

第 1 章

绪 论

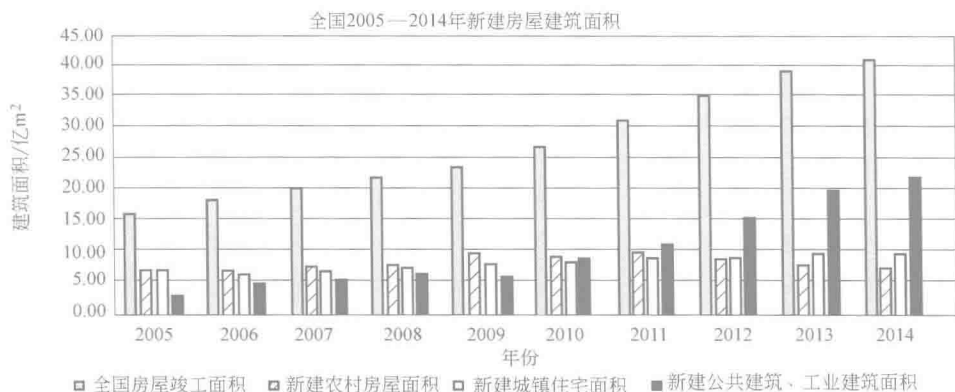
1.1 我国的建筑与建筑能耗

1.1.1 房屋建筑规模

我国的改革开放促使经济高速发展,取得了巨大成就。同时我们也看到,我国已成为世界上能源消费和污染排放大国,其中建筑能耗占全国总能耗的 30% 以上。能源的消耗,气候的变化,雾霾的产生,严重影响我国的可持续发展和人们的身体健康。因此,建筑节能不仅要为解决能源短缺做贡献,更要为应对气候变化、与自然和谐相处做贡献,大力推进绿色节能建筑、可再生能源利用,走可持续发展路线,可谓势在必行。

在全球大气公约框架下,世界各国都在推动节能减排的发展,先后提出节能建筑、绿色建筑、生态建筑、低能耗建筑、超低能耗建筑、近零能耗建筑,还有产能建筑、区域能源,等诸多概念。使得单位面积建筑能耗也在逐步下降,一大批优秀示范项目不断涌现。从这些节能示范项目中,可以看到可再生能源的利用,使这些建筑具有“低能耗、高效、微排放”的特点。这对于推进我国超低能耗绿色节能建筑、提升建筑能效具有重要的现实意义。^[1]

近年来,我国每年城乡新建房屋建筑面积不断增加,截至 2015 年底,全国城乡房屋建筑面积约 580 亿 m^2 ,其中城镇建筑约为 250 亿 m^2 。21 世纪头 20 年,建筑业仍将迅速发展。预计到 2020 年底,全国房屋建筑面积将达 700 亿 m^2 ,其中城镇建筑约为 300 亿 m^2 。近几年来,全国新建房屋建筑面积如图 1-1 所示。



1.1.2 建筑能耗与建筑节能

目前,我国已成为世界第二大能源生产国和第一大能源消费国,每年建成建筑总面积已

超过所有发达国家的总和。建筑在生产和使用过程中消耗的能源总量在不断攀升,如果加上建筑材料在生产过程中所消耗的能源,那么建筑能耗将占到全社会总能耗的47%,在社会总能耗中位居首位。

我国建筑业的长足、快速发展,必然需要消耗大量的建设和运行能源,特别是供暖、空调和照明能耗尤为明显。2012年国务院常务会议讨论通过的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出了七大战略性新兴产业的主要任务和重点发展方向,包括节能环保产业、新一代信息技术产业、生物产业、高端装备制造产业、新能源产业、新材料产业、新能源汽车,制订了一系列产业发展路线图,提出了上述七大产业领域发展的标志性目标、拓展市场应用以及提升整体创新能力等主要政策措施和重大行动计划。规划中对节能环保产业的要求是要突破以下关键核心技术:能源高效与梯度利用、污染物防治与安全处置、资源回收与循环利用,根据高效节能、先进环保和资源循环利用的目标发展新装备和新产品,推行清洁生产和低碳技术,加快形成支柱性产业。

在我国,建筑能耗已与工业能耗、交通能耗并称三大“能耗大户”,节能潜力巨大。所以,建筑节能产业已然成为节能环保产业的重要组成部分。按照国际通行的分类,建筑能耗是指民用建筑(包括居住建筑和公共建筑及其服务业)使用过程中的能耗,主要包括供暖、空调、通风、热水供应、照明、炊事、家用电器、电梯等方面的能耗,其中供暖、空调、通风能耗约占 $2/3$ ^[2]。

随着人民生活水平的逐步提高,对住宅的舒适度要求也越来越高,供暖和空调设备逐渐增多,建筑能耗占总能耗的比例也会越来越大。目前我国还处于城镇化进程不断推进时期,建筑业持续迅猛发展,建筑能耗的比例将继续增加。据统计,我国建筑能耗所占能源总消费量的比例已从1978年的10%上升到2015年的30%,这个比例还将不可避免地上升到35%左右,因此建筑节能必将成为影响能源安全、优化能源结构、提高能源利用效率的关键因素,是贯彻资源和可持续发展战略的关键。因此,建筑节能在我国可持续发展中占有重要地位。

我国与同纬度许多发达国家相比,冬天气候更冷,夏天气候较热,南方空气湿度还很高。在这种湿热环境下,房屋的保温隔热性能却要比发达国家差得多。

根据我国的气候特点,全国被划分为5个建筑热工分区,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,如图1-2所示。建筑热工分区指标为:

严寒地区:最冷月平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 。

寒冷地区:最冷月平均温度 $0\sim -10^{\circ}\text{C}$ 。

夏热冬冷地区:最冷月平均温度 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$;最热月平均温度 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

夏热冬暖地区:最冷月平均温度 $>10^{\circ}\text{C}$;最热月平均温度 $25\sim 29^{\circ}\text{C}$ 。

温和地区:最冷月平均温度 $0\sim 13^{\circ}\text{C}$;最热月平均温度 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

我国政府高度重视建筑发展和人居环境的改善,特别是改革开放以来,住宅建设进入到快速发展的轨道。到2015年底,我国城镇人均居住面积已达到 35m^2 。毋庸置疑,建筑节能设计能有效改善人们的生活环境质量,建筑节能的经济效益和社会效益无疑是十分重大的。然而,长期以来单纯依靠建筑节能设计标准中强制性条文的实施,难以全面推动建筑节能。其中原因很多,包括政策、法规、标准、设计、施工、调试、运行维护管理和融资等。在当前的市场经济条件下,推动建筑节能、提升能效的关键在于:在充分把握与节能建筑相关的主体关系基础上,建立符合市场机制的激励机制(包括建筑能耗评估体系及相关政策法规等),开展科学合理的建筑规划、设计、施工、调试和运行管理,加快节能新技术的开发及应用,其中“运行管理”是最关键的环节之一。

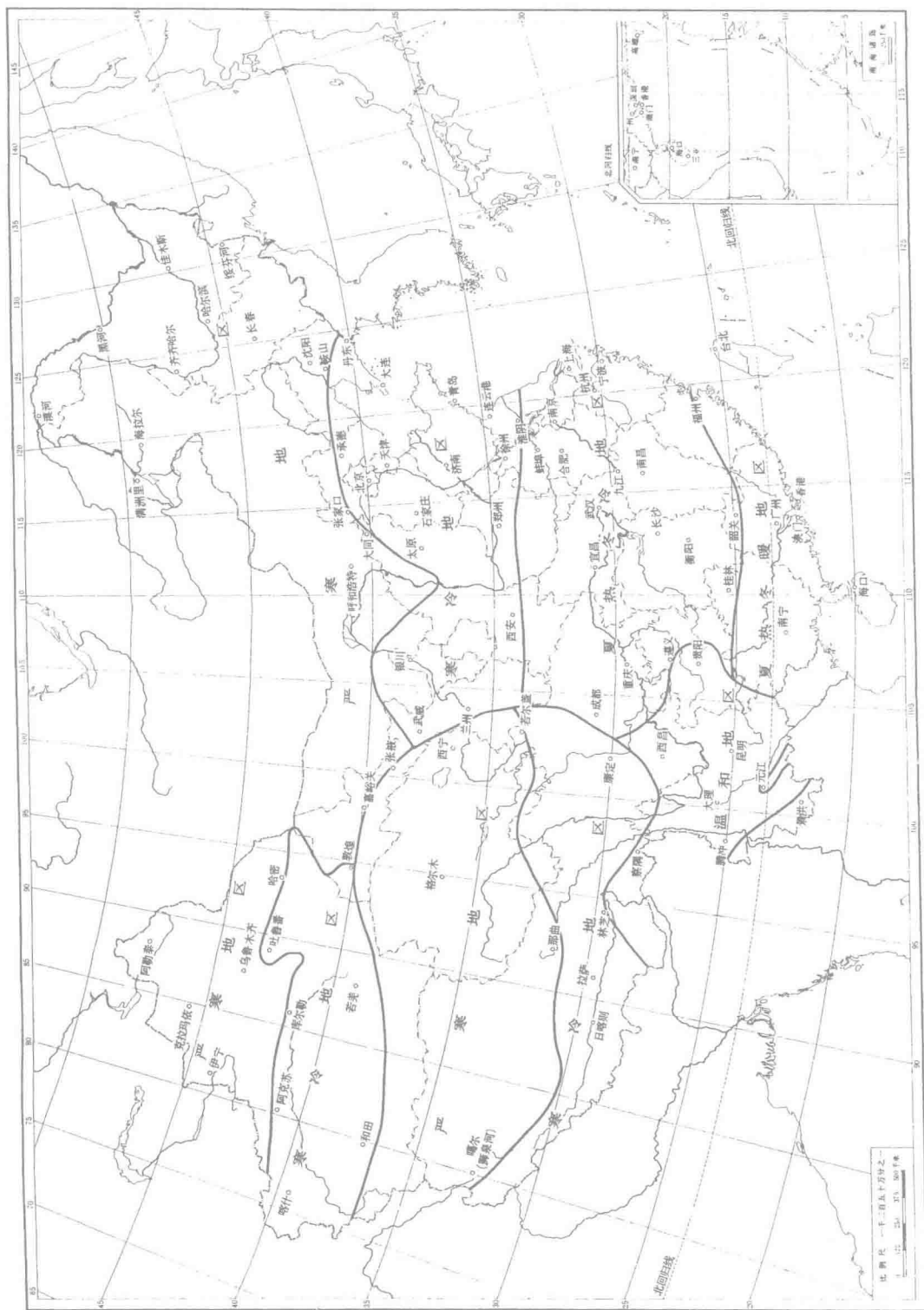


图 1-2 我国建筑热工设计分区

1.2 我国建筑节能的现状与发展

我国从20世纪80年代就开始开展建筑节能工作,并且推出了一系列的法律、法规、政策,逐步推动和促进建筑节能的发展。具体如下:

1) 1993年,建设部颁布了《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—1993),1993年10月1日实施;《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2015)正在报批。

2) 1995年,建设部颁布了《民用建筑节能设计标准(供暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1995),1996年7月1日实施。

3) 2003年,建设部颁布了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2003),2003年10月1日实施;2012年,住房和城乡建设部颁布了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2012),2013年4月1日实施。

4) 2005年,建设部颁布了《民用建筑节能管理规定》(建设部令第143号),2006年1月1日实施。

5) 2005年,建设部、国家质量监督检验检疫总局颁布了《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005),2005年7月1日实施。

6) 2007年,建设部颁布了《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007),2007年10月1日实施。

7) 2007年,全国人民代表大会常务委员会颁布了《中华人民共和国节约能源法》(主席令第七十七号),2008年4月1日实施。

8) 2010年,国家发改委等部委发布了《关于加快推行合同能源管理 促进节能服务产业发展的意见》(国办发〔2010〕25号),2010年4月2日实施。

9) 2010年,住房和城乡建设部发布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2010),2010年8月1日施行。

10) 2010年,住房和城乡建设部发布了《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2010),2010年8月1日施行。

11) 2010年,住房和城乡建设部公布了《民用建筑绿色设计规范》(JGJ/T 229—2010),2011年10月1日实施。

12) 2014年,住房和城乡建设部公布了《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014),2015年1月1日实施。

13) 2015年,住房和城乡建设部公布了《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2015),2015年10月1日实施。

14) 2015年,住房和城乡建设部在其官网发布通知,制定了《被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑)》,2015年11月10日实施。

此间,各个省市也相继制订了建筑节能条例,出台了相应的建筑节能制度,各地方建立了与行政法规相配套的建筑节能法律体系。我国建筑节能制度在这20多年里,从无到有,制度也逐步发展完善。

1.2.1 建筑节能的技术及发展趋势

国家对于建筑节能的法律、法规可以从宏观上对我国建筑节能起到推动作用。然而,要使建筑节能广泛实施,还必须发展建筑节能技术。

建筑能耗主要包括两方面,一是建筑材料生产和建设过程中的能源消耗,二是建筑运行的能源消耗。前者大约占建筑总能耗的17%,大部分能耗发生在后者。而建筑能耗主要包括

建筑供暖、空调、照明以及各种电器的能源消耗,这些能耗一直伴随着建筑物的使用而发生。所以建筑节能主要关注建筑运行的能源消耗,一方面是从源头提高能效,合理利用各种能源,减少不必要的浪费;另一方面是减少建筑围护结构的能源消耗。由此可见,建筑节能是实现建筑可持续发展的一个基础。通过科学的建筑围护结构热工设计和建筑供能系统的优化配置,合理高效地利用常规能源,尽可能多地利用可再生绿色能源和低品位能源。在建筑运行维护管理过程中,实现低能耗智能控制高效运行,从而为使用者提供健康、舒适的居住、工作、学习环境。

1.2.2 我国建筑节能存在的主要问题

1. 对建筑节能工作的重要性和紧迫性需要进一步强化

推进建筑节能有利于节约能源、保护环境,保证国民经济可持续发展。地方政府对此都予以高度重视,还应将其作为日常的重要工作来抓。中央政府已将建筑节能放在关系全局的高度来进行指导,还需要进行大力宣传。建筑节能本来是亿万群众的切身事业,但是在人民群众中没有形成对建筑节能重要性的基本认识,还不了解建筑节能会带来多方面的巨大效益。实践证明,各级领导的重视程度会直接关系到建筑节能事业的发展,如京津冀等地有关领导重视,认真贯彻节能标准和法规,推行京津冀经济建设一体化协同发展,不断取得新进展。

2. 进一步配套完善的建筑节能法律法规

我国虽已出台了《中华人民共和国节约能源法》,建筑节能的相关法律、法规也在逐步出台,建筑节能主要工作也有法可依,但执行力度和实施效果远不及发达国家。在20世纪70年代“石油危机”之后,欧洲发达国家就相继制定并实施了建筑节能的专门法律,对民用建筑节能做了明确的规定,并采取了一系列经济鼓励措施,收到了非常好的效果。我国在近二十年颁布并执行了相应的法律,建筑节能工作也得到了迅速发展,取得了显著效果。

3. 强化建筑节能相应的经济鼓励政策

建筑节能是一项利国利民的工作,但有的地方缺乏对建筑节能的实质性经济鼓励政策,建筑节能缺乏必要的资金支持。我国建筑节能尚处于起步阶段,单纯依靠用户、建设方自发的行为无法实现建筑节能目标。我国既有建筑面积达580亿 m^2 ,建筑物围护结构的节能改造和供能系统的改造工作量巨大,需要大量资金投入。为调动各方的积极性,急需政府出台相关的经济鼓励政策,引导市场,优化资源配置,促进建筑节能发展。国外发达国家为促进建筑节能工作的开展采取了许多积极的政策措施,如德国、丹麦、波兰等国家对旧有建筑节能改造提供了大量的财政补助;美国、日本、德国对利用太阳能的建筑实行财政补助,效果很好。

4. 国家对建筑节能技术创新、技术进步支持力度不够

建筑节能的顺利推进,还有赖于经济上可以承受的先进成熟的技术,以及质量合格、数量足够的产品的支持。但是,正在起步发展中的建筑节能产业,作为一个复杂多样的产业群体,存在起点低、技术水平不高、创新能力弱的问题。目前,过渡地区的建筑节能标准已逐步颁布实施,南方炎热地区的建筑节能工作也已启动,这些标准的实施需要大量成熟可行的技术和产品作为支撑,国家在建筑节能技术开发和创新方面的支持力度还需要加大。这样我国才有可能实现中长期建筑节能路线图既定目标。

5. 管理机构不健全,管理体制不顺畅

建筑节能工作除了应该注意建筑门窗、建筑屋顶和供暖制冷系统的用能效率外,建筑物的围护墙体节能也是十分重要的方面。建筑节能不抓墙体革新不可能达到节能的效果,墙体革新不与建筑节能相结合,也失去了墙体革新的作用。但长期以来,建筑节能工作缺乏强有力的管理机构。虽然住房和城乡建设部已成立了建筑节能协调领导小组和专门的建筑节能协调组办公室,但到目前为止,很多地方仍未成立相应的建筑节能管理机构,因而建筑节能工

作难以按计划推动。当前建筑节能与墙体材料革新工作分离,关系不顺。从部委一级看,建筑节能的职能属于住房和城乡建设部,而机构改革后,墙体材料革新工作则由商务部负责;从地方看,有的地方墙体材料革新办公室挂靠建设委员会,有的则挂靠经济贸易委员会。而从全国建筑节能工作开展的情况来看,凡是建筑节能与墙体材料革新工作统一归口管理的省市或地区,建筑节能工作就能得到较大的发展,反之,则矛盾很多,发展缓慢。

6. 现行的供暖收费制度阻碍了建筑节能事业的发展

我国现行的供暖收费制度是按建筑面积计算供暖费,在这种收费体制下,供暖企业缺乏自主经营的动力,无法满足用户对热舒适程度的要求;热用户也没有节约供暖用能的积极性。我国开展建筑节能工作十多年来,北方供暖地区已经建成了约1.4亿 m^2 的节能建筑,建筑围护结构的保温效果大为改善,因此冬季室温得到了提高,但由于供暖热量没有计量,用户也不能调控室温,房间太热时就开窗散热,出现了节能建筑实际上不节能的不合理现象。不管是节能建筑还是非节能建筑,都是按建筑面积收取供暖费,影响了房屋开发建设方建筑节能的积极性。只有实行按热量计量收费,才能体现节能的经济效益,节能建筑才能真正收到节能效果。

1.2.3 推进我国建筑节能工作的对策

1. 完善国家建筑节能法规体系

建筑节能有利于节约资源,改善环境,提高人民的生活水平,涉及重大公众利益和国家可持续发展战略,必须由国家力量来强制实施。在《中华人民共和国节约能源法》中,对建筑节能的规定比较原则,可操作性不强。2005年10月,住房和城乡建设部颁布了部长令《民用建筑节能管理规定》;2008年8月1日,中华人民共和国国务院令530号颁布了《民用建筑节能条例》,这是我国专门的民用建筑节能的法律。因此,推进建筑节能有法可依,在推动各地建筑节能工作方面发挥了一定的作用。但由于建筑节能涉及建材、煤炭、电力、天然气、石油、轻工、家电等许多行业,存在着职能交叉问题,需由法律统一协调,才能规范建筑节能工作。国务院已将建筑节能作为贯彻国家可持续发展的一项重要举措,纳入有关工作计划中,并责成相关部门对建筑节能工作进行深入研究,制定对策。发达国家的建筑节能工作早已走上法制化道路,值得我们借鉴。

2. 建立相应的权威协调管理机构

建筑节能工作政策性强,涉及部门多,协调工作量大,应建立国家的协调管理机构。把建筑节能工作纳入国家宏观经济运行体制,协调各方利益和各部门关系,明确有关职责。各地也应建立和健全相应的建筑节能管理机构,配备精干的专业队伍,并理顺与各方面的关系。还要健全建筑节能的执法机构,建立以政府监督考核为主,与企事业单位自我考核相结合的建筑节能检查监测体系。理顺建筑节能与墙体材料革新两者的关系以及供暖体制改革与墙体改革协调推进的关系。

3. 建立中央财政预算建筑节能政府基金

推进建筑节能工作需要制定经济鼓励政策。新建建筑节能和既有建筑节能改造数量庞大,在既有建筑节能改造和供暖收费制度改革中,用户、产权单位、供暖企业与国家的利益并不完全一致。由于经济负担重,住户的积极性不够,所以应该由中央财政、地方财政和单位、个人共同负担进行。借鉴国外成功经验和模式,建议国家建立中央财政预算建筑节能政府基金。由财政单独安排建筑节能资金,专项用于既有建筑的节能改造、供暖收费制度的改革,以及建筑节能政策的制定和技术调研、科研开发、试点示范等。加大对建筑节能相应技术和产品研究开发的支持力度,拨专款用于建筑节能工作。继续鼓励太阳能、地热能、风能、生物质能和工业余热等的应用研究。

4. 推进城市供暖收费体制改革, 制订合理的热价和收费办法

城市住房体制改革, 使住宅使用权、产权归职工个人所有。消费主体的变化, 使得住宅用“热”的商品属性已显现出来。因此, 改革收费体制已势在必行。借鉴国家住房制度改革的经验, 加快改革城市供暖收费制度的步伐, 制订合理的热价管理和收费办法, 使供暖货币化、商品化, 改暗补为明补, 加大对供暖系统实施分户调控室温 and 按热量计量收费工作力度。

5. 建立国家建筑节能技术产品的评估认证制度

建筑节能技术和产品的专业性强, 与建筑物安全性和长期使用寿命有关, 但由于目前建筑节能技术实施效果普遍不明显, 有些技术还不完善, 市场机制也很不规范。因此有必要借鉴国外成熟经验, 建立国家建筑节能技术产品评估认证体系, 成立评估认证管理委员会和专家委员会, 成立评估认证执行机构, 建立推广和限制、淘汰公布制度和管理办法, 规范建筑节能技术和产品市场, 推动建筑节能技术和产品的创新发展。

1.3 我国建筑节能的目标与任务

近些年来, 我国建筑节能工作已有长足的进步, 但仍有众多民用建筑围护结构保温隔热性能差, 运行管理队伍缺乏专业技术人员, 供暖、空调系统能耗不清, 用能效率不高, 且建筑室内热舒适环境不佳。在我国夏热冬冷的气候条件下, 不仅能源浪费严重, 而且造成城市大气严重污染和温室气体的过量排放。随着生活的不断改善, 建筑耗能总量及其所占比例还将继续增加。面对 21 世纪城乡建筑持续高速发展的形势, 建筑节能工作必须跨越式发展, 大力发展超低能耗建筑、高效供能系统和可再生能源利用。只有通过实行专业化、精细化管理模式运营, 创造良好的工作与生活环境, 才能使经济社会得以长期可持续发展。

制定相关建筑节能的设计标准和运行管理规范, 是推进建筑节能工作的基本前提。然而, 只有设计节能标准是远远不够的, 特别是在供暖和空调系统运行、建筑热工和实际能耗检测、动态运行调控节能技术等方面都应有相应的标准, 使建筑节能领域逐步建立从规划、设计、招标采购、施工、系统调试和运行管理全过程的标准体系。

关键还在于标准的认真执行。执行节能标准, 首先要搞好教育培训, 特别是对建筑和暖通空调设计师、房屋开发商和运行管理人员的培训, 也要做好对广大群众的宣传。事先要准备好宣贯教材和简化计算软件; 执行节能标准, 应该认真贯彻住房和城乡建设部令《民用建筑节能管理规定》和《实施工程建设强制性标准监督规定》, 地方建设行政管理部门应该采取积极态度, 制订当地的管理办法, 通过设计审查、施工监理和竣工验收等环节实施行政强制措施, 并编制实施细则、通用图集等技术文件。在具体工作中, 应该区别对待, 因地制宜, 分步实施。要从大中城市开始, 尤其是特大城市经济技术实力雄厚, 应该率先垂范, 起到示范和辐射作用。

我国新建建筑尽管为数巨大, 但是, 既有的高耗能建筑一直是浪费建筑用能的主要根源所在。只有切实进行既有建筑的节能改造, 才能逐步缓解建筑能耗过高的沉重负担。在当前丰富多样的适用技术的基础上, 总结提炼适应于不同地区的成套成熟的建筑节能适用技术体系, 在推广应用中日益完善, 使得建筑节能技术不断创新, 从而使我国逐步走向世界建筑节能技术的前列, 成为建筑节能技术和产业强国, 使国家建筑节能事业持续健康发展。

节约建筑用能, 有利于保护能源资源、发展国民经济。这是人所共知、显而易见的。建筑节能还有利于改善室内热环境, 有利于改善当地大气环境, 并由于减少了温室气体的排放, 有利于缓解地球变暖的威胁。改善环境应该是建筑节能重要的基本目标。由于节能建筑的围护结构的保温隔热得到了加强, 不仅使供暖、空调能耗减少, 室内热舒适性也大幅度提高。

我国大部分城市冬季供暖以煤为主的格局长期难以改变。这种情况造成北方城市供暖期

的大气严重污染,雾霾时有发生。气温越低、燃煤越多、则污染越烈。城市越大、人口越密集,则污染越严重。这也是许多城市居民多种疾病的致病之源。

近年来,国际上十分关注过度用能产生的 CO_2 排放问题。全世界建筑用能排放的 CO_2 约占全球排放总量的 $1/3$ 。一些发达国家的建筑界正在做出重大努力,以碳排放量作为衡量建筑质量的一项重要指标,推行建筑碳交易。我国人口众多,随着经济建设的发展和人民生活的改善,温室气体排放量增长较快。减排温室气体,保护人类赖以生存的地球环境,是各国人民的共同要求。因此,建筑节能也是保护地球环境的迫切需要,是我们义不容辞的责任。

认识建筑节能对于改善建筑环境、保护大气环境和地球环境的重大意义,建筑节能工作就会成为与大众有切身关系的事业,从而产生更加强大的推动力量。建筑节能工作的推进,还有赖于方方面面的共同努力。从政策、法规、标准、规范、工程、技术、管理、宣传、培训、国际合作等诸多方面,都需要做出努力和贡献。只有这样,才能实现建筑节能跨越式发展,从而使我国逐步实现超低能耗或近零能耗建筑绿色化进程路线图。

1.4 被动式超低能耗绿色建筑

超低能耗绿色建筑是指适应气候特征和自然条件,使得建筑围护结构保温隔热性能和气密性能更高,采用高效新风热回收技术,最大限度地降低建筑供暖供冷需求,充分利用低品位和可再生能源,以更少的能源消耗提供舒适健康的室内环境,并能满足绿色建筑基本要求。

而被动式超低能耗建筑的基本设计理念是在建筑整体设计的基础上,首先应以被动优先、主动优化的原则降低建筑能耗需求,提高能源利用效率,用可再生能源替代传统能源,降低化石能源消耗。

住房和城乡建设部发布的《被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑)》考虑了我国地域气候差异、建筑特点和建筑技术等实际国情,结合我国绿色建筑发展战略和实施计划,将更好地指导、推动我国超低能耗建筑和绿色建筑的全面有序的发展。

实践证明,建筑节能不可能自发地开展,必须首先由政府主导,由国家立法,对建筑节能做出明确的规定。管理建筑节能是政府必须完成的任务,各级政府明确职责,建立建筑节能法规体系。这样,一系列相关法规规章、奖惩办法与标准就有法可依,能够得到有效实施,建筑节能工作将由此走上法制化轨道。届时建筑节能将成为各级政府、各企事业单位和全体公民的执法行为,从而使建筑节能工作得到迅速推进。

尽管我国人均用能不及世界平均人均能耗水平的一半,但能源消费总量已达世界第二。随着我国经济持续快速稳定增长,建设事业发展迅速,人民生活水平的逐步提高,对住宅的舒适度要求也越来越高,将增加供暖和空调设施,建筑能耗必将大幅度增加,建筑能耗占总能耗的比例也会越来越大,国家的能源负担将更加沉重,经济高速增长对自然环境带来的风险正在增加。在这种情况下,建筑节能工作必须尽快扭转当前严重落后而且长期以来总体进展缓慢的状况^[8]。按照国家能源战略部署,建筑节能实行跨越式发展,使高能效的建筑日益成为时尚,为人民创造良好的工作与生活环境,使我国经济社会得以长期稳定持续发展。

多年来,我国开展了相当规模的建筑节能工作,采取先易后难、先城市后农村、先新建后改建、先住宅后公建、从北向南逐步推进的策略,全面有序推进建筑节能工作,取得了一大批具有实用价值的科技成果。同时广泛开展建筑节能的国际合作,开发建筑节能相关产品和技术推广应用,促进了建筑节能技术的产业化发展。制定了一系列建筑节能规程、规范和技术培训体系,大范围地开展了建筑节能培训工作。这些卓有成效的工作,为我国未来建筑节能实现能效提升路线图奠定了扎实的基础。

思 考 题

1. 建筑节能技术的主要任务是什么?
2. 提升我国建筑能效的途径和措施是什么?
3. 什么是被动式超低能耗建筑?
4. 什么是绿色建筑?
5. 什么是可再生能源?

参 考 文 献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 (2007—2016) [R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [2] 中国建筑节能协会. 中国建筑节能现状与发展报告 (2013—2014) [R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] 唐欢. 夏热冬冷地区节能建筑墙体研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2005.
- [4] 原兆亮. 医院建筑节能潜力分析与节能途径研究 [D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [5] 陈池. 建筑外围护结构节能研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [6] 住房和城乡建设部科技发展促进中心. 中国建筑节能发展报告——建筑节能运行管理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [7] 韩彬. 提高东北地区民用建筑能源利用效率措施研究 [D]. 大连: 东北财经大学, 2007.
- [8] 刘加平. 西安地区新型节能构造体系研究——节能 65% 多层砖混住宅 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2005.

第2章

民用建筑节能设计

建筑节能是指对建筑能耗的降低和建筑使用能量的减少。广义地说,建筑节能包括建筑物内建筑设备系统日常使用的节能、建材生产和建筑物建造过程中的节能、建筑物本体的节能特性等。本章所说的建筑节能特指建筑物本体的节能特性。

2.1 建筑节能的基本问题

建筑节能是以满足建筑热环境和保护人居环境为目的,通过建筑设计手段及改善建筑围护结构的热工性能,并充分利用自然能,使建筑能耗最小化的科学和技术手段。

建筑节能是社会经济发展的需要。经济的发展依赖于能源的发展,发达国家建筑用能一般占全国总能耗的30%~40%。我国煤炭和水力资源比较丰富,但石油依靠进口,据有关数据统计,2012年我国建筑总能耗(不含生物质能)为6.90亿t标准煤,占全国总能耗的19.1%。随着我国供暖面积的进一步扩大以及空调建筑的迅速增加,建筑能耗也将高速增长,这将加速我国能源消费逼近我国能源供应红线的进程,能源的无节制消耗将限制国家经济的发展。

建筑节能是减轻大气污染的需要。近年来,由于燃料燃烧导致的环境污染成为危及人类生存的问题,大气污染物中的二氧化硫、氮化物、悬浮颗粒等污染因素指标均与供暖燃煤有关,以煤炭为主的能源结构条件下更是如此。以我国北京市为例,每年在进入供暖期时都要进行环境的跟踪检测,结果相应的几个污染因素指标与非供暖期相比都不能达标,甚至大大超过标准。可见供暖能耗的节约有利于人居环境的改善。

建筑节能是改善热环境的需要。随着经济的发展,人民生活水平的提高,舒适的热环境已成为人们生活的需要,发达国家适宜的室内温度已经成为基本的劳动需求,全球气候的改变使舒适的环境要求建立在能耗的基础上,我国大部分地区属于冬寒夏热气候,宜人的室内热环境常常依赖人工空调系统调节,需要消耗大量的电能。能源的紧缺、大气环境的改善,注定了只有在节能条件下改善热环境才有意义。

综上所述,建筑节能成为世界潮流是一种客观的社会需要,是一种历史的必然。

由于历史的遗留和现代建筑可持续发展的需要,我国现期的建筑节能实际上是一个改造和创新的过程。节能设计包括节能整体设计和节能建筑单体设计。节能整体设计充分体现“建筑设计结合气候”的设计思想,分析构成气候的决定因素——太阳辐射因素、大气环流因素、地理因素的有利或不利影响,通过建筑的规划布局,创造有利于节能的微气候环境。主要从建设选址、建筑和道路布局、建筑朝向、建筑体型、建筑间距、冬季主导风向、太阳辐射、建筑外部空间环境构成等方面进行深入研究。节能建筑单体设计分为三部分,一种是从建筑设计本身出发,包括建筑平面的布局,建筑体型体量设计,建筑内外部空间设计,窗、地面积比或者窗、墙面积比的设计等方面;其次是节能技术设计,例如节能建筑的墙体设计、窗户设计、地面和屋面设计等;还有一种就是类似于生态建筑的特殊的节能建筑的设计,像

太阳能建筑、生土建筑、绿化建筑和自然空调式建筑等。

建筑业为用能大户,我国政府十分重视建筑节能工作,基于我国国情和节能工作发展的需要,制定了很多相应的建筑节能设计的规范和标准,北京市新建住宅从1988年实施节能30%的设计标准(以1981年建筑设计规范,每平方米供暖面积一个供暖季耗标准煤25kg为100%,1988年设计规范为17.5kg,供暖能耗降低30%),1998年开始实施节能50%的设计标准(每平方米供暖能耗降低到12.5kg以下)。到2000年,全市当年新开工住宅工程符合节能50%的设计标准的达到95%以上,其中市批开工的达到100%,节能50%的建筑设计已经基本普及。但与国际先进的建筑节能水平相比仍有一定差距。即要达到目前欧洲的平均水平,必须达到建筑节能65%的设计标准(达到每平方米建筑一个供暖季耗标准煤8.75kg)。

上面所提到的节能设计标准,是源于北京市针对我国华北地区供暖建筑而言的。建筑节能设计的内容和标准既具有普遍性,也具有特殊性。针对不同的社会经济发展水平、不同的气候条件、不同的建筑种类及用途等都会对其建筑节能设计的内容和标准做出不同的具体规定。2012年5月,住房和城乡建设部颁布的《“十二五”建筑节能专项规划》(建科[2012]72号),2012年8月,国务院出台的《节能减排“十二五”规划》(国发[2012]40号),2013年1月,国务院印发的《能源发展“十二五”规划》(国发[2013]2号)及《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2010)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2010)、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2012)和《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)等对此都进行了总体的和具体的规定和说明。

1. 提高建筑围护结构的热工性能

在建筑物冷热负荷的计算时,其中有两项重要的影响因素,即通过围护结构的传热量损失和空气渗透耗热量。这两项都与建筑围护结构材料选择和构造形式有着直接的关系。建筑围护结构的保温、防潮、密封性能等热工性能的提高,就可以大大减小建筑物冷热负荷,从而减少建筑设备的能耗、节省能源。所以建筑节能的首要工作和重点内容就是提高建筑围护结构的热工性能。

2. 利用可再生能源

节能建筑在提高建筑围护结构的热工性能的同时,还要在建筑设计中充分考虑最大限度利用自然能和可再生能源,尽量减少常规能源的消耗。1972年斯德哥尔摩人类居住会议发表了有关人类经济发展的极限的报告。1973年发生石油危机,这些都切切实实地表明,地球资源是有限的。对大量使用能源的建筑来说,应该考虑自然能源的利用。欧美在反省消费文明时,提出了各种各样的提案,例如无能耗住宅、被动式太阳能建筑等。

3. 建筑的可持续发展(绿色建筑)

“可持续发展”这一概念出于联合国环境发展署1987年布隆特兰夫人主持的《我们共同的未来》的报告,意为“在既满足当代人需要的同时,又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。基本内容是要求当代人与后代人发展机会均等,当前的发展不损害后人的生存环境,强调有效和有节制地利用不可再生资源。我国实施可持续发展是要开创一种新的发展模式,把经济发展和人口、资源及环境协调起来。

可持续发展建筑的一个最普遍、最明显的特征是节省能源,它包括两层含义,其一是指建筑运营的低能耗,其二是指房屋建造过程中的低能耗。

我国目前经济高速增长,对建筑的需求量也急剧增长,建筑规模和发展势头在世界上是空前的,对能源的需求的压力越来越大,所以大力推广节能建筑,充分利用可再生能源,走可持续发展的道路是我们必须选择的道路。

2.2 节能建筑与建筑节能材料

2.2.1 建筑墙体的绝热材料

建筑材料的选择对建筑节能有很大的影响，目前我国大部分建筑的建筑墙体保温隔热性能差，导致我国建筑的供暖空调负荷比较高，即在相同的室内环境舒适性要求的前提下，我国单位面积的建筑能耗需求大，高于发达国家。与气候条件相近的发达国家相比，目前我国建筑供暖耗能量，外墙约为其4~5倍，屋顶为2.5~5.5倍。所以对建筑材料及其制品、建筑节能墙体的研究与开发是建筑节能工作中一项重要和迫切的任务。

习惯上把热导率（又称导热系数）小的材料称为保温材料（又称隔热材料或绝热材料）。至于小到多少才算是保温材料则与各国的具体情况有关。我国规定，凡平均温度不高于350℃时热导率不大于0.12W/(m·K)的材料称为保温材料。矿渣棉、硅藻土等都属于这类材料。近年来，我国发展生产了岩棉板、岩棉玻璃布缝毡、膨胀珍珠岩、膨胀塑料及中孔微珠等新型隔热材料，它们都具有体积质量小、隔热性能好和价格便宜、施工方便等优点。

绝热材料的特点是轻质、疏松、多孔或为纤维状，其品种很多，按材质可分为无机绝热材料、有机绝热材料和金属绝热材料三大类；按形态可分为纤维状、微孔状、气泡状和层状四种。主要绝热材料的分类见表2-1。

表 2-1 主要绝热材料的分类

形态	材 质		材 料
纤维状	无机质	天然	石棉纤维
		人造	矿物纤维(矿渣棉、岩棉、玻璃棉、硅酸铝棉)
	有机质	天然	软质纤维板(木纤维板、草纤维板)
微孔状	无机质	天然	硅藻土
		人造	硅酸钙、碳酸镁
气泡状	有机质	天然	软木
		人造	泡沫聚苯乙烯塑料、泡沫聚氨酯塑料、泡沫酚醛树脂、泡沫尿素树脂、泡沫橡胶、钙塑绝热板
	无机质	人造	膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、加气混凝土、泡沫玻璃、泡沫硅玻璃、火山炭微珠、泡沫黏土等
层状	金属	人造	铝箔

1. 膨胀珍珠岩及制品

膨胀珍珠岩是由酸性火山玻璃熔岩（即珍珠岩、松脂岩、黑曜岩）经破碎、筛分至一定粒度再经预热、瞬时高温焙烧膨胀冷却而制成的一种白色颗粒状的绝热材料。膨胀珍珠岩制品是以膨胀珍珠岩为骨料，配合适量的粘结剂，如水泥、水玻璃、沥青、石膏、树脂、磷酸盐等，经过搅拌、压制成型、干燥、养护而成的具有一定形状制品。

膨胀珍珠岩具有轻质、绝热、吸声、不燃烧、使用温度广、化学稳定性强、无毒、无味等特性。其堆密度（俗称容重）一般为50~200kg/m³，热导率为0.04~0.07W/(m·k)。膨胀珍珠岩的耐火度为1280~1360℃，其安全使用温度一般为800℃。膨胀珍珠岩具有很大的吸水性，因而引起许多不良后果，如强度下降、绝热性能降低等，这一点应在设计和施工中予以注意。膨胀珍珠岩的吸水量可达本身质量的2~9倍，堆密度越小，吸水性越强。吸湿性是保温材料的重要性能之一，吸湿性越小，保温性能越好，膨胀珍珠岩的吸湿率很小。另外，膨胀珍珠岩具有良好的抗冻性能，耐酸性较强，耐碱性差。膨胀珍珠岩颗粒表面粗糙，内部结构多孔，从而具有良好的吸声性能。膨胀珍珠岩属于绝缘材料，其电阻率 $\rho = 1.95 \times 10^9 \sim 2.3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ [有关膨胀珍珠岩详细的性能指标可参见《膨胀珍珠岩绝热制品》(GB/T

10303—2015)]。

膨胀珍珠岩在建筑业的主要用途如下:①做墙体、屋面、吊顶等围护结构的散填保温隔热材料;②配置轻骨料混凝土,预制各种轻质混凝土构件;③以膨胀珍珠岩为骨料,用各种有机或无机胶结剂制成绝热吸声的膨胀珍珠岩制品。

以上做法在建筑工程中已普及应用到各种建筑体系,并产生了显著的效益。如在砖混与砌块建筑的墙体预留空腔中,填充数厘米厚的憎水膨胀珍珠岩散料,便可使墙体的热阻值增加1倍以上。而达到同样的效果与采用其他保温材料相比,费用仅仅是其他保温材料的 $1/3 \sim 1/5$,而且工艺简单,易于推广。

随着施工方法的改进和完善,北方地区的屋面保温已用膨胀珍珠岩取代传统的保温材料——炉渣,取得了较好的应用效果。

以大、小粒径的膨胀珍珠岩做粗、细骨料,可配制轻质混凝土,用于浇制或预制各种质轻、绝热性好的墙板、楼板和屋面板等建筑围护构件。这种建筑构件比普通的混凝土构件质量减少25%以上,而热阻值却提高几倍,甚至十几倍,使建筑物的各项功能有较大改善。

采用水泥、石灰、石膏和水玻璃等为胶结剂的各种珍珠岩制品,可用作复合式墙板、屋面板的保温层、底层建筑的保温地坪、楼梯间内墙的保温贴面层、输热管道及供暖锅炉轻型炉墙的保温层等。这种厚 $3 \sim 4\text{cm}$ 的保温层便可以使建筑物和供、输热装置的围护层热阻值增加40%以上,热损失减少 $10\% \sim 30\%$,节约了能源。膨胀珍珠岩制品还可用作电梯间、锅炉房的声障吸声板,可大幅度地降低噪声的分贝值,减少噪声对人体的危害。由于膨胀珍珠岩具有一系列优良品质:轻质、绝热、隔声、耐火等,在建筑业中得到广泛应用。而且与其他保温材料相比更为廉价,成本更低,是一种经济实用的保温材料。

2. 聚苯乙烯泡沫塑料

泡沫塑料是以合成树脂为原料,加入发泡剂,通过热分解放出大量气体,形成内部具有无数小气孔材料的塑料成品。

发泡倍率在5以下的,通常称为低发泡泡沫塑料,5以上的为高发泡泡沫塑料。按照泡沫气孔结构不同,又可分为开孔发泡塑料(气孔与气孔之间互通)和闭孔发泡塑料(气孔与气孔之间各自独立)两种。

泡沫塑料种类繁多,几乎每种合成树脂都可以制成相应品种的泡沫塑料,通常以所用树脂取名。目前建筑上应用较多的有聚苯乙烯泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料等。其中聚苯乙烯泡沫塑料是发展最快的泡沫塑料,由于价格低,是世界上广泛应用的保温材料。其主要特点有:

- 1) 质轻,堆密度可小到 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 以下,比水轻50倍以上。
- 2) 绝热性能好,热导率仅为 $0.044\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,适合于保温 $-40 \sim 70^\circ\text{C}$ 的介质。
- 3) 防潮性好,不易吸水。
- 4) 施工方便,易于切割,也易于与各种材料结合。
- 5) 弹性好,形状保持比较稳定,适用于充当缓冲包装材料。
- 6) 加阻燃剂后,具有较好的阻燃性。但是聚苯乙烯泡沫塑料在阳光下易老化,影响使用寿命;而且能被一些有机溶剂溶解、溶胀,所以选用粘结剂要适当。

聚苯乙烯泡沫在建筑中应用广泛,在房屋建筑中,聚苯乙烯泡沫是一种理想的保温材料,它可以作为墙体、地面和屋面的保温隔热层。

(1) 做墙体的保温隔热层 在墙体保温中应用聚苯乙烯泡沫可采用下述几种方法:

- 1) 在装配式房屋建筑中,聚苯乙烯泡沫可以填充在两层混凝土板之间做成装配式夹心保温板。
- 2) 房屋墙体内部表面设置聚苯乙烯泡沫板,然后在它的表面直接进行抹灰或贴纸面石膏板。

3) 将聚苯乙烯泡沫板设置于外墙外侧,在其表面做涂塑玻纤布增强的抗裂砂浆层,构成外保温复合墙体。

(2) 做屋面的保温隔热层

1) 对于斜屋面,保温隔热的做法是将聚苯乙烯泡沫板直接固定在屋面椽子上,或做在吊平顶木搁栅上,也可以用聚苯乙烯泡沫颗粒松散地铺在吊平顶上。

2) 对于平屋面,保温隔热层的做法是在屋面上直接用乳化沥青或冷沥青胶粘贴泡沫聚苯乙烯板,然后在泡沫板上做2.5cm厚的水泥砂浆找平层,适当抹光,并做适当的伸缩缝,最后用防水卷材或防水涂料做防水层处理。

泡沫聚苯乙烯即可以保温又可以隔声,利用这一特点,常将它制成发泡装饰天花板,用作具有隔声性能的吊顶装饰材料。

(3) 做地面的保温隔热层 聚苯乙烯泡沫对地面的隔热是十分有效的。在底层地板上,铺聚苯乙烯泡沫板之前,应该做一层防潮层,以防止地基中的水气渗入泡沫板。如果泡沫板是平整的就不需要满粘,只需粘几个点,然后在泡沫板上再做2.5~5.1cm厚的平层。

3. 岩棉、矿渣棉、玻璃棉

(1) 岩棉及其制品 岩棉纤维是将矿物岩石(玄武岩或辉绿岩)作为主要原料,按一定的颗粒要求,掺入少量的白云石、矿渣一并和燃料(焦炭)加入冲天熔化炉内,通入热风,在1500℃高温下熔化,熔化后的熔融物,从熔化炉内流出,经高速离心机的离心辊转动切向离心力作用将溶流分散牵引,形成很细的纤维(纤维直径为4~7μm,长度为4~5mm),借助高压风的压力将纤维吹入集棉室,同时在集棉室提供的负压状态下,使形成的纤维均匀分布在传送带上,沉积在传送带上的纤维状产品,即称为岩棉。

对上述成棉加入一些添加剂并进行一定的技术加工后,可以制成多种绝热性能良好的岩棉制品,如岩棉玻璃布缝毡、岩棉铁丝网缝毡、岩棉保温带制品、岩棉管壳制品。

(2) 矿渣棉及其制品 矿渣棉简称矿棉,是利用工业废渣矿渣为主要原料,经熔化,采用高速离心法或喷吹法工艺制成的棉丝状无机纤维,具有堆密度小、热导率低、不燃、耐腐蚀、防蛀以及化学稳定性好、吸声性能好等特点。

(3) 玻璃棉及其制品 玻璃棉及制品是矿物棉的一种,是采用天然矿石如石英砂、白云石、蜡石等,配以其他化工原料,如纯碱、硼酸等熔制玻璃,在熔融状态下借助外力拉制、吹制或甩成极细的纤维状材料。按其化学成分可分为无碱、中碱和高碱玻璃棉;按生产方式可分为三种,一是火焰喷吹成棉,即火焰法玻璃棉;二是离心喷吹法玻璃棉;三是蒸汽立吹法玻璃棉,目前这种生产方法已逐渐被淘汰。世界各国生产玻璃棉的厂家,绝大多数采用离心喷吹法,其次是火焰法。

玻璃棉制品品种较多,其基本产品有玻璃棉毡、玻璃棉板、玻璃棉带、玻璃毡和玻璃棉保温管。

岩棉、矿渣棉、玻璃棉统称矿物棉。矿物棉纤维的多孔性,使其具有堆密度小(一般为100~200kg/m³)、热导率低[一般小于0.05W/(m·K)]、吸声与隔声性能好,同时还具有不燃、耐腐蚀、防蛀以及化学稳定性好等特点。矿物棉制品与作为建筑外围结构的混凝土墙或砖墙相配合可制成保温、隔热、吸声与隔声性能良好的复合墙体结构,对建筑节能墙体体的开发,建筑节能工作的开展具有重要作用。

2.2.2 节能建筑的门窗材料

在建筑围护结构的门窗、墙体、屋面、地面四大围护部件中,门窗的绝热性能最差,是影响室内热环境质量和建筑节能的主要因素之一。就我国目前典型的围护部件而言,门窗的能耗约为墙体的4倍、屋面的5倍、地面的20多倍,占建筑围护部件总能耗的40%~50%。

据统计，在供暖或空调的条件下，冬季单玻窗所损失的热量占供热负荷的 30%~50%，夏季因太阳辐射热透过单玻窗射入室内而消耗的冷量占空调负荷的 20%~30%。因此增强门窗的保温隔热性能，减少门窗能耗，是改善室内热环境质量和提高建筑节能水平的重要环节。另一方面，建筑门窗承担着隔绝与沟通室内外两种环境两个相互矛盾的任务，不仅要求它具有良好的绝热性能，同时还应具有采光、通风、装饰、隔声、防火等多项功能，因此，在技术处理上相对于其他围护部件，难度更大，涉及的问题也更为复杂。

在建筑能耗方面，我国居住建筑的单位总能耗为发达国家的 3 倍左右，外窗为 1.5~2.2 倍，门窗空气渗透为 3~6 倍；在节能标准方面，多数发达国家已经过多次节能标准的修订，相关的节能指标达到了较高水平，如德国北方地区要求外窗的热导率为 $1.08\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，法国要求为 $2.25\sim 2.45\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；我国在现有的中英合作建筑节能示范工程中，最低也才 $2.05\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

建筑门窗一般由门窗框材料、镶嵌材料和密封材料构成。门窗材料的选择对建筑节能的影响很大，现将我国主要的门窗材料以及与门窗节能相关的一些材料品种、性能介绍如下。

1. 门窗框材料

目前，我国常用的门窗框材料有木材、钢材、铝合金、塑料、复合材料等。表 2-2 给出了四种门窗框材料的热导率。

表 2-2 几种材料的热导率 λ

品 种	松木、杉木	塑 料	钢	铝 合 金
$\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	0.14~0.29	0.10~0.25	58.2	174.4

从表 2-2 中可以看出，木材、塑料的隔热保温性能优于钢、铝合金，但钢、铝材料经隔热处理后，如进行喷塑处理、与 PVC 塑料或木材复合，则可显著降低其热导率，这些新型的复合材料也是目前使用的品种。

门窗框可用不同材料制作，其所占门窗洞的面积的比例为 15%~30%。由于框料型材的不同，门窗的隔热性能特点有相当大的差别。长期以来，世界各国普遍使用木窗。木材强度高，保温隔热性能优良，容易制成复杂断面，但耐燃和耐潮湿能力很差。由于木材资源的短缺和对木材资源的保护，加上对新材料的研发不断取得进展，世界上木窗采用的比例已大幅度降低。钢窗强度高，防火能力强，抗风压、防盗能力好，但热工性能很差，保温隔热不良，不易形成复杂断面。我国在 20~30 年前推行“以钢代木”，钢窗曾为市场主导产品，但现在市场占有率很低。1980 年以后，塑料窗得到了迅速的发展，其特点是保温隔热性能突出，节能效果好，容易挤塑形成复杂断面，耐潮湿能力极佳，耐化学腐蚀性能优越，装饰性、气密性都可以做得很好；但强度、刚度、耐冲击力、抗风压能力较差，断面较粗大（空腔内可用钢衬加强），对光线遮挡较多，不耐燃烧，存在光、热老化问题，防火、防盗难以满足高要求。第二次世界大战以后，铝窗在世界上得到了发展应用。这种窗户强度、刚度较高，抗风压能力佳，耐久性和装饰性好，色彩丰富，较易形成复杂断面，耐燃烧、耐潮湿性能良好。但耐化学腐蚀性能不如塑料窗，保温隔热性能差。此外，还有玻璃钢窗以及一些复合材料窗，如铝塑复合、木塑复合等。不同材料的复合，有助于取长补短，提高门窗框的综合性能。例如，铝合金与高性能工程塑料复合的铝合金型材，经粉末喷涂、氟碳喷漆等表面处理，可制成高档门窗产品。

2. 镶嵌材料

玻璃及其制品是最常用的镶嵌材料，按其性能不同可分为平板玻璃（包括浮法玻璃）、中空玻璃、镀膜玻璃和彩色玻璃（或吸热玻璃）四类，另外，还有一些新型功能镀膜玻璃（如低辐射玻璃，Low-E 玻璃）。平板玻璃的热导率为 $0.7\sim 0.8\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ （3~5mm 厚），故单玻

窗几乎没有明显的隔热保温性能。中空玻璃比平板玻璃的传热系数低得多,这是由于在中空玻璃中有一层静止空气或其他高热阻气体(如惰性气体)层,空气的热导率 $[0.0259\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 比玻璃的热导率 $[0.8\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 低得多,因而极大地提高了中空玻璃的热阻,即隔热保温性能。通常,这个空气间层的厚度在 $4\sim 20\text{mm}$ 可产生明显的阻热效果。在此范围内,随空气间层厚度增加,热阻增大,当空气层厚度大于 20mm 后,热阻的增加趋缓。在现有产品中,大多取 6mm 和 12mm 两种间层厚度。另外,这种空气间层的数量越多,保温性越好。

除此而外,还有一些节能窗技术与产品正处在试验研究和商业开发阶段。从这些技术和产品中,可以看出降低窗户失热、控制窗户太阳辐射的新的可能的途径。下面介绍几种技术和产品。

(1) 抽真空玻璃 将带有 Low-E 镀层的中空玻璃内的空气抽出,使中空玻璃空气间层内的空气很少,以大大削减间层内的对流与传导,从而提高中空玻璃的保温效能。

(2) 透明保温材料 在双层玻璃中间,不是填充空气或其他气体,而是填充透明的保温材料,如硅气凝胶(Silica aerogel),这也是一种降低通过玻璃层传热的方法。

(3) 可调节玻璃 由于太阳的入射辐射随气候和季节而异,每天每个时刻都有差别。通常控制太阳辐射得热的有效办法是采用遮阳系统。此外,从玻璃本身入手,使玻璃的光学性能可以调节,可以随着不同时间太阳光学性质的不同而变动,应该也是一种先进合理的方法。现在,已经研制出多种不同类型的可调节玻璃,其性能各有不同,这些可调节玻璃都需要由某种物理因素(光、热或电)激发。通过这种激发,使玻璃起调节作用,改变其状态。太阳辐射透过率最高的状态(一般为未激发状态)称为白态,而太阳辐射透过率最低的状态称为白色态。现在已有三类玻璃调节控制机制,即光致变色(光敏)、热致变色(热敏)和电致变色(电敏)。

1) 光致变色。所谓光致变色玻璃是指一种光致变色的非晶态材料,其特点是经可见光照射后,玻璃产生对光的吸收,使颜色和透光性发生变化,太阳光照强度越大,透过玻璃的阳光越小;而当光照停止后,又能自动恢复到原始透明状态。在夏季可起到很好的遮阳作用。目前这种玻璃已作为太阳眼镜使用了多年,但由于技术上和经济上的一些原因,尚未在建筑上应用。

2) 热致变色。当热致变色材料的温度发生变化时,其光学性能也随着发生变化。对热致变色窗的开发有一些要求,如耐久性、可调温度或激发温度、调节范围(温度与波长)以及在有色状态下的透光程度等。

3) 电致变色。其原理是通过外界电信号的变化连续可逆地调节其光学性质,利用这种原理,可制作成电致变色玻璃应用于窗户,动态地调节太阳能的输入或输出,灵活调节透光度,形成调光智能窗户。因其可实现光密度连续可逆的变化,而且功耗低(自流电压 $2\sim 3\text{V}$),故作为节能玻璃窗材料广泛应用于建筑、飞机、汽车、航天飞机等领域。

通常,电致变色玻璃由玻璃上的五层功能膜组成,其结构为透明玻璃、透明导电层、电致变色层、离子导电层、离子储存层。其中,电致变色层是电致变色玻璃的核心。这种全固态的五层结构智能窗是当今世界各国争先研发的方向,美国、日本等国已完成研制工作,技术趋于成熟。目前存在的主要问题是产品生产技术复杂,价格昂贵,并且它的使用寿命也存在一些问题。这些问题一旦解决,将成为新世纪节能门窗的主流产品。

2.3 建筑保温与热工设计

2.3.1 建筑保温

建筑是由围护结构,包括墙体、屋面、门窗、地面等围合起来的空間,这一空间热环境的优劣,取决于室外自然气候条件和围护结构的保温隔热性能。因此,改善建筑围护结构的

热工性能是建筑节能的首要问题。

1. 外墙

外墙是建筑物隔热保温的重要构件。提高建筑物外墙的隔热保温能力,通常有两个途径:一是增加外墙的厚度,二是降低外墙的传热系数。单纯增加外墙的厚度,势必会增加外墙的自重和建筑材料的消耗量,所以在节能建筑中通常都要考虑通过降低材料的传热系数和改善构造来降低外墙的传热系数。在《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2010)中规定了节能住宅外墙传热系数的上限值可供选择。

外墙保温构造的方案通常有:选用单设保温层,使用封闭的空气间层或带铝箔的封闭空气间层、保温层与承重层合二为一,复合构造等。保温层可设为内保温、中间保温或外保温。保温层的位置正确与否,对结构及房间的使用、构造造价、施工、维修费用都有重大的影响,必须予以足够的重视。

2. 外窗

外窗整体传热系数相比于其他围护结构部件是最大的,故在供暖地区,窗的热损失在建筑物的总热损失中所占比例甚大,约为 $2/3$,其中传热损失为 $1/3$,冷风渗透为 $1/3$,所以窗的保温性能格外重要。

要增强窗的保温性能,首先提高窗的气密性,减少冷风渗透。为此可使用新型的密闭性能良好的门窗材料,在门窗框与墙间的缝隙处,用有弹性的松软的轻型材料(如毛毡)、弹性密闭材料(如聚乙烯泡沫材料)、密封膏以及边框设灰口等密封;框与扇之间可用橡胶、橡塑或泡沫密封条以及高低缝、回风槽等密封;扇与扇之间用密闭条、高低缝及缝外压条等密封;扇与玻璃之间可用各种弹性压条等密封。这些均能减少冷气渗透,提高窗的保温性能。

其次改善玻璃的保温性能,使用低辐射 Low-E 中空玻璃,使用保温窗帘,并在保证日照、采光、通风、观景要求的条件下尽可能减小外门窗洞口的面积。JGJ 26—2010 对不同朝向的窗墙面积比做了严格的规定,规定“北向、东向和西向、南向的窗墙面积比不应超过 20%、30% 和 35%”。

3. 屋顶

在建筑物外围护结构中,根据屋顶的面积大小及所选用的构筑材料的不同,通过屋顶的传热耗能量有时会占建筑物整个外围护结构的传热耗电量的很大份额,因此做好屋顶保温也是十分重要的。

在节能的屋顶设计中,如果采用平屋顶,宜用各种新型保温材料构造成多样化的、高效节能的、经济适用的新型节能屋面体系,例如采用高效保温材料的保温屋面,结构与保温合一的复合节能屋面板等。此外,在节能的屋顶设计中还提倡采用坡屋顶、屋顶设置阁楼、屋顶绿化及屋顶花园等做法。具体的技术要求和施工方法见第3章。

4. 围护结构的热桥部位应采取保温设计

在围护结构的主体部分中存在着保温能力远远低于主体部分的嵌入构件(如墙体中的钢筋混凝土梁、柱、圈梁、过梁、阳台板、板材中的肋等),这些构件的热损失比相同面积主体部分的热损失大得多,内表面温度比主体部分低,在建筑热工中将其称为“热桥”。在节能建筑中,因围护结构主体部分的保温性能提高,热桥点就成了节能建筑绝热保温的薄弱环节,所以能否处理好热桥部分的保温设计,是节能建筑节能目标实现的关键问题之一,必须引起足够的重视。

从建筑保温来看,贯通式热桥最不利,故通常应把钢筋混凝土梁做成 L 形,以使外露部分减小,或干脆把过梁全部包起来,做成非贯通式热桥。对非贯通式热桥,应尽可能将其设在靠近室外的一侧。在寒冷地区,外墙若采用热导率小的新型保温材料,而砌筑时用普通砂浆,灰缝处也会形成热桥。应用保温砂浆代替普通砂浆,以提高外墙的保温性能。