

朱洪祥 主 编
王连起 副主编

中空玻璃的生产 与选用

山东大学出版社

前言

能源是国民经济和社会发展的物质基础,建筑节能是资源节约的重要领域,建筑能耗已占全社会总能耗的 47%。而建筑物的围护结构——门窗,是建筑物耗能的主要组成部分,一般占建筑物能耗的 40%~50%。因此,解决门窗的节能问题尤为重要,以中空玻璃为代表的节能窗技术成为解决这一难题的有效途径。

所谓中空玻璃,就是将两片或多片玻璃以有效支撑均匀隔开并周边粘接密封,使玻璃层间形成有干燥气体空间的制品。中空玻璃具有良好的隔热保温、隔音、防结露和节能的作用,广泛应用于建筑、交通、冷藏等行业,是一种发展潜力较大的建筑节能技术产品。目前,我国中空玻璃的推广应用尚处在初期阶段,市场发展前景十分广阔。

为了加快中空玻璃的推广和应用,山东省建设科技协会化学建材专业委员会组织业内有关专家对中空玻璃的生产应用、设计施工等进行了深入调研,并结合多年实践,编写了《中空玻璃的生产与选用》一书。全书内容丰富、图表翔实,不仅可以指导企业的生产与质量控制,更为建筑设计、施工、监理等单位提供了重要参考依据。全书共分十章,分别是概述、中空玻璃的中外发展史、中空玻璃的组成和性能、中空玻璃原材料、中空玻璃生产工艺、中空玻璃成型设备、中空玻璃的质量问题及对策、如何选用中空玻璃、中空玻璃发展方向、中空玻璃实验报告及应用范例,并附有新的中空玻璃国家标准等。

本书由山东省建设发展研究院院长、山东省建设科技协会化学建材专业委员会主任朱洪祥担任主编,李厚德、刘斌勇、张瑞晶、周建斌等承担了该书的部分编写工作。本书的出版得到了济南华亚机械有限公司董事长王连起、副总经理丁力的大力支持,在此一并感谢。

由于水平有限,书中难免有不足甚至错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2006 年 9 月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 窗户的功能	(1)
第二节 国家建筑节能的有关政策和设计标准	(2)
第三节 节能窗的发展历程	(11)
第四节 我国中空玻璃发展前景	(17)
第二章 中空玻璃的中外发展史	(19)
第一节 国外中空玻璃发展史	(19)
第二节 我国中空玻璃的发展史	(21)
第三章 中空玻璃的构成、种类和性能	(23)
第一节 中空玻璃的构成和种类	(23)
第二节 中空玻璃的性能特点及影响因素分析	(25)
第三节 中空玻璃的规格尺寸和技术指标	(34)
第四章 中空玻璃的原材料	(35)
第一节 玻 璃	(35)
第二节 复合胶条	(41)
第三节 间隔框	(42)
第四节 密封胶	(43)
第五节 干燥剂	(61)
第六节 超级间隔条	(62)
第七节 惰性气体	(63)

第五章 中空玻璃生产工艺	(66)
第一节 复合胶条式中空玻璃生产工艺	(66)
第二节 槽铝式中空玻璃生产工艺	(68)
第三节 中空玻璃生产过程中的质量控制	(70)
第六章 中空玻璃成型设备	(78)
第一节 复合胶条式中空玻璃成型设备	(78)
第二节 槽铝式中空玻璃成型设备	(81)
第三节 多种加工设备的调整及维护保养	(86)
第七章 中空玻璃的质量问题及对策	(96)
第一节 中空玻璃质量状况及品质控制	(96)
第二节 中空玻璃的失效原因及预防措施	(102)
第三节 中空玻璃出现炸裂的原因	(107)
第四节 中空玻璃的露点控制	(111)
第五节 低辐射 Low-E 玻璃加工中空玻璃常见问题及分析	(112)
第六节 粘接工艺对中空玻璃密封胶粘接性能的影响	(117)
第七节 丁基胶在涂布过程中气泡产生的原因	(119)
第八节 中空玻璃胶的使用和常见问题分析	(120)
第九节 幕墙中空玻璃凹面变形及解决方法	(124)
第十节 中空玻璃“隔线”、“隔孔”问题解析	(125)
第八章 如何选用中空玻璃	(128)
第一节 不同结构的中空玻璃的隔热、 保温和隔音性能不同,使用场合不同	(128)
第二节 从玻璃节能效果的模拟计算对比看 各种中空玻璃的节能效果	(131)
第三节 选择 Low-E 中空玻璃的具体建议	(133)
第四节 根据南北方气候差异选择中空玻璃的结构和配置	(136)
第五节 中空玻璃规格尺寸的选用和安装	(138)
第九章 中空玻璃的发展方向	(141)
第一节 节能与寿命长的中空玻璃	(141)

第二节 美国在 Swiggle 暖边密封系统的进展	(143)
第三节 其他技术的进展	(149)
第四节 Low-E 中空玻璃的发展潜力	(155)
第十章 实验报告及应用范例	(157)
第一节 镀膜中空玻璃隐框铝合金平开窗节能保温分析	(157)
第二节 中空玻璃的应用效果	(161)
第三节 华亚丁基中空玻璃密封胶的剪切强度与温度的关系	(163)
第四节 中空玻璃专用硅酮密封胶热老化系数的研究	(166)
附录一 GB/T11944-2002《中空玻璃》摘录	(172)
附录二 JC/T914-2003《中空玻璃丁基热熔密封胶》摘录	(183)
附录三(资料性附录) 中空玻璃用丁基热熔密封胶使用工艺指南	(188)
参考文献	(190)

第一章

概 述

第一节 窗户的功能

如果说建筑是城市的脸面的话,那么窗户就是城市建筑的眼睛。每到夜晚,无论你远眺哪一座城市,都能从建筑的眼睛——门窗中,感受到一抹抹橘黄色或银白色的暖流。门窗的品质关乎着建筑的水准,而建筑的品质完全决定着人们的生活质量。

窗户,这个人们早已司空见惯的“简单”的房屋构件,从古代一捅就破的木棂窗户纸,到现代精美的中空玻璃窗,随着人类的居住建筑从生存型、舒适型到享受型的变化,窗户正在起着越来越重要的作用。它不但使建筑端庄美丽,多姿多彩,还使房屋功能齐全,人们居住舒适方便。

窗户是建筑外围护结构的开口部位,是人与自然沟通的渠道,是实现建筑功能极其重要的部件。

由表 1-1 可知,窗户不仅是人们常说的所谓建筑的“眼睛”,更是建筑的“五官”,同时承担着沟通与隔绝室内外这两方面互相矛盾的任务。

采光、日照——遮阳、防晒

通风、换气——防风雨、防尘、防虫

视野、观景——屏蔽视线、隔绝噪声

保温(冬季)——隔热(夏季)

而且,窗户的形状大小、立面造型、材料质感及表面色彩,同时起到建筑外墙立面及室内环境两重装饰效果。

门窗是建筑围护结构的重要组成部分,虽然门窗的表面积一般只有围护结构的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$,但能耗所占的比例很大,尤其在北方,其能耗约为采暖能耗的一半。

在窗户给人们带来如此众多功能的同时,也消耗着大量的能耗。窗户是建筑保温、隔热的薄弱环节,是建筑节能的重中之重,人们呼唤节能窗。

表 1-1 窗户的环境及其功能与作用

环境		窗的功能与作用
自然 环境	太阳辐射	采光、调光(防日光直射)、日照、得热、防晒、隔热、防老化
	空气温度、潮湿	隔绝冷、热温差传递、防潮湿、防腐蚀
	风	抗风压、阻止冷热空气渗透、自然通风换气
	雨	防雨水渗漏
	雷 电	防侧雷击
	沙 尘	防沙尘、防静电
	昆 虫	防害虫
社会 环境	噪 声	隔绝噪声
	火 灾	防止火灾蔓延
	人在室外	防窥视、防盗窃、建筑外墙装饰
	人在室内	视野、观景、防跌落、使用、清洁方便、安全、室内环境装饰

第二节 国家建筑节能的有关政策和设计标准

建筑节能在世界上的兴起,源于 1973 年的世界性石油危机。由于能源价格的飞速上涨,使人们开始重视在建筑中提高能源利用效率。进入 20 世纪 90 年代以后,人类才清楚地认识到,我们生存的地球正在变暖,这对人类和生物界是个非常严重的威胁。而导致气候变化的根本原因,在于温室气体特别是其中二氧化碳(CO₂)的过度排放。为了保护我们赖以生存的自然环境,节约能源、提高能源利用率成了人们的共识,而建筑节能就更加成为世界各国共同关注的重大课题。

中国是一个发展中的社会主义大国,能源的利用水平还比较低,与发达国家相比还有很大的差距。我国历届政府都十分重视节约能源的工作,特别是建筑节能,相继颁布了有关建筑节能的管理规定和建筑节能设计标准,现摘录如下:

一、自 2006 年 1 月 1 日起施行的中华人民共和国建设部第 143 号令
《民用建筑节能管理规定》

民用建筑节能管理规定

第一条 为了加强民用建筑节能管理,提高能源利用效率,改善室内热环境质量,根据《中华人民共和国节约能源法》、《中华人民共和国建筑法》、《建设工程质量管理条例》,制定本规定。

第二条 本规定所称民用建筑,是指居住建筑和公共建筑。

本规定所称民用建筑节能,是指民用建筑在规划、设计、建造和使用过程中,通过采用新型墙体材料,执行建筑节能标准,加强建筑物用能设备的运行管理,合理设计建筑围护结构的热工性能,提高采暖、制冷、照明、通风、给排水和通道系统的运行效率,以及利用可再生能源,在保证建筑物使用功能和室内热环境质量的前提下,降低建筑能源消耗,合理、有效地利用能源的活动。

第三条 国务院建设行政主管部门负责全国民用建筑节能的监督管理工作。县级以上地方人民政府建设行政主管部门负责本行政区域内民用建筑节能的监督管理工作。

第四条 国务院建设行政主管部门根据国家节能规划,制定国家建筑节能专项规划;省、自治区、直辖市以及设区城市人民政府建设行政主管部门应当根据本地节能规划,制定本地方建筑节能专项规划,并组织实施。

第五条 编制城乡规划应当充分考虑能源、资源的综合利用和节约,对城镇布局、功能区设置、建筑特征,基础设施配置的影响进行研究论证。

第六条 国务院建设行政主管部门根据建筑节能发展状况和技术先进、经济合理的原则,组织制定建筑节能相关标准,建立和完善建筑节能标准体系;省、自治区、直辖市人民政府建设行政主管部门应当严格执行国家民用建筑节能有关规定,可以制定严于国家民用建筑节能标准的地方标准或者实施细则。

第七条 鼓励民用建筑节能的科学研究和技术开发,推广应用节能型的建筑、结构、材料、用能设备和附属设施及相应的施工工艺、应用技术和管理技术,促进可再生能源的开发利用。

第八条 鼓励发展下列建筑节能技术和产品:

- (一)新型节能墙体和屋面的保温、隔热技术与材料;
- (二)节能门窗的保温隔热和密闭技术;
- (三)集中供热和热、电、冷联产联供技术;
- (四)供热采暖系统温度调控和分户热量计量技术与装置;
- (五)太阳能、地热等可再生能源应用技术及设备;

- (六)建筑照明节能技术与产品;
- (七)空调制冷节能技术与产品;
- (八)其他技术成熟、效果显著的节能技术和节能管理技术。

鼓励推广应用和淘汰的建筑节能产品及技术的目录,由国务院建设行政主管部门制定;省、自治区、直辖市建设行政主管部门可以结合该目录,制定适合本区域的鼓励推广应用和淘汰的建筑节能产品及技术的目录。

第九条 国家鼓励多元化、多渠道投资既有建筑的节能改造,投资人可以按照协议分享节能改造的收益;鼓励研究制定本地区既有建筑节能改造资金筹措办法和相关激励政策。

第十条 建筑工程施工过程中,县级以上地方人民政府建设行政主管部门应当加强对建筑物的围护结构(含墙体、屋面、门窗、玻璃幕墙等)、供热采暖和制冷系统、照明和通风等电器设备是否符合节能要求的监督检查。

第十一条 新建民用建筑应当严格执行建筑节能标准要求,民用建筑工程扩建和改建时,应当对原建筑进行节能改造。既有建筑节能改造应当考虑建筑物的寿命周期,对改造的必要性、可行性以及投入收益比进行科学论证。节能改造要符合建筑节能标准要求,确保结构安全,优化建筑物使用功能。寒冷地区和严寒地区既有建筑节能改造应当与供热系统节能改造同步进行。

第十二条 采用集中采暖制冷方式的新建民用建筑应当安设建筑物室内温度控制和用能计量设施,逐步实行基本冷热价和计量冷热价共同构成的两部制用能价格制度。

第十三条 供热单位、公共建筑所有权人或者其委托的物业管理单位应当制定相应的节能建筑运行管理制度,明确节能建筑运行状态各项性能指标、节能工作诸环节的岗位目标责任等事项。

第十四条 公共建筑的所有权人或者委托的物业管理单位应当建立用能档案,在供热或者制冷间歇期委托相关检测机构对用能设备和系统的性能进行综合检测评价,定期进行维护、维修、保养及更新置换,保证设备和系统的正常运行。

第十五条 供热单位、房屋产权单位或者其委托的物业管理等有关单位,应当记录并按有关规定上报能源消耗资料。

鼓励新建民用建筑和既有建筑实施建筑能效测评。

第十六条 从事建筑节能及相关管理活动的单位,应当对其从业人员进行建筑节能标准与技术等专业知识的培训。

建筑节能标准和节能技术应当作为注册城市规划师、注册建筑师、勘察设计注册工程师、注册监理工程师、注册建造师等继续教育的必修内容。

第十七条 建设单位应当按照建筑节能政策要求和建筑节能标准委托工程项目的设计。

建设单位不得以任何理由要求设计单位、施工单位擅自修改经审查合格的节能设计文件,降低建筑节能标准。

第十八条 房地产开发企业应当将所售商品住房的节能措施、围护结构保温隔热性能指标等基本信息在销售现场显著位置予以公示,并在《住宅使用说明书》中予以载明。

第十九条 设计单位应当依据建筑节能标准的要求进行设计,保证建筑节能设计质量。

施工图设计文件审查机构在进行审查时,应当审查节能设计的内容,在审查报告中单列节能审查章节;不符合建筑节能强制性标准的,施工图设计文件审查结论应当定为不合格。

第二十条 施工单位应当按照审查合格的设计文件和建筑节能施工标准的要求进行施工,保证工程施工质量。

第二十一条 监理单位应当依照法律、法规以及建筑节能标准、节能设计文件、建设工程承包合同及监理合同对节能工程建设实施监理。

第二十二条 对超过能源消耗指标的供热单位、公共建筑的所有权人或者其委托的物业管理单位,责令限期达标。

第二十三条 对擅自改变建筑围护结构节能措施,并影响公共利益和他人合法权益的,责令责任人及时予以修复,并承担相应的费用。

第二十四条 建设单位在竣工验收过程中,有违反建筑节能强制性标准行为的,按照《建设工程质量管理条例》的有关规定,重新组织竣工验收。

第二十五条 建设单位未按照建筑节能强制性标准委托设计,擅自修改节能设计文件,明示或暗示设计单位、施工单位违反建筑节能设计强制性标准,降低工程建设质量的,处 20 万元以上 50 万元以下的罚款。

第二十六条 设计单位未按照建筑节能强制性标准进行设计的,应当修改设计。未进行修改的,给予警告,处 10 万元以上 30 万元以下罚款;造成损失的,依法承担赔偿责任;两年内,累计三项工程未按照建筑节能强制性标准设计的,责令停业整顿,降低资质等级或者吊销资质证书。

第二十七条 对未按照节能设计进行施工的施工单位,责令改正;整改所发生的工程费用,由施工单位负责;可以给予警告,情节严重的,处工程合同价款 2% 以上 4% 以下的罚款;两年内,累计三项工程未按照符合节能标准要求进行施工的,责令停业整顿,降低资质等级或者吊销资质证书。

第二十八条 本规定的责令停业整顿、降低资质等级和吊销资质证书的行

政处罚,由颁发资质证书的机关决定;其他行政处罚,由建设行政主管部门依照法定职权决定。

第二十九条 农民自建低层住宅不适用本规定。

第三十条 本规定自 2006 年 1 月 1 日起施行。原《民用建筑节能管理规定》(建设部令第 76 号)同时废止。

二、严寒地区和寒冷地区居住建筑节能设计标准

我国幅员广阔,气候差别很大。《建筑气候区划标准》(GB50178-93)将全国划分为七个气候区,即东北严寒区、华北寒冷区、华中夏热冬暖区、华南炎热区、云贵温和区、青藏高原和西北严寒区。《民用建筑热工设计规范》(GB50176-93)为适应建筑热工设计的需要,在《建筑区划标准》的基础上将全国划分为五个建筑热工设计区,即严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区。严寒和寒冷地区南界的东线大致在陇海铁路从连云港至天水一线的南侧,西界则是四川西部和青藏高原。

严寒区的建筑气候特征,表现为冬季漫长而严寒,夏季短促而凉爽,气温的年较差很大,冰冻期长,雨量多集中在夏季。太阳辐射量大,日照丰富,冬季大风较多。与世界上同纬度的地区相比,本地区 1 月平均气温要低 $14^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。

寒冷区的建筑气候特征表现为冬季较长,寒冷干燥,夏季炎热湿润,降水相对集中。春秋季节时间短促,气温变化剧烈,且气温年较差大,春季多大风,夏季多暴雨和冰雹。日照比较丰富。与世界上同纬度的地区相比,本地区 1 月平均气温要低 $10^{\circ}\text{C}\sim 14^{\circ}\text{C}$ 。

严寒和寒冷地区占我国国土面积的 70% 以上,住宅建筑面积约占全国住宅面积的一半。在严寒地区,建筑采暖是关系居民生存的重大问题,采暖期间,采暖能耗很高,控制采暖能耗的任务艰巨而又迫切。

1995 年 12 月,建设部批准发布了《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ26-95),其目标在 1980/1981 年当地通用设计的基础上节能 50%。该标准规定:窗户(包括阳台上部透明部分)面积不宜过大。不同朝向的窗墙面积比为:北向不应超过 0.25,东、西向不应超过 0.30,南向不应超过 0.35。在此条件下,其窗户(含阳台门上部)的传热系数限值见表 1-2。

表 1-2 不同地区采暖居住建筑窗户传热系数限值

采暖期室外 平均温度(℃)	代表性城市	窗户传热系数限值 [W/(m ² ·K)]
-3.0~2.0	郑州、宝鸡、徐州、西安、拉萨、济南、石家庄、天水、 北京、天津、大连、兰州、太原、喀什	4.70 4.00*
-4.0~-3.1	西宁、银川、丹东	4.00
-7.0~-4.1	张家口、鞍山、酒泉、伊宁、沈阳、大同、呼和浩特	3.00
-11.0~-7.1	延吉、长春、乌鲁木齐、哈尔滨、齐齐哈尔	2.50
-14.5~-11.1	伊春、海拉尔、满洲里	2.00

* 取 4.7 或 4.00 需与外墙传热系数数值结合考虑确定。

采暖居住建筑节能设计标准还规定,应采用气密性良好的窗户(包括阳台门),其气密性等级,在 1~6 层建筑中,不应低于国家标准《建筑外窗空气渗透性能分级及其检测方法》(GB7107-2002)规定的Ⅲ级水平;在 7~30 层建筑中,不应低于上述标准规定的Ⅱ级水平。

在 20 世纪 90 年代中期,北方居住建筑中使用空调制冷极少,因此该标准未考虑夏季空调的节能问题;由于采暖期建筑传热方向基本上是由室内向室外,在计算能耗时采用稳态方法,计算精度是可以满足要求的。

在上述国家行业节能标准的基础上,一些省市制定了实施细则或作出了一些规定。如 1999 年北京市建委和规委在《[北京市“九五”住宅建设标准]建筑外窗部分补充规定》中就作出规定,要求各类住宅建筑外窗传热系数小于 3.5 W/(m²·K),气密性在Ⅱ级以上。

三、夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准

夏热冬冷地区的范围大致为陇海铁路连云港至天水一线以南,南岭以北,四川盆地以东,也可以大体说是长江中下游地区,涉及 16 个省、市、自治区。该地区人口约 5.5 亿,国内生产总值约占全国的 48%,是一个人口密集、经济文化比较发达的地区。

夏热冬冷地区气候的显著特点,是夏天热,冬天冷,而且长年湿度很高。这个地区 7 月份平均气温,比世界上同纬度其他地区一般高出 2℃左右,是地球上这个纬度范围内除沙漠干旱地区以外最炎热的地区;但是这个地区 1 月份平均气温比世界上同纬度其他地区一般要低 8℃~10℃,是世界上同纬度冬季最寒冷的地区。

为了节约空调制冷和冬季采暖能源,建设部于 2001 年发布了《夏热冬冷地

区居住建筑节能设计标准》(JGJ134-2001)。

该标准规定:外窗(包括阳台门的透明部分)的面积不应过大。不同朝向、不同窗墙面积的外窗,其传热系数应符合表 1-3 的规定。

表 1-3 夏热冬冷地区不同朝向、不同窗墙面积比的外窗传热系数

朝向	窗外环境条件	外窗的传热系数 $K[W/(m^2 \cdot K)]$				
		窗墙面积 比 ≤ 0.25	窗墙面积比 >0.25 且 ≤ 0.30	窗墙面积比 >0.30 且 ≤ 0.35	窗墙面积比 >0.35 且 ≤ 0.45	窗墙面积比 >0.45 且 ≤ 0.50
北 (偏东 60° 到偏西 60° 范围)	冬季最冷月室外 平均气温 $>5^\circ\text{C}$	4.7	4.7	3.2	2.5	—
	冬季最冷月室外 平均气温 $\leq 5^\circ\text{C}$	4.7	3.2	3.2	2.5	—
东、西(东 或西偏北 30° 到偏南 60° 范围)	无外遮阳措施	4.7	3.2	—	—	—
	有外遮阳 (其太阳辐射 透过率 $\leq 20\%$)	4.7	3.2	3.2	2.5	2.5
南(偏东 30° 到偏西 30° 范围)		4.7	4.7	3.2	2.5	2.5

在“夏热冬冷地区建筑节能设计标准”的基础上,该地区各地纷纷编制了一些实施细则或地方标准、技术规程。

例如:上海市工程建设规范“住宅建筑围护结构节能应用技术规程”(DG/TJ08-206-2002)提出,外窗应用应以单层窗为主,并根据要求的传热系数指标选用不同的窗框材料与不同的窗玻璃组合。传热系数 $K \leq 4.2 W/(m^2 \cdot K)$ 的外窗宜采用中空玻璃窗。在设计中,外窗的传热系数可参照表 1-4 取值,其他能满足传热系数要求的节能型窗户(包括玻璃粘贴建筑节能膜的窗户)也可应用。

表 1-4 上海规程提出的外窗传热系数参照值

窗户类型	窗框材料	窗玻璃	窗框窗洞面积比(%)	传热系数 K [W/(m ² · K)]
单层窗	PVC 塑料	普通单层玻璃	30~40	4.5~4.9
	铝合金	普通中空玻璃	20~30	3.6~4.2
		低发射率玻璃	20~30	2.7~3.4
	隔热铝合金	普通中空玻璃	20~30	3.3~3.5
		低发射率玻璃	20~30	2.3~3.0
	PVC 塑料 或玻璃钢	普通中空玻璃	30~40	2.7~3.0
		低发射率玻璃	30~40	2.0~2.4

四、夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准

夏热冬暖地区位于我国南部,在北纬 27°以南,东经 97°以东,包括海南全境、福建南部、广东大部、广西大部、云南小部分地区以及香港、澳门和台湾。

该地区为亚热带湿润季风气候(湿热型气候),其特征为夏季漫长、冬季寒冷时间很短,甚至几乎没有冬季,长年气温高而且湿度大,气温的年较差和日较差都小,太阳辐射强烈,雨量充沛。由于夏季时间长达半年左右,降水集中,炎热潮湿,因而该地区建筑必须充分满足隔热、通风、防雨、防潮的要求。为遮挡强烈的太阳辐射,宜设遮阳,并避免西晒。此地区北缘冬季稍冷,也要求注意建筑保温,南部则不必考虑防寒的问题。

这个地区是我国改革开放的前沿,居住人口约 1.5 亿,国内生产总值占全国的 17.4%,进出口总额占全国的 38.6%。以沿海一带中心城市及其周边地区经济发展最快,其中特别以珠江三角洲更加发达。

在经济建设快速发展,居民可支配收入不断增加的条件下,人们日益重视生活舒适程度。近几年空调器需求量的增加十分迅速,广东省城镇居民家庭空调器拥有量早已超过户均一台,许多城市已向一室一台发展,在围护结构隔热性能差,特别是窗户阻隔太阳辐射能力薄弱的情况下,能源浪费相当严重。

为此,建设部组织编制了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ75-2003),并已于 2003 年发布实施。《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》的节能目标,是节约能耗 50%。在该标准中,又以 1 月份平均温度 11.5℃线为界,将夏热冬暖地区分为南、北两区。此两区都要考虑空调制冷,其中北区还要考虑冷天采暖。

该标准规定,居住建筑的外窗面积不应过大,各朝向窗墙面积比,北向不大于 0.45,东、西向不大于 0.30,南向不大于 0.50。

居住建筑天窗面积不应大于屋顶总面积的 4%,传热系数 $K \leq 4.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 本身的遮阳系数 S_c 不应大于 0.5。

该标准还规定,居住建筑采用不同平均窗墙面积比时,其外窗的传热系数 K 和综合遮阳系数 S_w 应符合表 1-5 和表 1-6 的规定。

表 1-5 北区居住建筑外窗的传热系数和综合遮阳系数限值

外 墙	外窗的 综合遮 阳系数 S_w	外窗的传热系数 $K[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$				
		平均窗墙 面积比	平均窗墙 面积比	平均窗墙 面积比	平均窗墙 面积比	平均窗墙 面积比
		$C_M \leq 0.25$	$0.25 < C_M \leq 0.3$	$0.3 < C_M \leq 0.35$	$0.35 < C_M \leq 0.4$	$0.4 < C_M \leq 0.45$
$K \leq 2.0$ $D \geq 3.0$	0.9	≤ 2.0	—	—	—	—
	0.8	≤ 2.5	—	—	—	—
	0.7	≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 2.0	—	—
	0.6	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5	—
	0.5	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.0	≤ 2.0
	0.4	≤ 3.5	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 2.5
	0.3	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 2.5	≤ 2.5
	0.2	≤ 4.0	≤ 3.5	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0
$K \leq 1.5$ $D \geq 3.0$	0.9	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 2.5	—	—
	0.8	≤ 5.5	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 2.0	—
	0.7	≤ 6.0	≤ 4.5	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 2.0
	0.6	≤ 6.5	≤ 5.0	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 3.0
	0.5	≤ 6.5	≤ 5.0	≤ 4.5	≤ 3.5	≤ 3.5
	0.4	≤ 6.5	≤ 5.5	≤ 4.5	≤ 4.0	≤ 3.5
	0.3	≤ 6.5	≤ 5.5	≤ 5.0	≤ 4.0	≤ 4.0
	0.2	≤ 6.5	≤ 6.0	≤ 5.0	≤ 4.0	≤ 4.0

续表

$K \leq 1.0$ $D \geq 2.5$ 或 $K \leq 0.7$	0.9	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 4.0	≤ 2.5	—
	0.8	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 2.5
	0.7	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 5.5	≤ 4.5	≤ 3.5
	0.6	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.0	≤ 5.0	≤ 4.0
	0.5	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 5.0	≤ 4.5
	0.4	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 5.5	≤ 5.0
	0.3	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 5.5	≤ 5.0
	0.2	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.5	≤ 6.0	≤ 5.5

表 1-6

南区居住建筑外窗的综合遮阳系数限值

外墙(太阳 辐射吸收系 数 $\rho \leq 0.8$)	外窗的综合遮阳系数 S_w				
	平均窗墙面积比 $C_M \leq 0.25$	平均窗墙面积比 $0.25 < C_M \leq 0.3$	平均窗墙面积比 $0.3 < C_M \leq 0.35$	平均窗墙面积比 $0.35 < C_M \leq 0.4$	平均窗墙面积比 $0.4 < C_M \leq 0.45$
$K \leq 2.0$, $D \geq 3.0$	≤ 0.6	≤ 0.5	≤ 0.4	≤ 0.4	≤ 0.3
$K \leq 1.5$, $D \geq 3.0$	≤ 0.8	≤ 0.7	≤ 0.6	≤ 0.5	≤ 0.4
$K \leq 1.0$, $D \geq 2.5$ 或 $K \leq 0.7$	≤ 0.9	≤ 0.8	≤ 0.7	≤ 0.6	≤ 0.5

注:①表 1-5、表 1-6 所指外窗包括阳台门的透明部分。

②南区居住建筑节能设计对外窗的传热系数不作规定。

③D 为热惰性指标。

前面介绍了业已发布的建筑节能设计标准中关于窗户的一些规定。一些地方性节能标准或实施细则也正在逐步发布执行。今后,已经颁布的建筑节能标准也会随着建筑节能工作的进展和经验的积累进行修订,如北京市编制节能率为 65% 的地方标准。在今后发布这些标准中,对节能窗的要求也会越来越高,越来越完善。

第三节 节能窗的发展历程

窗户与建筑围护结构的其他部分即墙体和屋面相比较,窗户是薄壁轻质构

件,是建筑保温、隔热、隔声的薄弱环节;窗户不仅有与其他围护结构所共有的温差传热问题,还有通过窗户缝隙的空气渗透传热,特别是通过玻璃的太阳辐射传热问题。

我国大多数建筑外窗保温隔热性能差,密封不良,阻隔太阳辐射能力薄弱。尽管窗户面积一般只占建筑外围护结构面积的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$,但在多数建筑中,通过窗户损失的采暖和制冷热能,往往占到建筑围护结构能耗的一半以上,因而窗户是建筑节能的关键部位。也正是由于窗户对建筑节能的突出重要性,使窗户的节能技术得到了巨大的发展。

节能窗技术的进步,都是在保证一定的光照条件下,围绕着控制窗户的得热和失热而展开研究的。

一、控制窗户失热

多年以来,世界上节能窗技术的进展,突出表现在研制生产能够控制窗户失热,即传热系数值低的窗户上。这种窗采暖负荷低(一般说来制冷负荷也低),窗户内表面温度与室内温度接近,使室内环境更为舒适,在采暖季节窗户内表面结露状况大为减少。

以双层玻璃为例,其失热过程如图 1-1 所示。冷天,窗玻璃表面比室内空气温度和室内物体表面温度低。通过玻璃表面就会产生失热现象。这种失热,通过两个途径发生:一是玻璃内表面与室内物体表面之间进行长波辐射交换;二是室内空气在玻璃表面运动产生对流与传导。当热量从内层玻璃内表面传导到外表面后,内层玻璃的外表面与外层玻璃的内表面之间,由于温差产生长波辐射交换,并通过玻璃间层空气产生传导与对流。热量再从外层玻璃的内表面传出后,其外表面就会由于外界空气对流(下雨时还有雨淋)散失热量,同时还要与天空及周围环境进行长波辐射交换。

控制窗户的失热,就是针对窗户的上述失热过程采取相应的拦截措施。

1. 设置空气间层

玻璃是热的良导体,其导热系数为 $0.90 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,单层玻璃的热阻很小。为了增加热阻,有效的方法就是再加上一层玻璃,在玻璃之间有空气隔开。空气的保温性能比玻璃好得多,而且空气层还是长波辐射交换的热阻,但当空气层太薄即在 $5 \sim 8 \text{ mm}$ 以下时,间层厚度越小,其传热系数就越大,适当增加空气层厚度,能够加大热阻。但间层厚度加大至 12 mm 以上时,就起不了多少作用。

2. 在间层内充填导热性能较低的气体

为了减少在空气间层内的传导和对流,可以在间层内注入比一般空气粘滞