

Low-E节能玻璃 应用技术问答

..... 许武毅 编著



郑州中原应用技术研究开发有限公司

地址：郑州高新区冬青西街100号

电话：0371-67991808 传真：0371-67648054



有地标的地方，
就有“思藍德”密封胶！

符合JG/T471、JG/T475、ETAG002标准，
提供25年质量保证！

www.cnsealant.com

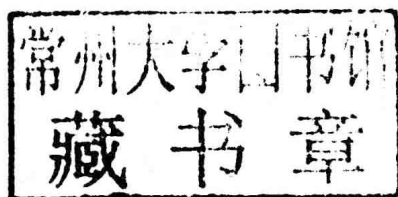


中国建材工业出版社

玻璃生产节能降耗技术问答丛书

Low-E 节能玻璃 应用技术问答

许武毅 编著



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

Low-E 节能玻璃应用技术问答/许武毅编著. —北京:
中国建材工业出版社, 2016.3

(玻璃生产节能降耗技术问答丛书)

ISBN 978-7-5160-1377-9

I. ①L… II. ①许… III. ①节能-建筑玻璃-问题
解答 IV. ①TQ171.72-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 030611 号

内 容 简 介

本书以 Low-E 玻璃的节能性为线索, 以问答的形式介绍了建筑玻璃节能的基本概念、光热性能参数及相关测量标准和计算软件、各种玻璃产品的特性、影响玻璃节能的因素及优化措施等, 并针对实用中常见的玻璃隔声、防结露、外观光畸变、不同气候区域的节能特点等问题提出了解决建议, 为设计出更适用的建筑玻璃提供了指导。

本书可供建筑设计师、幕墙设计师、建筑节能技术人员及高校建筑设计专业师生参考, 也可作为玻璃行业技术和销售人员的培训教材。

Low-E 节能玻璃应用技术问答

许武毅 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 6.25 彩插: 0.25 印张

字 数: 82 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版

印 次: 2016 年 3 月第 1 次

定 价: 89.80 元

本社网址: www.jcbs.com.cn 微信公众号: zgjcgycbs

广告经营许可证号: 京海工商广字第 8293 号

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

总 序

我离开工作岗位多年，但近五十年在行业服务的建材情结让我总割舍不掉对行业发展的关注。耳闻目睹她的进步而兴奋不已，面对水泥、玻璃严重产能过剩带来的问题也犯愁。所好的是，党和国家对经济发展有一系列明确的战略和方针政策措施，经济呈现稳中有进的良好态势。平板玻璃工业面临着转型升级、结构调整和节能减排等艰巨任务，以我之见，必须在正确定向下倾行业企业之全力，加之调动各级政府和社会力量形成之合力，才能推动、落实解决好。我想到，鼓励“读书学习”，藉以全面提高企业和职工素质，不乏是有效的一招。因此，我很高兴地同中国建材工业出版社副总编辑佟令玫女士见面切磋这个话题。她带着即将出版的《玻璃熔窑全氧燃烧技术问答》的书稿来看我，讲到出版社面对发展中的中国平板玻璃工业，深感努力担当起“服务经济建设，传播科技进步”的沉甸甸的社会责任这副担子，他们意欲组织行业内外专家学者和科技管理干部更多地编著理论和实践相结合，受行业职工和社会读者喜爱的玻璃科技书籍，我很赞成，也欣然答应为这套丛书写序表达支持。

这套丛书，涉及玻璃熔窑全氧燃烧技术、玻璃炉窑保温技术和Low-E节能玻璃三大方面的科技知识和技能，以问答的形式展现，我认为很实用，也很便于读者学习。在现阶段，玻璃方面的图书不多，能够高度契合行业发展需求的图书就更是少了。这套技术问答丛书，让我眼前一亮，有久旱逢甘雨的感觉。行业里真的需要更多的人参与技术和产品的研发创新，需要更多元的形式传播科技成果，需要更多有担当的企业先行示范。这套丛书，将成为玻璃行业科技成果展现的好载体。

看到有这么多科技专家在玻璃工业领域潜心研究，并参与图书创

作编写，我感到很欣慰。秦皇岛玻璃工业设计研究院、中国南玻集团股份有限公司以及中国中材玻璃工程设计院都是对我国平板玻璃工业进步发展有重要贡献的著名科技型企业，他们的专家担纲主持编写，对这套丛书的质量和水平有了保障。我看到了玻璃行业的未来和希望，感谢他们为推动我国玻璃工业科技进步所付出的心血和努力，这种求真务实、甘于奉献的精神值得学习。我也想借此表达我对中国建材工业出版社为行业的发展做出的努力和贡献的感谢。

祝丛书出版发行成功！

中国建筑材料联合会 名誉会长

罗喜人为

2014年7月20日

一种更具时空意义的社会责任

——兼作《Low-E 节能玻璃应用技术问答》出版序

在一次与本书作者许武毅先生见面交流时，我们谈到了著书立说和图书出版的话题。许武毅告诉我，过去写书这件事情想都没想过，总觉得写书是一件挺难、挺高大上的事情。写书，尤其是写专业图书，不仅需要对某个专题、领域具备系统、全面的知识，还需要站在发展的高度让图书内容具有前瞻性和指导性。写作专业图书的确是一件很严谨、很严肃的事情，不仅具体内容不能有错误，还得站在读者和使用者的角度替他们负责任，要经得起市场的评头论足。

过去人们常说教书先生如果水平不高就会误人子弟，其实一本图书也可以看成是一个“教书先生”，读者或者相关人员读了一本专业图书是希望从中获得知识、技能以及帮助、思考等，尽管一本书不可能包打天下帮助解决所有相关问题，但是至少要开卷有益。从这些角度看，写书确实是一件挺难、挺严谨的事情。

站在读者和社会的角度看问题，相对于其他形式的文字，因为图书更加强调要具有严谨性、系统性、权威性和专业性等特性，图书内容质量的高下就不仅仅是作者一个或者几个人的事情，而是成为一种社会责任感的体现。一本好的专业图书，小而言之可以给读者带来具有很好针对性的帮助与提升，大而言之可以给企业和产业的技术经济进步带来帮助和指导，因此可以说，写作一本好的专业图书至少体现了作者具有良好的社会责任感。这种责任感不仅仅包括作者的严谨性，体现在作者对于专业 and 读者负责任的态度上，也体现在作者通过自己的辛勤劳动将自己多年累积的知识、经验甚至于教训通过精炼的文字传播给社会的无私奉献精神上。

写书需要时间，需要作者牺牲不少休息时间，包括对于知识点的梳理、结构和逻辑的推敲、语言文字的拿捏把握等等，都是很消耗心力的。

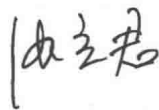
相对于院校科研机构的作者而言，来自于实业界的专家要写作一本专业图书，他所付出的时间和精力要更多。来自企业和社会的专家、作者这些年来随着出版的开放也逐步多了起来，这是一件好事情，是社会进步的一个侧面反映。与东拼西凑、天下书籍一大抄、过多着眼于商业目的而成就的图书相比，写作具有良好质量内容的专业图书，对社会而言其实是一件难以量化的善举，受益的人群具有空间大、时间久的特点。这样的社会责任体现的越多越好，这样的专家作者越多越好。

本书作者许武毅先生既是相识多年的老朋友，更是国内加工玻璃和建筑节能领域里的知名专家。因为他本人既要忙于南玻企业的事情，又有不少社会兼职，编著这本《Low-E 节能玻璃应用技术问答》图书，肯定是花费了他不少的时间和心血。如果更多的读者能够从阅读本书中受益，不管是加工玻璃企业、还是建筑设计和建筑施工领域的读者，以及工程甲方甚至于一般消费者，如果能够因本书而受益的话，其实就是对于作者所付出时间和心血的最好回报。

顾名思义，Low-E 节能玻璃是一种具有很好节能效果的加工玻璃产品。使用 Low-E 节能玻璃做成的门窗，不仅可以很好地提高居住舒适度，对于社会而言，更有助于实现建筑节能的大目标。现实的问题是，对于 Low-E 玻璃的优良性能和采用 Low-E 玻璃的重大意义，不仅是普通消费者了解不多，即便是建筑设计和建筑施工等专业领域乃至相关政府机构领域里也有不少人对此是缺乏了解的。

持久地抓好建筑节能工作，是一种历史责任。普遍地、全面地尤其是着眼于既有建筑节能改造以及中小城镇、农村地区推广使用 Low-E 玻璃，对于当前以及今后而言，也是扩大国内消费，适应社会消费转型升级的要求，不仅利在当下，利在扩大内需，也是具有长期历史意义的另一种社会责任。

中国建材工业出版社 社长兼总编辑



前 言

1985年读薄膜物理专业研究生的时候，我对这个专业几乎一无所知，没想到这竟成为我踏入建筑玻璃制造业的开端。从事建筑玻璃行业已近三十年，它对于我已经不仅仅是一份职业，而是一种融化在血脉里的挚爱和情怀，因此有了老许走到哪儿把玻璃讲到哪儿的趣谈。

近几年，在玻璃行业年会上结识了中国建材工业出版社佟令孜女士，并参加了两次出版社的新书首发仪式，看到昔日的老友们纷纷出版专业书籍，深为他们的敬业精神所感动，觉得自己多年来在玻璃制造与设计应用之间营造的“技术服务”环节，如今已积累了丰富的知识和经验，若能传递给行业里的新生代，哪怕仅起到抛砖引玉的作用，也是对行业的诚挚贡献。加之夫人一再鼓励我著书立说，于是应允了佟女士的写作之约。

这是一本写给建筑设计师、玻璃幕墙设计师、玻璃行业技术人员、高校建筑设计专业学生的建筑节能玻璃应用技术引导书。书中汇集了我在从事建筑玻璃的生产研发、节能应用研究、用户技术咨询、销售人员培训等工作中遇到的许多相关的问题，并以 Low-E 玻璃的节能性为线索，从节能的基本概念、常用建筑玻璃产品的性能、影响玻璃节能效果的因素、幕墙玻璃设计中应注意的问题、建筑使用功能及气候对选择玻璃的影响等方面，归纳出 100 个问题解答。

对于建筑设计师，本书可以帮助他们了解建筑玻璃的产品特性、设计中应注意的问题；对于玻璃行业的销售人员，本书有助于提升他们对玻璃产品的技术认知水平；对于高校建筑专业的学生，这是一本通俗易懂的建筑玻璃知识读本。写作中我力求由浅入深、贴近实用，衷心希望能如所愿。

笔耕一载，欣然成书，本书的写作中曾得到广东省建筑科学研究院杨仕超教授、我的同事黄成德博士的帮助，在此一并表示感谢。

谨以此书献给：我挚爱的玻璃行业、我职业生涯的舞台中国南玻集团、我的夫人吴萌女士。

中国南玻集团股份有限公司工程玻璃技术服务总监、高级工程师

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Zhang Wenzhi' (张文艺), written in a cursive style.

2016年2月

作者简介



许武毅，男，汉族，1957年5月生，研究生学历，薄膜物理学硕士，高级工程师。

1982年1月毕业于西北工业大学，应用物理专业，获本科学位；1988年7月毕业于陕西师范大学，薄膜物理学研究生，获硕士学位。

本人参加工作后曾从事中学物理、大学物理教学工作。1989年11月进入中国南玻集团股份有限公司，曾任镀膜工艺工程师、研发部经理、品控部经理、营销部经理等职务，现任南玻工程玻璃技术服务总监。

自1989年起从事建筑玻璃制造，建筑节能玻璃应用研究，尤其是Low-E节能玻璃的应用研究。1997年起在国内大力推广宣传Low-E节能玻璃，编写技术资料发表技术文章推广节能玻璃应用；参与了建筑玻璃应用、玻璃幕墙规范、建筑节能设计等国家标准的编制及住建部门窗节能性能标识工作；曾任多项大型工程如央视新大楼、广州西塔、深圳证券大厦等项目的幕墙玻璃顾问；兼任行业工作如下：

住房和城乡建设部建筑制品与构配件标准化技术委员会 委员
住房和城乡建设部建筑门窗节能性能标识专家委员会专家 委员
全国建筑幕墙门窗标准化技术委员会（TC448） 委员
全国建筑玻璃用玻璃标准化技术委员会（TC255） 委员
中国建筑玻璃与工业玻璃协会中空玻璃专业委员会 主任
中国建筑金属结构协会铝门窗幕墙委员会 专家
中国建筑装饰协会幕墙工程委员会 专家

目 录

第一章 基础知识	1
1. 低辐射镀膜玻璃是用什么方法制造的?	1
2. 什么是“在线 Low-E 玻璃”? 它有什么特点?	1
3. 什么是“离线 Low-E 玻璃”? 它有什么特点?	1
4. 什么是玻璃的表面辐射率?	2
5. Low-E 玻璃为什么节能?	2
6. 辐射率与反射率、透射率有什么关系?	3
7. 自然环境中有哪热形式? 各有什么特点?	3
8. 室外的远红外热辐射来自哪里?	4
9. 室内的远红外热辐射与室外比哪个更强?	4
10. 远红外热辐射是如何透过玻璃的?	5
11. 太阳辐射中包含哪些能量?	6
12. 什么是可见光透射比?	6
13. 什么是可见光反射比?	6
14. 什么是太阳能直接透射比?	7
15. 什么是太阳能总透射比?	7
16. 什么是太阳能反射比?	7
17. 怎样计算透过玻璃的热能?	7
18. 什么是玻璃的传热系数?	8
19. 传热系数反映玻璃的哪部分传热?	8
20. 什么是玻璃的 K 值? 它与玻璃的 U 值有何区别?	8
21. 传热系数有几种测试方法? 各有什么特点?	8
22. 传热系数的测量与哪些边界条件值有关?	9
23. 常见的测量传热系数的标准有哪几个?	9
24. 不同测量标准的边界条件有何差别?	10
25. 不同测量标准测出传热系数值是否相同?	10

26. 什么是玻璃的遮阳系数 S_c ?	11
27. S_c 与 SC 有区别吗?	11
28. 什么是太阳得热系数 $SHGC$ 值?	12
29. 遮阳系数 S_c 与太阳能总透射比 g 有何关系?	12
30. 什么是相对热增益? 如何计算?	12
31. 什么是 Window 软件?	13
32. 国内有与 Window 软件相似的软件吗?	14
33. 什么是玻璃数据库?	14
第二章 Low-E 玻璃产品	16
34. 建筑玻璃原片主要有哪些品种?	16
35. 玻璃原片如何在膜代号中反映?	16
36. 什么是钢化玻璃、半钢化玻璃? 它们有哪些特点?	16
37. 什么是钢化玻璃自爆? 钢化玻璃自爆率是多少?	18
38. 什么是均质钢化玻璃? 它有什么优点?	19
39. 什么是钢化玻璃的应力斑?	19
40. 哪些因素会使应力斑看起来更严重?	20
41. 什么是夹层玻璃? 夹层中间膜有哪几种?	22
42. 钢化夹层玻璃的 PVB 厚度如何选择?	23
43. 镀膜玻璃分为几大类?	25
44. Low-E 玻璃具有哪些特点?	25
45. 辐射率低到多少才算 Low-E 玻璃?	26
46. Low-E 膜在使用功能上如何划分?	26
47. Low-E 玻璃对室内的植物有何影响?	26
48. Low-E 玻璃可以衰减多少紫外线?	27
49. 哪些建筑需要紫外线? 哪些建筑必须限制紫外线?	27
50. Low-E 玻璃在夏季是如何起作用的?	28
51. Low-E 玻璃在冬季是如何起作用的?	28
52. Low-E 中空玻璃朝哪个方向安装最好? 朝北是否同样起作用?	28
53. 什么是水平红外线辐射?	28
54. 水平红外线辐射有多强?	29

55. 怎样才能有效地阻挡水平红外线辐射?	29
56. 水平遮阳板能阻挡住水平红外线辐射吗?	30
57. 离线 Low-E 膜的寿命有多长?	31
58. 常用中空玻璃有哪些结构?	31
59. Low-E 膜位于中空玻璃的哪个面合适?	32
60. Low-E 夹层玻璃为何节能性差?	33
61. 何谓单银 Low-E? 双银 Low-E? 三银 Low-E?	34
62. 双银 Low-E、三银 Low-E 有什么优点?	35
63. 透光率相同时双银 Low-E、三银 Low-E 突出了什么优点?	35
64. 遮阳系数 S_c 值相同的单银 Low-E、双银 Low-E、三银 Low-E 的 隔热性能有差别吗?	36
65. 为什么遮阳系数 S_c 已不能真实反映 Low-E 玻璃的隔热性能?	37
66. 太阳红外热能总透射比 g_{IR} 能准确衡量玻璃的遮阳性能吗?	38
67. 怎样用 Window 软件计算 g_{IR} ?	39
68. 透光率相同的单银 Low-E、双银 Low-E、三银 Low-E 有怎样 的 g_{IR} 值?	41
69. 遮阳系数相同的单银 Low-E、双银 Low-E、三银 Low-E 的 g_{IR} 值有多大差别?	42
70. 什么是玻璃的光热比 LSG ?	43
71. 光热比 LSG 与选择系数 r 有什么关系? 为什么还用选择系数 r ?	44
72. 不同镀膜玻璃的选择系数有哪些特点?	44
73. 怎样用选择系数 r 判断 Low-E 玻璃是单银、双银、三银?	45
74. 遮阳系数 S_c 设定后如何用选择系数 r 推断玻璃的透光率?	45
75. 透光率设定后怎样用选择系数 r 寻找满足遮阳系数要求的玻璃?	46
76. 影响 Low-E 中空玻璃传热系数 K 值的因素有哪些?	46
77. Low-E 中空玻璃气体层厚度是否越厚越好?	47
78. 中空玻璃充惰性气体对传热系数 K 值有多大贡献?	48
79. 中空玻璃充惰性气体有哪些利弊?	49
80. Low-E 玻璃的辐射率对中空玻璃 K 值影响有多大?	50
81. 室内面 Low-E 膜对降低中空玻璃 K 值能作出多大贡献?	50

82. 多腔 Low-E 中空玻璃对降低 K 值能作出多大贡献?	52
83. 实用多腔中空怎样配置玻璃更合适?	54
84. 中空玻璃暖边间隔条有什么作用?	55
85. 隔热 PVB 夹层玻璃与室内面 Low-E 膜结合有什么优势?	56
86. 钢化 Low-E 玻璃有几种生产方式? 各有什么特点?	58
第三章 其他应用问题	60
87. 不同气候区域选择玻璃节能参数应偏重什么?	60
88. 公共建筑是否应选择更低遮阳系数的玻璃?	60
89. 居住建筑选择玻璃应偏重哪个节能参数?	62
90. 玻璃的视线遮蔽性与哪些参数有关?	63
91. 玻璃幕墙窗间部位的遮蔽性怎么解决?	65
92. 玻璃采光顶的设计应关注哪些因素?	67
93. 哪些因素影响玻璃的外观平整度? 采取什么措施可以优化?	69
94. 海拔高度对中空玻璃有什么影响?	72
95. 彩釉玻璃与背板组合使用时应注意什么?	74
96. 用于明框玻璃幕墙的中空玻璃的密封胶厚度应注意什么?	76
97. 哪些因素会造成玻璃安装后破裂?	77
98. 什么是玻璃热炸裂? 怎么预防?	77
99. 玻璃的隔声性能如何衡量、怎样配置玻璃才能获得最佳隔声效果?	78
100. 如何设计玻璃预防结露?	81

第一章 基础知识



1. 低辐射镀膜玻璃是用什么方法制造的？

低辐射镀膜玻璃是通过物理或化学方法在玻璃表面镀制具有低辐射率性能的薄膜制成的，简称低辐射玻璃，英文为 Low Emissivity Coating，因此也称 Low-E 玻璃。目前商业化制造 Low-E 镀膜玻璃的成熟工艺技术有真空磁控溅射工艺（物理方法）和化学气相喷涂工艺（化学方法）。



2. 什么是“在线 Low-E 玻璃”？它有什么特点？

“在线 Low-E 玻璃”是在制造浮法玻璃的生产线上，在玻璃成型的高温区采用化学气相喷涂技术镀制的 Low-E 膜，由于镀膜过程是在制造平板玻璃的生产线上完成的，因此称这种技术制造的低辐射玻璃为“在线 Low-E 玻璃”，其低辐射功能层是半导体化合物。在线 Low-E 膜的优点是：在高温玻璃表面制成的膜与玻璃结合牢固、耐划伤，因此也称为“硬镀膜”，可单片使用；其缺点是：膜层厚度控制精度差，无法制成多层干涉膜系从而有选择地控制透过膜层的太阳能光谱，且膜层的反射颜色单一，辐射率偏高（大于 0.15）。



3. 什么是“离线 Low-E 玻璃”？它有什么特点？

“离线 Low-E 玻璃”是由真空磁控溅射镀膜生产线制造的，其原理是在真空环境中通过负高电压和工作气体形成的等离子体将固体材料（靶材）转移到玻璃表面淀积成薄膜，工作气体为氩气时淀积的膜与靶材料相同，工作气体为氧、氮等活性气体时淀积的膜为靶材料与气体反应生成的化合物。一般的镀膜玻璃生产线都配置有多个不同的

靶材，可以连续镀制不同材料的独立膜层并叠加成多层复合薄膜。由于镀膜过程是在独立的镀膜玻璃生产线上完成的，因此称为“离线 Low-E 玻璃”，其中的低辐射功能层是金属银层。其优点是：膜层厚度控制精准，可制成多层光学干涉膜系从而有选择地控制透过膜层的太阳能光谱，且膜层的反射颜色多样可调，辐射率低（小于 0.15）；其缺点是：膜层硬度差、不耐腐蚀，因此也称为“软镀膜”。需要说明的是，目前最新技术生产的离线无银 Low-E 膜具有耐磨、耐腐蚀的特性，因此膜层可朝向室内使用，简称无银 Low-E 膜、室内面 Low-E 膜。



4. 什么是玻璃的表面辐射率？

“辐射率即半球辐射率（Hemispherical Emissivity），是辐射体的辐射出射度与处在相同温度的普朗克辐射体的辐射出射度之比。”这是国家标准《镀膜玻璃第 2 部分：低辐射镀膜玻璃》（GB/T 18915.2）的定义。玻璃的表面辐射率就是玻璃的半球辐射率，是衡量玻璃表面吸收辐射能量达到平衡后再向外辐射能量的能力，辐射率低意味玻璃表面吸收和向外辐射能量的水平低，通俗地讲就是吸热少再向外放出的热量也少。普通玻璃的表面辐射率高达 84%（即 0.84），Low-E 玻璃镀膜面的表面辐射率低于 15%（即 0.15）。



5. Low-E 玻璃为什么节能？

Low-E 玻璃对节能的贡献从两个方面体现：一方面 Low-E 膜可以降低玻璃表面与空气之间的热量交换，减少玻璃两侧因温度差而引起的热量传递（即温差传热），这会降低玻璃的温差传热量；另一方面 Low-E 膜能有效反射太阳辐射，从而限制太阳照射透过玻璃的辐射热能（即辐射传热），这就降低了透过玻璃的太阳热能。Low-E 玻璃正是通过这两个途径降低透过玻璃的热量从而体现出节能性的。在实际应用中，Low-E 玻璃一般被制成中空玻璃、真空玻璃等结构

使用。



6. 辐射率与反射率、透射率有什么关系？

外来辐射照射到玻璃表面时，一部分辐射能量被玻璃反射出去，一部分辐射能量被玻璃吸收、一部分辐射能量直接透射过玻璃，根据能量守恒定律这三部分的能量之和应该等于入射辐射的能量，用等式表示就是：

$$\text{反射率} + \text{吸收率} + \text{透射率} = 100\%$$

当达到平衡状态时吸收多少就向外辐射出多少，因此有：

$$\text{吸收率} = \text{辐射率}$$

如果透射率为零（或非常低），则辐射率越低反射率必然就越高，这意味着多数辐射能量被反射出去而未被吸收。



7. 自然环境中有哪些热能形式？各有什么特点？

自然环境中与玻璃节能有关的热能有两种形式：太阳辐射、远红外热辐射。

太阳辐射仅来自室外，其中除了可见光外还包含大量的红外线热辐射，对玻璃而言，在透光的同时太阳热辐射也会随之透过并进入室内，夏季这部分热量会消耗空调的电能，冬季这部分热量有助于室内采暖。是否需要限制它以及限制多少合适与建筑物所在的气候区域和使用功能有关，建筑节能设计标准会给出规定。

远红外热辐射一般是指波长大于 $2.5\mu\text{m}$ 的辐射，有温度的物体都会向外发出热辐射，温度越高发出的热辐射越强人体感受越热（图1中虚线分别是 40°C 和 100°C 黑体辐射的光谱曲线）。室内、室外都存在着远红外热辐射，但不同季节里室内、室外存在的远红外热辐射量值差异非常大。