条建模的内容，请参阅本章的“窗格”。

由于当前版本的 WINDOW 程序没有对门进行面积加权的功能，因此必须手动将 THERM 文件中的结果数据输入电子表格进行计算。在 THERM 程序中，U值标签可以有任何名称，而且为了准确描述模型，可以定义尽可能多的 U值标签（参阅《THERM 用户手册》“第6.2.4节：定义U值标签”），因此在手算时，可以利用该功能，并描述性地命名这些自定义的 U值标签。

当计算门的非透明部分的 SHGC 时，应该使用《ISO 15099》中关于框架的 $SHGC_f$ 计算公式，具体如下，注意：h_{out} = 20.6 W/(m^2 • K)。

$$SHGC_f = \alpha_f \cdot \frac{U_f}{\frac{A_{surf}}{A_f} h_{out}}$$

钢蒙皮门的边界条件

框架和边缘为钢或非金属（实木）的门的边界条件如下表，建模时应根据实际情况进行设置。

门框架和边缘截面的材质	边界条件
非金属/实木	Wood/Vinyl（实木/乙烯基）
钢	断热改进的

注：钢的内表面发射率会影响传热系数，因此必须遵守 NFRC 101 中关于材料发射率的规定。例如，对于喷漆镀锌钢表皮，根据 NFRC 101 附录 A 中针对喷漆材料的规定，要求其表面发射率为 0.9。

第9章 给出了一个门的建模实例，详细描述了 THERM 的建模步骤。

8.7. 间隔条

8.7.1. 概述

THERM 有能力按照间隔条的细部进行详细的建模，而不需要使用其等效导热系数。很多建模师都会事先建好间隔条模型库，在做截面的建模工作时，通过使用 THERM 程序自带的复制和粘贴功能，可以很容易地将间隔条插入到目标截面模型中。《THERM 用户手册》“第3.5节：添加自定义间隔条”，有具体的步骤介绍，在 THERM 官网上，也有间隔条模型样本供下载。

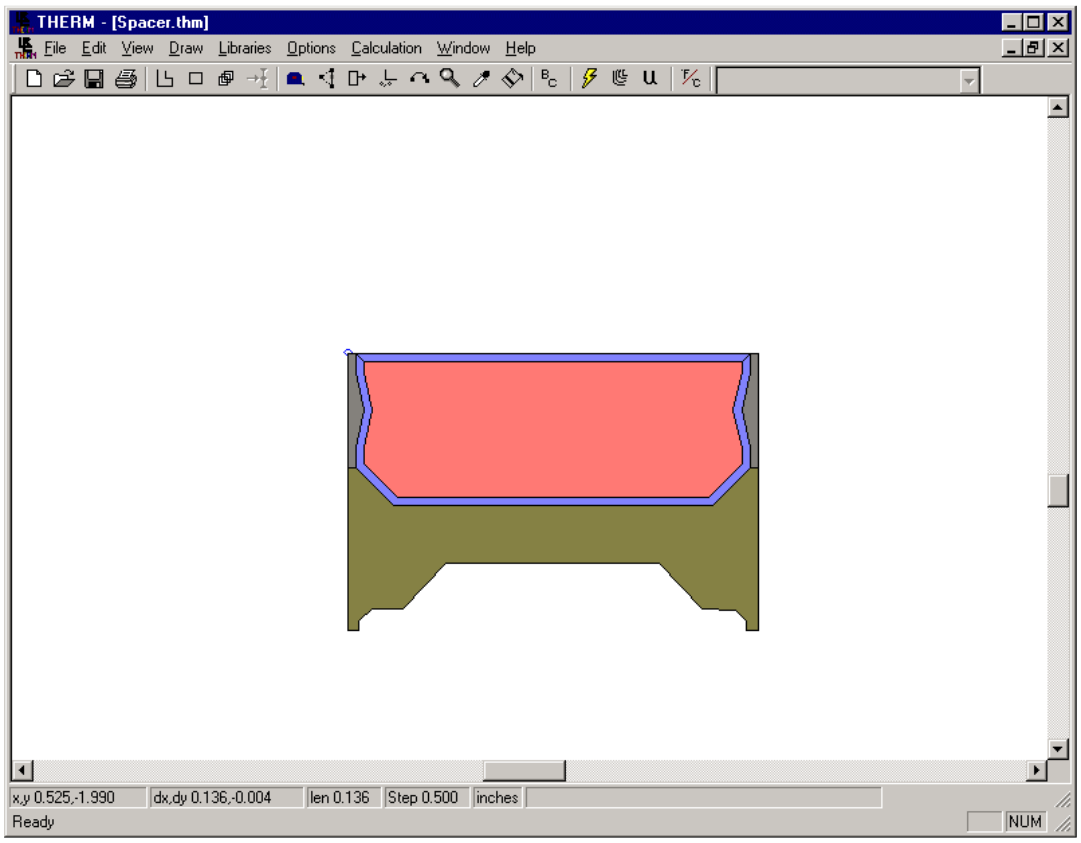


图 8-72：间隔条模型样本文件(Spacer.thm)

8.7.2. 将开口间隔条的空腔链接到玻璃系统的空腔

为了正确建模计算玻璃系统内部的开口间隔条，可以将间隔条周围及内部的空腔链接到玻璃系统的空腔。《THERM 用户手册》“第5.11.5节：链接多边形的材料属性”详细解释了这种方法。

判断开口间隔条内的空腔是否应与玻璃系统的空腔体相连，需要遵从 第6.4.4节 的规定。

链接两种材料属性的具体操作步骤如下，假设要使 1# 多边形具有 2# 多边形的属性：

① 鼠标左键，选中 1# 多边形

② 鼠标移至主菜单 → Libraries → 点击Create Link

③ 光标将变成 → 鼠标移至 2# 多边形上点击，这样就使 1# 多边形具有了 2# 多边形的属性

当使用“多个玻璃选项”时，THERM 将自动为间隔条的空腔赋予每个玻璃选项中玻璃系统空腔的属性。

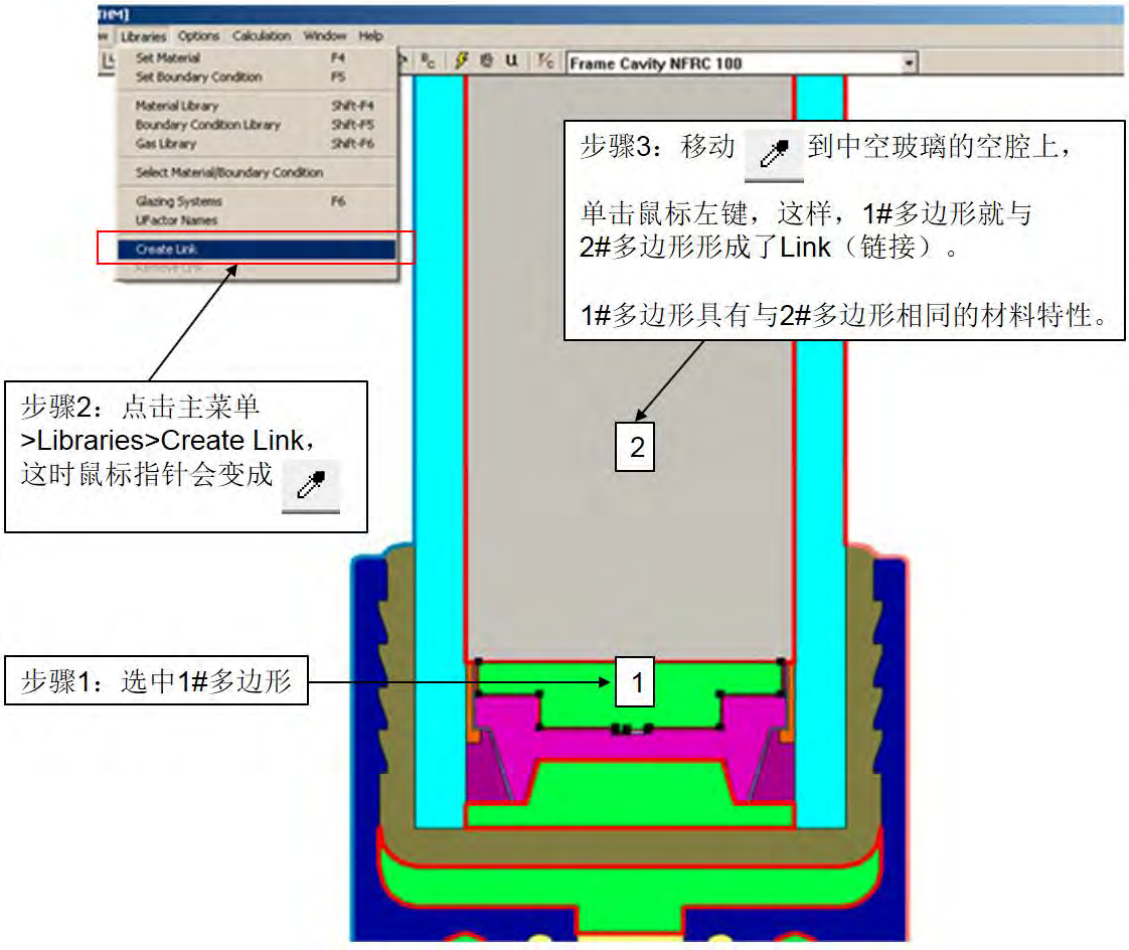


图 8-73：将玻璃系统空腔的属性赋予开口间隔条的空腔

另一个开口间隔条的例子如下图所示。对于密封的中空玻璃，链接框架空腔和玻璃空腔的 5 mm 规则 是不适用的。因此，在下面的例子中，间隔条内部以及两侧的小空腔，都被 Link（链接） 到玻璃空腔，而与“喉”的大小无关。

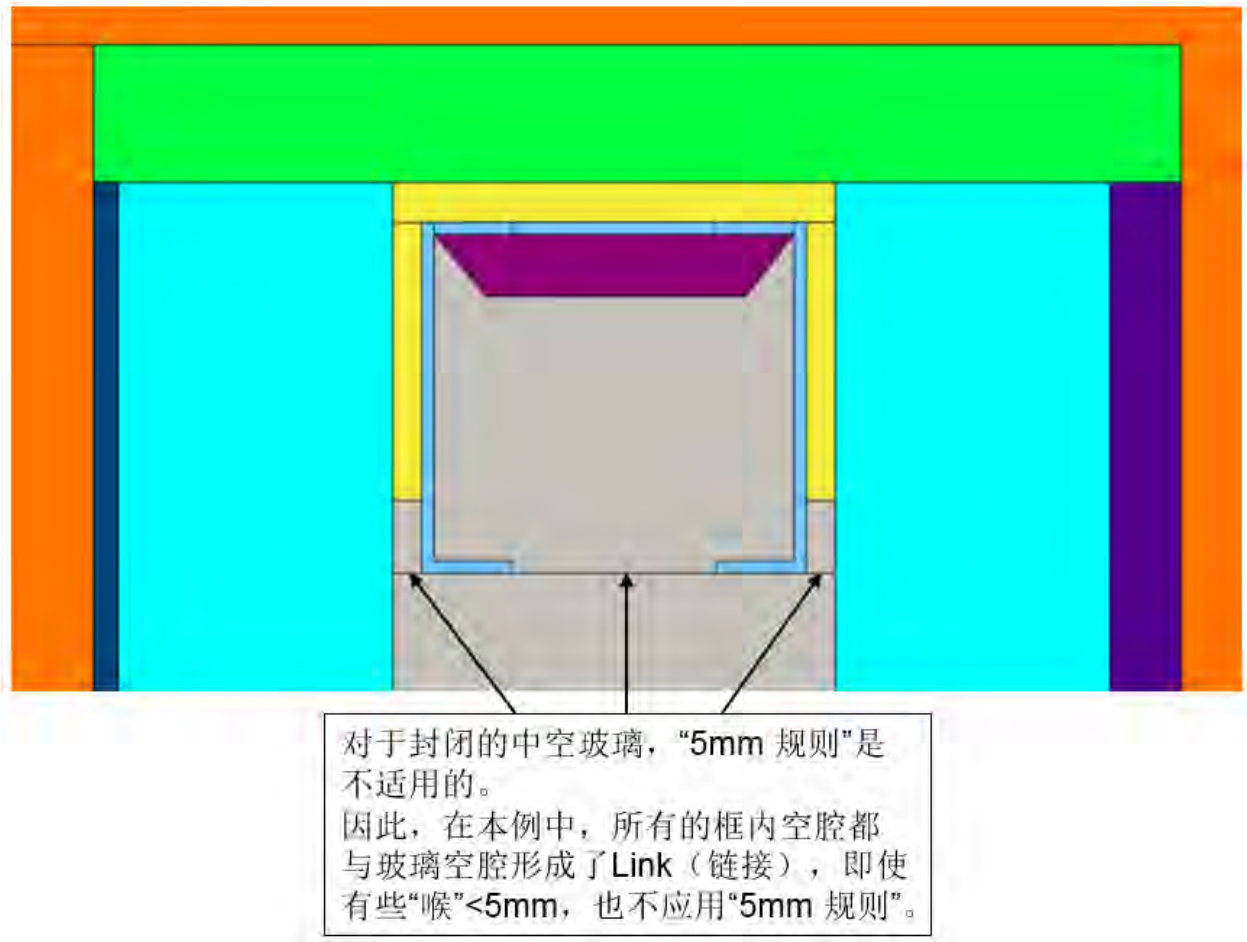


图 8-74：中空玻璃内开口间隔条的空腔不适用“5mm 规则”

8.7.3. 间隔条系统内的封闭空气腔

间隔条系统内部不与玻璃腔体连通的空气空间，不应与玻璃腔体建立连接，而应赋予用户自定义的导热系数值 0.024 W/m-K，以及默认发射率 0.9。这包括所有带孔洞的间隔条，并且无论玻璃腔体采用何种气体填充类型，此规定均适用。要在 THERM 中创建这种新的固体材料，打开 Material Library (材料库)并按照以下方式输入：

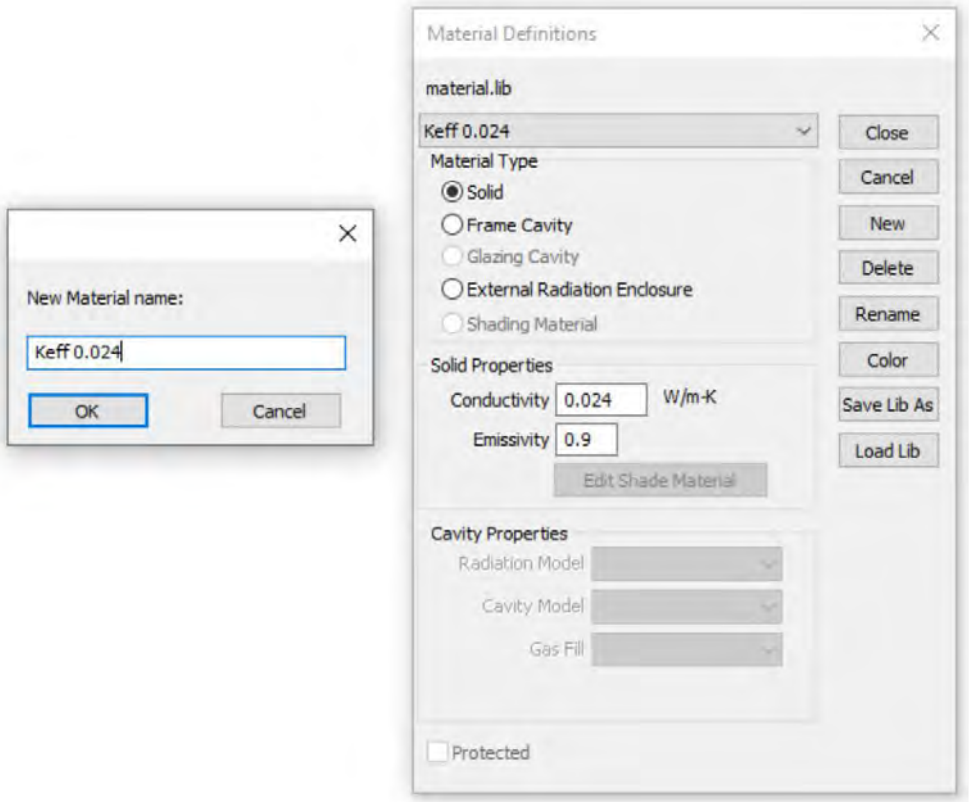


图 8-77：创建封闭空气腔的导热系数

创建新材质后，用该材质填充所有封闭腔体（例如：不与任何玻璃腔体连通的区域）。下图展示了此类间隔条系统的示例。

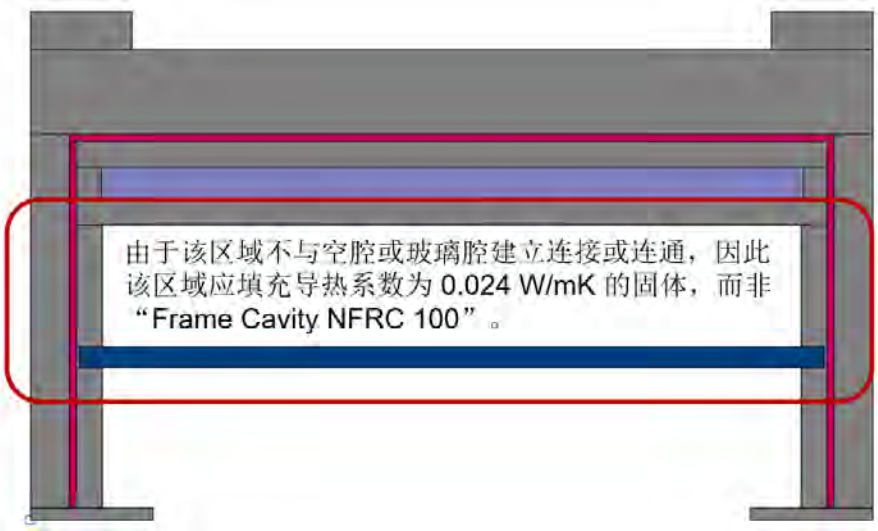


图 8-78：带有封闭空气腔的间隔条系统示例

注：0.024 W/m-K 与螺栓等非通长热桥构件的等效导热系数计算中采用的空腔导热系数相同。

8.8. 非通长的热桥组件

螺栓、浇筑式断桥（包括部分去桥接的断桥材料）以及热开槽横截面，应使用等温面（Isothermal Planes）的原理进行热工建模。等温面方法根据桥接材料的间距尺寸，通过对产品有、无热桥接材料的部分进行面积加权，来计算桥接材料的有效导热率。该方法同样适用于其他规则间距的热桥，例浇筑式断桥系统。如果热桥接材料外侧的框架组件不是金属，则该方法不适用（例如，幕墙中热塑性压板通过刚性乙烯基隔热件连接到铝合金内部中间件的情况，可按照第8.8节的规定忽略对螺栓、螺钉等的建模）。

由 Brent Griffith、Elizabeth Finlayson、Mehrangiz Yazdanian 和 Dariush arassteh 于 1998年发表的 ASHRAE 论文“The Significance of Bolts in the Thermal Performance of Curtain-wall Frames for Glazed Facades（螺栓在幕墙框架及玻璃幕墙热工性能中的重要性）”中详细解释了螺栓对玻璃幕墙系统性能的影响。

使用 THERM 建模时，首先对有/无热桥的截面进行面积加权，计算得到该热桥材料的等效导热系数，并赋予自定义的新材料，将该信材料用于截面模型的计算，最终得到的就是综合了热桥影响的结果。

下图以一个幕墙系统为例，展示了使用等温面方法对该系统的热桥材料（螺栓）进行建模。

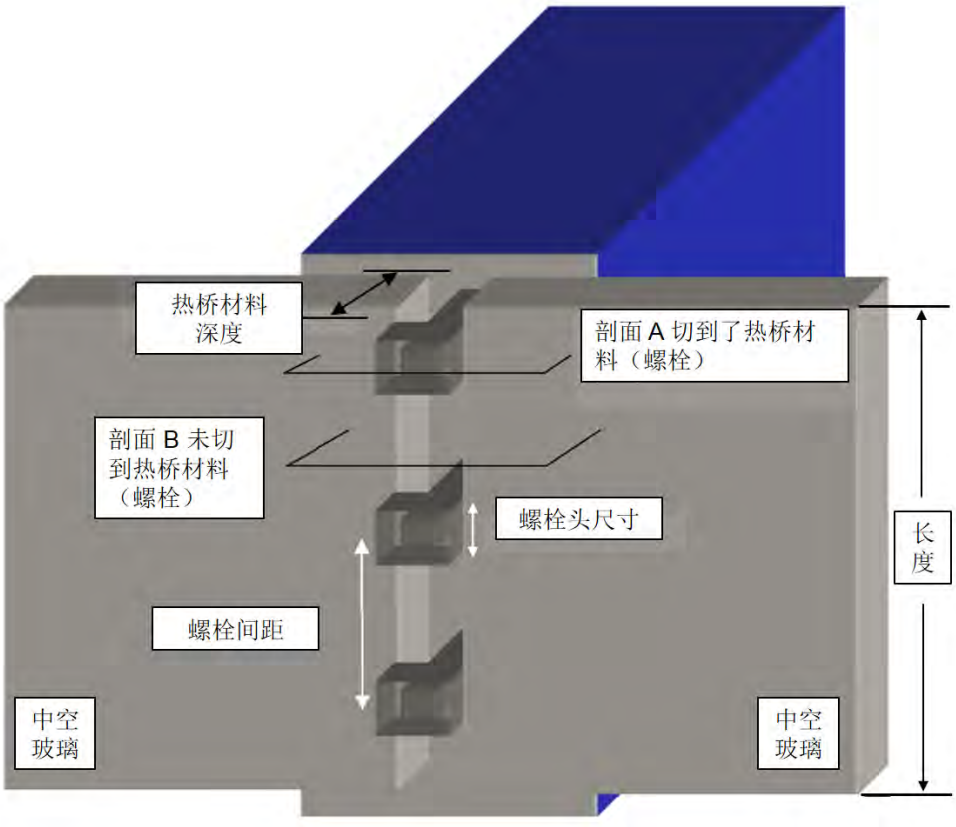


图 8-79：玻璃幕墙系统中有规律间隔的螺栓是热桥材料

8.8.1. 建模的步骤

最终计算前，THERM 模型的建模步骤如下：

① 绘制没有热桥材料的 THERM 模型。

② 确定穿透等温线的热桥材料的导热系数，需要以下信息：

a. 材料本身导热系数可从 THERM 的 Material Library（材料库）中获得

b. 空腔（如框架空腔）的导热系数假定为 0.024 W/(m • K)

③ 打开不含热桥材料的截面，测量其中的非热桥材料的深度。通常，这些材料在非热桥截面中具有各不相同的导热系数。

④ 利用下一节 [公式2] 中的非热桥材料的导热系数及其深度，确定每个非热桥材料的热阻 R值。

⑤ 计算上述热阻的总和 Rt，除以非热桥组件的总深度，得到 Kn，如 [公式3] 所示，用于计算非热桥组件的导热系数。

⑥ 用 [公式4] 和 [公式5] 计算沿截面长度方向的热桥材料和非热桥材料的比例。

⑦ 用 [公式1] 计算热桥组件的最终等效导热系数值。

⑧ 在 THERM 的 Material Library（材料库）中，新建一个自定义材料，并将上述 第7步 中得到的等效导热系数值赋予该材料。在这之后的建模步骤是常规的，不再赘述。

⑨ 进行模型运算。

8.8.2. 计算公式

■ 计算热桥组件（如螺栓、螺丝等）的等效导热系数的公式：

Keff = Fb * Kb + Fn * Kn ……[公式1]

式中，

Fb：热桥组件在截面长度方向的比例，见 [公式4]

Fn：非热桥组件在截面长度方向的比例，见 [公式5]

Kb：热桥组件的导热系数

Kn：非热桥组件的导热系数，根据总热阻 Rt 计算得到，见 [公式2]

在使用上述公式时，应注意下列事项：

- 如果热桥的长度比例 Fb 小于1%（Fb ＜ 0.01），则该热桥组件无需建模；
- 如果热桥的长度比例 Fb 在 1% 和 5% 之间（0.01 ≤ Fb ≤ 0.05），且该热桥组件的导热系数大于断热材料导热系数的10倍，则该热桥组件必须建模（等效导热系数按 [公式1] 计算）
- 如果热桥的长度比例 Fb 大于5%（Fb ＞ 0.05），则该热桥组件必须建模（等效导热系数按 [公式1] 计算）

- 通过对非热桥组件中各个构件的热阻进行求和，计算非热桥组件的总热阻 Rt，使用以下公式：

  Rt = Σ (D / k) ……[公式2]

  式中，

  Rt：各个非热桥构件的热阻之和，单位：m^2 • K/W （公制），或hr • ft2 • ° F/Btu（英制）

  D：单个非热桥构件的深度，单位：m（公制），或ft，in（英制）

  k：单个非热桥构件的导热系数，单位：W/(m • K) （公制），或 Btu/(hr • in • ° F)，
  Btu • in/(hr • ft2 • ° F) （英制）

- 又有：

  Kn = Dt / Rt ……[公式3]

  式中，

  Dt：总深度，为各个非热桥构件深度之和，单位：m（公制），或ft，in（英制）

- 计算热桥材料和非热桥材料在截面长度方向的比例，使用以下公式：

  Fb = Wb / Sb ……[公式4]

  Fn = 1 - Fb ……[公式5]

  式中，

  Wb：热桥材料的宽度：m（公制），或ft，in（英制）

  Sb：热桥材料的间距：m（公制），或ft，in（英制）

8.8.3. 算例1：玻璃幕墙的螺栓

注意：此算例中的数据为公制单位，没有转换为英制单位。

下图展示了一个典型的玻璃幕墙系统，图8-81 和 图8-82 分别是该系统的两个剖面位置。图8-81 展示了无螺栓处幕墙截面图；图8-82 展示了有螺栓处的幕墙截面图（螺纹必须按平均尺寸绘制，不能画得太详细)。图8-83 所展示的截面几何外形是被用于最终的模型计算的，稍后将详细介绍其中用于自定义材料等效导热系数的计算过程。

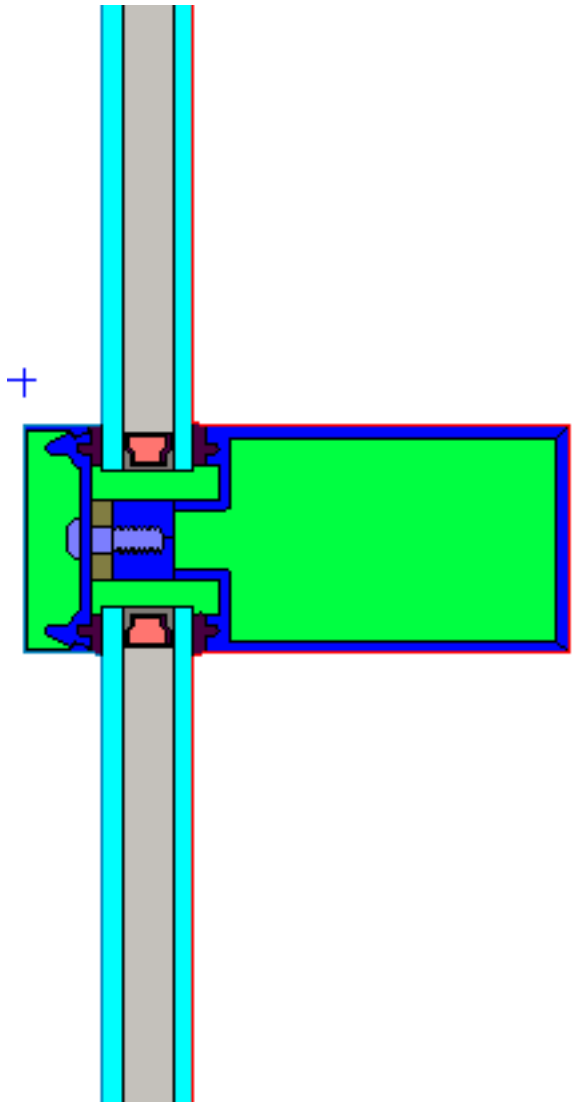


图 8 - 80：THERM截面模型中包含了螺栓(curtain wall bolt.thm)

下图显示了计算时必须用到的非热桥构件的导热系数值。材料1 和 4 是空腔，导热系数按照 0.024 W/(m • K) 考虑。

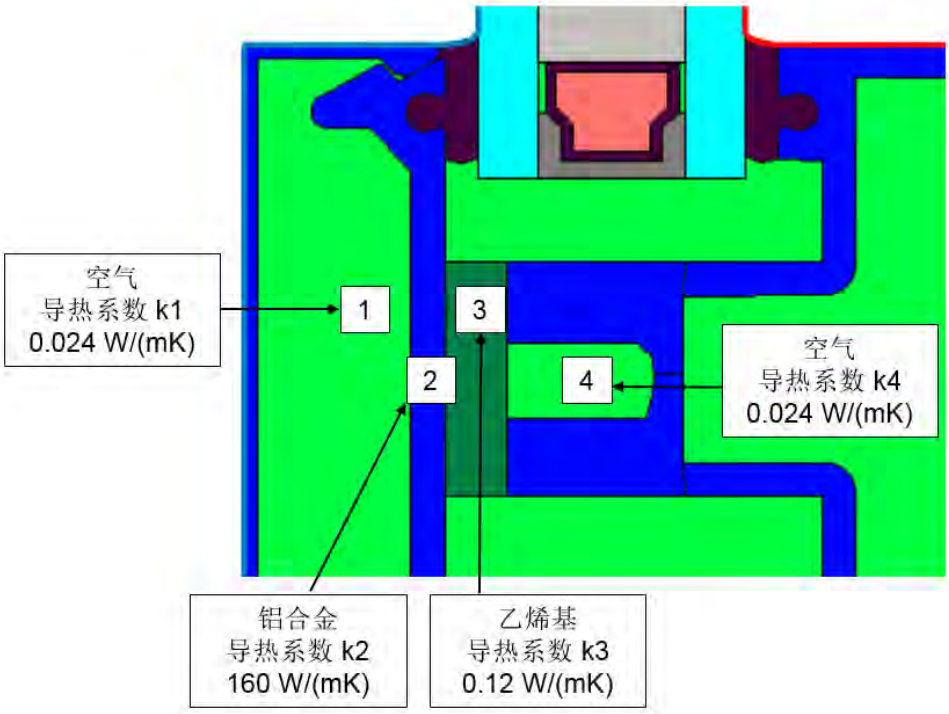


图 8-81：非热桥材料截面中的各个材料的导热系数

下图显示了在每个热桥材料的深度。

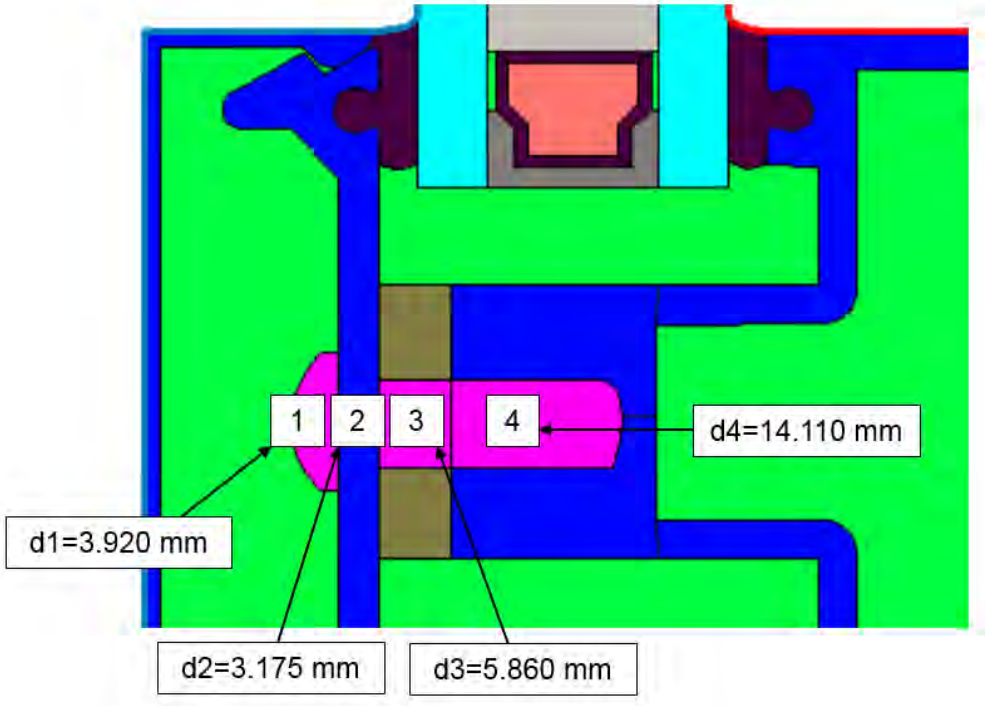


图 8-82：热桥材料的深度

表8-1 显示了用于计算每个非热桥材料的导热系数和深度值，并按 [公式2] 计算其热阻 R值

表 8-1 等效导热系数的计算过程

截面构件	材料	导热系数k W/(m • K)	深度d (m)	热阻R值 (R=d/k) m^2 • K/W
1	空腔（默认值）	0.024	0.00392	0.16333
2	铝合金（THERM 材料库）	160	0.003175	0.0000198
3	乙烯基（THERM 材料库）	0.12	0.00586	0.049
4	空腔（默认值）	0.024	0.01411	0.587917
	总计		0.02706	0.800103

① Rt 和 Dt 的计算结果如 表8-1 所示：

Rt = 0.800103 m^2 • K/W

Dt = 0.02706 m

② 计算导热系数

Kn = Dt / Rt = 0.02706 / 0.800103 = 0.033821 W/(m • K)

Kb = 14.3 W/(m • K)，对于不锈钢材质

③ 计算螺栓与无螺栓的截面长度比例：

Wb = 螺栓头宽度 = 11.1 mm

Sb = 螺栓间距12 " = 304.8 mm

Fb = Wb / Sb = 11.1 / 304.8 = 0.036，热桥的长度比例3.6%

Fn = 1-Fb = 1 - 0.036 = 0.964

④ 计算新材料的等效导热系数 Keff：

Keff = Fb * Kb + Fn * Kn = (0.036 * 14.3) + (0.964 * 0.033827) = 0.55 W/(m·K)

在 THERM 中，在 Material Library（材料库）中创建一个导热系数为 0.55 W/(m·K) 的新材料。在THERM 截面模型中，螺栓的材质从不锈钢改为这种新材料，铝合金压板除外，这是因为铝合金压板是导热系数更高的材料。最终模型计算所得到结果是综合考虑了有/无热桥影响的等效值。

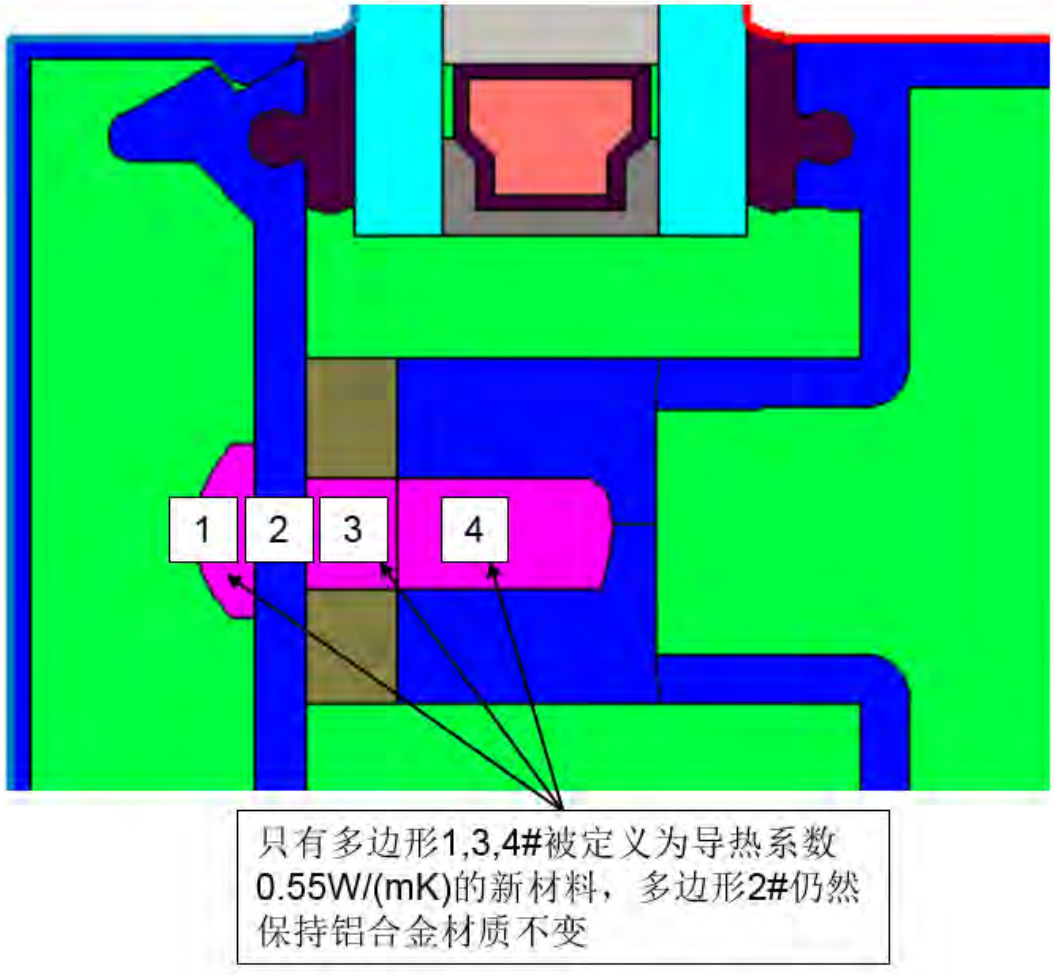


图 8-83：最终的THERM模型

8.8.4. 算例2：局部开槽的截面

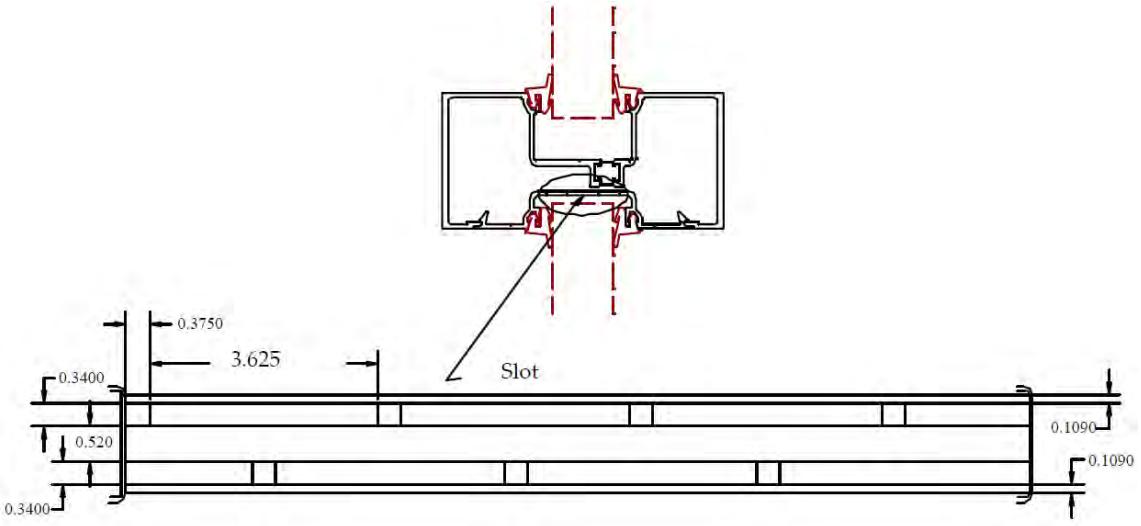


图 8-84：局部开槽的截面图纸

第一步

Skip（跳格）：L1 = 0.375 (in) = 0.009525 m

Slot（槽口、空气）：L2 = 3.625 (in) = 0.092075 m

间距：L3 = L1 + L2 = 0.1016 m

Fb = L1 / L3 = 0.009525 / 0.1016 = 0.094，热桥的长度比例9.4%

Fn = 1 - Fb = 1- 0.094 = 0.906

由于热桥长度的比例 9.4% ＞ 5%，所以需要用等温面方法计算。以下计算仅以公制单位进行示范。

Kb = 160 W/(m • K)，跳格的导热系数

Rt = D / k = (0.34*25.4/1000) / 0.024 = 0.35833 m^2 • K/W

式中 D 为热桥在热流方向上的长度，假设空气的导热系数为 0.024 W/(m • K)

Kn = (0.34*25.4/1000) / Rt = 0.024 W/(m • K)

Keff = Fb * Kb + Fn * Kn = 0.094 * 160 + 0.906 * 0.024 = 15.062 W/(m • K)

第二步

在 Material Library（材料库）中创建一个导热系数为 15.062 W/(m·K) 的新材料，并将原先的“空气-铝-空气”组件替换为该新材料。

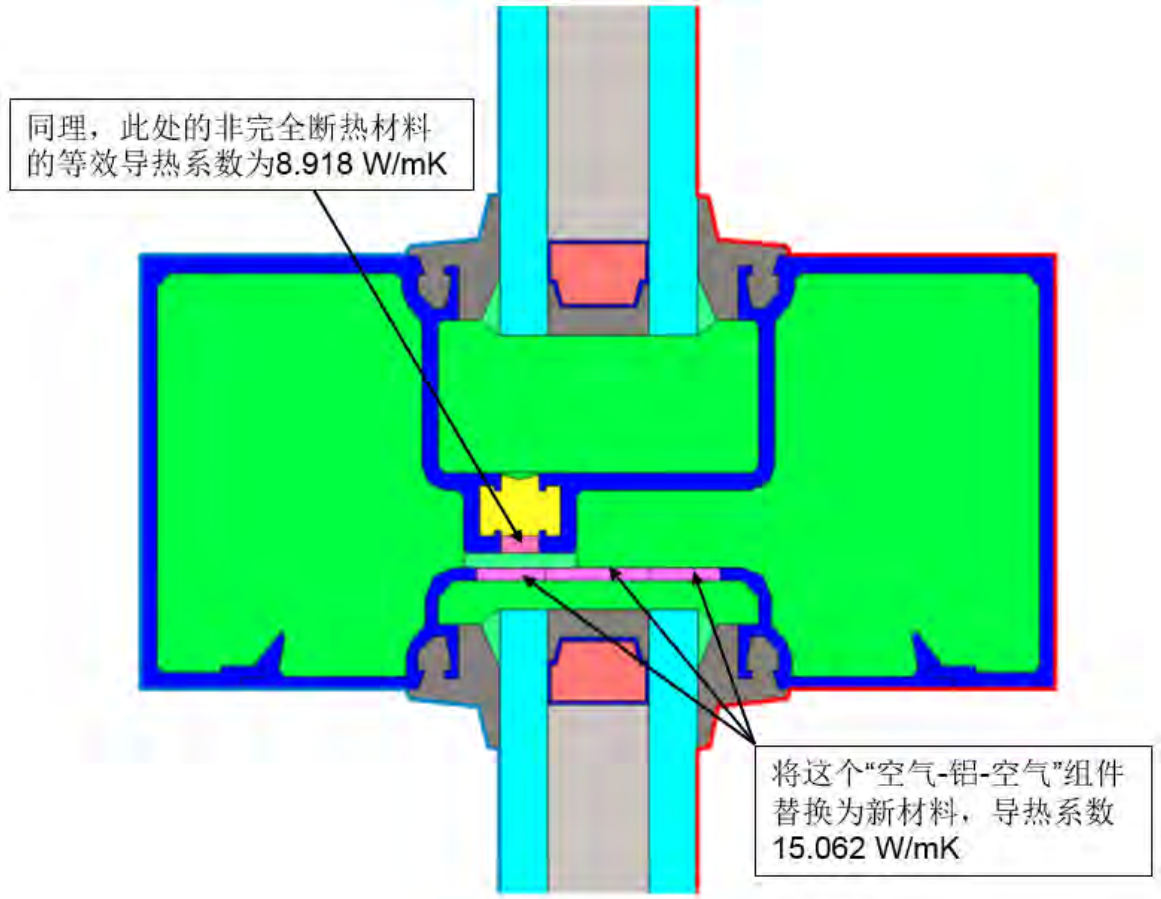
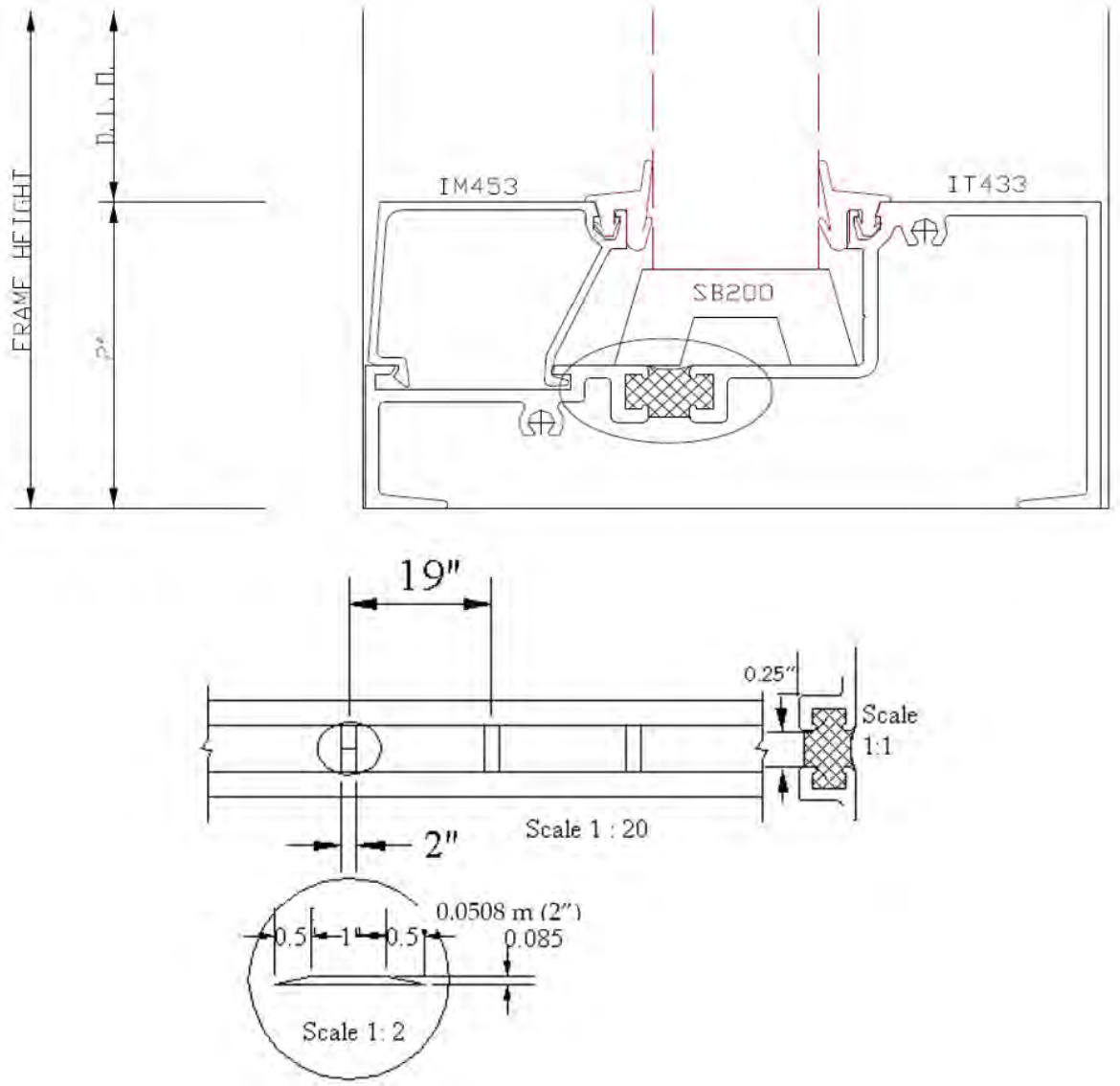


图 8-85：为局部开槽的热桥组件分配新的等效导热系数

第三步

定义边界条件，并运行模型来计算框架和玻璃边缘的 U值。

8.8.5. 算例3：非完全断热的截面



注：梯形“跳格”应视为等效的矩形。

图 8-86：算例3的图纸

第一步（第二、第三步同上节）

Skip（跳格）：L1 = 0.0508 m (2 in)

Debridge（槽口、空气）：L2 = 0.4318 m (17 in)

间距：L3 = L1 + L2 = 0.4826 m

Fb = L1 / L3 = 0.0508 / 0.4826 = 0.1053，热桥的长度比例10.53%

Fn = 1 - Fb = 1- 0.1053 = 0.8947

由于热桥长度的比例 10.53% ＞ 5%，所以需要用等温面方法计算。

Kb = 160 W/(m·K)，跳格的导热系数

Rt = D / k = 0.00635 / 0.024 = 0.2646 m^2 • K/W

式中 D 为热桥在热流方向上的长度，假设空气的导热系数为 0.024 W/(m·K)

Kn = 0.00635 / Rt = 0.024 W/(m·K)

Keff = Fb * Kb + Fn * Kn = 0.1053 * 160 + 0.8947 * 0.024 = 16.869 W/(m·K)

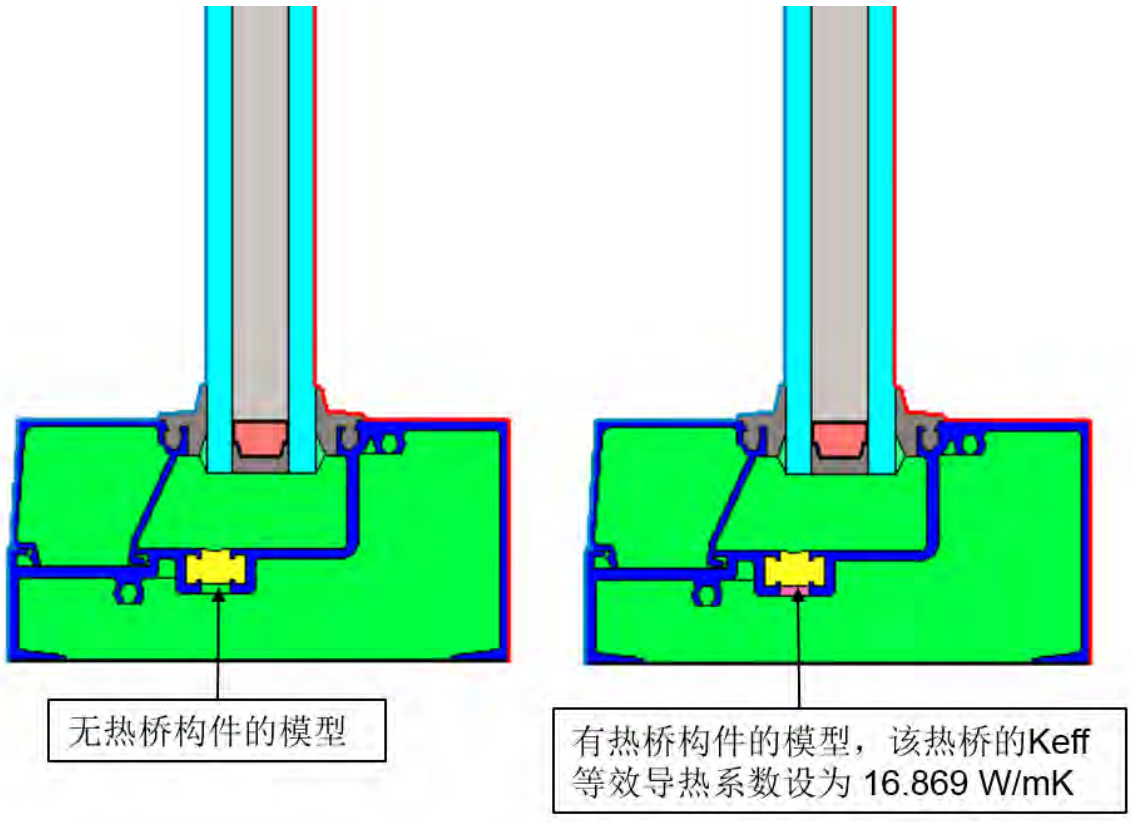


图 8-87：无热桥和有热桥(等效导热系数)的模型

8.9. 现场施工的门窗幕墙产品（幕墙、窗墙、斜幕墙）

关于幕墙、窗墙和斜幕墙，有几点注意事项：

- 仔细检查图纸中的非通长构件。这些系统往往有许多这样的构件，包括剪力垫块、压片和螺栓垫片。
- 现场施工产品的模型中有一部分和产品的安装方式有关，须确保图纸显示安装细节。
- 现场施工产品通常都带有多个连续的玻璃扇，其中的中立柱和中横梁以某种规律重复出现。
- 幕墙，遵照《ANSI / NFRC 100》标准文件的 表4-3，在建模和测试时，应取中间区域的中立柱作为 Jamb，中间区域的中横梁作为 Head 和 Sill。
- 窗墙，也称为条形窗，遵照《ANSI / NFRC 100》标准文件的 表4-3，在建模和测试时，应取中间区域的中立柱作为 Jamb，标准区域的顶底横梁分别作为 Head 和 Sill。
- 斜幕墙，就像幕墙或窗墙一样，也可以根据中线尺寸进行划分和评级。日光浴室和阳光房中斜幕墙的建模和测试，应包含标准的边立柱和顶底横梁。

建模计算上述代表性产品，并用于比对物理性能测试，具体建模要求如下：

1. 对完全竖直的中间构件（左边立柱和右边立柱）进行两次建模：

   a. 第一次是用实木（或制造商提供的封闭材料）替换左边的玻璃，通常使用中空玻璃等厚的实木。

   b. 第二次是用实木（或制造商提供的封闭材料）替换右边的玻璃，通常使用中空玻璃等厚的实木。

2. 对水平构件进行建模，分两种情况：

   a. 如果是对于幕墙，第一次建模用实木（或制造商提供的封闭材料）替换顶部的玻璃，通常使用中空玻璃等厚的实木；第二次建模用实木（或制造商提供的封闭材料）替换底部的玻璃，通常使用中空玻璃等厚的实木。

   b. 如果是窗墙或斜幕墙，则用标准顶底横梁进行建模。

3. 物理热工测试的实验样板必须与按照上述要求进行建模的截面保持一致，实验步骤遵照《NFRC 102》标准文件。

4. 对实验结果的验证，是通过比较按照上述步骤1和2建模计算产品获得的值与物理测试结果进行的。

8.9.1. 幕墙、窗墙和斜幕墙

NFRC 将幕墙和窗墙定义为任何不承受竖向荷载的建筑墙体。幕墙和窗墙系统通常位于建筑主体结构的外侧，而且通常会跨越建筑楼层。

《ANSI / NFRC 100》标准文件的 表4-3 规定：幕墙、窗墙和斜幕墙系统的建模，必须包含两块玻璃和一个竖向中立柱。关于参与建模的幕墙、窗墙和斜幕墙系统的具体构件，请参阅本节的介绍。如果中间的竖向和水平构件（Jamb，Head，Sill）是按照全宽或全高进行建模的，那么所建模计算的框架总面积将明显大于实际情况，因此，为了评级目的，一些构件的截面（取决于它是幕墙、窗墙还是斜幕墙）按照二分之一的全高（Head 和 Sill）或全宽（Jamb）的进行建模。中立柱总是按照全宽进行建模。

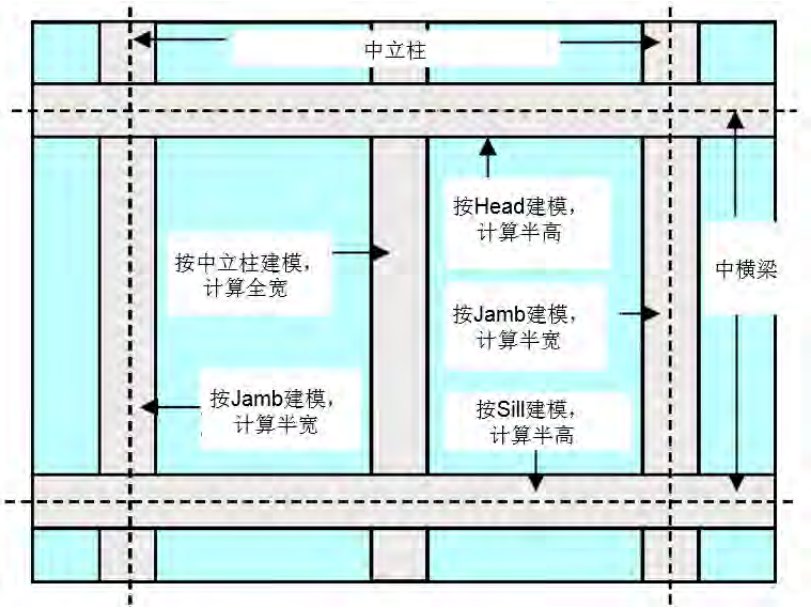


图 8-88：幕墙的建模方法

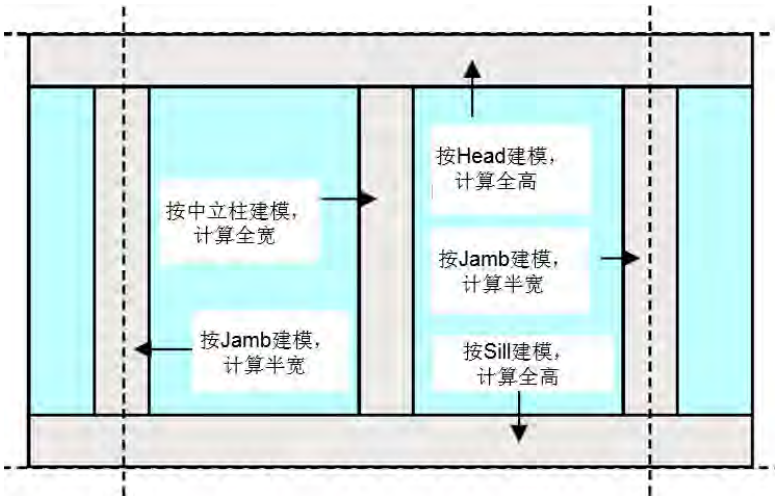


图 8-89：窗墙的建模方法

建模步骤：

幕墙：具体建模步骤见下一节。

窗墙：标准的 Head 和 Sill 建模步骤与普通的窗相同。

斜幕墙：建模步骤与幕墙或窗墙相似，除了截面的倾角是 20度。（关于倾角的建模，参照本章“第8.5节：天窗”的内容）

8.9.2. 幕墙的建模步骤

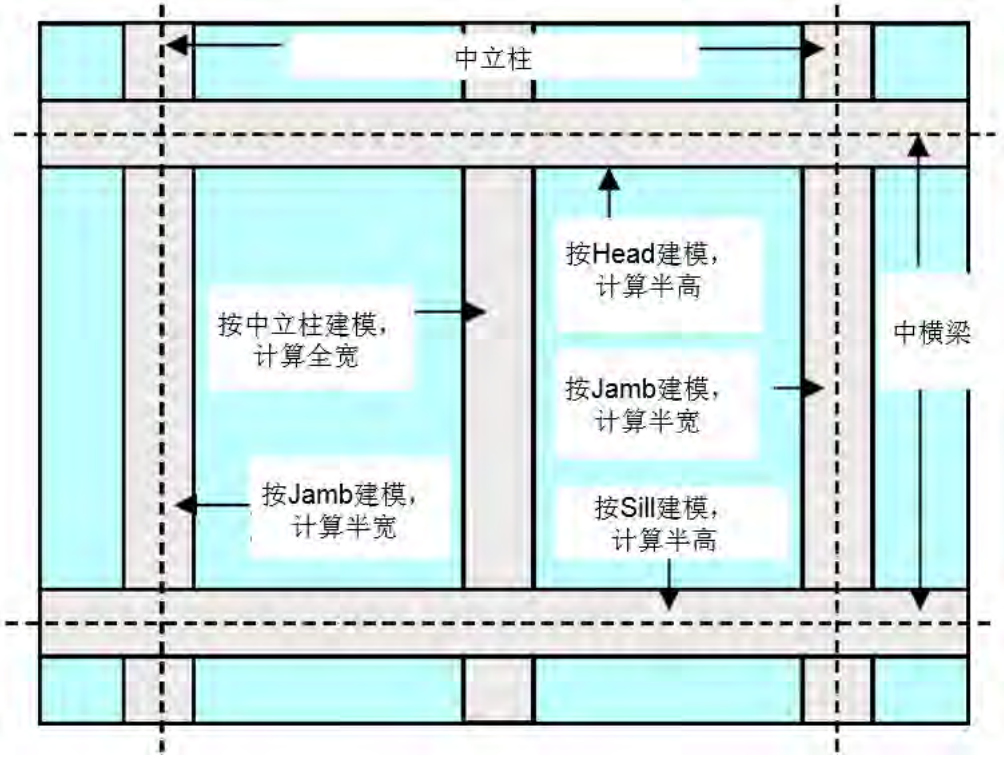


图 8-90：幕墙建模的模型(用虚线表示)用于评级，其中框架构件以其宽度的一半建模

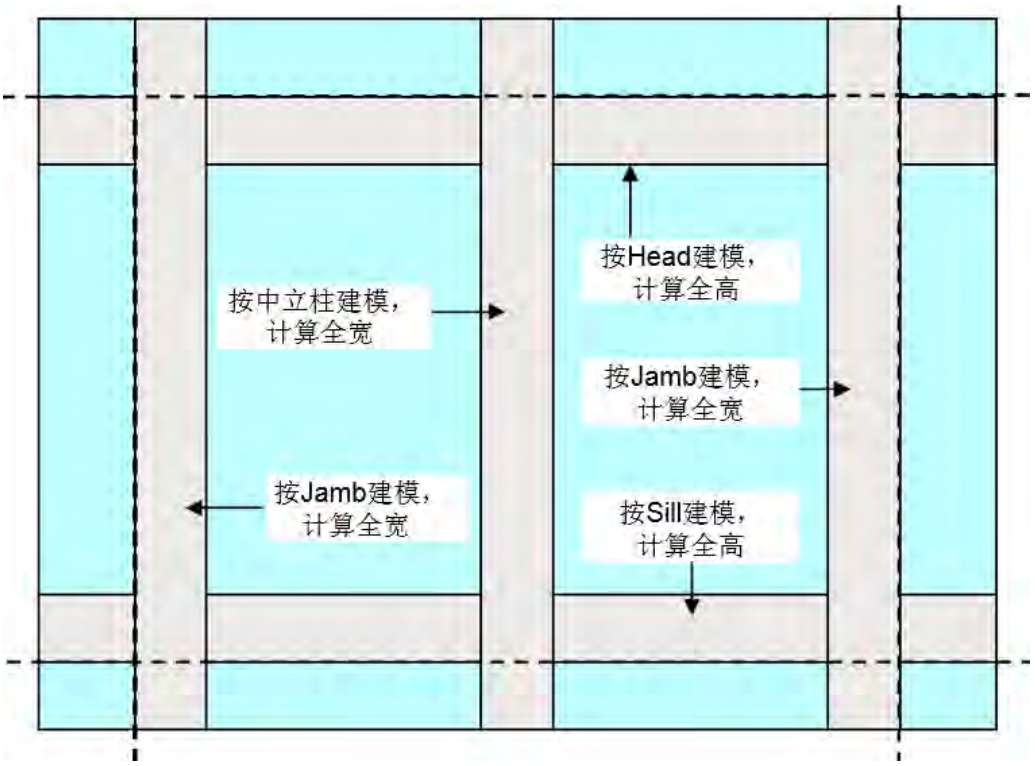


图 8-91：幕墙模型(用虚线表示)仅用于匹配物理性能测试

幕墙的建模步骤（NFRC 评级所需的建模）

在 WINDOW 中

① 与通常一样，在 WINDOW 中创建玻璃系统，Tilt（倾角）设置为 90 度。

在 THERM 中

② 与通常一样，绘制幕墙框架的截面。对于中立柱，建模的方法类似于平移窗的Meeting Rail（中框）。

下面将介绍创建中横梁和中立柱截面的建模步骤。在本例中，中横梁和中立柱截面是相同的，因此只需要一张图表示。

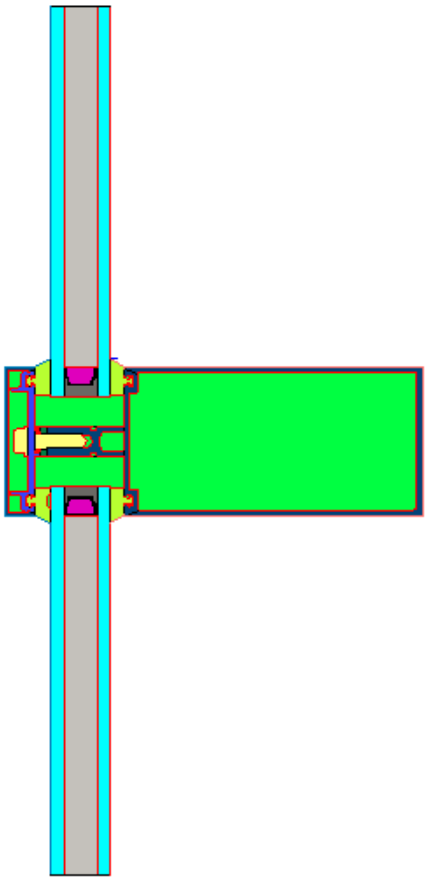


图 8-92：幕墙中立柱截面(mull.thm)

Mullion（中立柱）的建模：

使用带尺寸标注的图纸或 DXF 文件，创建中立柱框架的截面。下图显示了该截面模型在 THERM 中的样子。在导入玻璃系统前，应确保这部分的方向正确（即插入的玻璃为一上一下）。还应注意：

- 如果节点中包含螺栓，应检查其是否符合非通长热桥组件的建模条件，建模方法见 第8.8节。
- 特别注意铝材的表面处理，为多边形图块分配正确的材质。（下图中的箭头指向磨光铝）

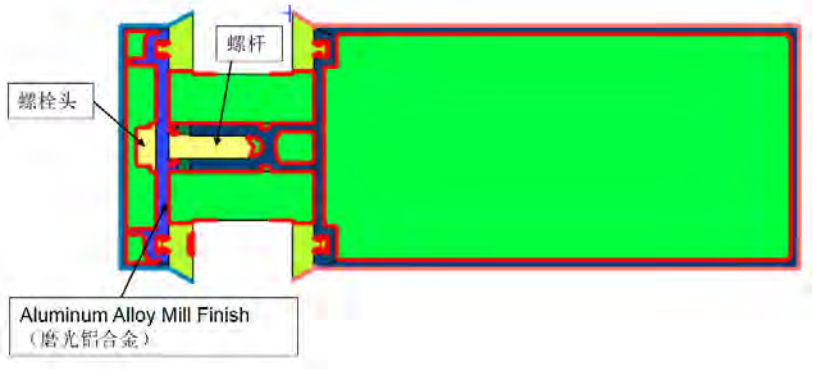


图 8-93：不带玻璃的幕墙中立柱截面(mull_noglass.thm)

这个中立柱截面将作为 Mullion（中立柱）和 Jamb（边立柱）模型的基础。为了准确定义 Jamb（边立柱）模型中的“半框”，首先要确定上下两处 Sightline（视线）之间的距离，再取其一半。建议使用“绘制临时参照图形”的方法，具体如下。

确定框架的中点

① 从视线的最高处为画出略大于框架深度的一上一下两个矩形。

② 在框架的左右两侧、上下两个参照矩形之间画出一左一右两个参照矩形，并确保它们与框架接触。

③ 测量竖向参照矩形的高度，所得尺寸的一半位置，就是这个框架的中点。

④ 在框架截面的室内外两侧，选中相应室内外框架组件，在其中点位置 Insert point（插入点）。

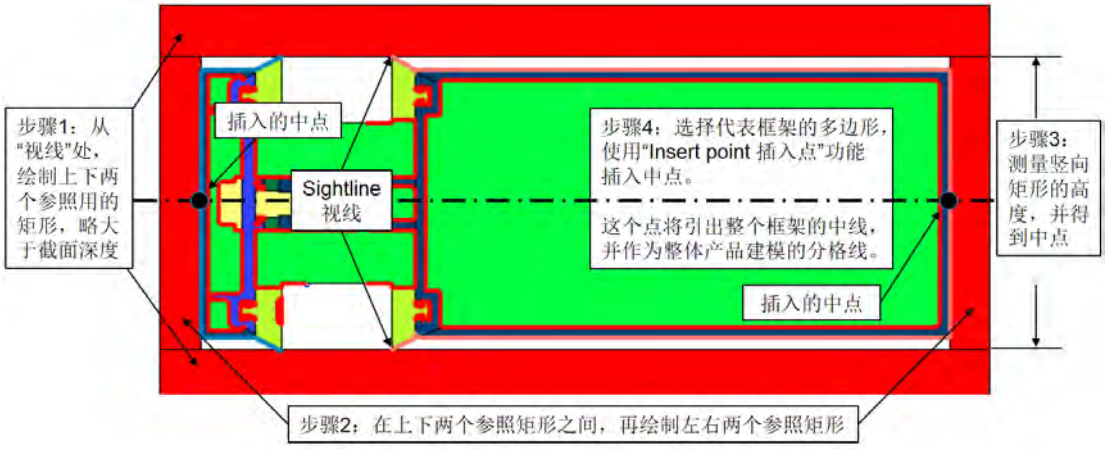


图 8-94：确定框架的中点(mull_midpoint.thm)

完成截面

① 删除四个参照矩形。

② 与通常一样，插入玻璃系统和间隔条。

③ 鼠标移至主菜单 → File → 点击 Properties 打开 THERM File Properties 对话框，在 Cross Section Type 下拉菜单中选择 Vertical Meeting Rail。

④ 分配边界条件和 U值标签，如下图所示：

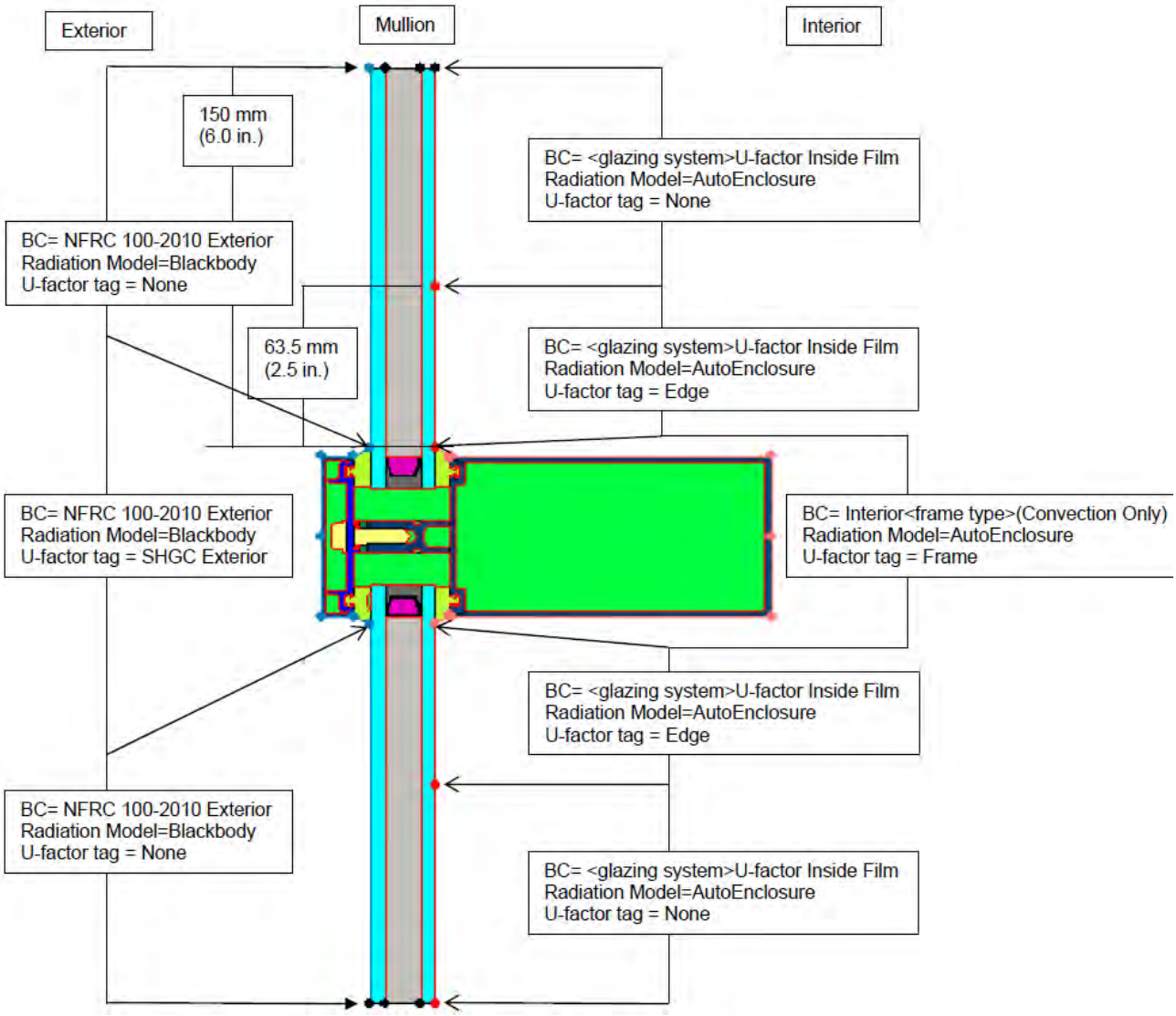


图 8-95：幕墙立柱的边界条件(mull_boundary.thm)

Jamb（边立柱）的建模：

在本例中，幕墙边立柱使用与中立柱相同的图纸。边界条件被调整以获得仅半框宽的热流。某些情况下，中立柱截面可能是非对称的图形，这样的话，左右半框需要分别建模为左边立柱和右边立柱。

对于 Right Jamb（右边立柱）：

① 复制已分配了边界条件的中立柱 THERM 模型。

② 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择 Jamb。

③ 不改变边界条件，但重新分配新的 U值标签，如下图所示：

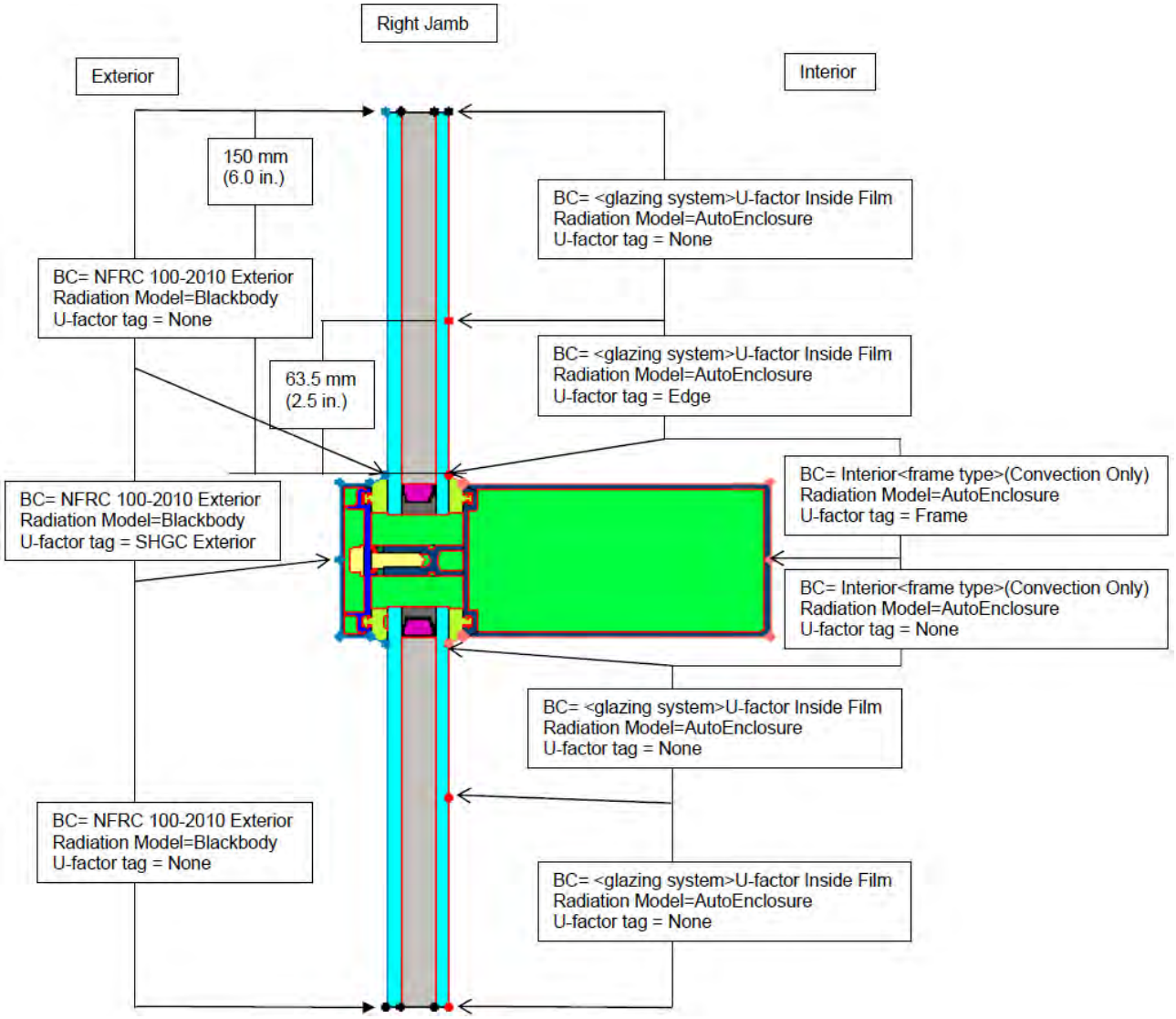


图 8-96：幕墙右边立柱的边界条件(rightjamb_boundary.thm)

对于 Left Jamb（左边立柱）：

建模方法与右边立柱相似，区别在于 U值标签 的设置：

右边立柱：上半部分设为 Frame 和 Edge，下半部分设为 None

左边立柱：上半部分设为 None，下半部分设为 Frame 和 Edge

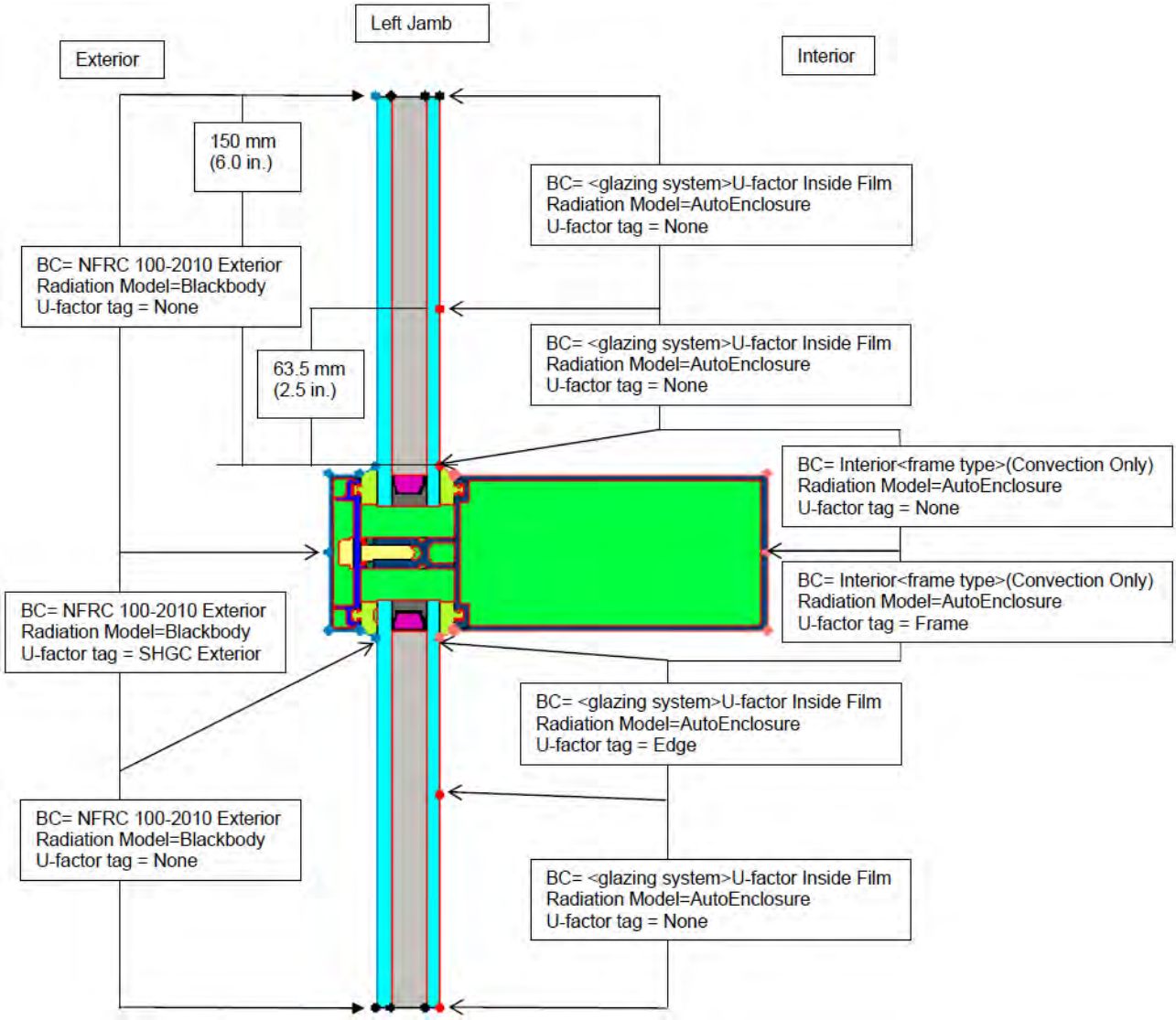


图 8-97：幕墙左边立柱的边界条件(leftjamb_boundary.thm)

注意：对于截面类型为 Vertical Meeting Rail 或 Jamb 等一类的竖直截面模型，无论是否勾选了 Use CR Model for Window Glazing System，THERM 是不会计算其抗结露值的。

Head 和 Sill（顶底横梁）的建模：

横梁截面的绘制方法与中立柱的完全相同，包括中点的插入。对于本例，横梁和立柱的截面是相同的，因此使用了相同的图纸。按照通常的方式分配边界条件，然后为顶底横梁分别分配新的 U值标签。

对于 Head（顶横梁）：

① 绘制截面模型。

② 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择 Head。

③ 分配边界条件和 U值标签，如下图所示：

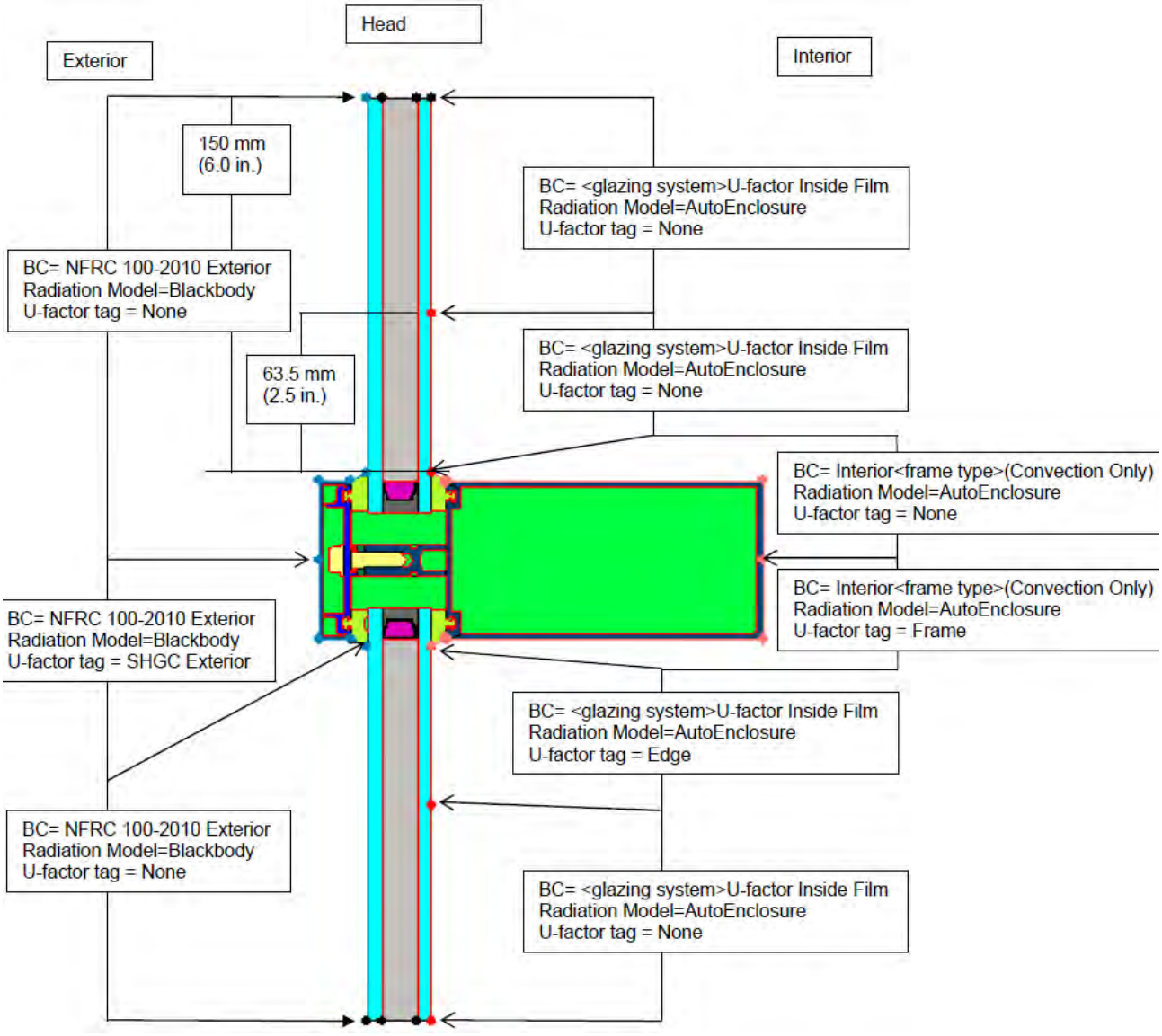


图 8-98：幕墙顶横梁的边界条件(head_boundary.thm)

对于 Sill（底横梁）：

① 绘制截面模型。

② 在 Cross Section Type 下拉菜单中选择 Sill。

③ 分配边界条件和 U值标签，如下图所示：

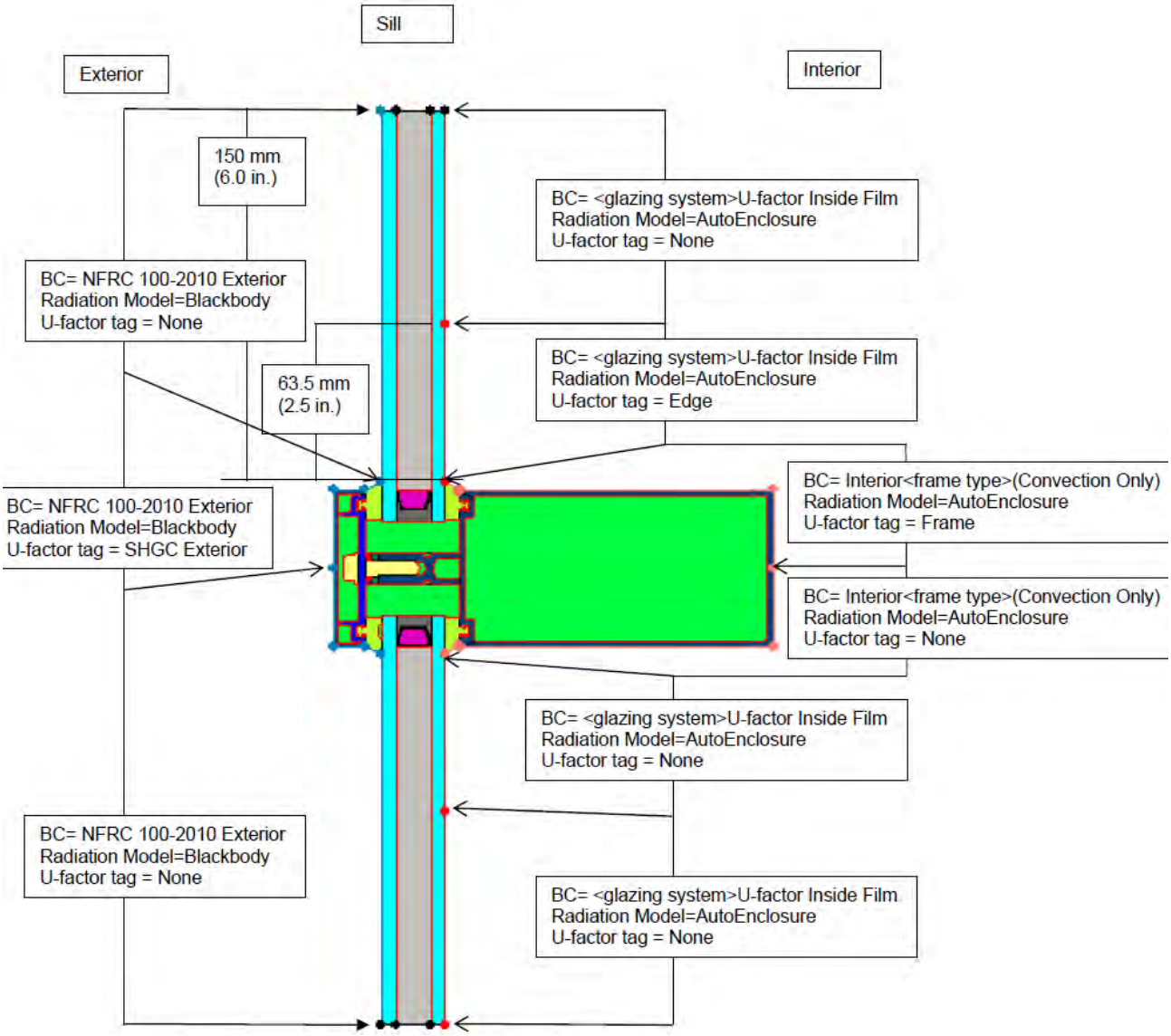


图 8-99：幕墙底横梁的边界条件(sill_boundary.thm 文件)

注意：这时，建议有必要校核截面朝向和重力矢量方向等基本设置。

在 WINDOW 中：

将这些 THERM 模型文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库），并在 Window Library（窗库）中创建和计算整体产品。

8.10. 车库门和卷帘门

车库门和卷帘门的建模不同于窗产品，因为它有更多的非透明部分需要用 THERM 中建模。门的建模流程包含在《ANSI / NFRC 100》标准文件中，在任何车库门和卷帘门建模之前，应该仔细阅读该文件。

与所有其它产品的建模一样，车库门和卷帘门中所有相关的截面必须在 THERM 中建模。《ANSI / NFRC 100》标准文件中对剖面、立面、模型细节以及用于计算整体产品性能值的面积加权方法进行了详细地定义和说明。本手册中的信息涵盖了使用 THERM 进行截面建模的具体步骤。

NFRC 规定了车库门和卷帘门中必须建模 9 个的部位，它们是：

- 框架（Frame）
- 门玻璃框架（Lite Frame）
- 格条（Divider）
- 格条边缘（Edge-of-divider）
- 门玻璃边缘（Edge-of-Lite）
- 门玻璃中心（Center-of-Lite）
- 门芯（Door Core）
- 门板（Panel）
- 门板边缘（Edge-of-Panel）

《ANSI / NFRC 100》通过样品门的示意图，对上述须建模的组件在实际门上的位置进行了说明。

当在建模带门格条的玻璃选项时，可以使用 NFRC 默认门格条样式，有关中空玻璃内部格条建模的内容，请参阅本章的“窗格”。

由于当前版本的 WINDOW 程序没有对门进行面积加权的功能，因此必须手动将 THERM 文件中的结果数据输入电子表格进行计算。在 THERM 程序中，U值标签可以有任何名称，而且为了准确描述模型，可以定义尽可能多的 U值标签（参阅《THERM 用户手册》“第6.2.4节：定义U值标签”），因此在手算时，可以利用该功能，并描述性地命名这些自定义的 U值标签。

8.10.1. 分段式车库门（保温的和非保温的）

整体产品的 U值 是将门上各个组件的 U值，进行面积加权平均计算出来的，参与计算的组件有：

- 顶轨（Top Rail）
- 底轨（Bottom Rail）

- 立轨（End Stile）
- 中框（Meeting Rail）
- 门板芯（Door Panel Core）
- 门玻璃边缘（Edge of Lite）
- 门玻璃中心（Center of Lite）

须使用 THERM 计算上述各组件的 U值。本节未涵盖带压花/凸面板的分段式车库门，这部分的建模方法与入户门的相似，请参阅入户门一节中的相内容。本节主要介绍边界条件的设置和其它建模假设的应用。

8.10.1.1. Top Rail（顶轨）模型

下图显示的是车库门的顶轨模型，包含一个2英寸 * 4英寸的木块，不包含扭力弹簧组件和任何非通长的五金件。模型中使用的边界条件类型和 U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Head

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

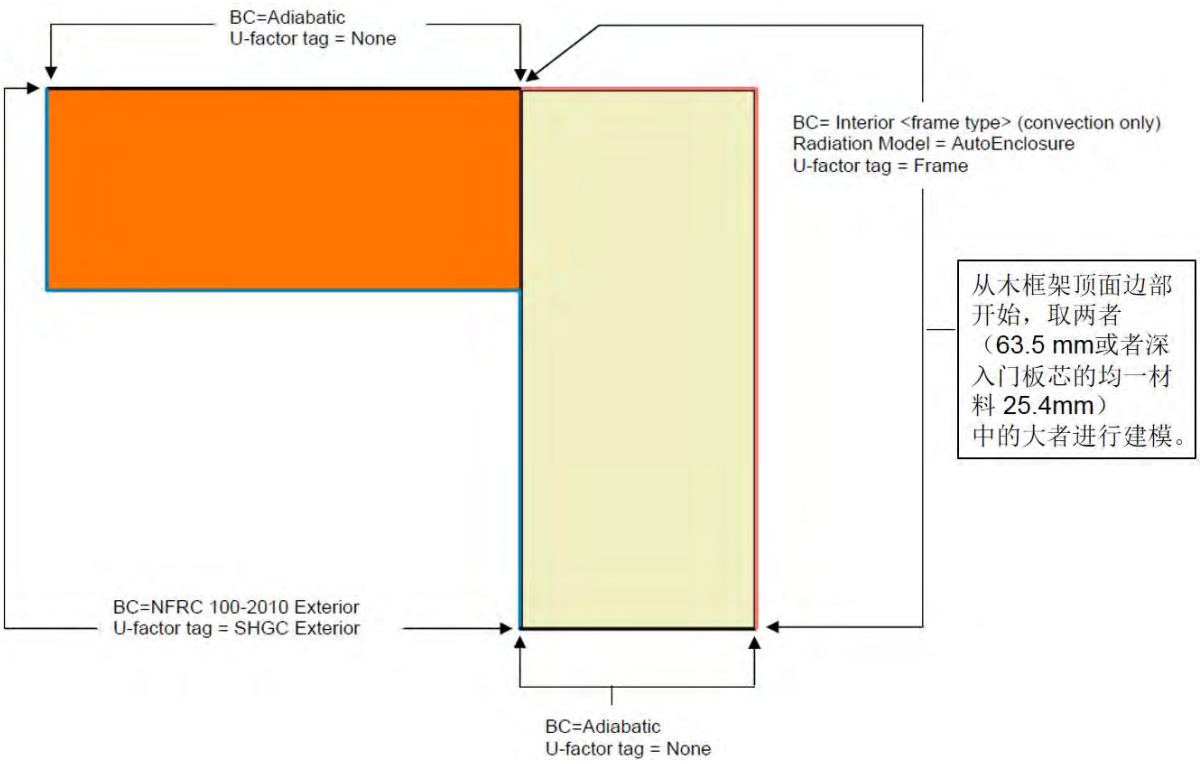


图 8-100：Top Rail模型

8.10.1.2. Bottom Rail（底轨）模型

下图显示的是车库门的底轨模型，包含一个2英寸 * 6英寸的木块。模型中使用的边界条件类型和U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Sill

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

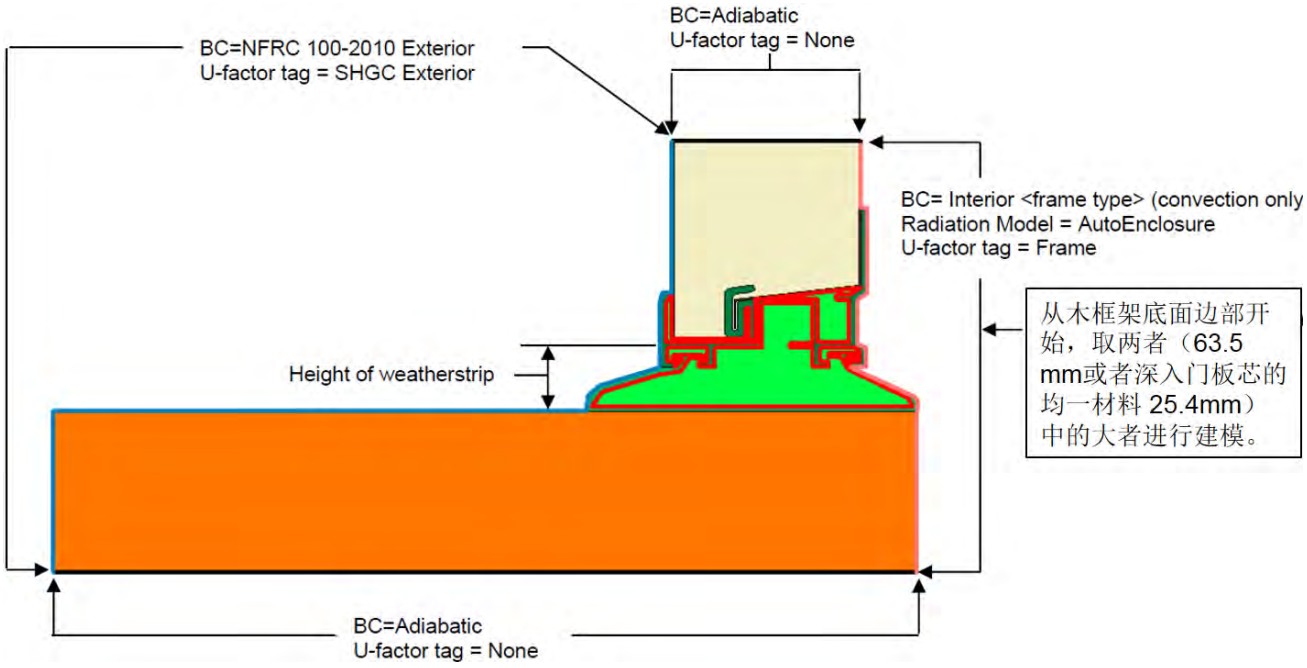


图 8-101：Bottom Rail模型

8.10.1.3. End Stile（立轨）模型

下图显示的是车库门的立轨模型，包含一个2英寸 * 4英寸的木块，投影框架的尺寸还应包含车库门板的 1英寸 均匀截面。任何非通长的五金件，如滚轮等不应包括在模型中。立轨模型使用的边界条件类型和
U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Jamb

Gravity Arrow（重力箭头）：进入屏幕

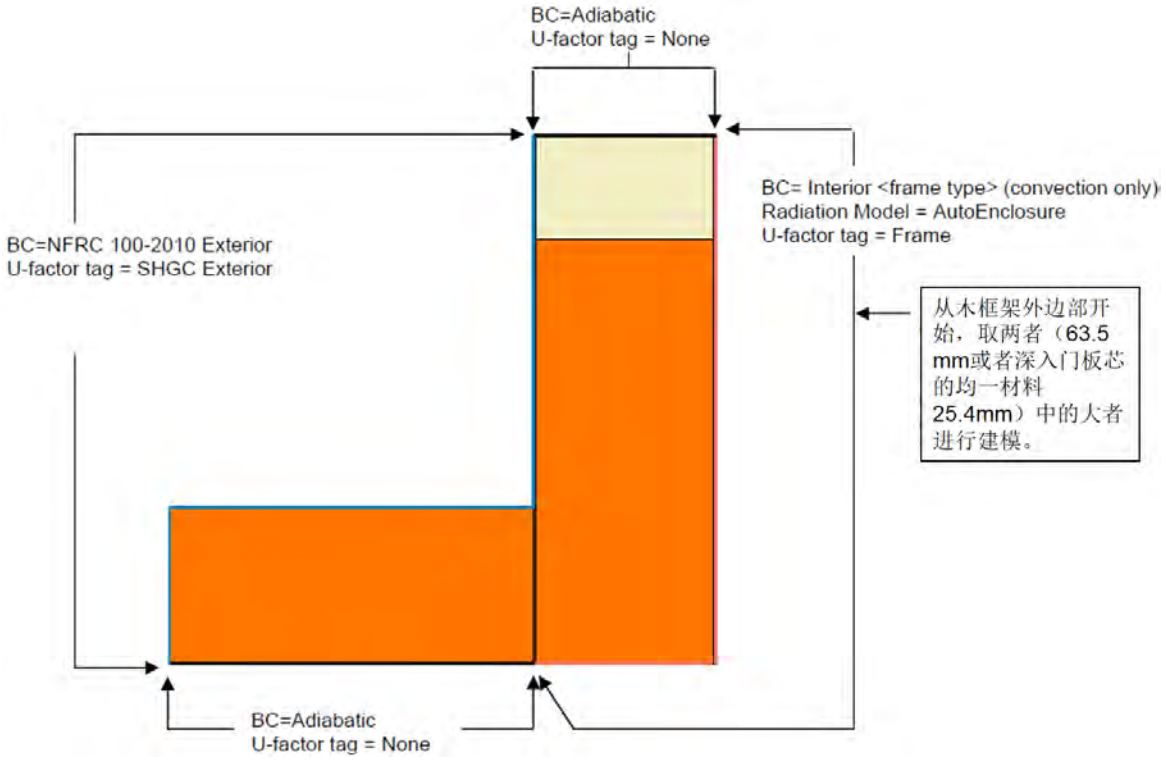


图 8-102：End Stile模型

8.10.1.4. Meeting Rail（中框）和 Door Panel Core（门板芯）模型

中框和门板芯是整体建模的，如下图所示。中框模型的两侧应包含 2.5 英寸（或 63.5 mm）长的连接面板，板芯截面的投影尺寸应等于：（面板高度 - 5英寸）/ 2

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Horizontal Meeting Rail

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

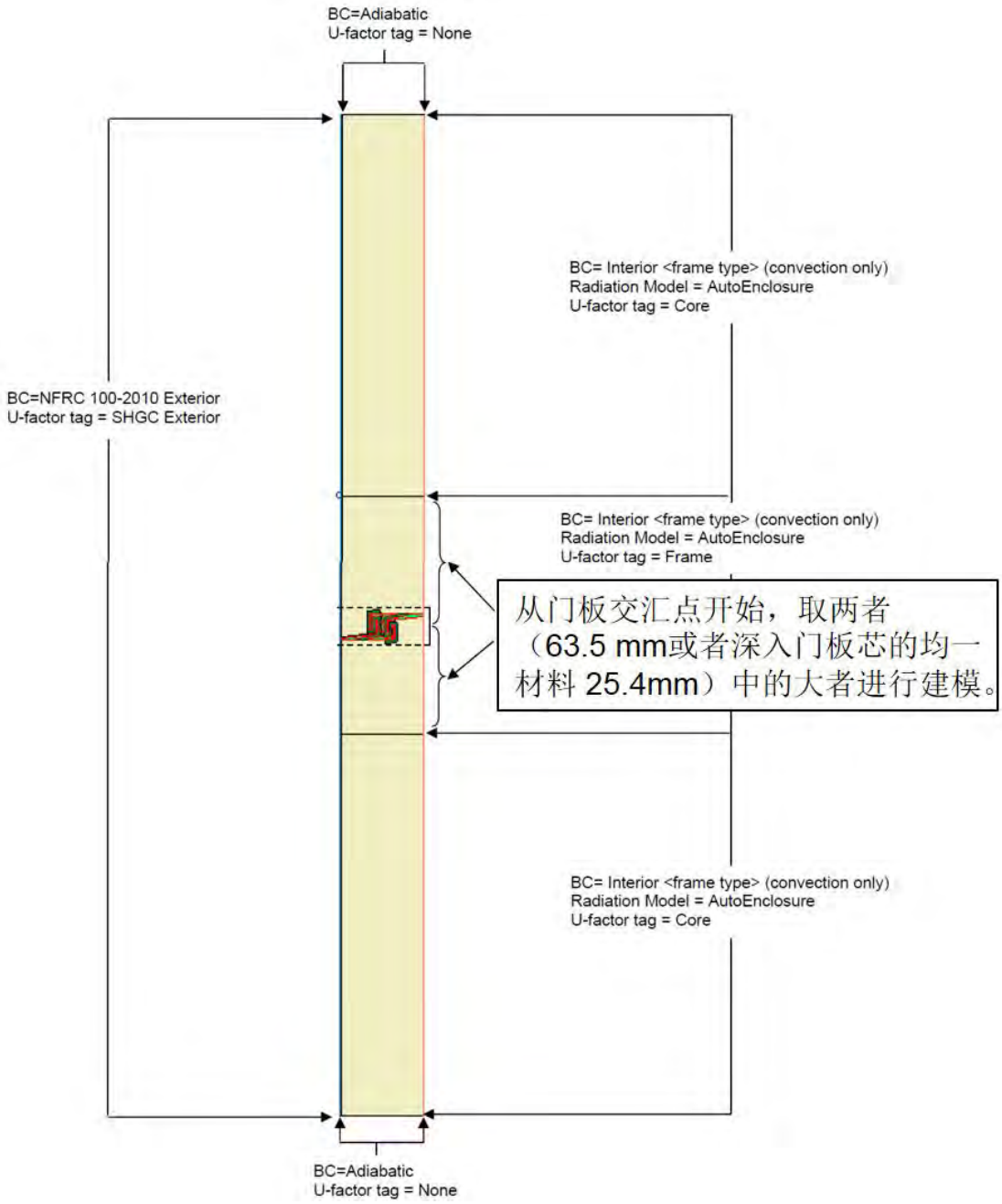


图 8-103：Meeting Rail和Door Panel Core模型

8.10.1.5. Edge-of-Lite（门玻璃边缘）模型

门玻璃边缘的建模方法与入户门的相同，关于入户门的具体建模步骤，请建模参阅本手册 第8.6节。下面是一个门玻璃底横梁的截面模型示例。本手册的 第9.5.4节 还有一个关于入户门建模的完整示例。

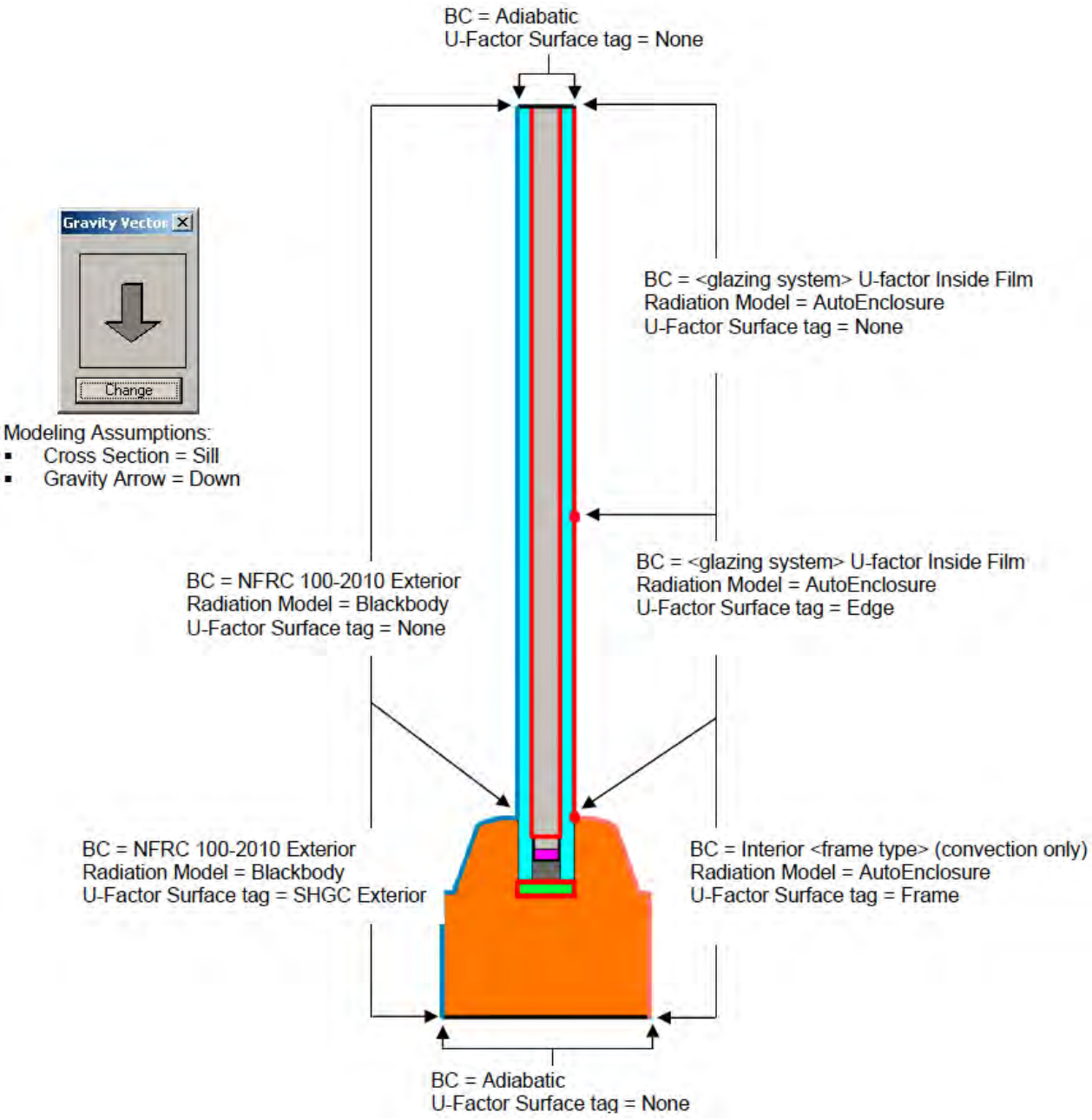


图 8-104：Edge-of-Lite模型

8.10.2. 卷帘门

卷帘门整体产品的 U值 是根据各组件 U值 的面积加权平均计算出来的，参与计算的组件有：

- 顶轨（Top Rail）
- 底轨（Bottom Rail）
- 立轨（End Stile）
- 门板芯（Door Panel Core）

须使用 THERM 计算上述各组件的 U值。本节主要介绍边界条件的设置和其它建模假设的应用。

8.10.2.1. Top Rail（顶轨）模型

下图显示的是卷帘门的顶轨模型，包含一个2英寸 * 4英寸的木块，不包含扭力弹簧总成和任何非通长的五金件。模型中使用的边界条件类型和 U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Head

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

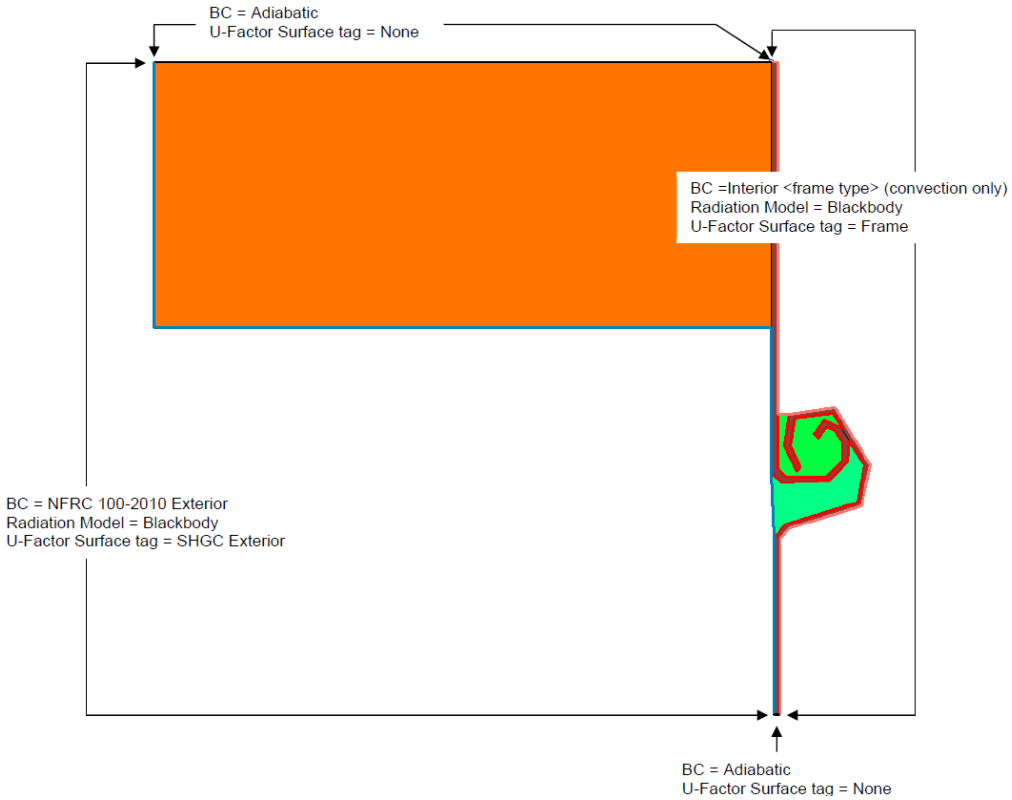


图 8-105：卷帘门的Top Rail模型

8.10.2.2. Bottom Rail（底轨）模型

下图显示的是卷帘门的底轨模型，包含一个2英寸 * 6英寸的木块。模型中使用的边界条件类型和U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Sill

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

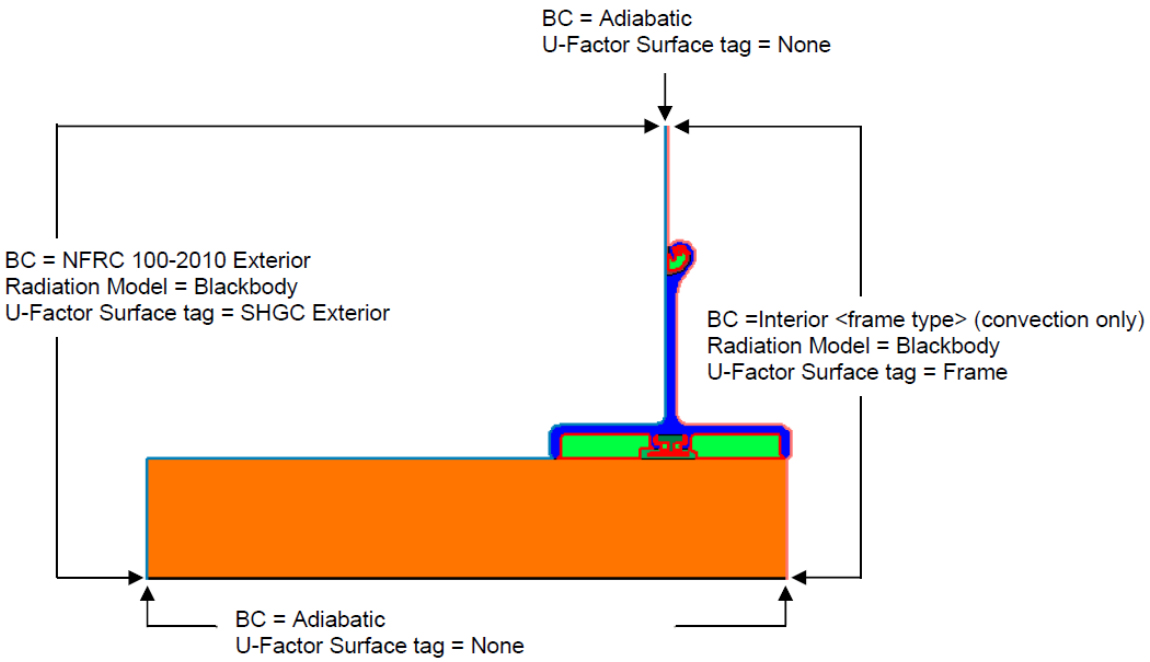


图 8-106：卷帘门的Bottom Rail模型

8.10.2.3. End Stile（立轨）模型

下图显示的是卷帘门的立轨模型，包含一个2英寸 * 4英寸的木块。立轨模型使用的边界条件类型和U值标签 如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Jamb

Gravity Arrow（重力箭头）：进入屏幕

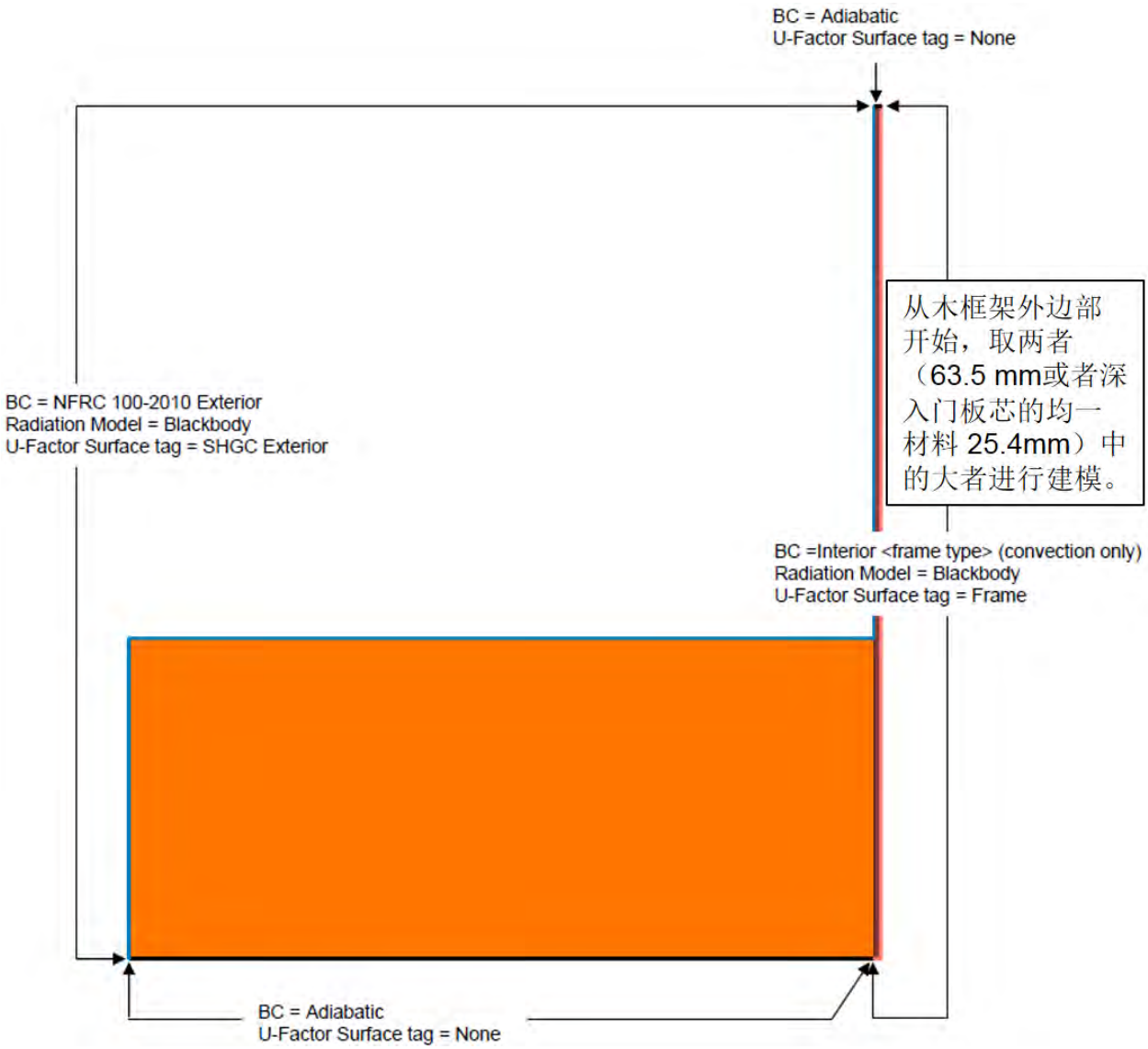


图 8-107：卷帘门的End Stile模型

8.10.2.4. Door Panel Core（门板芯）模型

门板芯模型应包括两个完整的板条和在两个末端的半板条，板条连接部分的详细信息应从制造商处获得。门板芯模型的边界条件如下图所示。

THERM File Properties 中的设置如下：

Cross Section Type：Horizontal Meeting Rail

Gravity Arrow（重力箭头）：Down

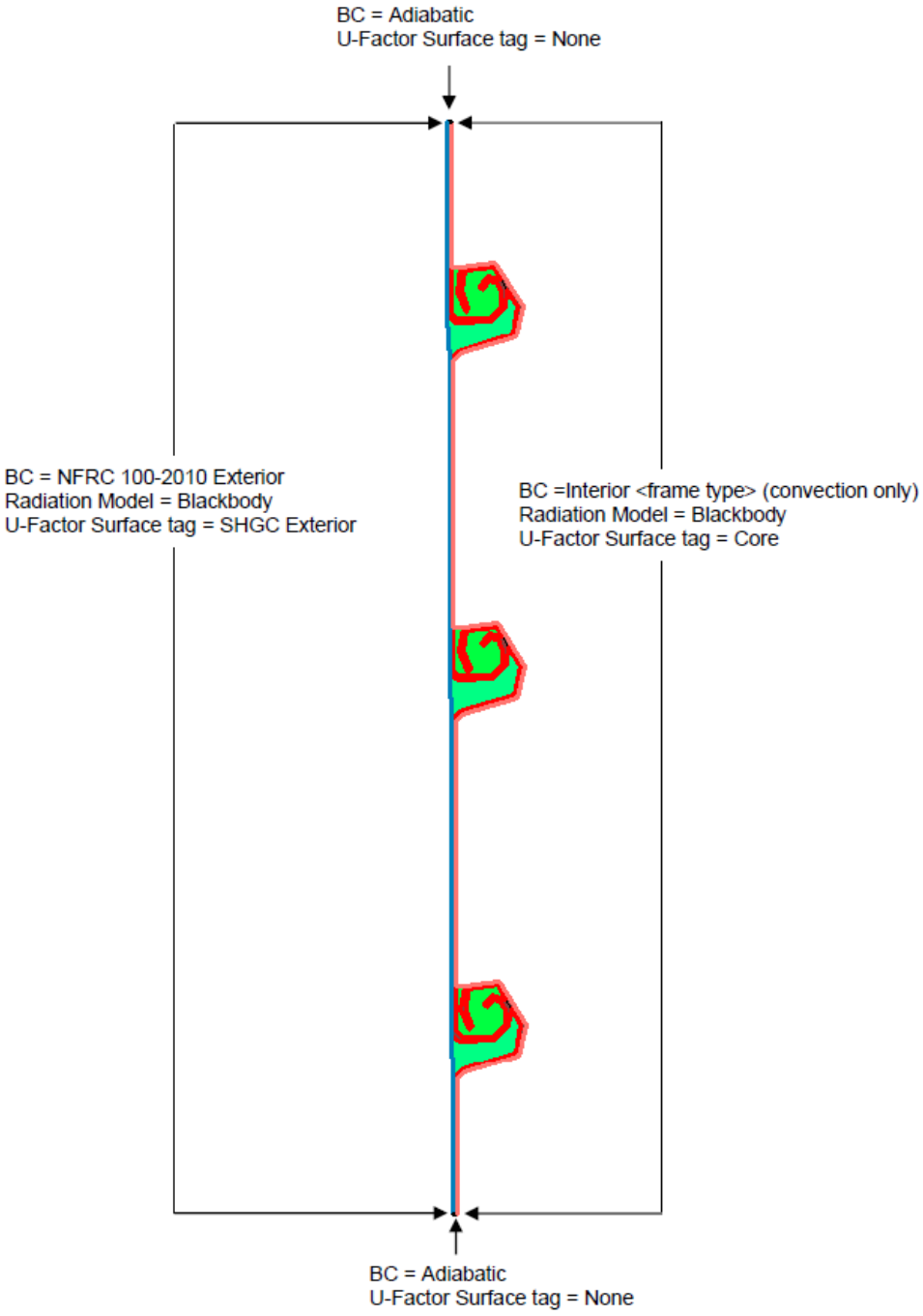


图 8-108：卷帘门的Door Core模型

8.11. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的夹层玻璃

8.11.1. 概述

对于 NFRC 认证建模，可以使用 OPTICS 程序创建夹层玻璃，但有以下限制条件：

- 夹层不能含有嵌入式涂层，嵌入式涂层定义为与中间层接触的基材上的涂层。
- 创建夹层玻璃时，只能使用 NFRC 认可的、Mode 栏带有 #（井号）标记的玻璃层。
- 玻璃层可以是着色玻璃或带有涂层，只要涂层不与对中间层接触。
- 虽然 OPTICS 程序中的中间层没有 #（井号）标记，但建模时仍只能使用被列入 LBNL / NFRC “认可的中间层”名单中的中间层，这些中间层的数据是按照 NFRC 的相关标准文件提交给 IGDB 的，LBNL 负责定期发布 IGDB 的更新文件和认可名单，上述信息都可在LBNL 的官网中的 WINDOW 相关页面中找到。

对于 NFRC 认证建模，建模师提交的夹层玻璃构造必须符合以下要求：

- 建模师使用 OPTICS 程序创建的夹层玻璃中不会有 #（井号）标记。建模师应提供完整的夹层玻璃组件的基本属性，包括太阳透射比（Solar, T），可见光透射比（photopic, T），太阳反射比-前面（Solar, Rf），太阳反射比-背面（Solar, Rb），可见光反射比-前面（photopic, Rf），可见光反射比-背面（photopic, Rb），发射率-前面（EmitF），发射率-背面（EmitB）。当计算夹层玻璃时，这些值会在 OPTICS 程序窗口中显示出来，也可以在 WINDOW 的 Glazing System Library（玻璃系统库）中的详细报告页面中找到。作为要求的一部分，WINDOW 的 mdb 数据库文件中包含关于该夹层玻璃的所有相关信息。
- 另一名审查人员（或者任何想要检查结果的人员）可以根据上述信息重新创建该夹层玻璃，并获得相同的性能值。
- NFRC 建模师应该从 30,000 号起给夹层玻璃编号，但由于夹层玻璃编号并不是储存在 NFRC 中心数据库的，因此对于建模实验室之间，或和同一实验室的不同项目之间，这些编号数字可不必统一。
- 夹层玻璃的名称应该清楚地描述其组成，建议使用 IGDB 中的玻璃层编号和中间层名称的组合。如果玻璃层是翻转过的，可以在玻璃层编号后面加一个字母F。字符总数（不包括扩展名，但包括名称中的“/”分隔符）不能超过 45 个。规则如下：
  <glass layer ID><F if layer is flipped>/<interlayer name from Optics>/<glass layer ID><F if layer is flipped>

  举例：102 / 030keepsafe / 2026F

8.11.2. 夹层玻璃中间层的数据

只要组件层具备以下特征（并且只有具备这些特征且提交在 NFRC 认证的“已批准中间层列表”中的中间层才会被包含），Optics 软件就能准确计算夹胶玻璃的光学性能：

- 中间层是使用太阳光透射比（Tsol） > 0.820 且可见光透射比（Tvis） > 0.890 的透明玻璃进行测量的。这确保了在 Optics 中“构建”的夹胶玻璃，其透射比始终相似或低于用于确定中间层性能的参考夹胶玻璃。
- 任何玻璃层在接触中间层的一侧都没有镀膜（即无内嵌镀膜）。
- 基材层（即应用中间层的基础玻璃）与中间层是分开测量的。这是向 IGDB 提交数据的制造商的责任，具体如下所述。

正如 LBNL 关于向 IGDB（IGDB: Data File Format, Version 1.4, April 2003）提交数据指南的文件中所讨论的那样：“中间层是一种用于将夹胶玻璃中的组件粘合在一起的粘合层。中间层的光学性能无法直接测量。相反，它们是通过‘参考夹胶玻璃’（由夹在两片已知光学性能的玻璃层之间的中间层构成）的光谱特性计算得出的。为了提交中间层的数据，必须同时提交参考夹胶玻璃的光谱光学性能，以及参考夹胶玻璃中所使用的玻璃层的数据。”

这就是说，为了将一个中间层添加到 OPTICS 程序 Interlayer Type（中间层类型）中，并用于今后可制作带有该中间层的夹层玻璃，包含该夹层的“参照夹层玻璃”的光谱数据应当提交给 IGDB。

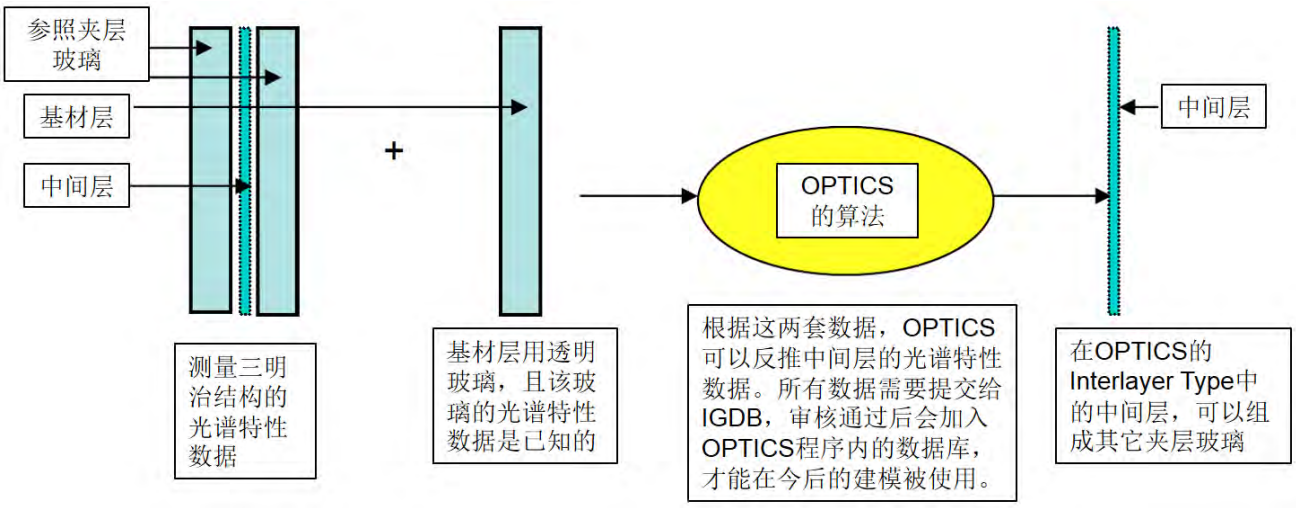


图 8-109：Optics 软件如何解构测量数据以获取中间层信息

只要基材玻璃层具有较高的太阳光透射比和可见光透射比（因此要求 Tsol > 0.820 且 Tvis > 0.890），Optics 就能从参考夹胶玻璃中准确计算出中间层的性能。这确保了之后在 Optics 中使用该中间层创建的夹胶玻璃，其太阳光和可见光透射比几乎总是会低于参考夹胶玻璃的透射比。

8.11.3. 使用 OPTICS 构建夹层玻璃

8.11.3.1. 新建一个夹层玻璃

OPTICS 启动后，先点击Laminate，准备开始构建夹层玻璃

如果这时已经有了一个夹层玻璃，想新建另一个，可以进行如下操作：：

① 确保 Laminate 处于激活状态

② 主菜单→ File → 点击 New Laminate

③ 程序将提示保存当前的夹层玻璃（如果已经存在）

注意：如果创建了新的 Layer（层），但没有保存，当开始一个新的夹层玻璃时，当前的Layer（层）设置会丢失

8.11.3.2. 波长集

在OPTICS 程序启动时，会提示当前的 Wavelength set（波长集）采用了 NFRC 的默认值，该默认值的名称是“Optics”。从主菜单 → Tools → 点击 Select Wavelength Set，可以中查看或更改波长集。

8.11.3.3. 在夹层玻璃中添加层

在 Laminate 页面中创建夹层玻璃时，可以在 Layer（层）中添加单层玻璃、带涂层的玻璃和中间层，但在操作时，有一些必须遵守的规则：

1. 夹层玻璃的第一层和最后一层必须是非中间层，即只能是单层玻璃或带涂层的玻璃。
2. 可以放置任意多的相互相邻的中间层，但必须用至少一个中间层将非中间层隔开。
3. 对于 NFRC 认证建模，涂层不能与中间层直接接触。

如果违反了上述规则 1 或 2，操作将被取消。

要添加中间层，点击数据库上方的 Add Interlayer；要添加其它玻璃层，点击 Add Glazing。只有那些具有足够数据的数据库记录才会显示在这些视图中，如果想查看数据库中的所有记录，包括那些不能在夹层玻璃中使用的记录，点击 View All；如果试图从数据库的 View All 视图加载一个无效的层到夹层玻璃中，程序将显示一个错误提示。

8.11.3.4. 在夹层玻璃中添加玻璃

在 Laminate 页面中创建夹层玻璃时，只要遵守 第8.11.3.3节 中所提到的规则，就可以在 Layer（层）中添加单层玻璃、带涂层的玻璃和中间层。

从当前数据库中添加玻璃层到 Laminate 页面：

① 点击Layer（层）栏的 #1 ，定义第一个可用的层。如果选择并定义了一个被占用的层，那么原层的信息会被替换。



图 8-110：点击 #1按钮，定义第一个玻璃层

② 点击 Add Glazing，进入选择要添加的玻璃页面



图 8-111：从Add Glazing页面选择玻璃层

③ 双击数据库中的玻璃层，或者

使用鼠标，将该玻璃层从数据库中拖到要添加层的按钮上，或者

在数据库中选中层 → 鼠标移到主菜单 → Database → Add → 点击 Replace Layer，或者

在数据库中选中层 → 鼠标右键 → Add → 点击 Replace Layer

如果这个操作正在替换一个层，程序将弹出一个对话框，确认是否要替换现有层。在数据库中选择一个层，用鼠标点击它，或者通过点击上下箭头进行浏览。

8.11.3.5. 添加中间层

添加中间层到 Laminate 页面：

① 点击 Layer（层）栏的 #2 ，定义第一个可用的层。

② 点击 Add Interlayer，进入选择要添加的中间层页面

③ 双击数据库中的中间层

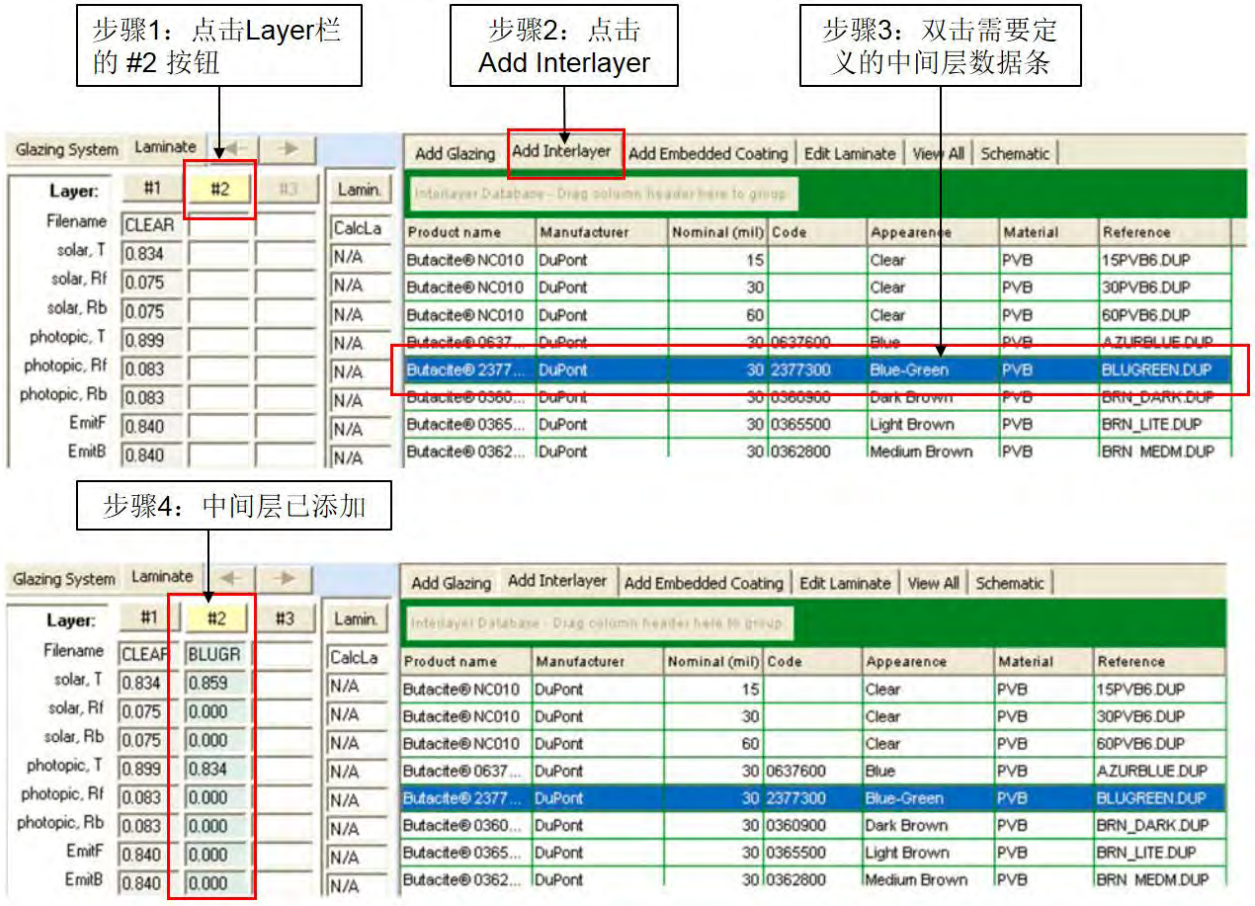


图 8-112：从Add Interlayer页面选择中间层

8.11.3.6. 在夹层玻璃中翻转层

在夹层玻璃中翻转层：

① 点击选中一个层。

② 鼠标移至主菜单 → Edit → 点击 Flip Layer ，或者

在数据库中选中层 → 鼠标右键 → 点击 Flip Layer

如果翻转后的层与涂层直接接触，这么做不符合夹层玻璃的建模规则（第8.11.3.3节），这样的夹层玻璃不能被用于 NFRC 认证建模。

注意：如果不确定一个层是否需要翻转，可以检查示意图中的涂层位置或者层的光谱数据。

如果任何玻璃层被翻转，确保在最终夹层玻璃的名称中的 NFRC 编号后添加一个字母F。

8.11.3.7. 查看夹层玻璃的属性

查看计算出的光谱数据、光谱平均值和夹层玻璃的其它特性：

① 点击 Lamin。

② 现在，夹层玻璃是当前层了，所以它的光谱数据和光谱平均值会被展示在屏幕下部。

- 要查看夹层玻璃的示意图，可以点击屏幕右上方的 Schematic
- 要以表格形式查看光谱数据，鼠标移至主菜单 → View → 点击 Spectral Data Grid
- 要查看夹层玻璃数据的计算警告，可以点击屏幕右上方的 Warning
- 要查看关于夹层玻璃的更多信息，鼠标移至主菜单 → View → 点击 View Details

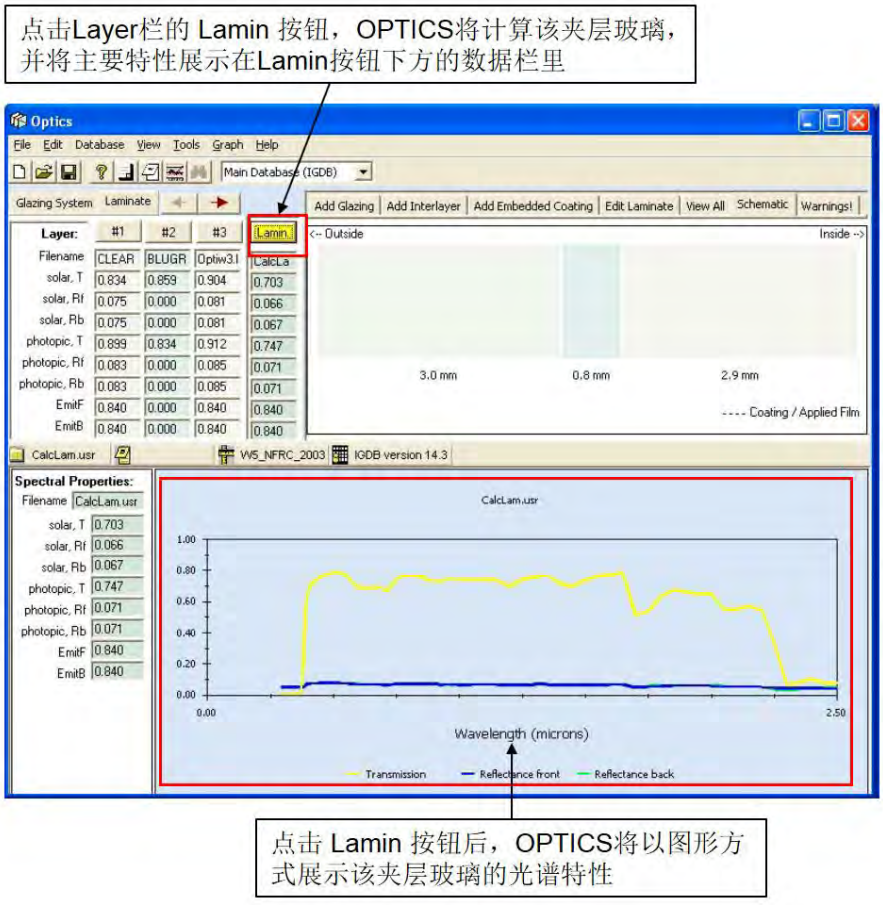


图 8-113：点击Lamin按钮后，可以看到该夹层玻璃的光谱特性

8.11.3.8. 替换夹层玻璃中的一个层

替换夹层玻璃中的某一个层，也必须遵守夹层玻璃的建模规则（见 8.11.3.3）。

无法直接向夹层中插入层——必须从夹层的内侧删除并添加层，以修改其结构。

8.11.3.9. 删除夹层玻璃中的一个层

夹层玻璃建模时，只能删除夹层玻璃的最后一个层（内层），操作方法是：

① 点击选择 Layer（层）一栏中的最后一个层

② 鼠标移至主菜单 → Edit → 点击 Delete Layer，或者

鼠标右键 → 点击 Delete Layer

8.11.3.10. 保存一个夹层玻璃

将夹层玻璃保存到 User Database（用户数据库）：

① 点击 Lamin → 点击 Save，或者

② 点击工具栏 Save，或者

鼠标移至主菜单 → File → 点击 Save/Save as，输入文件名，或者

鼠标右键 → 点击 Save/Save as，输入文件名

8.11.3.11. 编辑一个夹层玻璃

编辑保存在 User Database（用户数据库）中的夹层玻璃：

① 确保在层上方选中了 Laminate 页面

② 点击屏幕右上方的 Edit Laminate，或者

鼠标移至主菜单 → File → 点击 Edit Laminate

③ Load（加载）需要编辑的夹层玻璃，添加、替换或删除一个层。旧的夹层玻璃加载后，当前建模的夹层玻璃信息将被清除。

注意：不能在 Glazing 页面下编辑夹层玻璃，必须先切换到 Laminate 页面。为了在玻璃系统中使用编辑过的夹层玻璃，必须将夹层玻璃保存到 User Database（用户数据库）中，切换到 Glazing 页面，再从 User Database（用户数据库）中重新加载夹层玻璃到玻璃系统中。

注意：一个夹层玻璃不能作为另一个夹层玻璃的组件使用。

8.11.3.12. 夹层玻璃的计算警告

大多数不带涂层的夹层玻璃的光学特性可以在不产生警告信息的情况下被计算出来，但有一种可能是，某些组件在所选 波长集 的整个范围内缺少光谱数据（见 第8.11.3.2节），因此 波长集 将被截断。

8.11.3.13. 查看夹层玻璃的计算警告

查看夹层玻璃的计算警告：

① 点击 Lamin

② 点击 Warning

下面的例子显示了一条警告信息 ：

“Results could not be calculated at all wavelengths in the selected wavelength set. Wavelength set truncated to: 0.300 - 2.500 um（不能在选定 波长集 的所有波长上计算结果，波长集 截断为：0.300 - 2.500 um）”

这条信息并不表明有问题，因为WINDOW中的太阳光学特性是在0.300和2.500 um之间计算的。

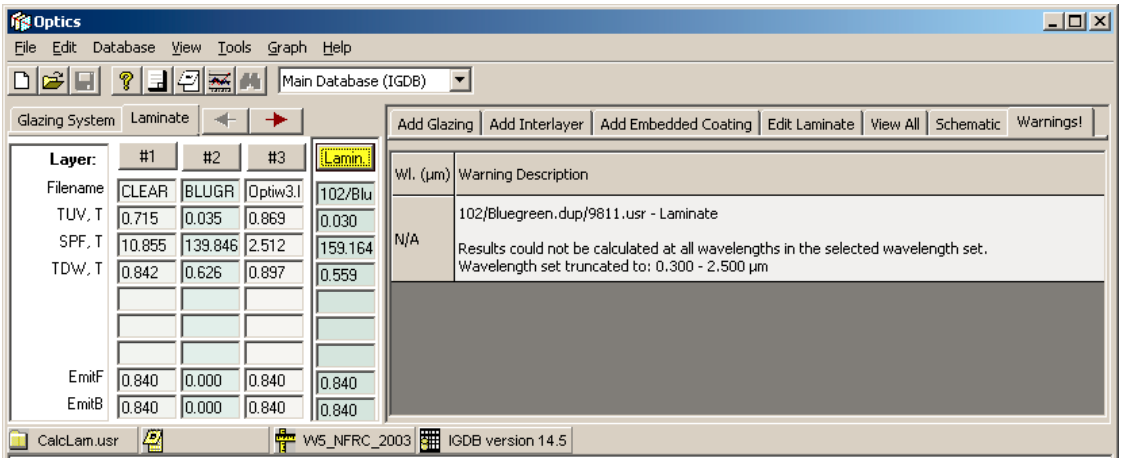


图 8-114：一个与WINDOW计算无关的警告示例

8.11.3.14. 将夹层玻璃保存到用户数据库，以便导入 WINDOW

User Database（用户数据库）的格式与 IGDB 相同，但它们用于存储用户导入或用 OPTICS 生成的数据。用户无法在 IGDB 中添加新数据，所有用户数据都保存在 User Database（用户数据库）中。

默认的用户数据库文件名为“UserGlazing.mdb”，它在程序安装的 \LBNL Shared 目录中。用户可以指定用户数据库文件的位置，这允许您使用与 OPTICS 相关的任意多个用户数据库文件。

创建一个新的（空的）User Database（用户数据库）：

① 主菜单 → Database → 点击 Create new user database

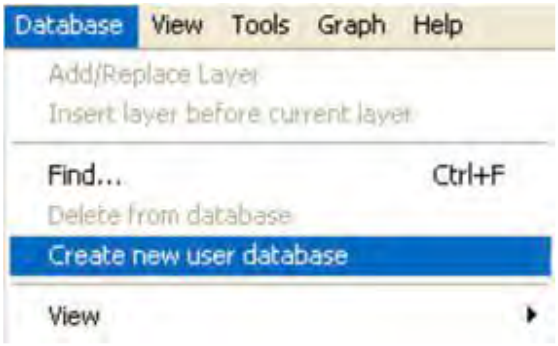


图 8-115：在主菜单>Database>Create new user database 创建一个空白的用户数据库

② 程序会询问数据库文件名和位置，可以根据个人的需要起名和存放数据库文件。默认的用户数据库文件（UserGlazing.mdb）存在 C:\Program Files\LBNL\LBNL Shared 目录下，

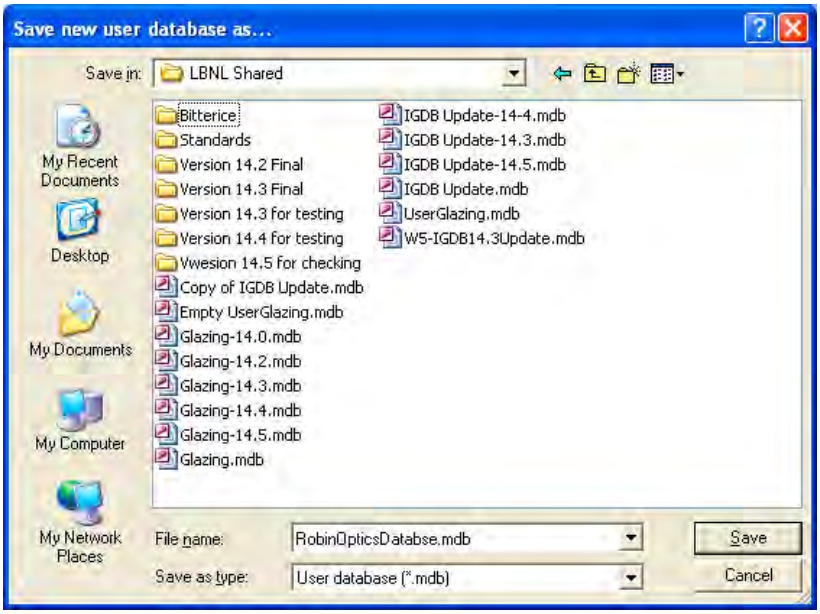


图 8-116：指定新用户数据库文件的名称以及将存储位置

③ 在主菜单 → Tool → 点击 Options，可以设置用户数据库文件的默认读取位置

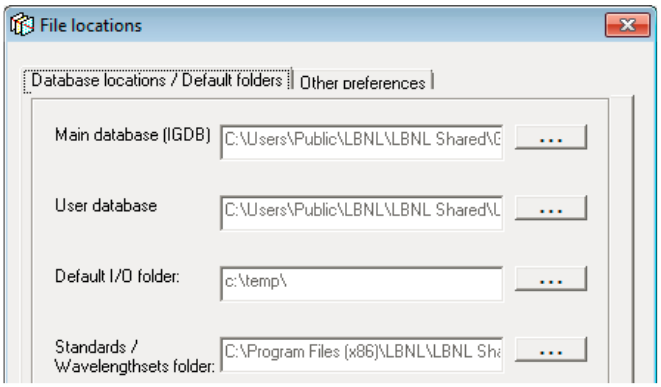


图 8-117：打开Tool>Options, 从中设置用户数据库文件的位置

如果一个层与当前用户数据库或 IGDB 中的任何一个层有不同的文件名，你可以将它保存到用户数据库中。如果你保存了一个有组件的层（比如一个有涂层的基片，或者一个有组件层的夹层玻璃），组件层将同时保存到用户数据库中（除非它们已经存在于 IGDB 或用户数据库中），这允许你在以后加载和编辑这些层。

如果你想从 IGDB 保存一个未修改的层到用户数据库，你必须先改变它的文件名。

将一个层保存到用户数据库：

① 点击选中数据库中的某个层

② 点击工具栏 Save/Save as，输入文件名，或者

在主菜单 → File → 点击 Save/Save as，输入文件名，或者

鼠标右键 → 点击 Save/Save as，输入文件名

如果你保存的层或系统有组件，或者保存失败，系统会提示“Do you want to view the details of the save operation（你想查看保存操作的详细信息吗）”，回答“是”，可以查看有关已保存到用户数据库的组件和未保存到用户数据库的组件的信息，以及为什么某些组件保存失败的解释。

注意：在 IGDB 或当前的用户数据库中，不能以相同的文件名保存一个层的数据。如果检测到冲突，OPTICS 程序会要求在保存该层之前重命名它，或者取消导入。组件保存失败的最常见原因是它的文件名已经存在于 IGDB 或用户数据库中。在这种情况下，OPTICS 程序假设组件层信息已经可用，不需要再次保存。

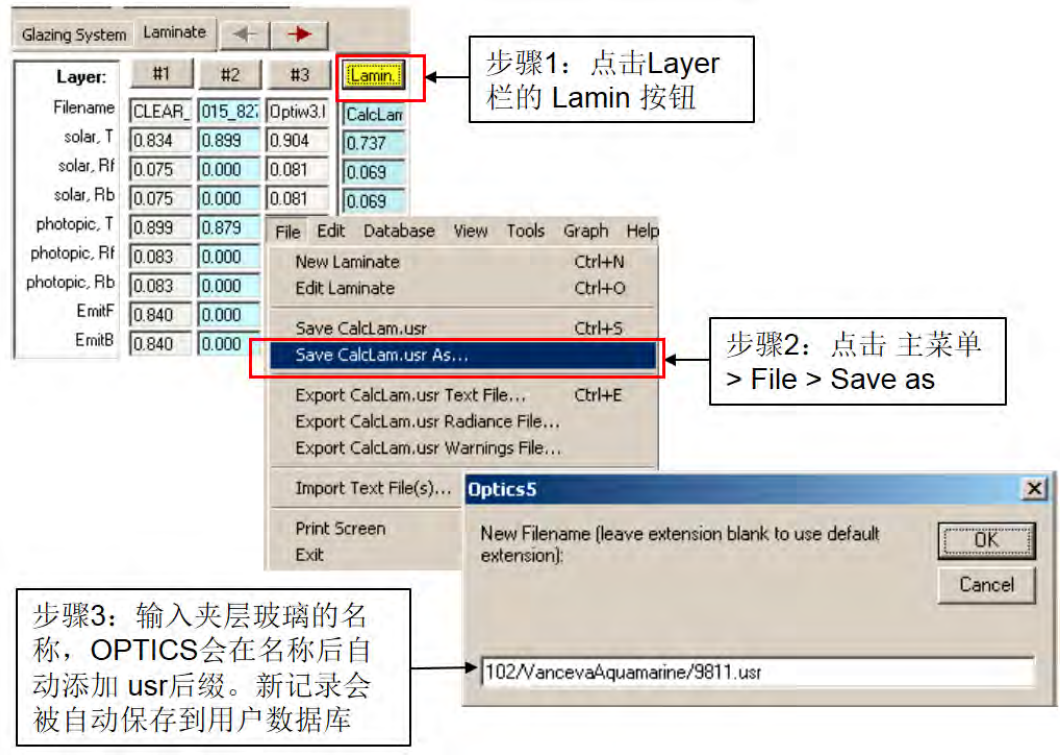


图 8-118：使用命名规则“<glass layer ID>/<interlayer name/><glass layer ID>”保存最终的夹层玻璃

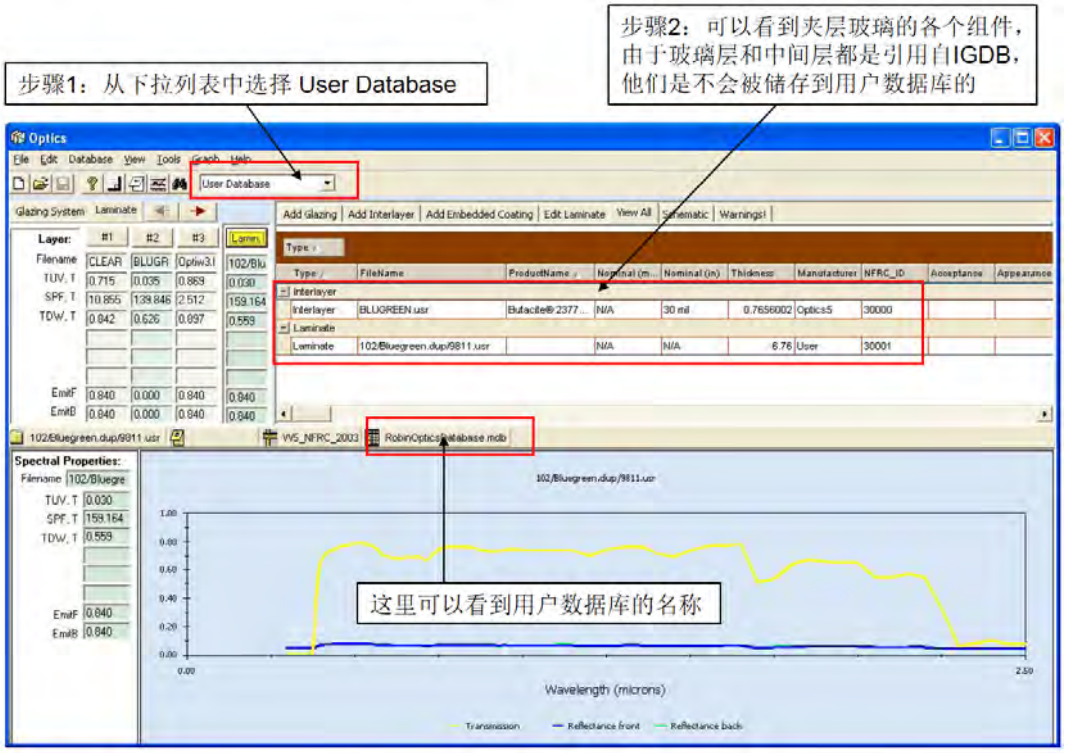


图 8-119：在用户数据库中查看已建模的夹层玻璃及其组件层

8.11.3.15. 将 OPTICS 用户数据库中的夹层玻璃导入 WINDOW

将 OPTICS 用户数据库中的夹层玻璃导入 WINDOW 的步骤如下：

① 打开 WINDOW 程序 → 主菜单 → File → 点击 Preferences → 进入 Optical Data → 将第二个选项 Optics User Database 设置为 OPTICS 用户数据库。可以用默认的 UserGlazing.mdb，或个人新建的数据库文件。

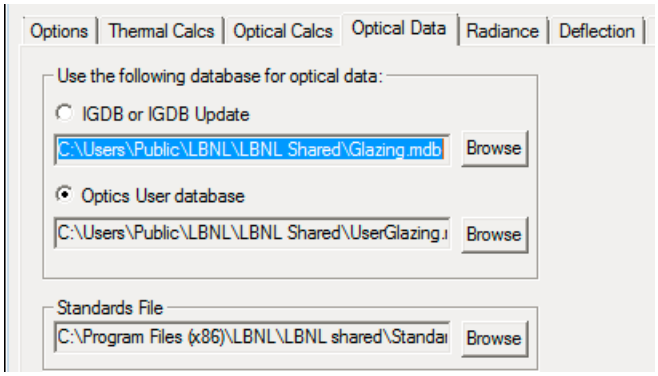


图 8-120：设置WINDOW使用的OPTICS用户数据库文件的位置

② 在 WINDOW 程序 → 进入 Glass Library（玻璃库）的列表视图 → 点击 Import → 选择 Format 为 IGDB or Optics User Database → 点击 Ok。

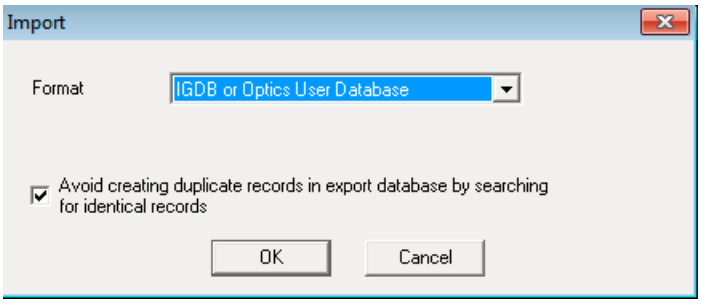


图 8-121：从OPTICS用户数据库导入数据

③ WINDOW 程序将打开 第①步 中的用户数据库文件，名称将显示在对话框的顶部，你将看到可以导入到库中的所有夹层玻璃。

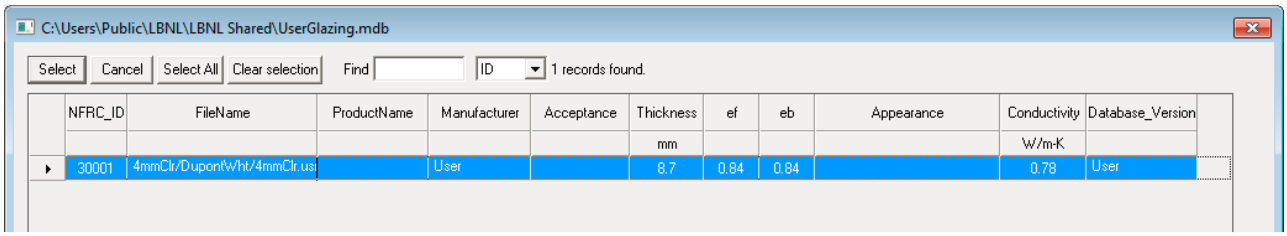


图 8-122：可以看到用户数据库中所有可用的夹层玻璃数据

④ 选择要导入的记录（使用 Shift 点击选择连续的记录，Ctrl点击选择多个不连续的记录，或 Select All全选），然后点击 Select ，选中的记录将被导入Glass Library（玻璃库）。

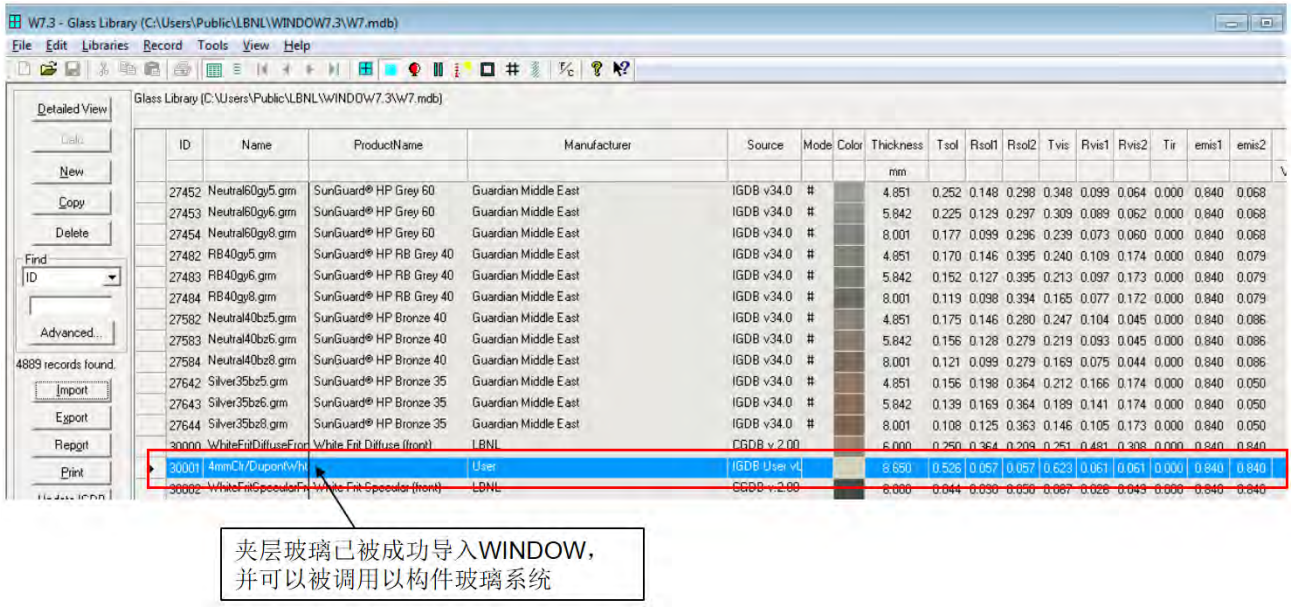


图 8-123：夹层玻璃已经被成功导入WINDOW的Glass Library

8.12. 使用 OPTICS 创建 NFRC 认可的应用膜

8.12.1. 概述

对于 NFRC 认证建模，可以使用 OPTICS 程序创建应用膜，但有以下限制条件：

- 基片表面的涂层不能与应用膜接触。
- 只能使用 NFRC 认可的、Mode 栏带有 #（井号）标记的玻璃层作为应用膜的基片。
- 玻璃层可以是着色玻璃或带有涂层，只要涂层不与对应用膜接触。
- 只有在 Optics 软件中，类型为 Applied Films (应用膜层)、带有 # 标记，且同时被列入 Approved Applied Films List (已批准应用膜层清单)（该清单由 LBNL 在每次 IGDB发布时更新，并可在 WINDOW 官网上获取）的膜层才可使用。这意味着这些应用膜层的数据已按照本文件第1.2节中规定的标准提交至IGDB，并且这些应用膜层制造商正在参与 NFRC 评级计划。

对于 NFRC 认证建模，建模师提交的带应用膜的玻璃构造必须符合以下要求：

- 建模师使用 OPTICS 程序自行创建的带应用膜的玻璃中不会有 #（井号）标记。建模师应提供完整的带应用膜的玻璃组件的基本属性，包括太阳透射比（Solar, T），可见光透射比（photopic, T），太阳反射比-前面（Solar, Rf），太阳反射比-背面（Solar, Rb），可见光反射比-前面（photopic, Rf），可见光反射比-背面（photopic, Rb），发射率-前面（EmitF），发射率-背面（EmitB）。当计算带应用膜的玻璃时，这些值会在OPTICS 程序窗口中显示出来，也可以在 WINDOW 的 Glazing System Library（玻璃系统库）中的详细报告页面中找到。作为要求的一部分，WINDOW 的 mdb 数据库文件中包含关于该带应用膜的玻璃的所有相关信息。
- 另一名审查人员（或者任何想要检查结果的人员）可以根据上述信息重新创建该带应用膜的玻璃，并获得相同的性能值。
- 带应用膜的玻璃的名称应该清楚地描述其组成，建议使用 IGDB 中的玻璃层编号和应用膜编号的组合，例如：2802 / 5038

8.12.2. 膜的数据

OPTICS 程序中有两种膜，它们之间的区别在于提交给 IGDB 的测量方法：

- Film（膜）：这些膜是在没有基片的情况下进行测量的，它们可能是 OPTICS 的计算值，也可能是输入值。不过，IGDB 已经不再接受这种类型的提交资料，并且它们不是 NFRC 认可的。该类别中的数据可以重新提交到 IGDB，作为带有基片的应用薄膜进行测量，从而被添加到应用膜类别中。
- Applied Film（应用膜）：这些膜是带着基片一起被测量的。对于 NFRC 认可的应用膜，这类膜必须与一个透明基片一起被测量，且基片的太阳透射比 Tsol ＞ 0.820，Tvis ＞ 0.890

OPTICS 可以准确计算带应用膜的玻璃层的光学特性，只要测量应用膜遵循下面列出的指导步骤，且只有在“认可的应用膜”名单中的应用膜产品才能被用于 NFRC 认证建模：

8.12.2.1. IGDB 对于应用膜的提交要求

LBNL 的文件（IGDB: Data File Format, V1.4，2003年4月）包含了向 IGDB 提交数据的规则和指导。该文件说到：“带应用膜的玻璃是将一个带背胶的膜粘贴到一个单层基片上。”如果提交给 IGDB 的测量数据包含基片信息，OPTICS 程序可以将该膜粘贴到另一个基片上。

这意味着，为了将应用膜添加到 OPTICS 程序的“Applied Film”类型中，并用于在 OPTICS 程序中制作带应用膜的玻璃层，应用膜附着的“参照基片”的光谱数据应按照要求提交到 IGDB：

- 应用膜带着透明玻璃一起被测量，该透明玻璃的太阳透过率大于 0.820（Tsol > 0.820），可见光透过率大于 0.890 （Tvis ＞ 0.890）。满足此标准的玻璃包括 3 mm 透明玻璃、3 mm 低铁玻璃、6 mm低铁玻璃。这确保了 OPTICS 程序中的应用膜始终具有与“参照基片”相似或更低的透光率，这决定了应用膜的特性。
- 基片（应用膜所覆盖的基础玻璃）是单独测量的，不附加应用膜，并提交到 IGDB。这是制造商向 IGDB 提交数据的责任，如下所述。

应用膜厂家可向 IGDB 提交两个光谱数据文件，带应用膜的 3 mm 透明玻璃与 3 mm 透明玻璃本身。有了 IGDB 中的这些数据，建模师就能在 OPTICS 中调用这个应用膜，从而创建另外两个配置，带应用膜的 6 mm 单层透明玻璃，和带应用膜的 6 mm 单层灰色玻璃，并计算它们的 SHGC 和 VT 值。

膜的制造商被允许向 IGDB 提交几种不同膜与同一种透明基片组合的测量数据，后者可以是同一批生产的 3 mm 透明玻璃。假如一家膜的制造商想提交 20种 不同的应用膜的数据，他们需要提交一个带有 20个 测量结果的光谱数据文件（假设每种膜的基片都来自同一批玻璃）和 20个 光谱数据文件（一个文件对应一种带应用膜的玻璃），总共提交 21个 文件。

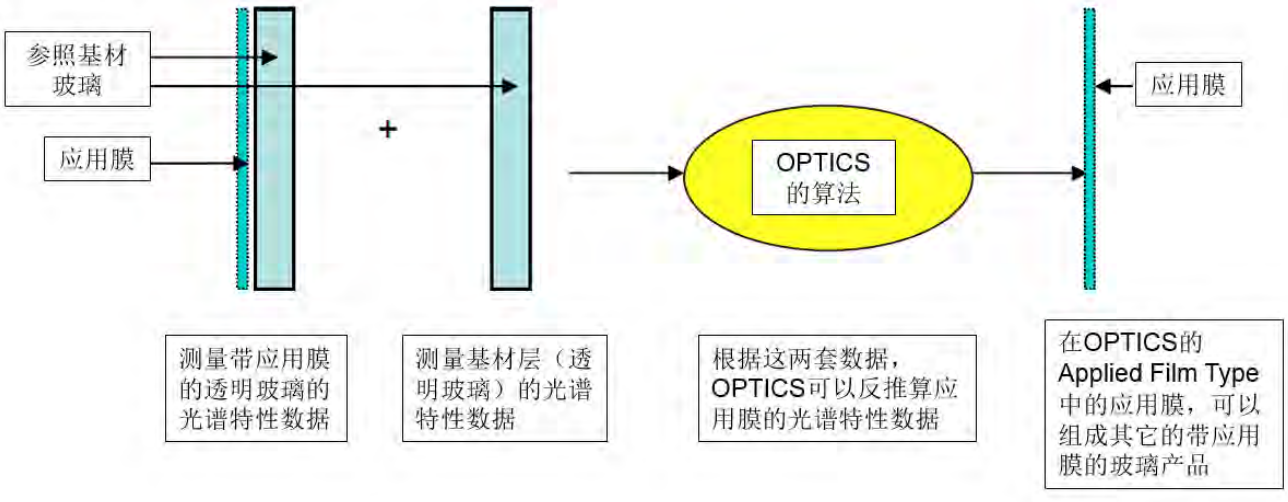


图 8-124：Optics 软件如何解构测量数据以获取中间层信息

应用膜的 20个 光谱数据文件中的每一个都包含“参照基片”的光谱数据。此外，玻璃制造商可不必提交带应用膜的 6 mm 透明或 6 mm 灰色玻璃的光谱数据，因为它们可以用 OPTICS 进行建模计算。

8.12.3. ANSI / NFRC 200 中的计算方法:

《ANSI / NFRC 200》标准文件规定了贴膜产品的 SHGC 和 VT 的计算方法，适用于应用膜，该流程规定：“参照玻璃”的计算应选用以下玻璃层“安装或不安装膜”。

- 单层 3 mm 透明
- 单层 6 mm 透明
- 单层 6 mm 灰色

第一种情况，“单层 3 mm 透明”是应用膜制造商提交给 IGDB 的，并包含在该数据库中。另外两种情况，“单层 6 mm 透明”和“单层 6 mm 灰色”现在可以用 OPTICS 计算。

8.12.4. 在 OPTICS 中创建带应用膜的玻璃

8.12.4.1. 为无涂层的玻璃添加应用膜

使用 OPTICS 将应用一个应用膜与一个单层玻璃组合，这样就创建了一个新的带应用膜的玻璃，应遵循如下步骤：

① 点击 Glazing System → 在 Glazing System 标签下方，点击 #1 → 点击 Add Glazing → 双击 Monolithic 扩展数据库 → 再双击所需的单层玻璃

② 点击 #1

③ 主菜单 → Edit → 点击Add Film，或者

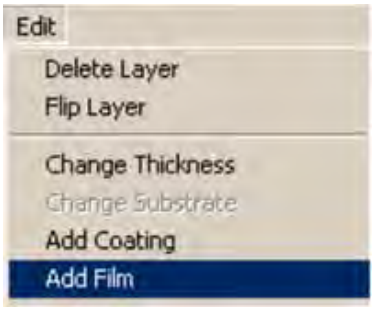


图 8-125：选择单层玻璃，点击Layer栏的#1，然后点击主菜单>Edit>Add Film

在 Layer层 栏的 #1 处，鼠标右键，从菜单中选择 Add Film

④ 这时，会出现一个 Change Glazing 对话框，Film Name（膜名称） 以蓝色高亮显示，点击Film Name，从数据库中选择所需的膜。注意：必须从 Applied Film 而不是 Film 选择想要的膜，而且只能选择在“认可的应用膜”名单中的膜。

⑤ 新的膜会被添加到单层玻璃上，在 Apply film to 栏中确定膜在哪个面上，Front （正面/室外）或是 Back（背面/室内）。

⑥ 输入这个带应用膜的玻璃的名称。

⑦ 使用 Save As，将这个带应用膜的玻璃保存到用户数据库。

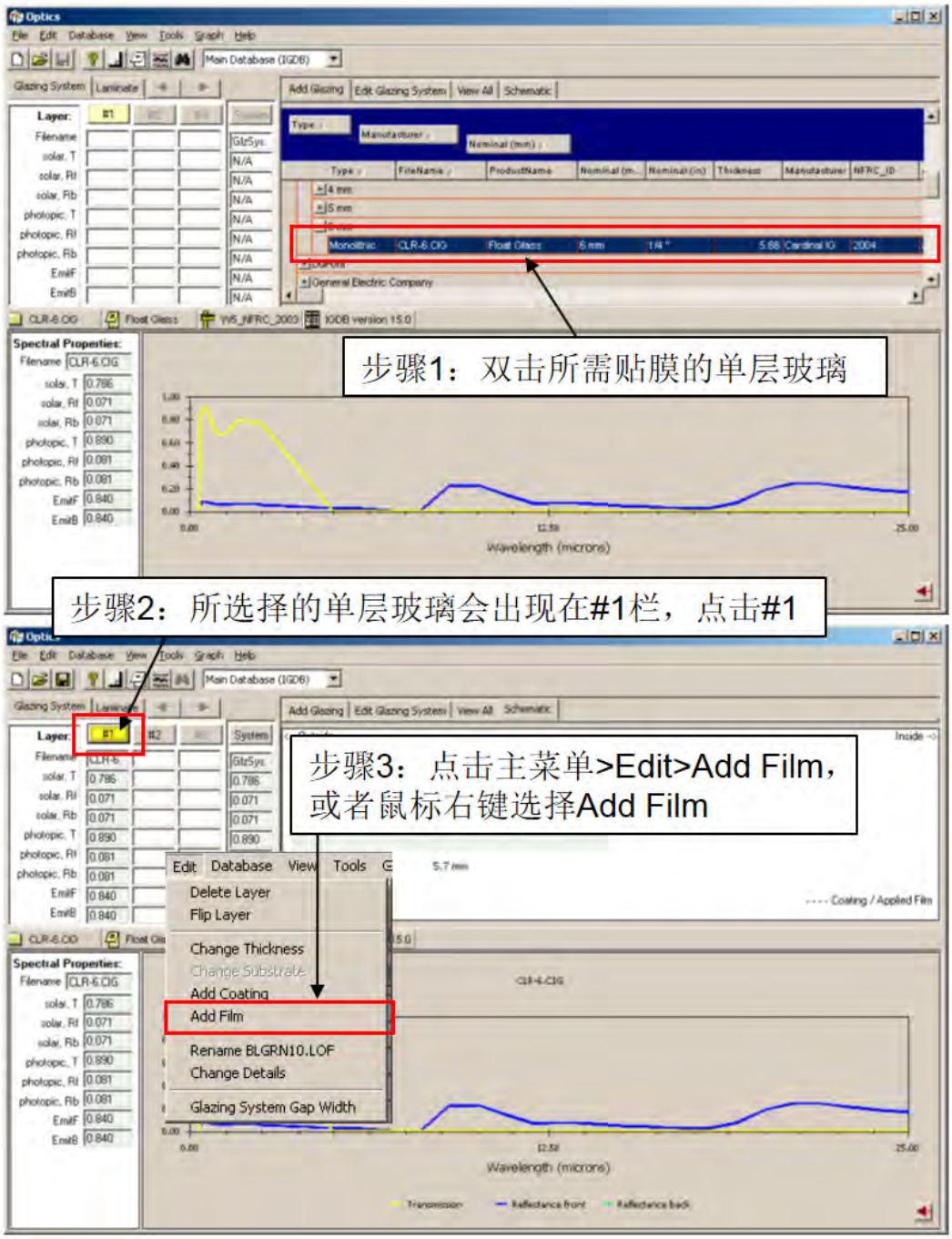


图 8-126：选择单层玻璃，点击Layer栏的#1，然后点击主菜单>Edit>Add Film

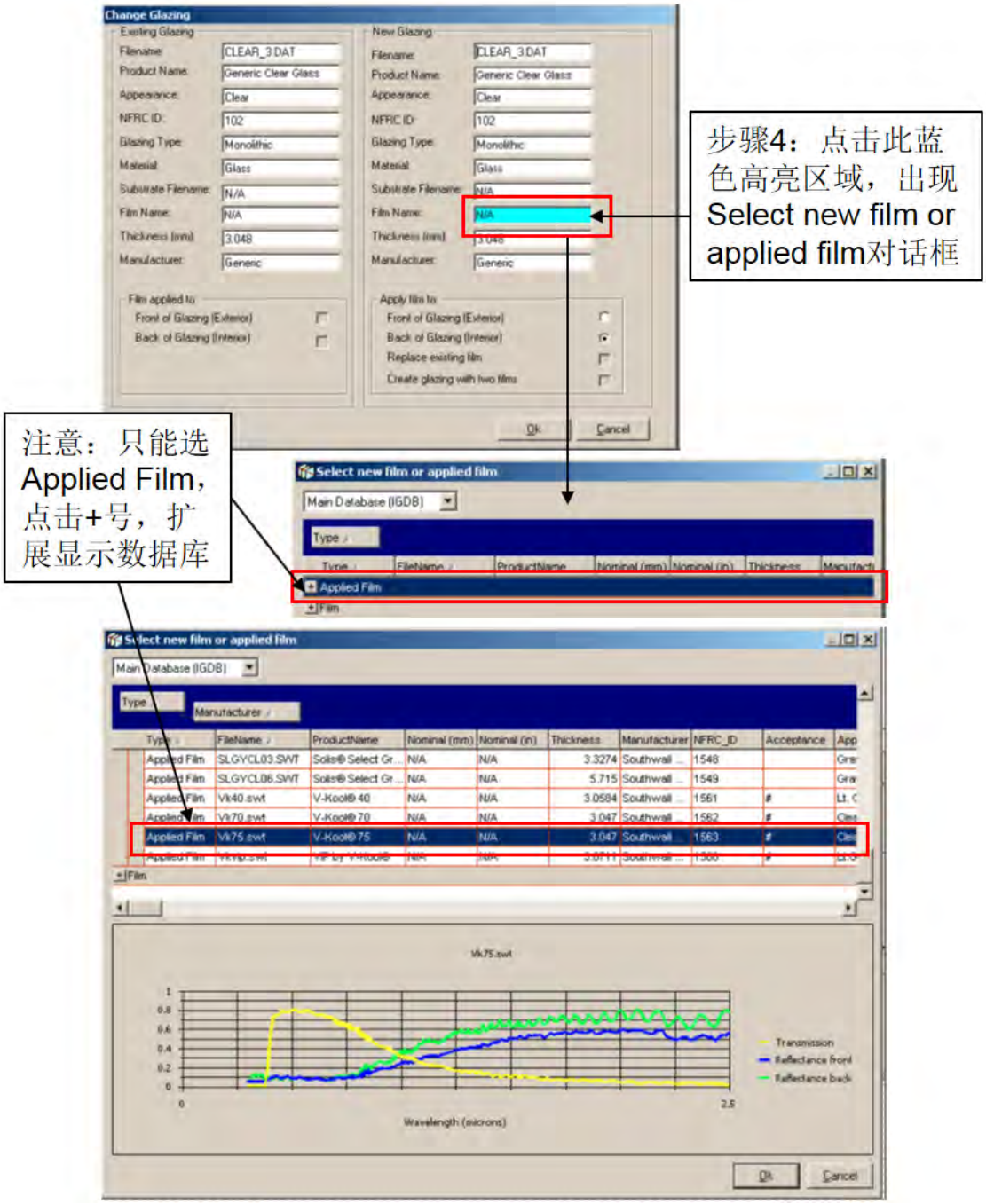


图 8-127：选择所需的应用膜

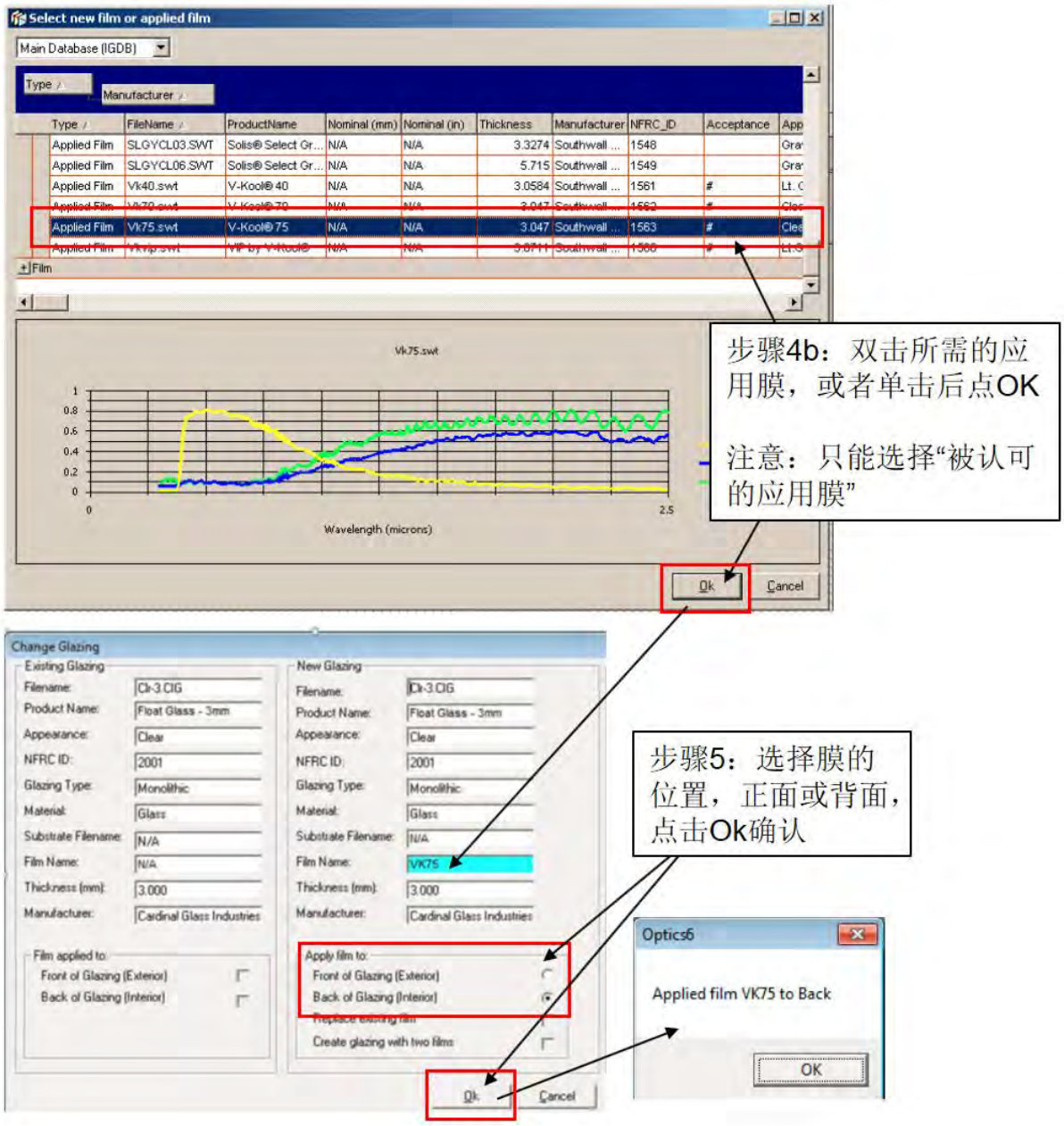


图 8-128：将应用膜附着到基片上

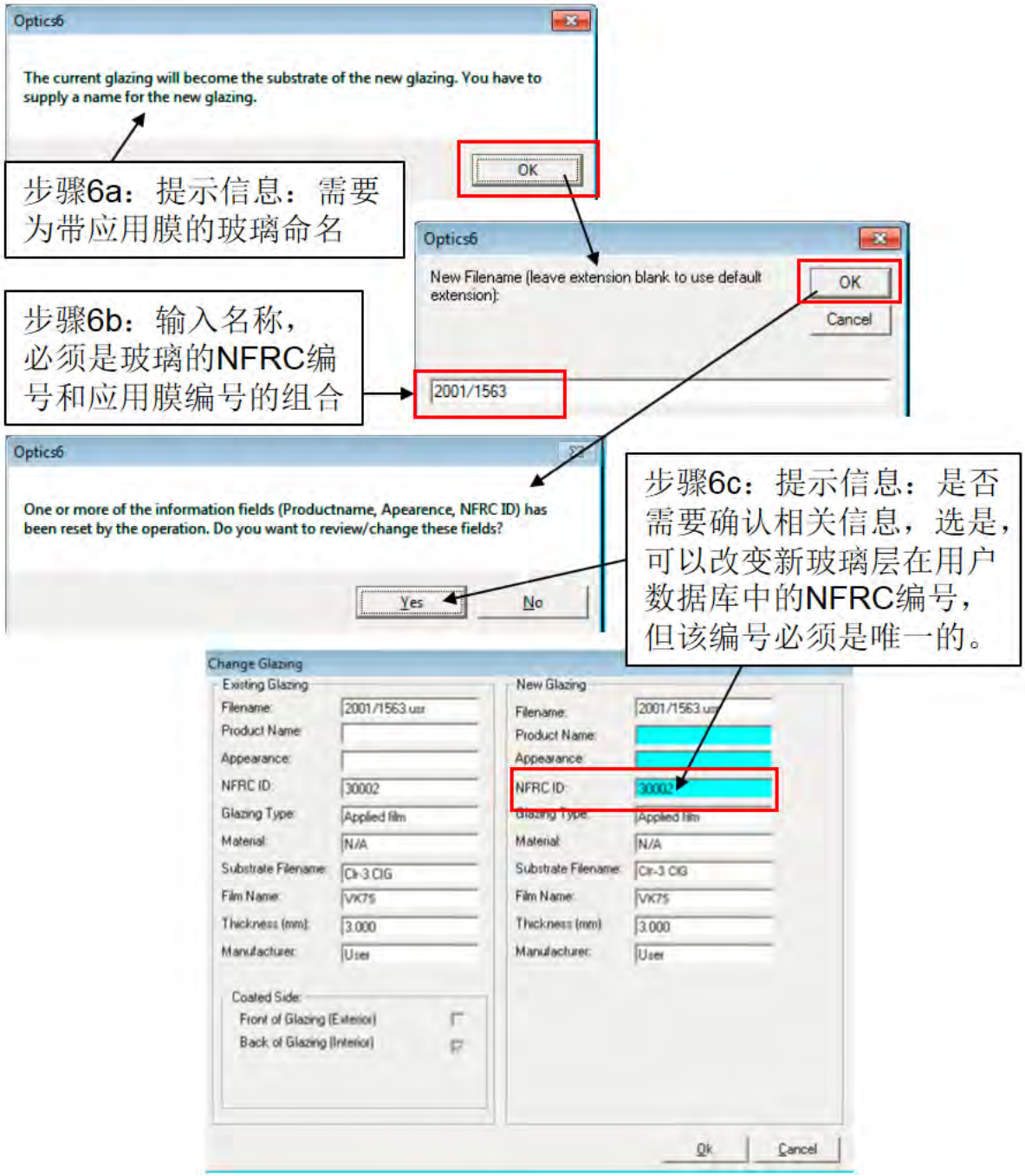


图 8-129：给新的带应用膜的玻璃一个名称和NFRC编号，但要确保唯一性

8.12.4.2. 为有涂层的玻璃添加应用膜

OPTICS 可以在带涂层的玻璃的另一个面上附着一层膜，形成双道涂层。操作步骤如下：

① 点击 Glazing System → 在 Glazing System 标签下方，点击 #1 → 点击 Add Glazing → 双击 Coated 扩展数据库 → 再双击所需的带涂层的玻璃

② 点击 #1

③ 主菜单 → Edit → 点击Add Film，或者

在 Layer层 栏的 #1 处，鼠标右键，从菜单中选择 Add Film

④ 这时，会出现一个 Change Glazing 对话框，Film Name（膜名称） 以蓝色高亮显示，点击Film Name，从数据库中选择所需的膜。注意：必须从 Applied Film 而不是 Film 选择想要的膜，而且只能选择在“认可的应用膜”名单中的膜。

⑤ 新的膜会被添加到带涂层的玻璃上，在 Apply film to 栏中确定膜在哪个面上，Front （正面/室外） 或是 Back（背面/室内），这里要注意：应用膜和玻璃原涂层不能在同一个面。

⑥ 输入这个带应用膜的玻璃的名称。

⑦ 使用 Save As，将这个带应用膜的玻璃保存到用户数据库。

8.12.4.3. 为夹层玻璃添加应用膜

为夹层玻璃添加应用膜的操作步骤与上述为带或不带涂层玻璃添加应用膜的方法相同。前提是这个夹层玻璃可以已经存在于 IGDB 中，也可以是使用 NFRC 创建夹层玻璃的规则所创建的夹层玻璃。首先，在 Glazing System 标签中将夹层玻璃作为玻璃基片，随后就按正常操作步骤即可。

8.12.4.4. 改变一个膜

改变带应用膜的玻璃层的步骤如下：

① 点击 Glazing System → 在 Glazing System 标签下方，点击 #1

② 主菜单 → Edit → 点击Change/Add Film，或者

③ 这时，会出现一个 Change Glazing 对话框，Film Name（膜名称） 以蓝色高亮显示，点击Film Name，从数据库中选择所需的膜。注意：必须从 Applied Film 而不是 Film 选择想要的膜，而且只能选择在“认可的应用膜”名单中的膜。

④ 新的膜会替代原先的膜，可以在 Apply film to 栏中确认膜的名称。

⑤ 输入这个带应用膜的玻璃的名称。

⑥ 使用 Save As，将这个带应用膜的玻璃保存到用户数据库。

8.12.4.5. 将带应用膜的玻璃层保存到用户数据库

可以将一个带有应用膜的玻璃层保存到用户数据库中，但该玻璃层必须与用户数据库或 IGDB 中任何一个玻璃层不重名。该玻璃层连同玻璃基片和应用膜的数据会被一起存入用户数据库，供今后加载和编辑。步骤如下：

① 点击 Glazing System → 在 Glazing System 标签下方，点击 #1

② 点击工具栏的 Save，或者主菜单 → File → 点击Save，或者 鼠标右键 →点击 Save

③ 如果所保存的层或系统有组件，或者保存操作失败，系统会提示“Do you want to view the details of the save operation（你想查看保存操作的详细信息吗）”，回答是，可以查看有关已保存到用户数据库的组件和未保存到用户数据库的组件的信息，以及为什么未保存某些组件的解释。

注意：在 IGDB 或当前的用户数据库中，不能以相同的文件名保存一个层的数据。如果检测到冲突，OPTICS 会要求在保存层之前重命名它，或者取消导入。组件没有保存的最常见原因是它的文件名已经存在于 IGDB 或用户数据库中。在这种情况下，OPTICS 假设组件层信息已经可用，不需要再次保存。

8.12.4.6. 带应用膜的玻璃层的重命名

重命名一个带应用膜的玻璃层，步骤如下：

① 点击 Glazing System → 在 Glazing System 标签下方，点击 #1

② 主菜单 → Edit → 点击 Rename，或者 鼠标右键 → 点击 Rename

③ 输入一个新名称，点击 OK。

注意：如果想一步完成更改文件名和保存，可以使用 Save As。

8.13. 带框架的中间片玻璃

8.13.1. 概述

对于带框架的中间片玻璃产品，建模的步骤如下：

在 WINDOW 中：

① 创建玻璃系统，包括中间片玻璃。

在 THERM 中：

② 使用 WINDOW 中创建的玻璃系统（包括中间片玻璃及其框架），分别按照 Head，Sill 和 Jamb 进行建模。如适用，对格条进行建模（见本手册的 第8.3.4节）

在 WINDOW 中：

③ 导入 THERM 截面模型文件到 Frame Library（框架库）和 Divider Library（窗格库）

④ 在 Window Library（窗库）中，使用玻璃系统、框架和窗格组件建模整体产品。

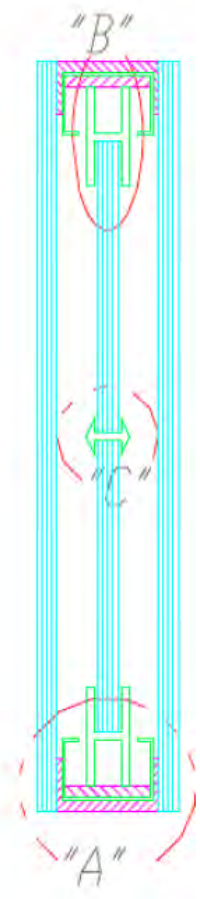


图 8-130：带框架的中间片玻璃的示例

截面A建模为Sill/Jamb，截面B建模为Head，截面C建模为Divider

8.13.2. THERM 建模细节

THERM建模相对简单，但需注意以下几处细节。

顶部框（head）和底部框（sill）按常规方式建模，不同之处在于还需对中间窗格（intermediate pane）的附加框架进行建模。视线将定义为窗户室内侧或室外侧的最高点——在此情况下，最高点为中间窗格框架，因此中间窗格上方应设有63.5mm的边缘标记（Edge tag），视线下方应设有框架标记（Frame tag）（这意味着部分玻璃带有框架标记）。

关于边界条件和U值表面标记（室内侧和室外侧）的处理，请参阅第8.16节中玻璃间模拟遮阳系统的图示。关于位置点的设定，请参阅示例底部框（下图）。

Sill（底横梁）模型示例

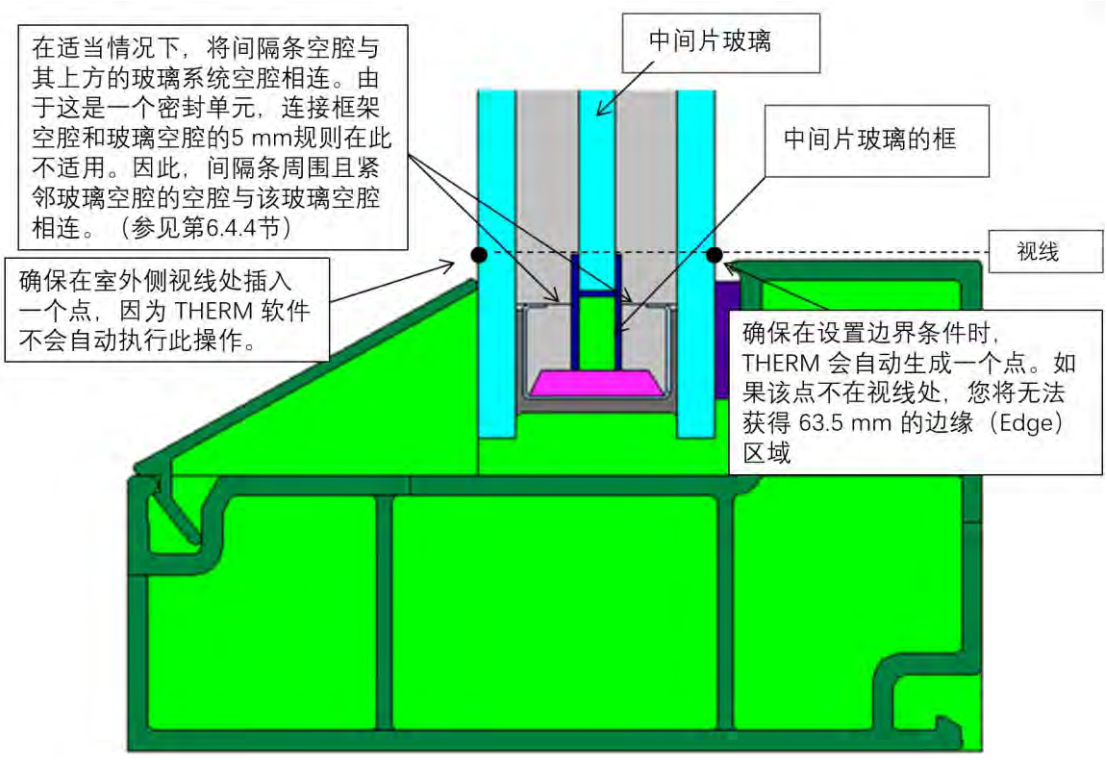


图 8-131：Sill模型示例，展示带框架的中间片玻璃及间隔条空腔的Link方法

门格条 / 分隔条示例

如果存在门格条（Caming），则将其作为窗格进行建模。（有关建模规则，请参阅第8-3节。）

8.14. 遮阳系统的建模概述

下表显示了当前（在编写本手册时）可以建模的遮阳系统。如该表所示，并不是所有产品的所有的特性都可以建模，

表 8-2：可以建模的遮阳系统

		U值		SHGC 和 VT	
玻璃 / 遮阳类型	**遮阳所在位置**	**竖直的**	**倾斜产品**	**竖直的**	**倾斜产品**
Venetian Blinds 威尼斯式遮阳帘	玻璃之间 （见 第8.14.3节、第8.16节）	Y	N	Y	Y
Venetian Blinds 威尼斯式遮阳帘	室内	Y	N	Y	Y
Woven Shades 编织物遮阳	室内	Y	N	Y	Y
Woven Shades 编织物遮阳	室外 （见第8.14.3节、第8.17节）	Y	Y	Y	Y
Diffuse Glazing 漫射玻璃 （见 第8.18节）	不适用	Y	Y	Y	Y

本节内容包含所有这些遮阳系统建模时所应遵循的一般规则。

此外，在接下来的章节中，还会详细描述每种遮阳系统的建模步骤。

8.14.1. WINDOW 的 Preferences 设置

为在 WINDOW 中得到合理的结果，对 Preferences 进行正确的设置是很必要的。设置应按照第5章第5.1节、图5-1和图5-2所示进行设定。为方便参照，下面再次展示了这些图。

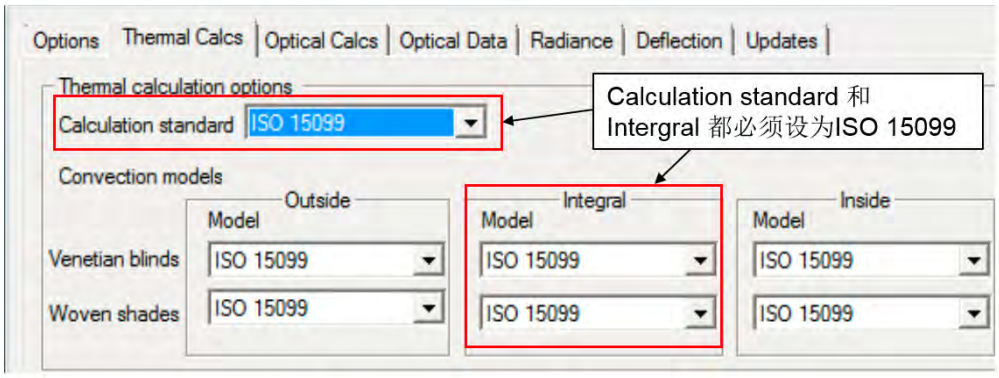


图 8-132：WINDOW的Preferences>>Thermal Calcs的具体设置

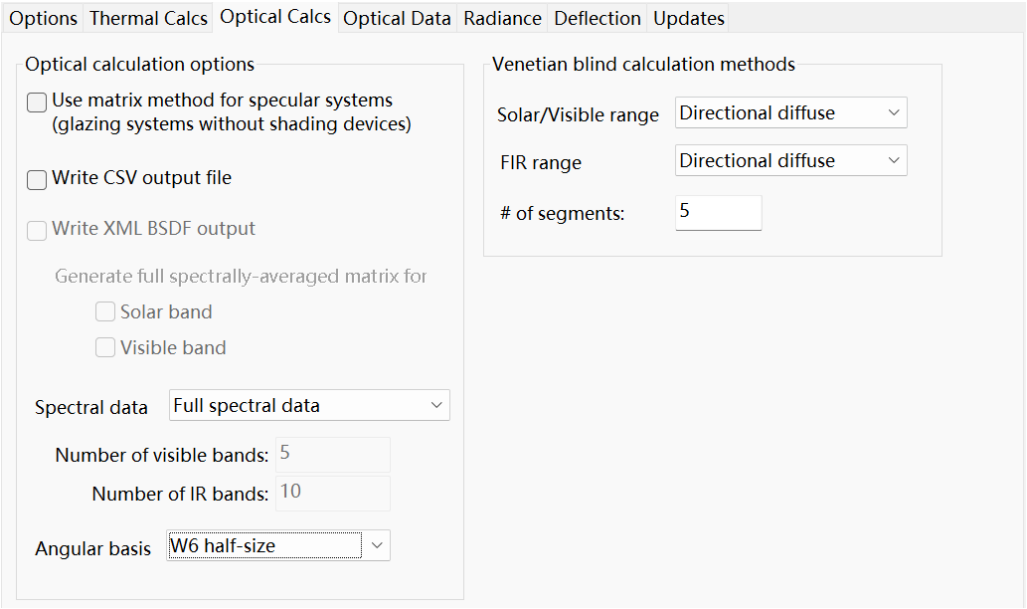


图 8-133：WINDOW的Preferences>Optical Calcs的具体设置

8.14.2. 遮阳系统的状态

遮阳系统（如百叶帘和卷帘）属于动态玻璃产品的范畴。根据 ANSI/NFRC 100 的规定，动态玻璃产品的评级规则在第 4.1.4 节中进行了定义。（有关完全打开和完全关闭位置的定义，请参阅 ANSI/NFRC 100 第 3 节。）

计算 U值：

计算带百叶帘或遮阳设备的产品 U值 时，按以下情况进行建模：

- **全开**——百叶帘完全收起来，是最通透的状态

全开状态取决于遮阳系统，可以有几种不同的定义方式：

a. 可收伸缩式：是一种可伸缩至玻璃系统顶部的遮阳系统。许多情况下，即使遮阳系统是处于收起状态的，与遮阳系统相关的五金件仍需要建模。关于建模的细节，请根据不同的遮阳系统，参阅相关章节。

b. 不可伸缩式：是一种底部固定的遮阳系统的。当百叶帘处于打开状态，百叶片是水平的（垂直于玻璃面）。

- **全闭**——百叶帘完全放下，并最大程度的闭合，是最不透的状态

8.14.3. 建模规则和定义

WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中Dtop，Dbot，Dleft，Dright 的定义

Dtop、Dbot、Dleft 和 Dright的值分别代表了从遮阳系统边部（包括五金件）到玻璃系统空腔顶、底、左和右侧之间的距离。通过这些数值，可以确定发生在遮阳系统和玻璃系统之间的空气对流效果，并用于随后在 WINDOW 中计算玻璃系统的热工性能。然而，在 THERM 中设置室内和室外遮阳系统时，这些数值并不起作用，而应在插入玻璃系统对话框内的 Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）一栏输入相应的数值。

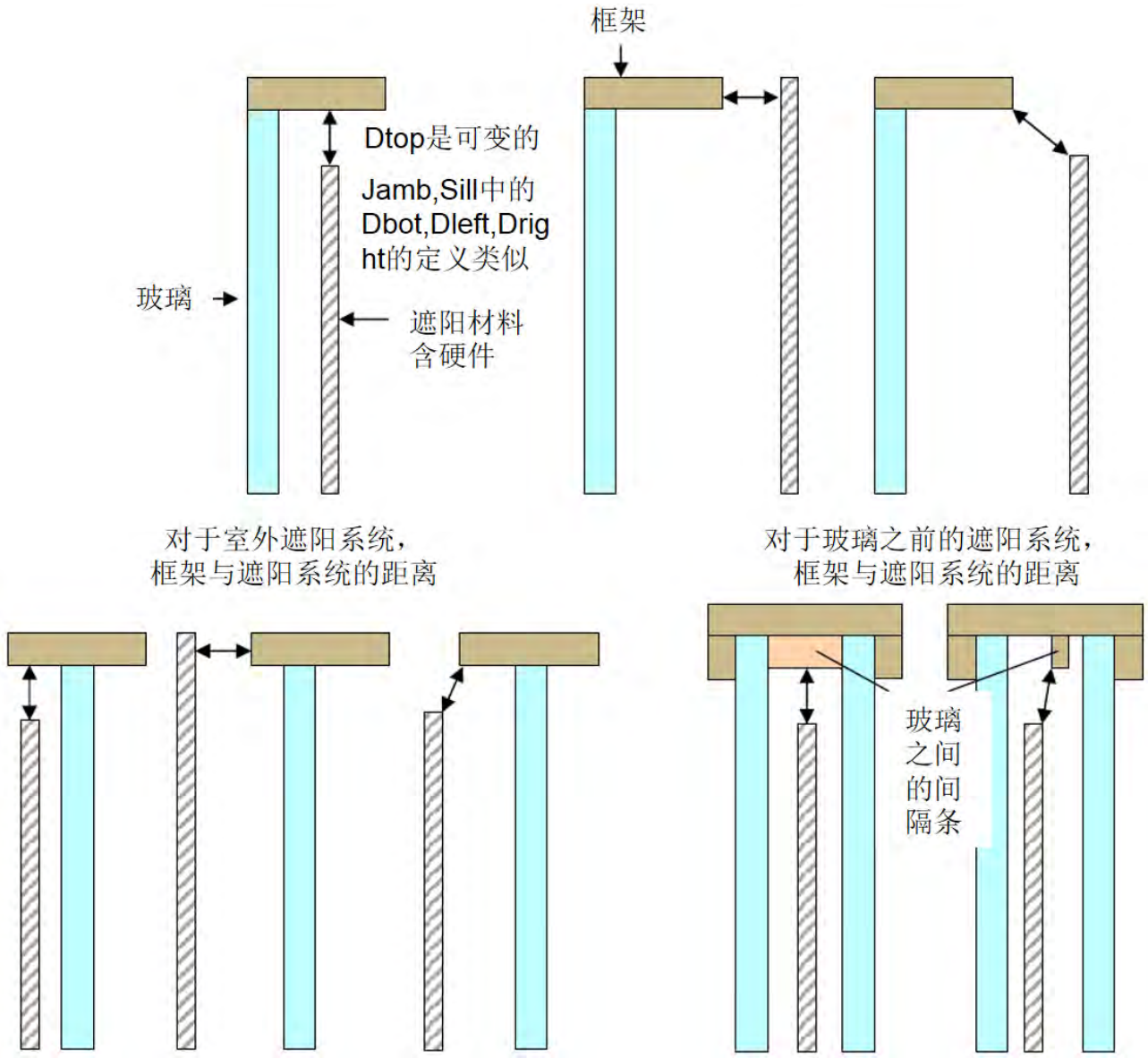


图 8-134：确定与窗的顶/底/左/右侧的框架和间隔条与遮阳系统之间的距离。

8.14.4 用遮阳系统建模玻璃系统

本节将详细介绍如何用遮阳系统建模玻璃系统，本建模方法既适用于玻璃内置百叶，也适用于遮阳卷帘系统。由于篇幅原因，同类遮阳系统的建模步骤不再赘述，若有需要，请参阅本节的内容。

■ Glazing System Library（玻璃系统库）

首先在 Shade Layer Library（遮阳层库）中确定遮阳层（每条记录中都有详细描述：厂商、类型、材质等），接着将该层添加到玻璃系统中。遮阳层可以放置在玻璃系统的室内、玻璃层之间、或玻璃系统的室外。

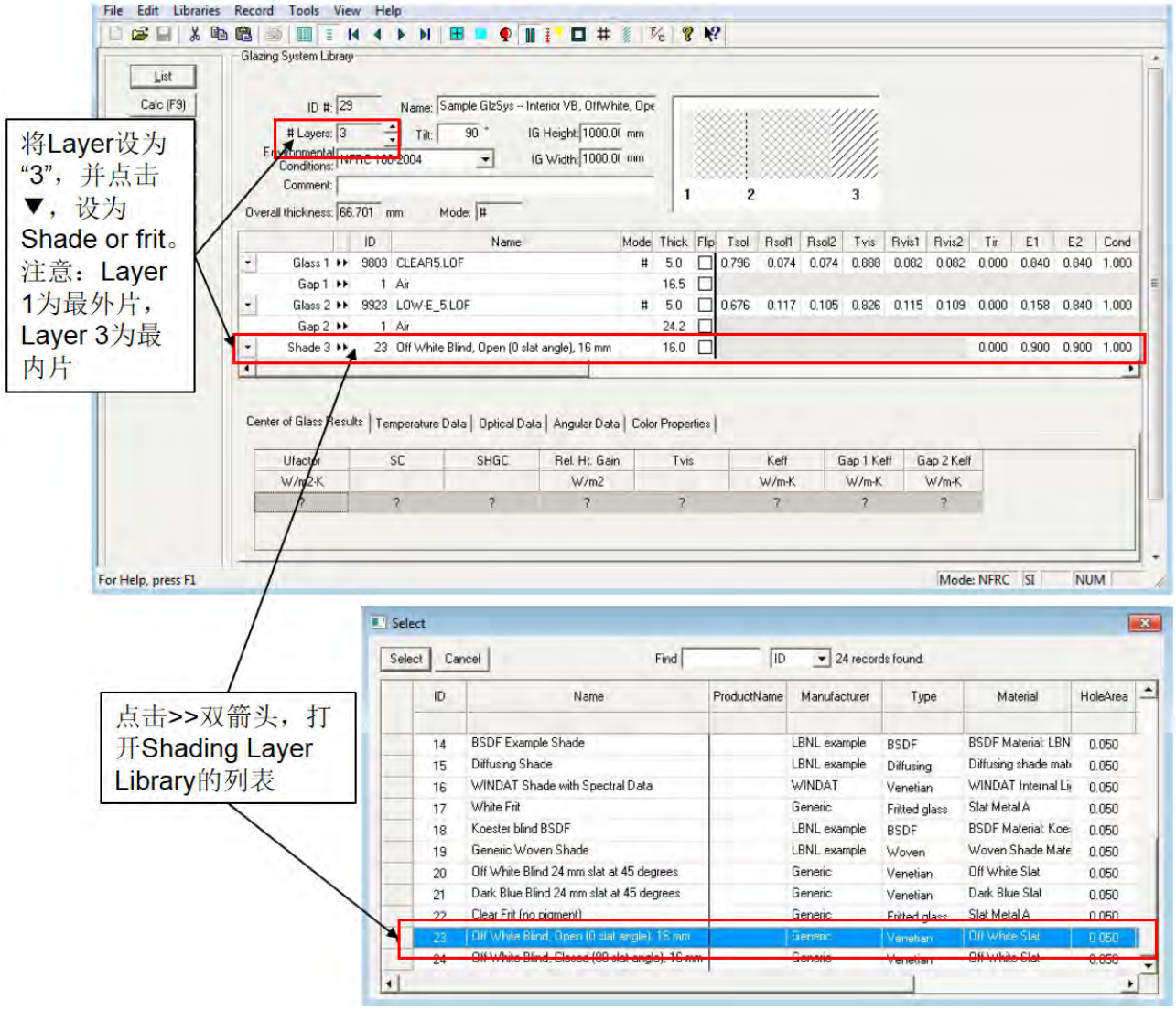


图 8-135：对于玻璃系统的第3层(Layer #3)，从Shading Layer Library中选择玻璃内置百叶

① 设置层数：# Layers = 3（这是在两个玻璃层的基础上加上一个室内遮阳层）

② 设置遮阳层的位置：点击合适的 Layer 左边的 ▼（下拉箭头） → 选择 Shade or frit。例如，在双层玻璃系统中：

- 如果遮阳层在玻璃系统的室外侧，设置 Layer 1 为 Shade or frit。
- 如果遮阳层在玻璃系统之间，设置 Layer 2 为 Shade or frit。
- 如果遮阳层在玻璃系统室内侧，设置 Layer 3 为 Shade or frit。

② 点击 >> → 从 Shading Layer Library（遮阳层库）中选择合适的遮阳层。

③ 为代表遮阳系统几何外形的 Dtop、Dbot、Dright、Dleft 设置合适的值。相关描述，请参阅8.14.3节。必须为每个有不同Dtop/Dbot/Dleft/Dright的框架创建一个单独的玻璃系统。当导入玻璃系统时，这些来自 WINDOW 的值并不在 THERM 中使用，因此必须在导入玻璃系统时重新定义。在下面的例子中，玻璃内置百叶的顶部和底部都没有空间，但是在玻璃内置百叶左右两侧有 3.2 mm 的空间。

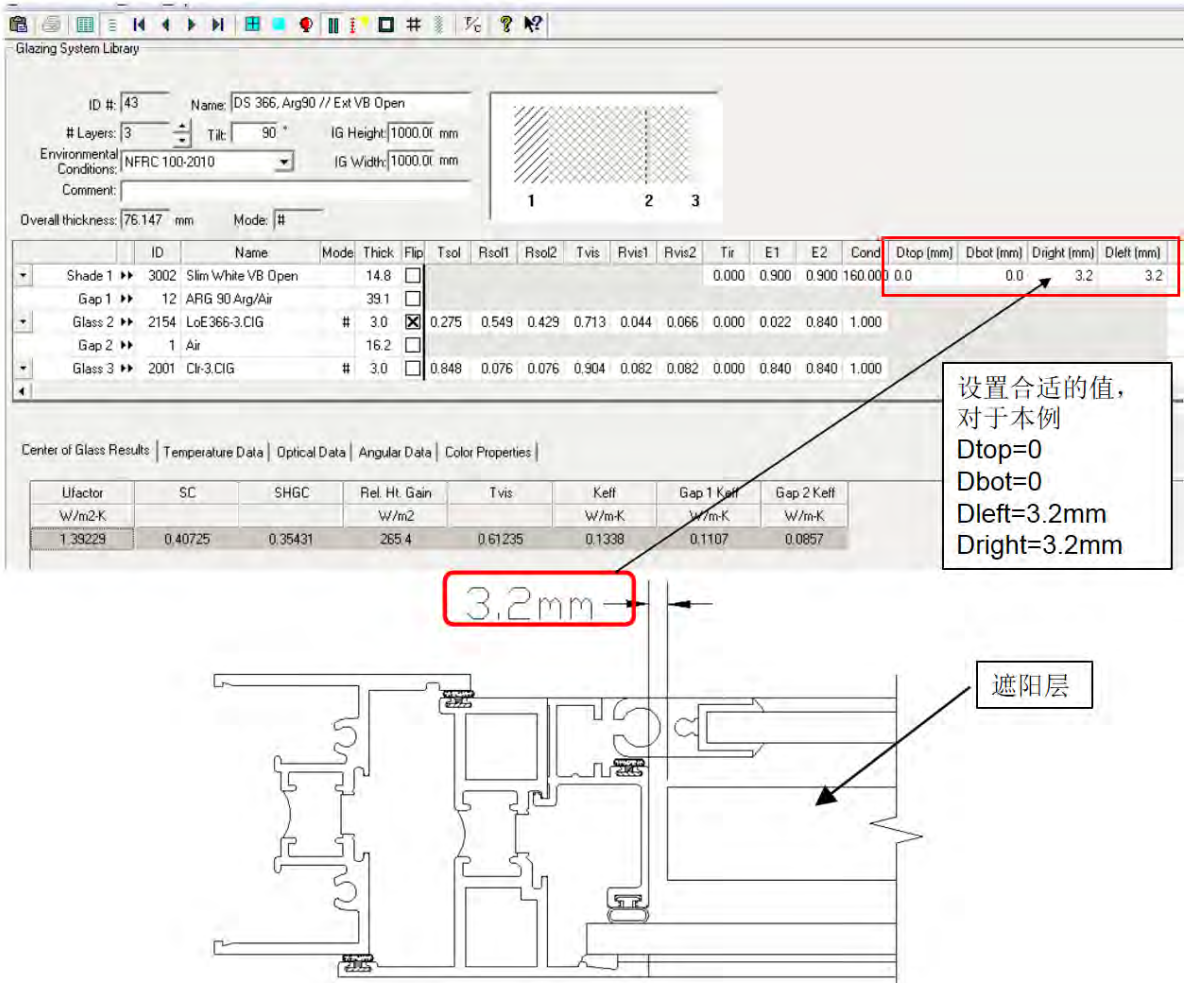


图 8-136：在Glazing System Library中定义Dtop,Dbot,Dleft,Dright(上图)

图 8-137：用于测量遮阳系统与玻璃系统的左，右距离的CAD图(下图)

④ 从图纸量得遮阳层与玻璃系统（或间隔条）之间的距离。在本例中，遮阳层与玻璃系统左、右侧的距离为 3.2 mm。在玻璃系统详细视图中的相应位置，输入这些值。

■ Sightline（视线）

遮阳系统的五金件所在位置往往决定了视线，而不是框架。当然，这还取决于框架和遮阳材料的几何外形（玻璃内置百叶或编织遮阳卷帘)。视线将在 SHGC 和 VT 计算时用到。

■ 遮阳系统的表示方法

在 THERM 中，遮阳材质没有实体模型。当带有室内或室外遮阳系统的玻璃系统被导入到 THERM 文件中时，THERM 绘制了遮阳材料的底图，但不创建多边形，建模师也不能像对待框架那样“捕捉”它。遮阳系统（包括材料和五金件）和玻璃系统和/或框架之间的空间也不被建模为框架空腔。当定义边界条件时，对玻璃系统或框架的影响是通过指定 Shading system modifier（遮阳系统修正）来体现的。当玻璃系统被插入时，Shading system modifier（遮阳系统修正）将自动创建，并将在边界条件对话框的相应下拉菜单中变成可用状态。

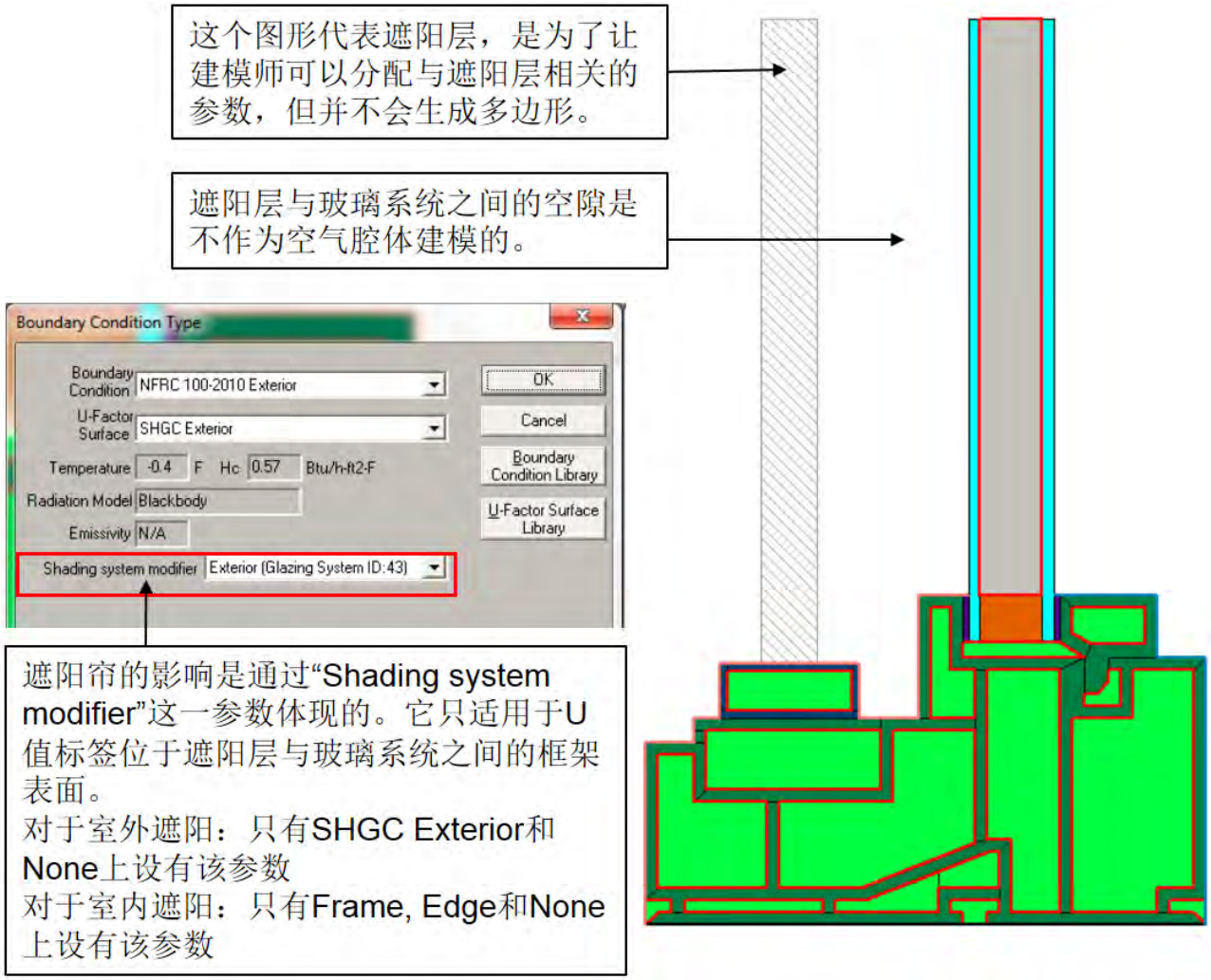


图 8-138：在THERM中遮阳材料不生成多边形

■ Sightline to Shade Edge（视线到遮阳边部）

当导入包含遮阳层的玻璃系统时，Insert Glazing System 对话框中的 Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）的输入值将决定相对于玻璃系统和遮阳系统开始（或停止）的位置。这些值对应于WINDOW中的Dtop、Dbot、Dleft、Dright 值，但用户必须在插入玻璃系统时再次手动输入这些值，因为THERM不会从 WINDOW 读取这些值的信息。

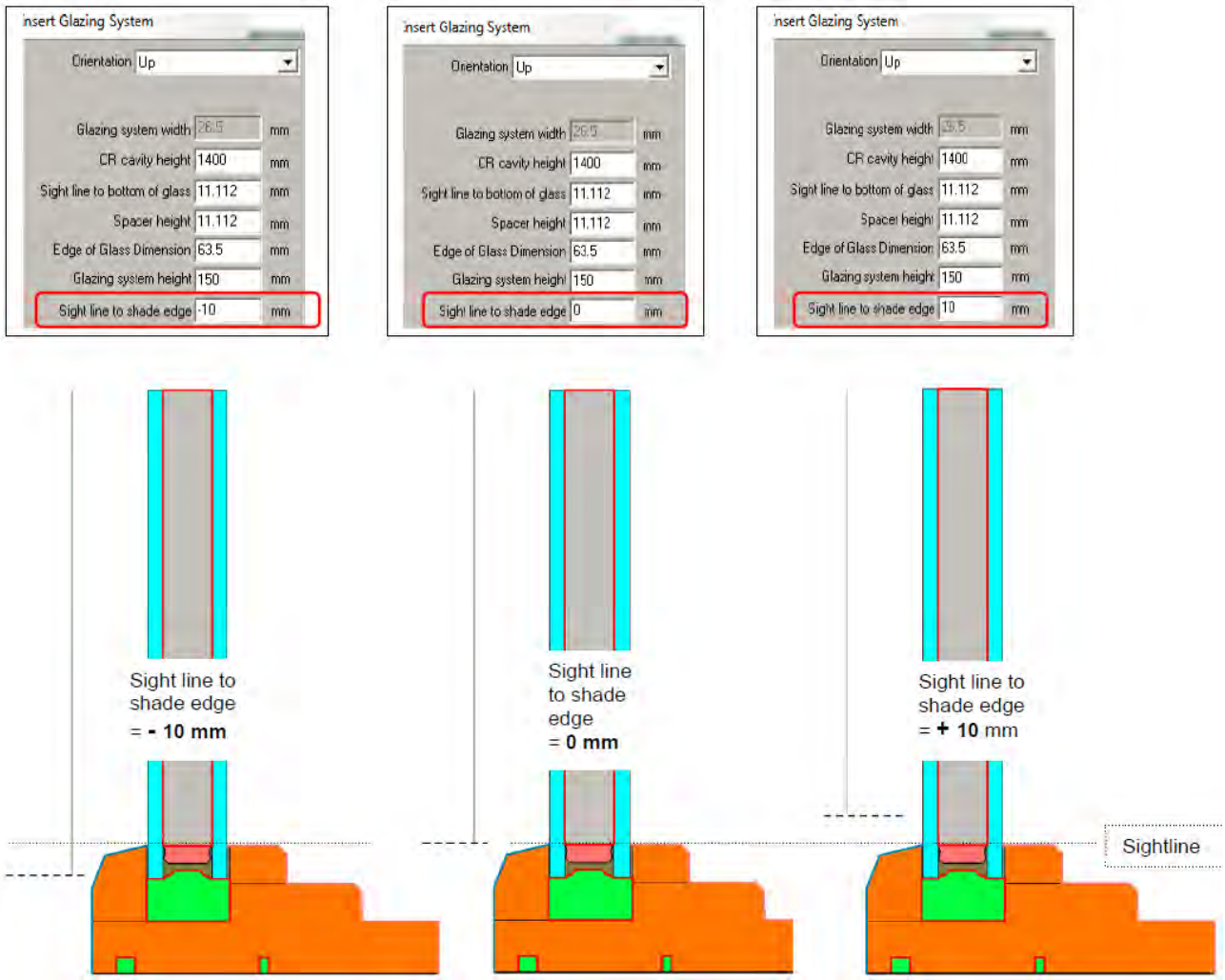


图 8-139：Sightline to shade edge的输入值决定了遮阳系统的所在位置

对于局部插入中空玻璃的遮阳系统，遮阳系统中的五金件往往决定了视线，在导入玻璃系统时应遵照以下指引。注意：当玻璃层不在同一平面上时，插入玻璃系统的方法可不止一种，但在所有情况下，Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部的距离） 应等于 Spacer height（间隔条的高度）。

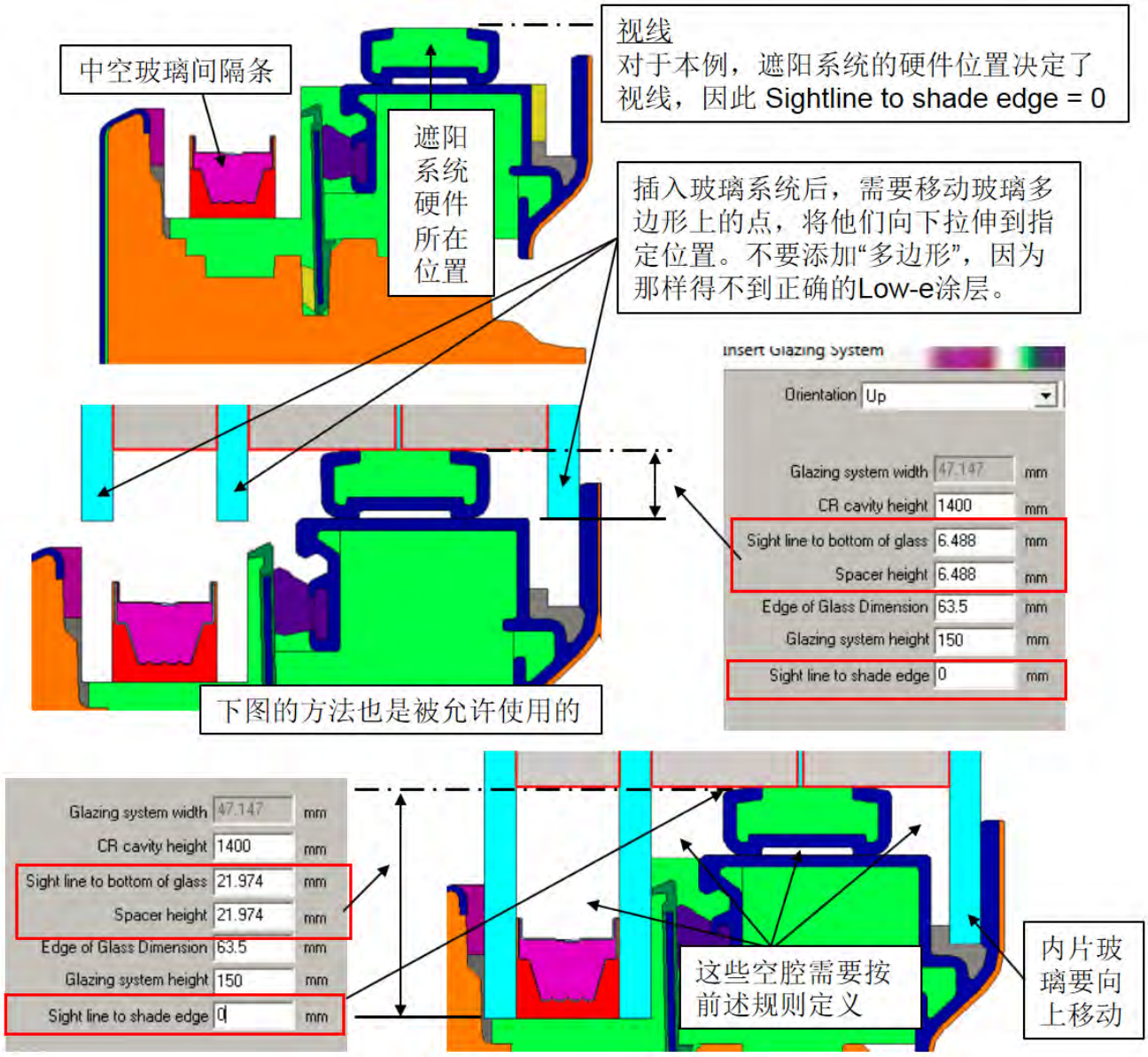


图 8-140：视线与间隔条高度，玻璃底部和遮阳边部的关系，用于由五金件定义视线的遮阳系统

对于置于两层玻璃之间、且遮阳层“周围”可能发生对流热损失的遮阳系统，下图展示了在导入玻璃系统时如何定义输入变量，从而使 THERM 中出现“灰色”框，以模拟遮阳层周围间隙的对流热流。该间隙已在 WINDOW 中针对相应的 Dgap 进行确定和输入。灰色框最常出现在未对五金件建模的边框（jambs）处。然而，如果存在允许对流热流在遮阳层“周围”穿过的五金件，则必须使用灰色框（此类情况示例见下方“图 c”）。

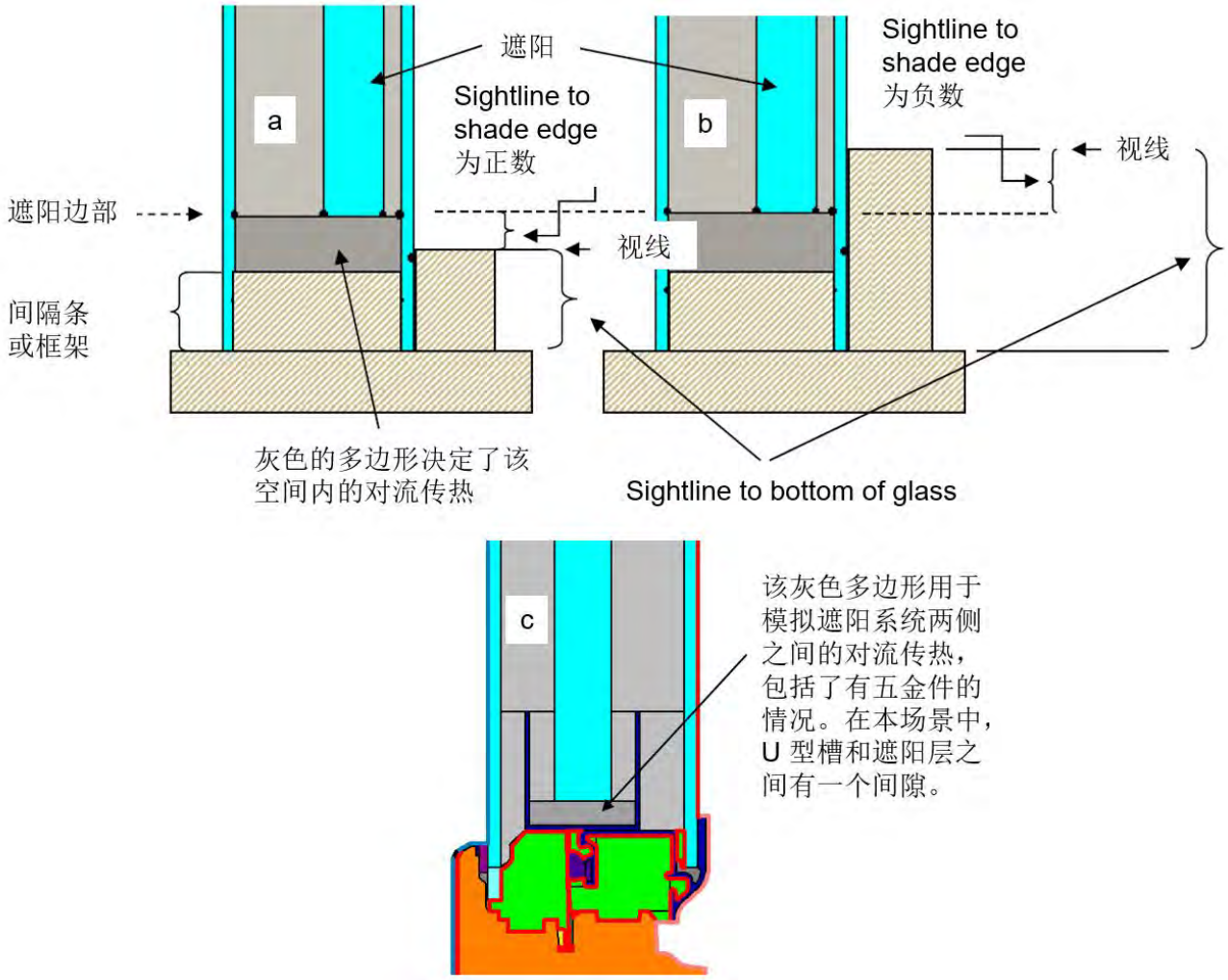
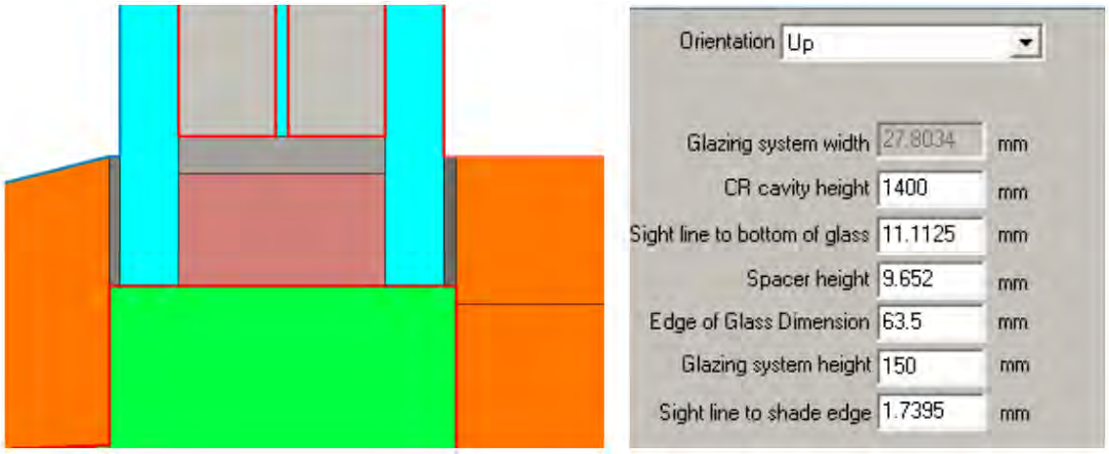


图 8-141：遮阳系统的五金件不建模时，视线与遮阳边部的关系

下面是两个与视线有关的例子，以确保灰色多边形出现在遮阳边部以下，并考虑对流传热：

例1：Sightline to shade edge ＞ 0



Sightline to bottom of glass = 11.1125 mm

Spacer height = 9.652 mm

Dleft和Dright = 3.2 mm（根据 WINDOW），等于灰色多边形的高度

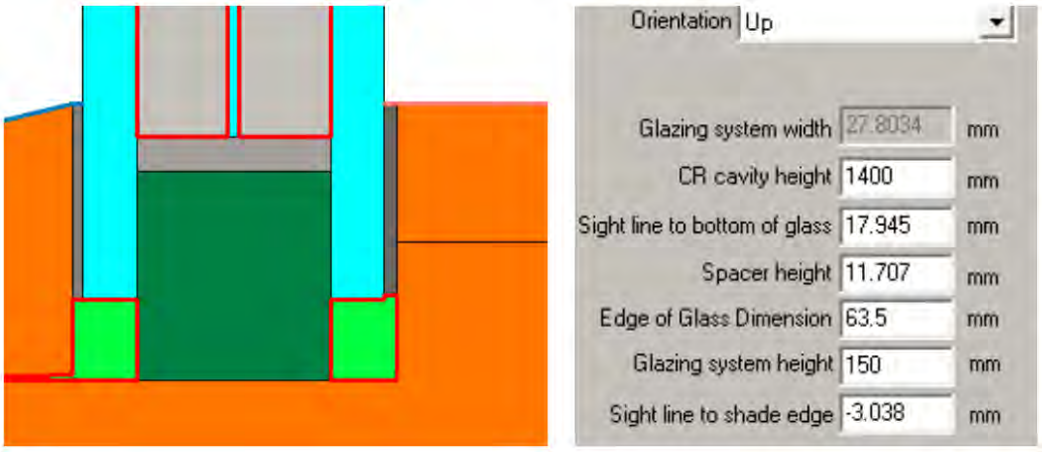
Sightline to shade edge = 1.7395 mm

计算过程：11.1125 mm - 9.652 mm - 3.2 mm = -1.7395 mm，取绝对值 1.7395 mm

由于没有五金件，应确保玻璃下的灰色多边形是由 THERM（而不是建模师手动）创建的。

图 8-142：当五金件不建模时，视线到遮阳边部是正数的情况

例2：Sightline to shade edge ＜ 0



Sightline to bottom of glass = 17.945 mm

Spacer height = 11.707 mm （从间隔条顶部到玻璃底部的距离）

Dleft和Dright = 3.2 mm（根据 WINDOW），等于灰色多边形的高度

Sightline to shade edge = -3.038 mm

计算过程：17.945 mm - 11.707 mm - 3.2 mm = 3.038 mm，取负数 -3.038 mm

由于遮阳系统没有五金件，应确保玻璃下的灰色多边形是由 THERM（而不是建模师手动）创建的。

图 8-143：当五金件不建模时，视线到遮阳边部是负数的情况

■ Link（链接） 玻璃系统空腔与其它空腔

如果遮阳系统周围的空腔（包括五金件）与玻璃系统空腔（WINDOW 导入）相接触，根据 第6.4.4 节 中描述的 5 mm 规则，前者应当 Link（链接） 到后者。

在下面的例子中，框架空腔内有一个大于 5 mm 的“喉”，该“喉”与“未密封”玻璃的空腔相邻，因此前者被 Link（链接） 到后者，而小于等于 5 mm 的“喉”被建模为框架空腔。

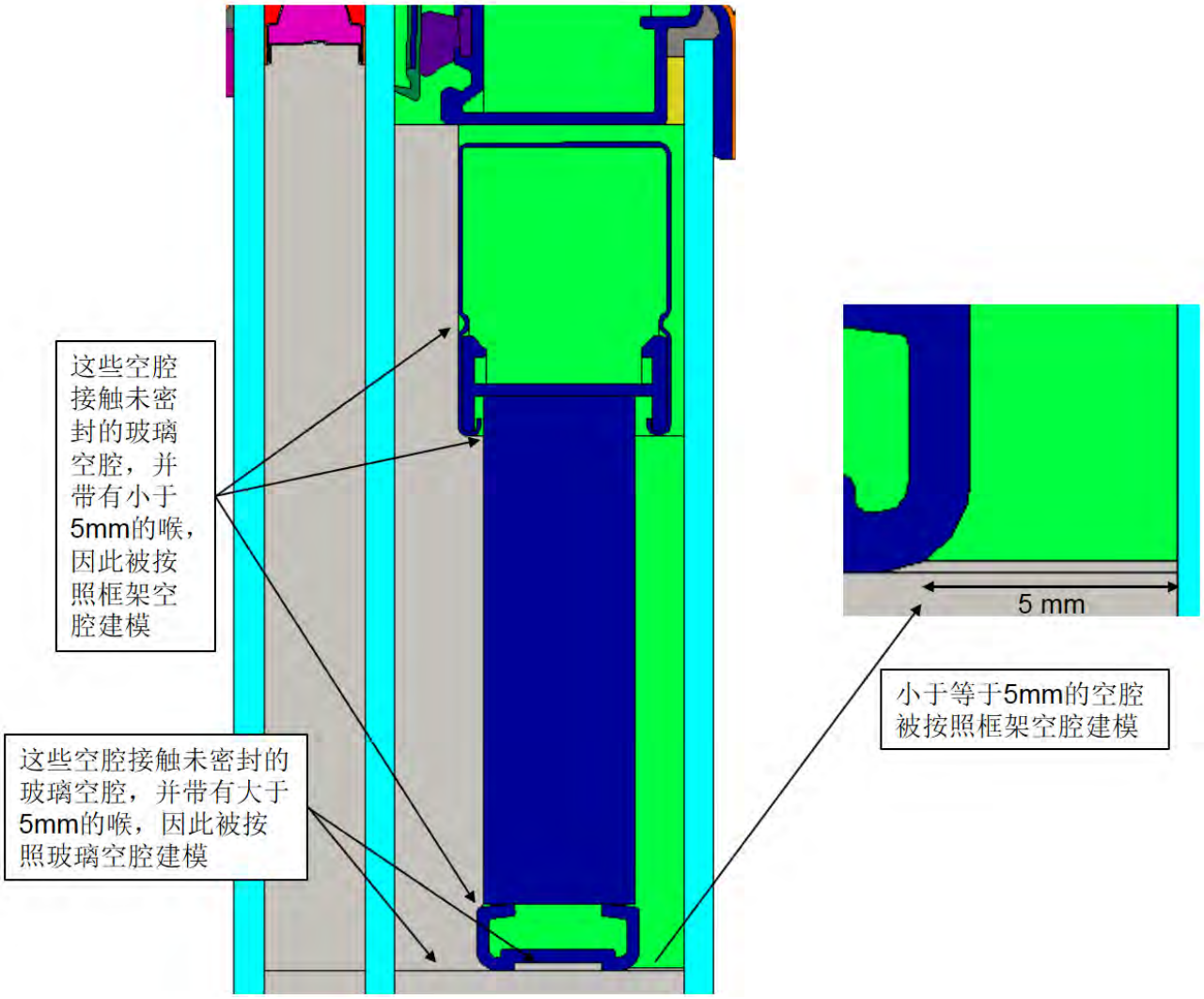


图 8-144：确定遮阳系统周围的哪些空腔可以链接到玻璃系统的空腔

■ 遮阳系统五金件的建模

不建模的五金件：

- 如果五金件不位于两层玻璃之间，且与框架或其他遮阳系统五金件相隔绝（例如：悬空处于半空中）。例如，如果卷帘的五金件没有与遮阳系统外壳连续连接，则无需对其进行建模，比如卷帘系统的卷管和底部配重杆。卷管仅连接在两侧边框（jamb）处，并未沿顶部（head）连续连接。

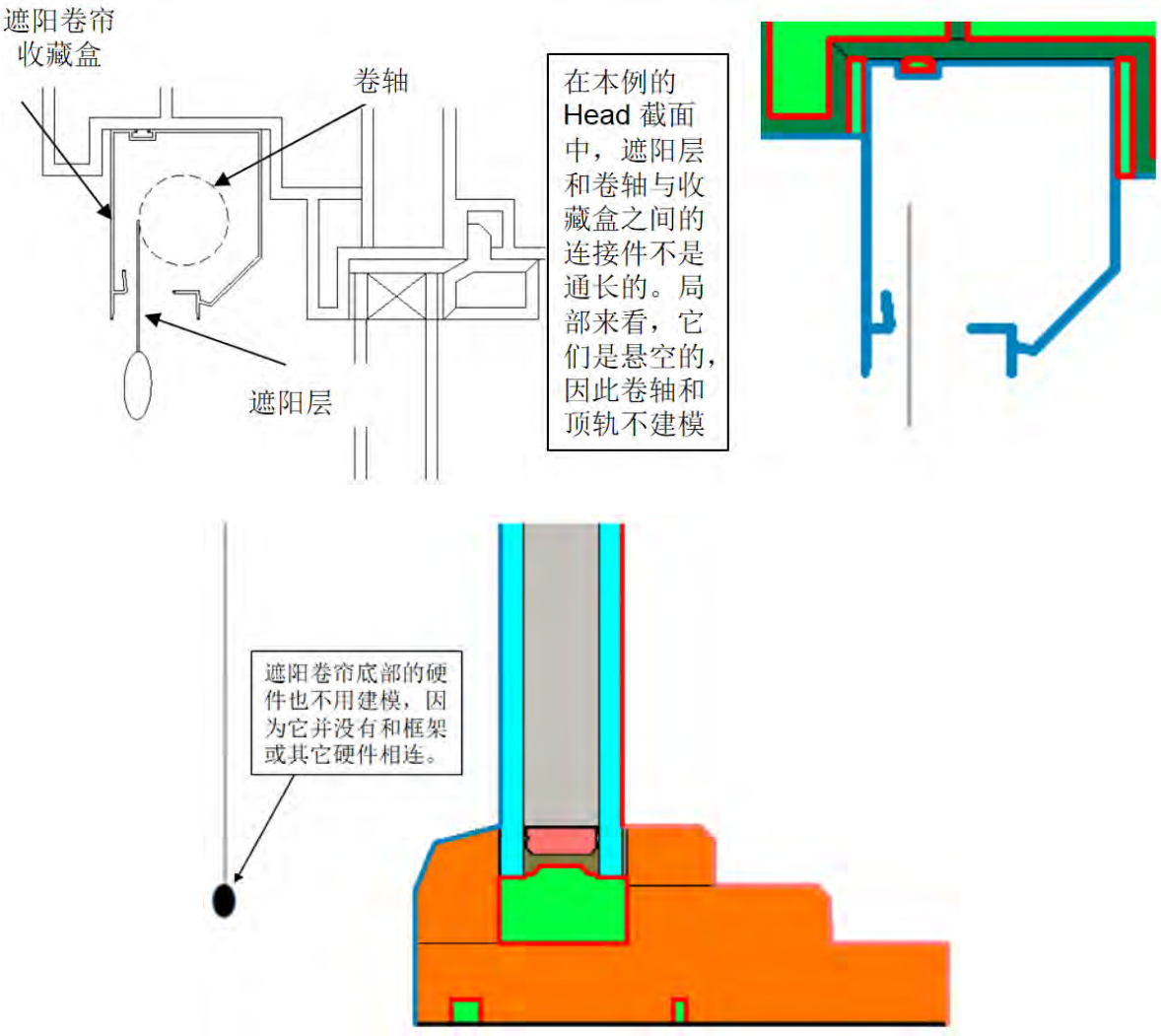


图 8-145：如果卷帘管、底部折边杆或任何遮阳系统五金件不是连续的，则不应对其进行建模。

- 这也适用于完全关闭（拉下）状态下遮阳系统底部的五金件，因为它没有接触到框架或其他遮阳系统五金件；并且，它也不位于两层玻璃之间（例如：百叶帘底部铝合金底轨）。

必须建模的五金件：

- 如果五金件是通长地附着在框架或遮阳系统的其它五金件上的。如 图8-144 所示的收藏盒，因为它是被通长地固定在框架上的。
- 如果五金件是在两层玻璃之间的，例如但不限于玻璃内置百叶底部导轨。通常，玻璃之间的百叶帘有一个底部导轨，可以自由漂浮在玻璃系统的框架/间隔条之上（如 图8-146 所示）。

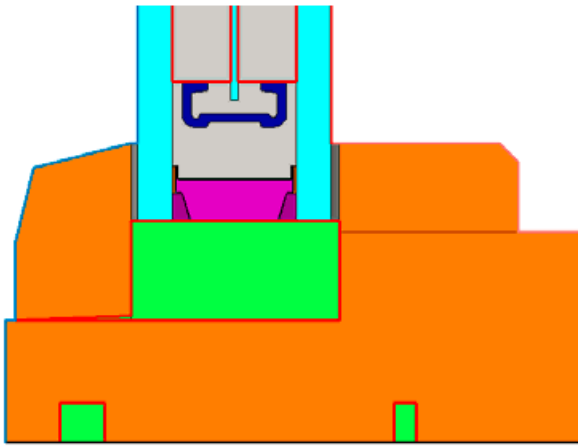


图 8-146：底轨虽然是悬空的，但是在两个玻璃层之间，因此也要建模

框架空腔内遮阳系统收藏盒：

当建模一个室外遮阳系统，如编织遮阳，有三种可能的方法来填充遮阳系统收藏盒的空腔：

- NFRC 标准封闭空腔
- 微通风型腔
- 非空腔

定义上述空腔时，应遵循 第6.3.6节 中的规定。

下面的指导方法是根据收藏盒的几何外形、外部间隙宽度和遮阳层的渗透系数等因素决定使用哪个模型。遮阳系统五金件通常有开口（间隙），以便遮阳层进出，分以下几种情况：

- 如果室外遮阳层和遮阳五金件的间隙大于 10 mm，保持该空腔完全开放，不必考虑渗透系数，即可以完全忽略。由于空隙太大，遮阳层不产生影响。参阅 图8-148 中的示例。
- 遮阳层的渗透系数≤ 0.20：

  a. 要求建模师打开 WINDOW，查看遮阳层库中遮阳材料的渗透系数。如 图8-147 所示。

  b. 遮阳层应按照 图8-147 中的材料导热系数建模，除非遮阳层和收藏盒的间隙超过 10 mm。

c. 遮阳层材料在 NFRC 101 中没有公布，因此，这是唯一允许创建用户自定义材料的情形。

d. 根据收藏盒与遮阳层之间的间隙大小，收藏盒内部应考虑建模成为封闭空腔。

注意：当使用收藏盒与遮阳层之间的间隙而不是整体间隙，就会出现上述情况。当间隙小于 10 mm 时，遮阳层应当建模。如 图8-148 中的 A - C 所示。

- 如果遮阳层的渗透系数 ＞ 0.20:

  a. 遮阳层不建模。

  b. 仅考虑遮阳五金件的间隙宽度（或整体收藏盒的间隙），以建模室外框架间隙的空腔（如非空腔、NFRC 标准封闭空腔或微通风空腔）。

- 如果空腔由于 ＞ 10 mm 间隙规则而打开，则将边界条件引入遮阳系统收藏盒的内部，但使用第6.3.6节 中的间隙规则处理任何小间隙。

- 对于遮阳系统收藏盒内填充的框架空腔（NFRC 标准封闭空腔或微通风空腔），根据需要将其按 5 mm 规则 进行分解，空腔类型保持不变，但空腔被分隔成更小的多边形。

  注意：图8-148 中给出了仅使用整体收藏盒间隙而忽略遮阳层的示例。

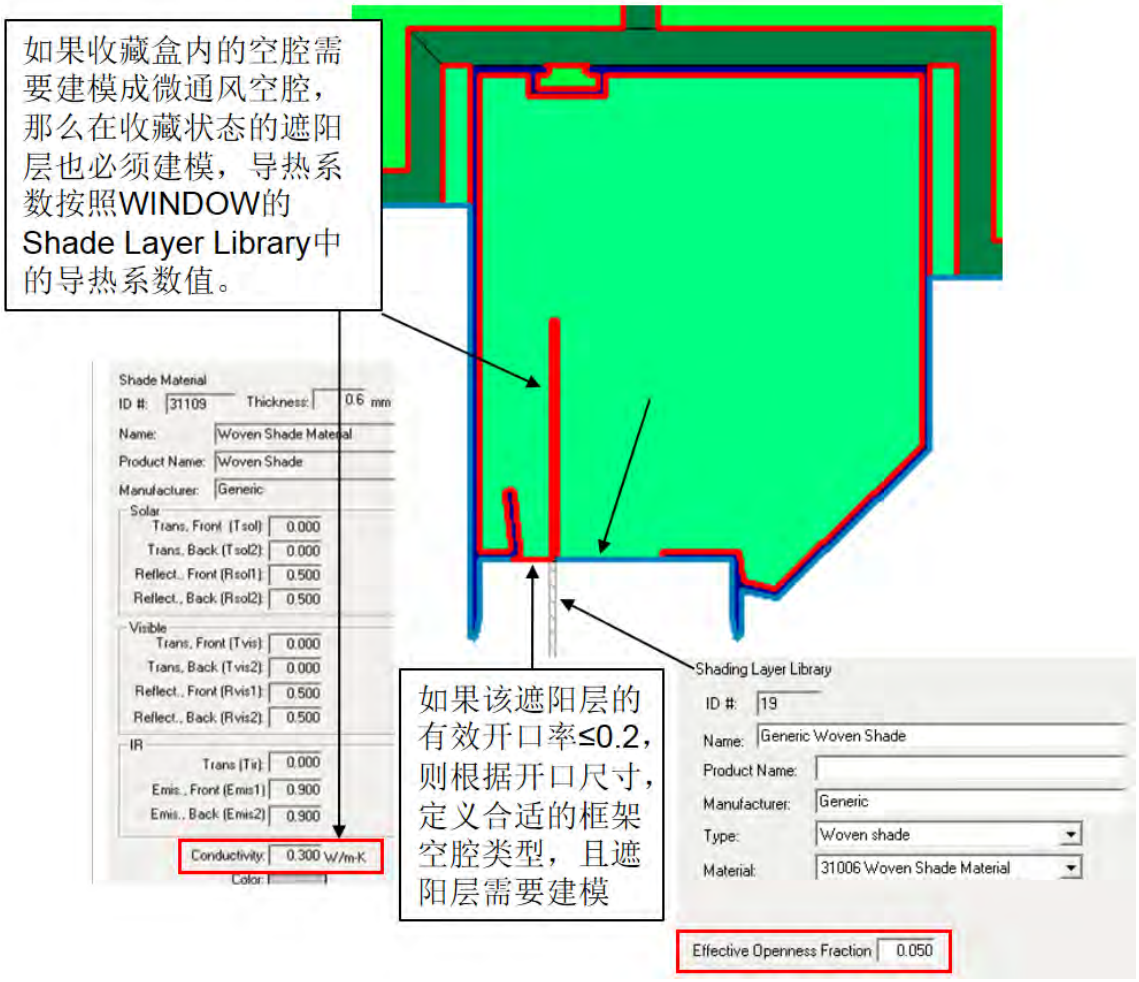
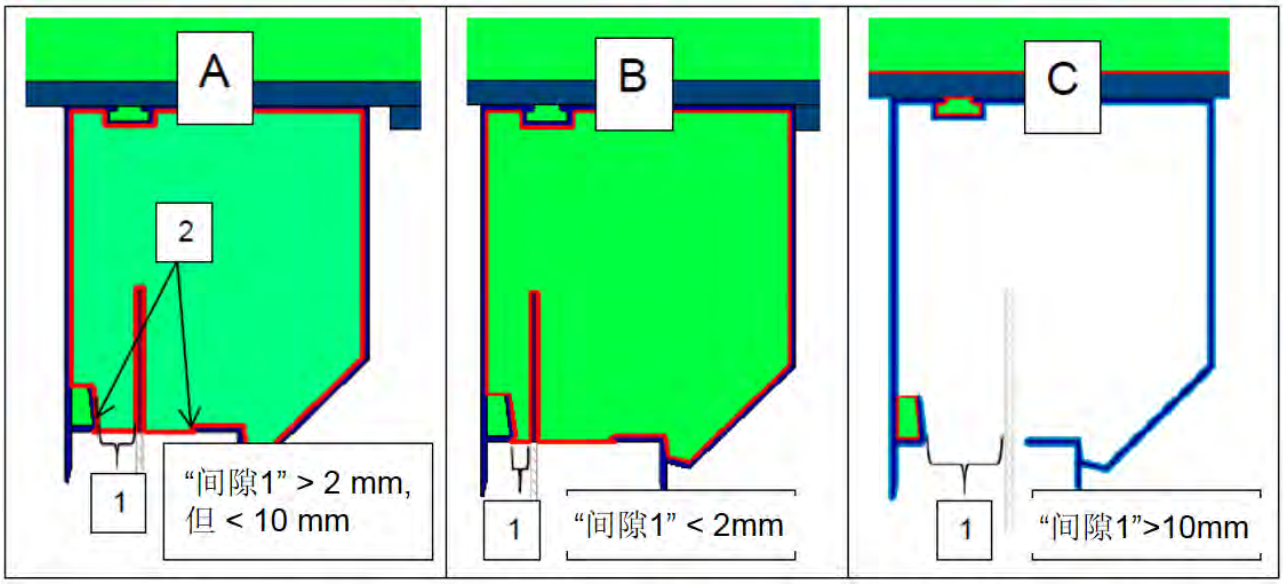


图 8-147：如果该遮阳系统收藏盒内的空腔符合该情况下的建模规则，则可将其建模为微通风空腔

下面的插图是不同的建模场景的例子，当面对两种不同的间隙（遮阳层与收藏盒之间的间隙和整体遮阳收藏盒的间隙）和遮阳层的渗透系数。

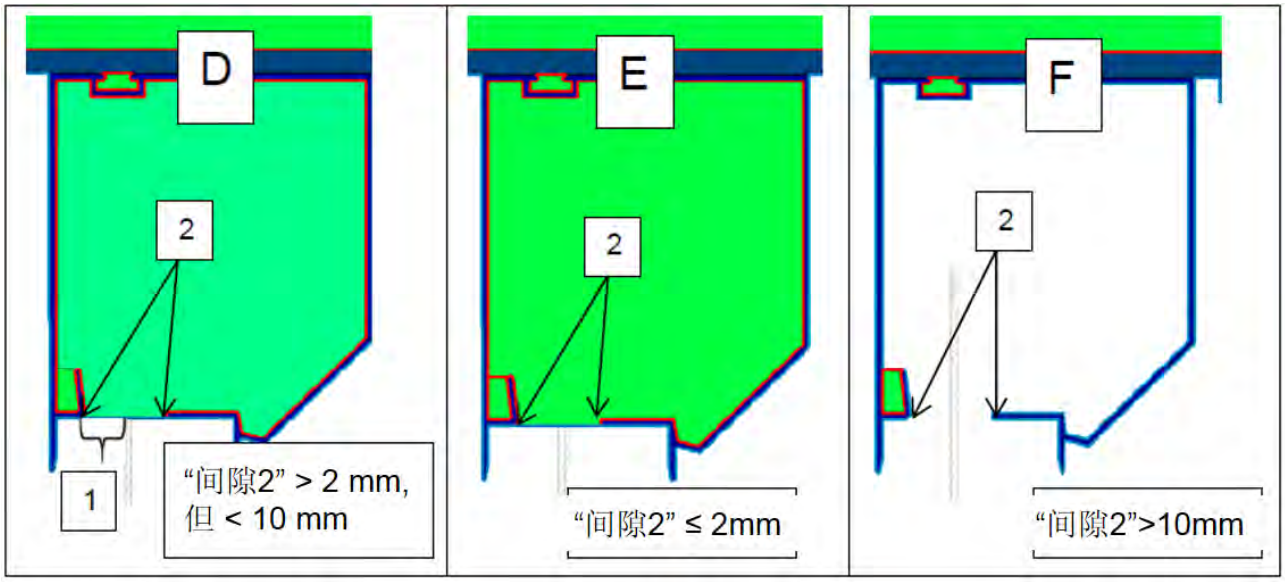
插图（A）、（B）、（C）是当遮阳层的渗透系数 ≤ 0.20 时的建模方法



间隙1 = 遮阳层与收藏盒之间的间隙：应考虑该间隙，并建模遮阳层，（C）除外。

间隙2 = 收藏盒间隙或五金件的整体间隙：因为渗透系数 ≤ 0.20，不考虑。

插图（D）、（E）、（F）是当遮阳层的渗透系数 > 0.20 时的建模方法



间隙1 = 遮阳层与收藏盒之间的间隙：因为渗透系数 > 0.20，不考虑。

间隙2 = 收藏盒间隙或五金件的整体间隙：只使用此间隙。

图 8-148：遮阳层建模要求和框架空腔在遮阳系统内部的应用实例

根据上述有关渗透系数的要求，在遮阳系统收藏盒中的遮阳层，应当符合以下建模规则：

- 从 WINDOW 中将将遮阳层导入收藏盒，如下图所示。
- 如果遮阳系统收藏盒中的空腔是按框架空腔（封闭空腔或微通风空腔）建模的，那么在收藏盒内，需要绘制一个代表遮阳层的多边形，该遮阳层多边形的导热系数取 WINDOW 的 Shade Material Library（遮阳材料库）中的数值（如 图8-147 所示）。
- 如果未按框架封闭空腔建模，保持现状。

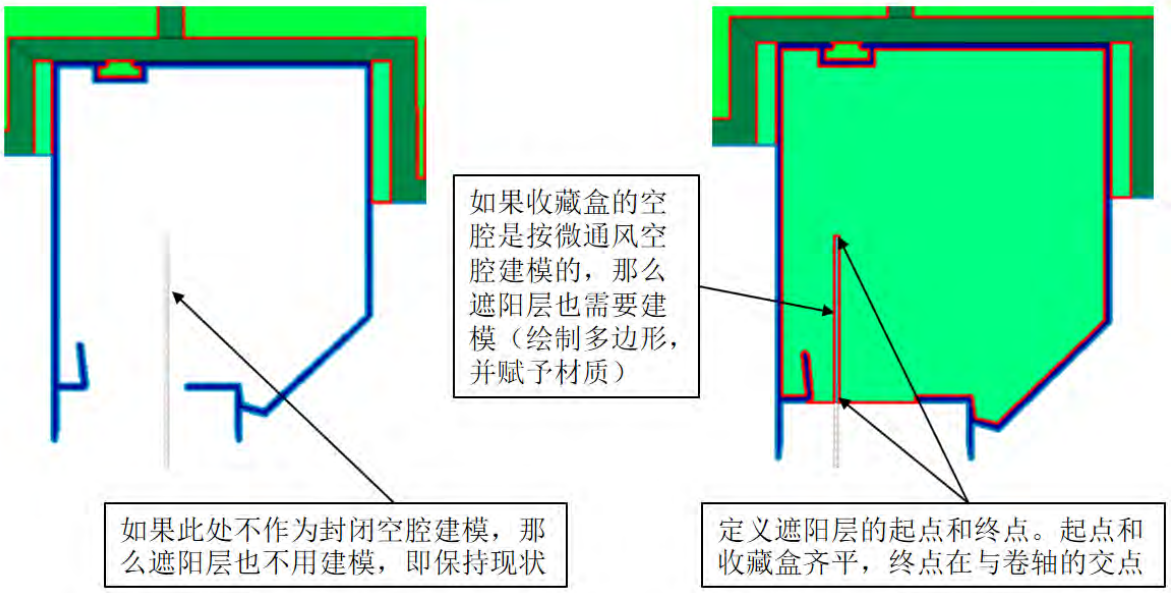


图 8-149：在遮阳系统收藏盒中是否对遮阳层进行建模的依据

Shading System Modifier（遮阳系统修正）

在 Boundary Condition Type（边界条件类型） 对话框中，根据遮阳在所有玻璃和框架表面上的投影，分配 Shading system modifier（遮阳系统修正）。

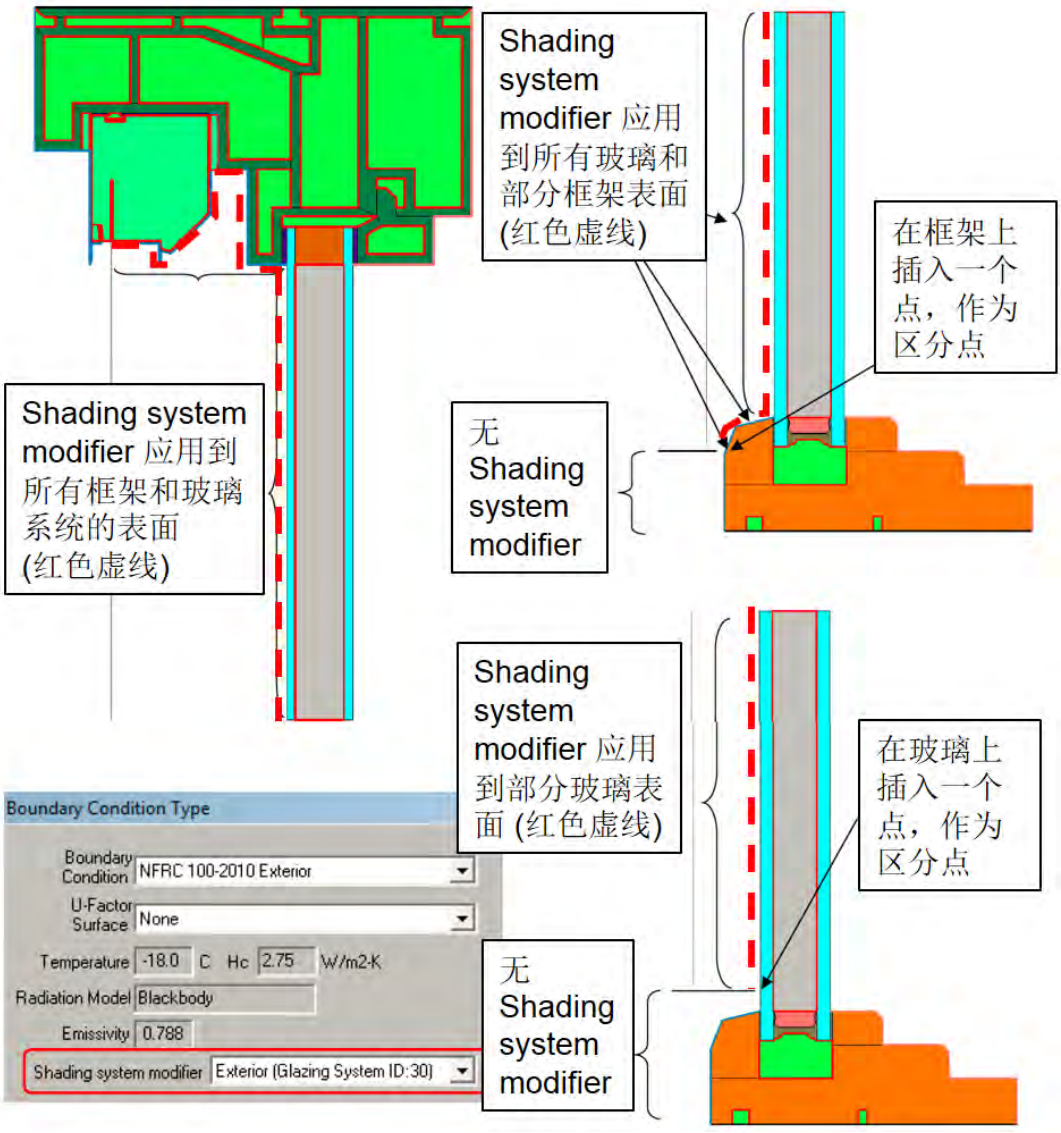


图 8-150：在Boundary Condition Type对话框中应用Shading system modifier

8.15. 本章节特意留白

8.16. 玻璃内置百叶（整体式）

NFRC 已批准使用 WINDOW 和 THERM 为带玻璃内置百叶的竖直产品（不含倾斜产品）进行 U 值、SHGC 和 VT 的建模计算。

玻璃内置百叶是一种将百叶帘设置在两层玻璃之间的产品，属于动态玻璃类别。在将可伸缩的内置百叶帘作为动态玻璃产品的一部分进行建模时，完全打开位置是指百叶帘完全收起的状态（此时叶片堆叠在一起，成为一块必须进行建模的“实体”材料）。如果百叶帘无法收起，则应将其建模为拉下且完全打开的状态，即叶片处于水平位置。完全关闭状态是指百叶帘拉下，且叶片闭合至其最大位置（即完全闭合）。



图 8-151：中空玻璃内置百叶是指位于两块玻璃之间的百叶帘。

8.16.1. 全开的玻璃内置百叶

完全打开的百叶帘有两种情况：

- **可伸缩/打开的百叶帘：**百叶帘可向上收起至玻璃系统的顶部。

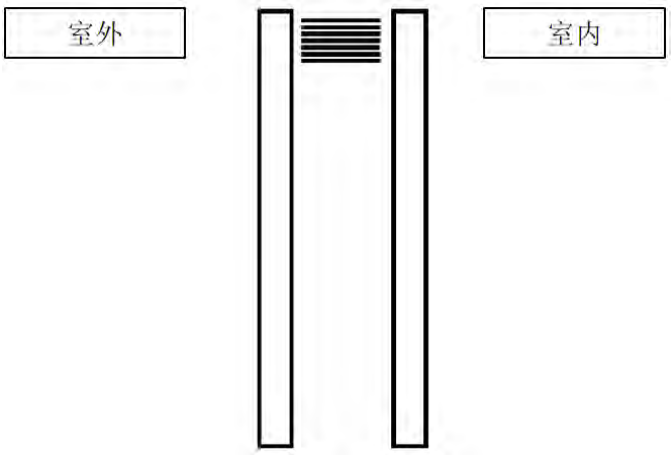


图 8-152：打开状态的可伸缩百叶帘

- **不可伸缩的百叶帘：**打开时，底部固定的百叶帘（不能向上收起）——“打开”状态的定义是百叶片与玻璃平面垂直（呈水平状）。

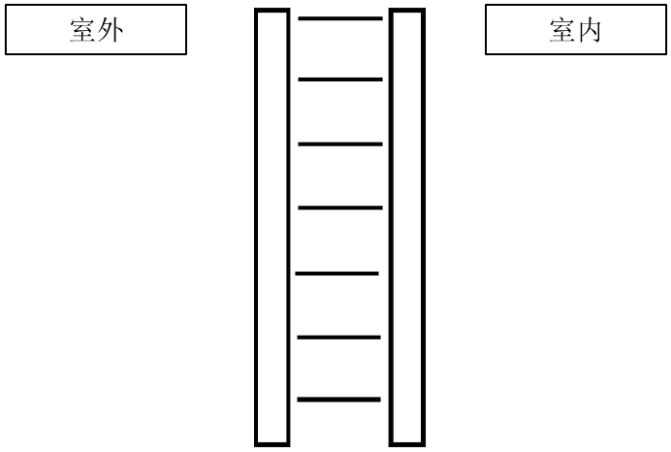


图 8-153：打开状态的不可伸缩式百叶帘

对于可伸缩/打开状态，将举例说明百叶帘完全收起在双层玻璃系统内的情况。

对于不可伸缩/打开状态，将举例说明百叶帘位于双层玻璃系统内，且百叶片处于水平（打开）位置的情况。

8.16.1.1. 可伸缩的玻璃内置百叶

关于如何在玻璃系统的顶部创建一个完全收起的百叶帘，下面以一个顶横梁截面为例进行介绍。

在本例中，只显示了顶横梁截面。对于竖直平移窗（提拉窗），中框的下部窗框的玻璃之间包含一个活动百叶帘，将采用与顶横梁相同的建模方式。其它截面（底横梁、边立柱和中立柱）都按正常建模，不用考虑百叶帘。

在 WINDOW 中：

① Glazing System Library（玻璃系统库）：由于百叶帘是可伸缩的，不用在WINDOW 中建模百叶帘，按正常步骤创建玻璃系统即可。

在 THERM 中：

② 框架几何外形：按正常步骤绘制顶、底横梁、边立柱、中立柱。

③ 玻璃系统：

a. 导入在 WINDOW 中定义的玻璃系统，需考虑到各玻璃层之间存在百叶窗五金件以及用于测量正确 Sight line to bottom of glass (视线至玻璃底部) 数值的叶片叠层。视线包含代表关闭百叶窗的叶

片“叠层或块状”的高度。要求根据 ANSI/NFRC 100 表 4-1 中列出的开启类型，使用默认的叶片叠层高度。确保由 THERM 正确自动定义 Frame、Edge 的边界条件以及 U 值标签。

b. 根据玻璃系统的类型（密封的中空玻璃或未密封的双层玻璃），遵循适当的空腔建模规则（见“第6.4.4节：链接玻璃空腔”），对空腔进行填充。

④ 边界条件：按常规方式定义边界条件；由于未在 WINDOW 软件中对威尼斯百叶窗进行建模，因此 THERM 软件中的边界条件无需针对遮阳系统（Shading System）进行修改。确保在外部玻璃层视线位置添加一个点，以便能够分配 SHGC Exterior 标签。

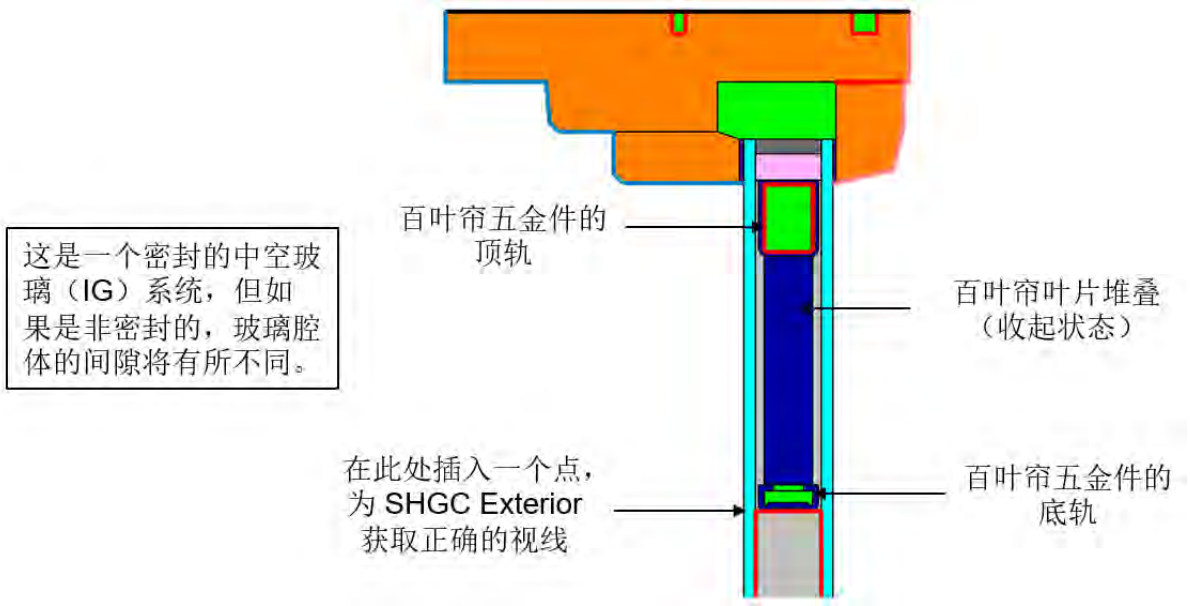


图 8-154：密封双层玻璃系统内带有完全收起百叶帘的顶部横截面。

注：后续所有附图均为双层玻璃系统的顶部横截面，但导入玻璃和分配边界条件的步骤完全相同。唯一的例外是密封系统与非密封系统在玻璃腔体 Link（链接） 的不同。

按照以下步骤对完全收起的百叶帘进行建模：

（注：本示例是针对铝合金叶片的百叶帘进行的。如果百叶帘的材质不是铝，请使用 NFRC 101 中的相应材料特性来定义收起的百叶帘叶片堆叠材质，或者直接从 WINDOW 的 Shade Material Library (遮阳材质库) 中选用相应的材质，并在 THERM 中创建用户自定义材质。）

1. 绘制产品框架的顶横梁截面。
2. 绘制收起状态的百叶帘几何图形，包括堆叠的百叶帘叶片的长度和宽度，以及任何用于固定百叶帘的连续五金件（顶部和底部）。
3. 插入玻璃系统。
4. 根据玻璃腔体是密封系统还是非密封系统，使用适当的材料填充百叶帘周围的腔体。（密封与非密封系统在腔体填充上的差异，请参见图 8-155 和 8-156）。

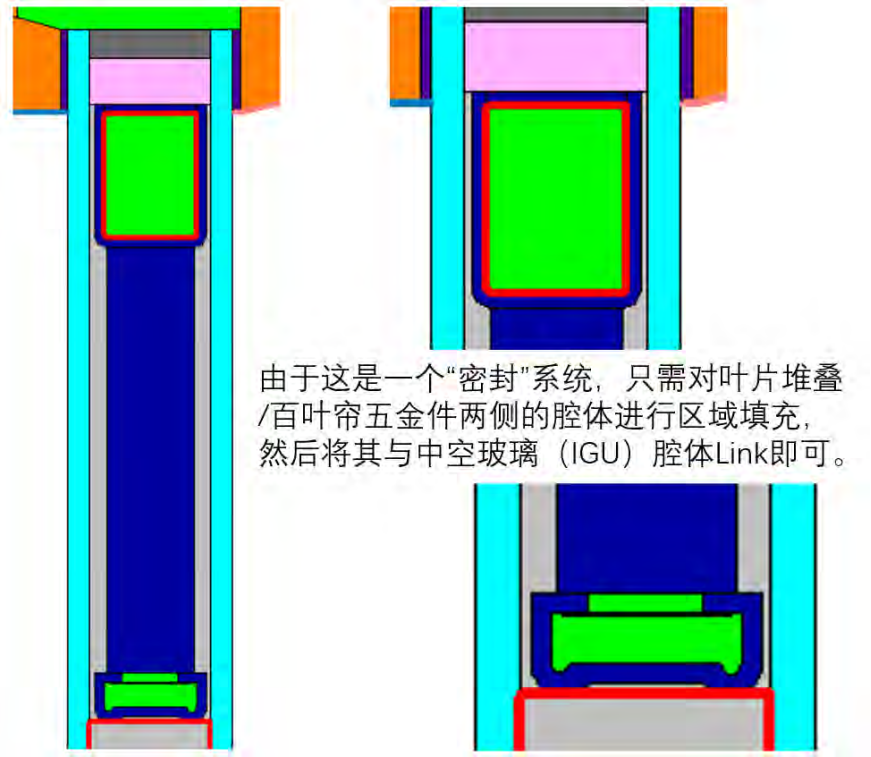


图 8-155：“密封”玻璃腔体的填充方法示意图

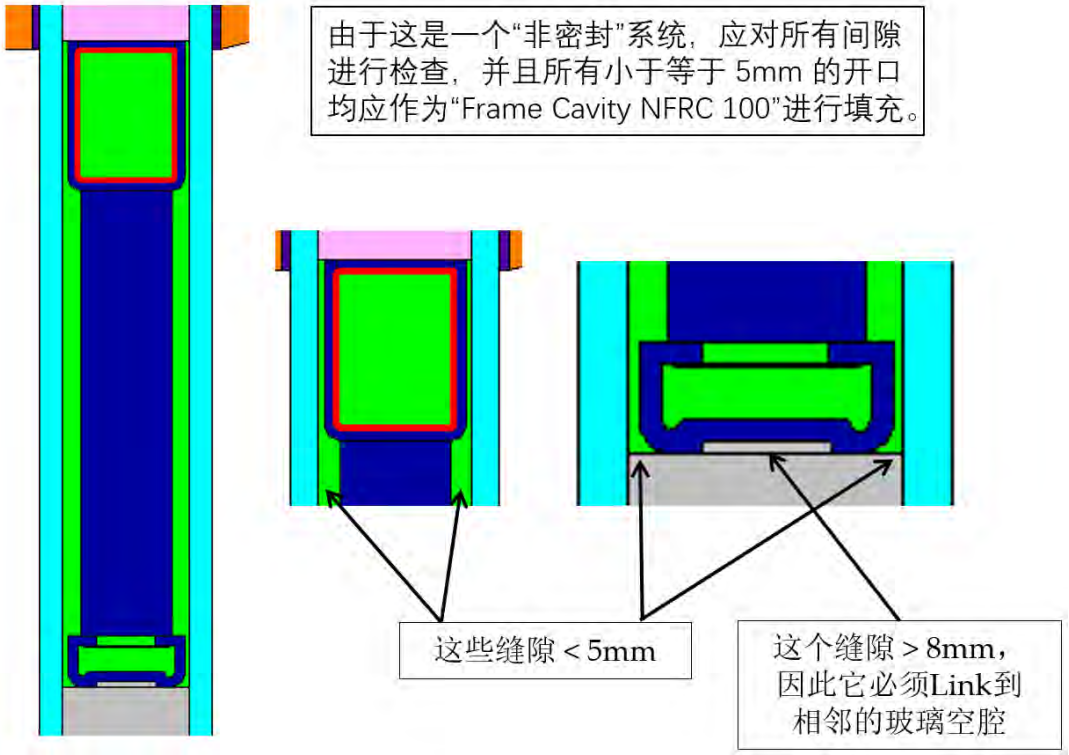


图 8-156：“非密封”玻璃腔体的填充方法示意图

5. 生成边界条件。可伸缩的百叶帘的玻璃系统室内部分应该定义 U值标签 为 Frame。

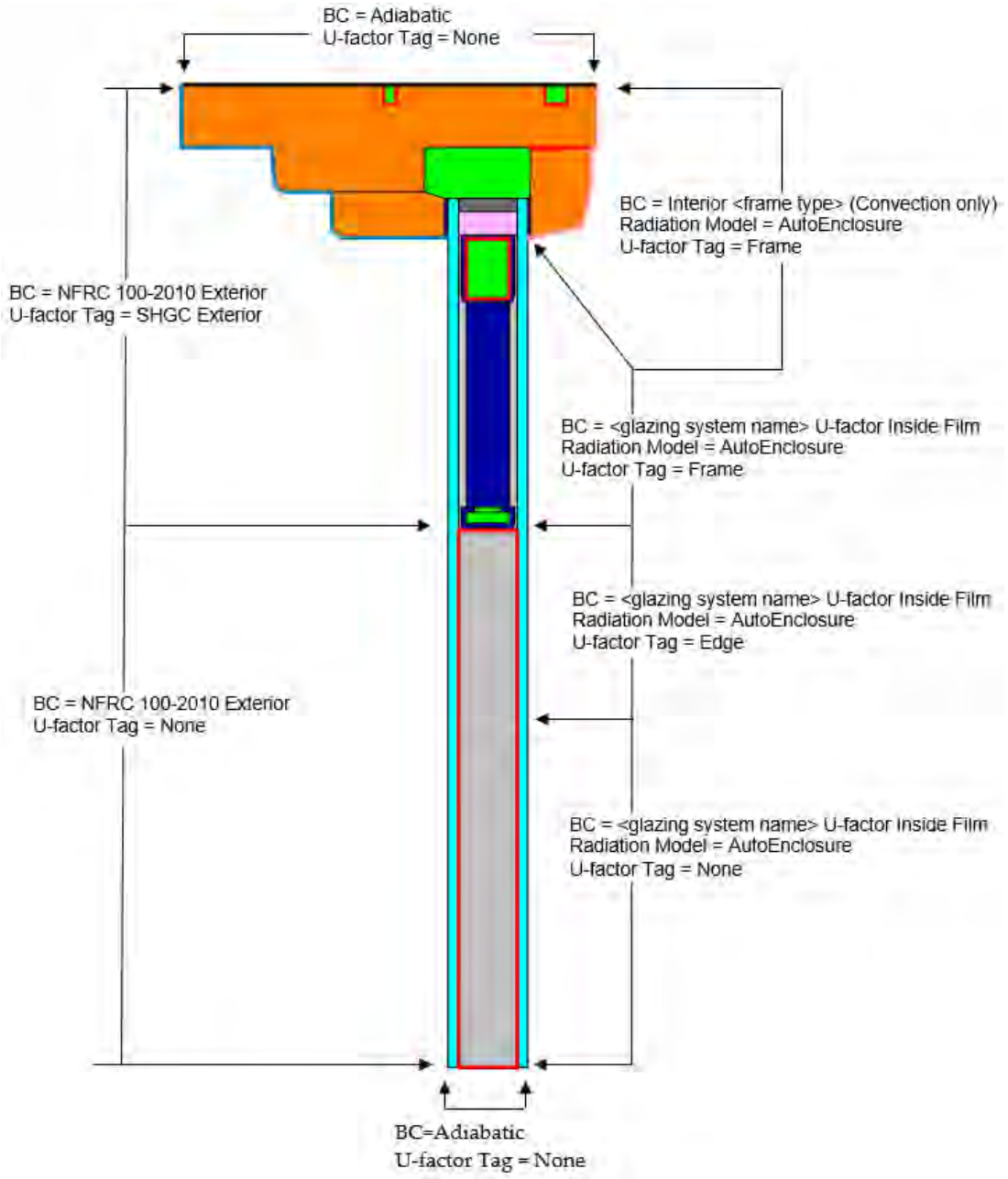


图 8-157：定义截面的边界条件

6. 计算这个截面的结果。
7. 完成其它截面的计算（若有）。
8. 将所有的截面模型文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库），并构建、计算整体产品的U值、SHGC 和 VT值。

8.16.1.2. 不可伸缩式玻璃内置百叶

不可伸缩式玻璃内置百叶是底部固定（不能向上收起）的系统，“打开”状态的定义是百叶片与玻璃平面垂直（呈水平状）。

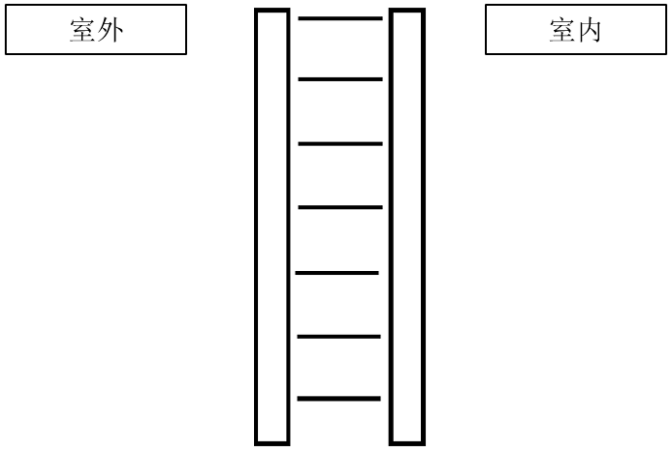


图 8-158：打开状态的不可伸缩式百叶帘

在 WINDOW 中：

① Shading Layer Library（遮阳层库）：如果遮阳层库中没有合适的百叶帘产品，那么需要从 CGDB（复杂玻璃数据库）中导入相关产品。对于 NFRC 认证模拟，只能使用如前述的 Mode（模式）带“#”产品。如果产品不在 CGDB 中，制造商将需要先测量百叶帘产品并添加到 CGDB 中后，才能在建模时使用该产品。

遮阳层应该用水平位置的百叶片定义，或者在百叶帘几何允许的情况下定义为 Open（打开的）。

② Shade Material Library（遮阳材料库）：当向 Shading Layer Library（遮阳层库）导入 CGDB 的相关产品时，WINDOW也会将该遮阳层的相关遮阳材料记录导入 Shade Material Library（遮阳材料库），一般来说，遮阳材料的导入过程应该是由 WINDOW 自动完成的，不需要手动操作。

③ Glazing System Library（玻璃系统库）：用两层玻璃之间的百叶帘定义玻璃系统

在 THERM 中：

④ 框架几何外形：绘制框架的几何外形，包括顶、底横梁、边立柱和中立柱等。

⑤ 玻璃系统：将带有水平百叶片的玻璃系统导入框架截面中。

⑥ 边界条件：对于整体式玻璃内置百叶，设置 Shading System Modifier 为 None。

⑦ 进行模型计算，保存结果。

在 WINDOW 中：

⑧ Frame Library（框架库）：将 THERM 文件导入 Frame Library（框架库）。

⑨ Window Library（窗库）：调用 Frame Library（框架库）和 Glazing System Library（玻璃系统库）中的组件构建整窗产品。

下面将更详细地说明这些步骤。

在 WINDOW 中：

① Shading Layer Library（遮阳层库）：

在 CGDB 的 Shading Layer Library（遮阳层库）中，Type 名为 Venetian 的活动百叶帘可能有一个或多个记录，这些不同的记录将代表活动百叶帘的不同几何外形，如百叶片的厚度、宽度、间距和倾斜角度。如果需要建模的是某个活动百叶帘产品，但有不同的百叶片厚度、宽度、间距和倾斜角度，可以在库中创建一个新的遮阳层，并改变百叶片的几何外形。

在这个例子中，某个活动百叶帘产品在 CGDB 的 Shading Layer Library（遮阳层库）中有三条记录，代表百叶片的三种不同的倾斜角度 —— 全闭、45度和全开。对于 NFRC 认证，不需要使用45度的几何外形，因此只用到全闭和全开的记录

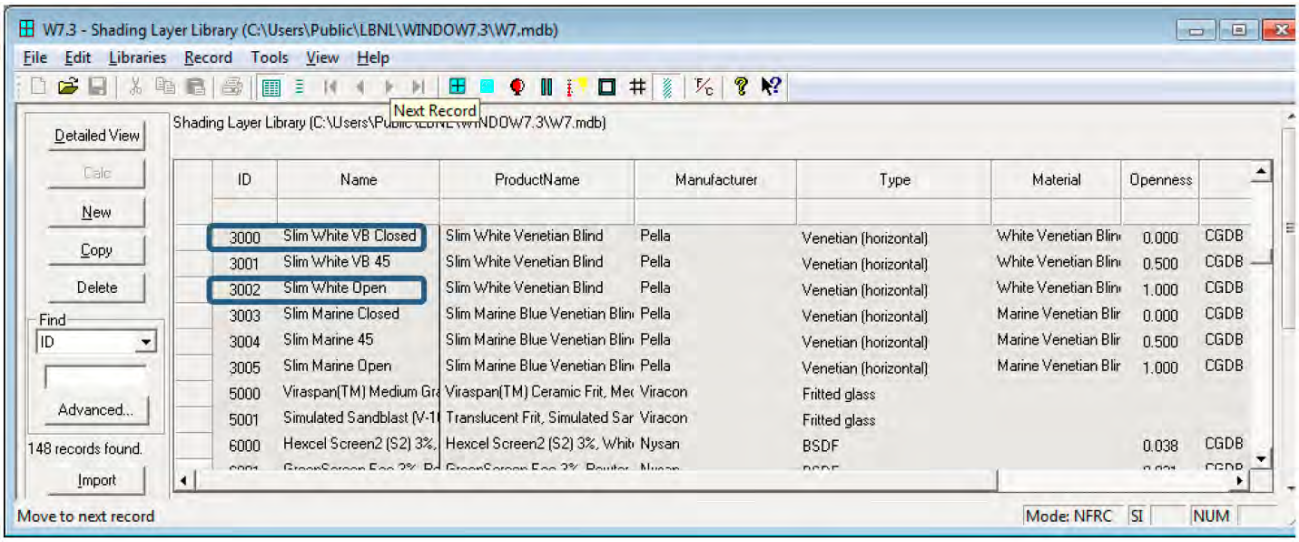


图 8-159：从CGDB的Shading Layer Library中导入相应的记录

如果 CGDB 中的某百叶片只有一种几何外形，可以将该记录导入 Shading Layer Library（遮阳层库），然后创建新记录，设置该百叶片的其它几何外形，这样就得到一个所需的具有全开和全闭状态的遮阳层。

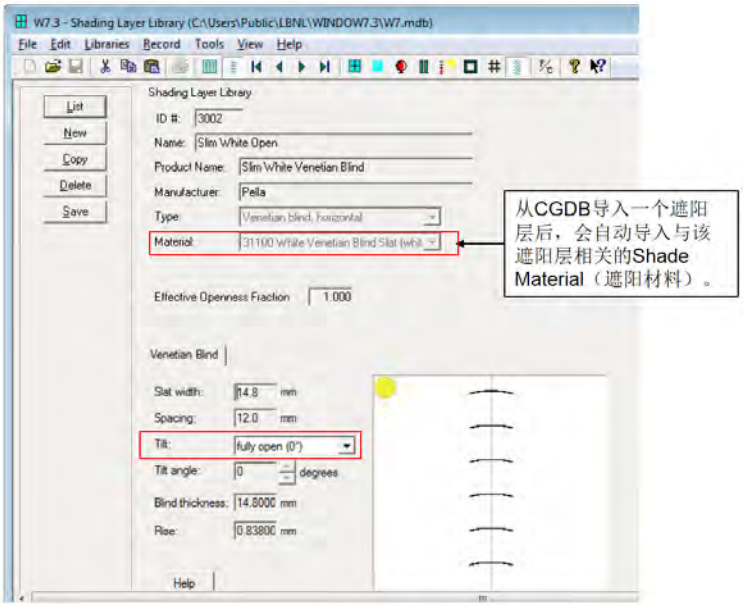


图 8-160：定义全开状态的百叶片的几何外形

- Type（类型）：水平的百叶帘
- Material（材料）：白色的百叶帘，这是从下拉菜单中选择 Shade Material Library（遮阳材料库）的某个相关记录。当从 CGDB 导入遮阳层时，相关的遮阳材料记录会自动添加到 Shade Material Library（遮阳材料库）中。如果需要为原百叶片创建一个不同的几何外形的新遮阳层记录，请确保从 Shade Material Library（遮阳材料库）引用相同的材料记录。
- Permeability Factor（渗透系数）：如果从 CGDB 导入遮阳层，这个值会自动设置。如果要新建一个记录，“Fully Open（全开）”百叶帘的渗透系数 = 1.000。
- Slat Width（百叶片宽度）：对于带有“#”标记的百叶，该值会自动设置。对于默认百叶，其宽度由模拟软件根据遮阳层供应商提供的数据进行设定。
- Spacing（间距）：每个百叶片之间的间距，在本例中为 12.7 mm。
- Tilt（倾斜）：对于水平的百叶片，选择 Fully Open 0º（全开0度）。
- Tilt angle（倾角）：该值是根据百叶片处于全开或全闭状态时的几何外形计算的。倾角可能小于 Tilt（倾斜），这是因为百叶片的拱高和间距，使其在全闭时不能真正地变成竖直状态。
- Blind thickness（百叶帘厚度）：这个值是不可编辑的，代表整个百叶帘组件的宽度。在全开情况下，百叶帘的厚度等于百叶片的宽度。在任何其它的百叶片角度，这个值将小于百叶片宽度。

- Rise（拱高）：该值定义了百叶片的曲率，并在 CGDB 中对每个百叶帘产品进行了定义。默认值为 0。

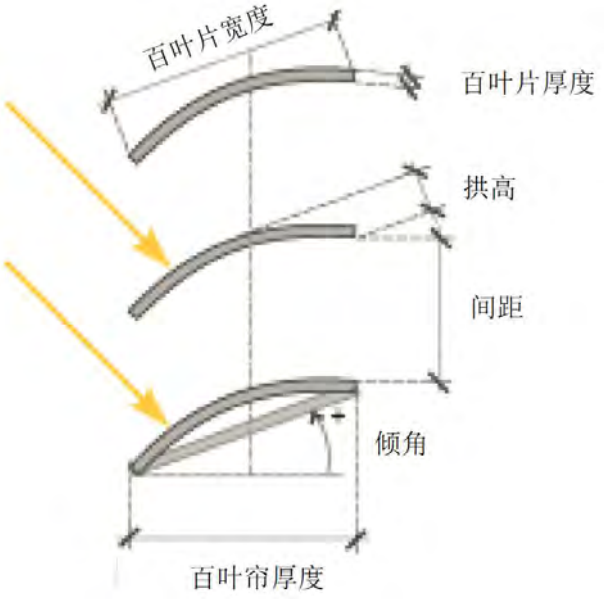


图 8-161：活动百叶帘的几何外形

② Glazing System Library（玻璃系统库）：用两层玻璃之间的百叶帘定义玻璃系统

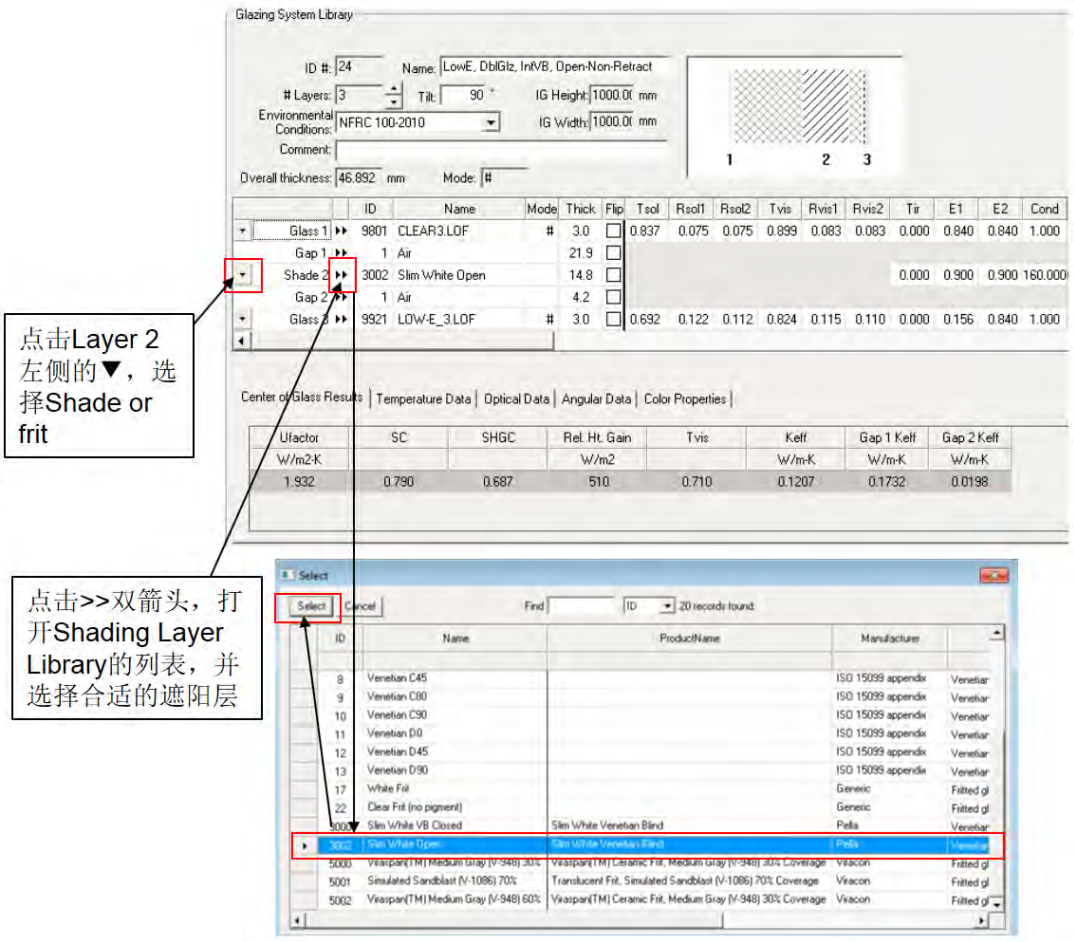


图 8-162：点击玻璃系统的Layer 2，从遮阳层库中选择百叶帘

- Number of Layers（层数）：3
- 点击 Layer 2 左侧的 ▼，从下拉菜单选择 Shade or frit（遮阳或彩釉）
- 将 Dtop、Dbot、Dright、Dleft 设置为适合百叶窗几何形状的相应数值。这些距离基于百叶窗（包括五金件）与框架、窗扇或间隔条最近点（或左侧、右侧、底部）之间的距离。（关于间隙的辅助说明，请参见图 8-134 和图 8-136, 137）。

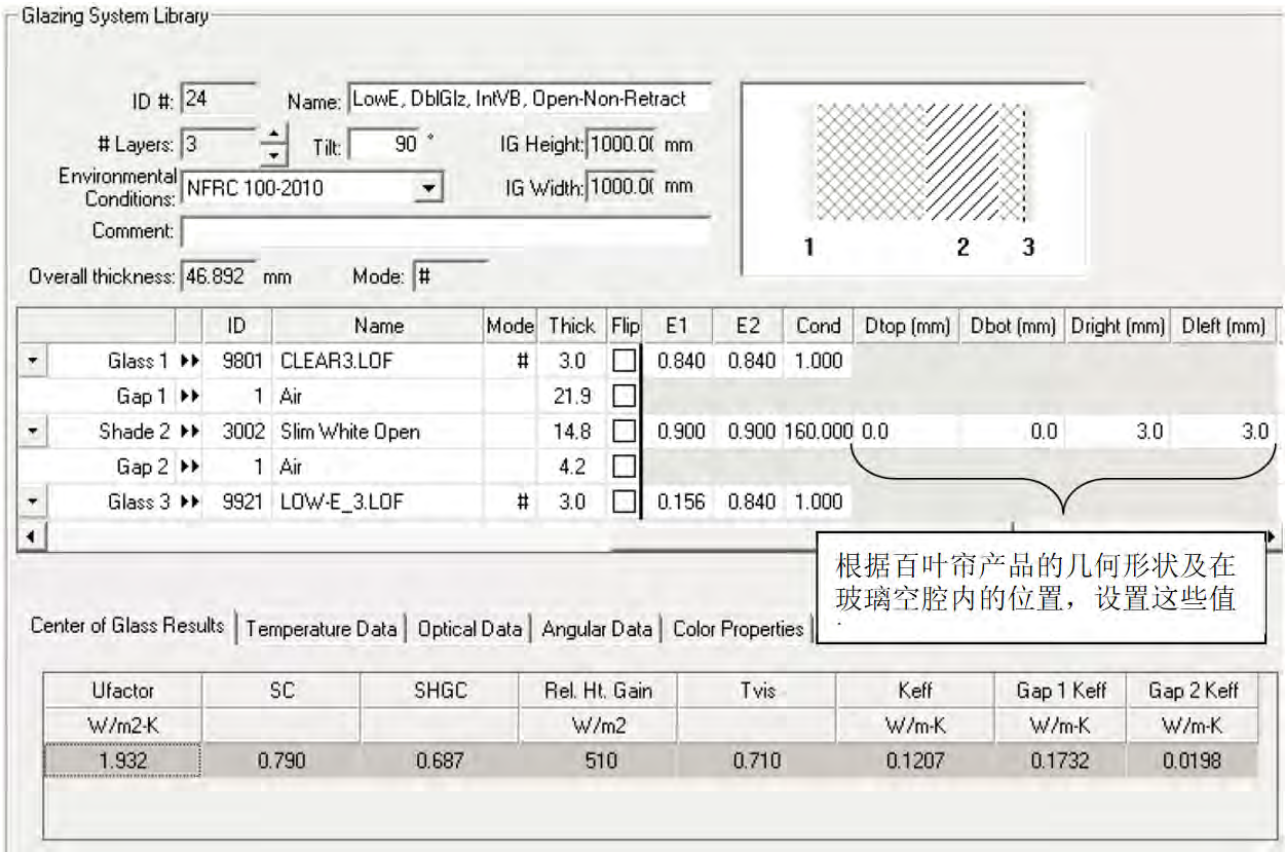


图 8-163：在Glazing System Library中定义Dtop, Dbot, Dleft, Dright

在 THERM 中：

④ 框架几何外形：绘制框架的几何外形，包括顶、底横梁、边立柱和中立柱等。

⑤ 玻璃系统：将带有水平百叶片的玻璃系统导入框架截面中。在本例的图示中，展示了顶横梁和边立柱的截面模型，在插入玻璃系统时使用了以下设置：

- Cross Section Type（截面类型）：Sill
- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity Height（抗结露空腔高度）：可以是默认的 1000mm，或针对 CI（结露指数）使用常数 500mm。遮阳系统无法计算 CI 或 CR。由于 THERM 会忽略该设置，可以勾选或取消勾选 Use CR Model for Window Glazing Systems，但为了保持建模的一致性，建议保持勾选状态。
- Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部）：视线是由活动百叶帘的边部位置确定的，如果模型中存在遮阳五金件，这里则填写与 Spacer Height（间隔高度）相同的值。
- Spacer Height（间隔高度）：取决于导入玻璃系统前，Locator（定位点）的设置。在任何情况下，该值应等于 Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部）。本例中为 19.855 mm。

  可以使用 Spacer Height（间隔高度）的值来为百叶帘五金件腾出空间，或者也可以将其设置为零，再激活 Allow editing of IG Polygon（允许编辑中空玻璃多边形）功能，然后拖动中空玻璃多边形上的点，将玻璃层拉伸到框架中。
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：如果遮阳层与五金件顶部齐平，则该值为 0。如果像下面的例子一样，遮阳层被设计成嵌入到五金件中，则该值为负数。不过，通过激活 Allow editing of IG Polygon（允许编辑中空玻璃多边形）功能，可以手动将遮阳层移动到五金件的凹槽中。

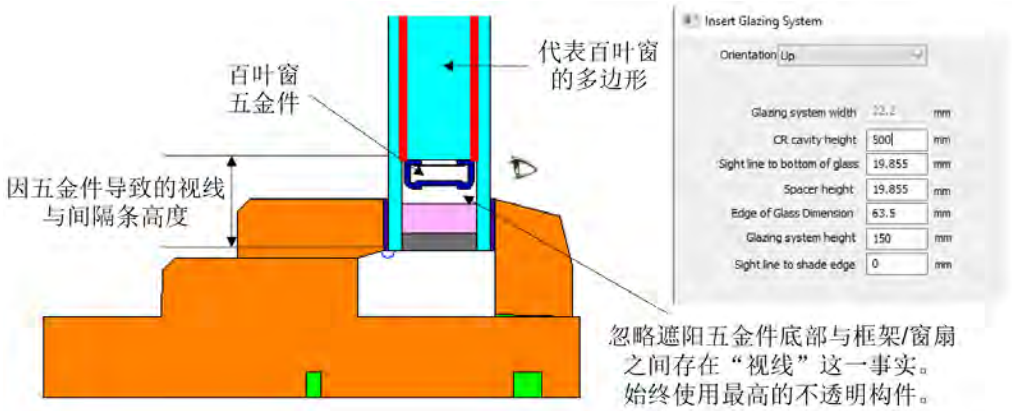


图 8-164：插入带有百叶窗及遮阳五金导轨的玻璃系统

⑥ 如果符合 第6.4.4节 的标准，填充剩余的空腔，并将其建模为 NFRC 框架封闭空腔，或将其链接到适当的玻璃系统空腔。

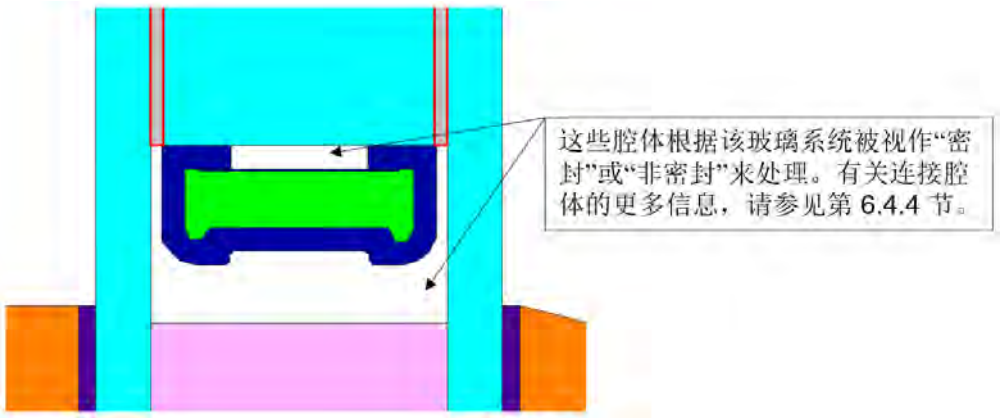


图 8-165：填充剩余的空腔，并Link到适当的玻璃系统空腔

针对边立柱，重复相似步骤：

- Cross Section Type（截面类型）：Jamb
- Orientation（朝向）：Up
- CR Cavity Height（抗结露空腔高度）：可以是默认的1000mm，或针对 CI（结露指数）使用常数 500mm。遮阳系统无法计算 CI 或 CR。由于 THERM 会忽略该设置，可以勾选或取消勾选 Use CR Model for Window Glazing Systems，但为了保持建模的一致性，建议保持勾选状态。
- Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部）：视线是由框架和扇框的最高位置确定的，本例中为 11.112 mm。
- Spacer Height（间隔高度）：取决于导入玻璃系统前，Locator（定位点）的设置，本例中为 10.16 mm。

  如果没有遮阳五金件，该值就取决于框架或扇框的材料。确保激活 Allow editing of IG Polygon（允许编辑中空玻璃多边形）功能。
- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：如果没有遮阳五金件，则需要进行简单的加减运算获得该值，以获得灰色多边形（即考虑遮阳周围空气造成的热对流）。灰色多边形的高度应等于 WINDOW 中 Dright 和 Dleft 的数值。在本例中，遮阳层的 Dright 和 Dleft 都是 3.2 mm，因此，所需的加减运算取决于玻璃系统的插入点。在本例中，插入点与室外玻璃层的视线齐平（室外视线低于室内视线），通过加减运算，得到灰色多边形的高度 = 3.2 mm。计算过程和公式如下:

  Sightline to shade edge（视线到遮阳边部） = Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部） - Spacer Height（间隔高度） - Dright/ Dleft
  = 11.112 mm – 10.16 mm - 3.2 mm = -2.248 mm，取绝对值即 2.248 mm

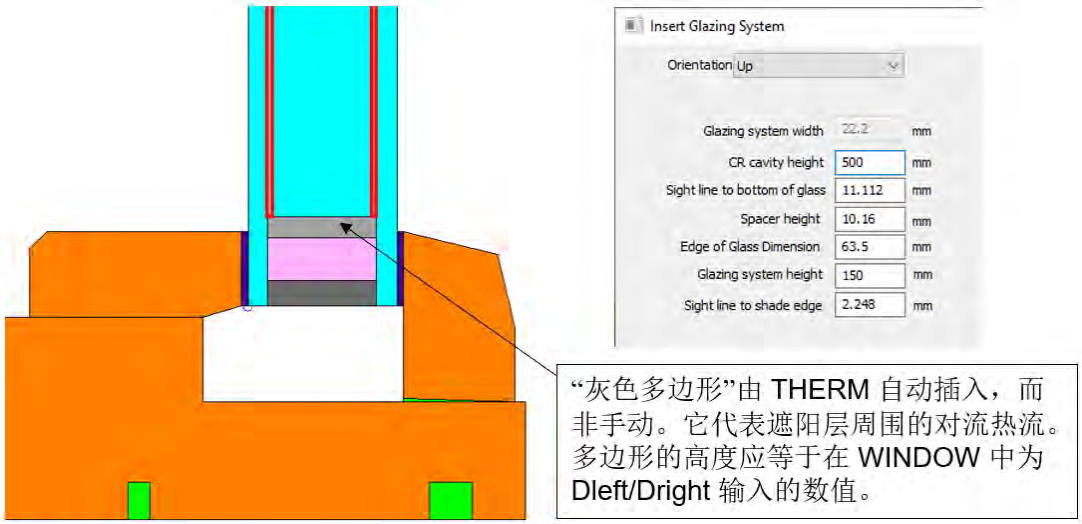


图 8-166：插入无五金件的边立柱百叶窗玻璃系统，并获取遮阳对流热流

对于没有遮阳五金件且带有对流“灰框”的边立柱，任何需要链接的玻璃腔体都应链接到该对流多边形。

对边立柱重复步骤 #3： 填充剩余的腔体，如果满足第 6.4.4 节中的标准，则将它们建模为 NFRC 框架腔体（NFRC Frame Cavities），或者将它们链接到相应的玻璃系统腔体。在上述边立柱的情况下，没有任何剩余的玻璃腔体需要填充，这对于没有五金件的边立柱来说是正常的。但是，请注意间隔条系统中任何需要链接的间隙。

针对顶横梁，重复相似步骤：

- Cross Section Type（截面类型）：Head
- Orientation（朝向）：Down
- CR Cavity Height（抗结露空腔高度）：可以是默认的1000mm，或针对 CI（结露指数）使用常数 500mm。遮阳系统无法计算 CI 或 CR。由于 THERM 会忽略该设置，可以勾选或取消勾选 Use CR Model for Window Glazing Systems，但为了保持建模的一致性，建议保持勾选状态。
- Sightline to bottom of glass（视线到玻璃底部）：视线由百叶窗五金件的顶边至玻璃系统的底部来定义。当模型中存在遮阳五金件时，该数值应等于间隔条高度。即使在遮阳五金件与间隔条之间存在可视路径，视线仍为 ANSI/NFRC 100 中定义的最高不透明构件。
- Spacer Height（间隔高度）：取决于导入玻璃系统时设置的位置点。在此示例中，它与“视线至玻璃底部”相同（29.24mm）。

- Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）：如果遮阳层与五金件顶部齐平，则数值 = 0。如果遮阳层设计为凹入五金件内部，则数值将为负数（例如 -3mm）。

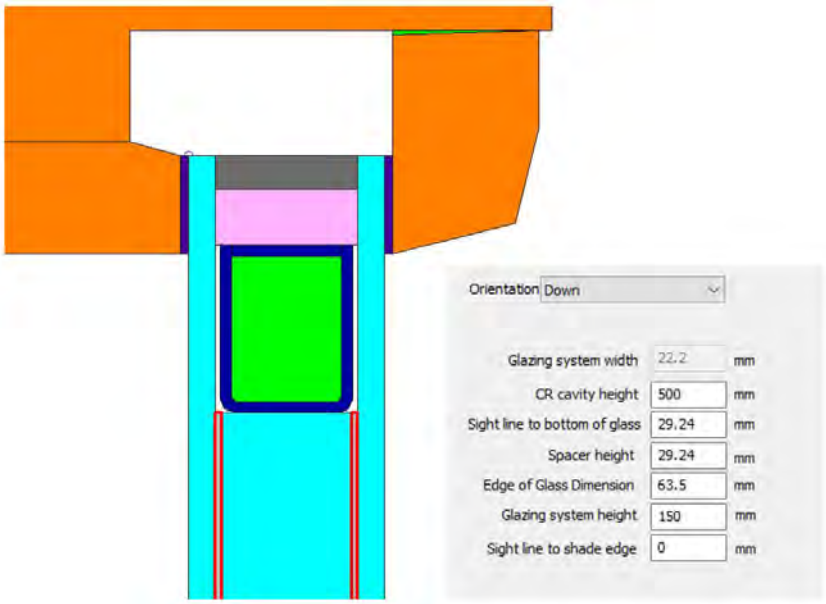


图 8-167：插入带有五金件的顶部百叶窗玻璃系统

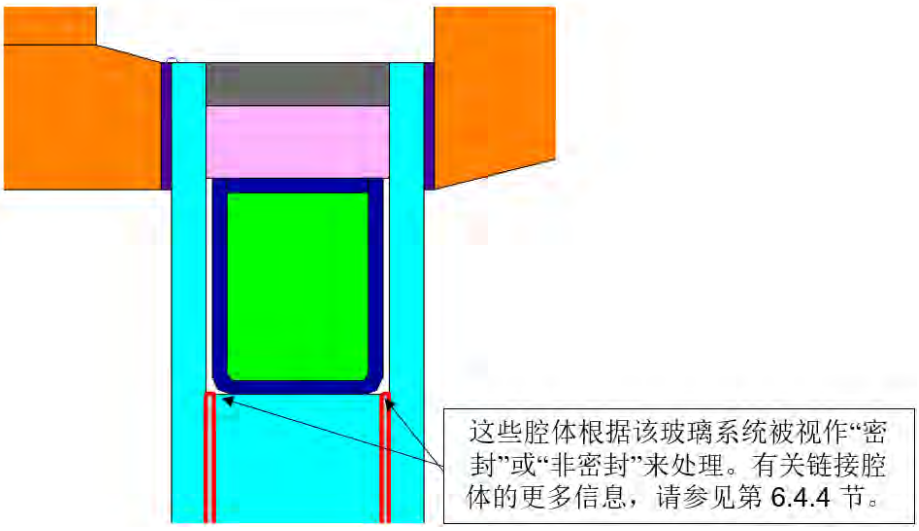


图 8-168：填充剩余腔体，并链接到相应的玻璃系统腔体

⑦ 为所有截面分配边界条件，需知晓玻璃之间可能存在五金件，该五金件可作为最高不透明构件或视线，因此应手动分配外部 SHGC 外部 U 值表面标签。

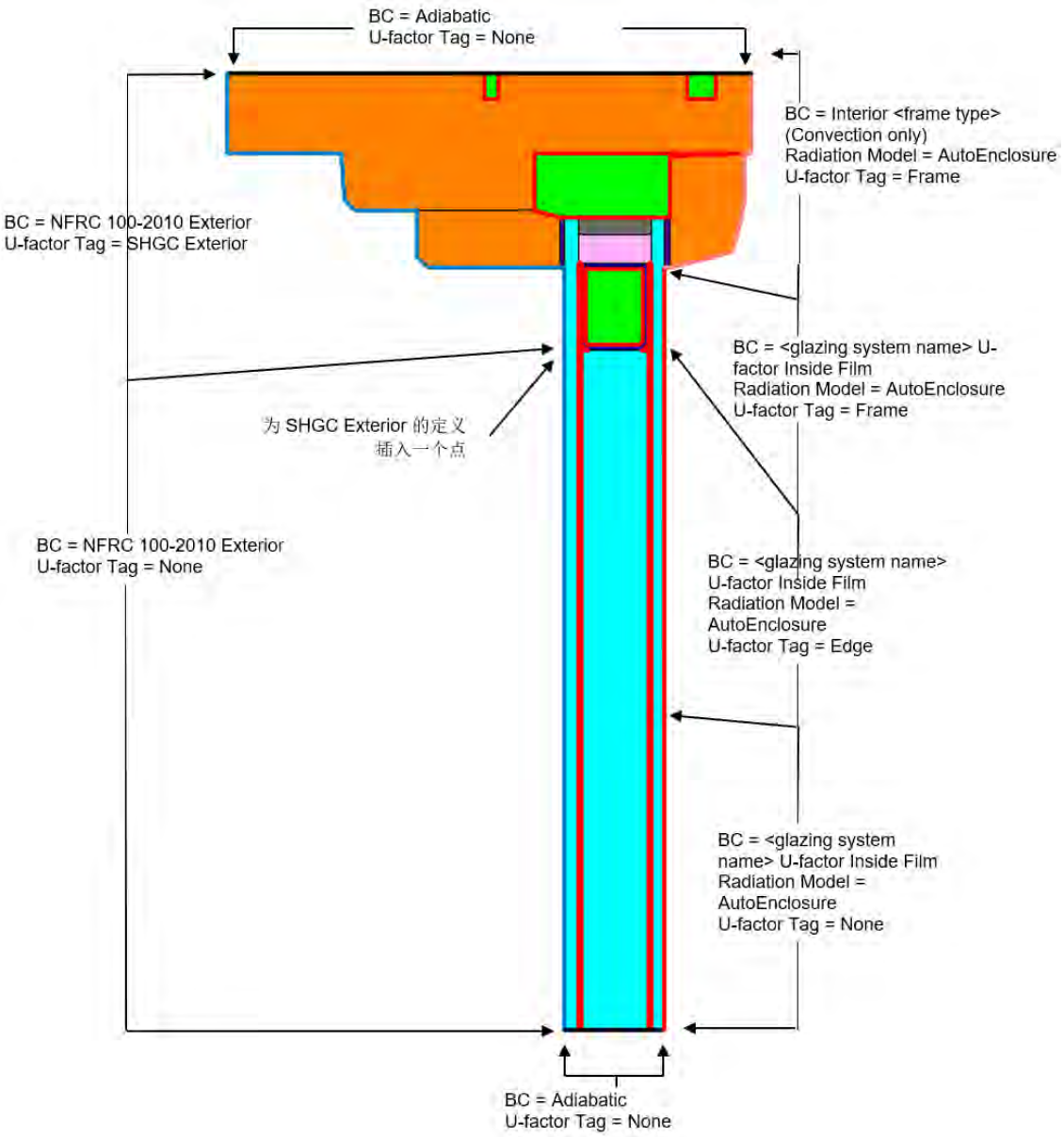


图 8-169：为不可伸缩开启式百叶窗的顶横梁定义边界条件

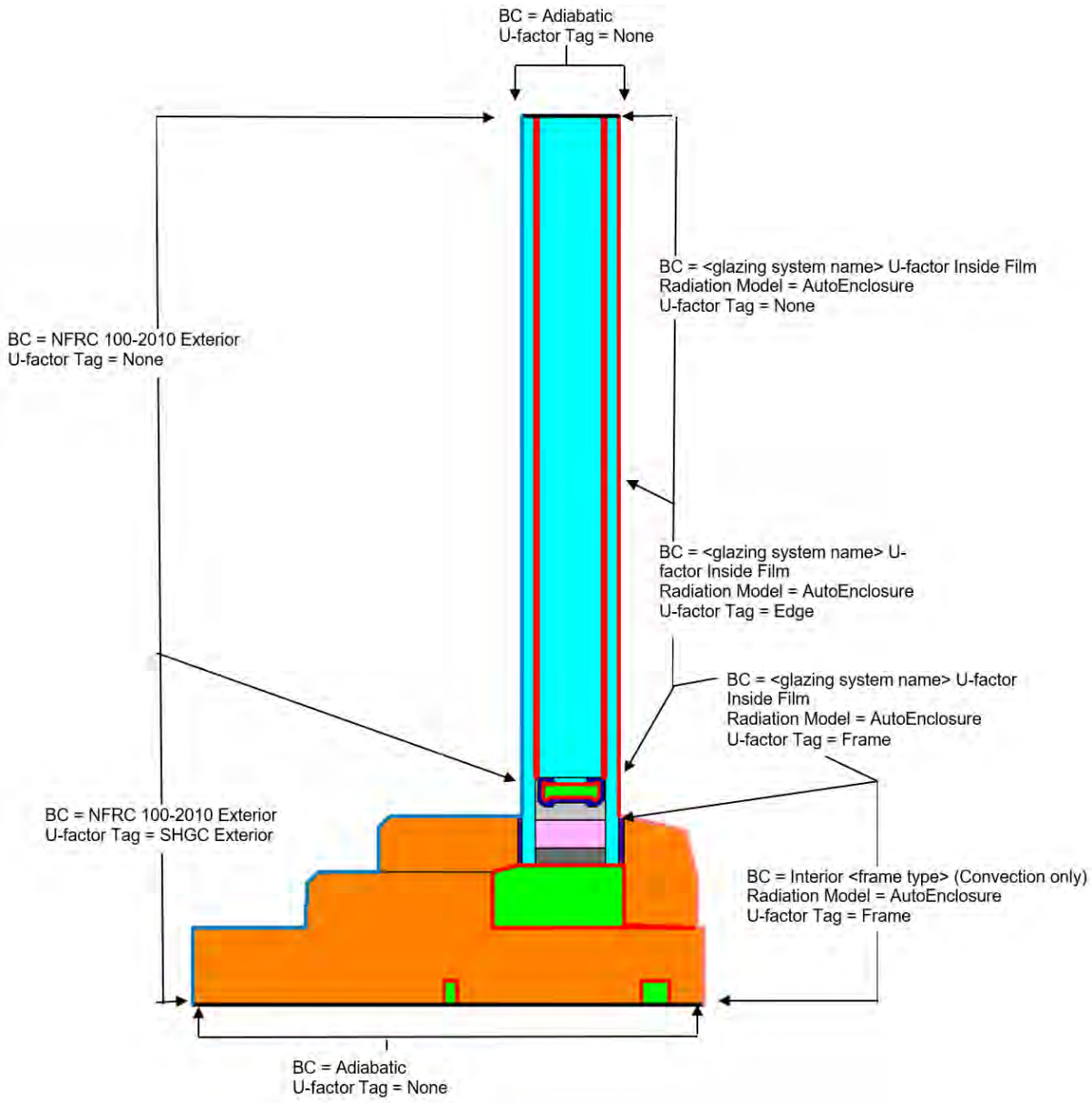


图 8-170：为不可伸缩开启式百叶窗的底横梁定义边界条件

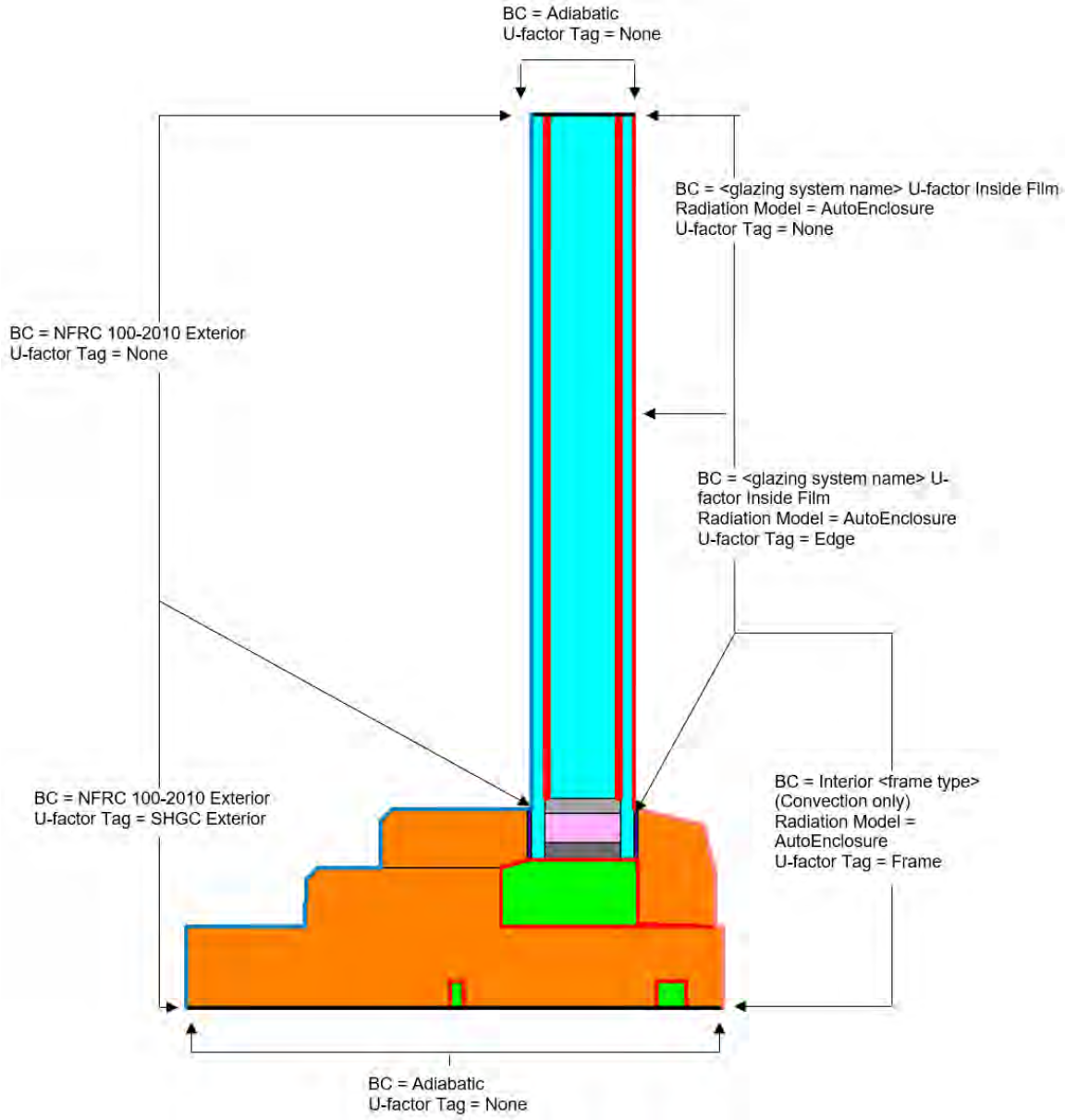


图 8-171：为不可伸缩开启式百叶窗的边立柱定义边界条件

⑧ 进行模型计算，保存结果。

在 WINDOW 中：

① Frame Library（框架库）：将 THERM 文件导入 Frame Library（框架库）。

	ID	Name	Source	Type	Frame Uvalue	Edge Uvalue	Edge Correlation	Glazing Thickness	Pfd	Abs
					W/m2-K	W/m2-K		mm	mm	
	1	Al w/break	ASHRAE	N/A	5.680	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
	2	Al flush	ASHRAE	N/A	3.970	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
	3	Wood	ASHRAE	N/A	2.270	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
	4	Vinyl	ASHRAE	N/A	1.700	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
	5	VenetianClosed-Head.THM	Therm	Head	2.874	1.746	N/A	47.1	114.8	0.30
	6	VenetianClosed-Jamb.THM	Therm	Jamb	2.661	1.809	N/A	47.1	87.6	0.30
	7	VenetianClosed-Sill.THM	Therm	Sill	2.732	1.853	N/A	47.1	87.6	0.30
▶	8	VenetianFixedOpen-Head.THM	Therm	Head	2.752	1.667	N/A	46.9	114.8	0.30
	9	VenetianFixedOpen-Jamb.THM	Therm	Jamb	2.659	1.846	N/A	46.9	87.6	0.30
	10	VenetianFixedOpen-Sill.THM	Therm	Sill	2.785	1.825	N/A	46.9	90.8	0.30

图 8-172：将THERM文件导入WINDOW的Frame Library

② Window Library（窗库）：调用 Frame Library（框架库）和 Glazing System Library（玻璃系统库）中的组件构建整窗产品。

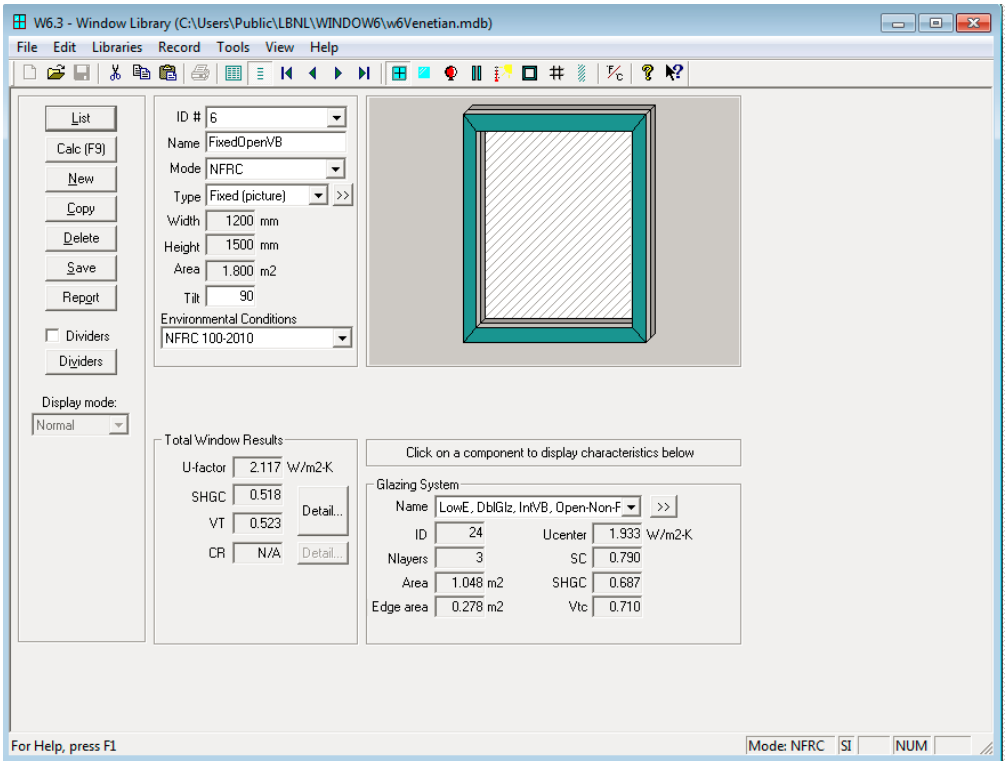


图 8-173：构建整窗产品

8.16.2. 全闭的玻璃内置百叶

以下模拟方法对于可伸缩式、不可伸缩式的玻璃内置百叶都适用。

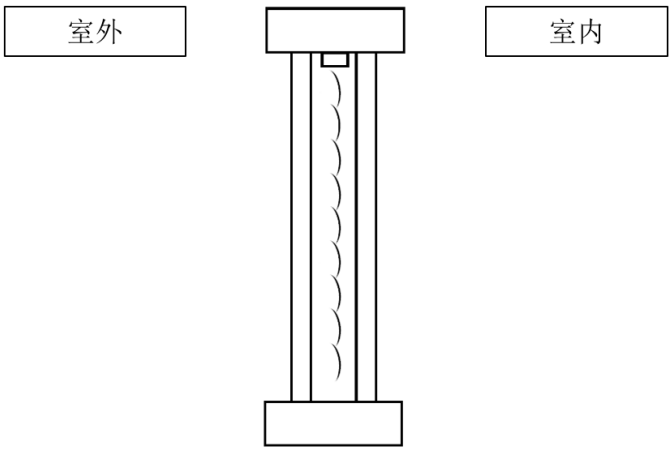


图 8-174：全闭状态下的玻璃内置百叶

模拟完全封闭的百叶窗的步骤，与上文 8.16.1 节中演示的模拟放下状态的完全开启的百叶窗完全相同。接下来的注释和插图旨在说明，由于百叶窗处于完全关闭且放下的状态，与完全开启且放下的状态相比，在建模上存在的细微差别。

在 WINDOW 中：

处于放下位置的关闭状态百叶窗，与位于相同玻璃层之间、处于放下位置的开启状态百叶窗是同一种百叶窗，因此唯一的区别在于需确保更改玻璃间隙。

请注意在下图中，玻璃层 1 和 3（单片玻璃）与开启状态百叶窗的玻璃层完全相同，但需插入一个新的遮阳层并相应地调整间隙。

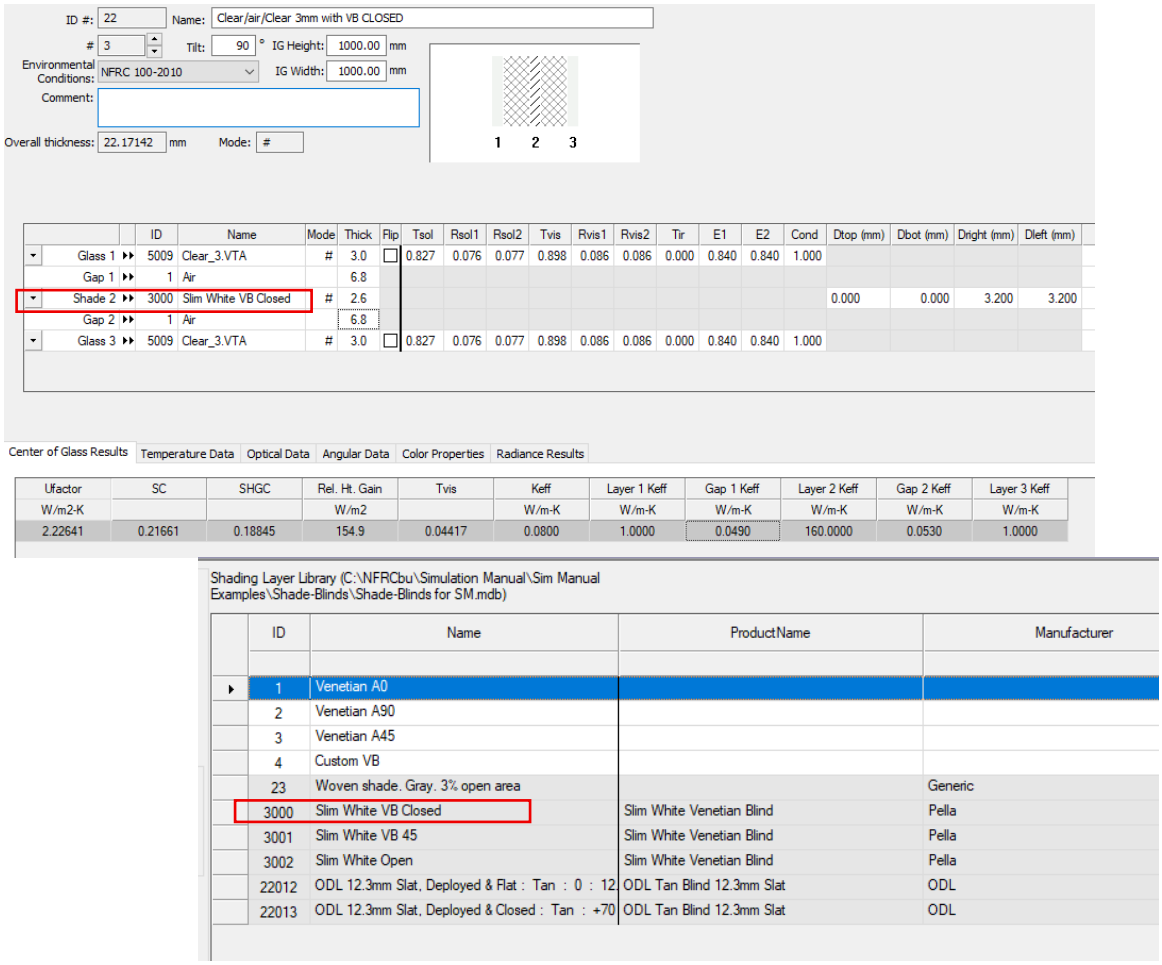


图 8-175：对于玻璃系统（遮阳2）中的中间层，从遮阳系统库中选择闭合的百叶帘。

注意，下图中的Dgap也将保持不变，因为当百叶帘的状态从水平叶片（开启）变为闭合叶片时，遮阳帘周边的间隙不会改变。

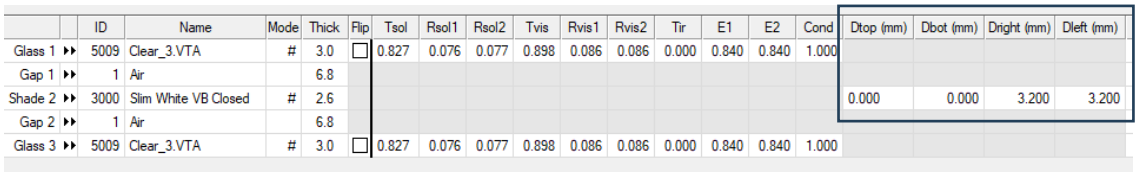


图 8-176：遮阳层的Dgap (Dtop, Dbot, Dright, Dleft)

接下去，将该玻璃系统导入THERM模型。

在THERM中：

建模步骤与闭合遮阳帘完全相同，但需注意，闭合且放下的百叶帘可能需要一个负值（或正值）的Sightline to shade edge (视线到遮阳帘边缘)。请参见下方底横梁在百叶帘放下时闭合与开启状态的建模变化对比。

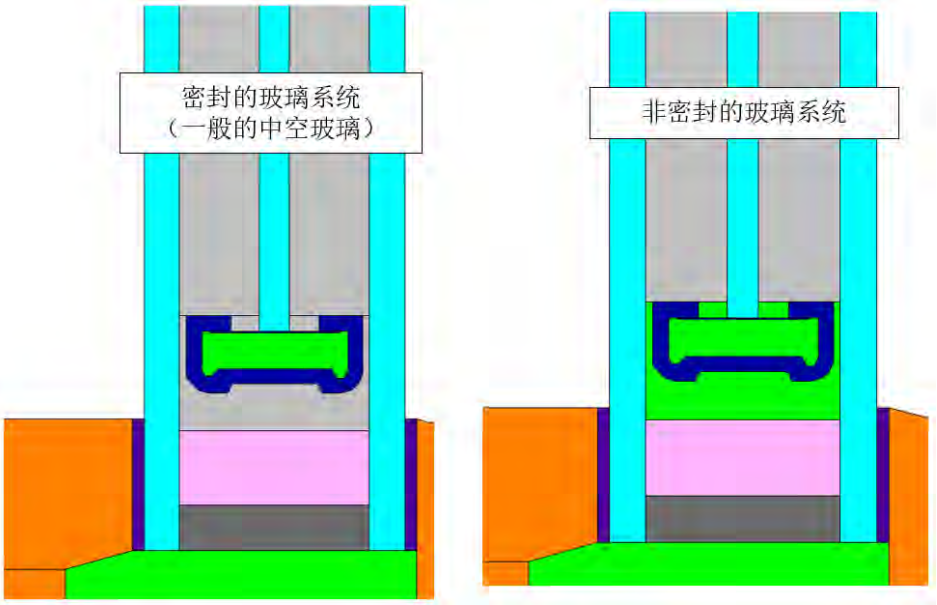


图 8-177：“密封系统”与“非密封系统”中，放下且闭合状态下导入遮阳帘的模型对比。

本示例中闭合且放下的百叶帘“遮阳”层并未与视线齐平，而是呈负值，因此它接触到了导轨五金件。这将需要移动多边形，注意勾选 Allow editing of IG polygons (允许编辑中空玻璃图块) 选项，见下图。

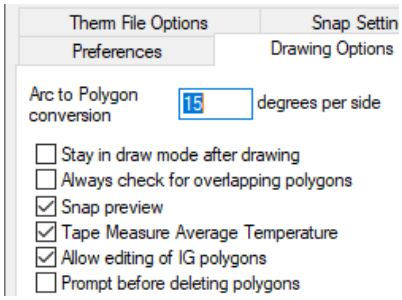


图 8-178：勾选 Allow editing of IG polygons 以调整带有遮阳层的图块

导入闭合百叶帘时，要获得负值的视线距离，需要导入玻璃层，而它会覆盖遮阳帘五金件。下方各图有助于说明建模过程应如何进行：

- 导入带有放下且闭合遮阳帘的玻璃系统时，注意确保输入负值的 Sightline to shade edge (视线到遮阳帘边缘)。

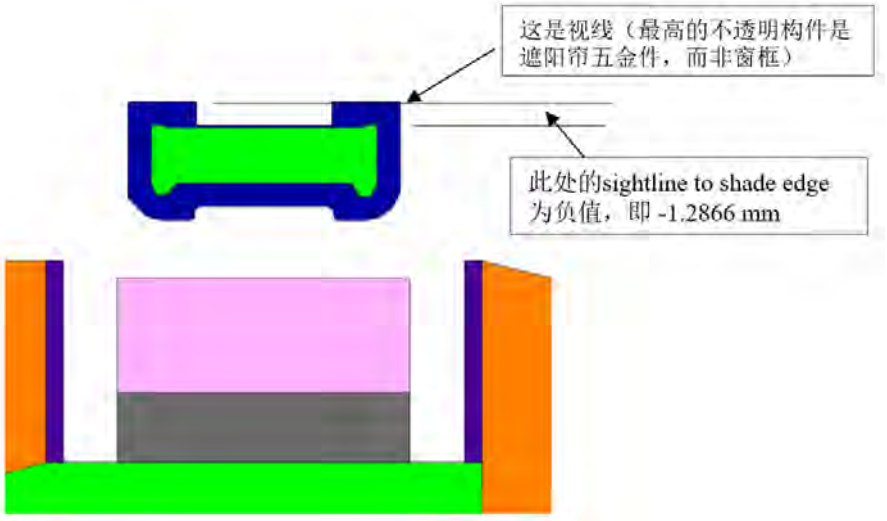


图 8-179：底横梁模型视图，中间遮阳层的底部导轨五金件为负值尺寸

- 插入玻璃系统后，遮阳层将覆盖间隔条，多边形将需要进行调整。请注意，在插入玻璃对话框中，间隔条高度与视线到遮阳帘边缘的尺寸相同。如前所述，当玻璃之间存在五金件时，这两个尺寸将相等。见下图。

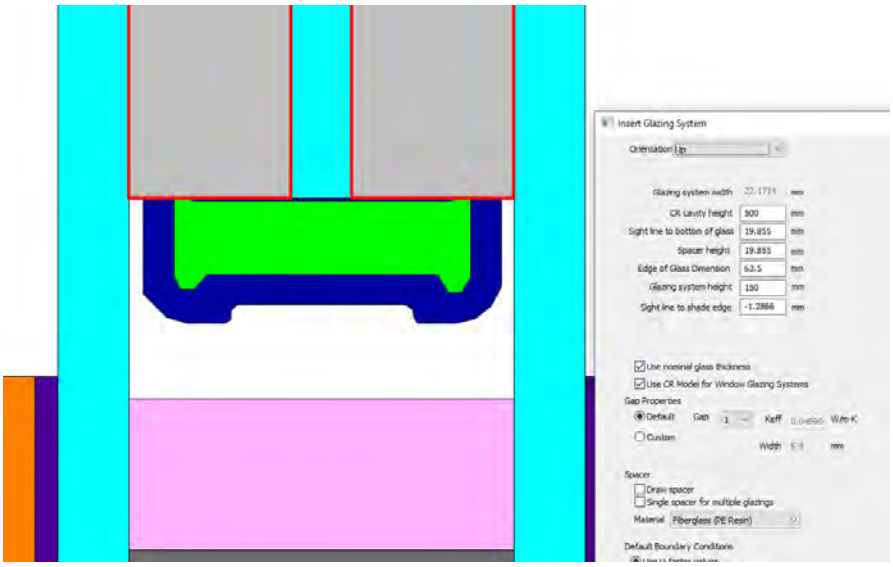


图 8-180：底横梁模型视图，导入了玻璃系统，百叶帘处于闭合状态，且视线到遮阳帘边缘为负值

- 导入玻璃系统后，移动覆盖了百叶帘五金件的多边形，根据需要添加点并移动它们，以便正确填充为“密封”或“非密封”玻璃系统，如下图所示。

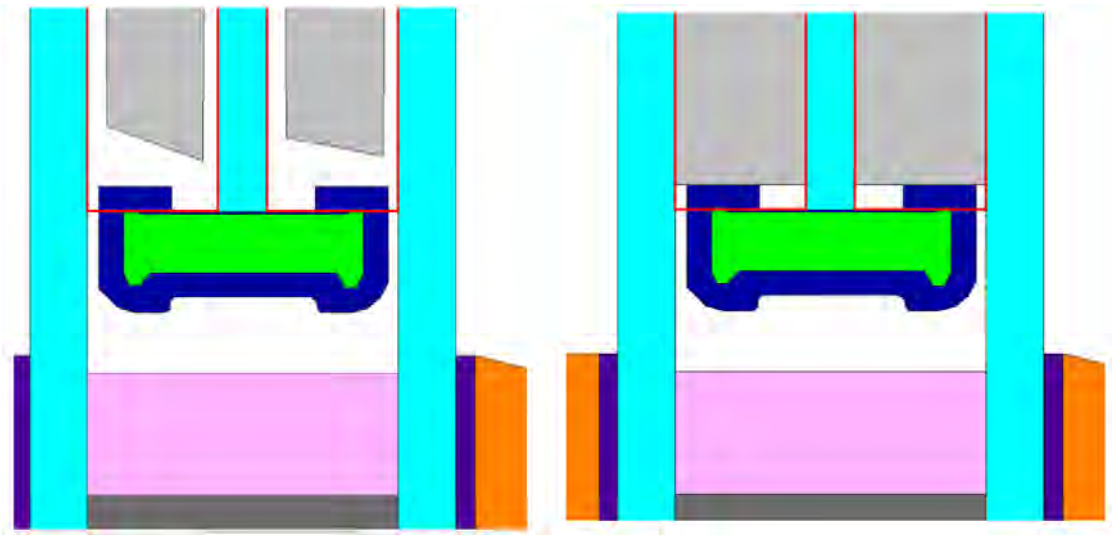


图 8-181：底横梁模型视图，中间遮阳层的底部导轨五金件为负值尺寸

- 按照第 6.4.4 节“链接玻璃腔体”的要求，相应地将空白区域填充为“密封”或“非密封”玻璃腔体。密封与非密封的示例外观见图 8-177。
- 完成所有模型（顶横梁、边立柱、中框等）。

在 WINDOW 中：

至此，后续计算整窗性能的步骤与开启式百叶帘完全相同。

8.17. 室外编织遮阳帘

NFRC 已批准使用 WINDOW 和 THERM 为带室外编织遮阳帘的竖直和倾斜产品进行 U值、SHGC 和 VT 的建模计算。

室外编织遮阳帘属于动态玻璃类别。在将可伸缩式的室外编织遮阳帘作为动态玻璃产品的一部分进行建模的情况下，全开位置是当编织遮阳帘完全收起时。



图 8-182：完全闭合的室外编织遮阳帘。遮阳系统收藏盒的位置可能会也可能不会影响框架的视线

室外编织遮阳帘的建模可以包含以下情况：

- 全开——编织遮阳帘完全收起来，即最通透的状态。
- 全闭——编织遮阳帘完全放下，即最不透的状态。

8.17.1. 全开的编织遮阳帘

全开的编织遮阳帘只有一种情况：

- **可伸缩式百叶帘：**打开时，编织遮阳帘可收至玻璃系统顶部的收藏盒内。下面将介绍一个示例。

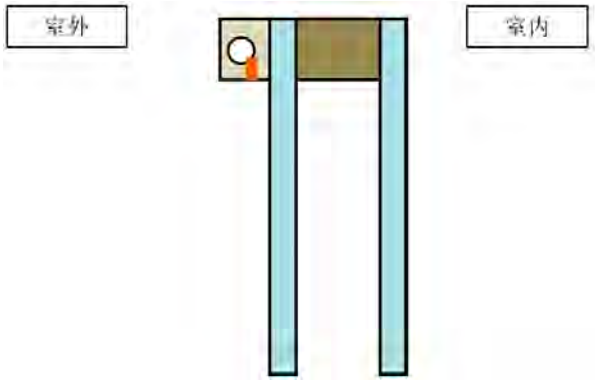


图 8-183：打开状态的可伸缩式编织遮阳帘

8.17.1.1. 带可伸缩式编织遮阳帘的双层玻璃系统

关于如何建模一个完全伸缩的编织遮阳帘。在编织遮阳帘的顶部有一个收藏盒，该收藏盒容纳了卷轴和卷起的遮阳材料。下面以一个顶横梁截面为例进行介绍。

在本例中，只显示了顶横梁截面。对于所有其它截面（底横梁、边立柱和中立柱）都按正常建模，不用考虑编织遮阳帘，这是因为遮阳帘是被收起来的，只会影响顶横梁截面。

在 WINDOW 中：

① Glazing System Library（玻璃系统库）：由于编织遮阳帘是完全收起的，不用在WINDOW 中建模编织遮阳帘，按正常步骤创建玻璃系统即可。

在 THERM 中：

② 框架几何外形：按正常步骤绘制顶、底横梁、边立柱、中立柱。

③ 玻璃系统：将 WINDOW 中创建的玻璃系统（不需要建模编织遮阳帘）导入框架截面中；确保玻璃顶部的视线考虑了代表伸缩的编织遮阳帘的“块”高度，以便由 THERM 自动定义框架和玻璃边缘的边界条件和 U值标签；

④ 边界条件：以正常方式定义边界条件。在 WINDOW 中没有编织遮阳帘的模型，因此在 THERM 中的边界条件不需要修改为遮阳系统。

按照以下步骤建模完全伸缩的编织遮阳帘：

在 WINDOW 中：

① Glazing System Library（玻璃系统库）：由于编织遮阳帘是完全伸缩的，不用在WINDOW 中建模编织遮阳帘，按正常步骤创建玻璃系统即可。

在 THERM 中：

② 绘制产品的顶横梁截面。对于所有其它截面（底横梁、边立柱和中立柱）都按正常建模，不用考虑编织遮阳帘，这是因为遮阳帘是被收起的，只会影响顶横梁截面。

③ 绘制编织遮阳帘的收藏盒的几何外形，以及如果适用的话，还应包括收藏盒内的被卷起来的编织遮阳帘。根据本手册前述的遮阳系统建模规则，对收藏盒及其内部的五金件进行建模。

③ 插入玻璃系统

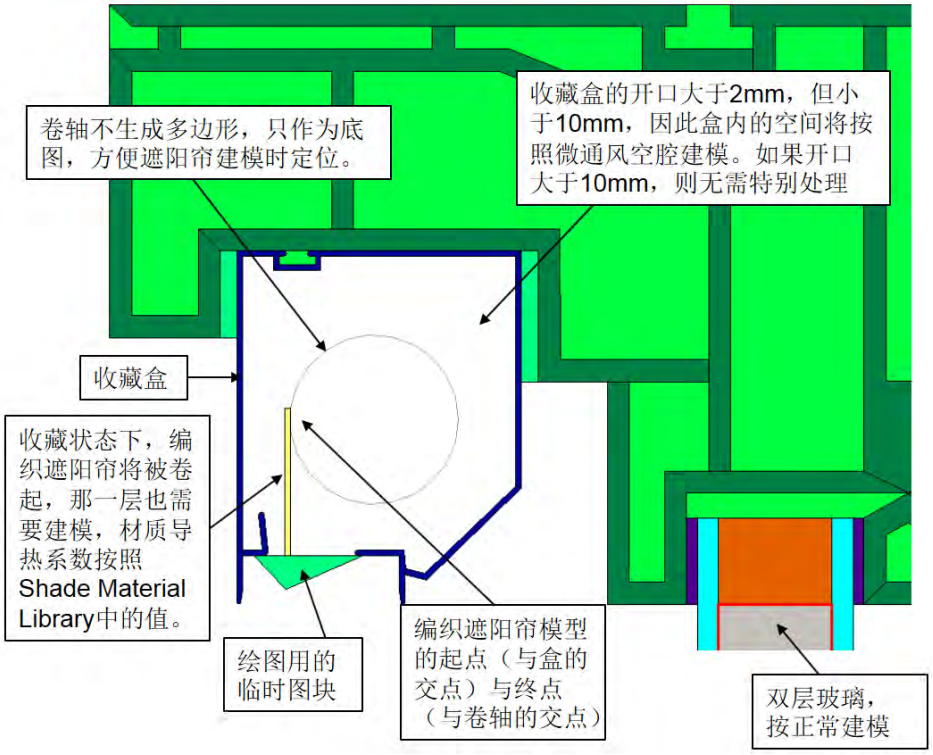


图 8-184：带可伸缩式编织遮阳帘和双层玻璃的Head截面模型

④ 生成边界条件。

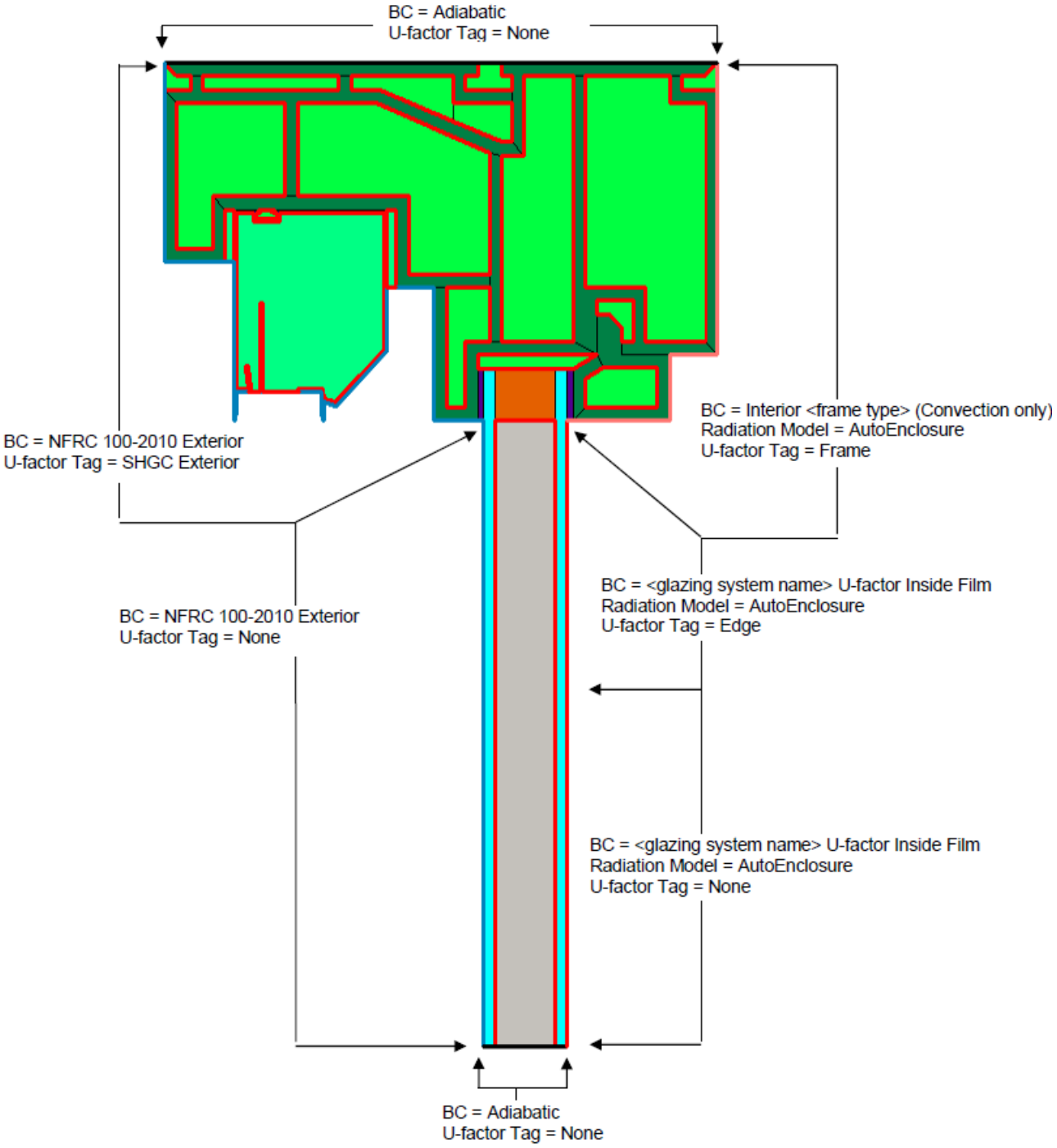


图 8-185：定义截面的边界条件

⑥ 计算这个截面的结果。

⑦ 完成其它截面的计算（若有）。

在 WINDOW 中：

⑧ 将所有的截面模型文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）

⑨ 构建、计算整体产品的 U值、SHGC 和 VT。

8.17.2. 全闭的编织遮阳帘

本节将介绍编织遮阳帘在全闭状态下的建模方法。

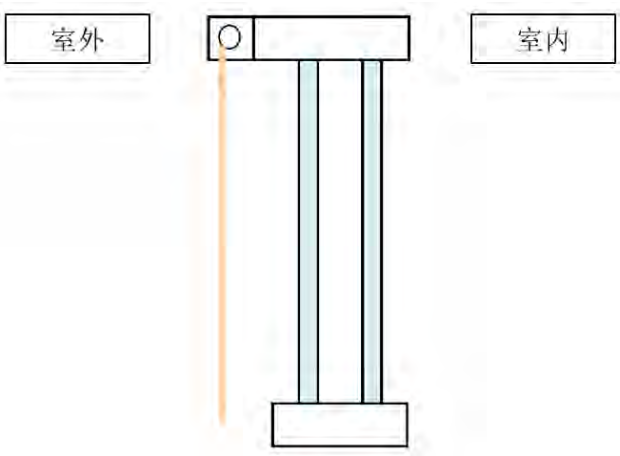


图 8-186：全闭的室外编织遮阳帘

在 WINDOW 中：

① Shade Material Library（遮阳材料库）：确保适当的材料存在于遮阳材料库中。如果不存在，请联系制造商向CGDB提交数据。在本示例中，我们使用的是名为“Generic Woven Shade Material”（通用编织遮阳材料）的通用编织遮阳材料。

② Shading Layer Library（遮阳层库）：确保编织材料层（带有“#”符号）存在于库中。如果不存在，请联系制造商向CGDB提交数据。在下面的示例中，使用了“Generic Woven Shade”（通用编织遮阳帘）材料。

③ Glazing System Library（玻璃系统库）：定义玻璃系统，并将闭合的编织遮阳帘置于玻璃系统的外侧。

在 THERM 中：

④ 框架几何外形：绘制框架的几何外形，包括顶、底横梁、边立柱和中立柱等。

⑤ 玻璃系统：将带有室外编织遮阳帘的玻璃系统导入框架截面中。

⑤ 边界条件：对于室外编织遮阳帘，设置 Shading System Modifier 为 Exterior Glazing ID:<nn>。

⑦ 进行模型计算，保存结果。

在 WINDOW 中：

⑧ Frame Library（框架库）：将 THERM 文件导入 Frame Library（框架库）。

⑨ Window Library（窗库）：调用 Frame Library（框架库）和 Glazing System Library（玻璃系统库）中的组件构建整窗产品。

具体建模步骤：

下面的步骤详细说明了如何创建一个全闭的室外编织遮阳帘模型。

在 WINDOW 中：

① Glazing System Library（玻璃系统库）：在玻璃系统的室外用适当的编织遮阳层定义玻璃系统，有关在玻璃系统中添加遮阳系统的详细说明，请参阅遮阳系统概述部分。

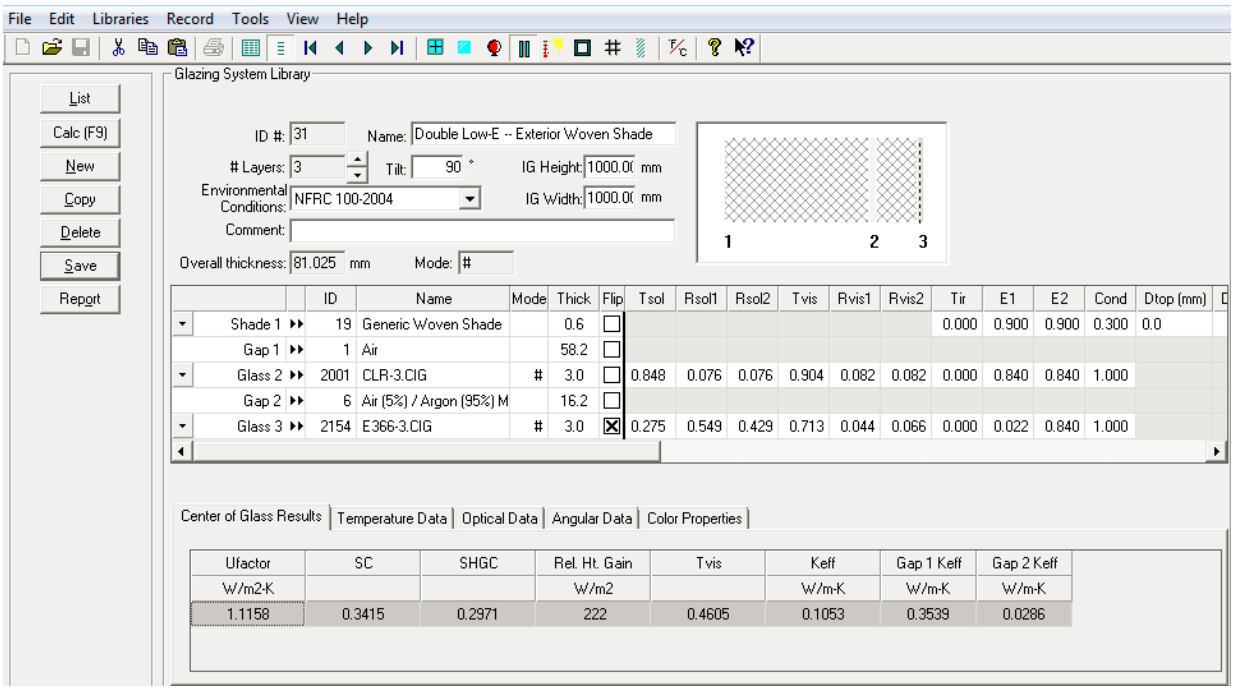


图 8-187：创建玻璃系统，增加遮阳系统作为Layer 1(最外层)

② 为编织遮阳帘设置适当的 Dtop, Dbot, Dright, Dleft 值。

在 THERM 中：

④ 框架几何外形：绘制框架的几何外形，对于本例，仅需要绘制顶横梁。

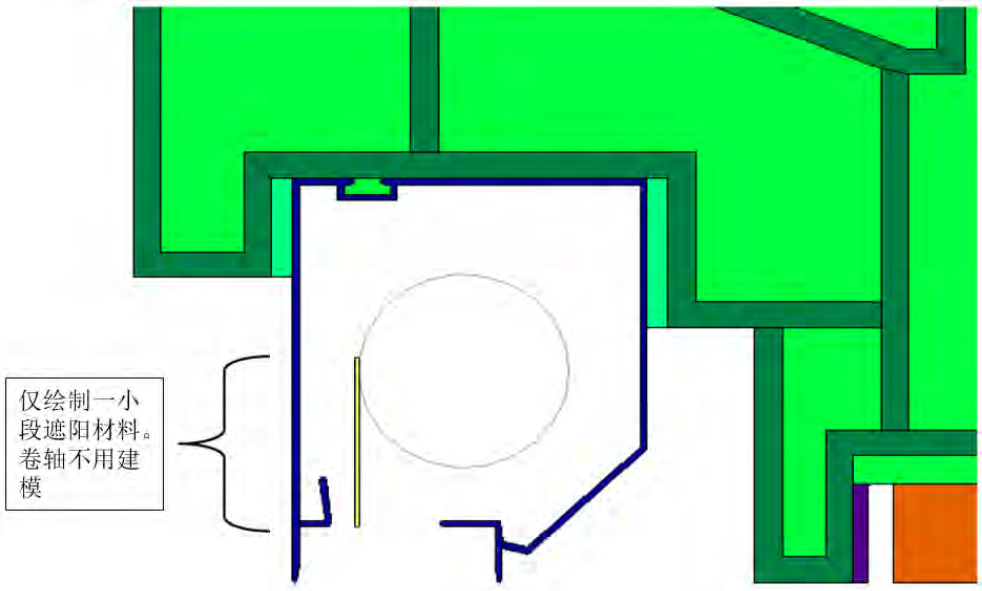


图 8-188：在Head截面中绘制收藏盒与一小段遮阳材料

④ 玻璃系统：将带有室外编织遮阳帘的玻璃系统导入框架截面中。

Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）是最重要的输入值。在本例中，遮阳层的边部（在五金件的底部）是从视线上方开始的，在这种情况下，Sightline to shade edge 的值是负数。

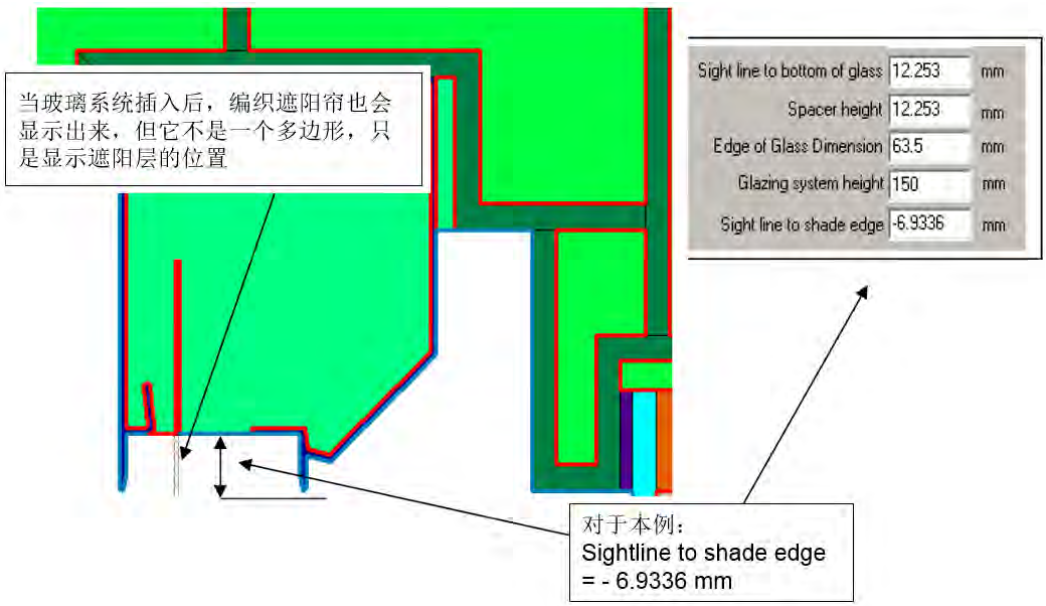


图 8-189：在Head截面中插入带室外编织遮阳帘的玻璃系统

对于本例中的 Sill 和 Jamb 的截面，由于编织遮阳帘延伸到框架的视线以下，因此 Sightline to shade edge（视线到遮阳边部）的值是负数。

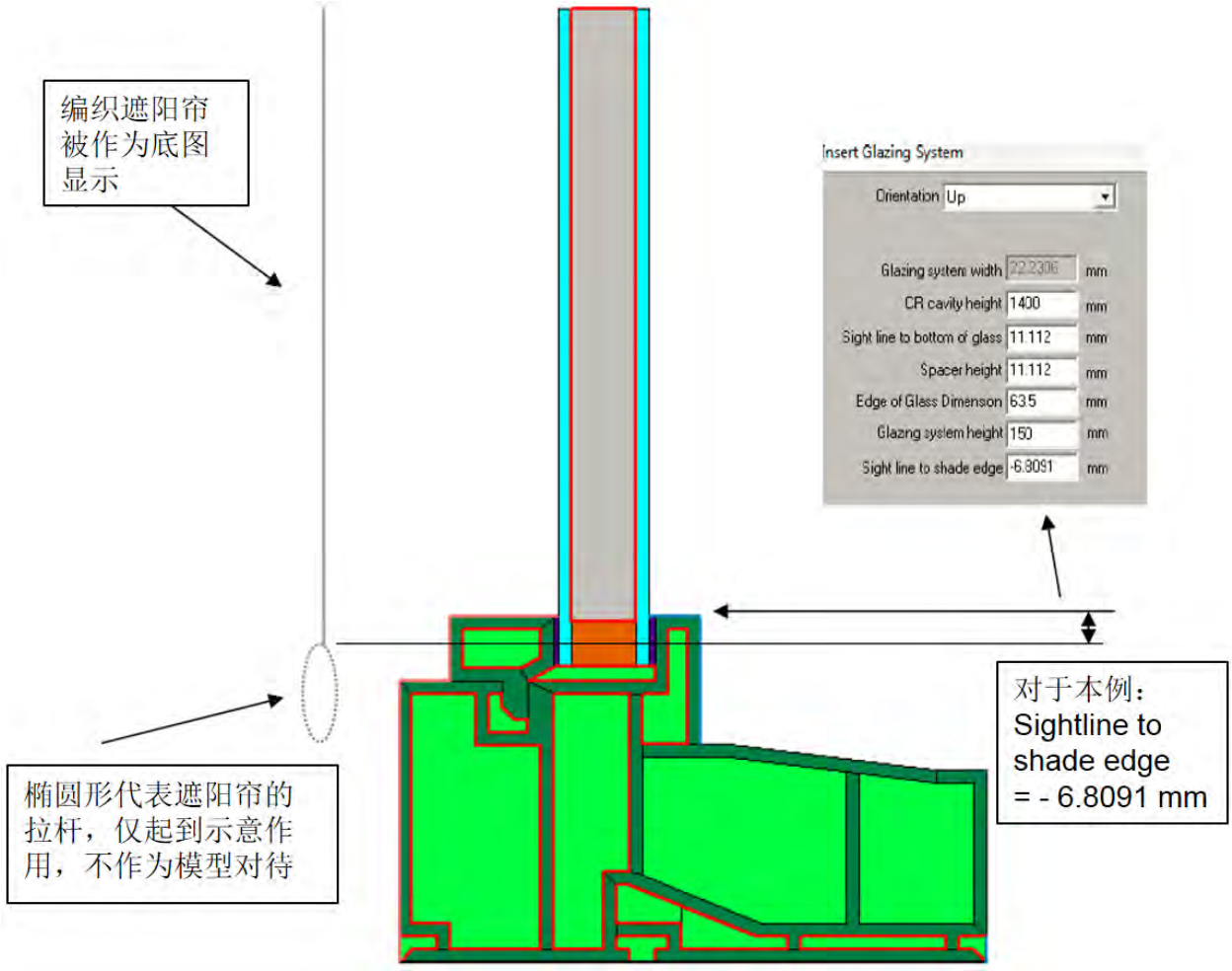


图 8-190：在Sill和Jamb截面中插入带室外编织遮阳帘的玻璃系统

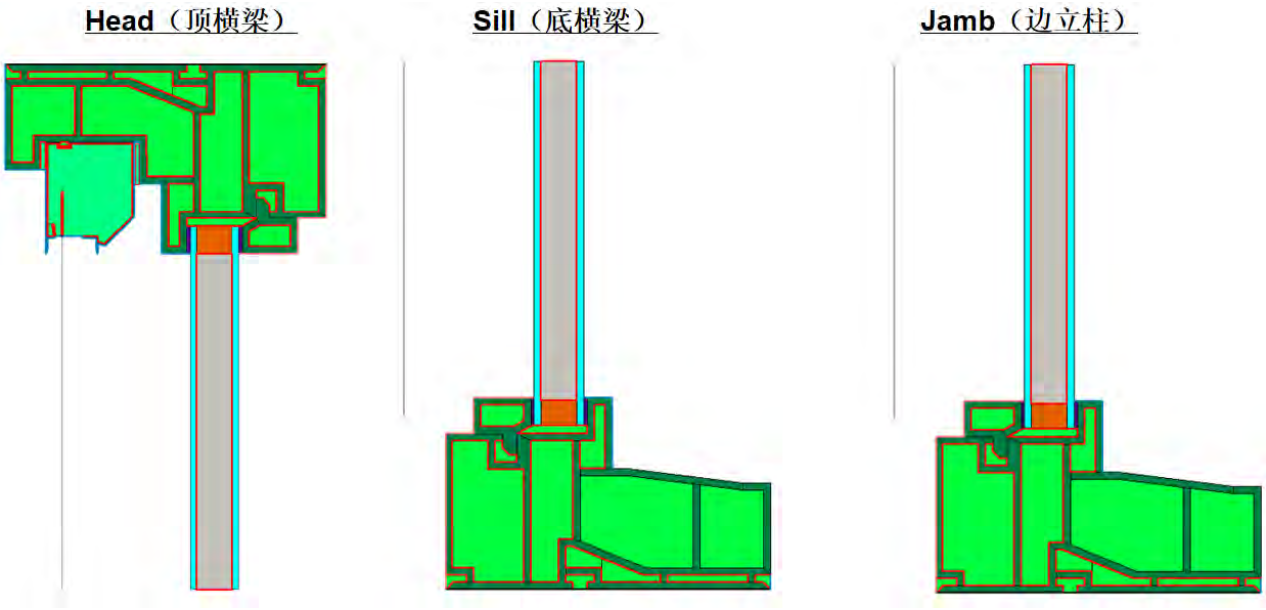


图 8-191：Head, Sill和Jamb的截面模型

⑤ 边界条件：对于室外编织遮阳帘，将遮阳投射到玻璃系统或框架上的那一部分室外边界条件中的 Shading system modifier 设置为 Exterior (Glazing System ID: <nn>)。

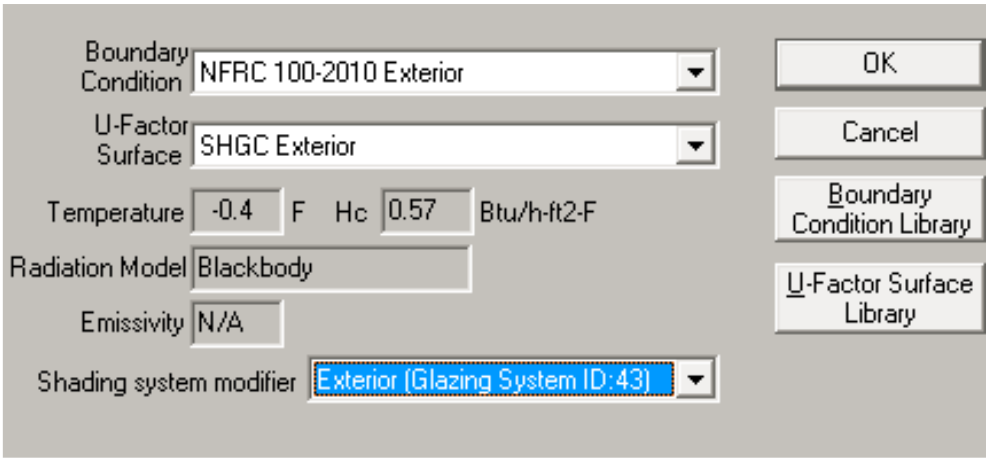


图 8-192：在恰当部位，将Shading system modifier设为Exterior (Glazing System ID: <nn>)

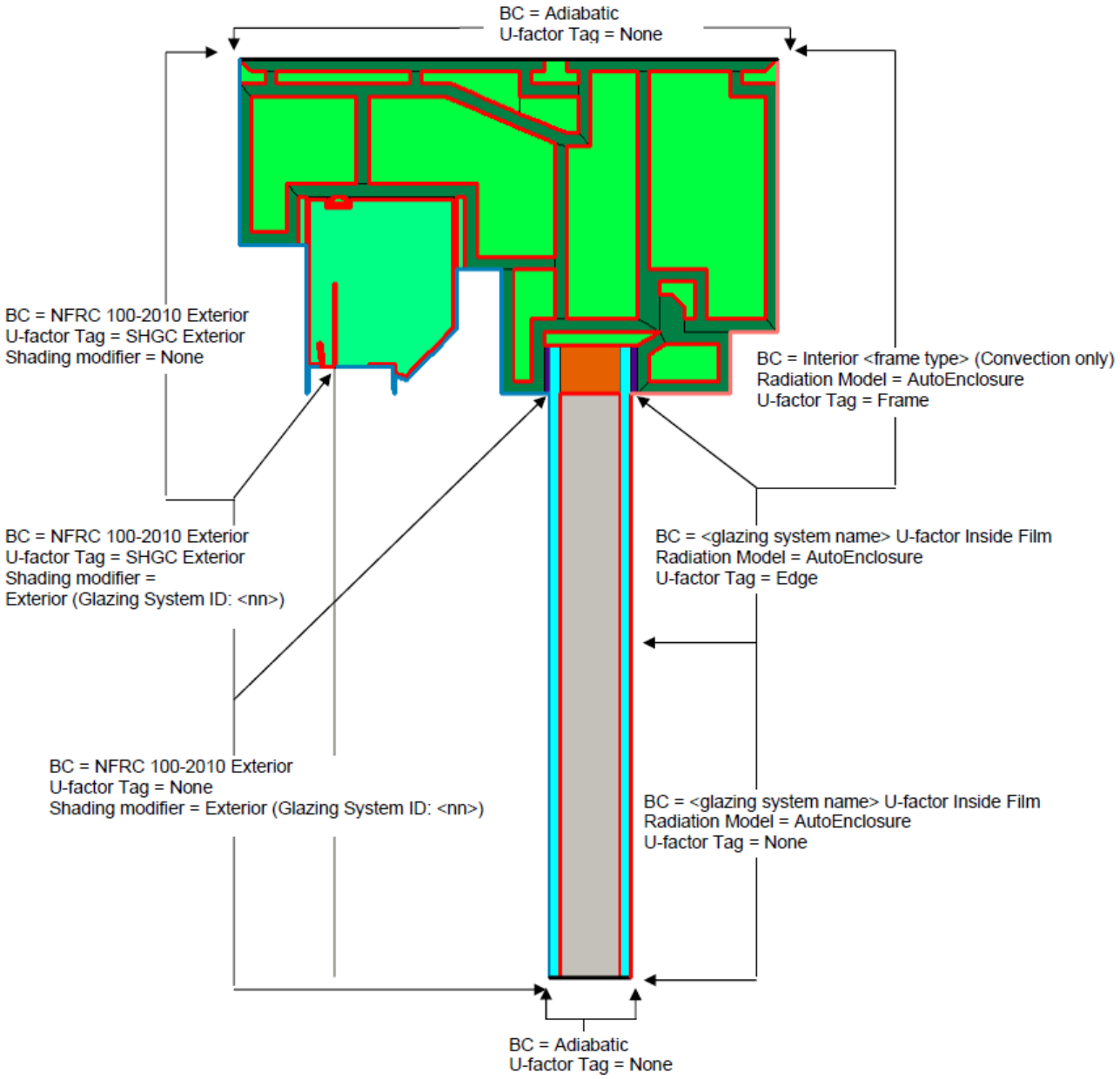


图 8-193：定义Head截面中的边界条件

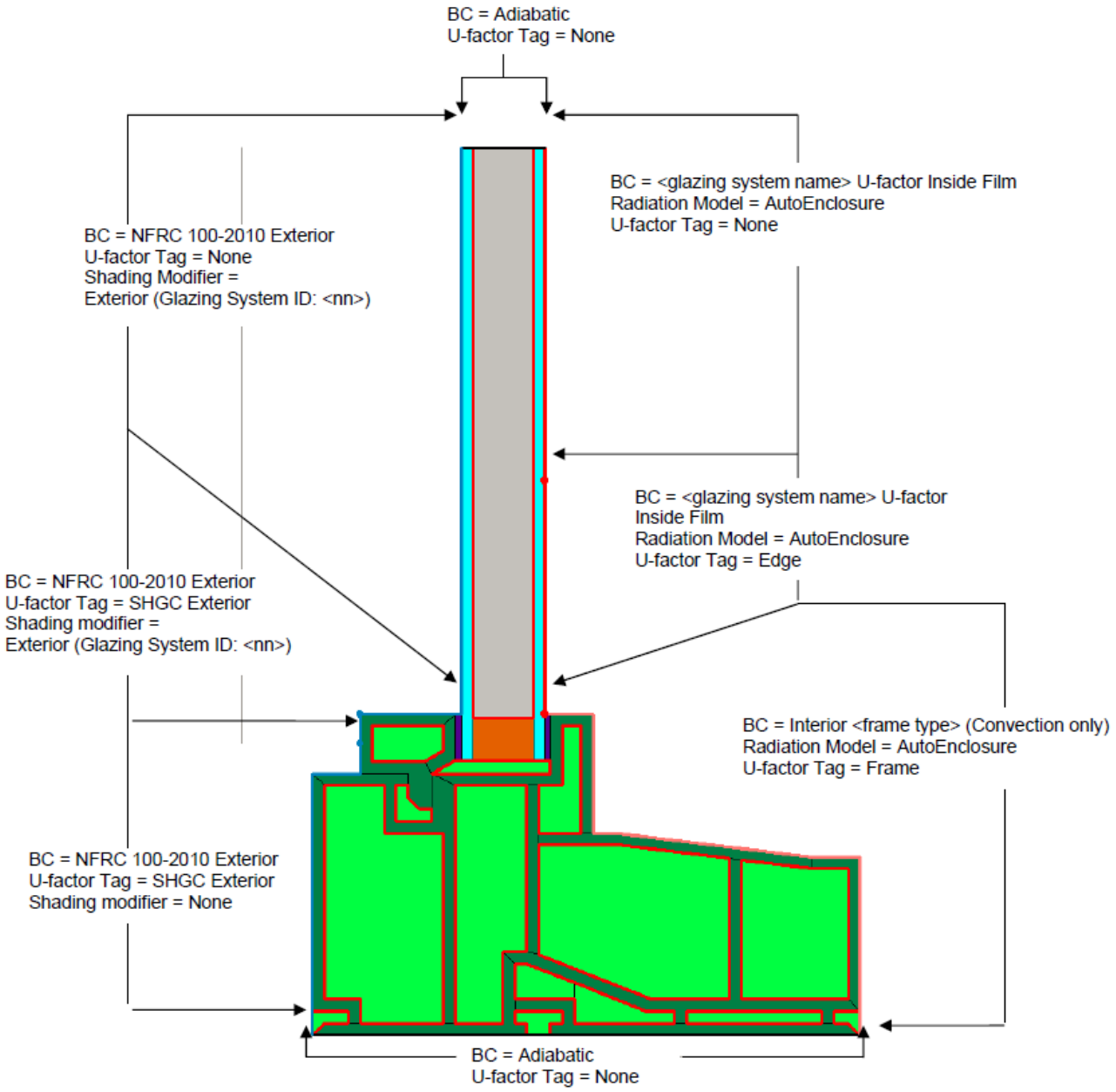
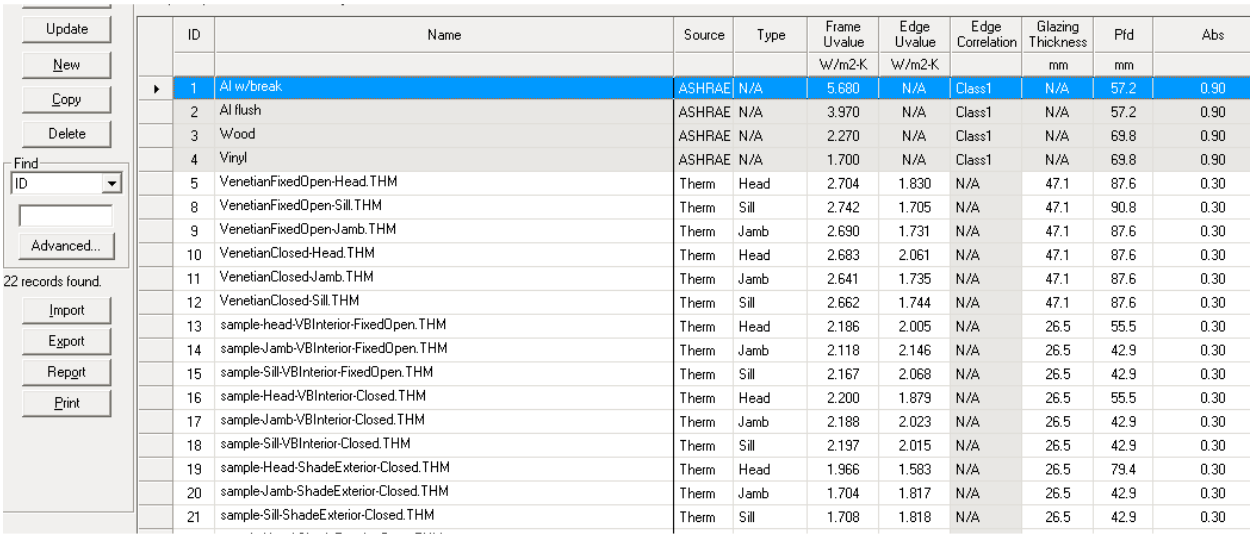


图 8-194：定义Sill和Jamb截面中的边界条件

⑥ 进行每个截面的计算，并保存结果

在 WINDOW 中：

⑥ Frame Library（框架库）：将 THERM 文件导入 Frame Library（框架库）。



ID	Name	Source	Type	Frame Uvalue	Edge Uvalue	Edge Correlation	Glazing Thickness	Pfd	Abs
				W/m2-K	W/m2-K		mm	mm	
1	Al w/break	ASHRAE	N/A	5.680	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
2	Al flush	ASHRAE	N/A	3.970	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90
3	Wood	ASHRAE	N/A	2.270	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
4	Vinyl	ASHRAE	N/A	1.700	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90
5	VenetianFixedOpen-Head.THM	Therm	Head	2.704	1.830	N/A	47.1	87.6	0.30
8	VenetianFixedOpen-Sill.THM	Therm	Sill	2.742	1.705	N/A	47.1	90.8	0.30
9	VenetianFixedOpen-Jamb.THM	Therm	Jamb	2.690	1.731	N/A	47.1	87.6	0.30
10	VenetianClosed-Head.THM	Therm	Head	2.683	2.061	N/A	47.1	87.6	0.30
11	VenetianClosed-Jamb.THM	Therm	Jamb	2.641	1.735	N/A	47.1	87.6	0.30
12	VenetianClosed-Sill.THM	Therm	Sill	2.662	1.744	N/A	47.1	87.6	0.30
13	sample-head-VBInterior-FixedOpen.THM	Therm	Head	2.186	2.005	N/A	26.5	55.5	0.30
14	sample-Jamb-VBInterior-FixedOpen.THM	Therm	Jamb	2.118	2.146	N/A	26.5	42.9	0.30
15	sample-Sill-VBInterior-FixedOpen.THM	Therm	Sill	2.167	2.068	N/A	26.5	42.9	0.30
16	sample-Head-VBInterior-Closed.THM	Therm	Head	2.200	1.879	N/A	26.5	55.5	0.30
17	sample-Jamb-VBInterior-Closed.THM	Therm	Jamb	2.188	2.023	N/A	26.5	42.9	0.30
18	sample-Sill-VBInterior-Closed.THM	Therm	Sill	2.197	2.015	N/A	26.5	42.9	0.30
19	sample-Head-ShadeExterior-Closed.THM	Therm	Head	1.966	1.583	N/A	26.5	79.4	0.30
20	sample-Jamb-ShadeExterior-Closed.THM	Therm	Jamb	1.704	1.817	N/A	26.5	42.9	0.30
21	sample-Sill-ShadeExterior-Closed.THM	Therm	Sill	1.708	1.818	N/A	26.5	42.9	0.30

图 8-195：将THERM文件导入WINDOW的Frame Library

⑧ Window Library（窗库）：调用 Frame Library（框架库）和 Glazing System Library（玻璃系统库）中的组件构建整窗产品。

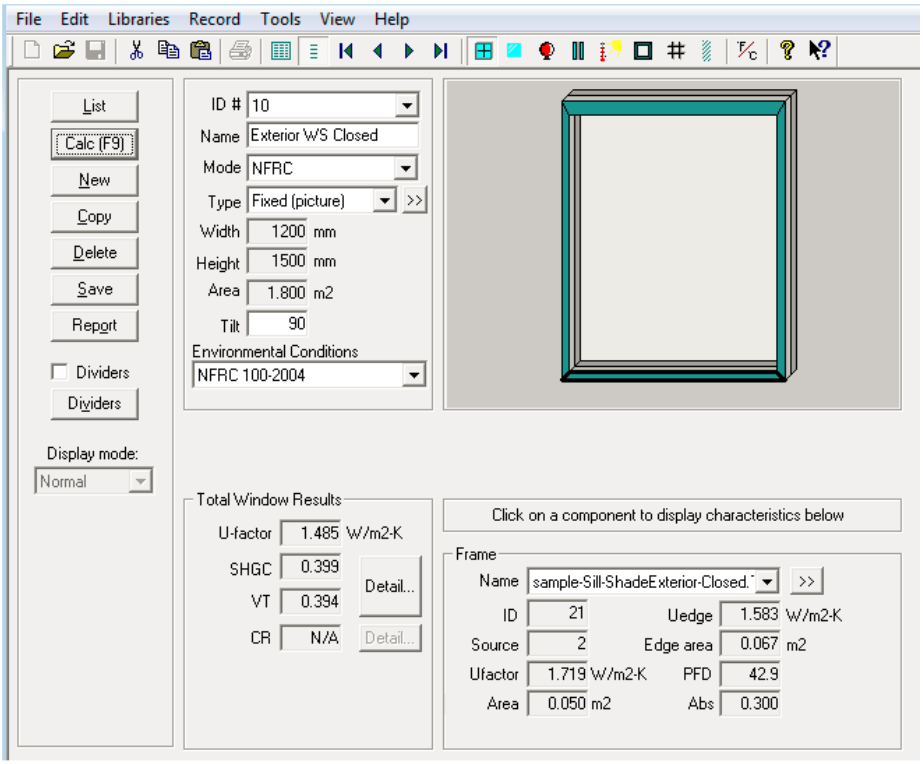


图 8-196：构建整窗

8.18. 漫射玻璃

WINDOW 具有建模漫射玻璃层的能力，例如 Fritted（彩釉）或 Etched（蚀刻）玻璃，也具有建模漫射中间层和应用膜的能力。这些玻璃层可以通过 CGDB 进行提交和找到。

8.18.1. 漫射玻璃层的举例说明

漫射玻璃层的一个例子是彩釉，它是通过热处理方式将釉料附着到玻璃（称为“基片”）表面一种陶瓷表面处理方式。另一个例子是蚀刻，它是将蚀刻剂作用于玻璃表面，使得其变得不平整，从而形成光的漫反射效果。陶瓷彩釉或带有蚀刻图案玻璃的光学特性是：当入射光穿过它时，玻璃表面既有镜面部分（光线可直接穿过），也有漫反射部分（光线被散射到多个不同的方向），因此为了正确地建模，有必要同时测量这两种不同的光学特性。

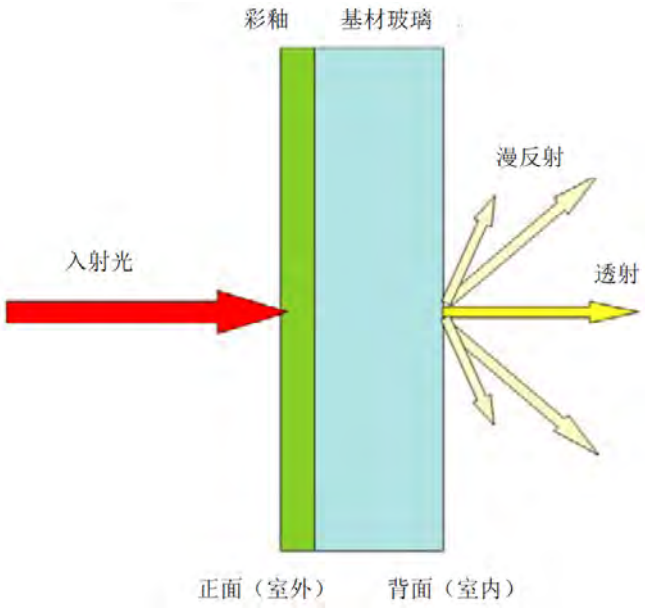


图 8-197：漫射玻璃的不同部位分别具有漫反射和透射的光学特性。图中显示的左侧是彩釉面。

漫射玻璃被纳入 CGDB 前需要提供以下数据：

- **完全（100%）被漫射材料覆盖基片的光谱数据**

  对于镜面玻璃，正面和背面的透射比相同，而反射比不同；对于彩釉或蚀刻玻璃，正面和背面的透光比、反射比都是不同的，而且它们的漫反射与镜面玻璃的也各不相同。然而，为了获得完全被漫射材料覆盖的基片的光谱数据，有必要根据下面几种不同的情况进行测量：

  - 正面表面高光光谱数据
  - 背面表面高光光谱数据

- 正面表面漫射光谱数据
- 背面表面漫射光谱数据

- **对于所有部分覆盖的配置或图案的光谱数据：**WINDOW 软件目前还没有内置的方法来混合 100% 覆盖和 0% 覆盖（仅基材）的两种产品。因此，部分覆盖的产品必须使用 100% 覆盖和 0% 覆盖测量结果的平均值，从而为每种覆盖率生成单独的光谱数据记录。

8.18.2. 漫射中间层

中间层是作为夹层玻璃进行测量的，而不是单独测量中间层本身；但与镜面中间层不同的是，其基材无法去除，且漫射中间层不能与其他基材组合使用。

8.18.3. 漫射应用膜

漫射应用膜层是在基材上进行测量的，但与镜面应用膜层不同的是，其基材无法去除，且该应用膜层不能应用于替代基材上。

8.18.4. 建模的步骤

漫射玻璃层的建模步骤如下：

在 WINDOW 中：

① 在 CGDB 中找到合适的产品，并将其导入 WINDOW 的 Shading Layer Library（遮阳层库）；

http://windows.lbl.gov/software/CGDB

在 Shading Layer Library（遮阳层库）的列表显示中，点击 Import 按钮，找到 CGCB 数据库文件，一般位于: C:\Users\Public\LBNL\LBNL Shared

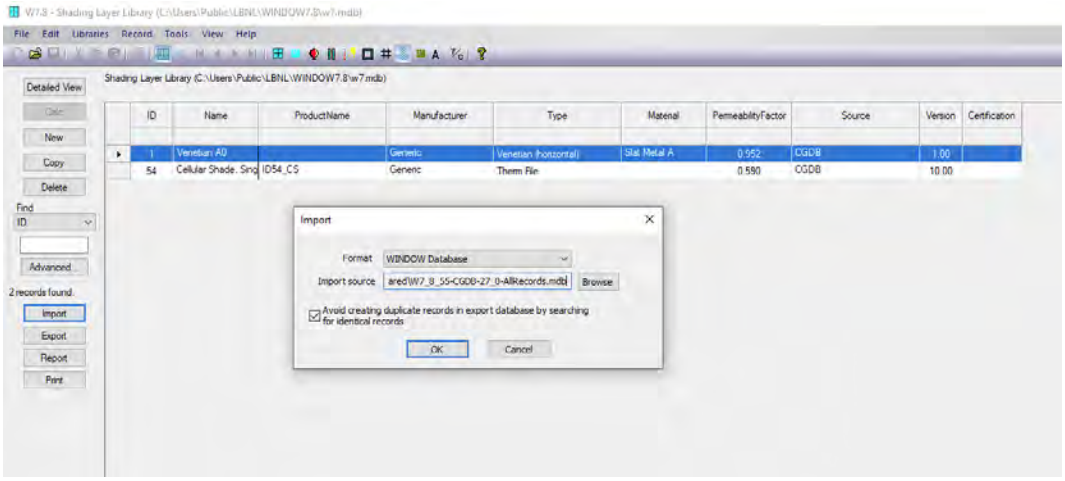


图 8-198：浏览CGDB数据库，将漫射材料的记录导入到Shading Layer Library

② 当出现下列对话框，选中记录并导入点击 Select 按钮（或）Select All 按钮导入所有记录）。

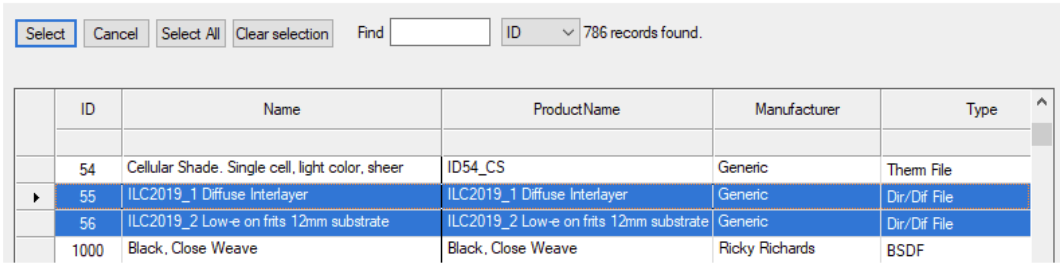


图 8-199：选择所需的记录导入Shading Layer Library

选中的记录将会导入 Shading Layer Library（遮阳层库），相应的记录也会导入Shading Material Library（遮阳材料库）

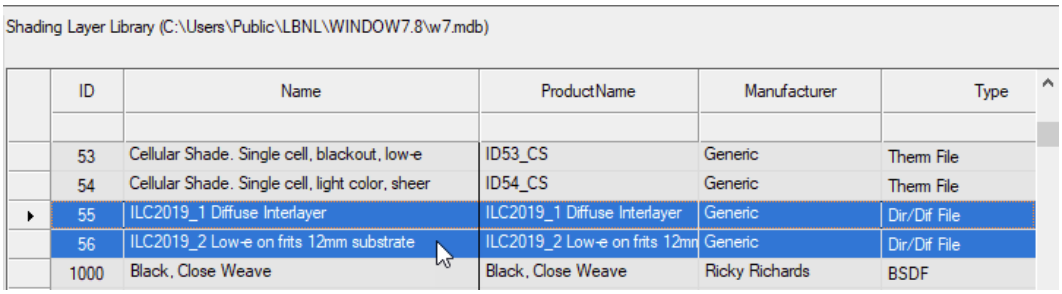


图 8-200：选中的记录将会从CGDB导入WINDOW的Shading Layer Library

③ 使用该漫射材料创建一个玻璃系统，步骤如下图：

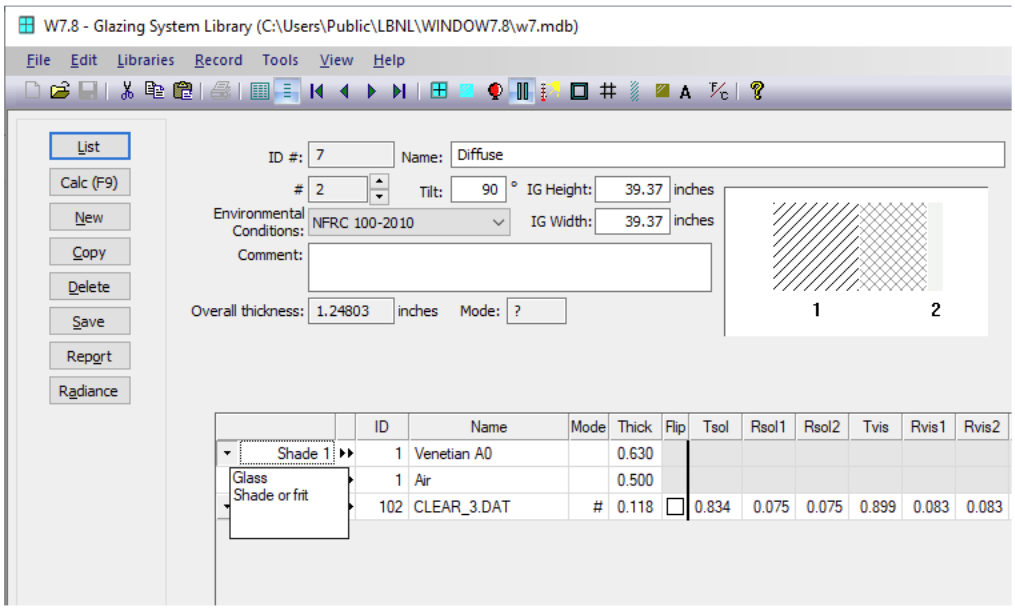


图 8-201：选中Shade or frit 从而浏览Shading Layer Library中的记录

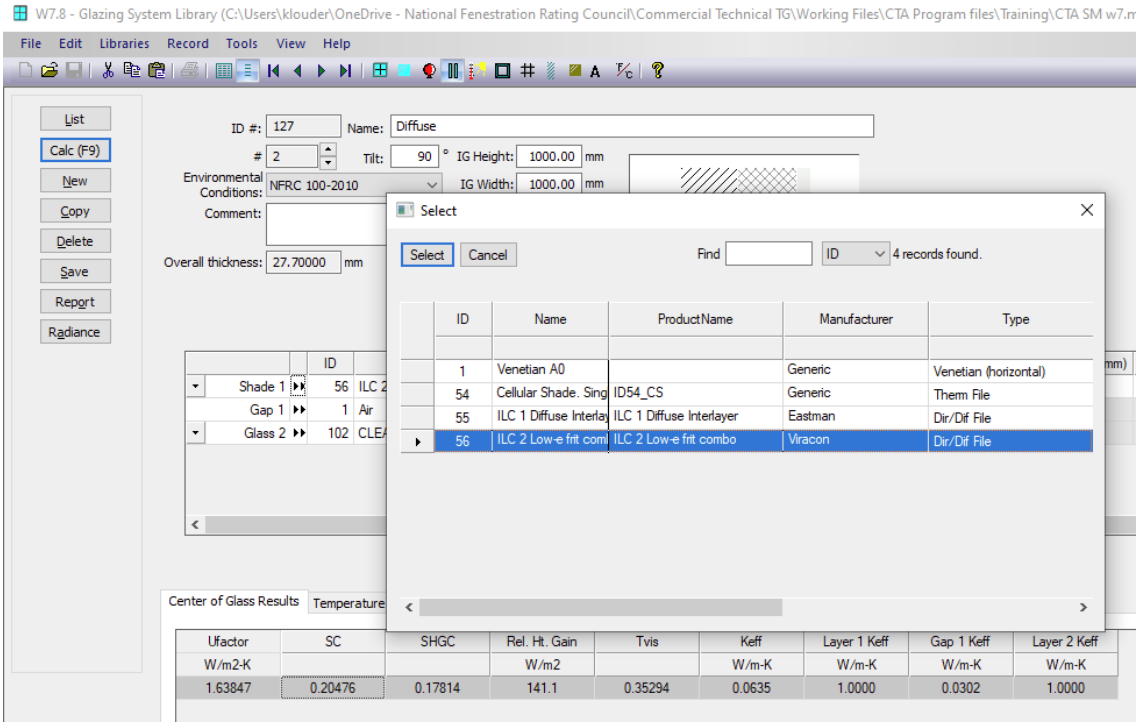


图 8-202：点击双箭头，接着选择Shading Layer Library中的记录

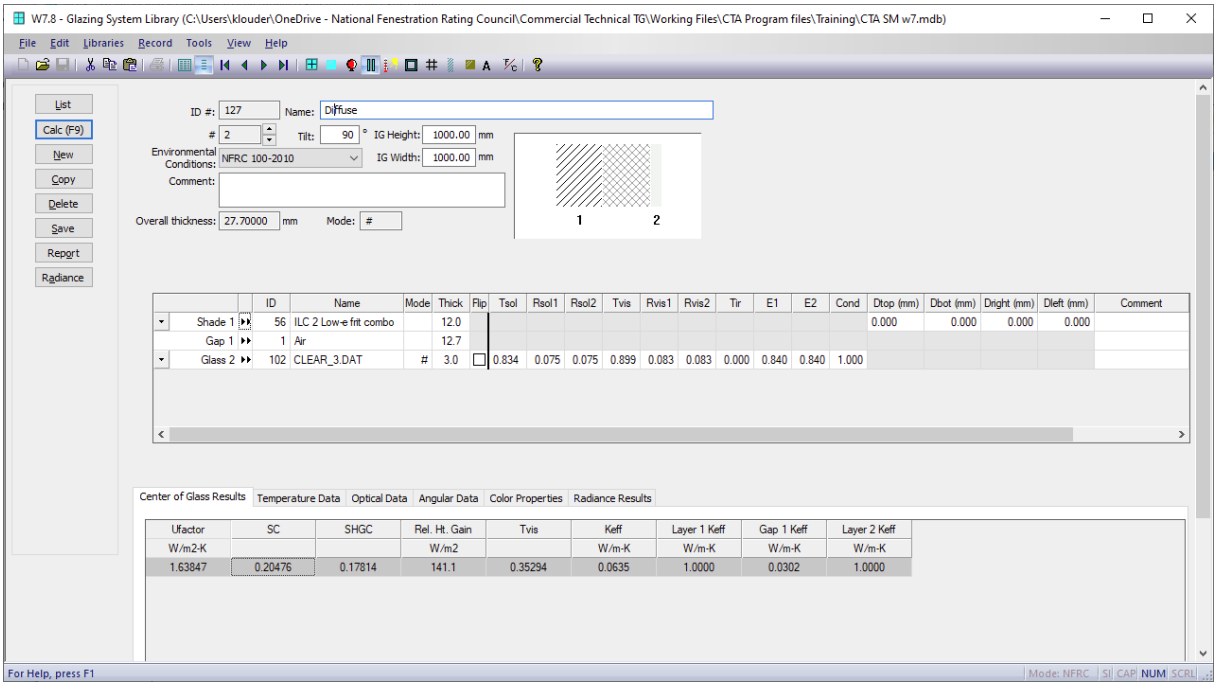


图 8-203：点击Calc按钮进行玻璃系统的计算

在 THERM 中：

④ 如同常规操作一般，将玻璃系统导入THERM，随后的操作上，漫射玻璃的建模方法与透明玻璃的并没有任何区别。

- ✧ 绘制框架截面的几何外形，包括顶底横梁、边立柱、中立柱等。
- ✧ 导入含彩釉或蚀刻玻璃层的玻璃系统。
- ✧ 边界条件：将 Shading System (Modifier) 设为 None (默认)。
- ✧ 分配边界条件和 U值标签，并计算结果。

在 WINDOW 中：

⑤ 将上述 THERM 文件导入 WINDOW 的 Frame Library（框架库）。

⑥ 使用上述彩釉或蚀刻玻璃系统、框架等组件，在 WINDOW 的 Window Library（窗库）创建并计算整体产品。

8.19. 环境控制的动态玻璃

① 确定需要建模的 Environmentally Controlled Dynamic Glazing（ECDG，环境控制的动态玻璃）的中间层，再根据 第8.11节中的详细建模步骤，在 OPTICS 中创建两个完整的夹层玻璃系列（即使用相同的玻璃层，配合中间层的每一种温度或状态，组成夹层玻璃）。一个系列用于“关闭状态”的计算，一个系列用于“开启状态”的计算。为了得到准确的结果，必须准备好夹层玻璃系列，以便按中间层温度升高的顺序为每个夹层玻璃分配 NFRC ID（例如，产品 XYZ 在 5ºC 时，NFRC ID = 32000，产品 XYZ 在 15ºC 时，NFRC ID = 32001，等等）。根据合理的命名逻辑（例如，5012/ProductXYZ-05C_off/5012，5012/ProductXYZ-15C_off/5012，5012/产品XYX_05C_on，5012/产品XYX_15C_on，等等）保存每个夹层玻璃，这样可以明显分辨夹层玻璃的各个组件。

③ 根据 第8.11节 中的建模步骤，导入完整的夹层玻璃系列到 WINDOW 的Glass Library（玻璃库）

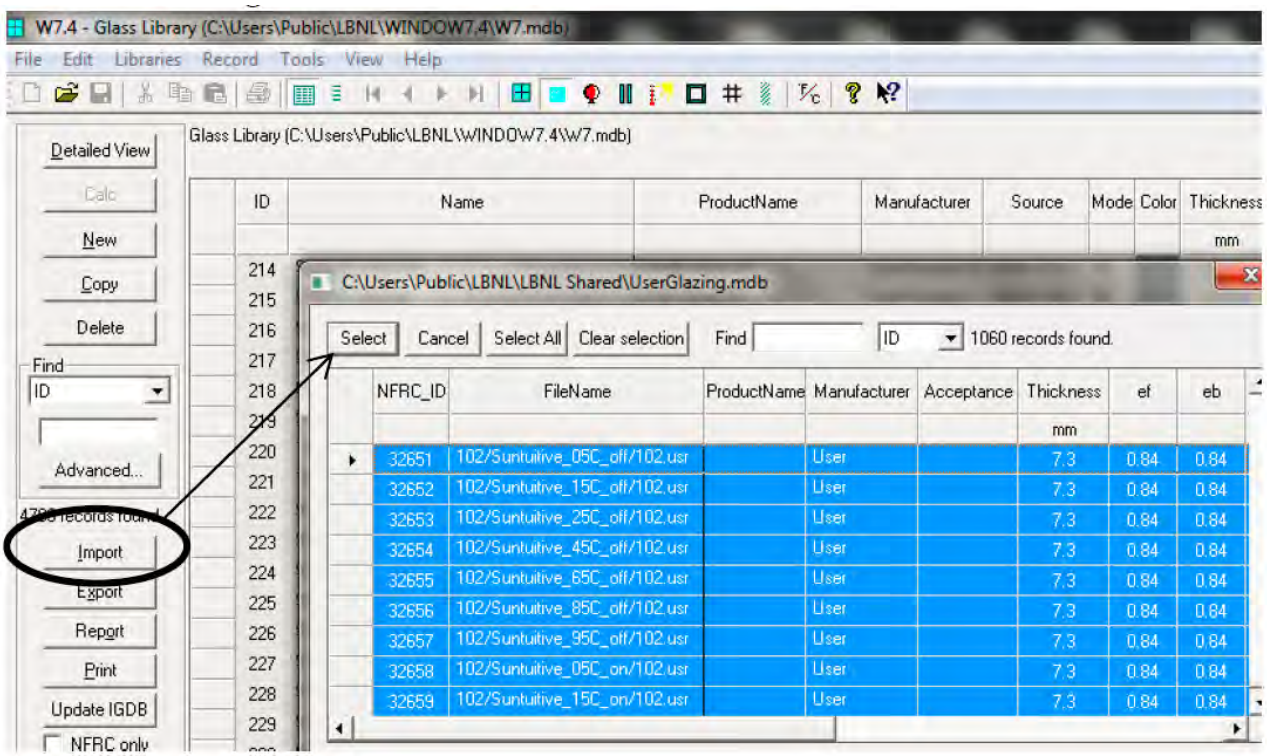


图 8-204：从OPTICS导入完整的夹层玻璃系列

④ 新导入的夹层玻璃系列在 WINODW 数据库中显示为独立的记录（如下图所示）。为了让WINDOW将这些夹层玻璃视作一个整体的动态（热变色）玻璃层，必须通过手动调整 WINODW 数据库文件（mdb文件）中的几个表来关联到数据库中，不过现在，NFRC 官网上有一个名为 Window 7 thermochromic glass layer utility（热变色玻璃层实用程序）的软件，可以实现这一过程的自动化。

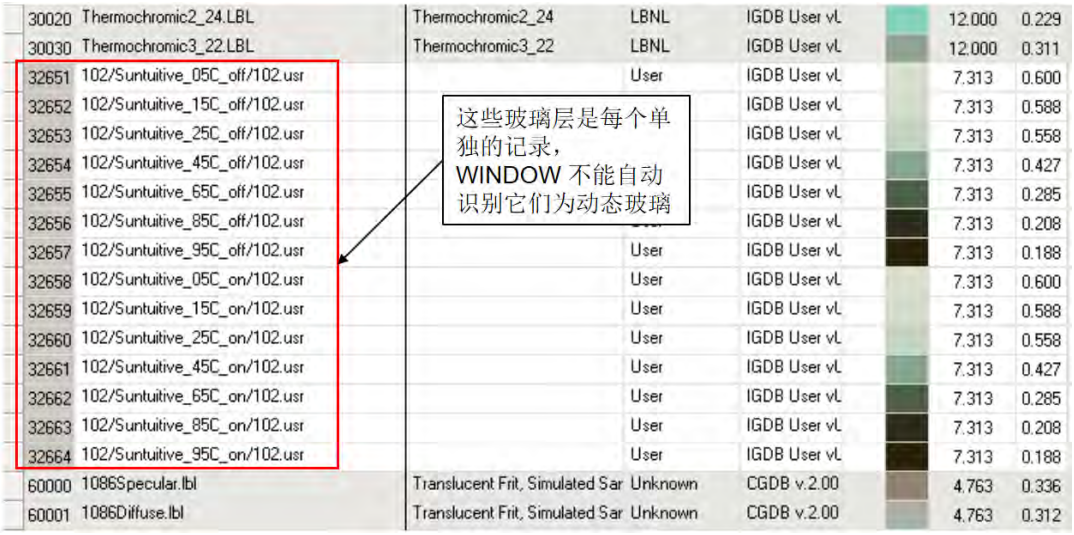


图 8-205：WINDOW数据库中完整的夹层玻璃系列

④ 打开 Window 7 thermochromic glass layer utility（热变色玻璃层实用程序）前 → 关闭WINDOW 程序 → 打开实用程序 → 设置 WINDOW 7 数据库正确的位置 → 点击Make backup copy of the database 备份数据库 → 选择备份文件的路径和名称。见下图。



图 8-206：备份WINDOW 7数据库

⑤ 点击 Create thermochromic glass layer，见下图。

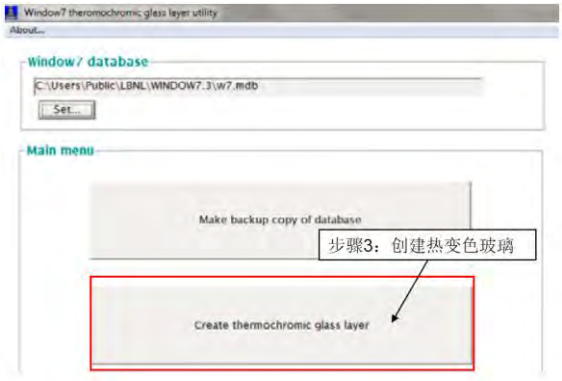


图 8-207：开始创建热变色玻璃

⑥ 检查数据库路径是否正确，如果有必要，可以改变路径。如图所示，在完全关闭/开启状态下，选中将作为单个动态玻璃层关联的夹层玻璃系列，并点击 Create。如下图所示。重复上述步骤，将这一夹层玻璃关联系列为一个动态玻璃层，最后得到两个（完全关闭/开启）状态下的动态玻璃层。注意：“开”系列和“关”系列必须被视为独立的动态玻璃层，目的是使计算值在 WINDOW 7 数据库中长久保存。

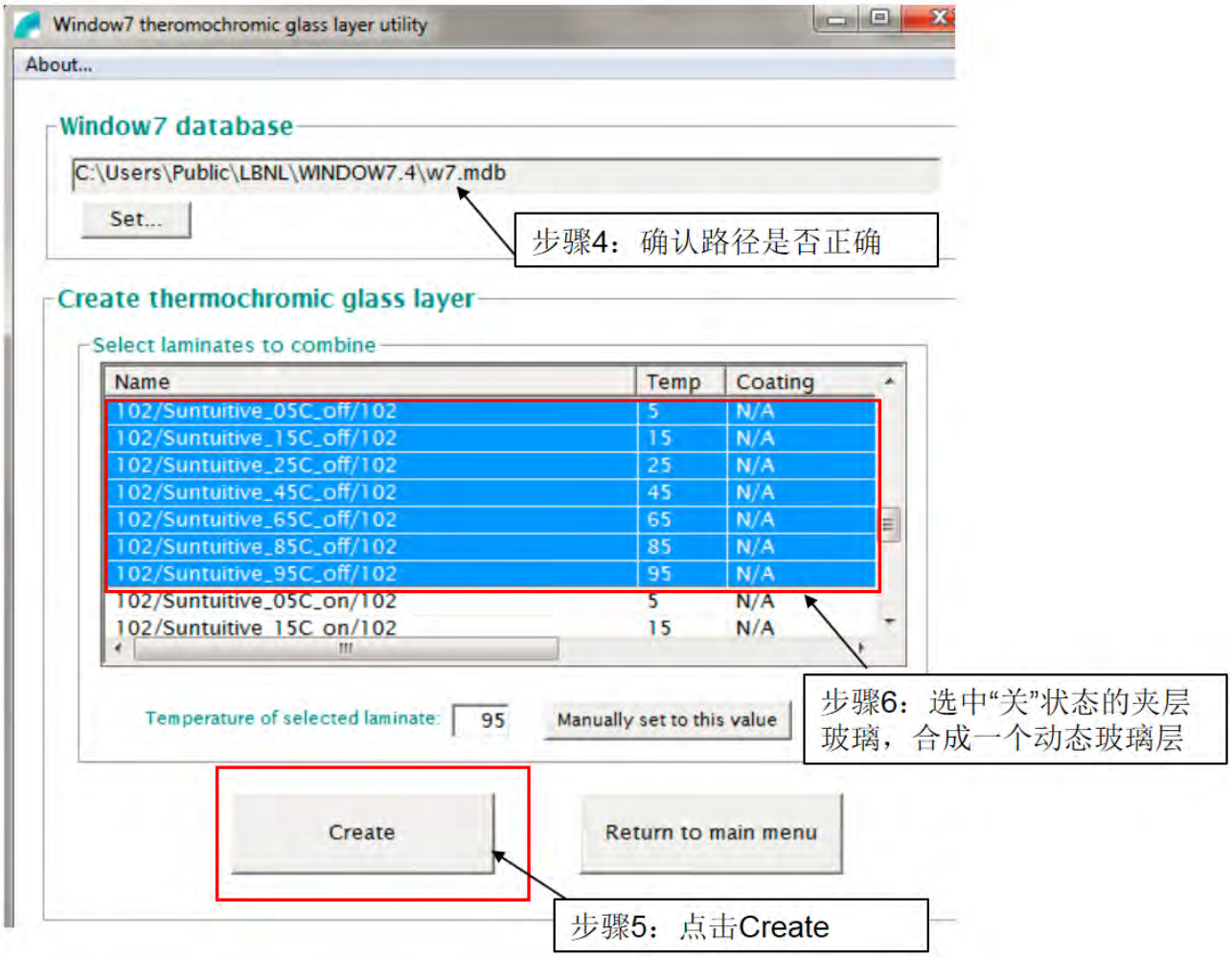


图 8-208：选择夹层玻璃系列，创建热变色玻璃层

⑦ 退出“实用程序”，并重新打开WINDOW 7。现在只有中间层温度最低的记录是可见的。所有关于热变色玻璃层的记录都与这个名字有关。见下图。

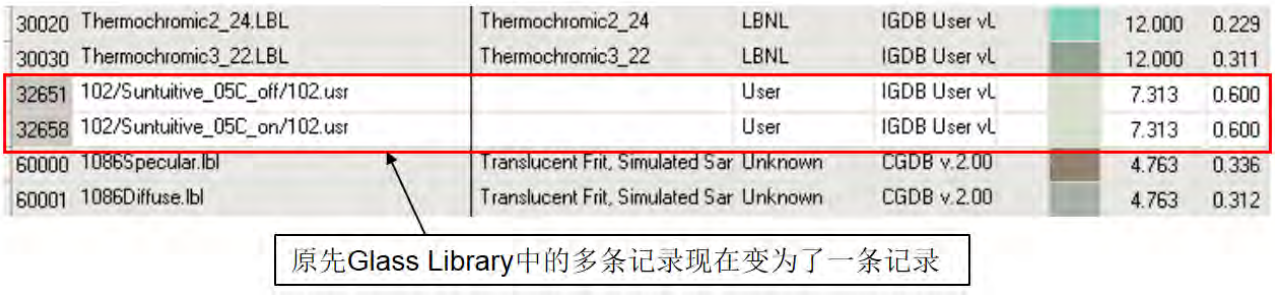


图 8-209：Glass Library中的热变色玻璃层

⑧ 在 Glazing System Library（玻璃系统库）中，可以使用新创建的热变色玻璃层创建玻璃系统。下面显示的是双层玻璃结构，使用热变色夹层玻璃和涂层玻璃的组合。关于在 WINDOW 7 中创建玻璃系统的详细说明可以在《WINDOW 用户手册》中找到。根据《ANSI / NFRC 100》 第4.1.4节，动态玻璃产品的性能值是分别按处于完全关闭和完全开启两种状态确定的。热变色产品控制的环境中，热变色产品的属性完全关闭和完全打开状态分别对应 NFRC 100-2010 Winter 和 NFRC 100-2010 Summer。为了获得该玻璃在两种状态下的玻璃中心值，应在 NFRC 100-2010 标准条件下进行计算。

为了获得该玻璃在完全关闭状态下的玻璃中心值，先在 NFRC 100-2010 Winter 条件下进行计算。在 Dynamic Properties 一栏下，在冬季环境条件下的热变色面板的温度列在最后一行（蓝色部分），记住这个值。见下图。

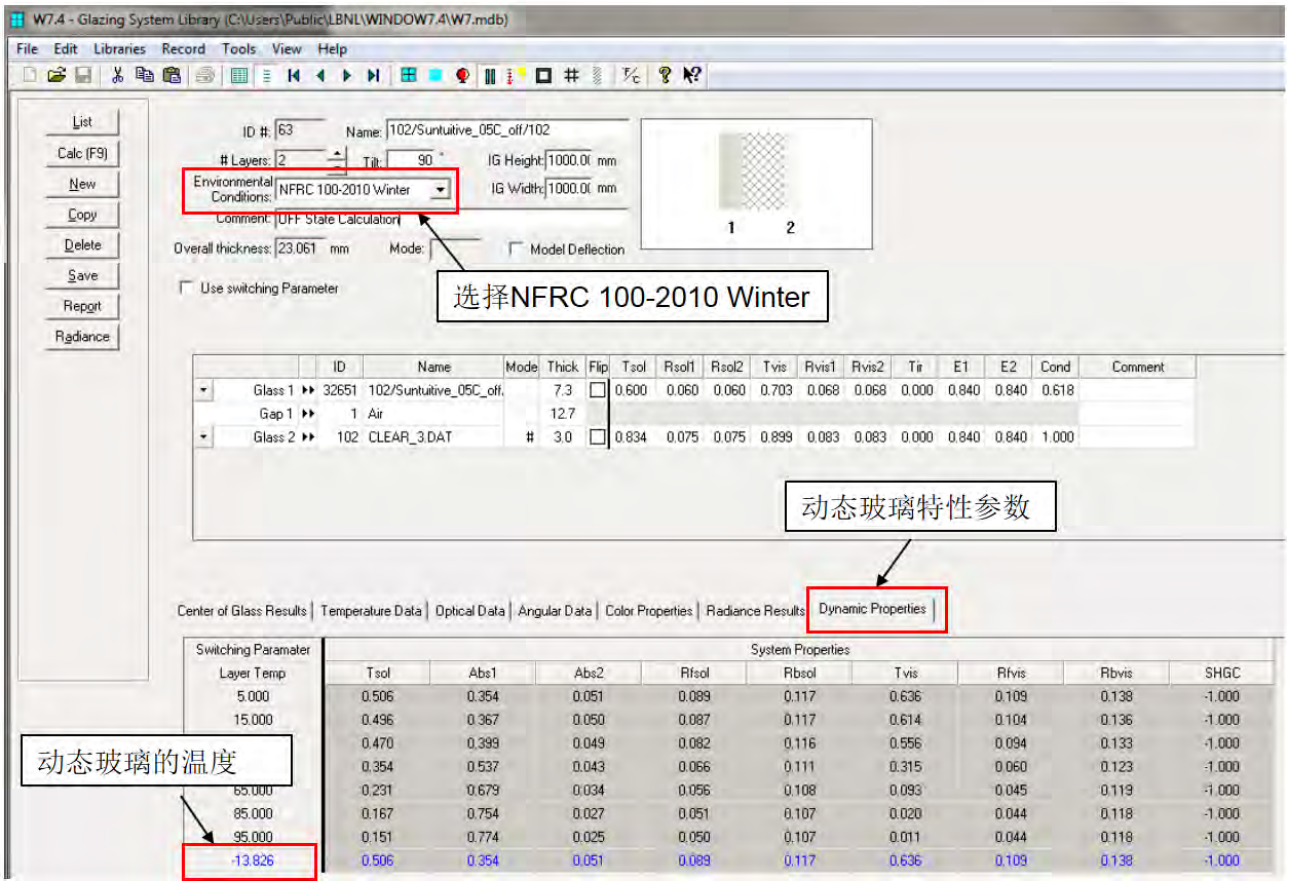


图 8-210：确定冬季条件下的面板温度

⑨ 勾选 Use switching Parameter，并在 Value 一栏中输入在 NFRC 100-2010 Winter 条件下获得的热变色面板温度（例如：-13.826 ºC）。在 NFRC 100-2010 标准条件下计算得到的玻璃中心值为玻璃系统的完全关闭状态（例如：U值 = 2.66 W/(m² • K)；Tvis = 0.64；SHGC = 0.60）。见下图。保存该玻璃系统，以便按照本手册“第7章：计算整体产品”的详细步骤，计算产品的关闭状态。

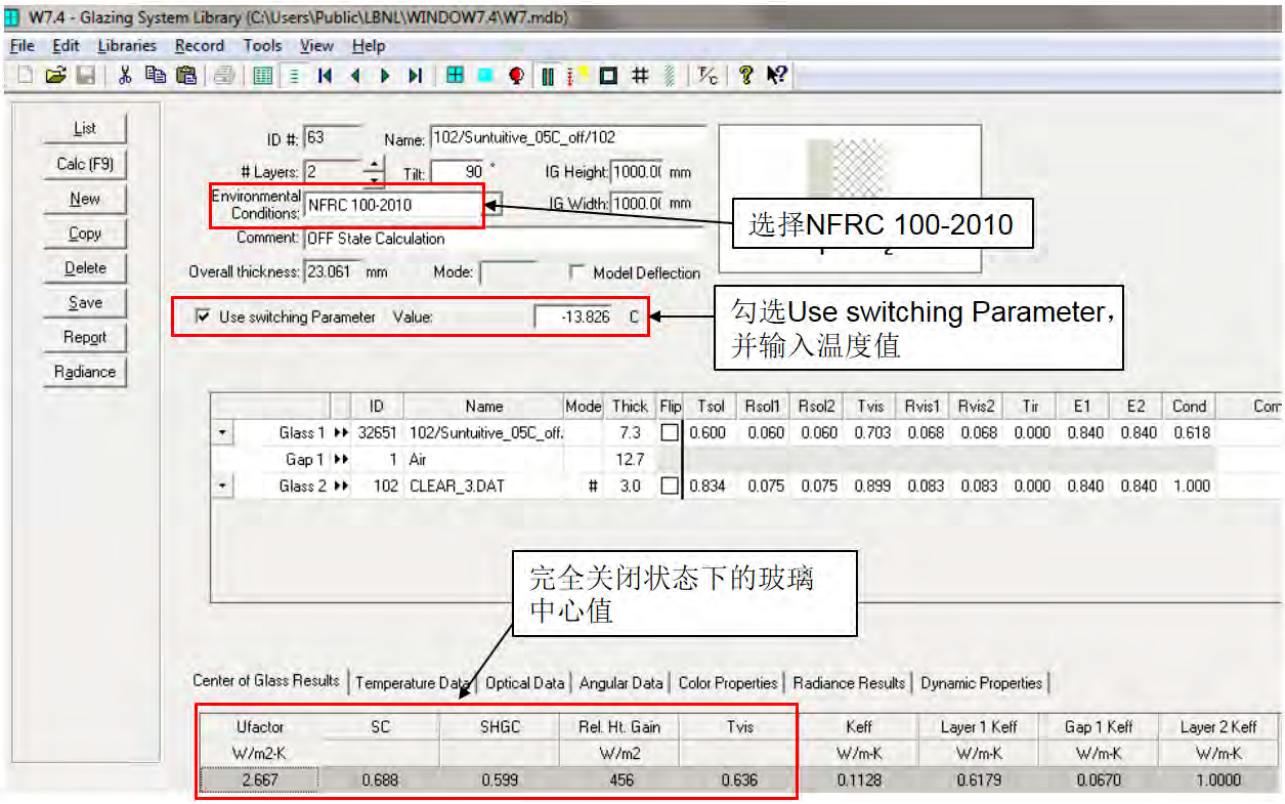


图 8-211：完全关闭状态下的玻璃中心值

⑩ 为了获得该玻璃在全开启状态下的玻璃中心值，需要构建了一个新的玻璃系统，与第⑧步相似，除了“开启的”玻璃层取代了“关闭的”系列玻璃层，然后在 NFRC 100-2010 Summer 条件下进行计算。在Dynamic Properties一栏下，在夏季环境条件下的热变色面板的温度列在最后一行（蓝色部分），记住这个值。见下图。

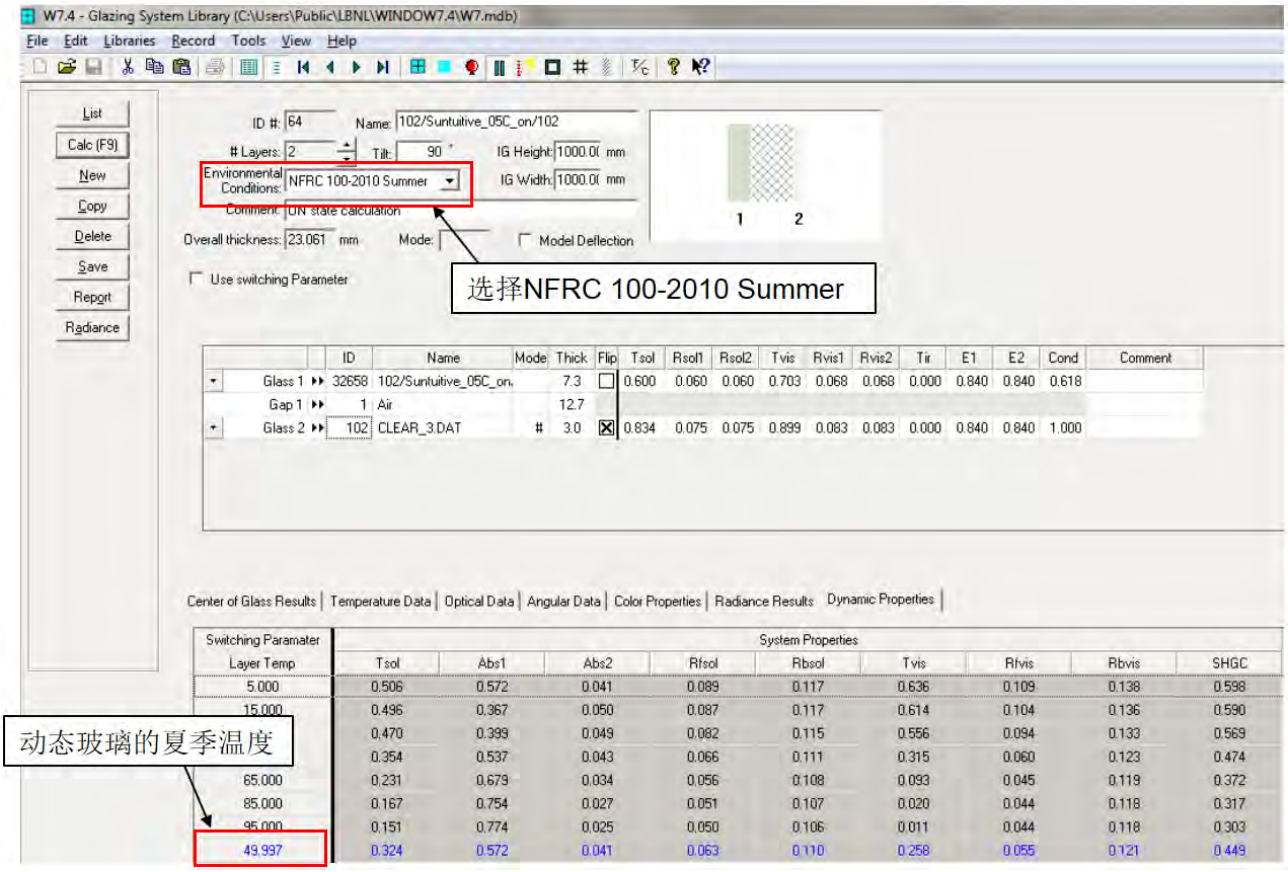


图 8-212：确定夏季条件下的面板温度

⑪ 勾选 Use switching Parameter，并在 Value 一栏中输入在 NFRC 100-2010 Summer 条件下获得的热变色面板温度（例如：49.997 ºC）。在 NFRC 100-2010 标准条件下计算得到的玻璃中心值为玻璃系统的完全开启状态（例如：U值 = 2.67 W/(m² • K)；Tvis = 0.26；SHGC = 0.45）。见下图。保存该玻璃系统，以便按照本手册“第7章：计算整体产品”的详细步骤，计算产品的全开状态。

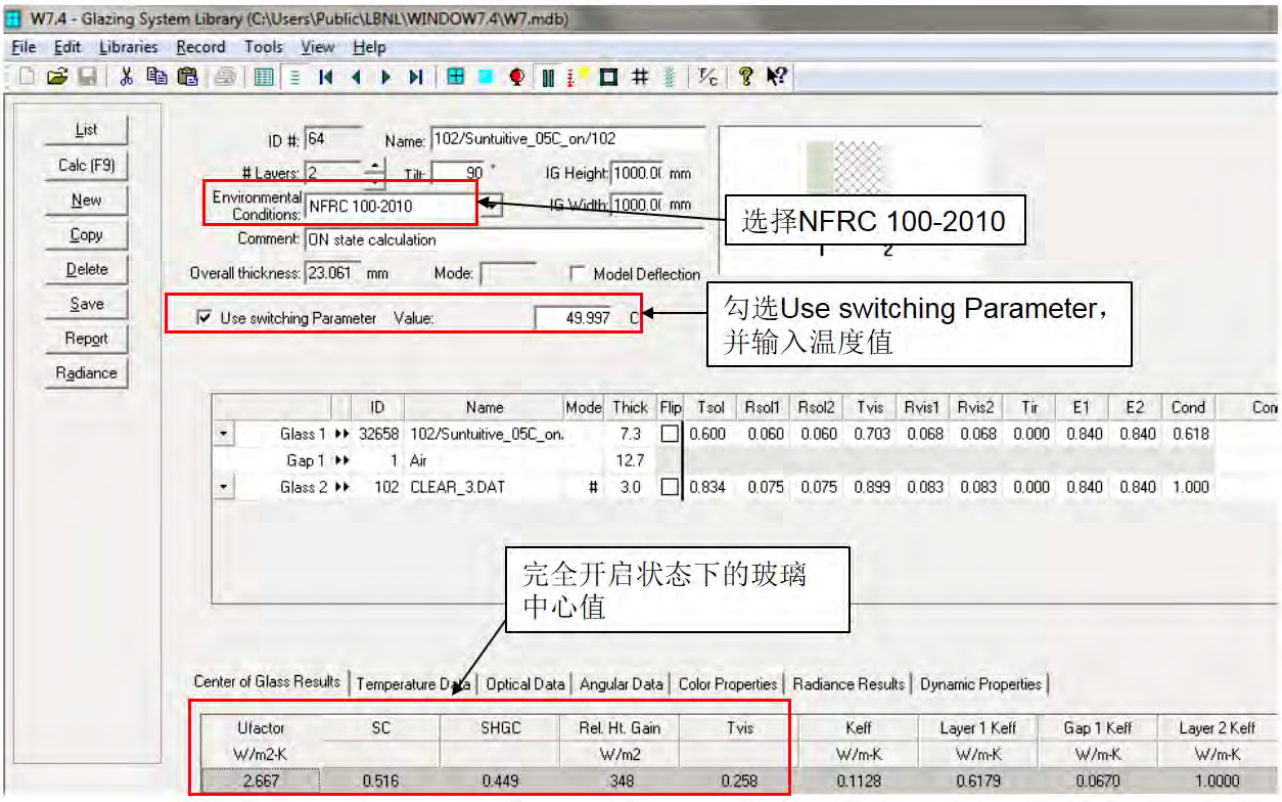


图 8-213：完全开启状态下的玻璃中心值

⑫ 有了完全开启和完全关闭两种状态的数据，就可以按照本手册中的步骤完成建模过程的剩余部分。

注意：WINDOW 7 此时只为动态玻璃层保存一个计算值。为了数据的持久性，每个玻璃结构（例如，不同的Low-e选项）都可能需要创建一对新的动态玻璃层（步骤① ~ ⑥）。另一种选择是，在每次使用动态玻璃层之后，可以创建 WINDOW 7 数据库（mdb）文件的唯一命名备份，使用逻辑性的命名方式指定玻璃构造，从而允许在不损害数据持久性的情况下重复使用动态玻璃层。

8.20. 真空玻璃（VIG）

WINDOW可用于模拟真空腔，以实现真空玻璃（VIG）产品的建模。这是唯一一种能使用纯空腔填充类型的空腔类型。

真空玻璃由两块玻璃构成，玻璃之间的空腔被抽成真空状态，两块玻璃之间由阵列的支撑柱或其他系统隔开，并使玻璃片之间保持一定的空间。与普通中空玻璃使用的典型间隔条系统不同，这些真空玻璃产品使用的边部密封系统包括但不限于各种材料，例如焊料玻璃、玻璃、陶瓷、金属、塑料或密封剂。

8.20.1. 创建真空空腔

第一步应该创建真空空腔。真空玻璃单元的空腔类型与中空玻璃的充气空腔不同。

创建真空空腔的步骤是：

1. 点击Gap Library（空腔气体库），创建一个新的空腔编号。

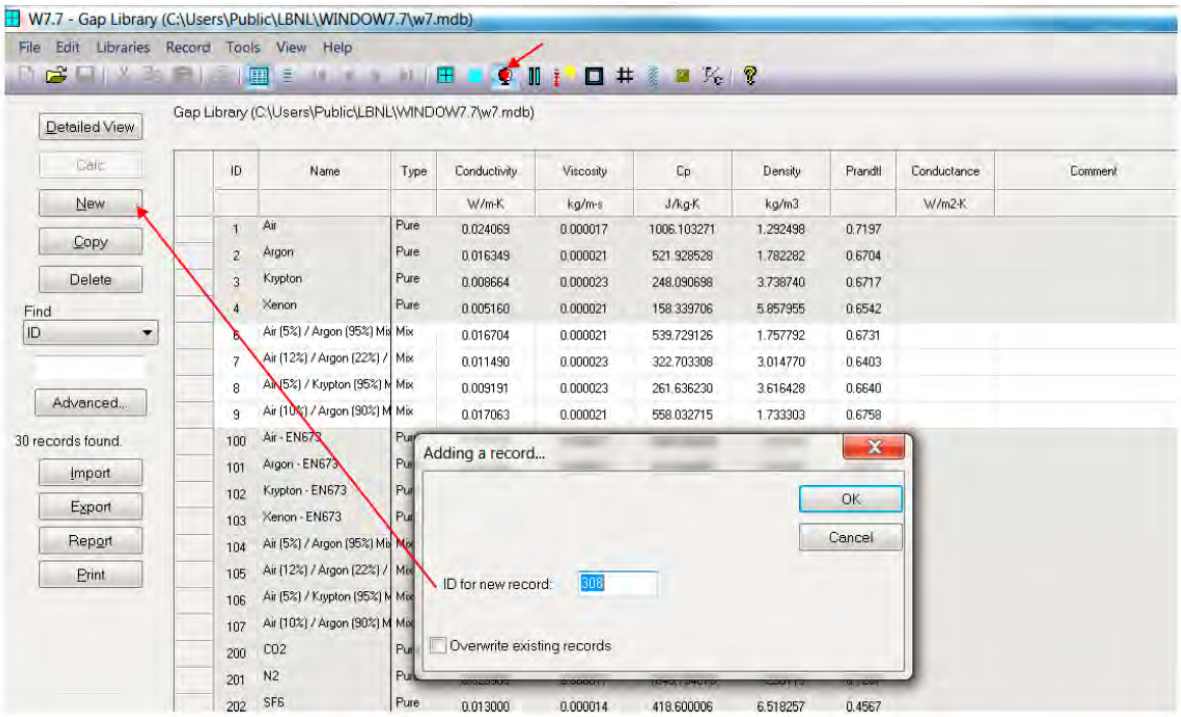


图 8-214：Gap Library空腔气体库

2 打开这个新的空腔编号，并选中Vacuum（(真空)。

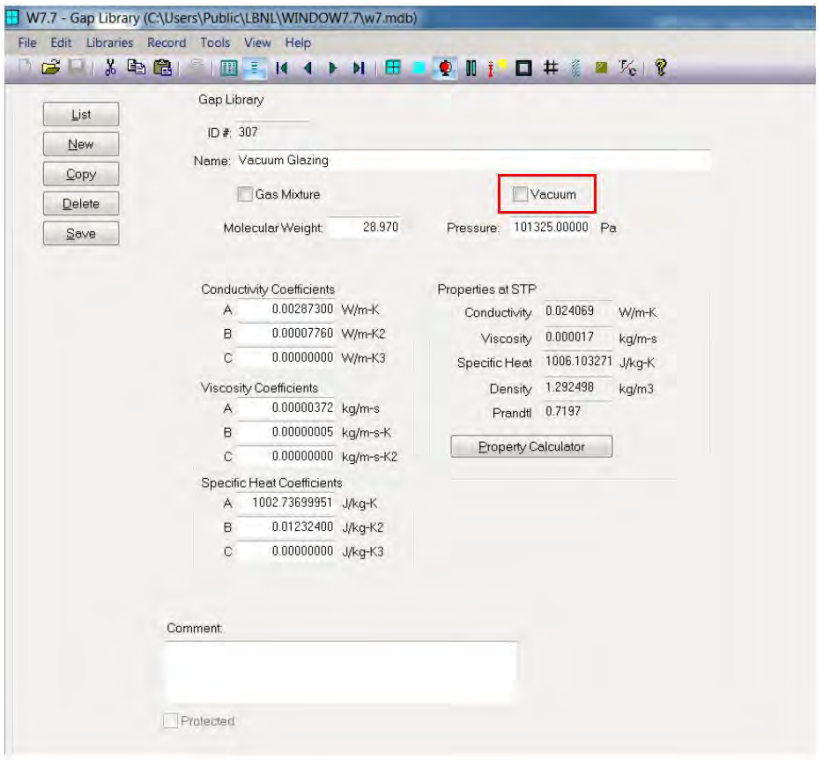


图 8-215：Gap Library空腔气体库，选中Vacuum（真空）

3. 选中Vacuum（真空）后，将出现一个新的页面，需要用户自定义一些参数，包括根据真空玻璃产品厂商提供的信息，填入如名称、压力、支撑柱的定义（支撑柱名称、半径和间距）等数据。传导系数将根据用户输入自动调整。分子量（28.970）和比热比（1.4）作为默认值不得更改。压力只需输入一个压力单位，Pa、psi 或 Torr，WINDOW 将自动转换其它压力值。

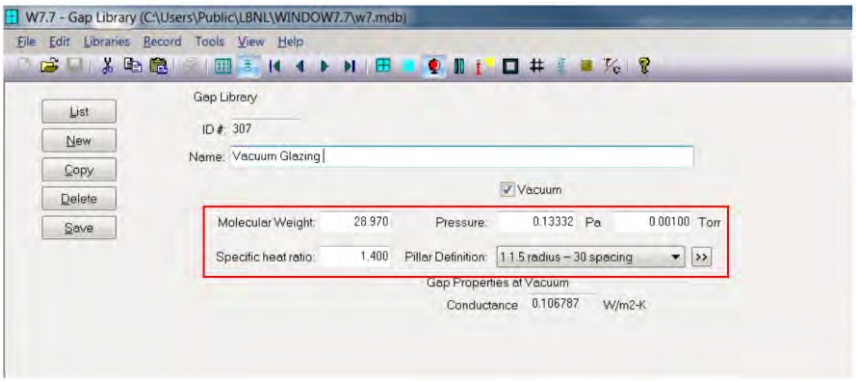
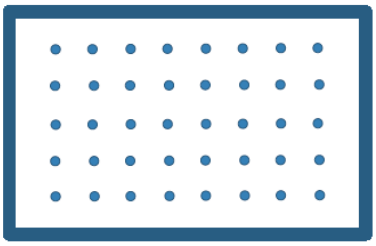


图 8-216：Gap Library空腔气体库，真空空腔的特性参数

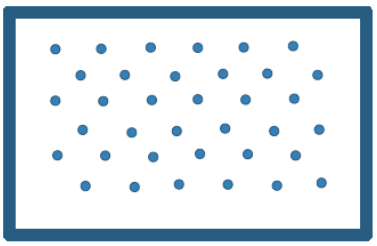
4. 支撑柱的定义应按照实际真空玻璃产品的参数定义。点击 >> 打开支撑柱的定义菜单，编辑当前信息或选择新建添加新的支撑柱定义记录，并更新名称、半径、间距和制造商。无论厂商的技术规格是怎样的，支撑柱的类型只能设为圆型。不过，矩形支撑柱可以通过计算圆型的等效半径的方法进行设定。等效半径使用以下公式计算公式：

$$r = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$$

其中 a 和 b 分别是矩形的两边（对于正方形 a=b）。请注意，当矩形没有明显偏离正方形时（例如，纵横比小于 2），这个近似值是有效的。计算时，使用支撑柱中心到中心的间距，如支撑柱为交错布置，则使用最短距离。



图a. 常规式点阵



图b. 交错式点阵

图 8-217：支撑柱的定义

5. 定义完真空空腔的压力和支撑柱后，单击 Save 和Ok。请注意，支撑柱的导热率不是一个输入字段，因为支撑柱的材料导热率均超过了玻璃的导热率，而一旦超过该阈值，不同的导热率数值就不会产生任何影响。基于未来的发展和创新，未来版本的 WINDOW 软件工具将提供指定支撑柱导热率的选项。现在，新的支撑柱定义将出现在支撑柱定义的下拉菜单中，供用户选择，该选择基于任何已保存的新支撑柱定义。然后，从间隙库（Gap Library）中点击保存，以保存真空间隙的输入数据。下拉列表中所选的支撑柱定义将是构建真空玻璃时唯一使用的支撑柱定义，因此如果使用了多个真空间隙和支撑柱定义，则需要额外的间隙库记录。如果有多个真空间隙，但真空间隙压力和支撑柱定义相同，则该真空间隙可以根据需要重复使用任意次数。

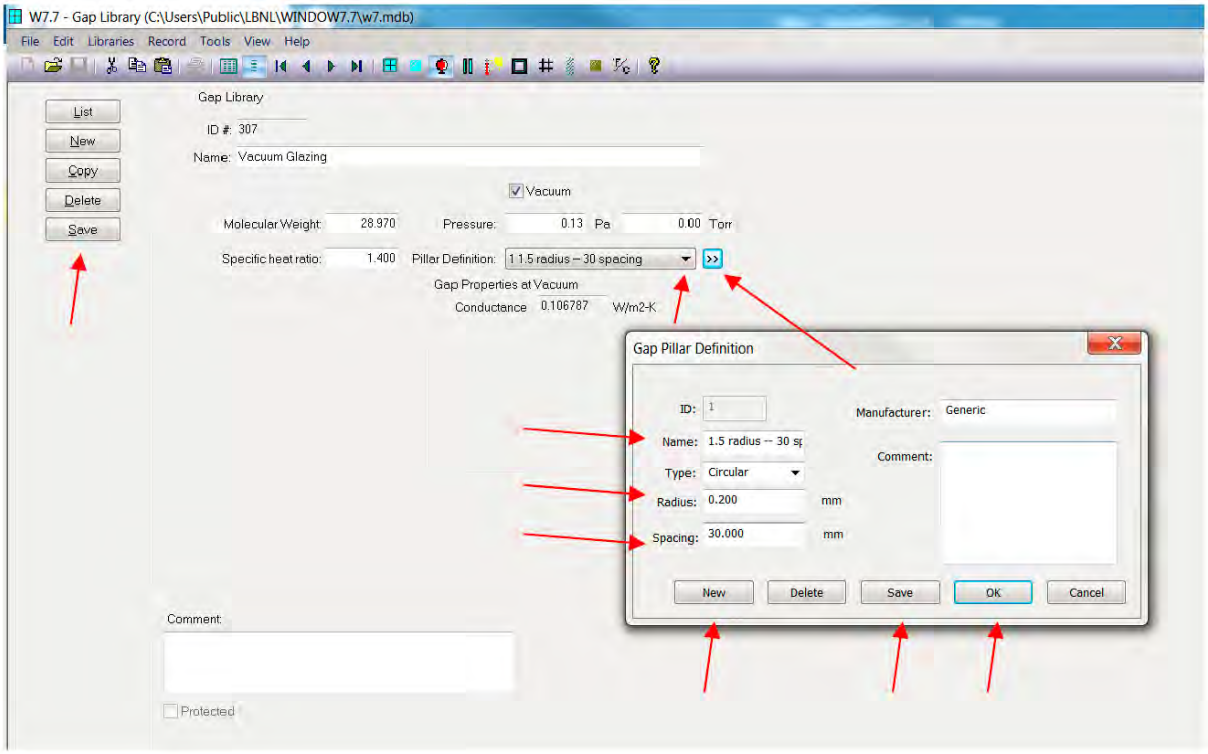


图 8-218：Gap Library空腔气体库，空腔支撑柱定义

8.20.2. 创建真空玻璃单元

真空空腔创建完成后，就可以在玻璃系统库中创建真空玻璃单元。

创建真空玻璃单元的步骤是：

1. 点击Glazing System Library（玻璃系统库），创建一个新的玻璃系统编号。

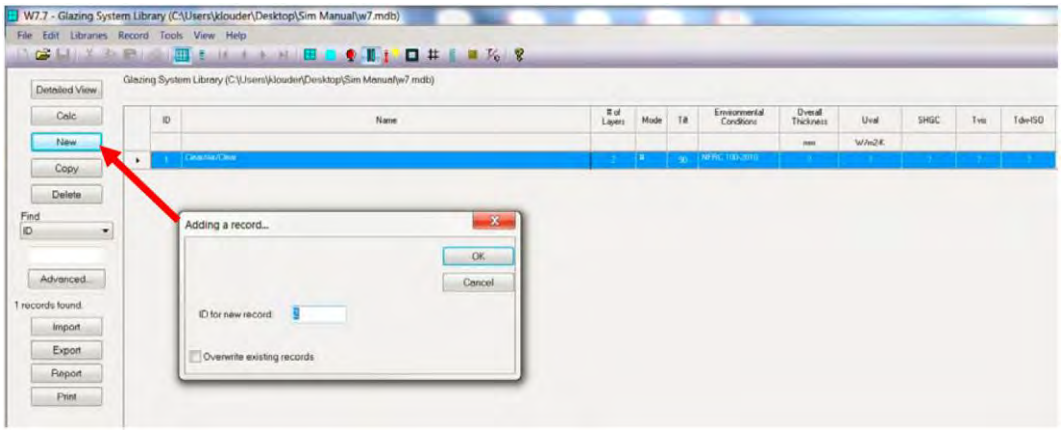


图 8-219：Glazing System Library 玻璃系统库

2. 打开新的玻璃系统编号，更新名称，然后选择玻璃层和真空空腔生成真空玻璃单元。注意需要调整空腔宽度以匹配厂商的产品规格，计算并保存用于导入THERM的玻璃系统。

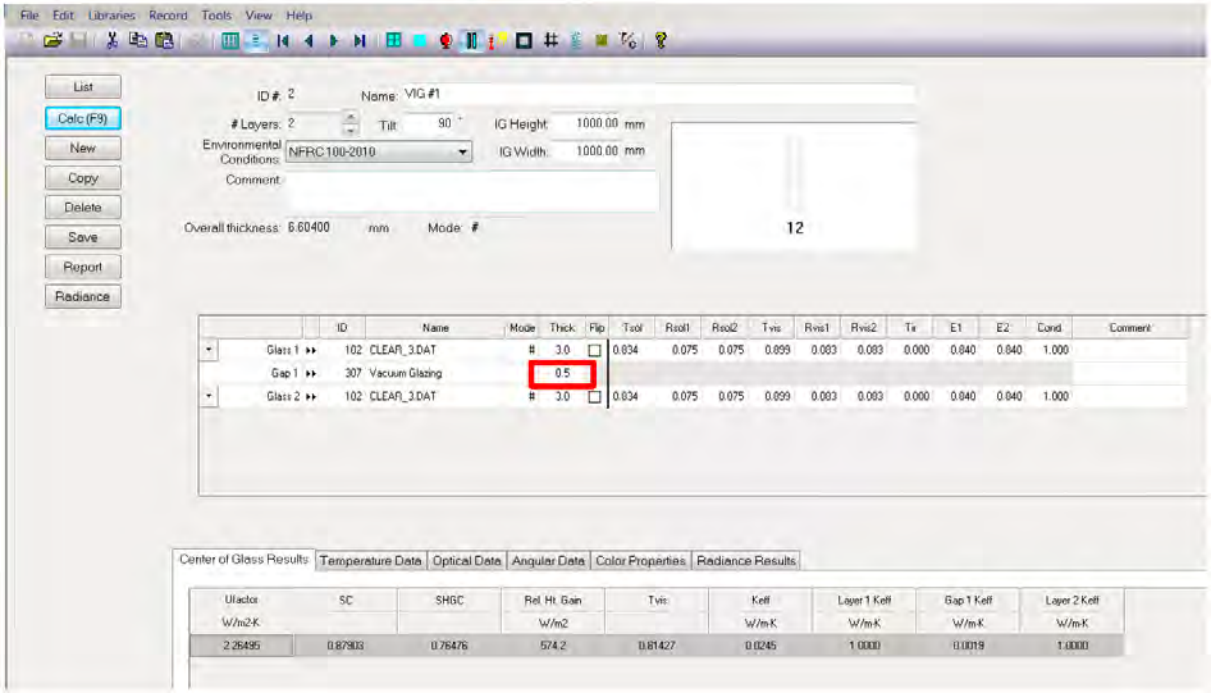


图 8-220：创建真空玻璃单元

8.20.3. 将真空玻璃导入THERM

在THERM中导入真空玻璃单元（点击 Glazing Systems 或 F6键），创建门窗产品的截面（立柱、顶、底横梁等）。步骤是：

1. 正常设定所有玻璃系统参数，Spacer Height（间隔条高度）应与厂商实际产品的封边高度一致。

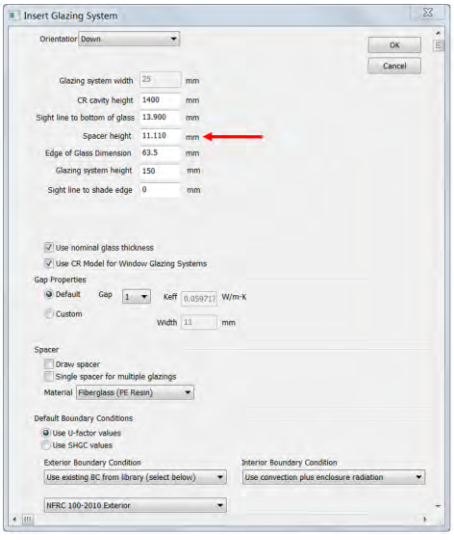


图 8-221：导入真空玻璃时，注意Spacer Height的值

2. 根据厂商的技术规格，使用NFRC 101中批准的材料，作为真空玻璃的封边材料。

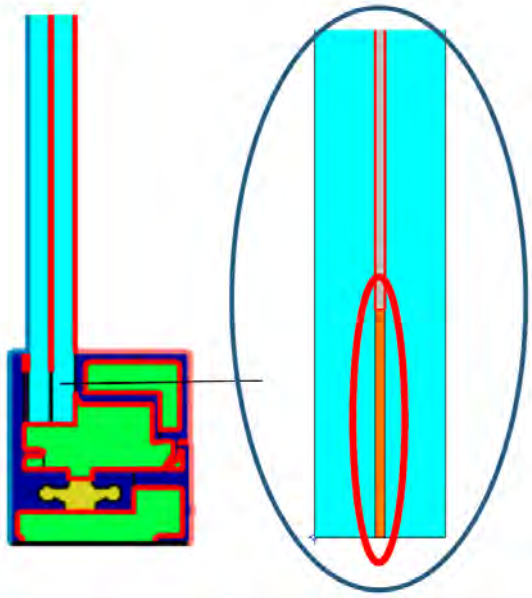


图 8-222：导入真空玻璃时，封边材料的选择

3. 导入真空玻璃后，进行封边材料的定义，然后定义边界条件并照常计算。直到完成门窗产品所有截面的计算。

8.20.4. 模拟复合真空玻璃

1. 按照如上所述步骤创建真空玻璃单元后，可以再增加一层玻璃层，并进行空腔气体的设置，以模拟复合真空玻璃，如下图所示。

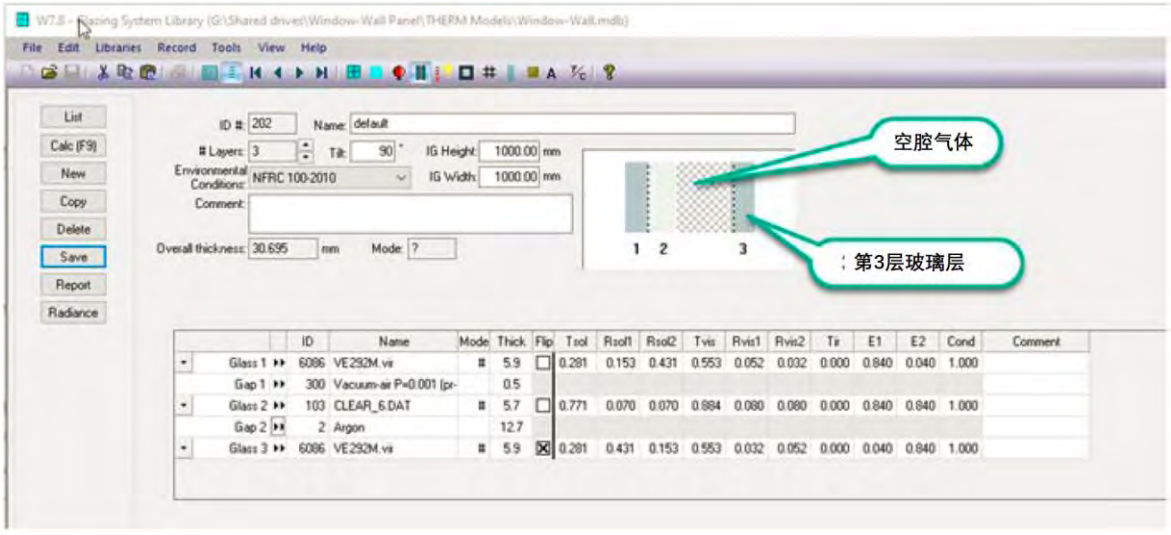


图 8-223：创建复合真空玻璃系统

2. 在 THERM 中，导入复合真空玻璃并在玻璃边部添加恰当的间隔条系统。请注意：由于玻璃导入过程中，只能指定一个“Spacer Height”，而真空玻璃的封边高度和复合真空玻璃的间隔条高度可能不同，因此为了适应这一点，需要在 Preferences（首选项）中，选中 Allow editing IG polygons（允许编辑中空玻璃多边形），以便后续建模过程中调整真空玻璃封边或间隔条系统的高度。

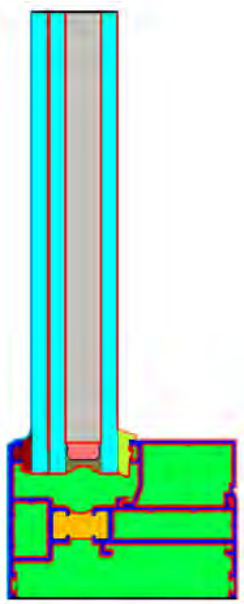


图 8-224：THERM 中带有典型复合真空玻璃系统的截面示例

3. 导入复合真空玻璃后，定义边界条件并照常计算。直到完成门窗产品所有截面的计算。

8.21. 层间板系统

层间板系统是与标准门窗幕墙产品不同的产品，因为它们包含不透明的建筑元素，这些元素可能与透明层结合或不结合。对于NFRC认证的层间板系统，要求该系统必须包含一个如 ANSI/NFRC 100 中定义的玻璃构件。

本节所示的整体产品性能计算是一个两片玻璃墙系统，室内侧有层间板。它不包含对组合单元（高于或低于可视区的层间部位）进行评级的程序。

层间板系统的建模过程与典型的可视幕墙系统不完全相同。默认情况下，WINDOW使用63.5mm作为玻璃边缘U值的计算范围。然而，在层间板系统建模时，建模师需要在THERM中定义254mm作为层间板边缘U值的计算范围，并使用电子表格，通过面积加权来计算整体产品。面积加权电子表格可由建模师自建，但应与 NFRC Spandrel Benchmark（NFRC层间板参照表）的结果进行比较用于验证该电子表格。

请按照以下详细步骤对层间板系统进行建模计算。

8.21.1. 创建层间板系统的中心（COG）

首先需要创建两个不同的COG系统：一个仅包含玻璃（无层间板构件），另一个包含了玻璃和层间板构件（层间板系统）。这是必需的，因为玻璃层将是唯一导入THERM的构件，建模师将添加层间板构件（金属板、保温材料和适当的空腔）作为与玻璃相邻的多边形图块，从WINDOW中计算得到层间板系统的COG值，并将其输入面积加权电子表格。

步骤1：仅创建玻璃系统

在Glazing System Library（玻璃系统库）中创建层间板系统的玻璃部分，不含室内的层间板构件（例如金属板或保温材料）。在此示例中，玻璃系统是双层透明中空玻璃，带6mm玻璃和13.97mm空气层（0.5500 英寸）。参见下图。

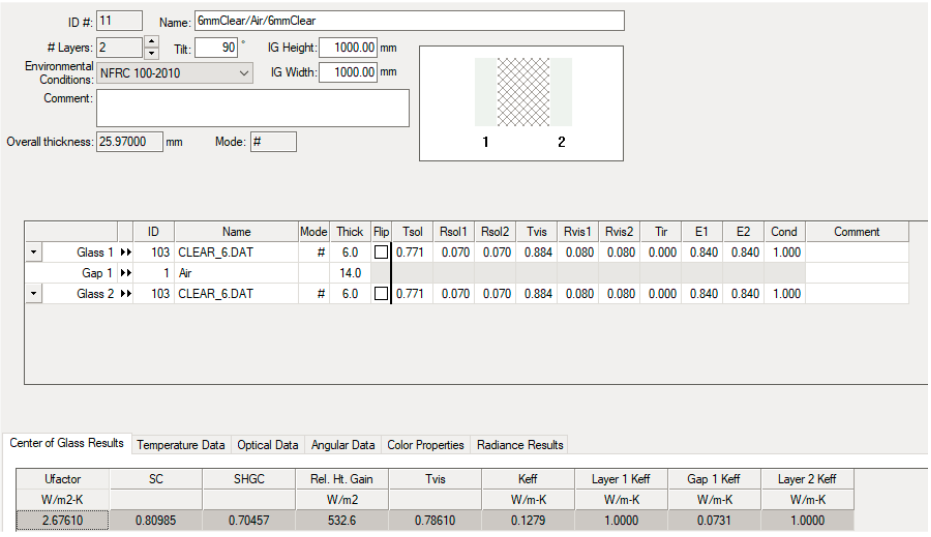


图 8-225：仅创建中空玻璃

步骤2：创建玻璃系统和不透光的层间板构件

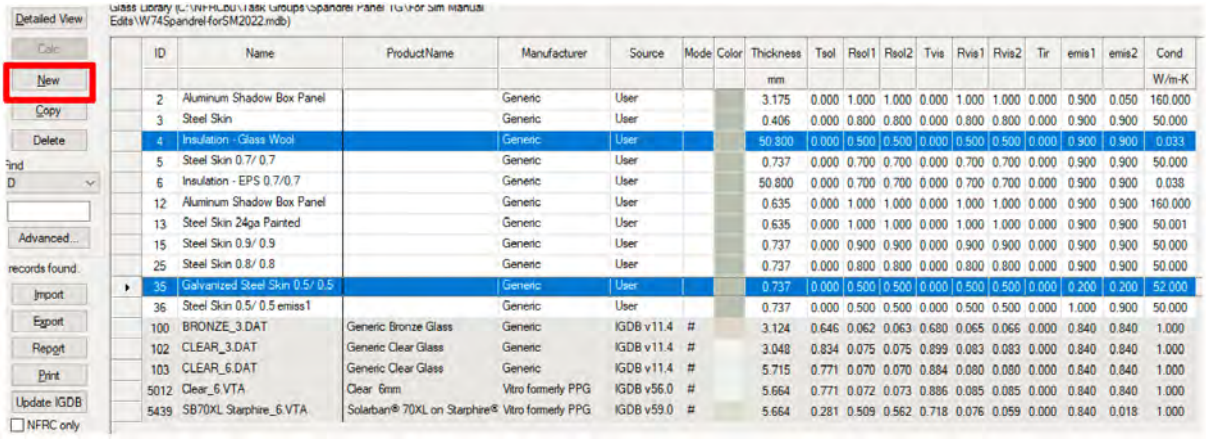
在此步骤中，创建整体层间板系统（将步骤1的中空玻璃和不透明层间板构件组合），计算得到层间板系统整体COG U值和SHGC，并用于面积加权电子表格。创建的该系统不会被导入到THERM中。如果层间板构件在Glass Layer Library（玻璃层库）中不可用，那么它们将被要求由建模师自建。层间板构件包括但不限于金属板和保温材料。

通过以下步骤，对“如何在WINDOW中创建不透明的层间板构件作为玻璃层”进行说明。

步骤2A) 在玻璃层库中创建非玻璃的不透明层：单击 New（新建），输入材料名称、厚度、热导率、Rsol1、Rsol2、Rvis1、Rvis2 和发射率（两个表面），所有其它光学值应为零。

以下的材料层（保温材料和金属板）是常用的层间板构件，可按以下参数输入WINDOW的材料特性栏。无论创建的不透明材质是何种类型，Solar Reflectance（太阳反射率）和Visible Reflectance（可见反射率）应始终输入为0.5。

- 保温材料
  - 50.8mm厚玻璃棉（容重50-60kg/m^3）
  - 导热系数0.033W/mK（出自NFRC 101附录A）
  - 对于默认的特性，如”Solar（太阳光）”，”Visible（可见光）”和”IR（红外光）”，Rsol1, Rsol2, Rvis1, Rvis2的数值均输入0.5。所有其它数据应输入为0。如果厂商对其光学特性进行了测试，可以填写测试值，但建模计算报告应包含这些值的声明。
  - 玻璃棉表面的发射率为0.9（两面）
  - Diffusing（扩散）不要勾选
- 镀锌钢板
  - 0.737mm厚镀锌钢（未经涂层处理的）
  - 导热系数52W/mK（出自NFRC 101附录A）
  - 对于默认的光学特性，与上面的保温材料相同。
  - 未经涂层处理的镀锌钢的发射率为0.2，对于其它表面处理的金属表面的发射率，详见NFRC 101



ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	Cond
							mm										W/m-K
2	Aluminum Shadow Box Panel		Generic	User			3.175	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.900	0.050	160.000
3	Steel Skin		Generic	User			0.406	0.000	0.800	0.800	0.000	0.800	0.800	0.000	0.900	0.900	50.000
4	Insulation - Glass Wool		Generic	User			50.800	0.000	0.500	0.500	0.000	0.500	0.500	0.000	0.900	0.900	0.033
5	Steel Skin 0.7/ 0.7		Generic	User			0.737	0.000	0.700	0.700	0.000	0.700	0.700	0.000	0.900	0.900	50.000
6	Insulation - EPS 0.7/0.7		Generic	User			50.800	0.000	0.700	0.700	0.000	0.700	0.700	0.000	0.900	0.900	0.038
12	Aluminum Shadow Box Panel		Generic	User			0.635	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.900	0.900	160.000
13	Steel Skin 24ga Painted		Generic	User			0.635	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.900	0.900	50.001
15	Steel Skin 0.9/ 0.9		Generic	User			0.737	0.000	0.900	0.900	0.000	0.900	0.900	0.000	0.900	0.900	50.000
25	Steel Skin 0.8/ 0.8		Generic	User			0.737	0.000	0.800	0.800	0.000	0.800	0.800	0.000	0.900	0.900	50.000
35	Galvanized Steel Skin 0.5/ 0.5		Generic	User			0.737	0.000	0.500	0.500	0.000	0.500	0.500	0.000	0.200	0.200	52.000
36	Steel Skin 0.5/ 0.5 emiss1		Generic	User			0.737	0.000	0.500	0.500	0.000	0.500	0.500	0.000	1.000	0.900	50.000
100	BRONZE_3.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.646	0.062	0.063	0.680	0.065	0.066	0.000	0.840	0.840	1.000
102	CLEAR_3.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.048	0.834	0.075	0.075	0.899	0.083	0.083	0.000	0.840	0.840	1.000
103	CLEAR_6.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.715	0.771	0.070	0.070	0.884	0.080	0.080	0.000	0.840	0.840	1.000
5012	Clear_6.VTA	Clear 6mm	Vitro formerly PPG	IGDB v56.0	#		5.664	0.771	0.072	0.073	0.886	0.085	0.085	0.000	0.840	0.840	1.000
5439	SB70XL Starphire_6.VTA	Solarban® 70XL on Starphire®	Vitro formerly PPG	IGDB v59.0	#		5.664	0.281	0.509	0.562	0.718	0.076	0.059	0.000	0.840	0.018	1.000

图 8-226：在Glass Library（玻璃库）中创建不透光材料

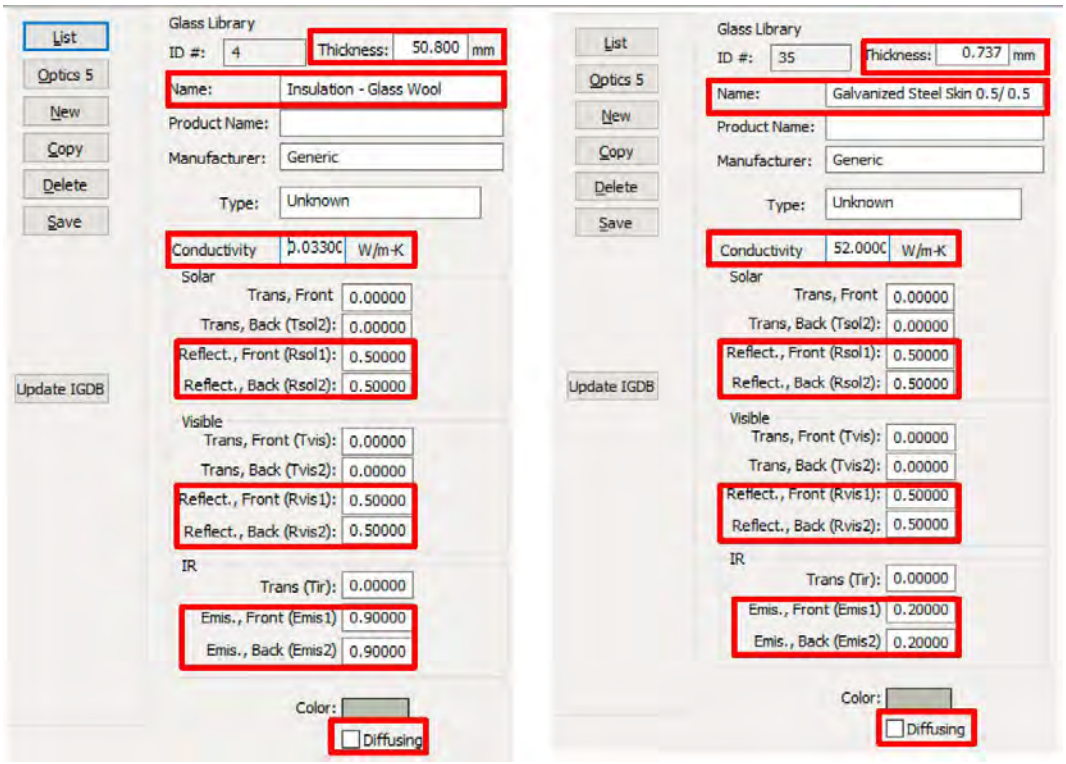


图 8-227：在Glass Library（玻璃库）中创建不透光材料时输入的材料特性

步骤2B) 创建一个特殊的空腔：在层间板系统中，不透光层之间通常是紧挨着的，但由于WINDOW不允许玻璃层“接触”，因此需要在Gap Library（空腔气体库）中创建一个导热系数999 W/mK、厚度0.01mm的空腔。

选中“Air”（类型为Pure）并制作一个“副本”，打开新创建编号并将其重命名，以便用户不会将其与常规的“Air”混淆。改变将“Conductivity导热系数”下单元格“A”中的值设置为999（公制单位）。所有其它值保持不变，保存并退出。见下图复制ID#1到ID#5以获取新空腔的导热系数。

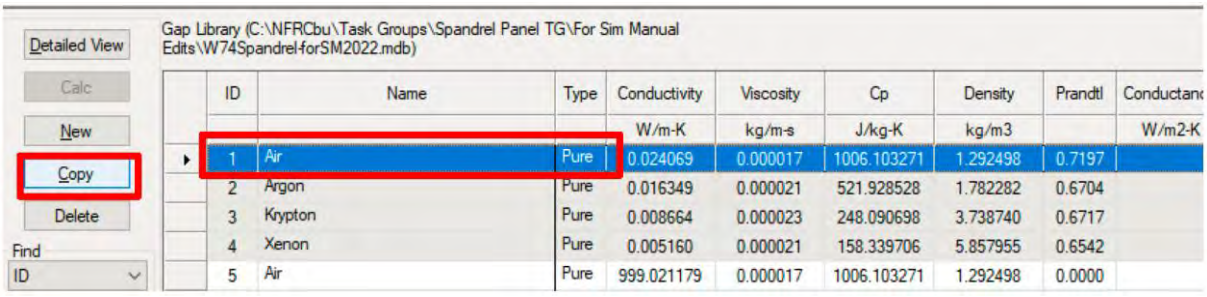


图 8-228：创建导热的空腔选项

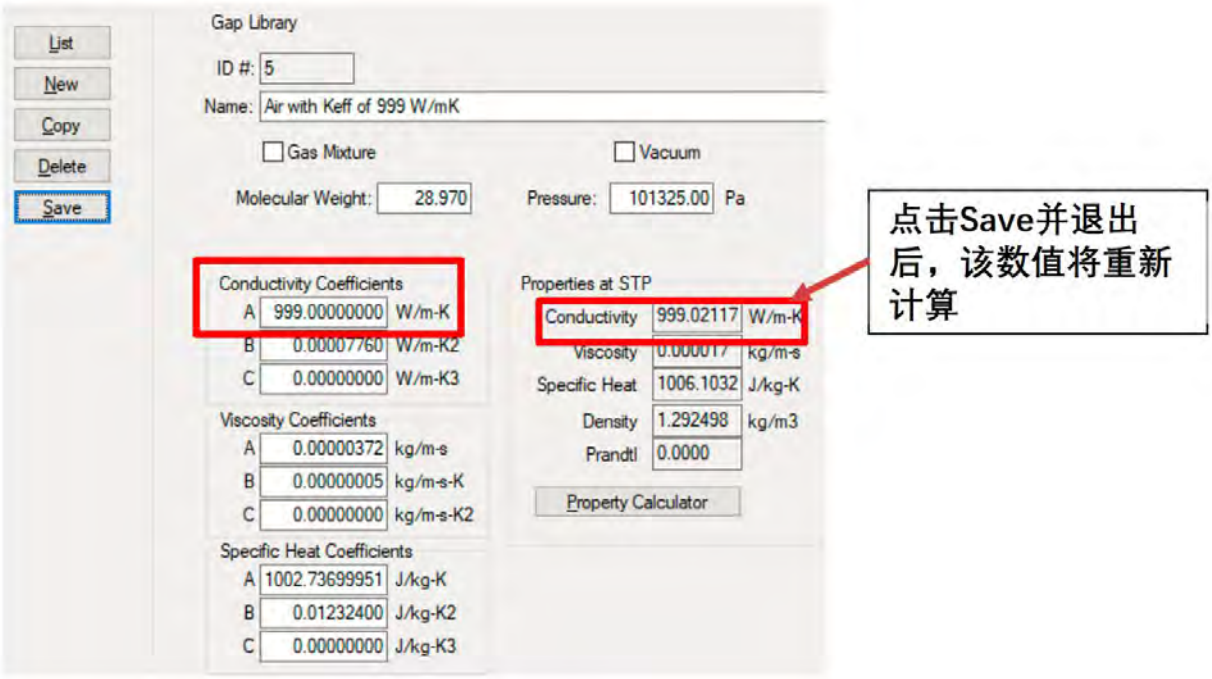


图 8-229：创建导热的空腔选项，导热系数999W/mK

步骤 2C) 在Glazing System Library（玻璃系统库）中创建层间板系统COG：在下图中，包含了步骤1的创建中空玻璃，然后是步骤2A和2B的创建不透光层。

注意：以下操作细节仅针对于本练习，实际中可能需要用到或多或少的层来创建其它层间板系统。

a. Glass 1、Gap 1、Glass 2 是来自步骤1的中空玻璃。

b. Gap 2 是中空玻璃和第一层间板之间的空腔

c. Glass 3 是层间板的外侧钢板

d. Gap 3 是在步骤2B中创建的人工空腔，用户应输入0.01mm作为该空腔的厚度

e. Glass 4 是层间板的保温材料

f. Gap 4 是在步骤2B中创建的人工空腔，用户应输入0.01mm作为该空腔的厚度

g. Glass 5 是层间板的内侧钢板

h. 点击 Calc (F9) 之后可以看到错误提示 *“Layer,#3,#4,#5 do not have spectral data ”* 后计算成功。这是正常的，因为这些不透光层由用户自建，不具有IGDB官方的光学特性。

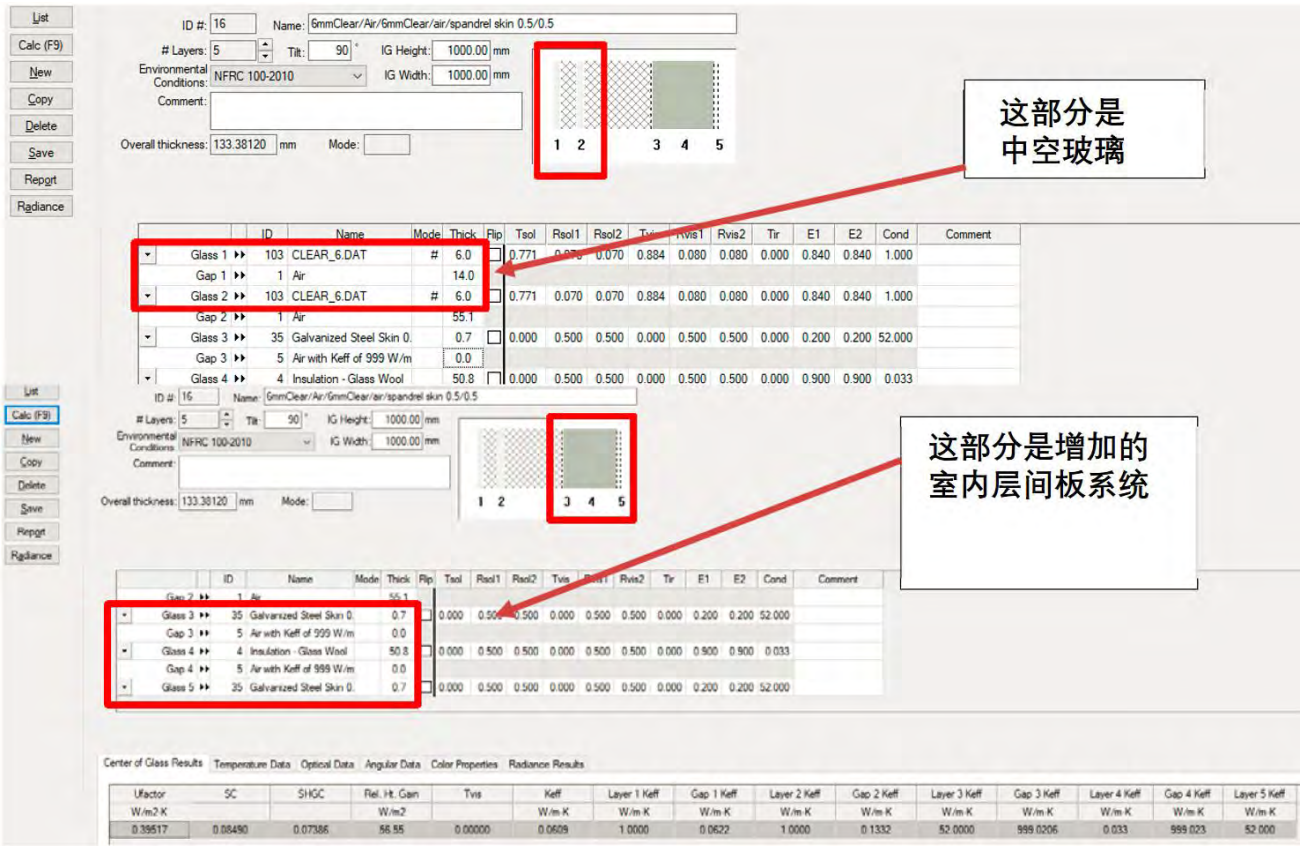


图 8-230：创建玻璃和不透光的层间板构件，作为新的玻璃系统

说明：人工空腔在图中可能显示为0.0，可以通过点击确认该空腔的厚度，可以看到实际为0.01mm

步骤 3：在面积加权电子表格中输入层间板系统COG的U值和SHGC，这两个值应该来自WINDOW。THERM模型中的值是不可接受的。

8.21.2. 用THERM模拟层间板系统

创建包含层间板系统的框架截面时，层间板系统应当遵照标准的建模步骤，并注意以下事项：

A. 在THERM截面模型中，仅插入中空（或单片）玻璃。

B. 所插入的玻璃系统必须将”Edge of Glass Dimension（玻璃边部尺寸）”设为254mm，”Glazing system height（玻璃系统高度）”设为406mm。注意：当输入上述数值后，这些数值会成为今后其它门窗幕墙系统的默认值，因此，在模拟其它非层间板系统的项目时，不要忘记将上述数值相应地改回63.5mm和150mm。

C. 建模师需要对所有室内表面进行边界条件的设定，包括框架和层间板系统。THERM不会自动分配这些构件的边界条件。

用THERM建模的步骤：

1. 从WINDOW插入玻璃系统（仅玻璃，不包含层间板），如下图所示，“Insert Glazing System（插入玻璃系统）”对话框中提示了应当输入的数值。特别注意：必须将”Edge of Glass Dimension（玻璃边部尺寸）”设为254mm，”Glazing system height（玻璃系统高度）”设为406mm。

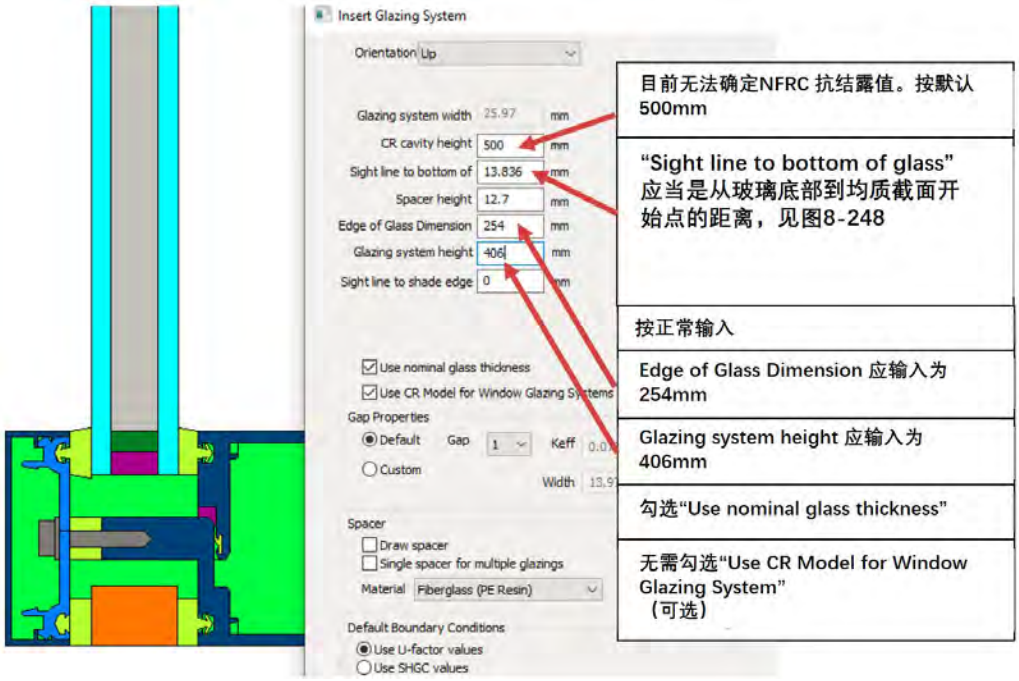


图 8-231：仅插入玻璃系统

2. 非透光层间板材料的图块及其特性必须与WINDOW软件中的一致。为此，建模师可能需要在THERM的材料库中新建材料，但要注意：任何新建材料的导热系数和发射率必须符合NFRC 101标准。

在某些情况下，当在WINDOW中创建保温材料和/或金属板时，它们相对的表面可能有不同的发射率，对于这种情况，请参见步骤7。

3. 开始绘制代表层间板系统的多边形（如金属板、保温材料等）。从均质截面的起始点往上406mm，绘制出代表层间板系统的多边形。均质截面是指沿着截面高度，没有发生任何材料变化，包括框架、间隔条和玻璃胶条等。

举例说明如下图，视线应当从均质截面开始的点算起。

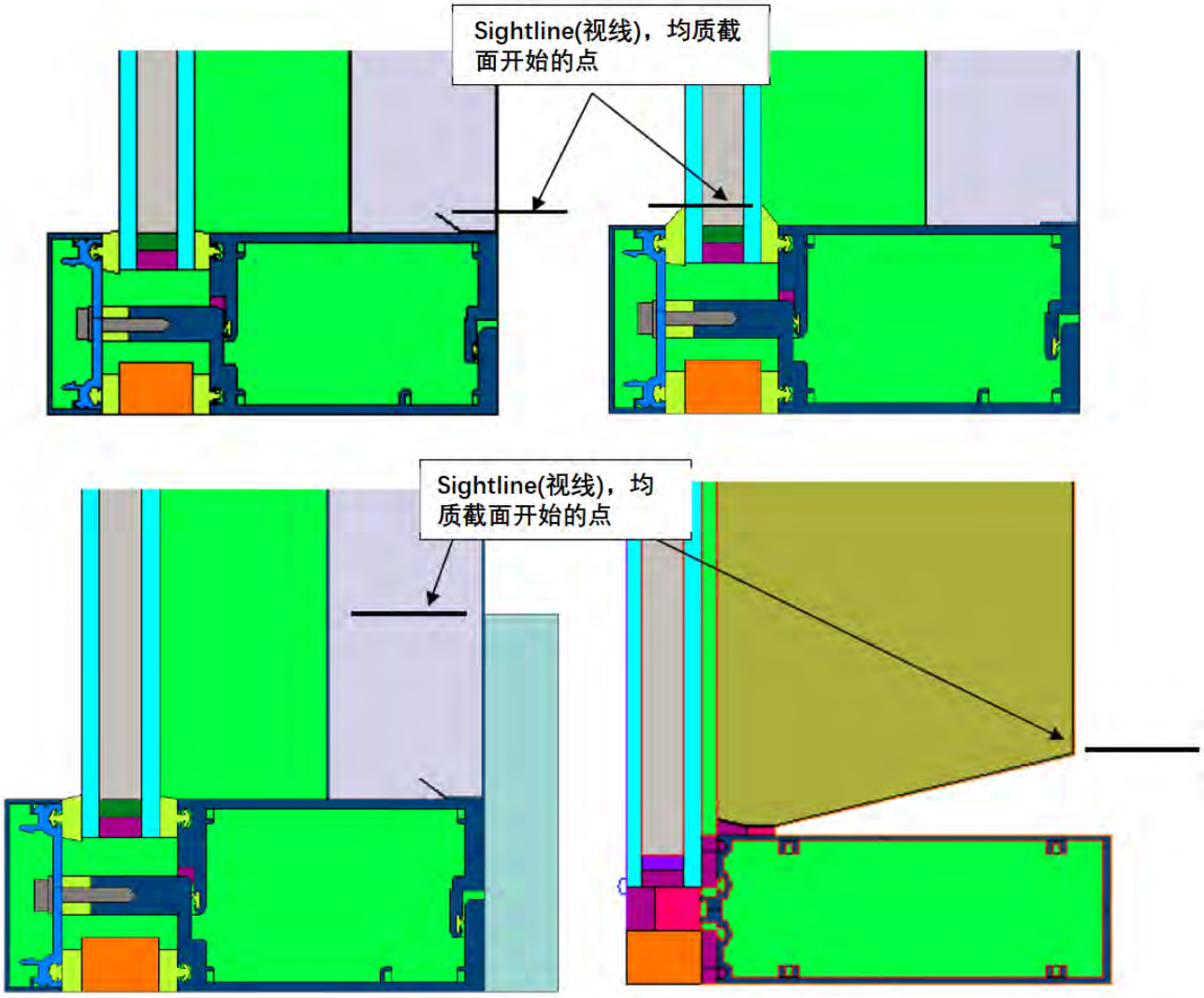


图 8-232：Sightline（视线）示例

4. 如果在步骤2中发现玻璃系统低于层间板系统的多边形，应当重新插入玻璃系统，而不是延伸玻璃及其空腔，因为那样可能导致玻璃顶部的边界条件出现问题。

5. 当玻璃系统和层间板系统都按照正确的高度建模后，此时需在254mm高度上插入一个点，作为设置层间板系统“Edge边部”标签的参照点。另外，不要忘记在室外对应的部位也插入一个点，作为“SHGC Exterior”标签的参照点。

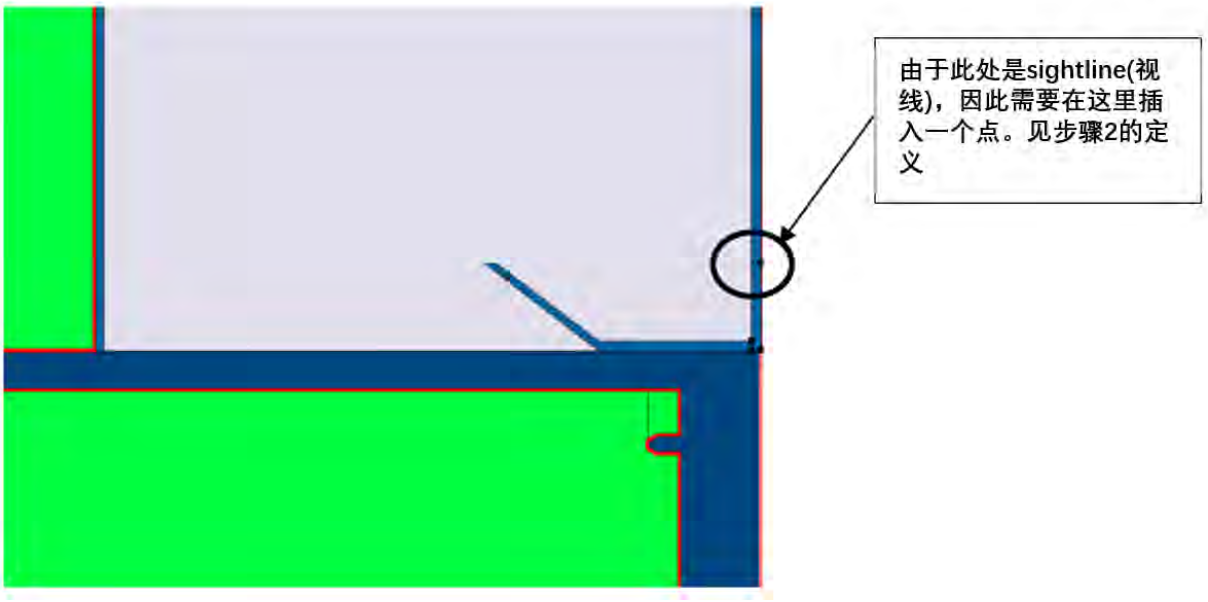


图 8-233：示例手动定义Sightline（视线）

6. 按照本手册的表6-4或ANSI/NFRC 100的表4-2，进行室内边界条件的设置。由于室内的非透光层间板材料的多边形是用THERM创建的（而不是从WINDOW导入的），建模师必须根据幕墙或窗墙系统的截面手动设置这部分的边界条件。

7. 有时，一个单一的多边形可能有不同的表面发射率。例如，玻璃棉的一边带有铝箔（发射率0.05），另一边则没有（发射率0.9），这时需要建模师手动改变该多边形的表面发射率。

如下图所示，保温材料的外侧（朝着玻璃系统的方向）带有一个低发射率的铝箔。由于THERM会自动将该材料的发射率分配到该材料表面，而系统默认的发射率是不带铝箔的，因此建模师需要手动分配带铝箔的表面发射率，具体操作如下：

1) 双击框架空腔表面（红色边界线）。如果看不到红线，则是因为模型未完成，需要先对截面的边界条件进行设置。

2) 双击后出现一个对话框，让建模师手动改变发射率。这一步骤与修改封闭空腔的表面发射率很像，具体见本章8.2.2（图8-2）和8.3.1.2节关于模拟矩形窗格（图8-15）的相关内容。

3) 确认修改后，点击OK完成。应当注意：当截面发生改变，需要重新生成边界，并选择如对话框的中间项时，所有表面发射率将回到THERM材料库中的初始值，这时需要按照上述步骤重新手动设置表面发射率。

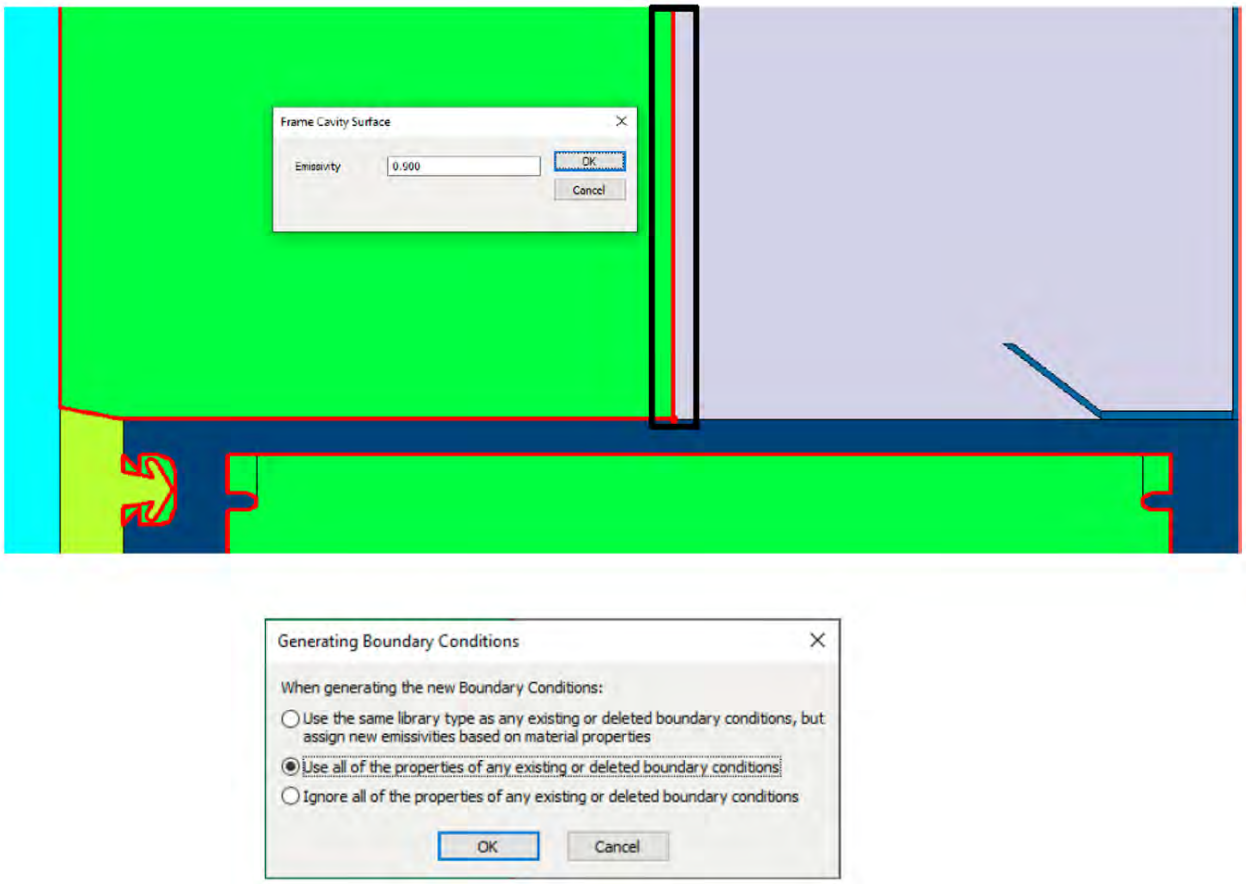


图 8-234：为修改后的THERM模型重新生成恰当的边界条件

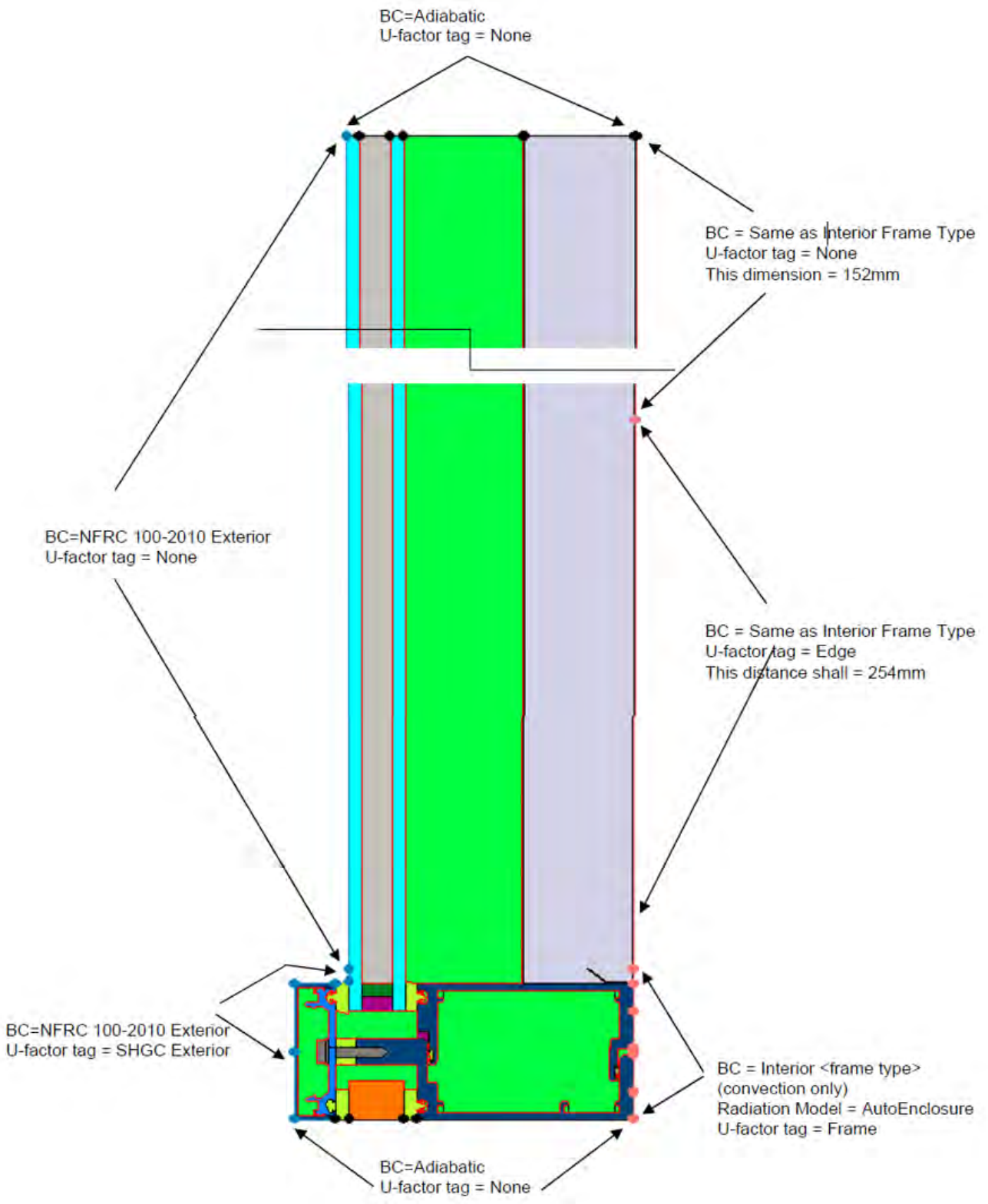


图 8-235：层间板系统建模的边界条件

8. 重复步骤1-7，直至完成所有带层间板系统的截面。本例显示了一个窗墙系统的底横梁模型，这是一个非对称截面。对称截面（1/2的整个宽度），如幕墙、窗墙或斜幕墙的的中立柱应当按照8.9.1章节的内容进行建模。

9. 当所有截面的建模都完成后，将从THERM获得的Uframe和Uedge结果，连同从WINDOW获得的Ucog结果，一起输入用于计算整体产品U值的面积加权电子表格中。对于整体产品的SHGC，需要计算各个构件的SHGC值及其面积，包括框架的SHGCf和层间板系统的SHGCc。边部和COG的值都按8.22.1章节的步骤2C进行计算（从WINDOW中获得）。框架的SHGCf，应当按照如下公式计算：

$$SHGC_f = a_f \times \frac{U_f}{\frac{A_{surf}}{A_f} \times h_{out}}$$

其中，

U_f 代表从THERM获得的框架U值 （W/m^{2}K）

a_f 代表框架的吸收系数，取0.5

A_{surf} 代表框架的室外湿表面积 （m^2）

A_f 代表框架的正投影表面积 （m^2）

h_{out} 取 20.6 W/m^{2}K

建模师需要使用面积加权电子表格计算整体产品的U值和SHGC（注：VT为0.00）。WINDOW软件不能用来计算整体产品，这是因为在WINDOW中，Edge边部会自动按照63.5mm计算，而对于层间板系统，Edge边部应当按照254mm计算。

8.22. 中悬门窗

中悬门窗是指其枢轴固定在框架内，并且在操作过程中，窗扇/门扇的运行轨迹会横跨框架的室内和室外平面。这需要对需要建模的内容给予特别关注。

当单一框架周边截面（即顶横梁、边立柱、底横梁）内存在多种几何形状时，每种几何形状应在THERM中分别建模。应使用框架U值最高的各框架截面模型来代表该框架截面。平开产品示例见图8-237。

一旦确定了具有代表性的顶横梁、边立柱、底横梁，即可仅使用代表性的框架横截面进行模拟/建模，并照常计算U值、SHGC、VT和CR/CI。

以图8-237为例，有两个顶横梁型材和两个底横梁型材，但只有一个边立柱型材。模拟人员应使用针对特定制造商玻璃中心最低U值的玻璃系统，对顶横梁#1、顶横梁#2、底横梁#1和底横梁#2进行建模。使用THERM的“显示U值结果”功能，确定U值最高的那个上框模型和下框模型。（见图8-236）。

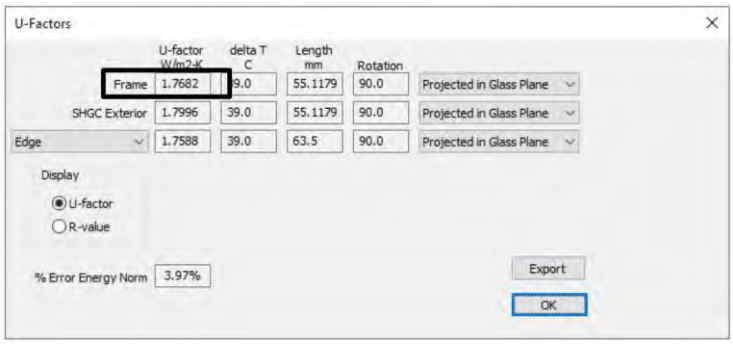


图8-236：用于确定框架U值的示例

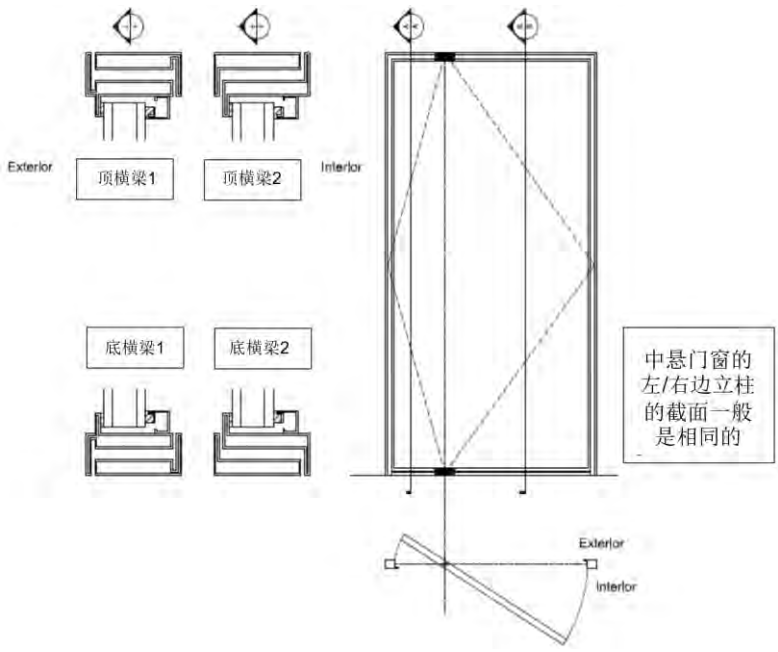


图8-237：中悬门窗

8.23. 圆顶天窗、玻璃砖、U形玻璃、特种玻璃

以图8-237为例，有两个顶横梁型材和两个底横梁型材，但只有一个边立柱型材。模拟人员应使用针对特定制造商玻璃中心最低U值的玻璃系统，对顶横梁#1、顶横梁#2、底横梁#1和底横梁#2进行建模。使用THERM的“显示U值结果”功能，确定U值最高的那个上框模型和下框模型。（见图8-236）。

以下描述了模拟圆顶天窗、玻璃砖、U形玻璃（U形玻璃系统示例见图8-238）和特种玻璃产品以获得产品总U值的步骤：

1) 根据 ASTM C1363 确定玻璃组件的导热系数 Cs。

2) 通过以下公式计算有效导热率（保留3位有效数字），单位为Btu/h-ft-F：

$$K_{effglass} = Cs * t / 12$$

其中，

Cs = 根据 ASTM C1363 测试确定的玻璃导热系数

t = 样品的厚度（英寸）

12 = 从导热系数到导热率的转换系数，即从 Btu • in/hr-ft2-F 转换为 Btu/h-ft-F

3) 在 Glass Library（玻璃库） 中新建一个玻璃层，并将导热率设置为计算出的 $K_{effglass}$ 值。

a. 输入样品的厚度

b. 如果样品是玻璃，前后表面的发射率输入0.84

c. 如果样品不是玻璃，则材料的发射率应根据适用的ASTM标准确定。

d. 太阳光、可见光和红外光谱数据值不应使用，因此无需修改显示的默认值。

e. 要确定特种玻璃产品（如硬质隔热透光板或均质固体材料直接接触的填充板）的 $K_{effglass}$，$K_{effglass}$ 仅取决于每种材料的导热率和深度，因此可以按 $K_{effglass}$ = RT/DT 计算，其中：

i. RT = Σd/k = 总热阻 = 每种材料层的深度(d)除以该材料层的导热率(k)之和（k值见NFRC 101）；

ii. DT = Σd = 总深度 = 所有材料层深度之和。在WINDOW中，使用计算出的 $K_{effglass}$ 和NFRC 101中的发射率，按照下面“玻璃砖”示例所示，在玻璃库中新建一个玻璃层；

iii. 这仅适用于从WINDOW导入玻璃层的玻璃中心场景。任何边缘效应（例如边缘包裹的铝材）均应在THERM中建模。

4) 在Glazing System Library（玻璃系统库）中构建用于THERM模型的玻璃系统。

5) 将玻璃系统导入适用的THERM模型中。

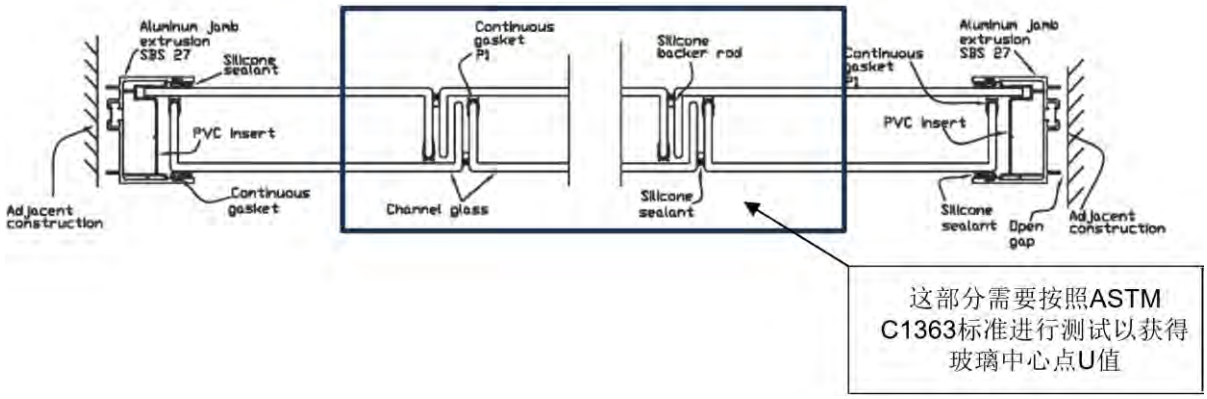


图8-238：U形玻璃系统

以玻璃砖为例

① ASTM C1363 的 Cs 测试值 = 0.635 Btu/(h • ft² • ºF)，玻璃厚度 = 1.008"。

② Keff $_{glass}$ = 0.635 * 1.008 / 12 = 0.0533 Btu/(h • ft • ºF) = 0.092 W/(m • K)

③ 在 Glass Library（玻璃库）中新建一个玻璃层，将导热系数设置为 0.092 W/(m • K)，将前后发射率设置为 0.84。

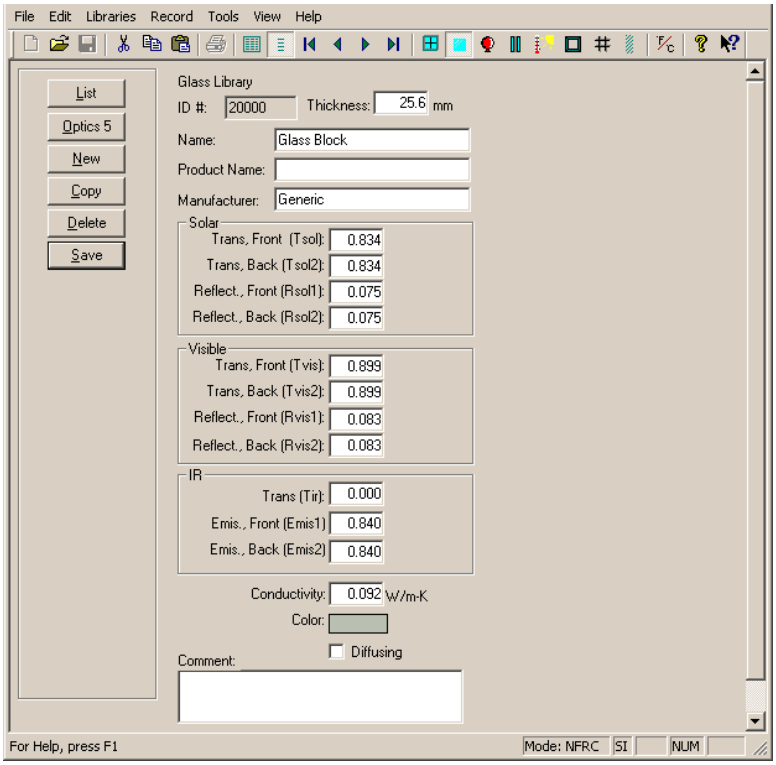


图 8-239：根据玻璃砖的测试结果，在Glass Library中新建一个材料

③ 在 Glazing System Library（玻璃系统库）中调用刚才新建的玻璃砖材料，并计算它的性能值。

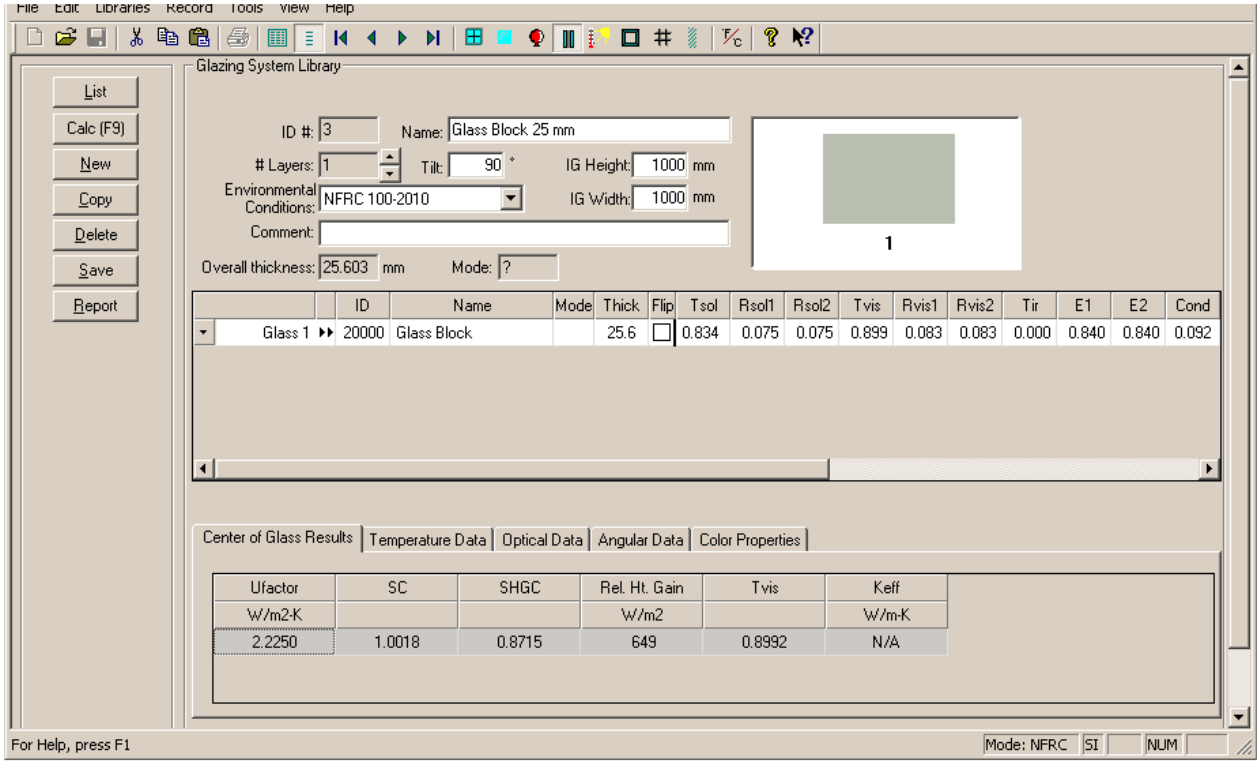


图 8-240：在Glazing System Library中使用新建的玻璃砖材料

⑤ 将玻璃系统（玻璃砖）导入适用的 THERM 模型中，进行该模型的运算。

⑥ 使用 WINDOW 计算整体产品的 U值，如果不适用，可以使用电子表格，通过手动面积加权计算整体产品的 U值。

9. 问题示例

9.1. 概述

本章将介绍四个问题示例：

问题 1：乙烯基固定窗 353

问题 2：铝合金推拉窗 367

问题 3：嵌入式天窗..... 387

问题 4：实木平开门..... 398

这些问题示例中，可能包含不符合 NFRC 建模规则的边界条件、框架空腔条件和建模技术，无论是否存在这种情况，NFRC 建模规则总是应当优先于这些示例内容。

示例演示的是使用 THERM / WINDOW 6 计算整体产品性能值的过程，其中的表格和图例并没有按照 THERM / WINDOW 7 进行相应的更新，因此示例中使用不同版本 THERM / WINDOW 程序得到的结果可能不完全一致。

还请注意的是，这些问题示例中所展示的某些图纸涉及他人的专有技术，因此，未经 NFRC 事先书面同意，任何人不得将其用于本问题示例以外的任何目的。

9.2. 问题1：乙烯基固定窗

本示例是针对乙烯基固定窗，演示整体产品的 U值、SHGC 和 VT值 的计算过程

9.2.1. 产品描述

窗型	固定窗
总体尺寸	宽度 = 1200 mm，高度 = 1500 mm
框架材料	PVC 框架和挡板，壁厚 3.175 mm。
	顶横梁、底横梁和边立柱的截面几何尺寸相同。
玻璃系统	双层中空玻璃，总厚度 19.05 mm。外片为 3.277 mm 厚的透明钢化玻璃，内片为在透明钢化玻璃上镀 PPG Sungate 100 Low-e 膜（#3 面）。玻璃空腔厚度为 12.5 mm，填充空气。
间隔条类型	Intercept 间隔条，PIB 第一道密封，热熔丁基第二道密封。
玻璃固定方式	泡沫橡胶胶带，3.175 mm 厚
窗格	铝格栅图案，白色油漆。铝格栅 3 乘 4 ，位于玻璃之间
截面	本产品的相关图纸见 第9.2.7节

9.2.2. 玻璃选项集

整窗产品由制造商提供，分为带窗格和不带窗格两种情况。图纸表明，玻璃层与窗格之间的距离小于 3.0 mm，因此玻璃选项集必须包含带窗格和不带窗格两种情况。

9.2.3. 玻璃中心 U值 的建模（WINDOW）

在 WINDOW 中创建玻璃系统，包括了一片 3 mm 厚的透明玻璃，一片带 PPG Sungate100 Low-E 涂层的 3 mm 厚玻璃，和一个 12.5 mm 厚的空腔（空气填充）。

下图显示了该玻璃系统在 WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中的模型。

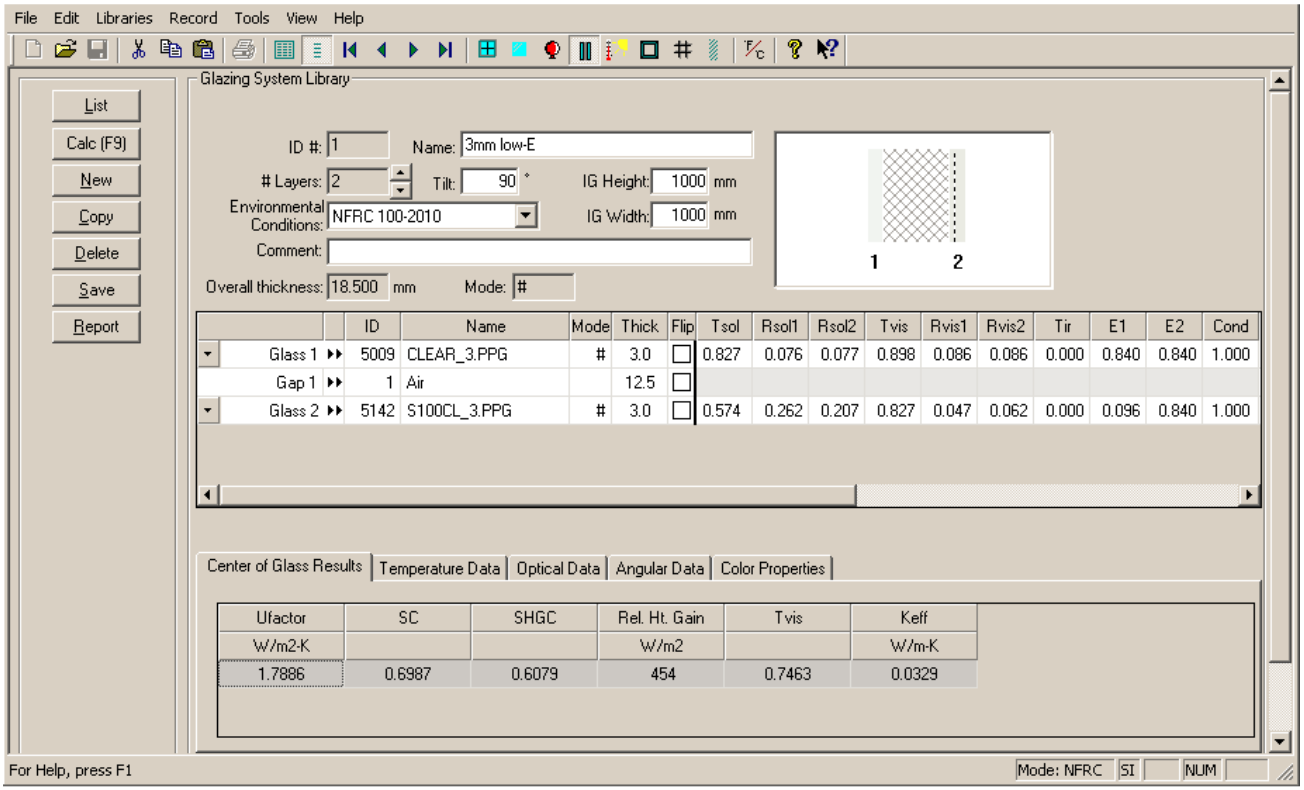


图 9-1：WINDOW Glazing System Library 中的玻璃系统

玻璃中心的 U值 计算结果如下表所示：

表 9-1：从WINDOW中得到的玻璃中心U值计算结果

	玻璃选项 **（总厚度 19.05 mm）**	**玻璃中心U值** **W/(m² · K)**
1	3 mm透明玻璃，空气，3 mm Low-e玻璃	1.7886

玻璃系统用于 THERM 计算框架和玻璃边缘的 U值，并随后在 WINDOW 中计算整体产品的 U值。

9.2.4. 框架和玻璃边缘 U值 的建模（THERM）

因为这是一个固定窗产品，而且顶横梁、底横梁和边立柱的几何外形相同，因此在 THERM 中绘制框架截面的步骤是相同的。然而，由于《ISO 15099》关于重力矢量和抗结露模式的建模假设，有必要为每个组件类型创建一个单独的截面，以反映玻璃系统和重力矢量的正确方向。

下表显示了与此示例相关联的文件。

表 9-2：与乙烯基固定窗示例关联的文件

截面	**DXF 文件名**	**THERM 文件名**
Sill 底横梁	Vinyl-Frame.dxf	Vinyl-Sill.thm
Head 顶横梁	Vinyl-Frame.dxf	Vinyl-Head.thm
Jamb 边立柱	Vinyl-Frame.dxf	Vinyl-Jamb.thm
Divider 窗格		Vinyl-Div.thm

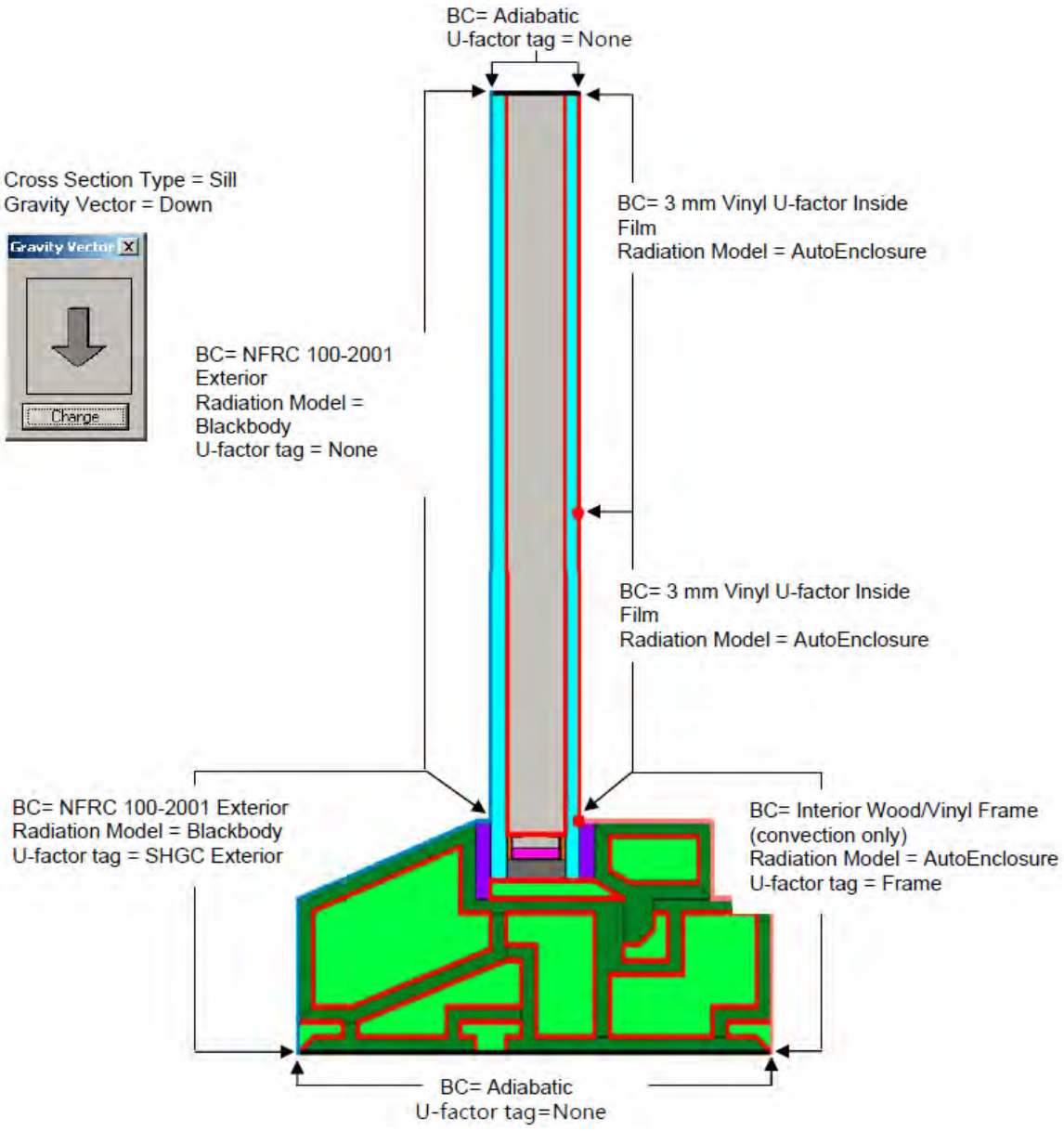
下表显示了乙烯基框架和窗格截面的U值。

表 9-3：乙烯基框架和窗格截面的THERM结果

截面	**Frame U值** **W/(m² · K)**	**Edge U值** **W/(m² · K)**
Sill 底横梁	1.5988	2.1163
Head 顶横梁	1.6037	2.1151
Jamb 边立柱	1.6498	2.1176
Divider 窗格	2.6050	1.9986

图9-2 到 图9-5 显示了该窗的 THERM 截面和 U值 计算结果。

Sill（底横梁）



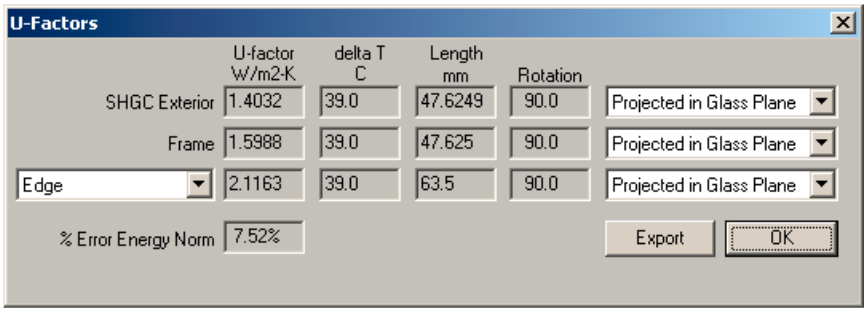
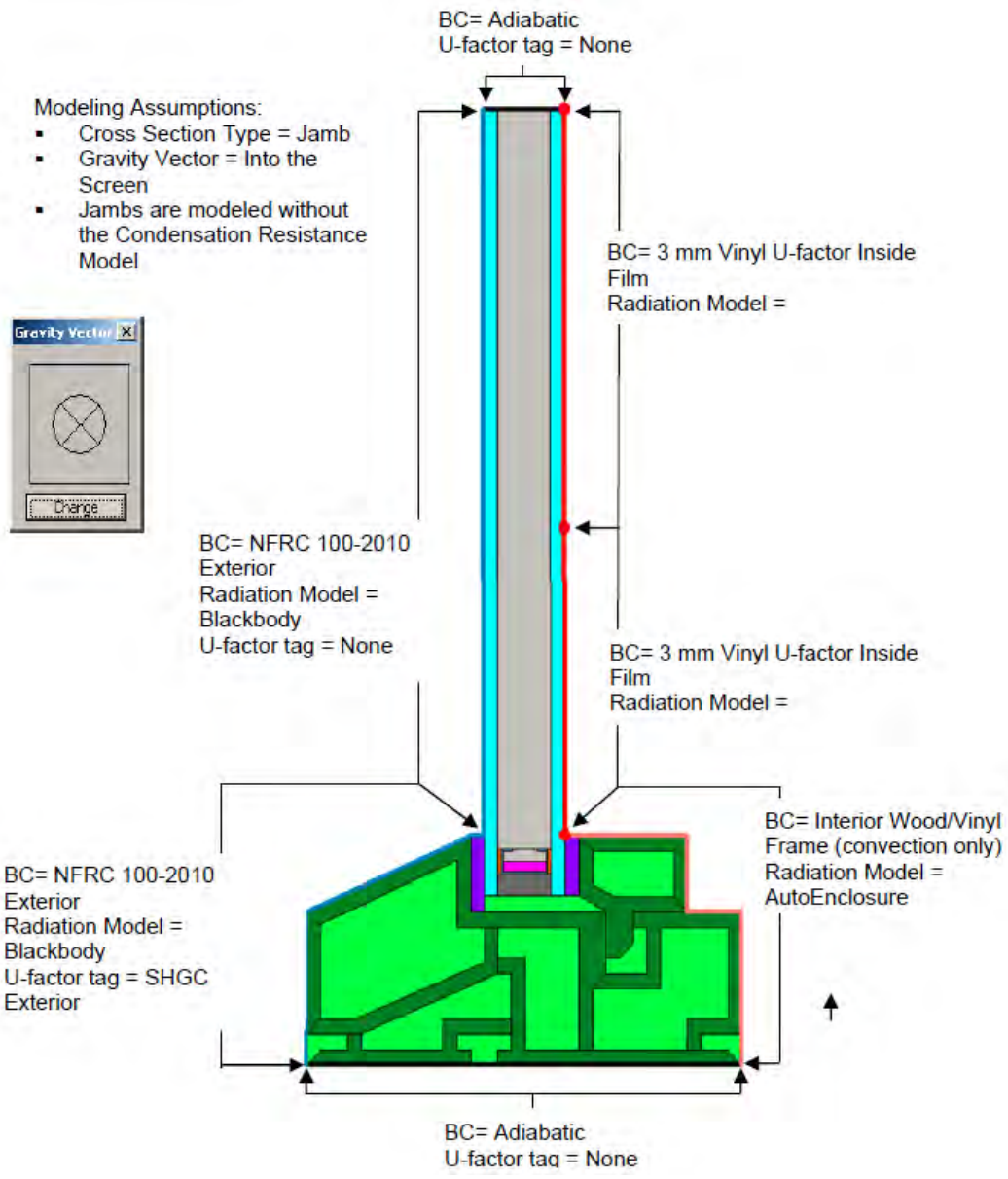


图 9-2：Sill截面模型及U值计算结果

Jamb（边立柱）



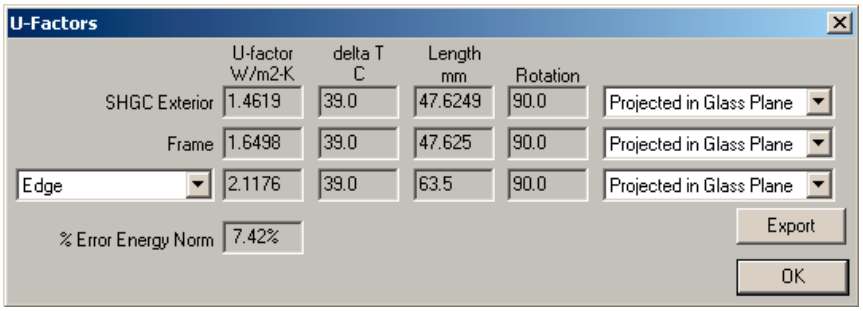
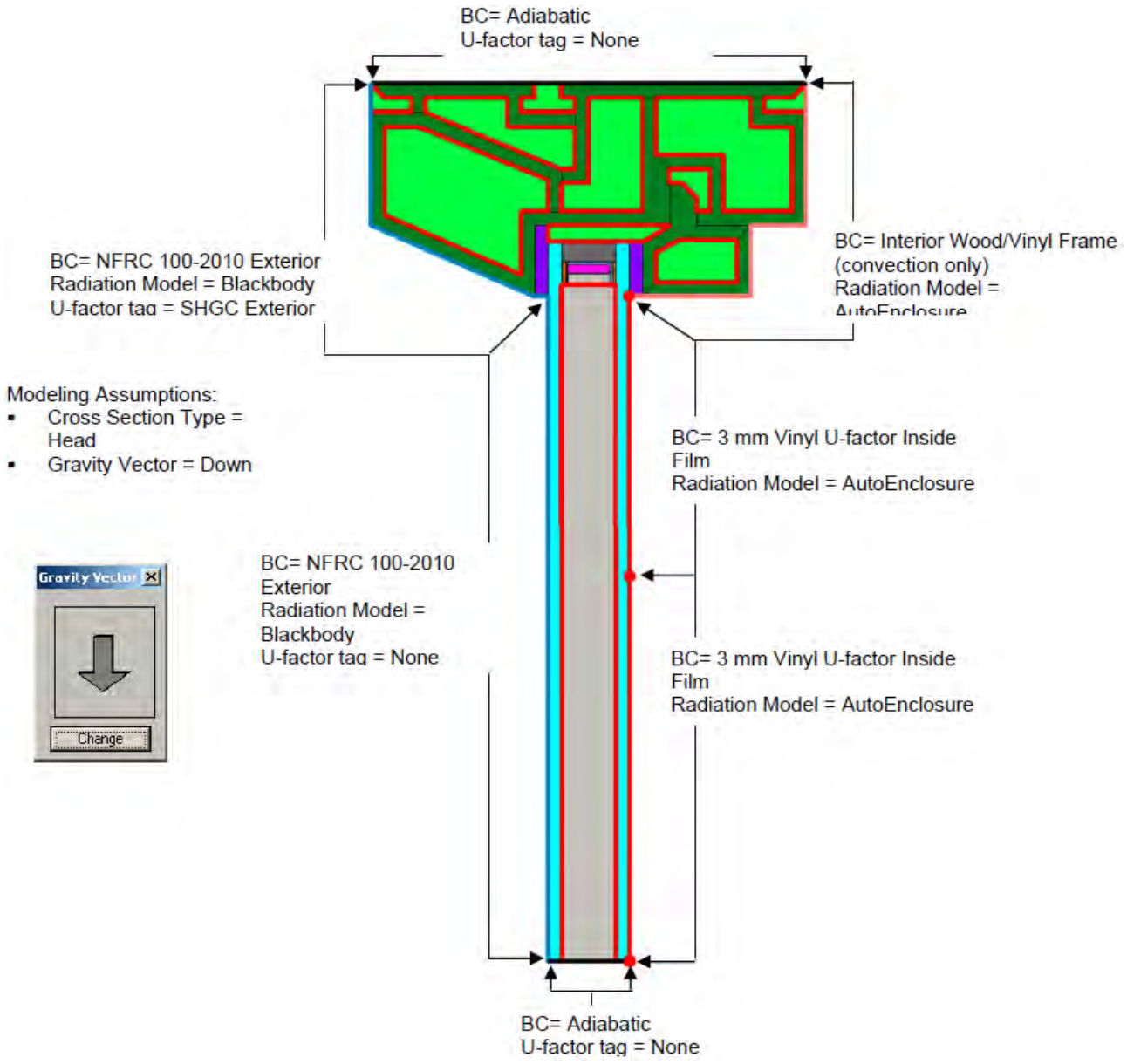


图 9-3：Jamb截面模型及U值计算结果

Head（顶横梁）



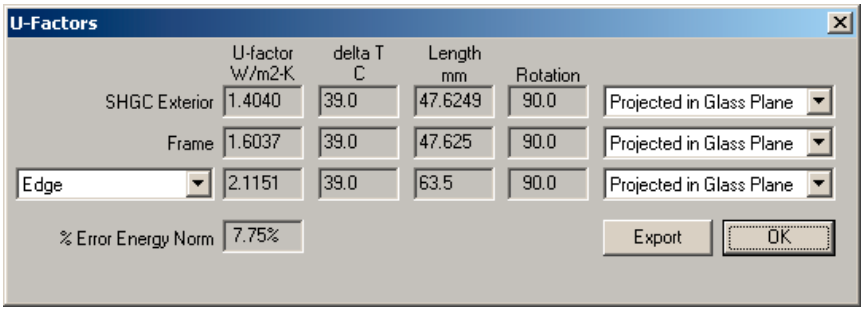
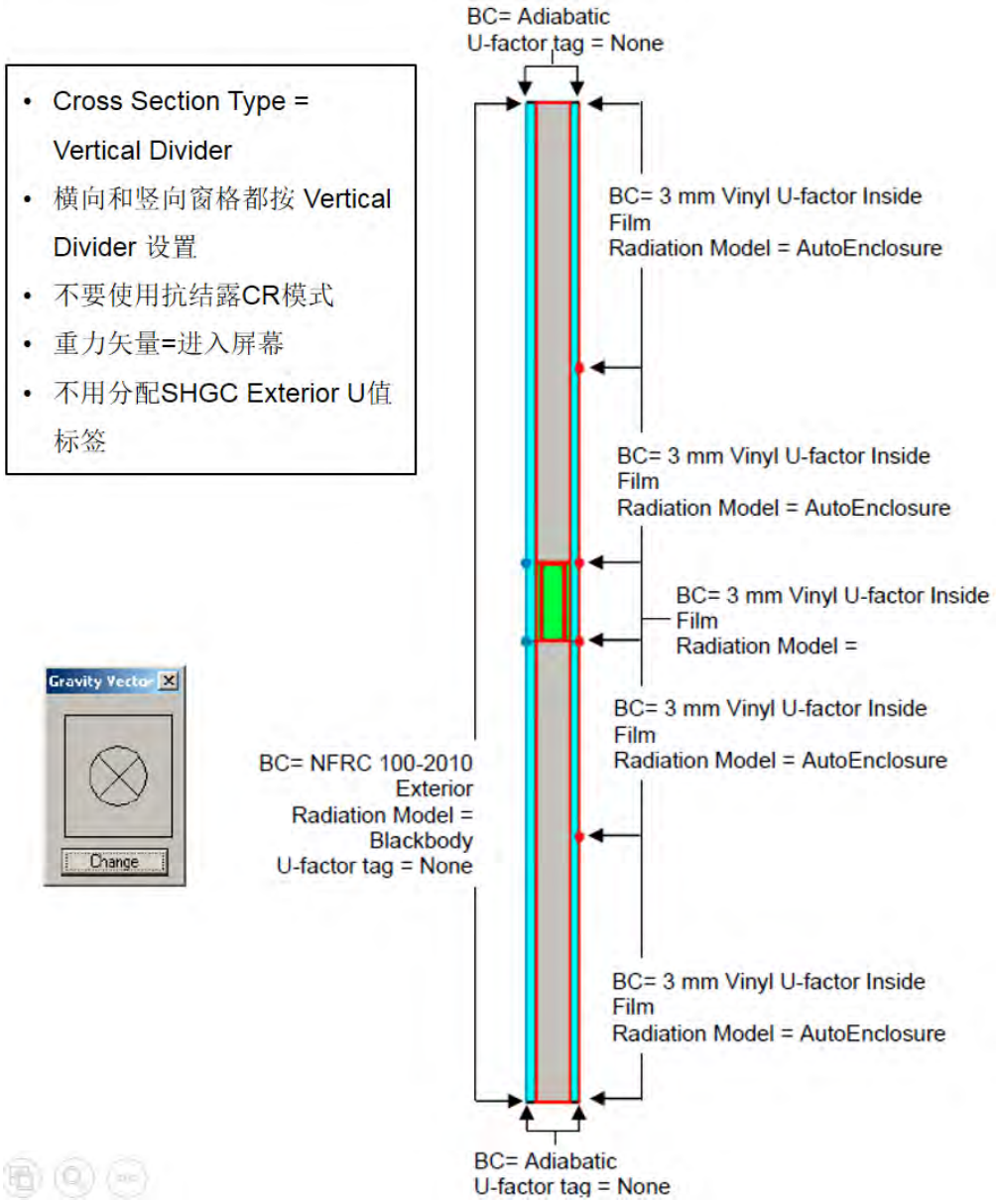


图 9-4：Head截面模型及U值计算结果

Divider（窗格）



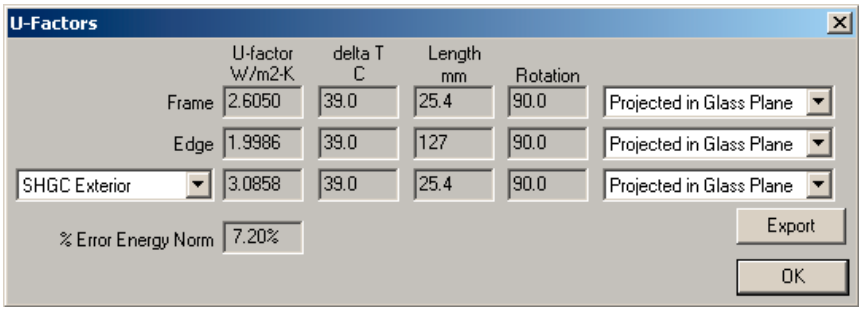


图 9-5：Divider截面模型及U值计算结果

9.2.5. 整体产品的 U值 计算

在 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中，导入 THERM 截面模型文件。

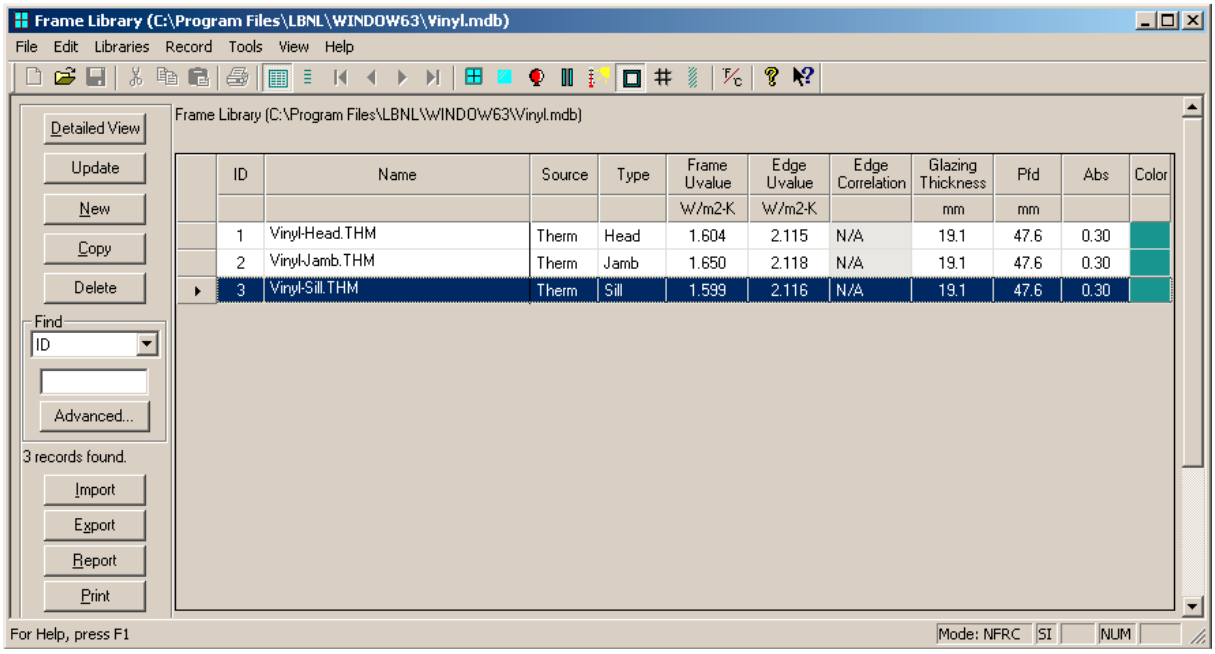


图 9-6：导入WINDOW Frame Library的THERM文件

在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中，创建两个整体产品——一个带窗格，另一个不带窗格，并计算其 U值、SHGC 和 VT，如下图所示。

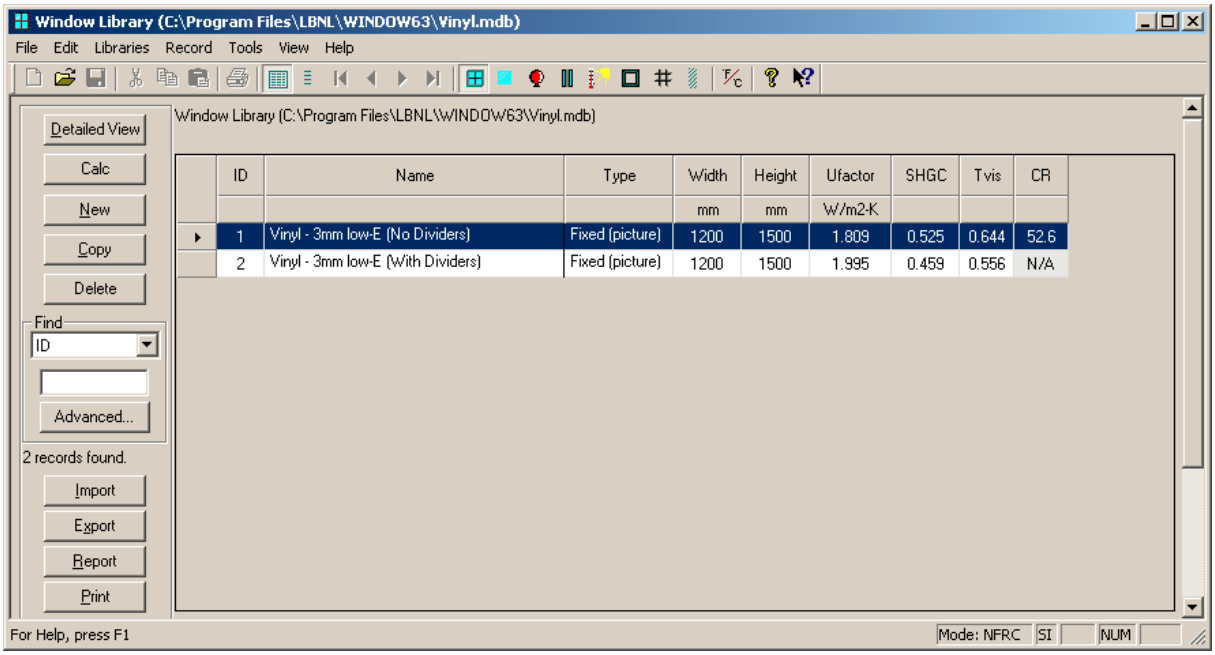


图 9-7：Window Library的记录，包含带窗格和不带窗格的整体产品U值

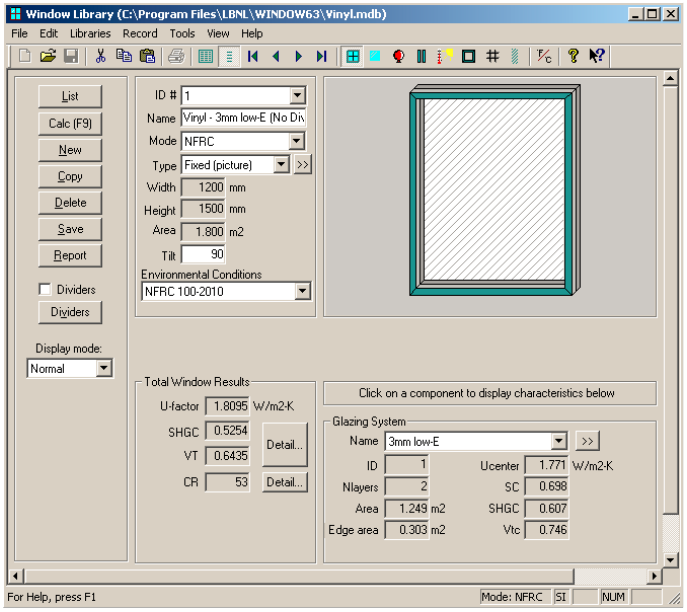


图 9-8：不带窗格的整体产品U值

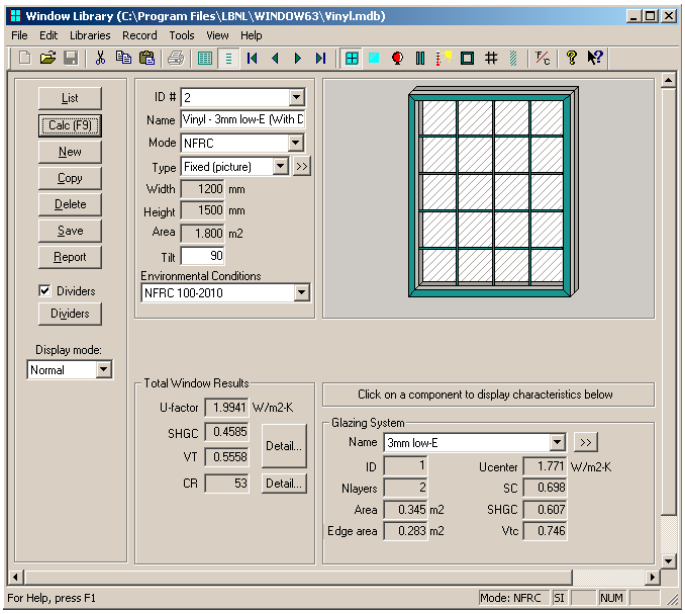


图 9-9：带窗格的整体产品U值

下表显示了 WINDOW 中带窗格与不带窗格的整体产品 U值。

表 9-4：整体产品的U值

玻璃总厚度 19.05 mm		**整体产品 U值** **W/(m² • K)**
1	透明/空气/Low-e（不带窗格）	1.8095
2	透明/空气/Low-e（带窗格）	1.9941

9.2.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和V T

《ANSI / NFRC 200》标准文件的 第4.2.3 (A)节，就使用SHGC 0、SHGC1、VT0 和 VT1的值，确定整体产品的 SHGC（太阳得热系数）和 VT（可见光透射比）的方法提出了概述。本手册的 第7.4.1节对如何使用该方法进行了详细解释和说明：为了计算这些值，必须在 WINDOW 中创建一个产品，该产品带有最好玻璃选项和最差的框架，计算该产品得到这些值后，再使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-1]，[公式4-2] 计算其它玻璃选项的 SHGC 和 VT。注意：在 WINDOW 中计算 SHGC0、SHGC1、VT0 和 VT1 时，只能使用最好的玻璃选项，而不是用任意玻璃选项。

按照上述方法，在 Window Library（窗库）的详细视图中，点击 Detail ，即可显示带最好玻璃选项（透明/空气/Low-e）产品的 SHGC0、SHGC1、VT0 和 VT1，如下图所示。SHGC and VT detail 对话框内显示的是该最好玻璃选项在以下三种情况下的 SHGC 和 VT值：

- 不带窗格
- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)
- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

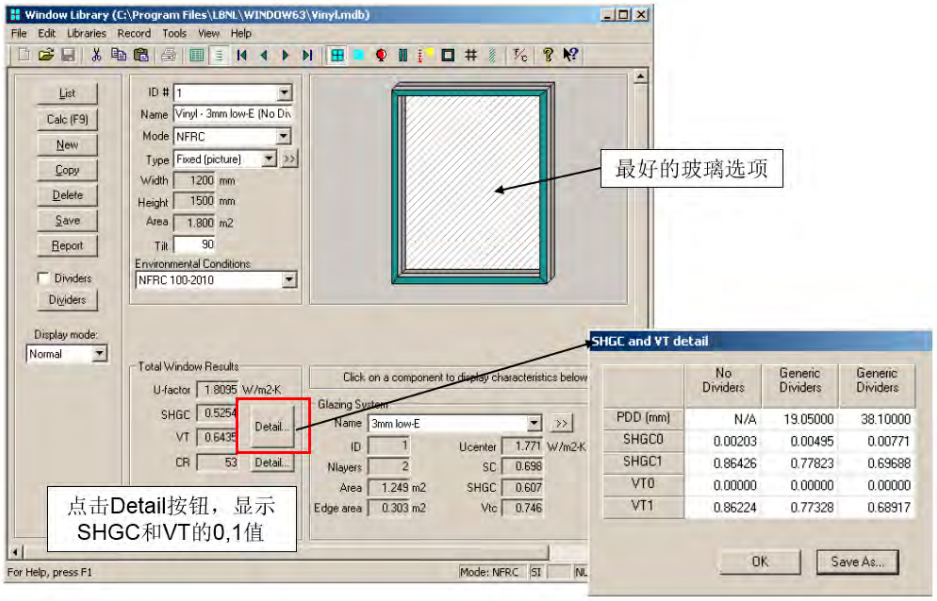


图 9-10：在Window Library中，点击Detail按钮，计算带最好玻璃选项的整体产品的SHGC和VT

表 9-5：带最好玻璃选项(透明/空气/Low-e)的产品线的SHGC0, SHGC1, VT0和VT1值

	不带窗格	窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模	窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模
SHGC0	0.00203	0.00495	0.00771
SHGC1	0.86426	0.77823	0.69688
VT0	0.0	0.0	0.0
VT1	0.86224	0.77328	0.68917

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-1] 计算SHGC

NFRC 200 中的 [公式4-1]，是通过 $SHGC_0$、$SHGC_1$、$SHGC_C$ 计算整体产品的 SHGC：

$$SHGC = SHGC_0 + SHGC_C (SHGC_1 - SHGC_0)$$

式中，

$SHGC_C$	玻璃中心的 SHGC，通过 WINDOW的Glazing System Library（玻璃系统库），按照最好的玻璃选项建模计算获得，对于本例 = 0.6079
$SHGC_0$	假设产品使用玻璃中心 SHGC 为 0 的玻璃，通过 WINDOW的 Window Library（窗库），按照带最好玻璃选项的产品建模，计算获得其整体 SHGC
$SHGC_1$	假设产品使用玻璃中心 SHGC 为 1 的玻璃，通过 WINDOW的 Window Library（窗库），按照带最好玻璃选项的产品建模，计算获得其整体 SHGC
SHGC	整体产品的 SHGC（使用 [公式4-1] 计算）

将 表9-5 的 SHGC 数据与 [公式4-1] 组合，整体产品 SHGC 的计算过程如下：

- 不带窗格

  SHGC = 0.00203+ 0.6079 (0.86426 - 0.00203) = 0.5262

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  SHGC = 0.00495 + 0.6079 (0.77823 - 0.00495) = 0.4750

- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  SHGC =0.00771+ 0.6079 (0.69688 - 0.00771) = 0.4267

表 9-6：带最好玻璃选项(透明/空气/Low-e)的产品线的SHGC

SHGC			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/空气/Low-e	0.5262	0.4750	0.4267

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-2] 计算 VT

NFRC 200 中的 [公式4-2]，是通过 VT_0、VT_1、VT_C 计算整体产品的 VT：

$$VT = VT_0 + VT_C (VT_1 - VT_0)$$

式中，

VT_C	玻璃中心的 VT，通过 WINDOW的Glazing System Library（玻璃系统库），按照最好的玻璃选项建模计算获得，对于本例 = 0.7463
VT_0	假设产品使用玻璃中心 VT 为0的玻璃，通过 WINDOW 的 Window Library（窗库），按照带最好玻璃选项的产品建模，计算获得其整体 VT
VT_1	假设产品使用玻璃中心 VT 为1的玻璃，通过 WINDOW 的 Window Library（窗库），按照带最好玻璃选项的产品建模，计算获得其整体 VT
VT	整体产品的 VT（使用 [公式4-2] 计算）

将 表9-5 的 VT 数据与 [公式4-2] 组合，整体产品 VT 的计算过程如下：

- 不带窗格

  VT = 0.0 + 0.7463 (0.86224 - 0.0) = 0.6435

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.7463 (0.77328 - 0.0) = 0.5771

- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.7463 (0.68917 - 0.0) = 0.5143

表 9-7：带最好玻璃选项(透明/空气/Low-e)的产品的VT

VT			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/空气/Low-e	0.6435	0.5771	0.5143

9.2.7. 乙烯基固定窗的图纸

以下内容包含本示例的窗细部图纸（单位：英寸）。

Head（顶横梁），Sill（底横梁），Jamb（边立柱）

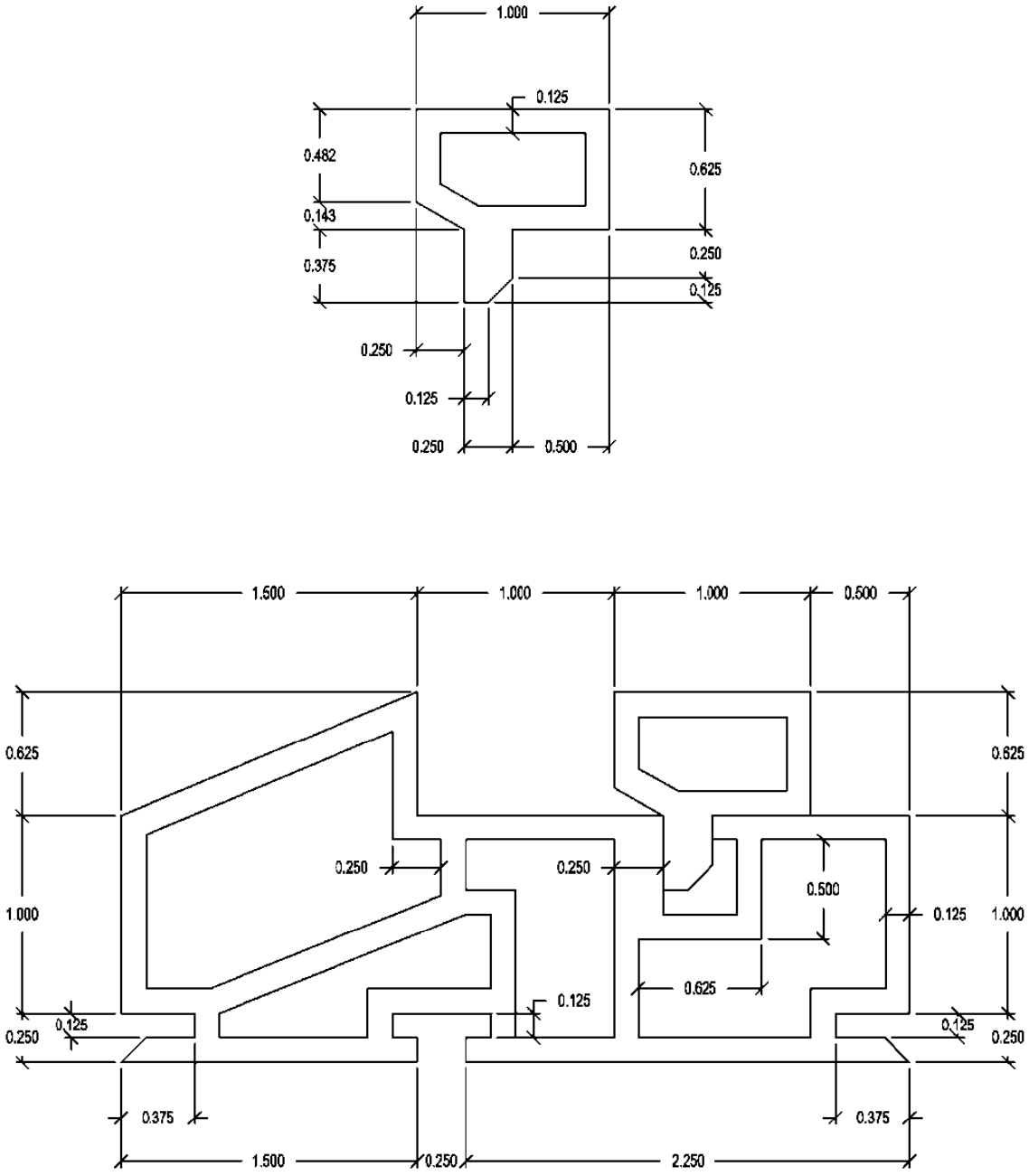


图 9-11：带尺寸标注的图纸(框架和压线)

Spacer（间隔条）

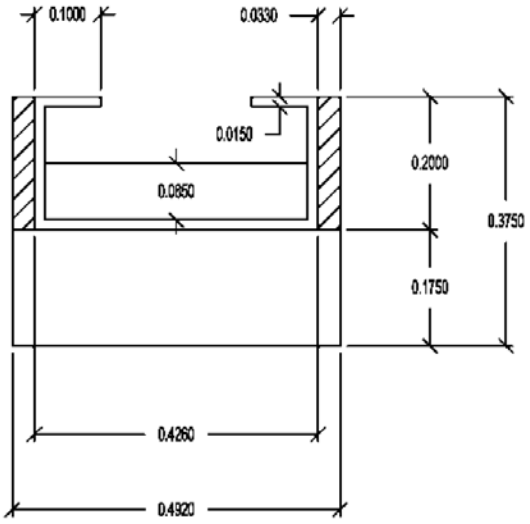


图 9-12：带尺寸标注的图纸(Spacer)

Divider（窗格）

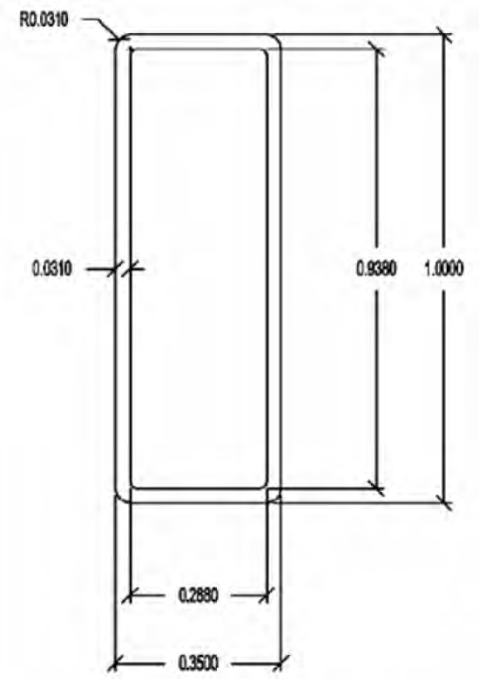


图 9-13：带尺寸标注的图纸(Divider)

9.3. 问题2：铝合金推拉窗

本示例是针对铝合金推拉窗，演示整体产品的 U值、SHGC、VT值 和专业产品表的计算过程。

9.3.1. 产品描述

窗型	推拉窗
总体尺寸	宽度 = 1500 mm，高度 = 1200 mm
框架材料	铝合金，白色油漆。 如图纸所示的断热结构，制造商提出所有截面的非通长热桥为0.250英寸宽。 断热材料为浇筑式聚氨酯。
间隔条类型	不锈钢间隔条，PIB 第一道密封，硅酮胶第二道密封。 见 第9.3.7节 中的图纸。
密封条类型	见 第9.3.7节 中的图纸。
截面	见 第9.3.7节 中的图纸。
窗格	铝合金，白色油漆，尺寸见图纸。 制造商为其产品提供间距不超过 12英寸 的标准水平和竖直网格图案。 根据图纸，窗格与玻璃层的间隙大于等于 3.0 mm，因此无需建模。
玻璃系统	双层中空玻璃，总厚度25.4 mm。 根据市场供需和价格因素，制造商使用两家不同的玻璃供应商，但使用同一家供应商的透明和Low-e玻璃产品。 ● 透明玻璃：PPG或CIG，名义厚度3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm ● Low-e玻璃：PPG Sungate 100或CIG LoE 145，名义厚度3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm
玻璃固定方式	PVC U形槽

9.3.2. 玻璃选项集

表9-8 显示了本例的窗建模所用的玻璃选项集。然而，对于下面即将演示的建模步骤，将只使用玻璃选项 #1 中的 CIG 玻璃。

表 9-8：铝合金推拉窗的玻璃选项集

	玻璃选项，总厚度：25.4 mm	**窗格选项**	**玻璃制造商**
1	透明(3 mm)，95%氩气，Low-e(3 mm)	不建模	CIG
2	透明(4 mm)，95%氩气，Low-e(4 mm)	不建模	CIG
3	透明(5 mm)，95%氩气，Low-e(5 mm)	不建模	CIG
4	透明(6 mm)，95%氩气，Low-e(6 mm)	不建模	CIG
5	透明(3 mm)，95%氩气，Low-e(3 mm)	不建模	PPG
6	透明(4 mm)，95%氩气，Low-e(4 mm)	不建模	PPG
7	透明(5 mm)，95%氩气，Low-e(5 mm)	不建模	PPG
8	透明(6 mm)，95%氩气，Low-e(6 mm)	不建模	PPG

9.3.3. 玻璃中心 U值 的建模（WINDOW）

在 WINDOW 中创建包括 表9-8 玻璃选项集中的所有玻璃系统。下图显示了玻璃选项 #1在 WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中的模型。

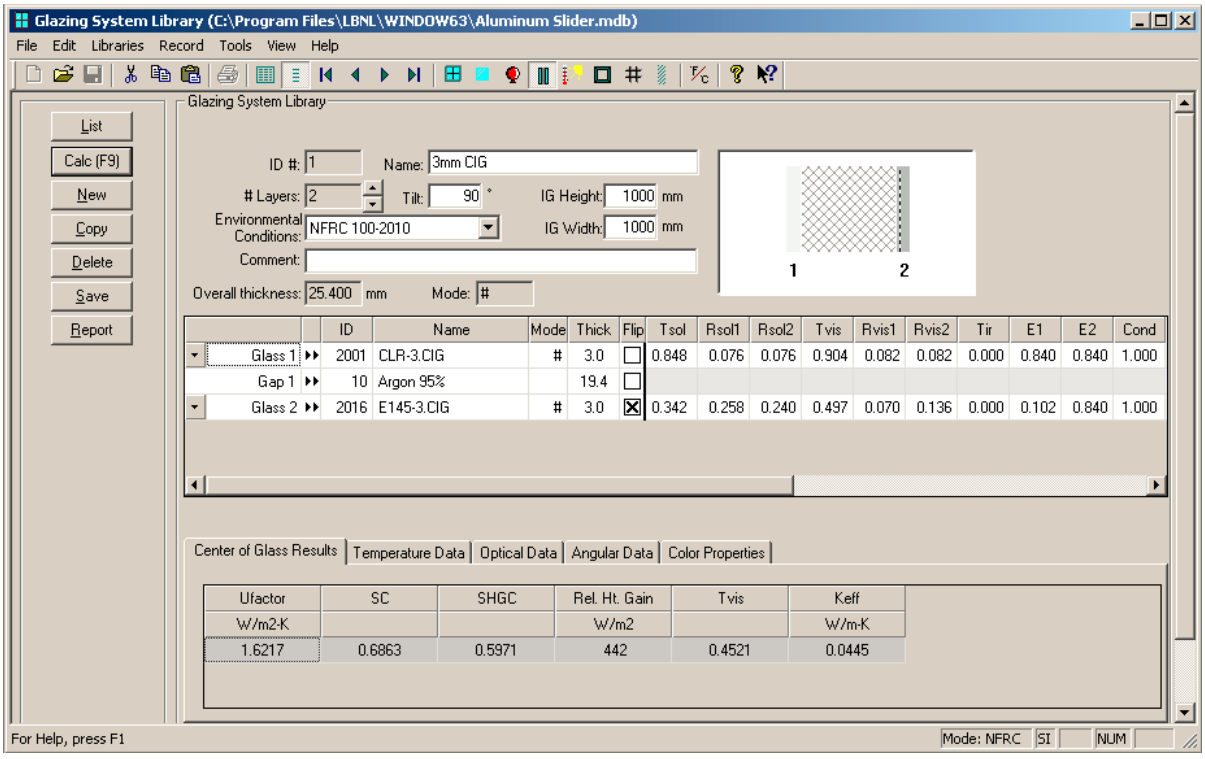


图 9-14：WINDOW Glazing System Library 中的玻璃选项 #1

玻璃中心的 U值 计算结果如下表所示：

表 9-9：从WINDOW中得到的玻璃选项 #1的中心U值计算结果

	玻璃选项 **（总厚度 25.4 mm）**	**玻璃中心 U值** **W/(m²・K)**
1	透明(3 mm)，95%氩气，Low-e(3 mm)	1.6217

玻璃系统用于 THERM 计算框架和玻璃边缘的 U值，并随后在 WINDOW 中计算整体产品的 U值。

9.3.4. 框架和玻璃边缘 U值 的建模（THERM）

下表显示了与此示例相关联的文件，包括 7个 必须建模的截面。

表 9-10：与铝合金推拉窗示例关联的截面文件

截面	**DXF 文件名**	**THERM 文件名**
Sill Vent 底横梁通风	Aluminum-Sill Vent.dxf	SV_01.thm
Sill Fixed 底横梁固定	Aluminum-Sill Fixed.dxf	SF_01.thm
Head Vent 顶横梁通风	Aluminum-Head Vent.dxf	HV_01.thm
Head Fixed 顶横梁固定	Aluminum-Head Fixed.dxf	HF_01.thm
Jamb Vent 边立柱通风	Aluminum-Jamb Vent.dxf	JV_01.thm
Jamb Fixed 边立柱固定	Aluminum-Jamb Fixed.dxf	JF_01.thm
Meeting Rail 中框	Aluminum-Meeting Rail.dxf	MR_01.thm

注意：示例中的 THERM 文件仅选用玻璃选项 #1 进行了建模。间隔条的几何外形必须适应剩余的玻璃选项。在创建截面模型时，由于 DXF 文件的绘制问题，并未使用 THERM 的 AutoConvert（自动转换）功能，而是以底图配合重新描图的方式进行了建模（相关方法请参阅《THERM 用户手册》的“第5章：绘制截面几何外形”）。

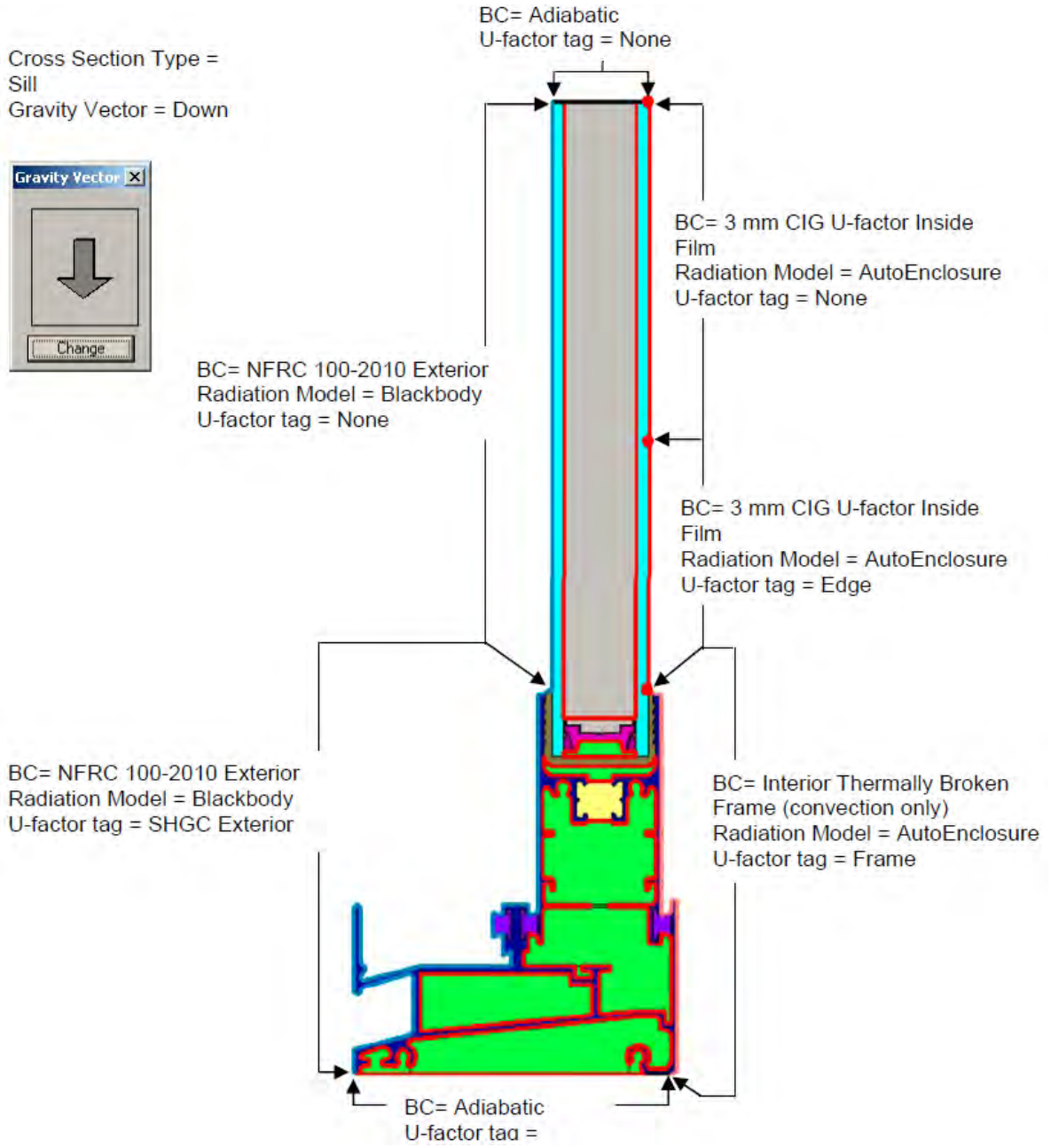
下表显示了铝合金推拉窗截面的 U值。

表 9-11：铝合金推拉窗截面的THERM结果

截面	**Frame U值** **W/(m² · K)**	**Edge U值** **W/(m² · K)**
Sill Vent 底横梁通风	6.0714	2.1744
Sill Fixed 底横梁固定	8.8507	2.0555
Head Vent 顶横梁通风	5.1152	2.1201
Head Fixed 顶横梁固定	7.1510	2.0810
Jamb Vent 边立柱通风	5.3240	2.1173
Jamb Fixed 边立柱固定	8.0264	2.0708
Meeting Rail 中框	7.0598	2.0251

图9-15 到 图9-21 显示了该窗的 THERM 截面和 U值 计算结果。

Sill Vent（底横梁通风）



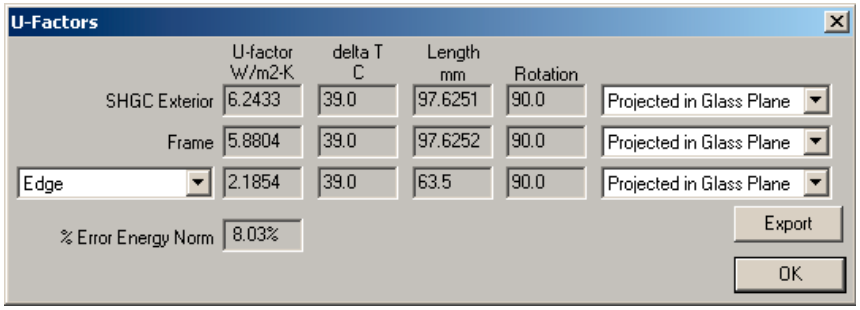


图 9-15：Sill Vent截面模型及U值计算结果

Sill Fixed（底横梁固定）

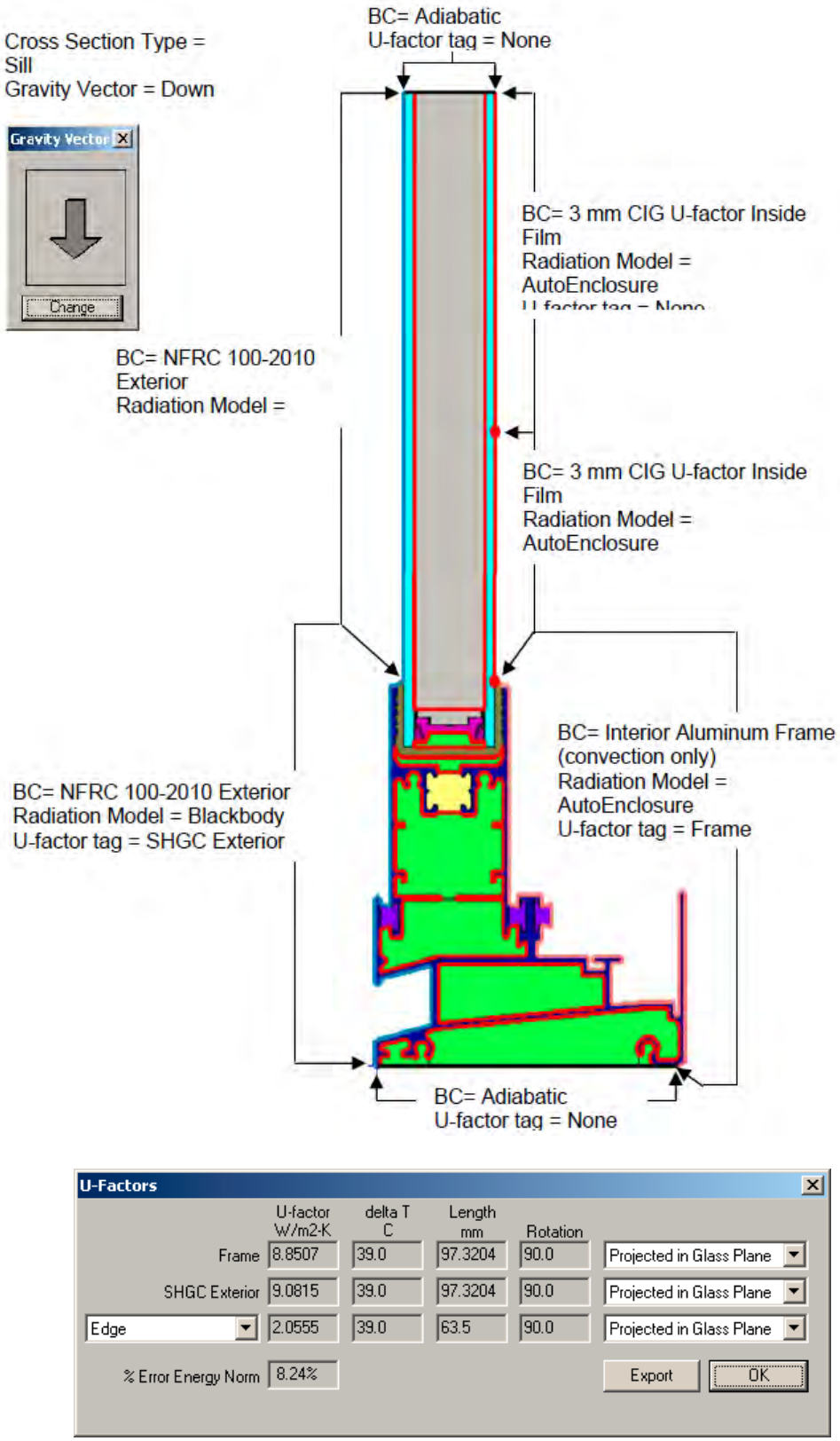


图 9-16：Sill Fixed截面模型及U值计算结果

Jamb Vent（边立柱通风）

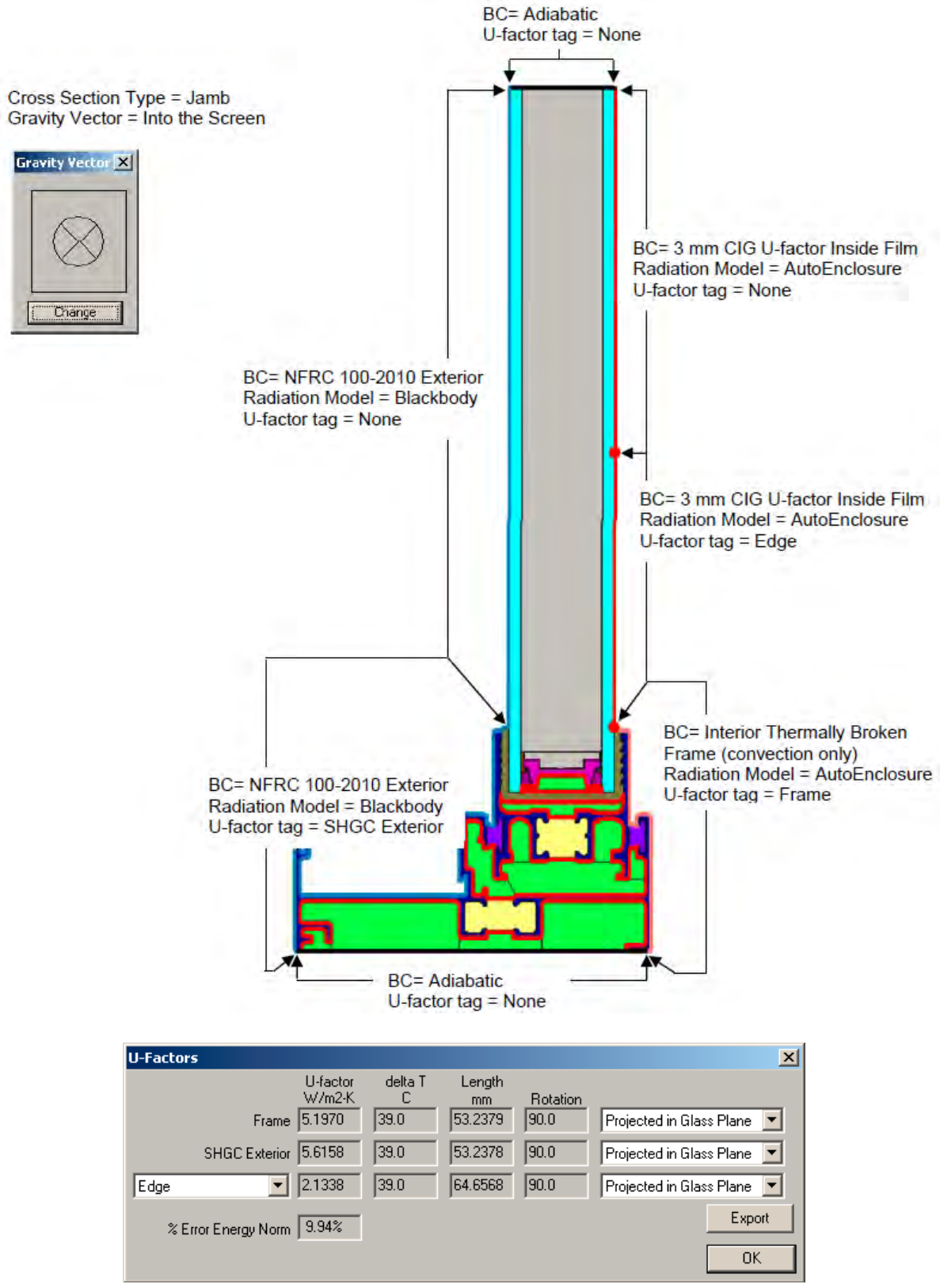


图 9-17：Jamb Vent截面模型及U值计算结果

Jamb Fixed（边立柱固定）

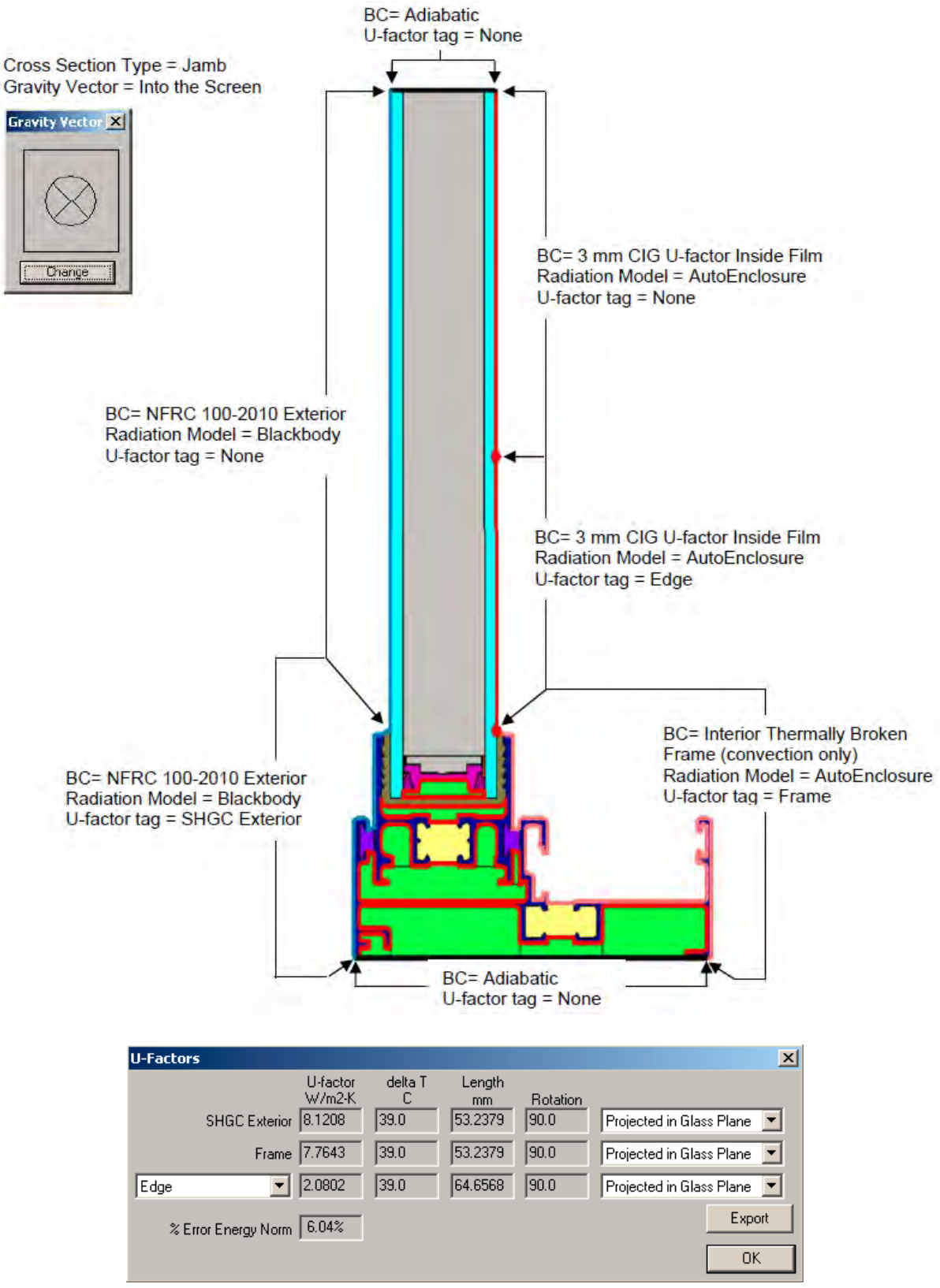


图 9-18：Jamb Fixed截面模型及U值计算结果

Head Vent（顶横梁通风）

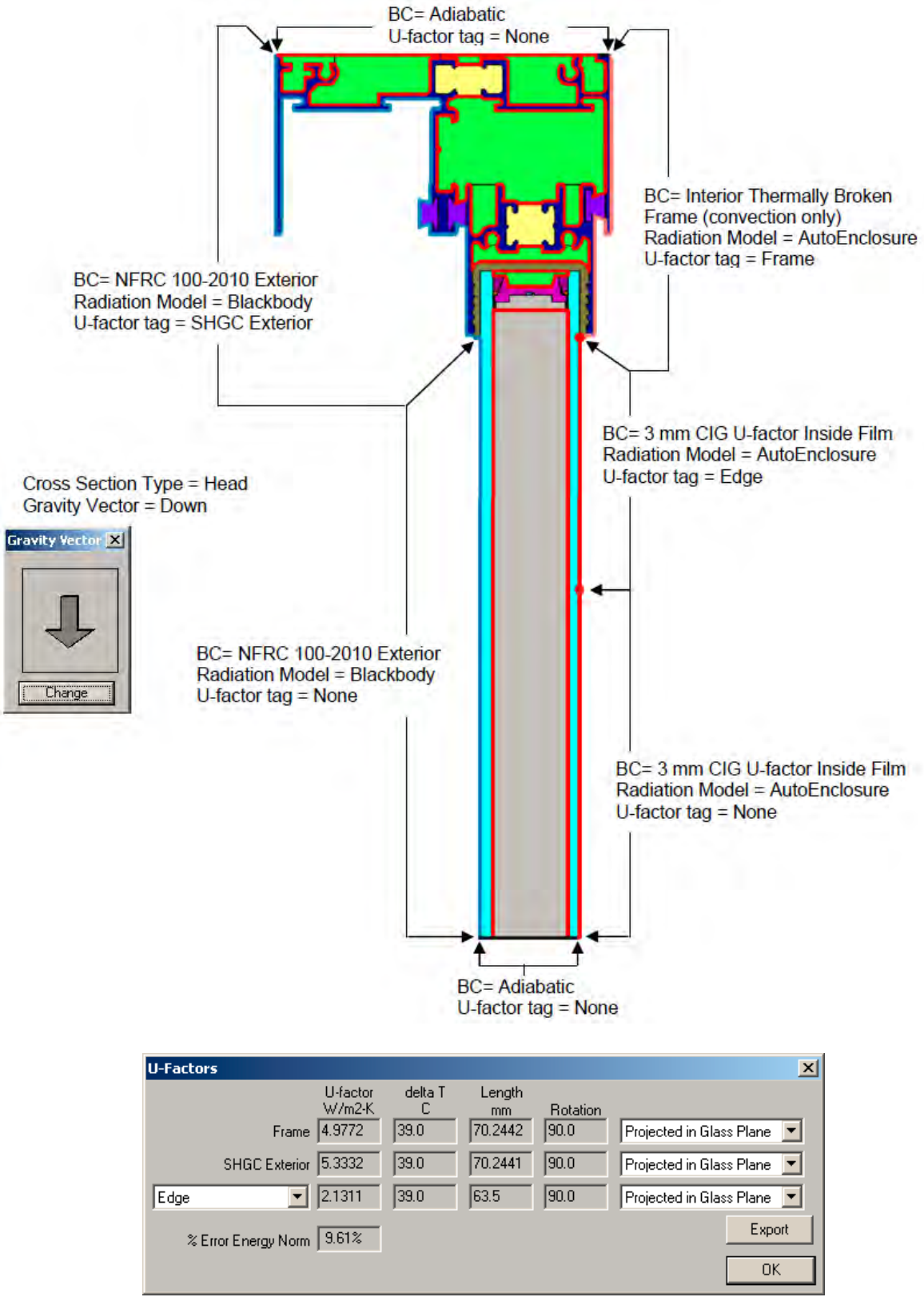
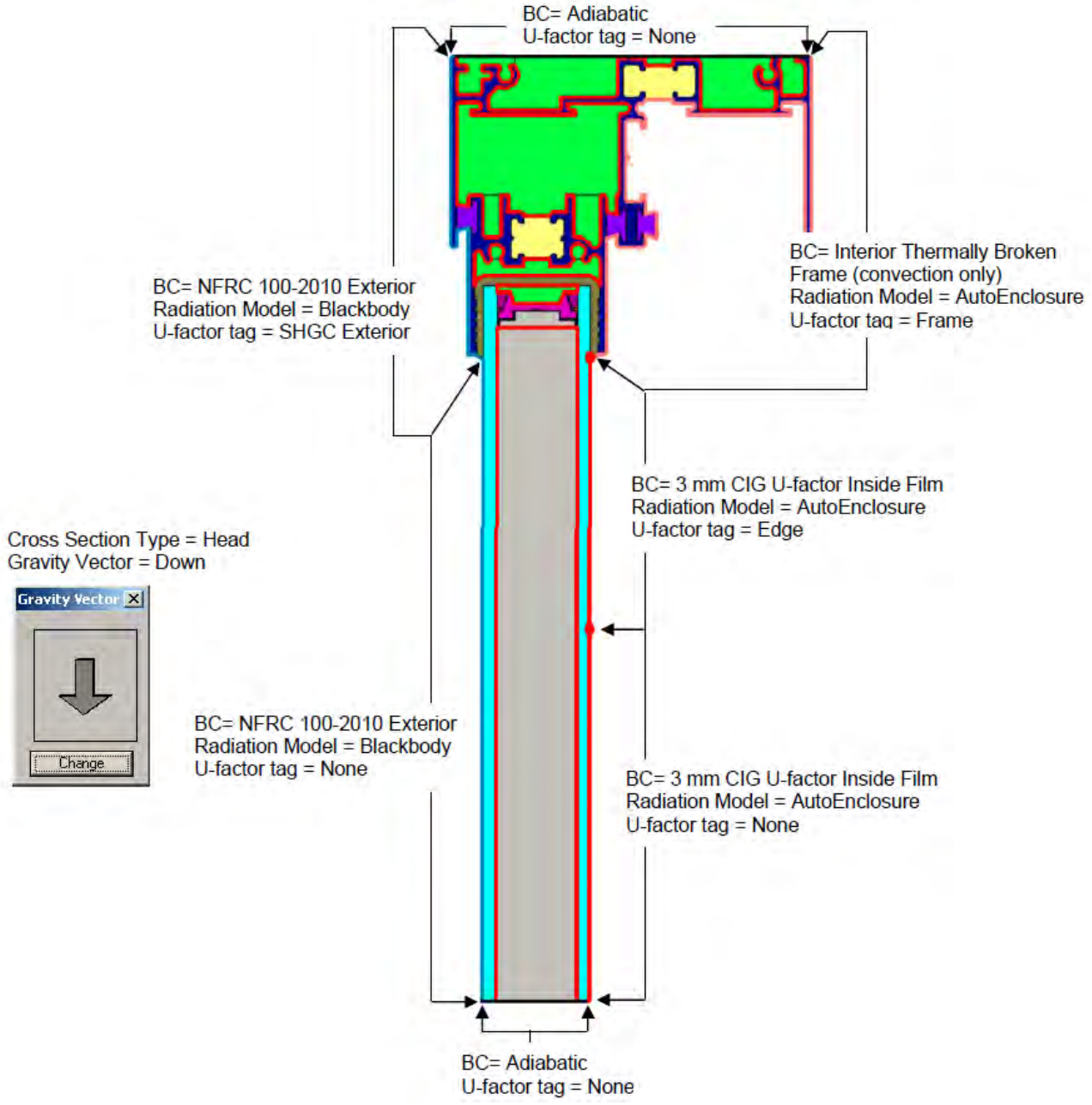


图 9-19：Head Vent截面模型及U值计算结果

Head Fixed（顶横梁固定）



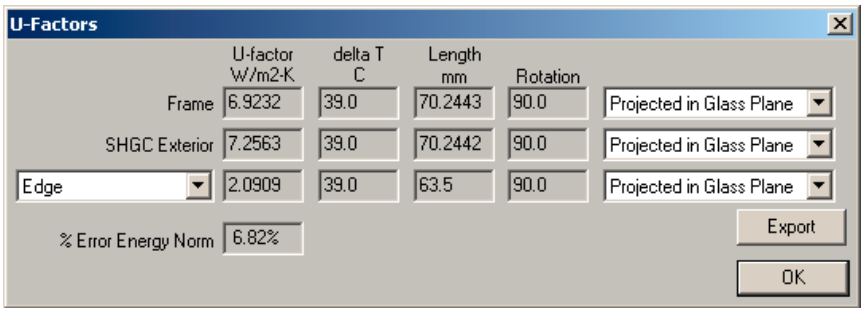
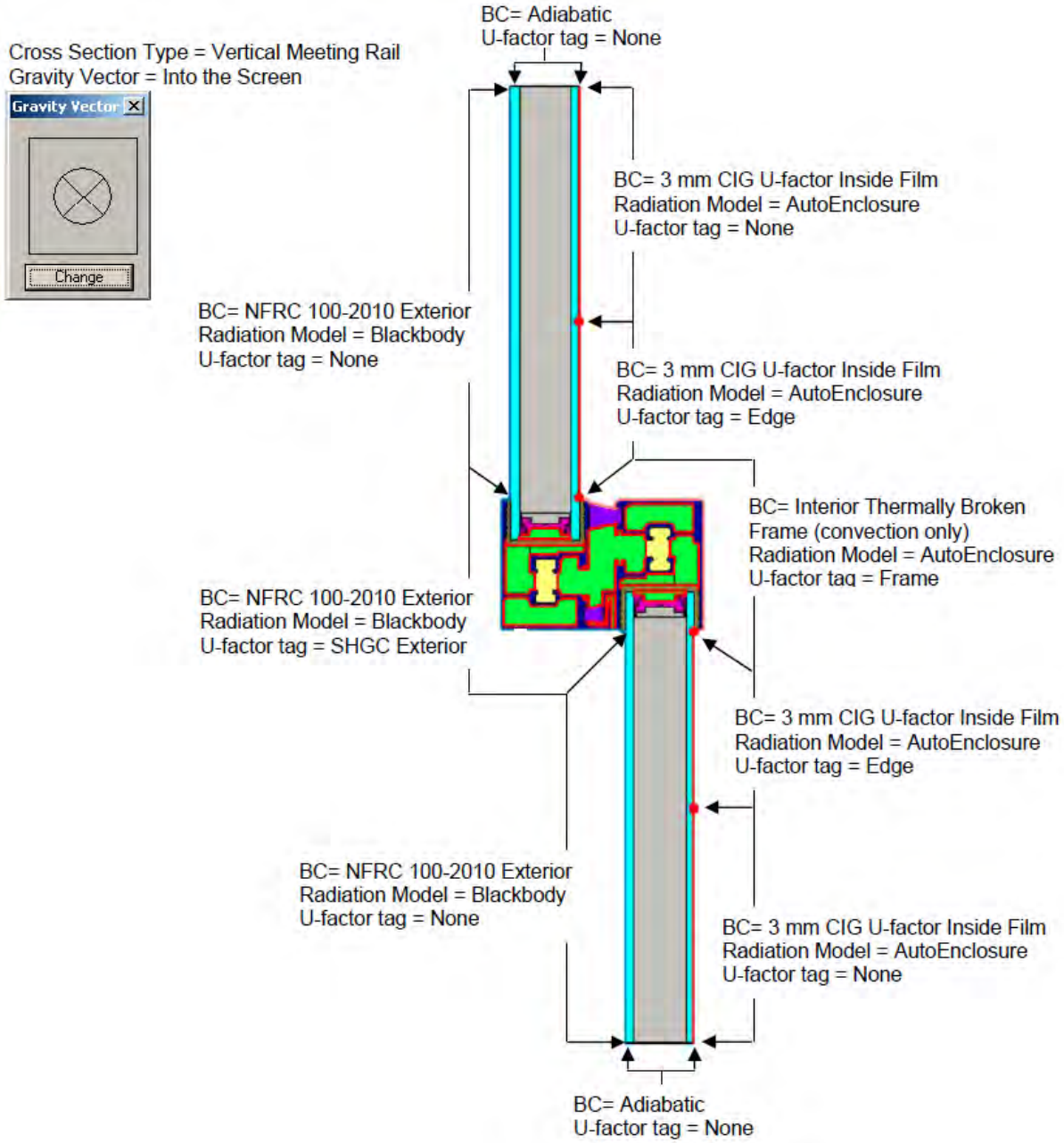


图 9-20：Head Fixed截面模型及U值计算结果

Meeting Rail（中框）



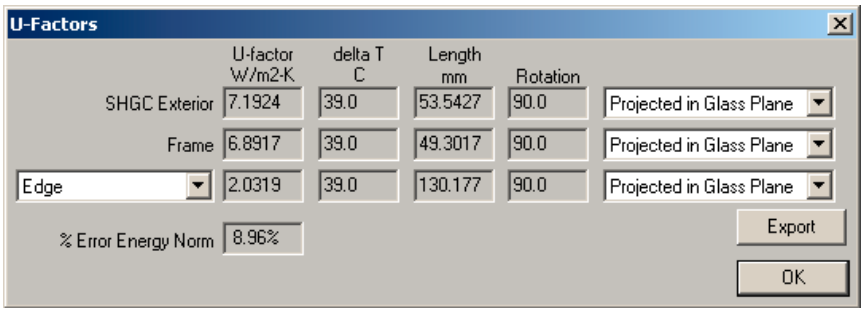


图 9-21：Meeting Rail截面模型及U值计算结果

9.3.5. 整体产品的 U值 计算

在 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中，导入 THERM 截面模型文件。

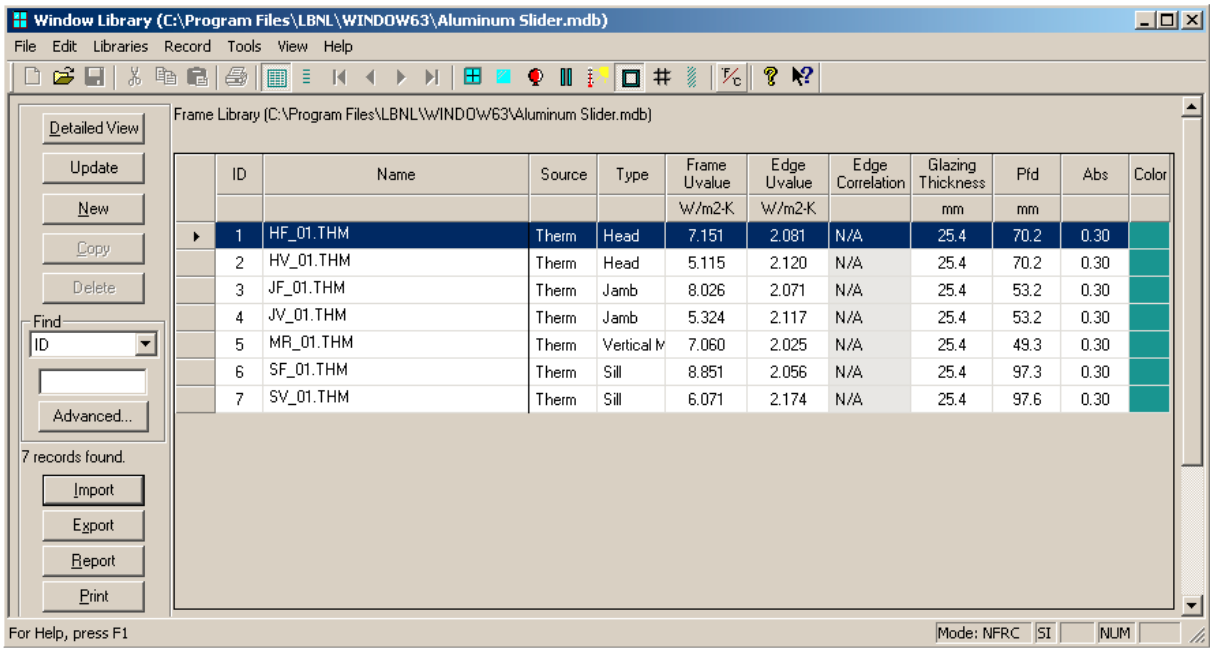


图 9-22：导入WINDOW Frame Library的THERM文件

在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中，创建并计算整体产品，如下图所示。

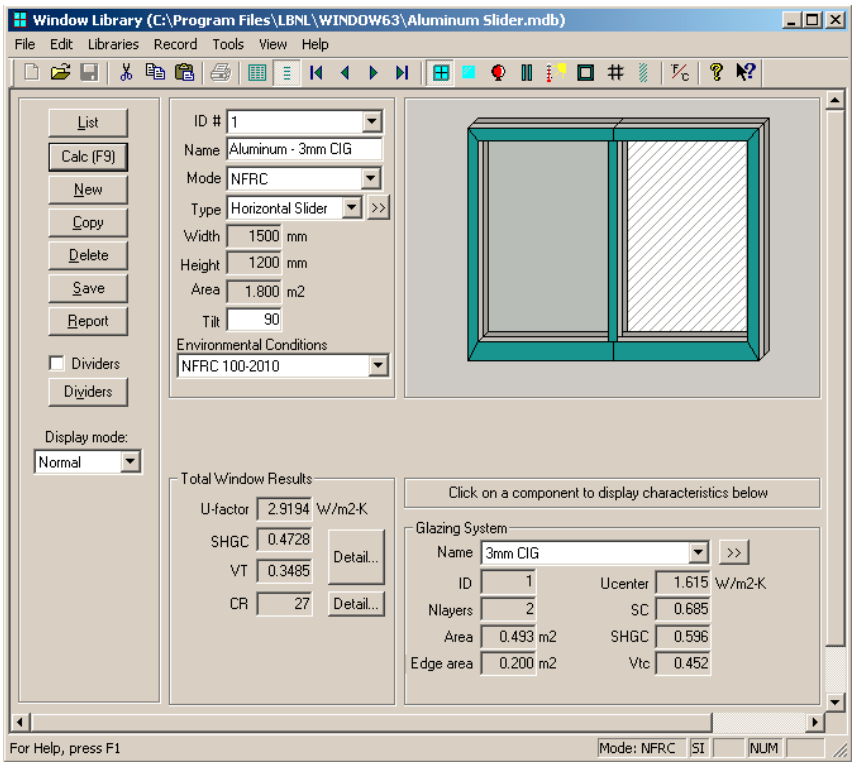


图 9-23：Window Library的记录，铝合金推拉窗的整体产品U值

下表显示了 WINDOW 中带玻璃选项 #1 的整体产品U值。

表 9-12：整体产品的U值

玻璃选项 **总厚度：25.4 mm**		**整体产品 U值** **W/(m²・K)**
1	透明(3 mm)，95%氩气，Low-e(3 mm)	2.9194

9.3.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和 VT

《ANSI / NFRC 200》标准文件的 第4.2.3 (A)节，就使用 SHGC 0、SHGC1、VT0 和 VT1 的值，确定整体产品的 SHGC（太阳得热系数）和 VT（可见光透射比）的方法提出了概述。为了计算这些值，必须在 WINDOW 中创建一个产品，该产品带有最好玻璃选项和最差的框架。

本示例仅使用玻璃选项 #1 进行了建模，并假设它就是整个玻璃选项集中最好的玻璃，因此被用于确定整体产品的 SHGC 和 VT。

按照上述方法，在 Window Library（窗库）的详细视图中，点击 Detail ，即可显示带最好玻璃选项（透明/95%氩气/Low-e）产品的 SHGC0、SHGC1、VT0 和 VT1，如下图所示。SHGC and VT detail 对话框内显示的是该最好玻璃选项在以下三种情况下的 SHGC 和 VT值：

- 不带窗格
- 窗格 ＜ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)
- 窗格 ≥ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

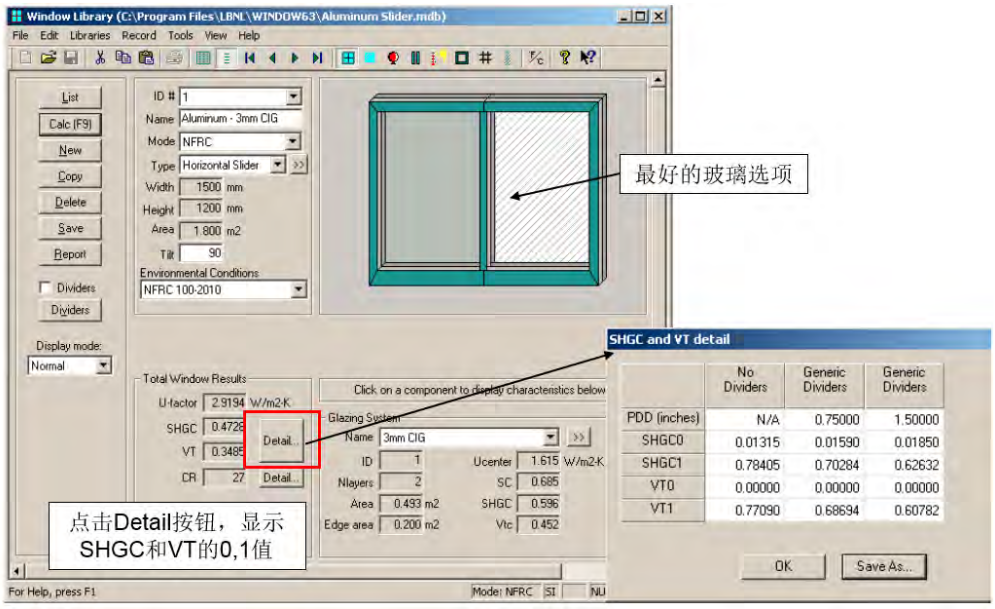


图 9-24：在Window Library中，点击Detail按钮，计算带最好玻璃选项的整体产品的SHGC和VT

表 9-13：带最好玻璃选项(透明/氩气/Low-e)的产品线的SHGC0, SHGC1, VT0和VT1值

	不带窗格	窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模	窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模
SHGC0	0.01315	0.01590	0.01850
SHGC1	0.78405	0.70284	0.62632
VT0	0.0	0.0	0.0
VT1	0.77090	0.68694	0.60782

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-1] 计算 SHGC

NFRC 200 中的 [公式 4-1]，是通过 $SHGC_0$、$SHGC_1$、$SHGC_C$ 计算整体产品的 SHGC：

$$SHGC = SHGC_0 + SHGC_C\ (SHGC_1 - SHGC_0)$$

将 表9-13 的 SHGC 数据与 [公式4-1] 组合，整体产品 SHGC 的计算过程如下：

- 不带窗格

  SHGC = 0.01315 + 0.5971 (0.78405 - 0.01315) = 0.4735

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  SHGC = 0.01590 + 0.5971 (0.70284 - 0.01590) = 0.4261

- 窗格 ≥ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  SHGC = 0.01850 + 0.5971 (0.62632 - 0.01850) = 0.3814

表 9-14：带最好玻璃选项(透明/氩气/Low-e)的产品线的SHGC

SHGC			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/氩气/Low-e	0.4735	0.4261	0.3814

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-2] 计算 VT

NFRC 200 中的 [公式4-2]，是通过 VT_0、VT_1、VT_C 计算整体产品的 VT：

$$VT = VT_0 + VT_C (VT_1 - VT_0)$$

将 表9-13 的 VT 数据与 [公式4-2] 组合，整体产品 VT 的计算过程如下：

- 不带窗格

  VT = 0.0 + 0.4521 (0.77090 - 0.0) = 0.3485

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.4521 (0.68694 - 0.0) = 0.3106

- 窗格 ≥ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.4521 (0.60782 - 0.0) = 0.2748

表 9-15：带最好玻璃选项(透明/氩气/Low-e)的产品线的VT

VT			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/氩气/Low-e	0.3485	0.3106	0.2748

9.3.7. 铝合金推拉窗的图纸

以下内容包含本示例的窗细部图纸（单位：英寸）。

Sill Vent（底横梁通风）

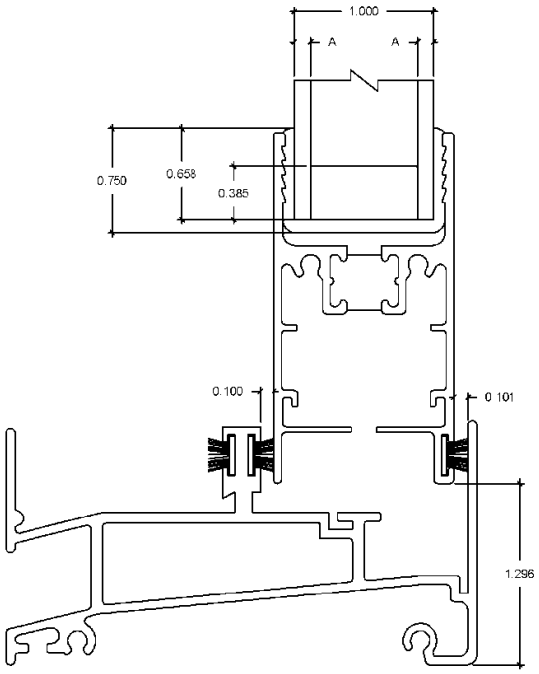


图 9-25：带尺寸标注的图纸(Sill Vent)

Sill Fixed（底横梁固定）

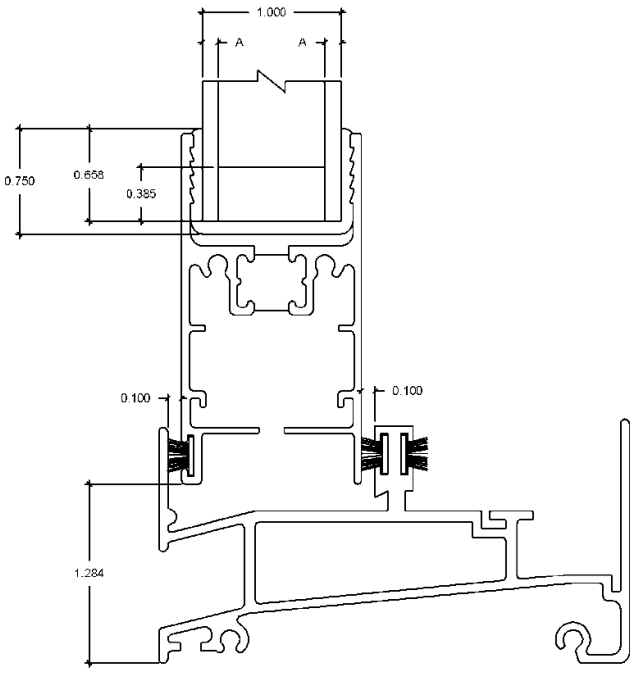


图 9-26：带尺寸标注的图纸(Sill Fixed)

Jamb Vent（边立柱通风）

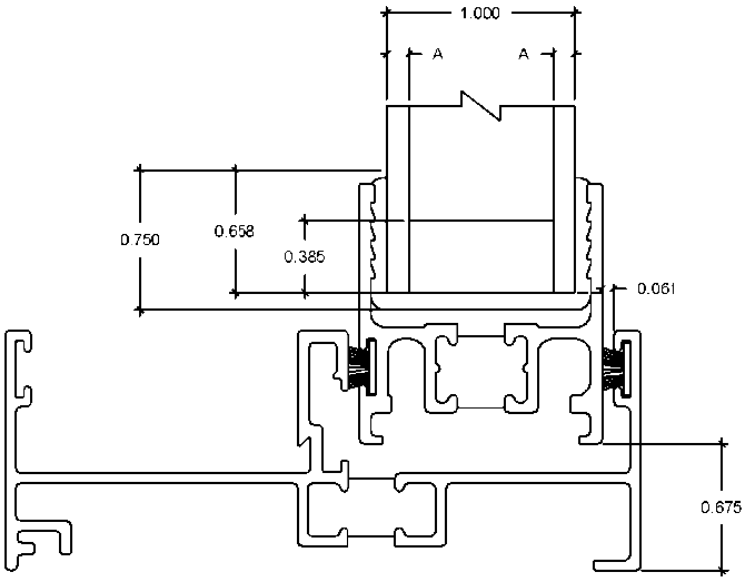


图 9-27：带尺寸标注的图纸(Jamb Vent)

Jamb Fixed（边立柱固定）

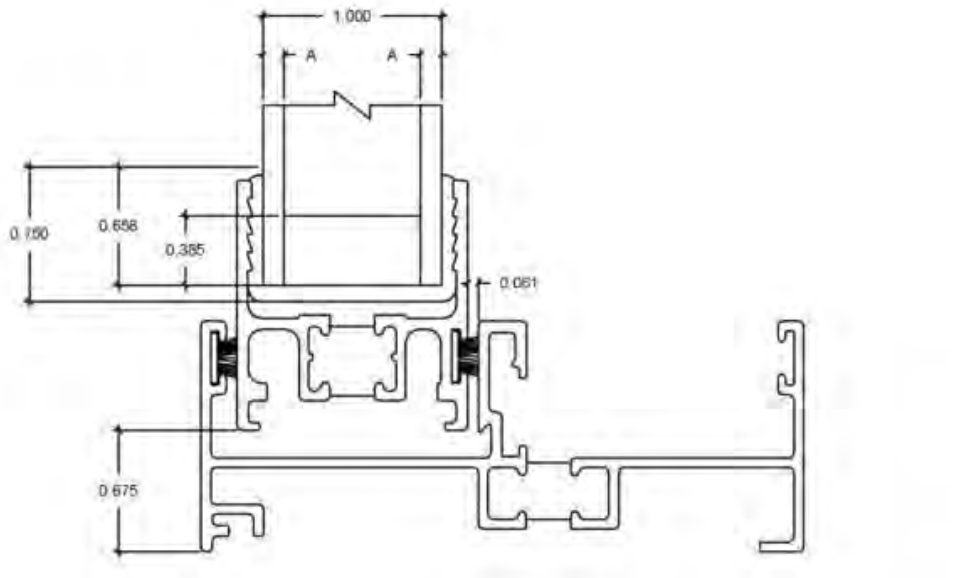


图 9-28：带尺寸标注的图纸(Jamb Fixed)

Head Vent（顶横梁通风）

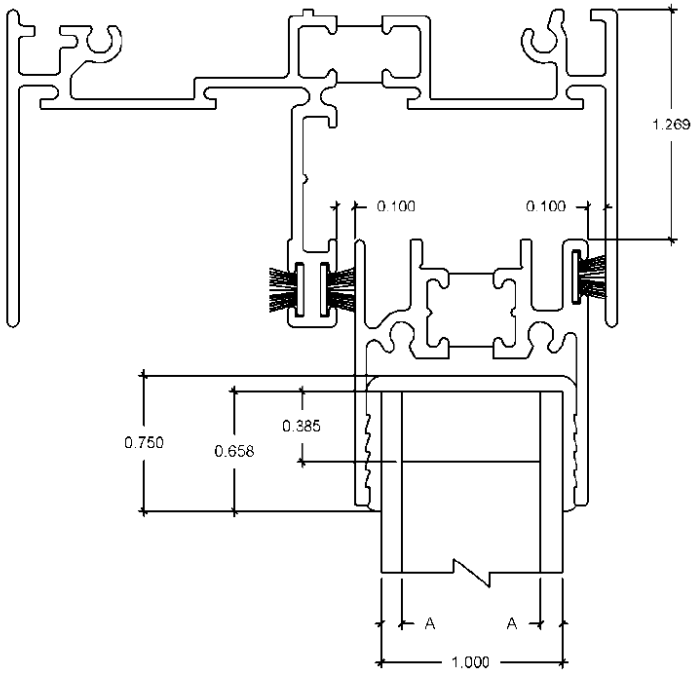


图 9-29：带尺寸标注的图纸(Head Vent)

Head Fixed（顶横梁固定）

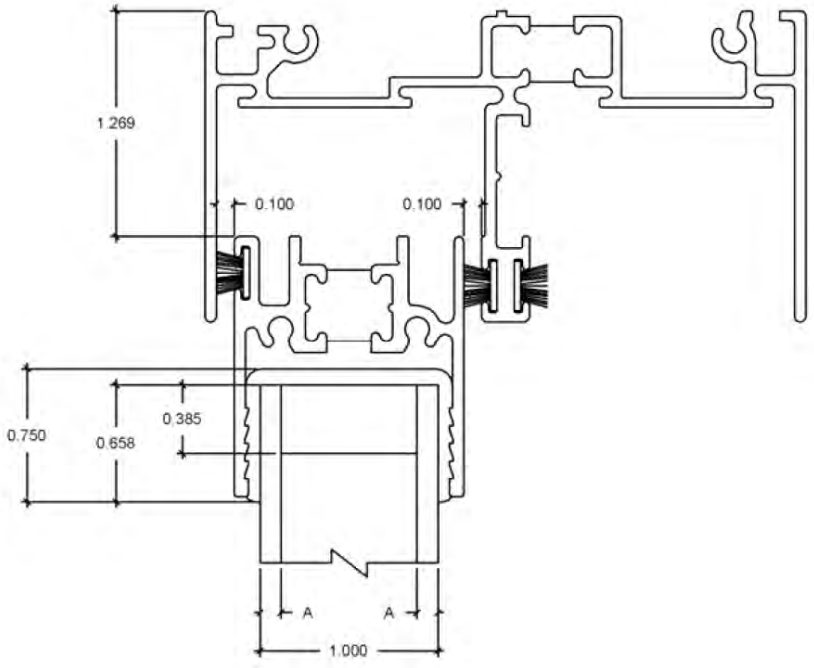


图 9-30：带尺寸标注的图纸(Head Fixed)

Meeting Rail（中框）

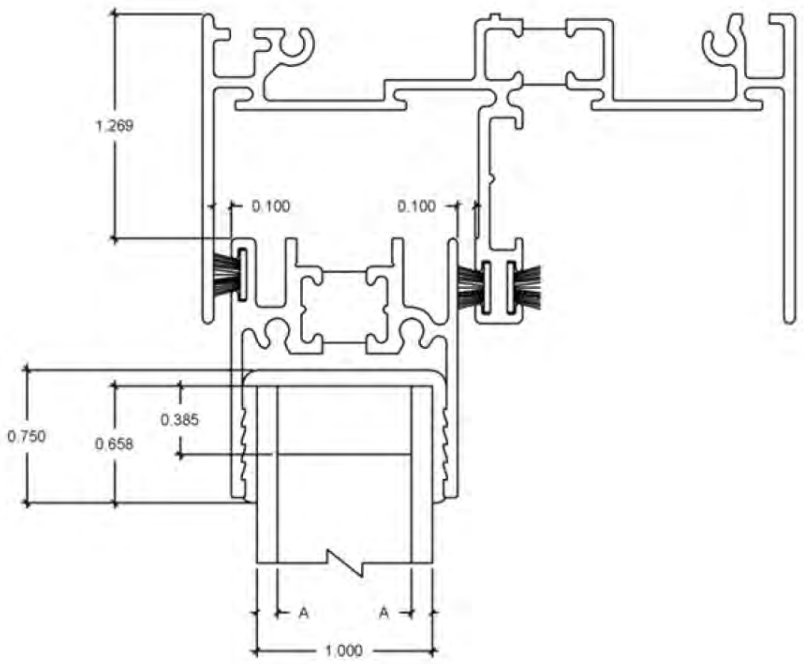


图 9-31：带尺寸标注的图纸(Meeting Rail)

Spacer（间隔条）

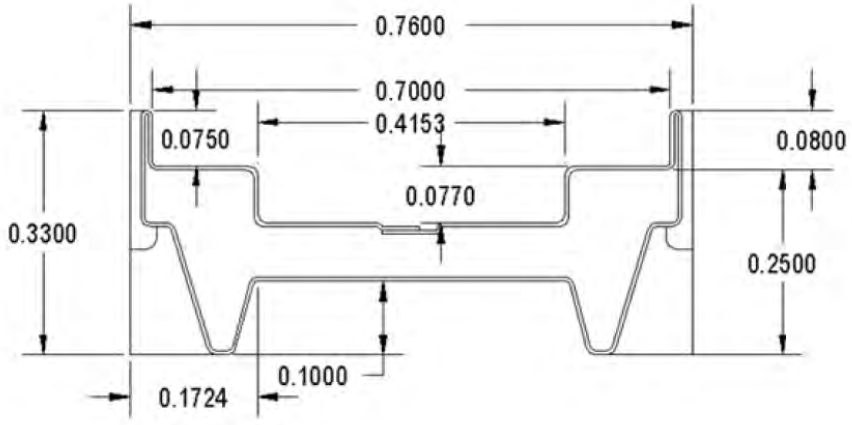


图 9-32：带尺寸标注的图纸(Spacer)

Divider（窗格）

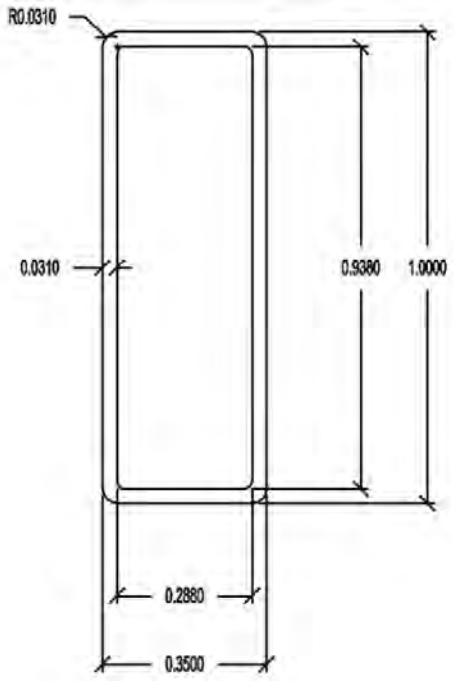


图 9-33：带尺寸标注的图纸-Divider

9.4. 问题3：嵌入式天窗

9.4.1. 产品描述

窗型	天窗
总体尺寸	宽度 = 1200 mm，高度 = 1200 mm
框架材料	实木
玻璃系统	双层中空玻璃，总厚度17.0 mm。内外片玻璃均采用通用型的 3 mm 厚透明玻璃。玻璃空腔填充空气。
间隔条类型	铝弯折的间隔条
玻璃固定方式	丁基密封胶
窗格	无
截面	见 第9.4.7节 中的图纸

9.4.2. 玻璃选项集

下表所列是天窗建模用的玻璃选项集。

表 9-16：天窗建模用的玻璃选项集

	玻璃选项 **（总厚度17.0 mm）**	**窗格**	**玻璃制造商**
1	3 mm 透明玻璃，空气，3 mm 透明玻璃，	无	Generic通用型

9.4.3. 玻璃中心 U值 的建模（WINDOW）

在 WINDOW 中创建包括 表9-16 玻璃选项集中的玻璃系统。注意设置 Tilt倾角 为20度。

下图显示了该玻璃系统在 WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中的模型。

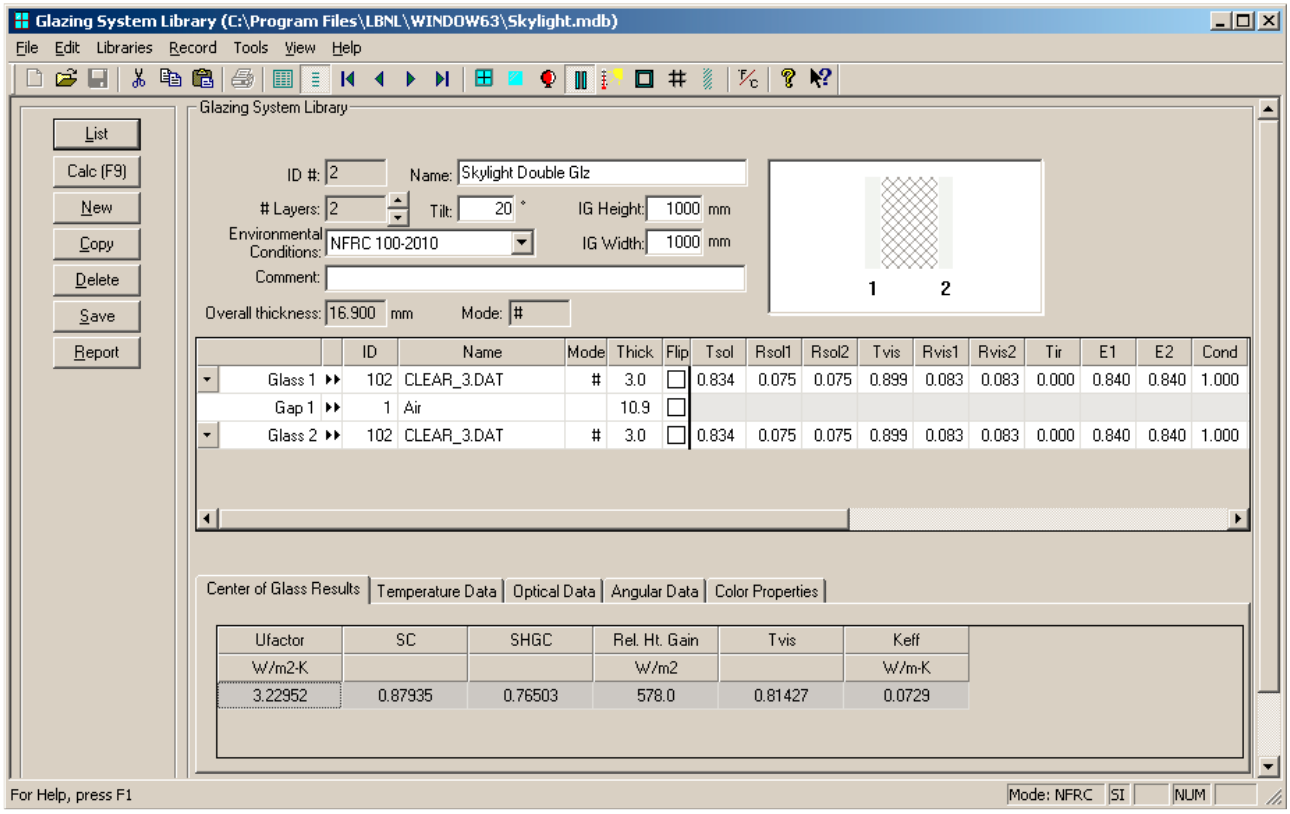


图 9-34：WINDOW Glazing System Library 中的天窗玻璃系统

玻璃中心的 U值 计算结果如下表所示：

表 9-17：从WINDOW中得到的天窗玻璃系统的中心U值计算结果

	玻璃选项 **（总厚度 17.0 mm）**	**玻璃中心 U值** **W/(m² · K)**
1	透明(3 mm)，10.9 mm 空气层，透明(3 mm)	3.22952

玻璃系统用于 THERM 计算框架和玻璃边缘的 U值，并随后在 WINDOW 中计算整体产品的 U值。

9.4.4. 框架和玻璃边缘 U值 的建模（THERM）

天窗的建模方式与其它窗类产品相同，顶、底横梁和边立柱等都有单独的 THERM 文件。有关天窗建模的详细说明，请参阅本手册 第8.5节。对于本例，我们将假设天窗是嵌入式安装的。

下表显示了与此示例相关联的文件。

表 9-18：与天窗示例关联的文件

截面	**DXF 文件名**	**THERM 文件名**
Sill 底横梁	Skylight-Frame.dxf	SL.thm
Head 顶横梁	Skylight-Frame.dxf	HD.thm
Jamb 边立柱	Skylight-Frame.dxf	JB.thm

下表显示了天窗截面的U值。

表 9-19：天窗截面的THERM结果

截面	**Frame U值** **W/(m²・K)**	**Edge U值** **W/(m²・K)**
Sill 底横梁	4.7604	3.5507
Head 顶横梁	4.7955	3.5527
Jamb 边立柱	4.8084	3.5455

图9-35 到 9-37 显示了该窗的 THERM 截面和 U值 计算结果。

Head（顶横梁）

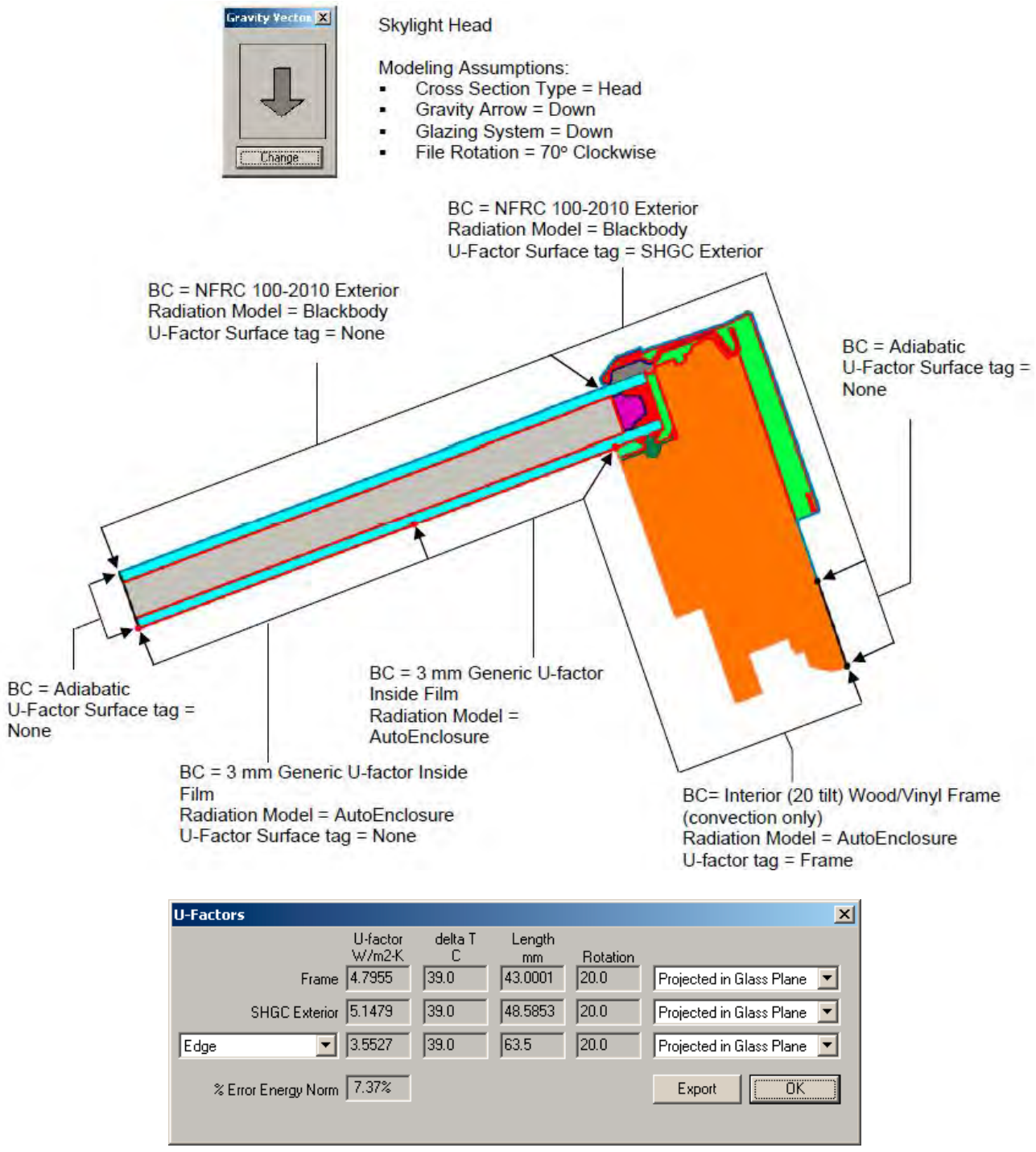
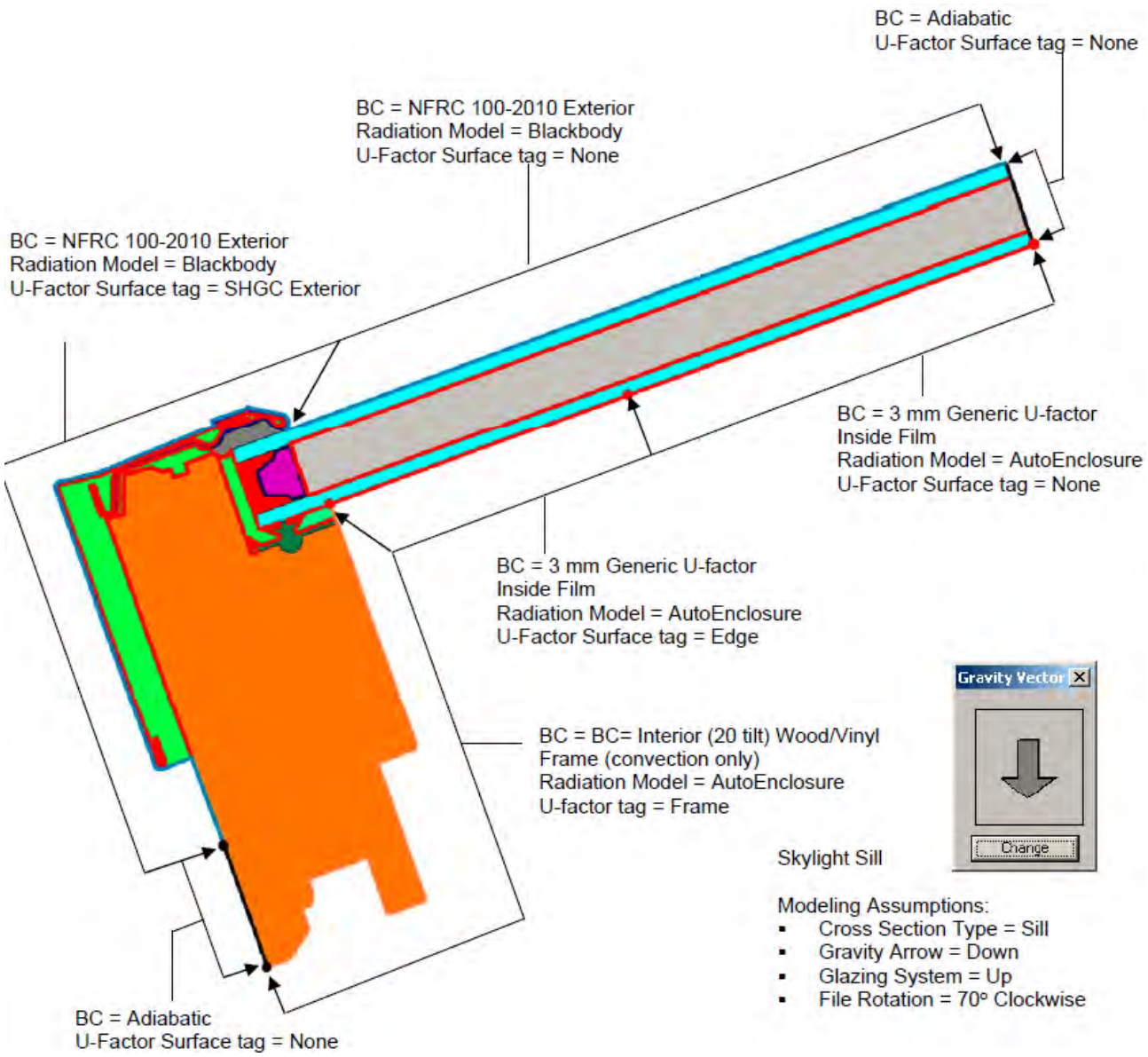


图 9-35：Head截面模型及U值计算结果

Sill（底横梁）



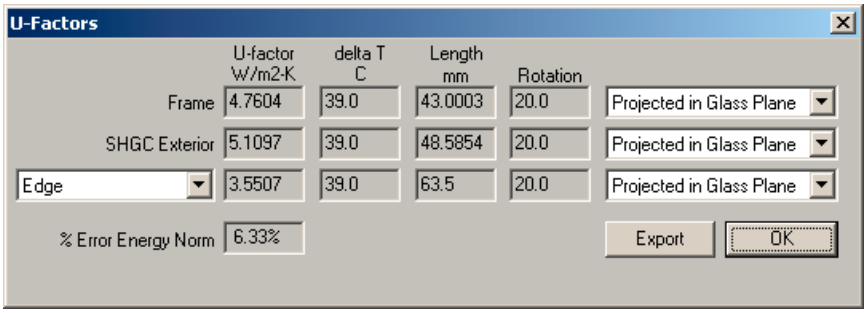
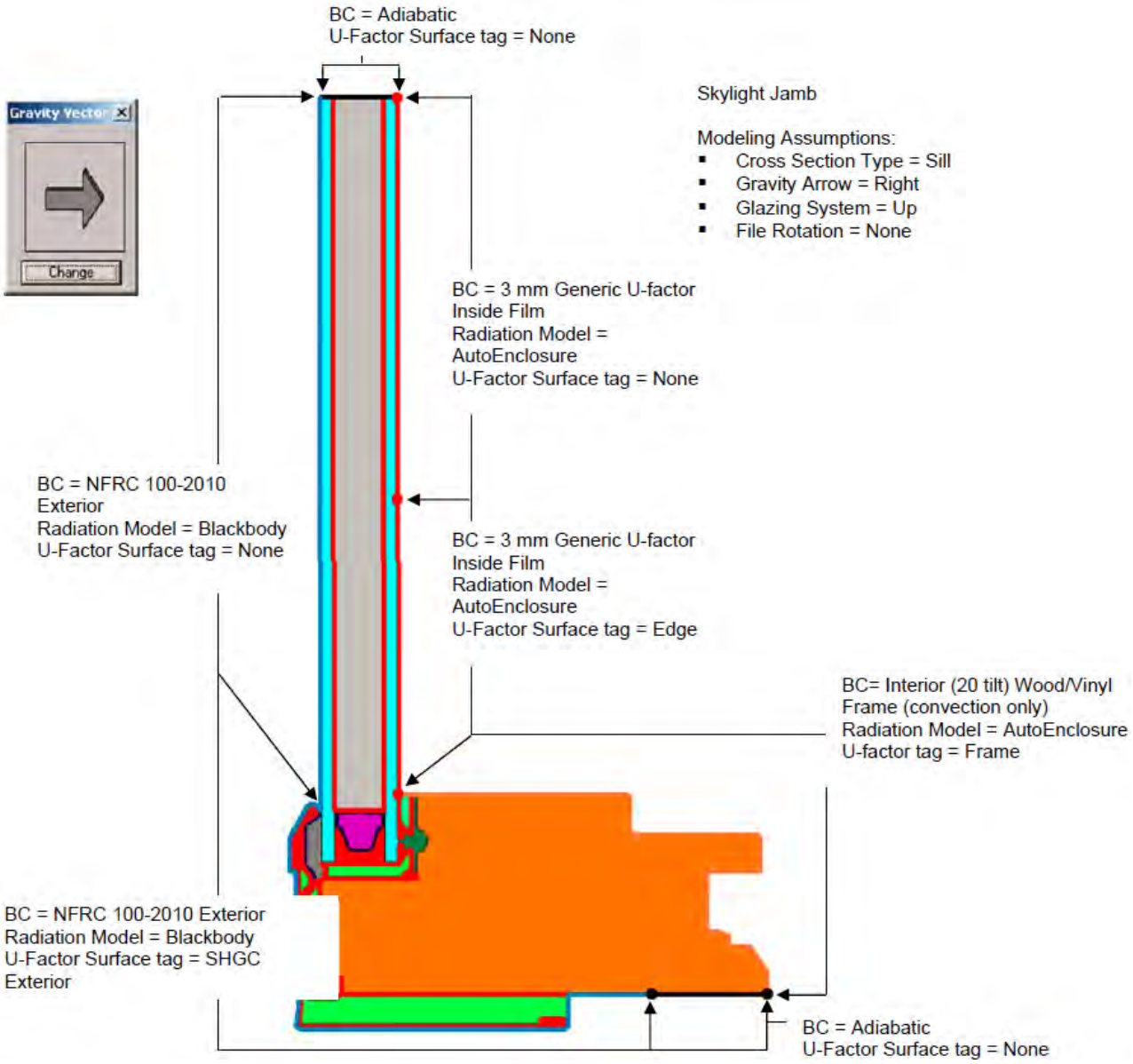


图 9-36：Sill截面模型及U值计算结果

Jamb（边立柱）



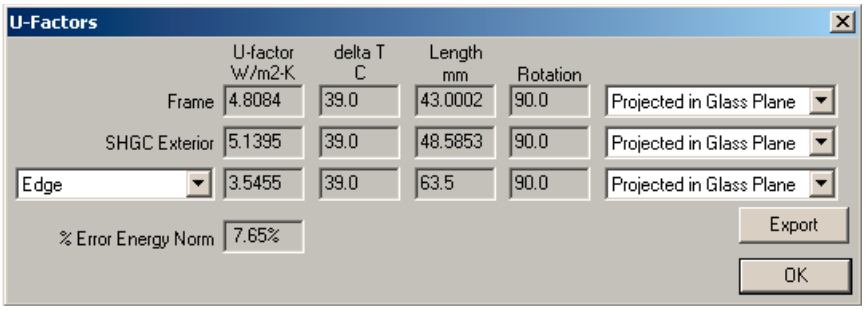


图 9-37：Jamb截面模型及U值计算结果

9.4.5. 整体产品的U值计算

在 WINDOW 的 Frame Library（框架库）中，导入 THERM 截面模型文件。

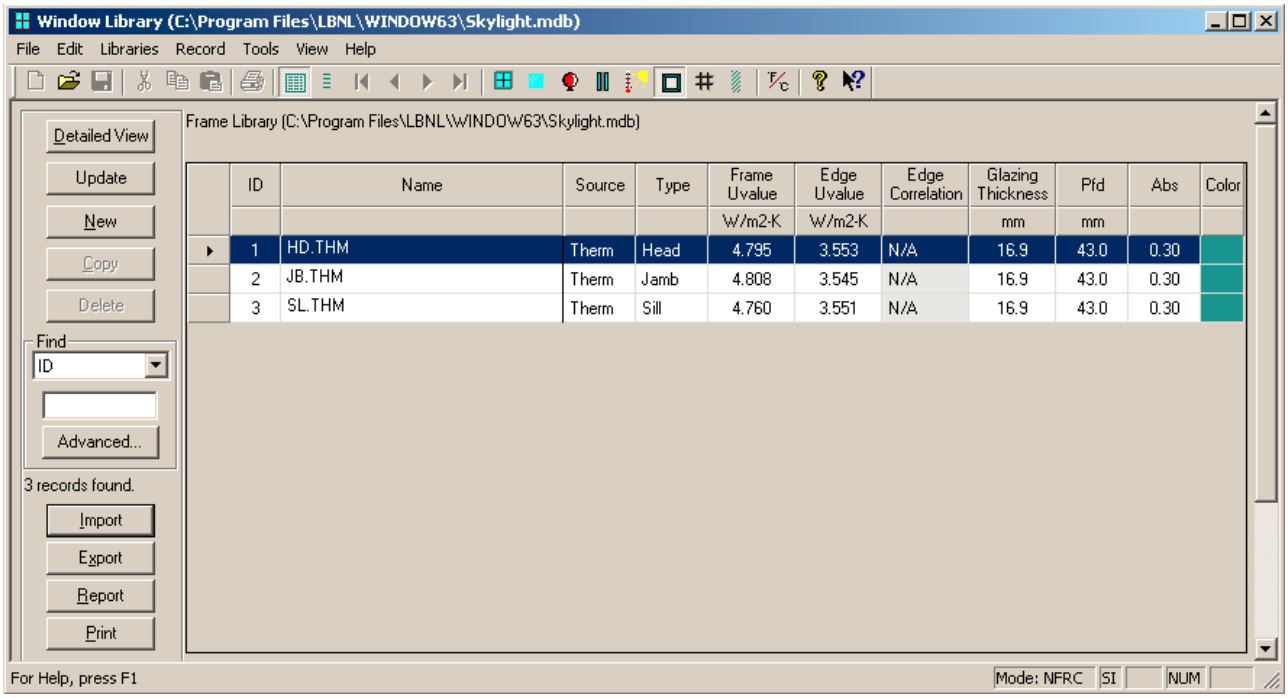


图 9-38：导入WINDOW Frame Library的THERM文件

在 WINDOW 的 Window Library（窗库）中，创建并计算整体产品，如下图所示。

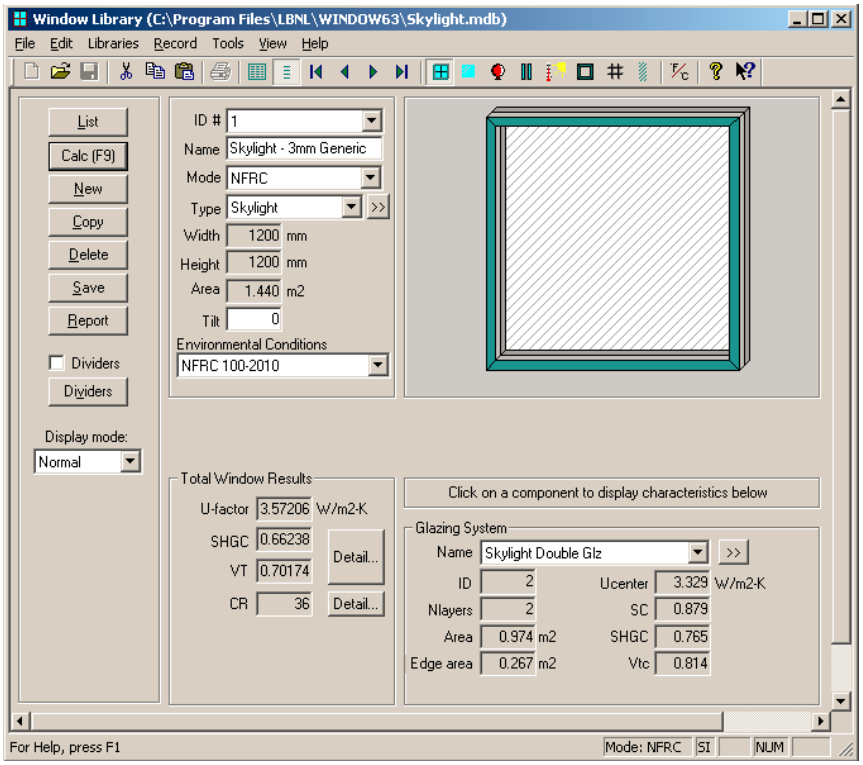


图 9-39：Window Library的记录，天窗的整体产品U值

下表显示了 WINDOW 中的整体产品U值。

表 9-20：整体产品的U值

玻璃选项 总厚度：17.0 mm		整体产品 U值 W/(m²・K)
1	透明(3 mm)，空气，透明(3 mm)	3.57206

9.4.6. 使用 SHGC 0 & 1 和 VT 0 & 1 计算单一产品的 SHGC 和 VT

《ANSI / NFRC 200》标准文件的 第4.2.3 (A)节，就使用 SHGC0、SHGC1、VT0 和 VT1 的值，确定整体产品的 SHGC（太阳得热系数）和 VT（可见光透射比）的方法提出了概述。为了计算这些值，必须在 WINDOW 中创建一个产品，该产品带有最好玻璃选项和最差的框架。

按照上述方法，在 Window Library（窗库）的详细视图中，点击 Detail ，即可显示带最好玻璃选项（透明/空气/透明）产品的 SHGC0、SHGC1、VT0 和 VT1，如下图所示。SHGC and VT detail 对话框内显示的是该最好玻璃选项在以下三种情况下的 SHGC 和 VT值：

- 不带窗格
- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)
- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

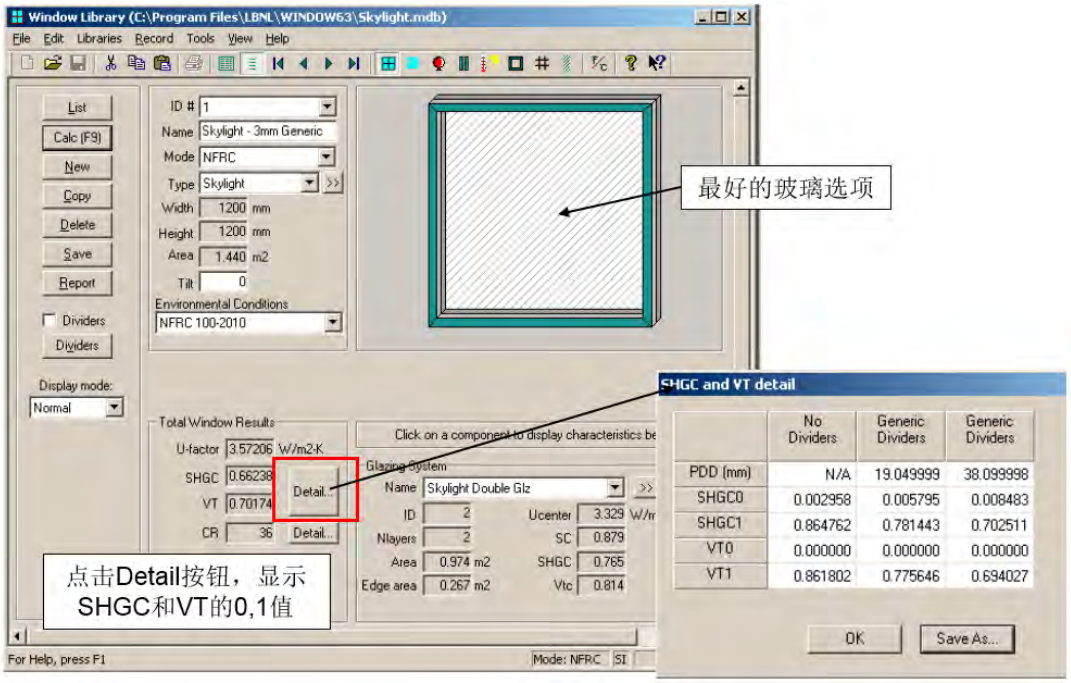


图 9-40：在Window Library中，点击Detail按钮，计算带最好玻璃选项的整体产品的SHGC和VT

表 9-21：带最好玻璃选项(透明/空气/透明)的产品线的SHGC0, SHGC1, VT0和VT1值

	不带窗格	窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模	窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模
SHGC0	0.002958	0.005795	0.008483
SHGC1	0.864762	0.781443	0.702511
VT0	0.0	0.0	0.0
VT1	0.861802	0.775647	0.694027

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-1] 计算 SHGC

NFRC 200 中的 [公式4-1]，是通过 $SHGC_0$、$SHGC_1$、$SHGC_C$ 计算整体产品的 SHGC：

$$SHGC = SHGC_0 + SHGC_C\ (SHGC_1 - SHGC_0)$$

将 表9-21 的 SHGC 数据与 [公式4-1] 组合，整体产品 SHGC 的计算过程如下：

- 不带窗格

  SHGC = 0.002958 + 0.76504 (0.864762 - 0.002958) = 0.66227

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  SHGC = 0.005795 + 0.76504 (0.781443 - 0.005795) = 0.59920

- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  SHGC = 0.008483 + 0.76504 (0.702511 - 0.008490) = 0.53944

表 9-22：带最好玻璃选项(透明/空气/透明)的产品线的SHGC

SHGC			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/空气/透明	0.66227	0.59920	0.53944

使用《ANSI / NFRC 200》中的 [公式4-2] 计算 VT

NFRC 200 中的 [公式4-2]，是通过 VT_0、VT_1、VT_C 计算整体产品的 VT：

$$VT = VT_0 + VT_C (VT_1 - VT_0)$$

将 表9-21 的 VT 数据与 [公式4-2] 组合，整体产品 VT 的计算过程如下：

- 不带窗格

  VT = 0.0 + 0.81427 (0.861802 - 0.0) = 0.7017

- 窗格 ≤ 25.4 mm（按 19.05 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.81427 (0.775647 - 0.0) = 0.6316

- 窗格 ＞ 25.4 mm（按 38.1 mm 建模)

  VT = 0.0 + 0.81427 (0.694027 - 0.0) = 0.5651

表 9-23：带最好玻璃选项(透明/空气/透明)的产品线的VT

VT			
玻璃选项	**不带窗格**	**窗格≤25.4 mm的，按照19.05 mm建模**	**窗格≥25.4 mm的，按照38.1 mm建模**
透明/空气/透明	0.7017	0.6316	0.5651

9.4.7. 天窗的图纸

以下内容包含本示例天窗的细部图纸（单位：英寸）。

Head（顶横梁），Sill（底横梁），Jamb（边立柱）

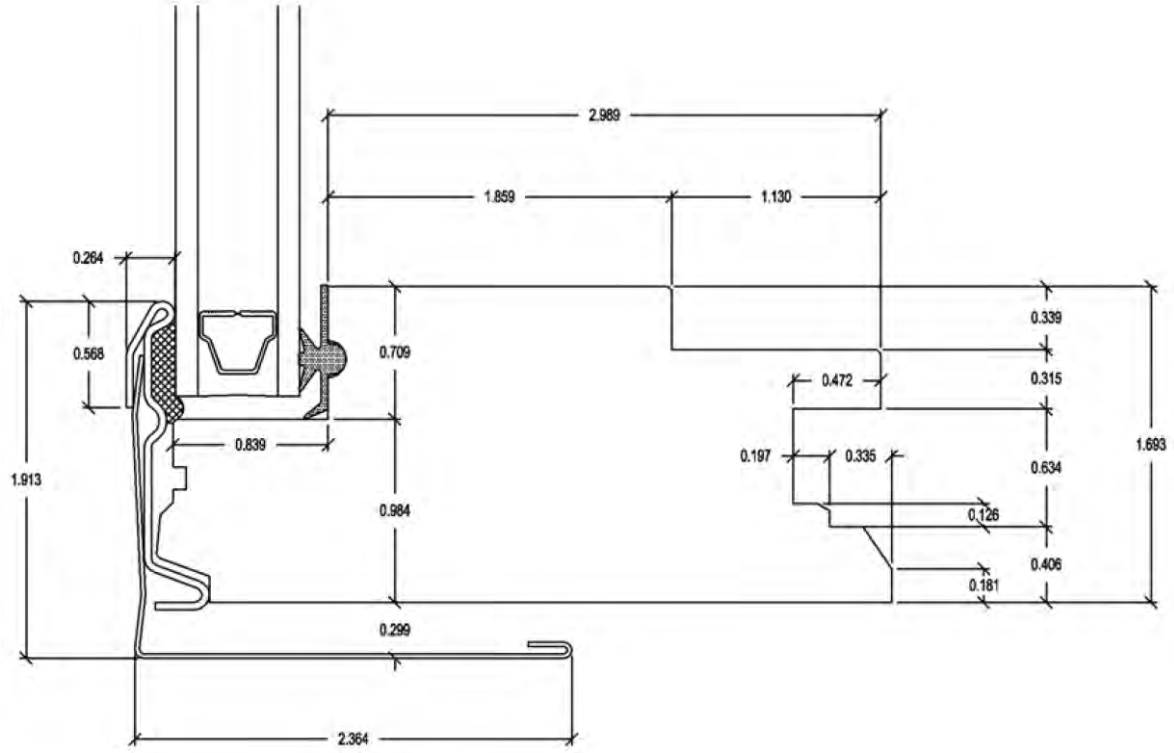


图 9-41：带尺寸标注的图纸(框架)

Spacer（间隔条）

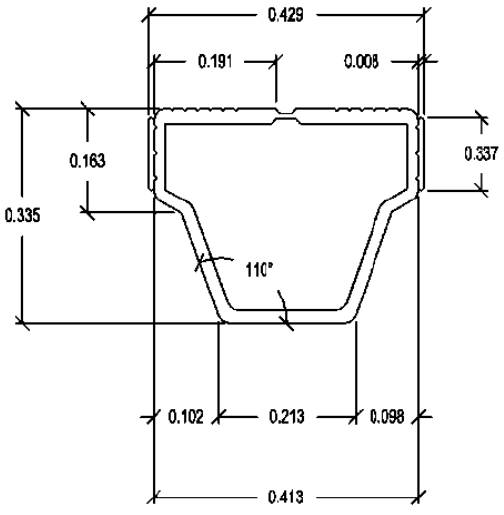


图 9-42：带尺寸标注的图纸(Spacer)

9.5. 问题4：实木平开门

本示例是针对实木平开门，演示整体产品的 U值、SHGC、VT值 的计算过程。

9.5.1. 产品描述

门型	平开木门
总体尺寸	宽度 = 960 mm，高度 = 2090 mm
框架材料	实木和断热铝合金底横梁
玻璃系统	双层中空玻璃，总厚度12.7 mm。
	共 4 个玻璃选项，都采用两层 3 mm 厚的 PPG 玻璃
间隔条类型	Intercept 间隔条，三面丁基胶密封。
玻璃固定方式	使用硅酮密封胶湿法固定
窗格	无
截面	见 第9.5.7节 中的图纸。

9.5.2. 玻璃选项集

表9-24 显示了本例的实木平开门建模所用的玻璃选项集。

表 9-24：平开木门的玻璃选项集

	玻璃选项，总厚度：12.7 mm	**窗格选项**	**玻璃制造商**
1	透明(3 mm)，空气，透明(3 mm)	不建模	PPG
2	透明(3 mm)，95%氩气，透明(3 mm)	不建模	PPG
3	Low-e(3 mm)，空气，透明(3 mm)	不建模	PPG
4	Low-e(3 mm)，95%氩气，透明(3 mm)	不建模	PPG

9.5.3. 玻璃中心 U值 的建模（WINDOW）

在 WINDOW 中创建包括 表9-24 玻璃选项集中的所有玻璃系统。下图显示了WINDOW Glazing System Library（玻璃系统库）中的玻璃系统记录。

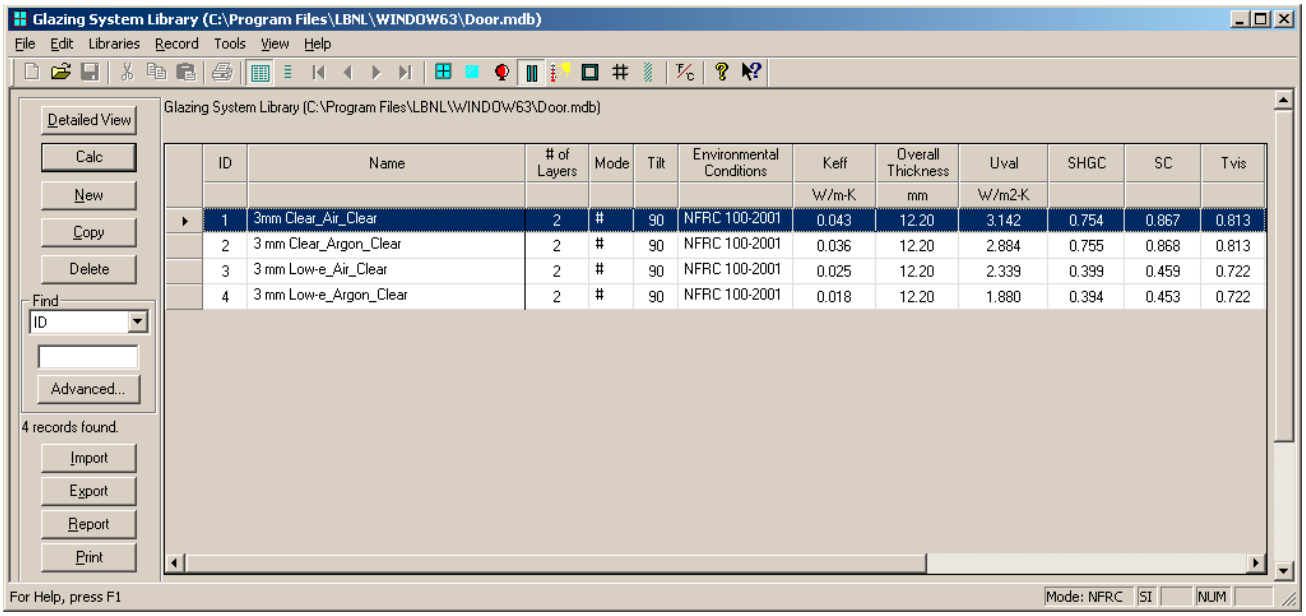


图 9-43：WINDOW Glazing System Library 中的玻璃选项集

玻璃中心的 U值 计算结果如下表所示：

表 9-25：从WINDOW中得到的玻璃选项集的中心U值计算结果

	玻璃选项 **（总厚度 12.7 mm）**	**玻璃中心 U值** **W/(m^2 · K)**
1	透明(3 mm)，空气，透明(3 mm)	3.14238
2	透明(3 mm)，95%氩气，透明(3 mm)	2.88406
3	Low-e(3 mm)，空气，透明(3 mm)	2.33880
4	Low-e(3 mm)，95%氩气，透明(3 mm)	1.87978

这些U值将与THERM提供的Edge和Frame U值一起使用，以计算第9.5.6节中门的总U值(请注意，此处包含五位有效数字，因为这些数值将输入电子表格以计算总U值。但根据ANSI/NFRC100和200的要求，在计算最终结果时，需保留六位小数，并四舍五入至两位小数用于评级)

9.5.4. 框架和玻璃边缘 U值 的建模（THERM）

对于不透明的六板门，至少需要建 6 个截面模型。对于不带通风的玻璃入户门系统，最多需要建 11 个截面模型，而对于带通风的玻璃入户门系统，则还需要建更多的截面模型。下面列举的是不带通风的玻璃入户门系统所需建模的截面：

- 顶横梁
- 带锁的边立柱
- 带铰链的边立柱
- 底横梁
- 板边缘
- 板芯
- 门芯
- 门玻璃顶横梁
- 门玻璃底横梁
- 门玻璃上带锁的边立柱
- 门玻璃上带铰链的边立柱

本例中的门有两个截面相同的边立柱，所以只需要一个边立柱模型。

对于有些带多块玻璃的门，由于门玻璃的框架也是不相同的，因此还需要建更多个截面模型（每块门玻璃的框架都需要建）。为了让程序自动计算添加的玻璃选项，可以使用玻璃选项 #1 为每个门玻璃框架创建一个基础文件，再在 Glazing System Options 对话框中添加剩余得玻璃选项，如 图9-44 所示。当基础文件完成计算后，添加的门玻璃选项都将被自动创建。

WINDOW 无法识别 Frame，Edge，None 以外的任何其它 U值标签。如果直接把框架截面的 THERM 文件导入到 WINDOW 中，并且在室内边界条件中使用了这三项以外的 U值标签，那么 WINDOW 将不能正常地进行面积加权计算。此外，WINDOW 还无法对门模型中的非透明部分进行面积加权。正因为上述事实，整体门产品的性能值只能采用手算方式获得，通常是将 WINDOW 的玻璃中心结果、THERM 的框架和边缘结果输入到电子表格中，按面积加权公式进行计算。

下表显示了这个示例的文件。

表 9-26：门示例关联的截面文件

截面	DXF 文件名	THERM 文件名
Head 顶横梁	Door-Frame.dxf	HD.thm
Door Core 门芯		DC.thm
Lock & Hinge Jambs 带锁和铰链的边立柱	Door-Frame.dxf	JB.thm
Sill底横梁	Door-Sill.dxf	SL.thm
Panel Edge 板边缘	Door-Panel Edge.dxf	PE.thm
Panel Core 板芯		PC.thm
Door Lite Sill Base Case 门玻璃底横梁（基础文件）	Door-Lite.dxf	LT-SL.thm
Door Lite Head Base Case 门玻璃顶横梁（基础文件）	Door-Lite.dxf	LT-HD.thm
Door Lite Jamb Base Case 门玻璃边立柱（基础文件）	Door-Lite.dxf	LT-JB.thm
Door Lite Sill Option 1 门玻璃底横梁（玻璃选项1）		LT-SL_001.thm
Door Lite Head Option 1 门玻璃顶横梁（玻璃选项1）		LT-HD_001.thm
Door Lite Jamb Option 1 门玻璃边立柱（玻璃选项1）		LT-JB_001.thm
Door Lite Sill Option 2 门玻璃底横梁（玻璃选项2）		LT-SL_002.thm
Door Lite Head Option 2 门玻璃顶横梁（玻璃选项2）		LT-HD_002.thm
Door Lite Jamb Option 2 门玻璃边立柱（玻璃选项2）		LT-JB_002.thm

Door Lite Sill Option 3 门玻璃底横梁（玻璃选项3）		LT-SL_003.thm
Door Lite Head Option 3 门玻璃顶横梁（玻璃选项3）		LT-HD_003.thm
Door Lite Jamb Option 3 门玻璃边立柱（玻璃选项3）		LT-JB_003.thm
Door Lite Sill Option 4 门玻璃底横梁（玻璃选项4）		LT-SL_004.thm
Door Lite Head Option 4 门玻璃顶横梁（玻璃选项4）		LT-HD_004.thm
Door Lite Jamb Option 4 门玻璃边立柱（玻璃选项4）		LT-JB_004.thm

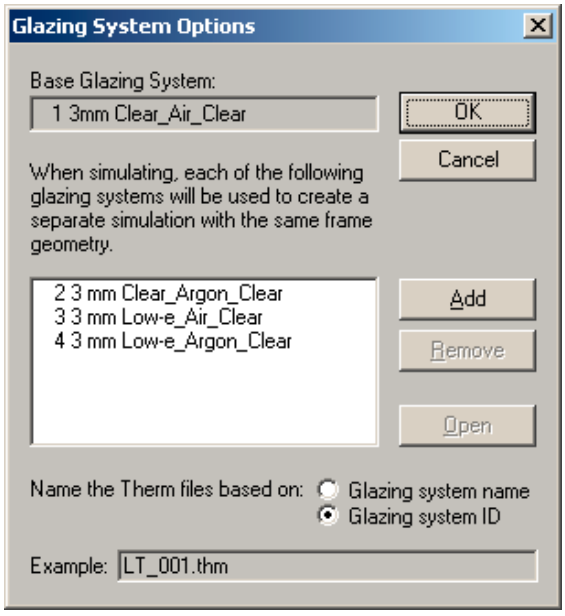


图 9-44：门玻璃框架模型中的玻璃选项

下表显示了实木平开门截面的 U值。

表 9-27：实木平开门截面的THERM结果

截面	**Frame U值** **W/(m² · K)**	**Edge U值** **W/(m² · K)**
Head 顶横梁	1.9355	不适用
Jamb 边立柱	1.9840	不适用
Sill 底横梁	2.3649	不适用
Door Core 门芯	2.0512	不适用
Panel Edge 板边缘	2.7592	不适用
Panel Core 板芯	2.5843	不适用
Door Lite Sill Option 1 门玻璃底横梁 选项1	2.8372	3.2705
Door Lite Sill Option 2 门玻璃底横梁 选项2	2.8217	3.0615
Door Lite Sill Option 3 门玻璃底横梁 选项3	2.7911	2.6284
Door Lite Sill Option 4 门玻璃底横梁 选项4	2.7675	2.2718
Door Lite Head Option 1 门玻璃顶横梁 选项1	2.8375	3.2705
Door Lite Head Option 2 门玻璃顶横梁 选项2	2.8219	3.0613
Door Lite Head Option 3 门玻璃顶横梁 选项3	2.7914	2.6281
Door Lite Head Option 4 门玻璃顶横梁 选项4	2.7677	2.2715
Door Lite Jamb Option 1 门玻璃边立柱 选项1	2.8372	3.2705
Door Lite Jamb Option 2 门玻璃边立柱 选项2	2.8217	3.0615
Door Lite Jamb Option 3 门玻璃边立柱 选项3	2.7911	2.6284
Door Lite Jamb Option 4 门玻璃边立柱 选项4	2.7675	2.2718

下表显示了每个截面 Frame 和 Edge 的尺寸，之后计算整体产品的 U值 时需要用到。

表9-28：Frame和Edge的尺寸

截面	**Frame 框架高度 (mm)**	**Edge 边缘高度 (mm)**
Head 顶横梁	22.225	63.500
Jamb 边立柱	22.225	63.500
Sill 底横梁	39.696	63.500
Door Core 门芯	不适用	不适用
Panel Edge 板边缘	25.400	76.597
Panel Core 板芯	不适用	不适用
Door Lite 门玻璃	42.063	63.500

图9-45 到 图9-53 显示了该门的 THERM 截面和 U值 计算结果。

Sill（底横梁）

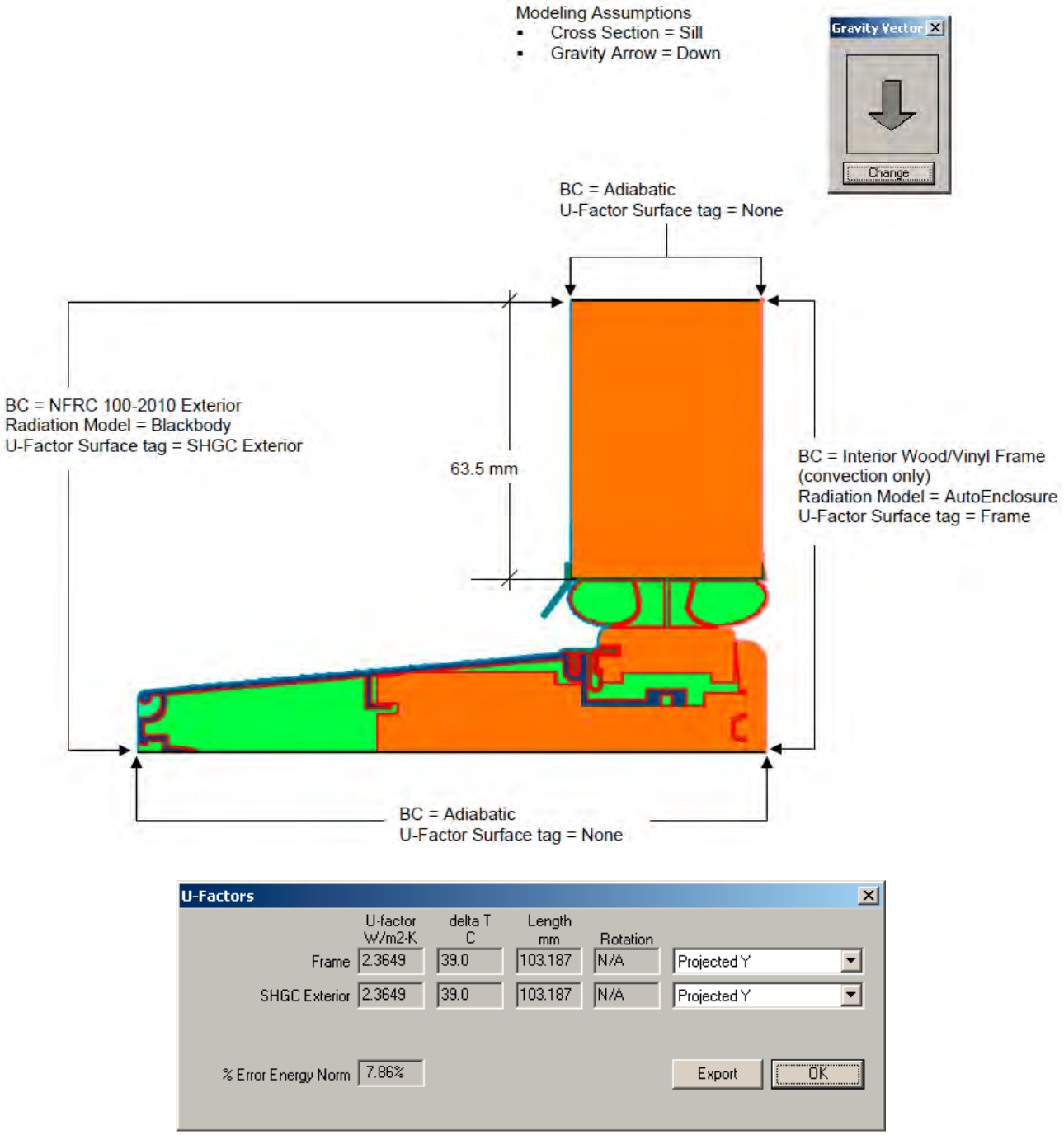


图 9-45：Sill截面模型及U值计算结果

Jamb（边立柱）

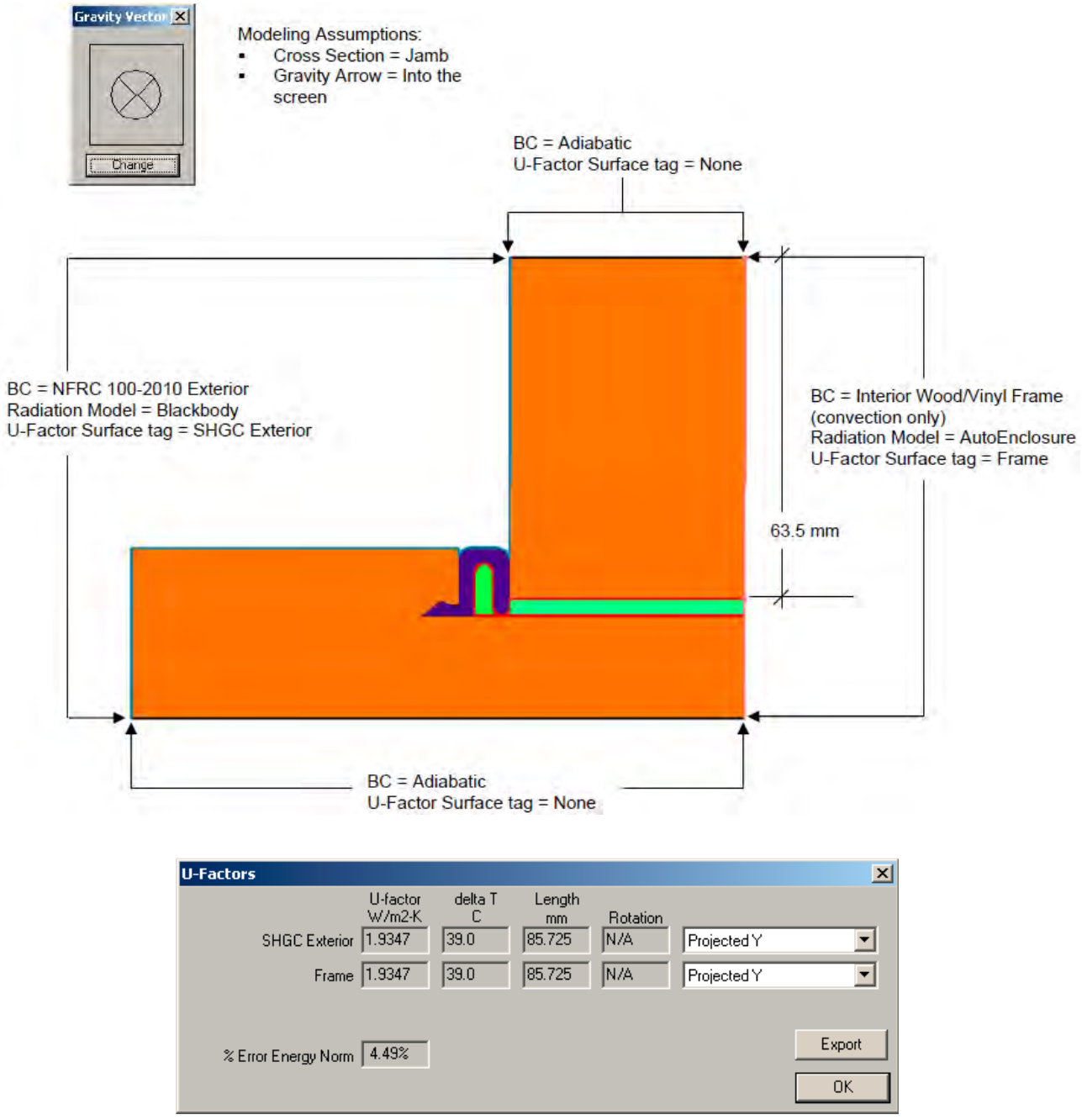


图 9-46：Jamb截面模型及U值计算结果

Head（顶横梁）

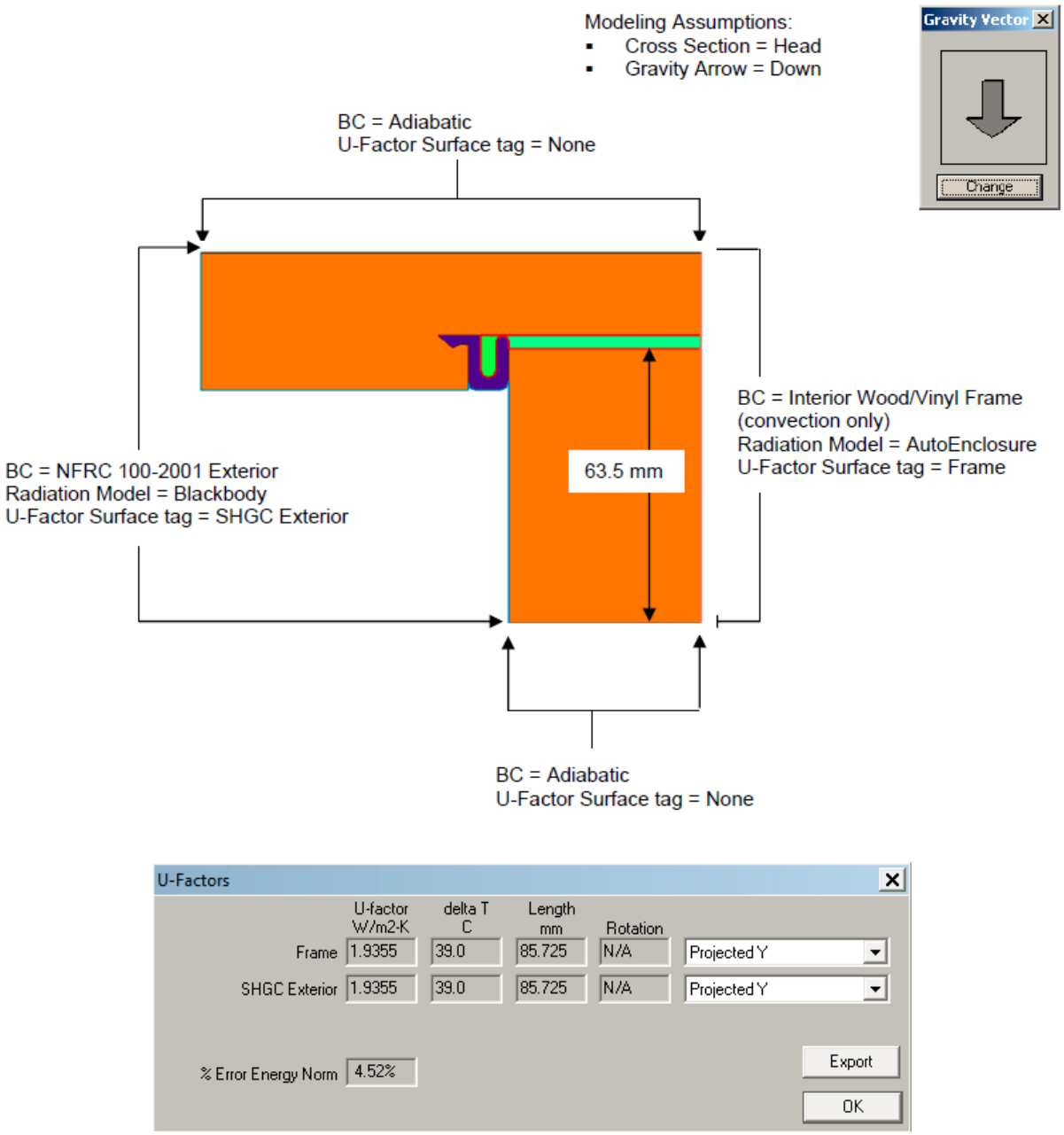
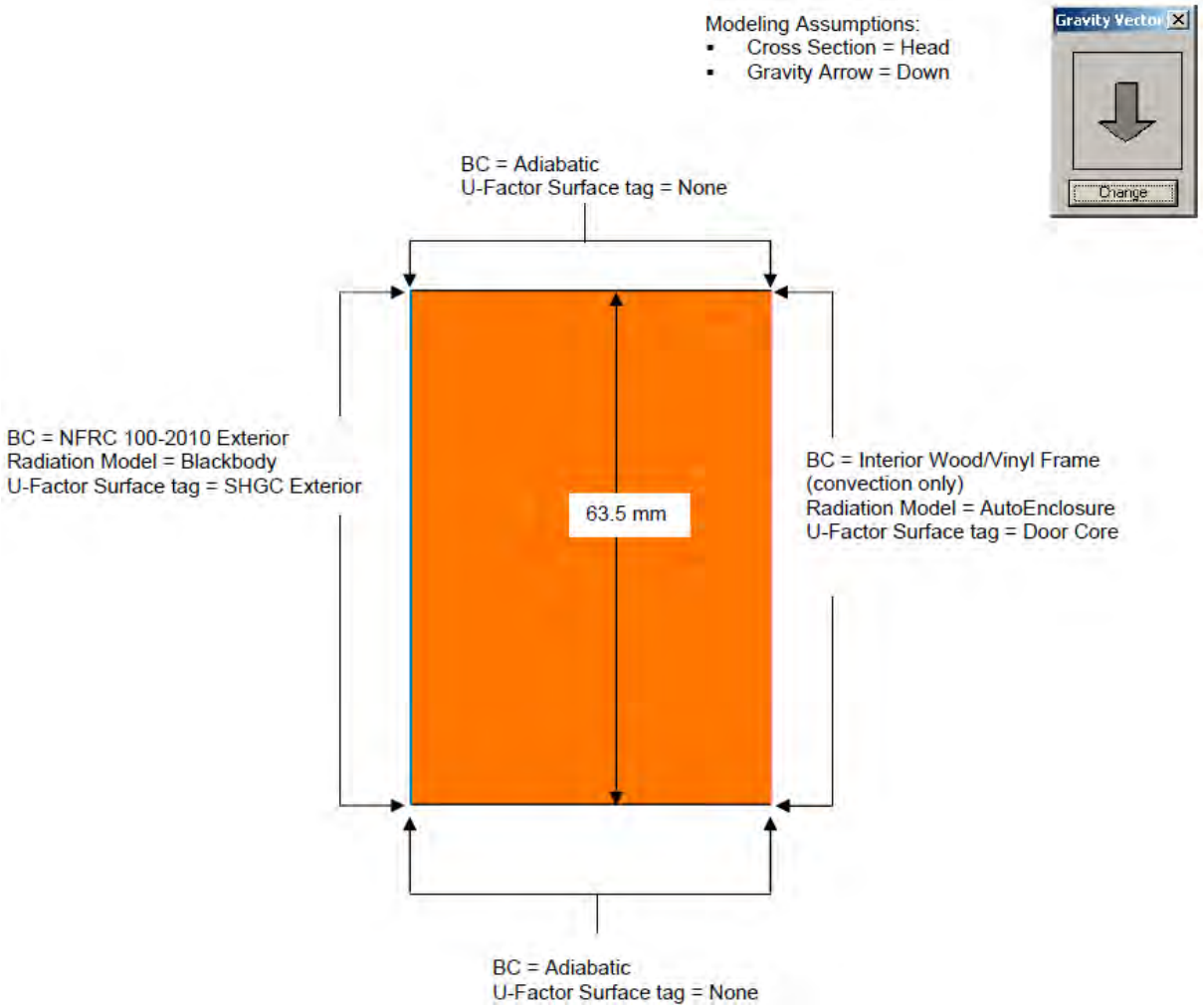


图 9-47：Head截面模型及U值计算结果

Door Core（门芯）



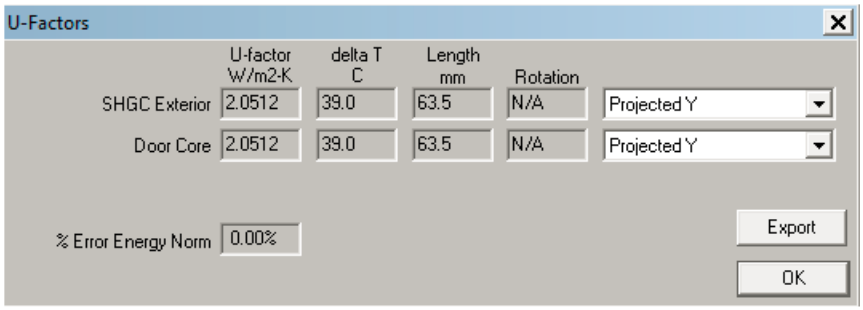


图 9-48：Door Core截面模型及U值计算结果

Panel Edge（板边缘）

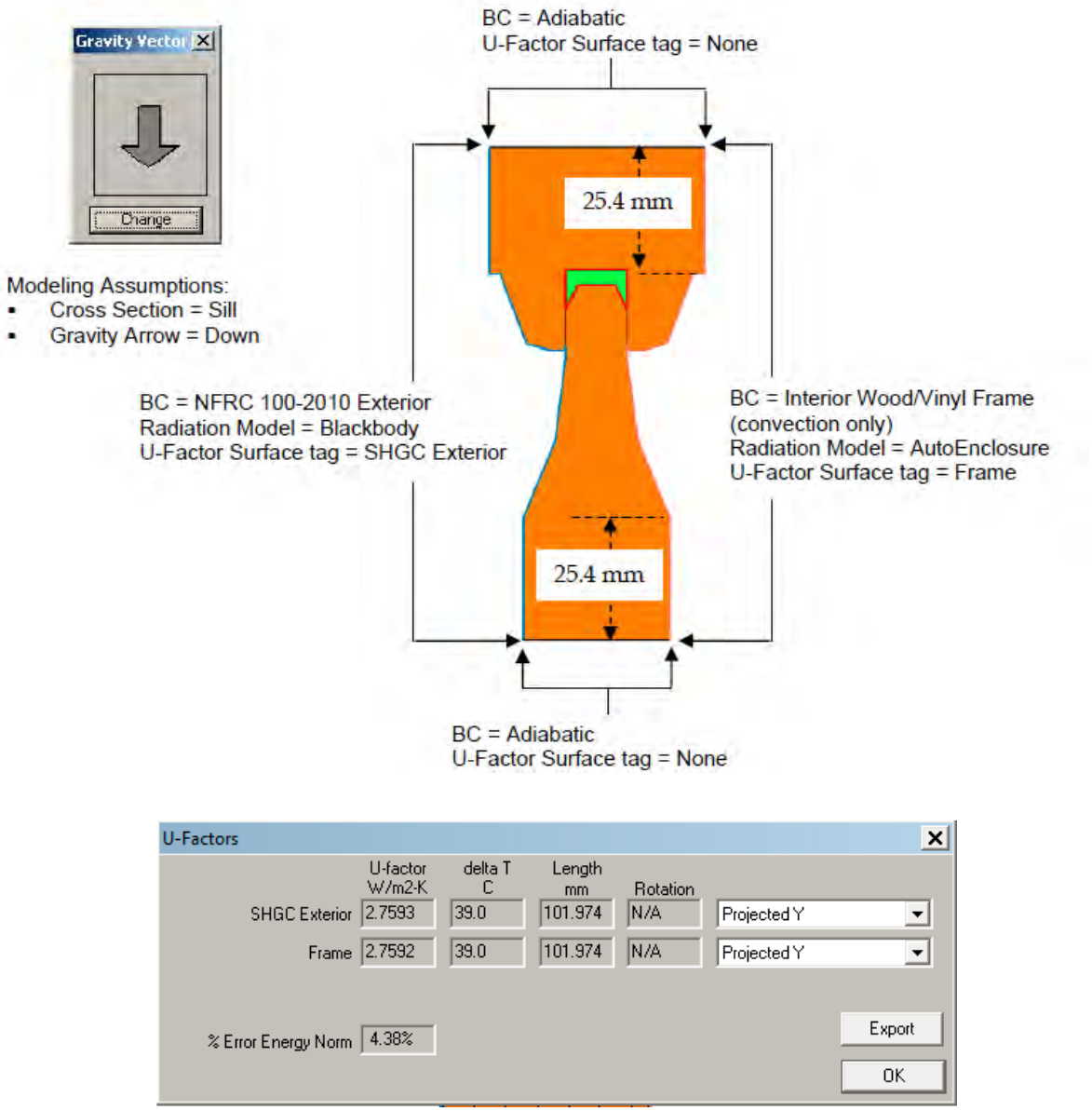
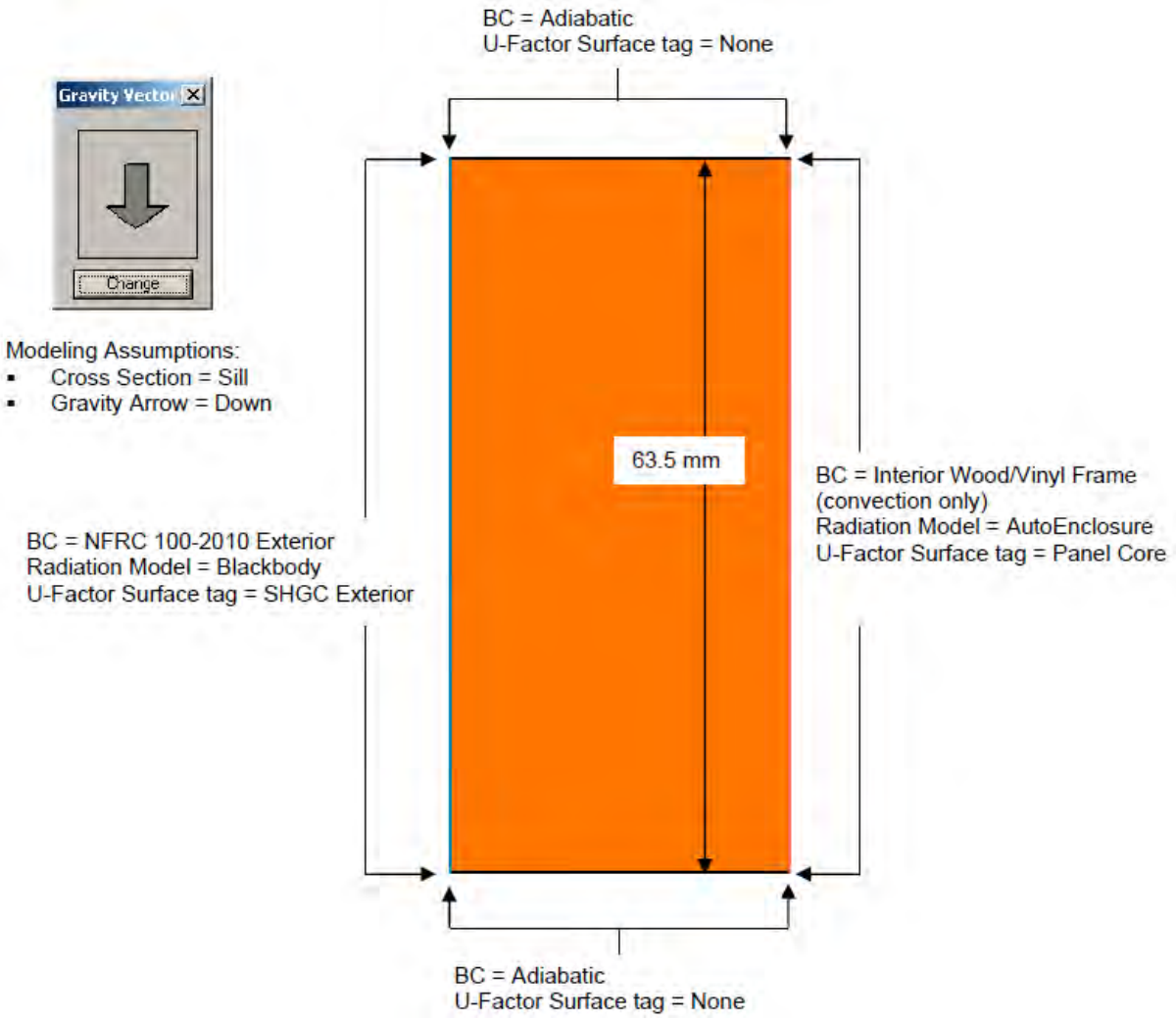


图 9-49：Panel Edge截面模型及U值计算结果

Panel Core（板芯）



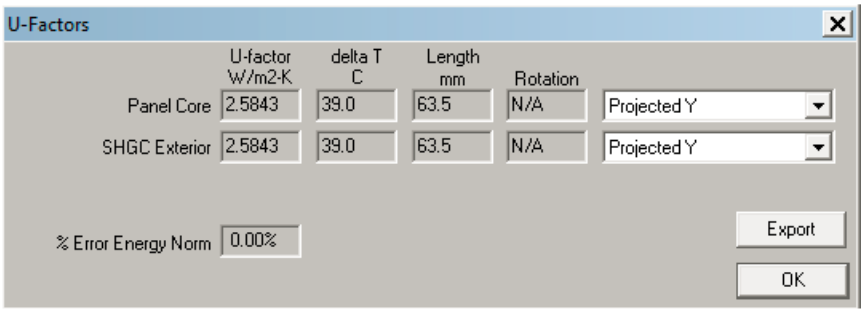
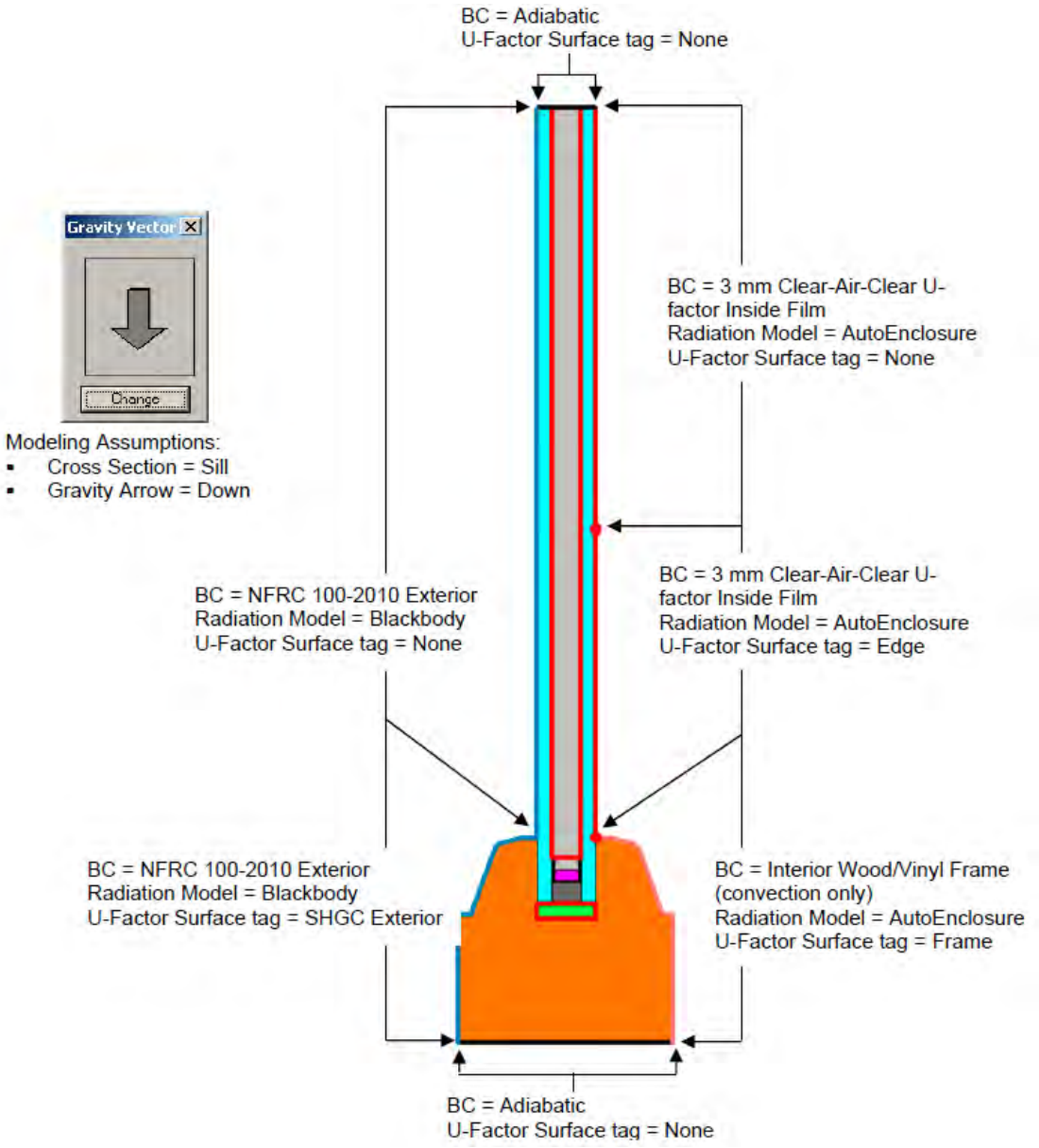


图 9-50：Panel Core截面模型及U值计算结果

Door Lite - Sill（门玻璃-底横梁）



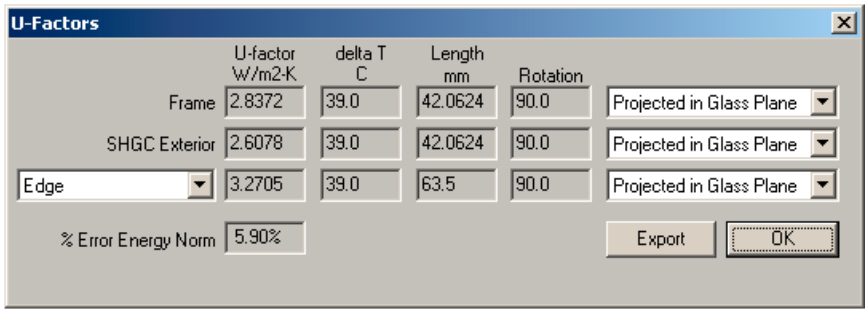
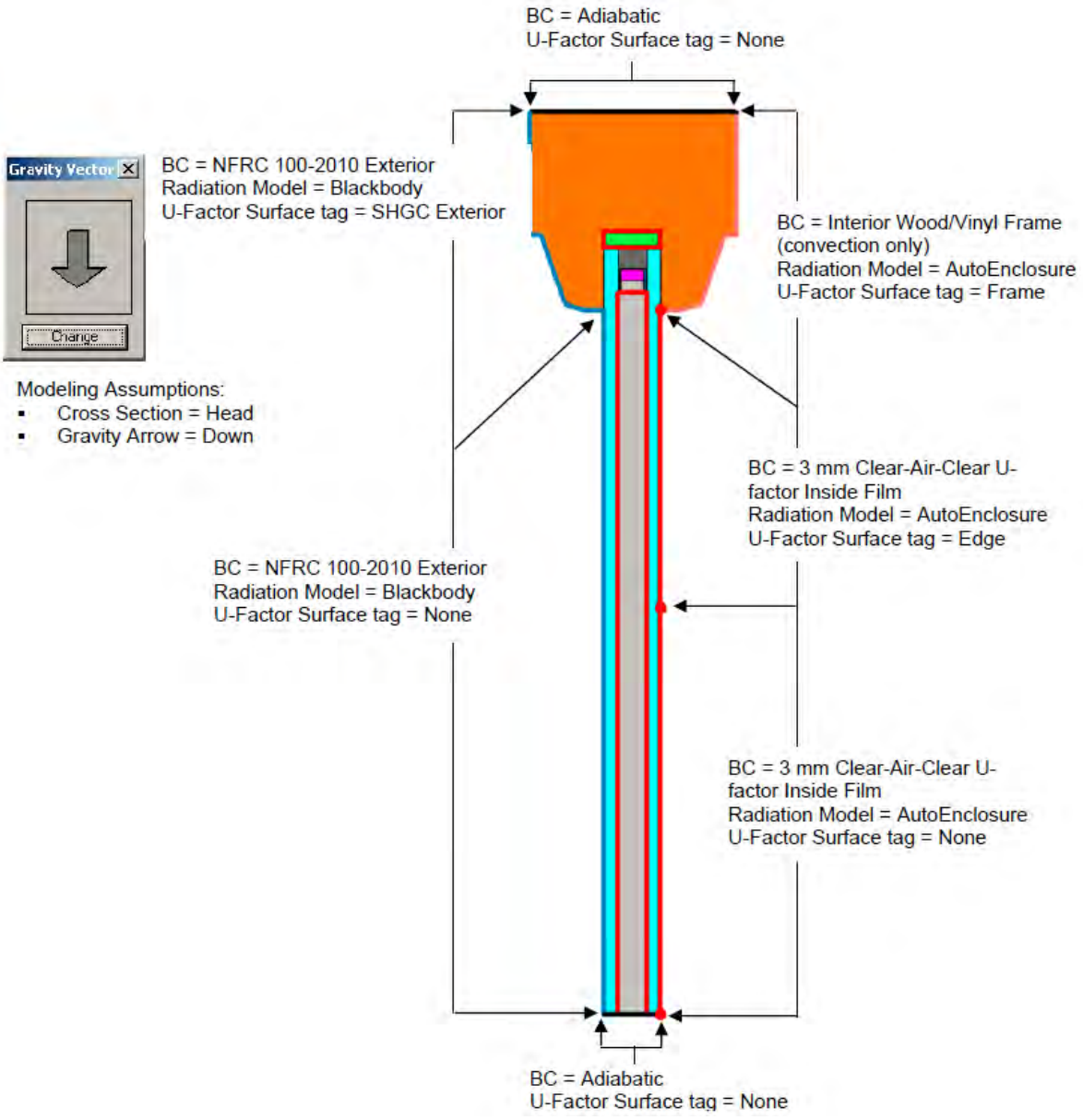


图 9-51：Door Lite-Sill截面模型及U值计算结果

Door Lite - Head（门玻璃-顶横梁）



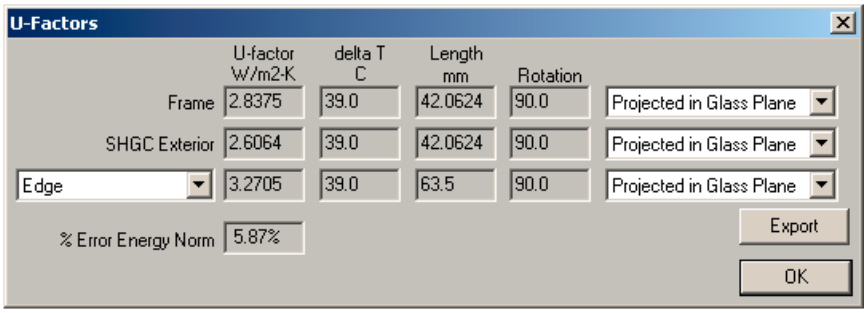
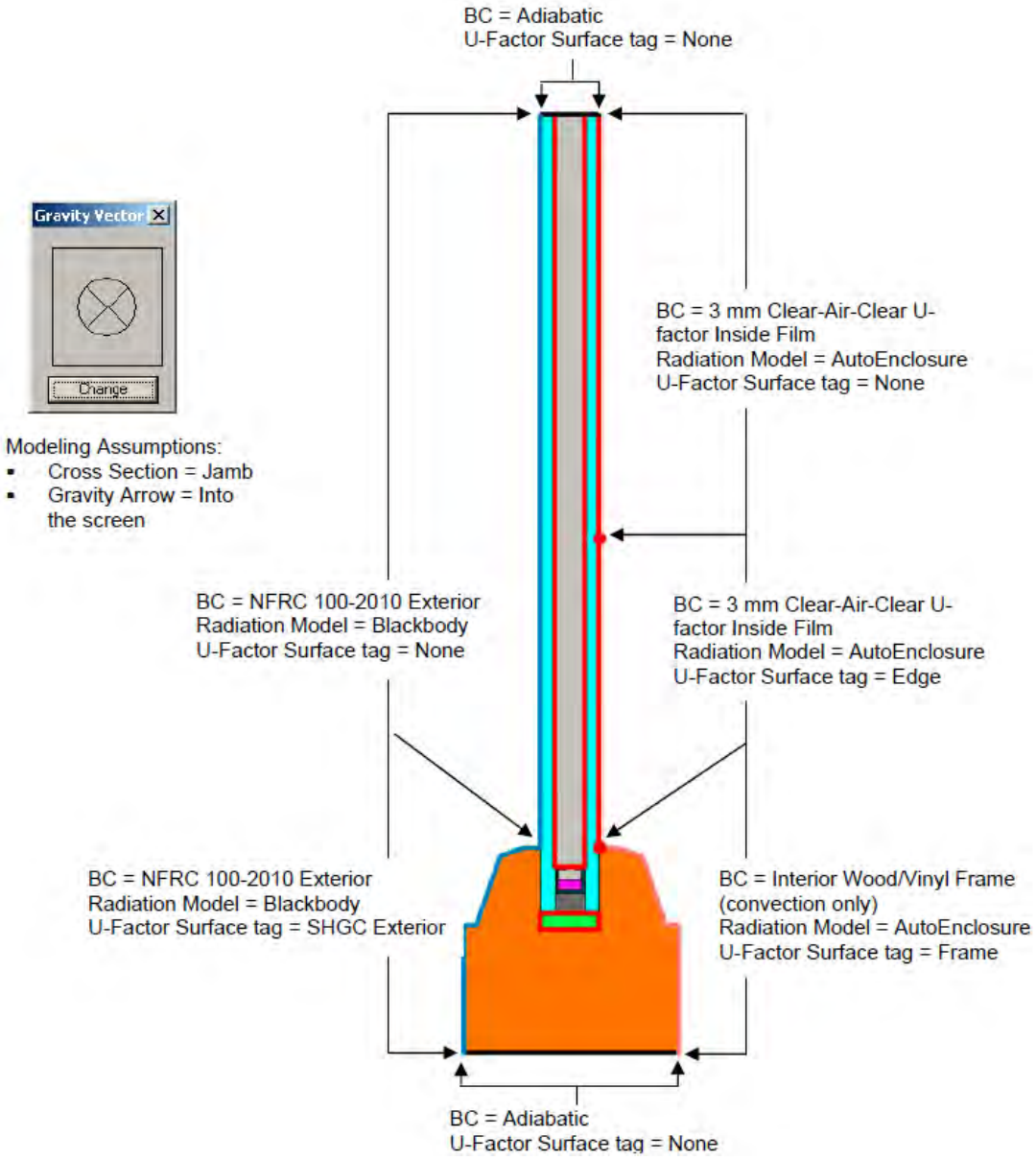


图 9-52：Door Lite-Head截面模型及U值计算结果

Door Lite - Jamb（门玻璃-边立柱）



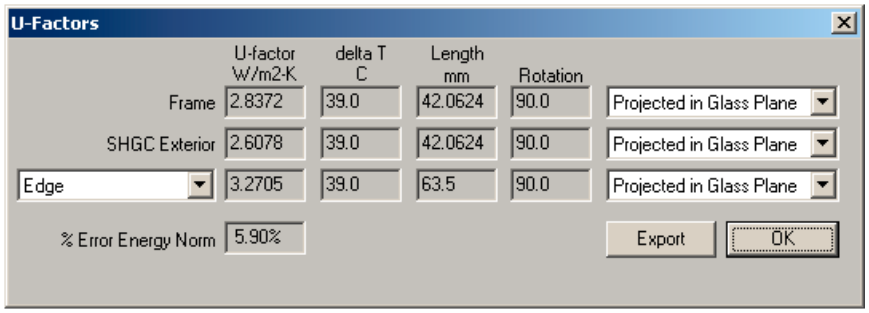


图 9-53：Door Lite-Jamb截面模型及U值计算结果

9.5.5. 整体产品 U值、SHGC 和 VT 的计算

由于 WINDOW 无法对门模型中的非透明部分进行面积加权，并且不能从带有 Frame、Edge 和 None 以外 U值标签 的 THERM 文件中读取结果，因此，不像窗类产品可以使用 WINDOW 调用玻璃中心结果和 THERM 的框架和边缘结果自动进行面积加权，门产品只能将上述局部结果输入到电子表格进行 U值、SHGC、VT值 的手算。并且由于使用电子表格进行计算超出了本手册的范围，因此不包含在本例中。不过，用户可从 NFRC 的官网（www.nfrc.org）获取实木、钢蒙皮和玻纤蒙皮等入户门计算的标准电子表格，关于该电子表格的使用说明不包含在本手册中。

9.5.6. 实木平开门的图纸

以下内容包含本示例实木平开门的立面及细部图纸（单位：英寸）。

带玻璃的实木平开门（立面）

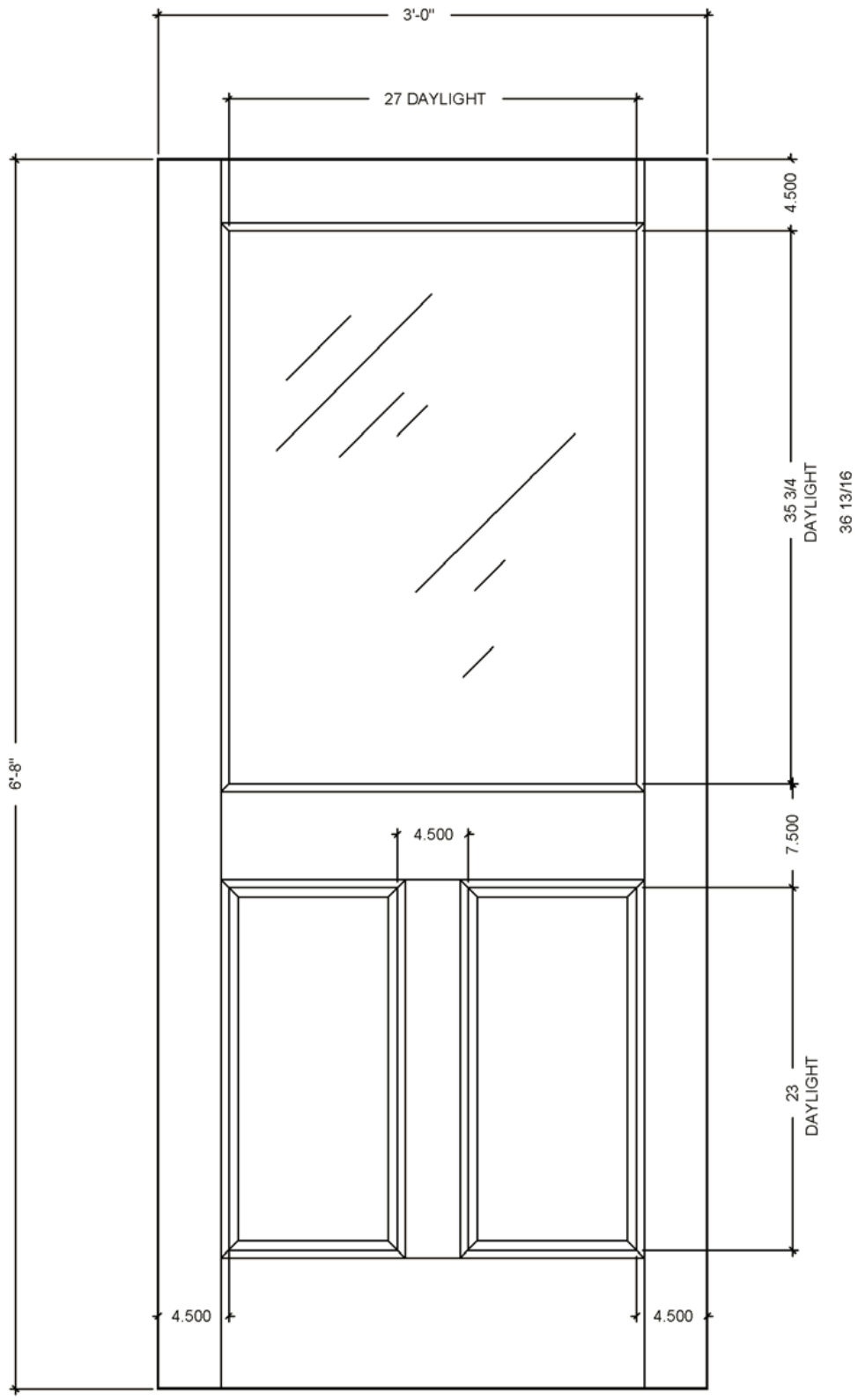


图 9-54：带玻璃的实木平开门立面

带玻璃的实木平开门（竖剖）

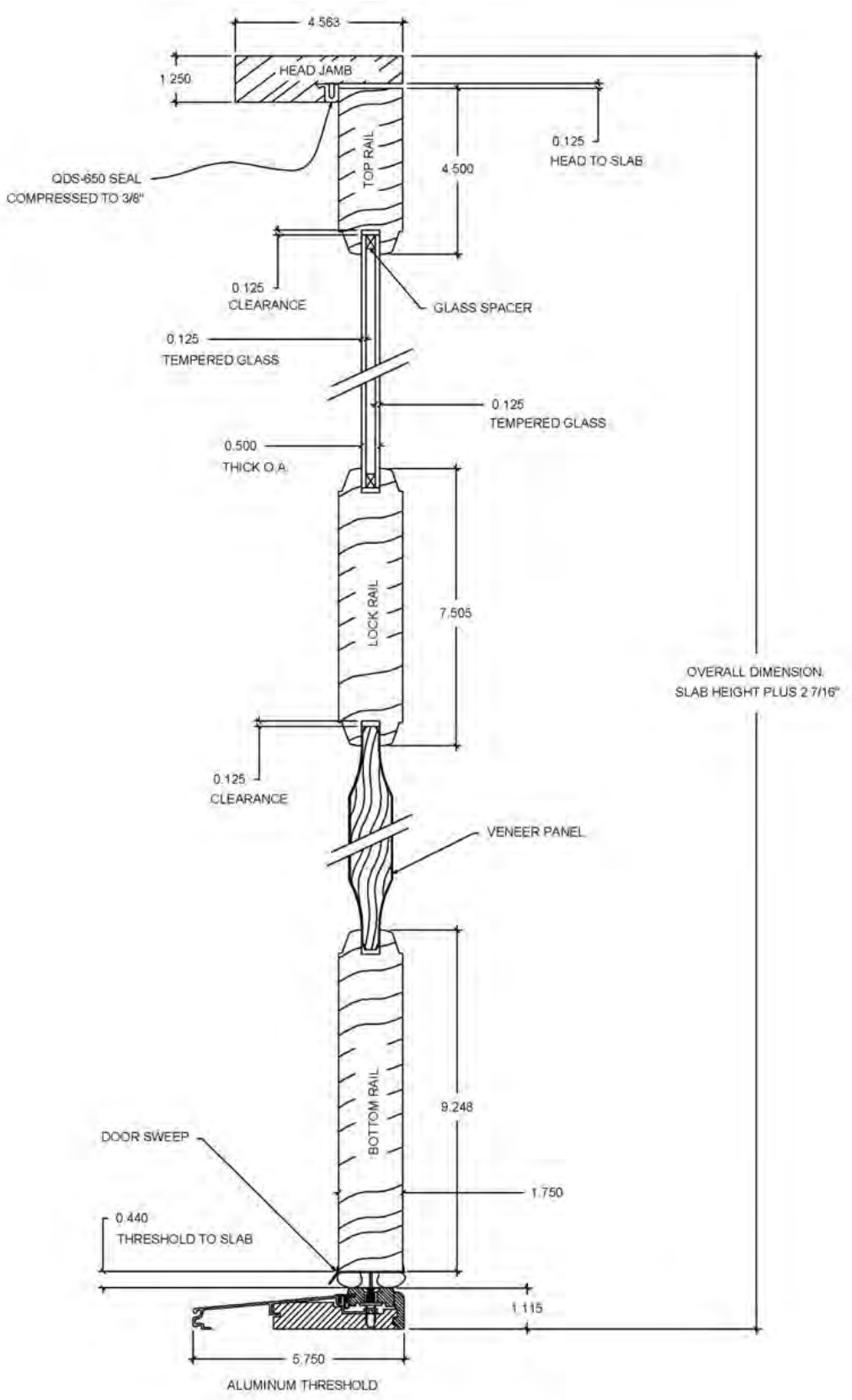
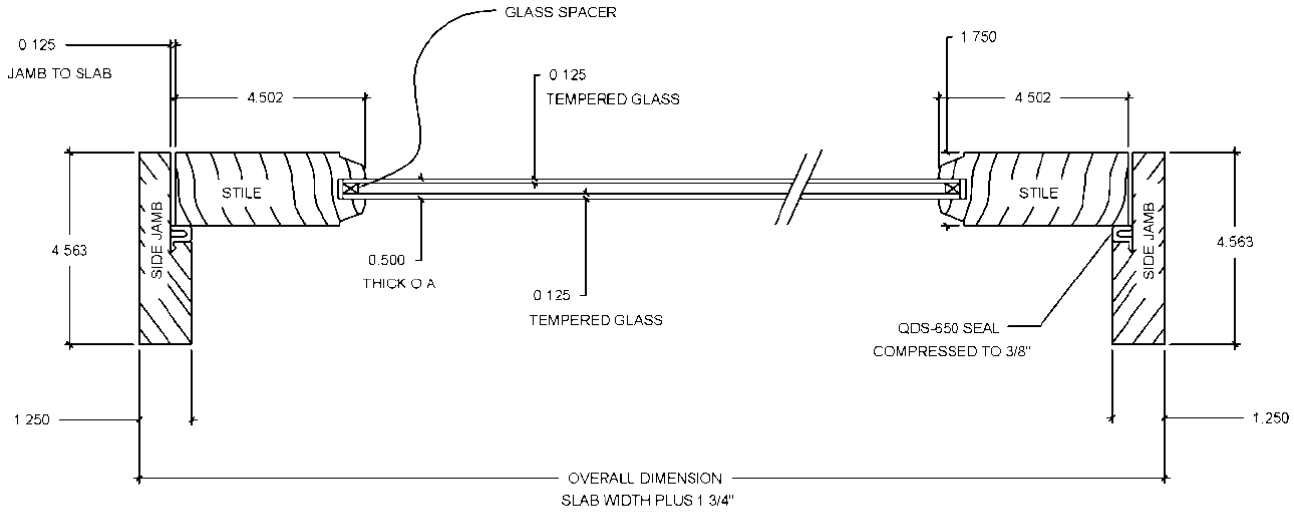


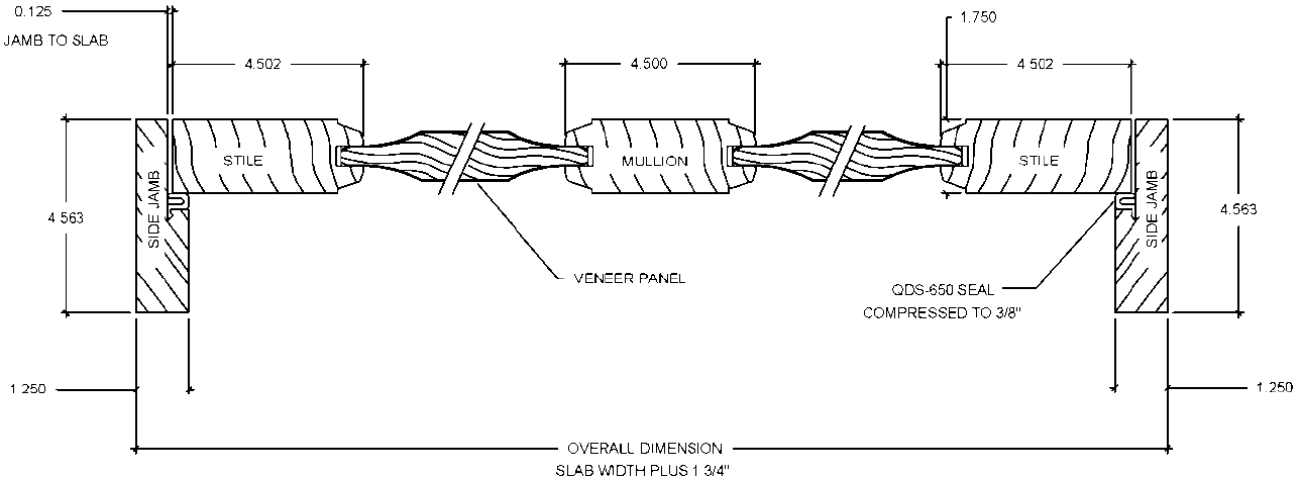
图 9-55：带玻璃的实木平开门竖剖

带玻璃的实木平开门（横剖）



UPPER HORIZONTAL CROSS SECTION

上部水平剖面图



LOWER HORIZONTAL CROSS SECTION

下部水平剖面图

图 9-56：带玻璃的实木平开门横剖

Sill（底横梁）

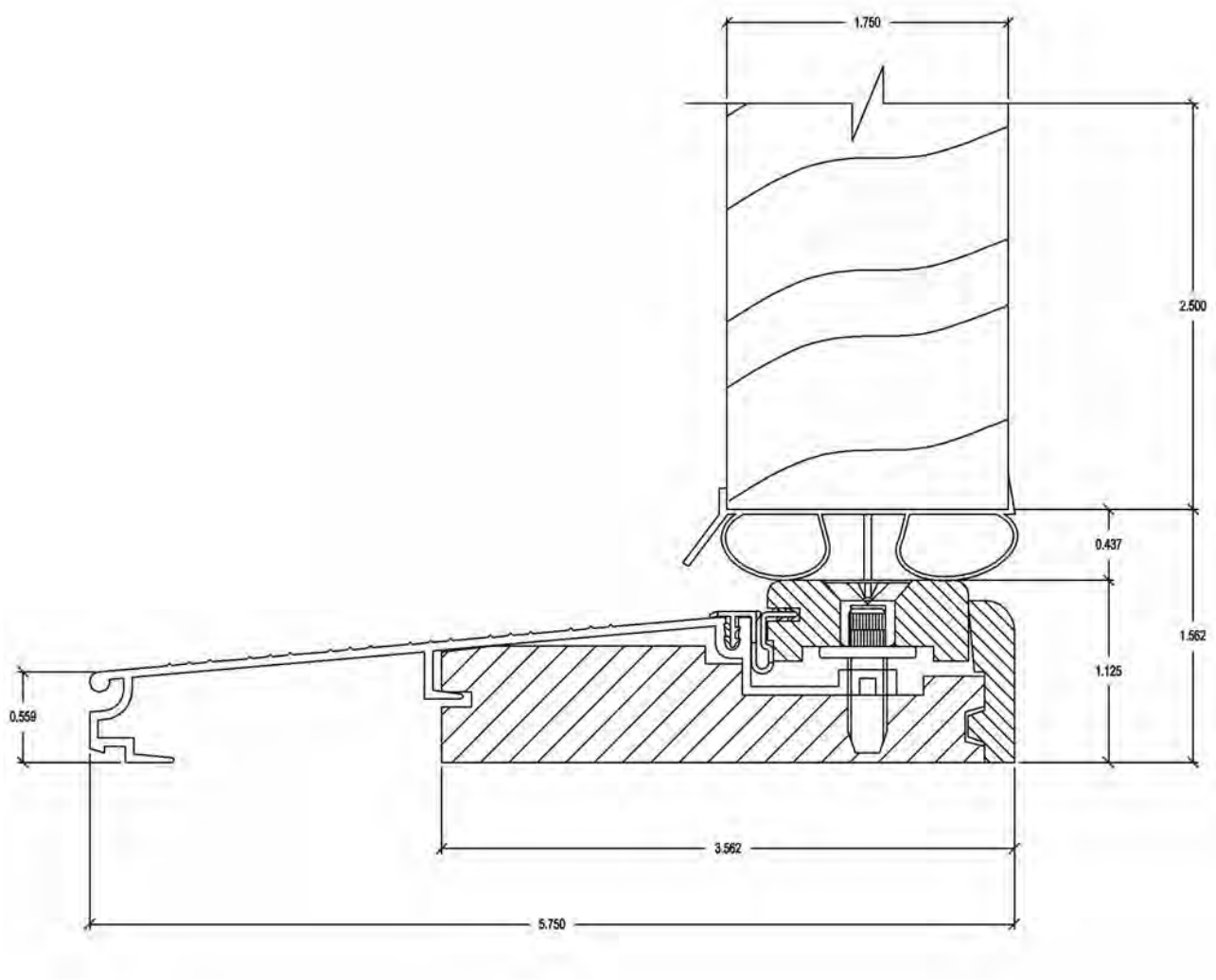


图 9-57：带尺寸标注的图纸(Sill)

Jamb（边立柱）

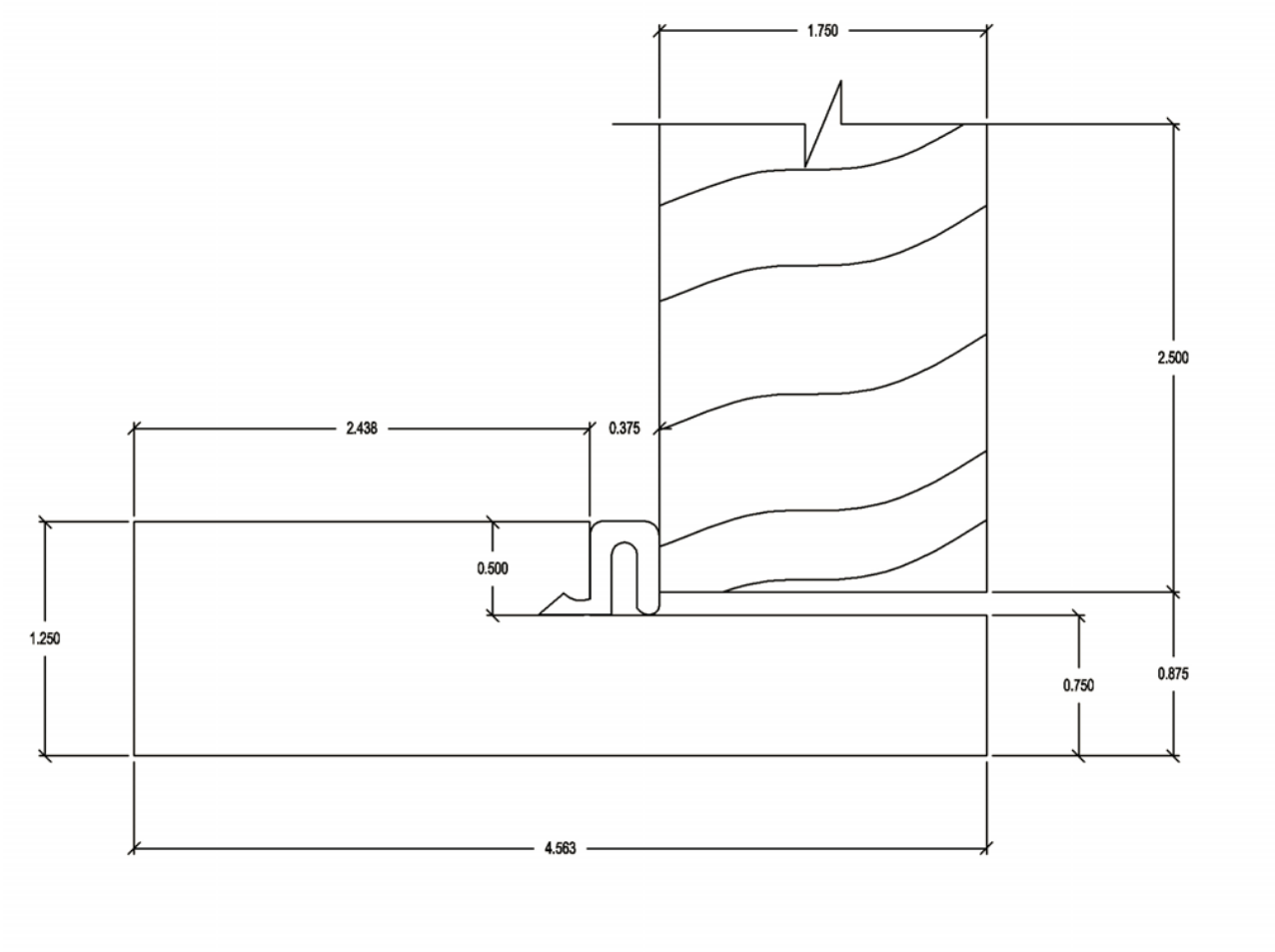


图 9-58：带尺寸标注的图纸(Jamb)

Head（顶横梁）

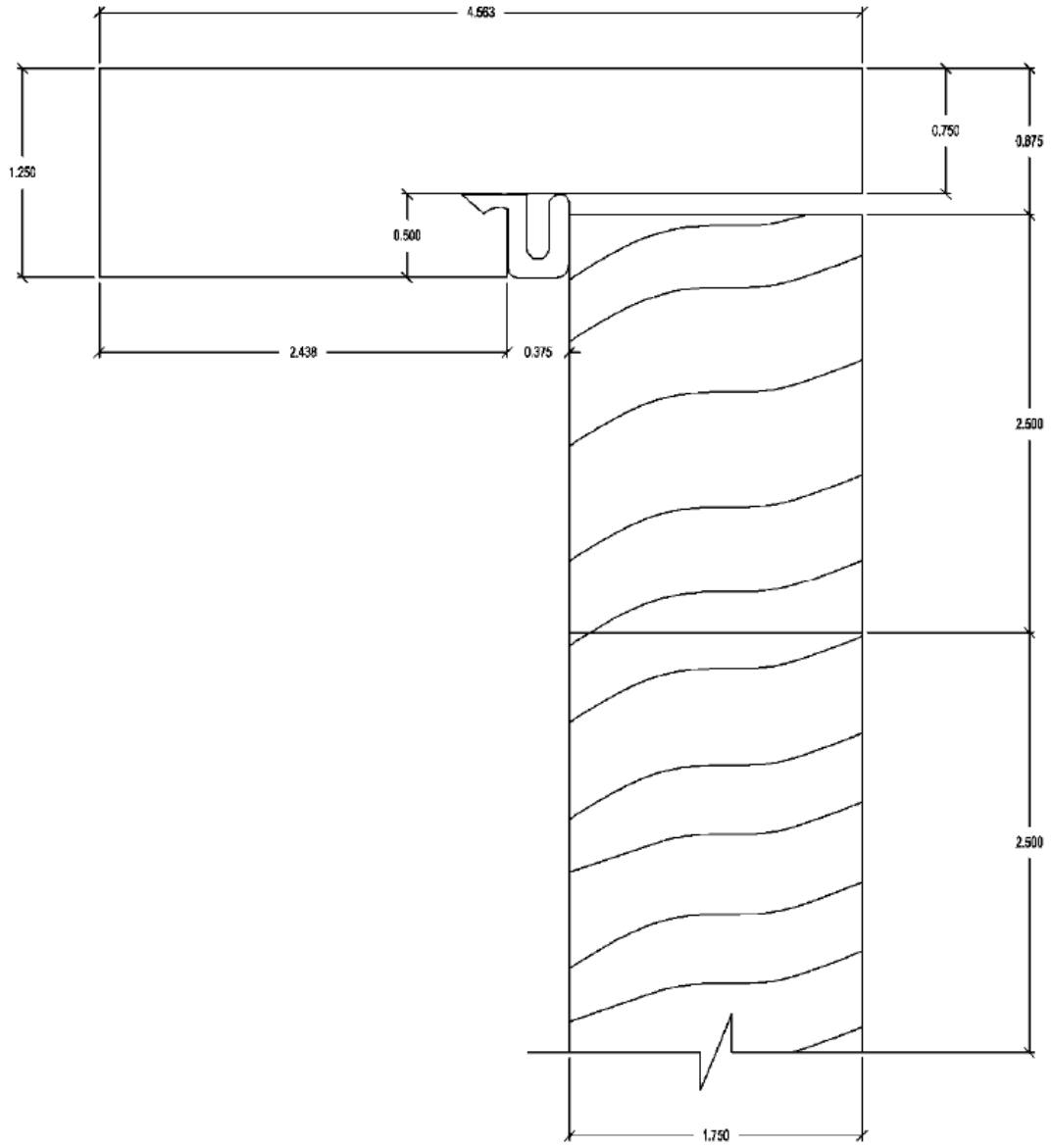


图 9-59：带尺寸标注的图纸(Head)

Panel Edge（板边缘）

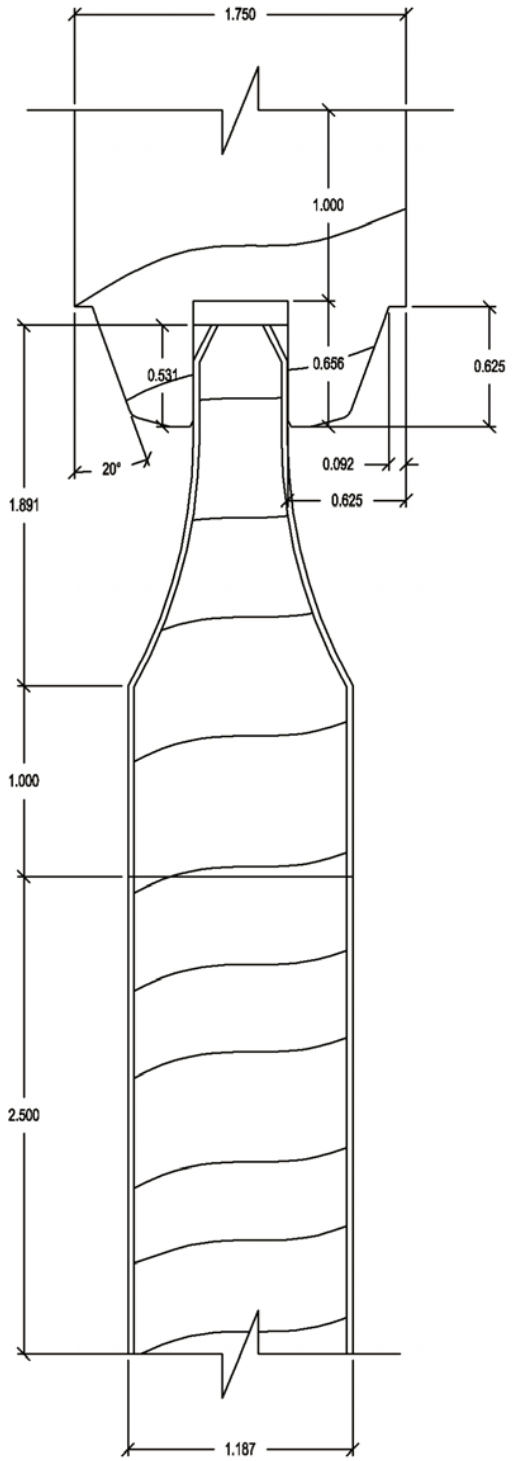


图 9-60：带尺寸标注的图纸(Panel Edge)

Door Lite（门玻璃）

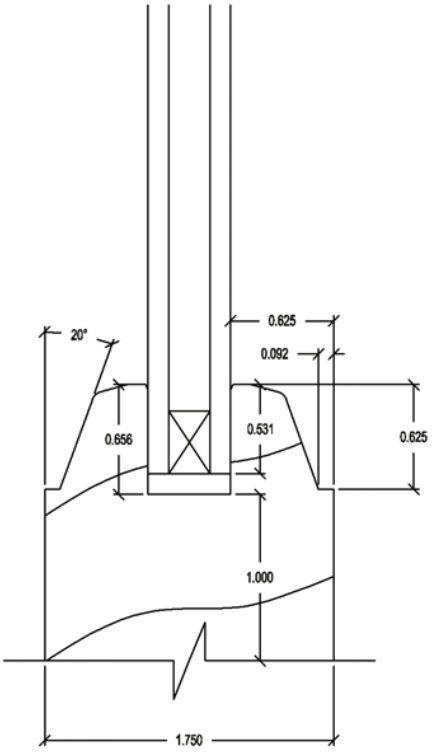


图 9-61：带尺寸标注的图纸(Door Lite)

Spacer（间隔条）

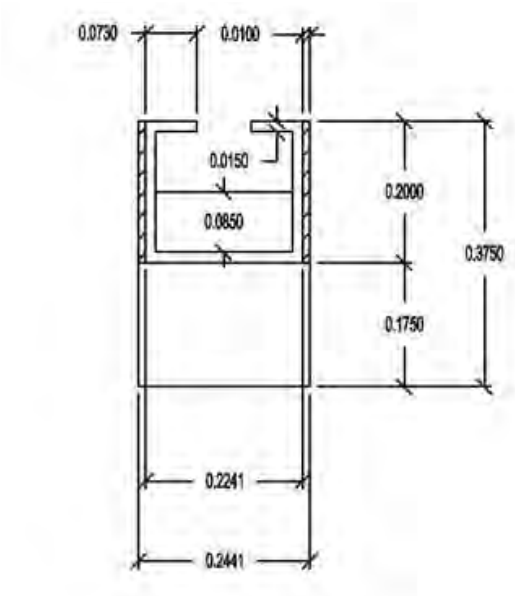


图 9-62：带尺寸标注的图纸(Spacer)

10. 鸣谢

鸣谢：

Robin Mitchell，Christian Kohler，Dragan Curcija，

Ling Zhu，Simon Vidanovic，Stephen Czarnecki，Dariush Arasteh

窗和采光小组，建筑技术部门，环境能源技术司，劳伦斯伯克利国家实验室

John Carmody

明尼苏达大学建筑和园林学院

Charlie Huizenga

加州大学环境设计研究中心

LBNL 和 NFRC 真诚地感谢为本手册提供产品数据及图纸的门窗幕墙制造商们，感谢本手册先前版本的贡献者们，感谢 Jeff Baker，Marles McDonald，Marcia Falke，Randy Van Voorst，Ross DePaola，Bipin Shah，Dennis Anderson，Scott Hanlon，Christopher Anderson，Lucas Turner 和 Stephanie Skoglund 为本手册撰写了相关章节并审查草稿版本，还要感谢贡献了宝贵意见和建议的 NFRC 社区成员。

附录 A. 《ISO 15099》在《ANSI / NFRC 100》和《ANSI / NFRC 200》中的应用

基于最新《ISO 15099》标准文件，NFRC 编制了关于“使用软件建模计算 U值 和 SHGC 的方法”的相关标准文件，分别是 《ANSI / NFRC 100》 和 《ANSI / NFRC 200》。在某些情况下，《ISO 15099》建议各个国家需要有具体的实施细则；而在其它情况下，《ISO 15099》标准文件提供了两种选择供用户自行选择。本文件阐明了具体实施过程中，NFRC 认可的软件和算法：

1） 第4.1节：关于整体产品的 U值 计算，《ISO 15099》提供了两种算法供选择：线传热系数方法（4.1.2）和面积加权方法（4.1.3）。NFRC 确定使用后者，即要求按面积加权方法（4.1.3）计算整体产品的 U值。

2） 框架和窗格的 SHGC值 计算应按照 第4.2.3节，而不是 第8.6节 中的替代方法。注：目前的研究旨在评估哪种方法更准确，今后可能会对相关标准文件和方法进行修订。

3） 第6.4节 参考了符合国家标准的材料性能。材料的导热系数和发射率应根据 《NFRC 101: 确定用于 NFRC 批准软件中材料热工特性的方法》

4） 第7节 关于遮阳系统的内容，目前已被 NFRC 移除。

5） 第8.2节 涉及环境条件，NFRC 的定义如下：

对于 U值 计算：

T_{in} = 21.0 °C

T_{out} = -18.0 °C

V = 5.5 m/s

$T_{rm,out}$ = T_{out}

$T_{rm,in}$ = T_{in}

I_s = 0 W/m^2

对于 SHGC 计算：

T_{in} = 24.0 °C

T_{out} = 32.0 °C

V = 2.75 m/s

$T_{rm,out}$ = T_{out}

$T_{rm,in}$ = T_{in}

I_s = 783 W/m^2

6） 第8.3节 主要介绍门窗的室内外对流换热系数。第8.3.1节 规定，对于 NFRC 认证建模，应使用基于玻璃中心温度和整窗高度的对流换热系数，并将该换热系数用于所有玻璃及其边缘的室内表面；框架截面的室内对流换热系数是与框架材料类型相关的常数，这些常数的算法应遵照《ISO 15099》，并根据具有代表性的框架材料类型的表面温度来确定，相关内容可在本手册中找到。第8.3.2节 规定了适用于所有暴露于室外表面的对流换热系数公式。

7） 第8.4.2节 给出了两种将自视表面的影响纳入室内辐射传热计算的可能方法。NFRC 应采用第8.4.2.1节中的方法（基于二维“单元到单元”角系数的辐射传热计算）。这也是 NFRC 500-2017 中用于抗结露（CR）计算以及 ANSI/NFRC 500（2020及以后版本）中用于结露指数（CI）评级的参考方法。此外，为了保持一致性和准确性，该方法应适用于所有产品（包括平面产品）的 U 值计算以及 CR 和 CI 计算。采用此方法后，框架表面内侧的微通风或部分通风空腔（参见第6.7.1节）的使用就显得多余了。因此，上述第6)条中提到的标准框架对流传热系数（h_c）将适用于所有框架内侧表面。

附录 B. 参考文献

2021 ASHRAE Handbook of Fundamentals（基础手册），美国采暖制冷和空调工程师协会，亚特兰大，佐治亚州

Arasteh, D. K. Finlayson, E. U., and Huizenga, C. 1994. "WINDOW 4.1: A PC Program for Analyzing Window Thermal Performance in Accordance with Standard NFRC Procedures.（WINDOW 4.1: 根据标准 NFRC 程序分析窗热工性能的PC程序）" ，LBL 报告 35298. 伯克利加州分校

ASHRAE 标准文件 142P, Standard Method for Determining and Expressing the Heat Transfer and Total Optical Properties of Fenestration Products, Public Review Draft, October 1996（确定和表达门窗幕墙产品的传热和总光学特性的标准方法，公开审核草案，1996年10月）美国采暖制冷和空调工程师协会，亚特兰大，佐治亚州

Baehmann, P. L. Wittchen, S.L., Shephard, M.S., Grice, K.R. and Yerry, M.A., 1987. “Robust, Geometrically Based, Automatic Two-Dimensional Mesh Generation.（强大的、基于几何的，自动二维网格生成方法）” *International Journal for Numerical Methods in Engineering（国际数值方法杂志）*. 24, 1043 - 1078.

Curcija, D.; Power, J. P.; and Goss, W. P. 1995. "CONRAD: A Finite Element Method Based Computer Program Module for Analyzing 2-D Conductive and Radiative Heat Transfer in Fenestration Systems（CONRAD: 基于有限元法分析门窗幕墙系统中二维传导和辐射传热的计算机程序模块）". 报告草稿，马萨诸塞大学阿默斯特分校

Curcija; D., and Goss, W. P. The 'Variable-h' Model for Improved Prediction of Surface Temperatures in

Fenestration Systems（变量h模型用于改进门窗幕墙系统表面温度预测），报告草稿，1998年6月马萨诸塞大学

Curcija, D. June 20, 2006. “Conrad 5 and Viewer 5 Technical and Programming Documentation（Conrad 5 和 Viewer 5 技术和编程文档）”, Carli, Inc. 马萨诸塞大学阿默斯特分校

Finlayson, E. U., Arasteh, D. K., Huizenga, C., Rubin, and M. D., Reilly, M. S., 1993. "WINDOW 4.0: Documentation of Calculation Procedures.（WINDOW 4.0: 计算程序文档）" LBL 报告 33943. 伯克利加州分校

Finlayson, E.U., Mitchell, R., Arasteh, D., Huizenga, C., Curcija, D. 1998. "THERM 2.0: Program Description, A PC Program for Analyzing the Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products（THERM 2.0: 程序描述，分析建筑产品二维传热的PC程序）". LBL-37371 Rev 2.

George, P.L. *Automatic Mesh Generation, Application to Finite Element Methods（自动网格生成，应用于有限元方法）*. John Wiley & Sons. Pepper, P. W. and Heinrich, J. C. 1992. The Finite Element Method Basic Concepts and Applications（有限元法的基本概念及应用）. Hemisphere Publishing Corporation

（半球出版公司），华盛顿

Carmody, J., Selkowitz, Arasteh, D., S., Heschong, L., *Residential Windows: A Guide to New Technologies and Energy Performance, Second Edition（住宅窗户:新技术和能源性能指南，第二版）*, 2000, W. W. Norton & Company.

Rohsenow, W. M., Harnett, J. P., and Ganic, E. N., 1985. *Handbook of Heat Transfer Fundamentals, 2nd Edition（传热基础手册，第二版）*，麦格劳 • 希尔公司

Shapiro, A. B. 1986. "TOPAZ2D - A Two-Dimensional Finite Element Code for Heat Transfer Analysis, Electrostatic, and Magnetostatic Problems（TOPAZ2D -传热分析、静电和静磁问题的二维有限元代码）" 劳伦斯利弗莫尔国家实验室，报告 UCID-20824.

Shapiro, A. B. 1990. "TOPAZ2D Heat Transfer Code User's Manual and Thermal Property Data Base（TOPAZ2D 传热代码用户手册和热工性能数据库）"，劳伦斯利弗莫尔国家实验室，报告 UCRL-ID-104558, 1990年5月.

Shapiro, A. B., 1983. FACET - A Radiation View Factor Computer Code for Axisymetric, 2D Planar, and 3D Geometries with Shadowing（FACET -轴对称，二维平面和带有阴影的三维几何的辐射视野系数计算机代码），劳伦斯利弗莫尔国家实验室，报告 UCID-19887.

Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Devices - Detailed Calculations（窗，门和遮阳装置的热工性能-详细计算）, ISO/FDIS 15099, ISO TC 163.

Zhao, Y., Curcija, D., and Goss, W. P., 1996, Condensation Resistance Validation Project - Detailed Computer Simulations Using Finite - Element Methods（抗结露验证项目-详细的计算机建模计算使用有限元方法）. 第508-515页, *ASHRAE 论文集,* 第102卷，第二部分.

Zienkiewicz, O. C.; and Taylor, R. L. 1989. *The Finite Element Method（有限元方法）*. 第四版. 第一卷. 麦格劳 • 希尔公司，梅登黑德，英国

Zienkiewicz, O.C. and Zhu, J.Z. 1992a. "The Superconvergent Patch Recovery and A Posteriori Error Estimates. Part 1: The Recovery Technique.（超收敛补丁恢复和后验误差估计，第一部分: 恢复技巧）" *International Journal for Numerical Methods in Engineering（国际工程数值方法杂志）*. 第33卷. 第1331-1364页.

Zienkiewicz, O.C. and Zhu, J.Z., 1992b. "The superconvergent patch recovery and a posteriori error estimates. Part 2: The error estimates and adaptivity. （超收敛补丁恢复和后验误差估计，第2部分: 误差估计和自适应" *International Journal for Numerical Methods in Engineering（国际工程数值方法杂志）*. 第33卷. 第1365-1382页.