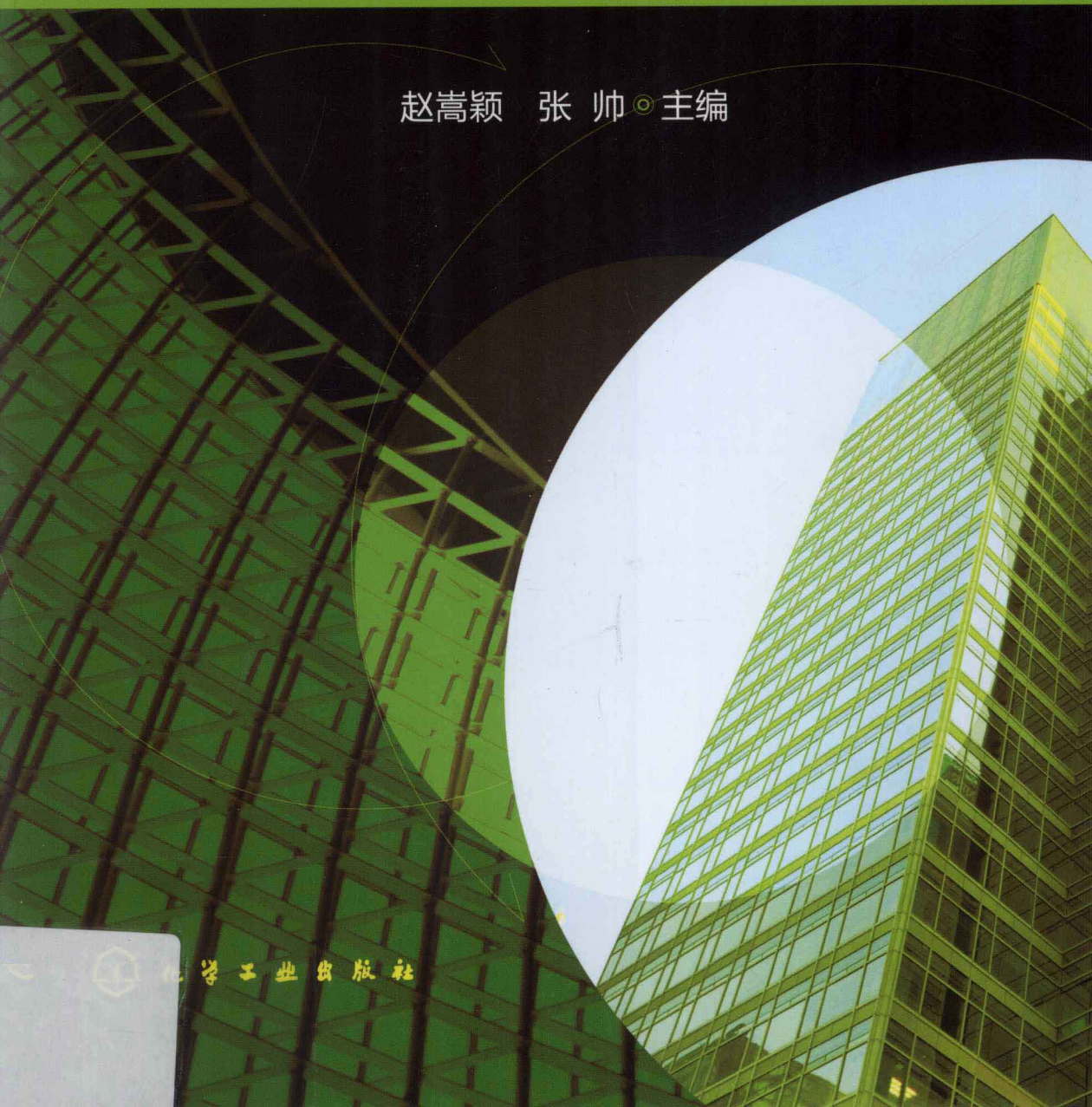


■ 普通高等学校“十二五”规划教材 ■

建筑节能新技术

JIANZHU JIENENG XINJISHU

赵嵩颖 张 帅◎主编



学工业出版社

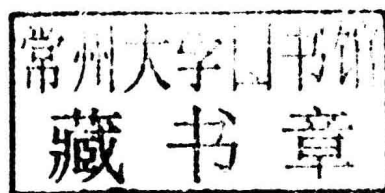
普通高等学校“十二五”规划教材

建筑节能新技术

赵嵩颖 张 帅 主编

张喜明 王子佳 李 慧 张淑秘 副主编

陈 晨 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了建筑节能的基本概念与原理、建筑规划与节能、建筑材料节能、建筑围护结构节能技术、建筑材料节能、建筑冷热源系统节能技术、太阳能与建筑一体化节能技术、地源热泵技术与建筑节能应用,以及国内外先进的建筑节能技术等内容,并附有中华人民共和国节约能源法、民用建筑节能条例和绿色施工导则等附录内容。

本书适用于普通高等院校土建类相关专业的师生作为教学用书,也可供专业人员培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑节能新技术/赵嵩颖,张帅主编. —北京:化学工业出版社,2013.2
普通高等学校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-16101-7

I. ①建… II. ①赵…②张… III. ①建筑-节能-新技术
IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304341 号

责任编辑:李彦玲 李仙华	文字编辑:李 瑾
责任校对:周梦华	装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 242 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元	版权所有 违者必究
--------------	-----------

能源是人类赖以生存和发展的基本条件，随着社会的进步、科技的发展，能源需求与供给的矛盾日益突出，节约能源是人类当前面临的重要任务之一。对于我国来说，我国的建筑能耗逐年大幅度上升，已达全社会能源消耗量的 32%，能源终端利用效率仅为 33%，比发达国家低 10%。正是由于这个原因，建筑节能在国家整个节能战略中处于极其重要的地位，成为国家整个节能战略中的一个重要方面。建筑节能技术是一项复杂的系统工程，在建筑物的设计、建造和使用过程中都存在节能潜力。建筑节能的重点应该是从建筑物的本体和建筑设备领域发展建筑节能新技术。建筑节能领域中应用新技术很多，本书仅介绍其中与建筑设备、建筑材料相关的若干新技术。目前，国内高校众多专业开设建筑节能技术这门课程，开设的专业有：建筑学、建筑环境与设备工程、土木工程、无机非金属材料、高分子材料与工程等相关土建类专业。本教材为高校本科教材，也可供专业人员培训使用，参加本书编写的人员有太原理工大学李慧（第一章）、吉林松辽工程监理监测咨询有限公司赵松源（第二章）、吉林建筑工程学院城建学院王子佳（第三章）、吉林建筑工程学院赵嵩颖（第四章）、吉林建筑工程学院张帅（第五章）、长春建筑学院张淑秘（第六章）、吉林建筑工程学院张喜明（第七章）、吉林大学王有镗（第八章一、二）、吉林大学朱晓林（第八章三、四）、松辽水利委员会松辽流域水土保持监测中心站姜艳艳（第九章）、吉林亚泰房地产有限公司宋杨杰（第十章），沈阳大学孟晓雷也参加了部分章节的编写。本书由吉林大学建设工程学院陈晨教授主审。

由于编者水平有限、编写时间仓促，加之建筑节能新技术又是一门新型的综合性科学技术，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

赵嵩颖

2013 年 1 月于长春

第一章 建筑节能概论	1
第一节 能源概述	1
第二节 建筑节能	2
一、建筑节能的涵义	2
二、建筑节能的规定	3
三、建筑节能的意义	3
第三节 建筑节能技术途径	4
一、减少能源总需求量	4
二、利用新能源	5
第二章 建筑节能基本原理	6
第一节 建筑围护结构传热方式	6
一、传热的基本方式	6
二、传热过程	7
三、建筑围护结构传热	8
第二节 建筑围护结构的热湿传递特点	9
一、通过非透光围护结构的显热得热	9
二、通过透光围护结构的得热	9
三、通过围护结构的湿传递	10
第三节 建筑热负荷	11
一、热负荷概述	11
二、围护结构的基本耗热量	11
三、围护结构的附加耗热量	13
四、冷风渗透耗热量	14
五、冷风侵入耗热量	14
第四节 建筑冷负荷	14
一、冷负荷概述	14
二、得热量与冷负荷的关系	15
三、冷负荷的计算	15
第三章 建筑规划与节能	18
第一节 建筑布局	18
一、建筑日照	18
二、风环境	19
第二节 建筑体形	21

一、控制体形系数	21
二、考虑日辐射得热量	22
三、设计有利避风的建筑形态	23
第三节 建筑间距与朝向	26
一、住宅群的日照间距	26
二、建筑朝向	27
第四章 建筑围护结构节能技术	29
第一节 墙体节能技术	29
一、墙体保温构造性能比较	29
二、内、外保温构造热桥分析	32
三、内、外保温构造综合分析	33
第二节 外窗节能	33
一、玻璃体系的传热分析	33
二、窗框体系的传热分析	35
三、外窗的综合传热分析	36
四、外窗的节能要求	36
第三节 屋面节能技术	37
一、倒置式屋面	37
二、蓄水屋面	38
三、种植屋面	39
四、浅色坡屋面	40
第五章 建筑材料节能	42
第一节 新型墙体材料	42
一、建筑板材类	42
二、非黏土砖类	43
三、建筑砌块类	44
第二节 新型门窗材料	45
一、节能玻璃	46
二、型材	46
三、玻璃间隔条	47
四、门窗系统的选用和配置	47
第三节 化学建材	49
一、建筑涂料	49
二、防水材料	50
第六章 建筑冷、热源系统节能技术	53
第一节 建筑冷、热源的选择	53
一、空调冷源选择	53

二、空调热源的选择	62
第二节 吸收式制冷技术	76
第三节 冰蓄冷空调技术	79
一、冰蓄冷空调系统的分类	79
二、冰蓄冷空调系统的组成和形式	79
三、冰蓄冷空调系统的特点	80
四、冰蓄冷空调系统的设计	80
第四节 供热技术节能	80
一、采用分层燃烧技术,改善锅炉燃烧状况	81
二、综合治理系统水力失调	81
三、改变大流量、小温差的运行方式,提高供水温度和输送效率	81
四、系统变流量运行	82
五、风机、水泵采用调速技术,更换压送能力过大的水泵,节约电能	83
六、多热源共网系统	83
第五节 热电冷联供技术	83
一、热电冷联供技术的原理	83
二、热电冷三联产与三分产能耗比较	84

第七章 太阳能建筑应用 87

第一节 我国太阳能资源状况与分布	87
一、太阳能资源特点	87
二、我国的太阳能资源	88
三、太阳能的利用方式	88
第二节 太阳能技术应用	89
一、太阳能的光热利用	89
二、太阳能的光电利用	91
第三节 太阳能与建筑一体化设计	92
一、太阳能热水系统应与建筑一体化	92
二、太阳能光伏系统与建筑一体化	93

第八章 地源热泵技术与建筑节能应用 95

第一节 地源热泵技术的节能原理	95
第二节 地源热泵的组成、分类	96
一、系统的组成	96
二、系统的分类	98
第三节 地埋管换热器系统的设计与施工	102
一、地埋管换热器系统的设计	102
二、地埋管换热器的安装施工	103
第四节 应用实例	105
一、项目基本信息	105
二、地埋管钻井及灌浆施工技术	106

三、具体施工工艺流程·····	107
四、水平管道施工·····	109
五、地理管系统试压·····	111
第九章 国内外建筑节能技术概况 ·····	113
第一节 国外建筑节能·····	113
一、英国住宅能耗计算及能效标识方法·····	113
二、日本在建筑节能领域的研究及成效·····	113
三、美国建筑节能的具体措施·····	114
第二节 节能建筑·····	116
第十章 建筑节能经济性及环境性评价 ·····	118
第一节 建筑节能技术经济分析·····	118
一、评价指标·····	118
二、节能收益的经济评价方法·····	119
第二节 建筑节能技术环境效应分析·····	120
一、能源与环境问题·····	120
二、环境改善指标·····	121
附录一 中华人民共和国节约能源法 ·····	122
附录二 民用建筑节能条例 ·····	131
附录三 绿色施工导则 ·····	136
参考文献 ·····	144

第一章 建筑节能概论

第一节 能源概述

能源是整个世界发展和经济增长的最基本的驱动力,是人类赖以生存的基础。我国的《能源百科全书》说:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。”可见,能源是一种呈多种形式的,且可以相互转换的能量的源泉。确切而简单地说,能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。

能源种类繁多,而且经过人类不断的开发与研究,更多新型能源已经开始能够满足人类需求。根据不同的划分方式,能源也可分为不同的类型。主要有以下七种分法。

1. 按来源分类

主要为3类:①来自地球外部天体的能源(主要是太阳能)。除直接辐射外,并为风能、水能、生物能和矿物能源等的产生提供基础。人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。如各种植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在植物体内贮存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代埋在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的。它们实质上是由古代生物固定下来的太阳能。此外,水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换而来的。②地球本身蕴藏的能量。如原子核能、地热能等。③地球和其他天体相互作用而产生的能量,如潮汐能。温泉和火山爆发喷出的岩浆就是地热的表现。地球可分为地壳、地幔和地核三层,它是一个大热库。地壳就是地球表面的一层,一般厚度为几千米至70km不等。地壳下面是地幔,它大部分是熔融状的岩浆,厚度为2900km。火山爆发一般是这部分岩浆喷出。地球内部为地核,地核中心温度为2000℃。可见,地球上的地热资源贮量也很大。

2. 按能源的基本形态分类

按能源的基本形态分类,可分为一次能源(天然能源)和二次能源(人工能源)。一次能源是指自然界中以天然形式存在且没有经过加工或转换的能量资源,一次能源包括可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气资源,其中包括水、石油和天然气在内的三种能源是一次能源的核心,它们成为全球能源的基础;除此以外,太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能以及核能等可再生能源也被包括在一次能源的范围内。二次能源则是指由一次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源,例如电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等能源都属于二次能源。

3. 按能源性质分类

有燃料型能源(煤炭、石油、天然气、泥炭、木材)和非燃料型能源(水能、风能、地热能、海洋能)。人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的,最早的燃料是木材,以后用各种化石燃料,如煤炭、石油、天然气、泥炭等。现正研究利用太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源。当前化石燃料消耗量很大,但地球上这些燃料的储量有限。未来铀和钍将

提供世界所需的大部分能量。一旦控制核聚变的技术问题得到解决,人类实际上将获得无尽的能源。

4. 根据能否造成污染分类

根据能源消耗后是否造成环境污染可分为污染型能源和清洁型能源,污染型能源包括煤炭、石油等,清洁型能源包括水力、电力、太阳能、风能以及核能等。

5. 根据能源使用的类型分类

又可分为常规能源和新型能源。利用技术成熟,使用比较普遍的能源叫做常规能源,包括一次能源中的可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气等资源。新近利用或正在着手开发的能源叫做新型能源。新型能源是相对于常规能源而言的,包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能、氢能以及用于核能发电的核燃料等能源。由于新能源的能量密度较小,或品位较低,或有间歇性,按已有的技术条件转换利用的经济性尚差,还处于研究、发展阶段,只能因地制宜地开发和利用;但新能源大多数是再生能源,资源丰富、分布广阔,是未来的主要能源之一。

6. 按能源的形态特征分类或按转换与应用的层次分类

世界能源委员会推荐的能源类型分为:固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。其中,前三个类型统称化石燃料或化石能源。已被人类认识的上述能源,在一定条件下可以转换为人们所需的某种形式的能量。比如薪柴和煤炭,把它们加热到一定温度,它们能和空气中的氧气化合并放出大量的热能,我们可以用热来取暖、做饭或制冷,也可以用热来产生蒸汽,用蒸汽推动汽轮机,使热能变成机械能;也可以用汽轮机带动发电机,使机械能变成电能;如果把电送到工厂、企业、机关、农牧林区和住户,它又可以转换成机械能、光能或热能。

7. 商品能源和非商品能源

凡进入能源市场作为商品销售的如煤、石油、天然气和电等均为商品能源。国际上的统计数字均限于商品能源。非商品能源主要指薪柴和农作物残余(秸秆等)。

第二节 建筑节能

一、建筑节能的涵义

节约资源是我国的基本国策。国家实施节约与开发并举、把节约放在首位的能源发展战略。在工程建设领域,节约能源主要包括建筑节能和施工节能两个方面。建筑节能是解决建设项目建成后使用过程中的节能问题,施工节能则是要解决施工过程中的节约能源问题,如《绿色施工导则》规定,“绿色施工是指工程建设中,在保证质量、安全等基本要求的前提下,通过科学管理和技术进步,最大限度地节约资源与减少对环境负面影响的施工活动。实现四节一环保(节能、节地、节水、节材和环境保护)”。

建筑节能,指在建筑材料生产、房屋建筑和构筑物施工及使用过程中,满足同等需要或达到相同目的的条件下,尽可能降低能耗。

建筑节能,在发达国家最初为减少建筑中能量的散失,现在则普遍称为“提高建筑中的能源利用率”,是在保证提高建筑舒适性的条件下,合理使用能源,不断提高能源利用效率。

建筑节能具体指在建筑物的规划、设计、新建（改建、扩建）、改造和使用过程中，执行节能标准，采用节能型的技术、工艺、设备、材料和产品，提高保温隔热性能和采暖供热、空调制冷制热系统的效率，加强建筑物用能系统的运行管理，利用可再生能源，在保证室内热环境质量的前提下，减少供热、空调制冷制热、照明、热水供应的能耗。

二、建筑节能的规定

《节约能源法》规定，国家实行固定资产投资项目节能评估和审查制度。不符合强制性节能标准的项目，依法负责项目审批或者核准的机关不得批准或者核准建设；建设单位不得开工建设；已经建成的，不得投入生产、使用。

1. 采用太阳能、地热能等可再生能源

《民用建筑节能条例》规定，国家鼓励和扶持在新建建筑和既有建筑节能改造中采用太阳能、地热能等可再生能源。

2. 新建建筑节能的规定

建设单位、设计单位、施工单位不得在建筑活动中使用列入禁止使用目录的技术、工艺、材料和设备。

（1）施工图审查机构的节能义务 施工图设计文件审查机构应当按照民用建筑节能强制性标准对施工图设计文件进行审查；经审查不符合民用建筑节能强制性标准的，县级以上地方人民政府建设主管部门不得颁发施工许可证。

（2）建设单位的节能义务 建设单位不得明示或者暗示设计单位、施工单位违反民用建筑节能强制性标准进行设计、施工，不得明示或者暗示施工单位使用不符合施工图设计文件要求的墙体材料、保温材料、门窗、采暖制冷系统和照明设备。

建设单位组织竣工验收，应当对民用建筑是否符合民用建筑节能强制性标准进行查验；对不符合民用建筑节能强制性标准的，不得出具竣工验收合格报告。

（3）设计单位、施工单位、工程监理单位的节能义务 设计单位、施工单位、工程监理单位及其注册执业人员，应当按照民用建筑节能强制性标准进行设计、施工、监理。

施工单位应当对进入施工现场的墙体材料、保温材料、门窗、采暖制冷系统和照明设备进行查验；不符合施工图设计文件要求的，不得使用。

工程监理单位发现施工单位不按照民用建筑节能强制性标准施工的，应当要求施工单位改正；施工单位拒不改正的，工程监理单位应当及时报告建设单位，并向有关主管部门报告。

3. 既有建筑节能的规定

既有建筑节能改造，是指对不符合民用建筑节能强制性标准的既有建筑的围护结构、供热系统、采暖制冷系统、照明设备和热水供应设施等实施节能改造的活动。

实施既有建筑节能改造，应当符合民用建筑节能强制性标准，优先采用遮阳、改善通风等低成本改造措施。既有建筑围护结构的改造和供热系统的改造应当同步进行。

三、建筑节能的意义

我国是一个建筑大国，每年新建房屋面积高达 17 亿~18 亿米²，超过所有发达国家每年建成建筑面积的总和。随着全面建设小康社会的逐步推进，建设事业迅猛发展，建筑能耗迅速增长。所谓建筑能耗是指建筑使用能耗，包括采暖、空调、热水供应、照明、炊事、家用电器、电梯等方面的能耗。其中采暖、空调能耗约占 60%~70%。我国既有的近 400 亿

米²建筑,仅有1%为节能建筑,其余无论从建筑围护结构还是采暖空调系统来衡量,均属于高耗能建筑。由于我国的建筑围护结构保温隔热性能差,采暖用能的2/3白白浪费。单位面积采暖所耗能源相当于纬度相近的发达国家的2~3倍。

我国人口众多,人均能源资源相对匮乏。人均耕地只有世界人均耕地的1/3,水资源只有世界人均占有量的1/4,已探明的煤炭储量只占世界储量的11%,原油占2.4%。目前,我国建筑用能浪费极其严重,每年新建建筑使用的实心黏土砖,毁掉良田12万亩。物耗水平相较发达国家,钢材高出10%~25%,每立方米混凝土多用水泥80kg,污水回用率仅为25%。国民经济要实现可持续发展,推行建筑节能势在必行、迫在眉睫。

在建筑中积极提高能源使用效率,就能够大大缓解国家能源紧缺状况,促进我国国民经济建设的发展。因此,建筑节能是贯彻可持续发展战略、实现国家节能规划目标、减排温室气体重要措施,符合全球发展趋势。

第三节 建筑节能技术途径

减少建筑的冷、热及照明能耗是降低建筑能耗总量的重要内容,一般可从以下几方面实现。

一、减少能源总需求量

1. 建筑规划与设计

面对全球能源环境问题,不少全新的设计理念应运而生,如低能耗建筑、零能耗建筑和绿色建筑等,它们本质上都要求建筑师从整体综合设计概念出发,坚持与能源分析专家、环境专家、设备师和结构师紧密配合。在建筑规划和设计时,根据大范围的气候条件影响,针对建筑自身所处的具体环境气候特征,重视利用自然环境(如外界气流、雨水、湖泊和绿化、地形等)创造良好的建筑室内微气候,以尽量减少对建筑设备的依赖。具体措施可归纳为以下三个方面。①合理选择建筑的地址、采取合理的外部环境设计(主要方法为在建筑周围布置树木、植被、水面、假山、围墙);②合理设计建筑形体(包括建筑整体体量和建筑朝向的确定),以改善既有的微气候;③合理的建筑形体设计是充分利用建筑室外微环境来改善建筑室内微环境的关键部分,主要通过建筑各部件的结构构造设计和建筑内部空间的合理分隔设计得以实现。

2. 围护结构

建筑围护结构组成部件(屋顶、墙、地基、隔热材料、密封材料、门和窗、遮阳设施)的设计对建筑能耗、环境性能、室内空气质量与用户所处的视觉和热舒适环境有根本的影响。一般增大围护结构的费用仅为总投资的3%~6%,而节能却可达20%~40%。通过改善建筑物围护结构的热工性能,在夏季可减少室外热量传入室内,在冬季可减少室内热量的流失,使建筑热环境得以改善,从而减少建筑的冷、热消耗。

3. 提高终端用户用能效率

高能效的采暖、空调系统与上述削减室内冷热负荷的措施并行,才能真正地减少采暖、空调能耗。首先,根据建筑的特点和功能,设计高能效的暖通空调设备系统,例如热泵系统、蓄能系统和区域供热、供冷系统等。然后,在使用中采用能源管理和监控系统监督和调

控室内的舒适度、室内空气品质和能耗情况。

4. 提高总的能源利用效率

从一次能源转换到建筑设备系统使用的终端能源的过程中,能源损失很大。因此,应从全过程(包括开采、处理、输送、储存、分配和终端利用)进行评价,才能全面反映能源利用效率和能源对环境的影响。建筑中的能耗设备,如空调、热水器、洗衣机等应选用能源效率高的能源供应。例如,作为燃料,天然气比电能的总能源效率更高。采用第二代能源系统,可充分利用不同品位热能,最大限度地提高能源利用效率,如热电联产(CHP)、冷热电联产(CCHP)。

二、利用新能源

在节约能源、保护环境方面,新能源的利用起至关重要的作用。新能源通常指非常规的可再生能源,包括太阳能、地热能、风能、生物质能等。人们对各种太阳能利用方式进行了广泛的探索,逐步明确了发展方向,使太阳能初步得到一些利用,如:①作为太阳能利用中的重要项目,太阳能热发电技术较为成熟,美国、以色列、澳大利亚等国投资兴建了一批试验性太阳能热发电站,以后可望实现太阳能热发电商业化;②随着太阳能光伏发电的发展,国外已建成不少光伏电站和“太阳屋顶”示范工程,将促进并网发电系统快速发展;③目前,全世界已有数万台光伏水泵在各地运行;④太阳热水器技术比较成熟,已具备相应的技术标准和规范,但仍需进一步地完善太阳热水器的功能并加强太阳能建筑一体化建设;⑤被动式太阳能建筑因构造简单、造价低,已经得到较广泛应用,其设计技术已相对较为成熟,已有可供参考的设计手册;⑥太阳能吸收式制冷技术出现较早,目前已应用在大型空调领域;太阳能吸附式制冷目前处于样机研制和实验研究阶段;⑦太阳能干燥和太阳灶已得到一定的推广应用。但从总体而言,目前太阳能利用的规模还不小,技术尚不完善,商品化程度也较低,仍需要继续深入广泛地研究。在利用地热能时,一方面可利用高温地热能发电或直接用于采暖供热和热水供应;另一方面可借助地源热泵和地道风系统利用低温地热能。风能发电较适用于多风海岸线山区和易引起强风的高层建筑。

第一节 建筑围护结构传热方式

传热是研究热量传递过程规律的一门科学。凡有温度差，就有热量自发地由高温物体传到低温物体。由于自然界和生产过程中到处存在温度差，因此，传热是自然界和生产领域中非常普遍的现象，传热学的应用领域也就十分广泛，在建筑节能问题上更不乏传热问题。例如热源和冷源设备的选择、配套和合理有效利用；各种供热设备管道的保温材料及建筑围护结构材料等的研制及其热物理性质的测试、热损失的分析计算；各类换热器的设计、选择和性能评价；建筑物的热工计算和环境保护等，都要求具备一定的传热学理论知识。

一、传热的基本方式

传热过程是由导热、热对流、热辐射三种基本方式组合形成的。下面分析房屋墙壁

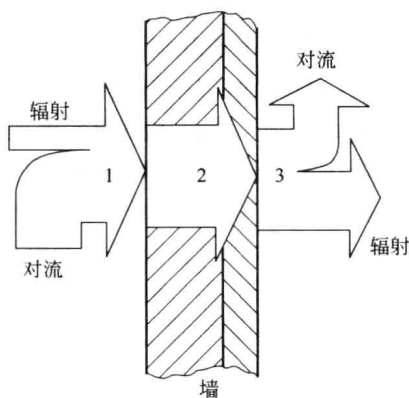


图 2-1 墙壁冬季散热
1~3 的含义见正文叙述

冬季散热的传热现象。如图 2-1，可分为三段，首先热由室内空气以对流换热和墙与物体间的辐射方式传给墙内表面（图 2-1 中数字 1 阶段）；再由墙内表面以固体导热方式传递到墙外表面（图 2-1 中数字 2 阶段）；最后由墙外表面以空气对流换热和墙与物体间的辐射方式把热传给室外环境（图 2-1 中数字 3 阶段）。显然，在其他条件不变时，室内外温度差越大，传热量就越大。又如，热水暖气片的传热过程，热水的热量先以对流换热方式传给壁内侧，再由导热方式通过壁，然后壁外侧空气以对流换热和壁与周围物体间的辐射换热方式将热量传给室内。从实例不难了解，传热过程是由导热、热对流、热辐射三种基本传热方式组合形成的。要了解传热过程的规律，就必须

首先分别分析这三种基本传热方式。

1. 导热

导热又称热传导，是指物体各部分无相对位移或不同物体直接接触时依靠分子、原子及自由电子等微观粒子热运动而进行的热量传递现象。建筑物中，大平壁导热是导热的典型问题。平壁导热热量与壁两侧表面的温度差成正比，与壁厚成反比，与材料的导热性能相关。通过平壁的导热热量计算公式为：

$$\Phi = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t A$$

式中， A 为壁面积， m^2 ； δ 为壁厚， m ； Δt 为壁两侧表面的温度差， $^{\circ}\text{C}$ ； λ 为热导率， $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

2. 热对流

热对流是指依靠物体运动,把热量由一处传递到另一处的现象。若热对流过程中单位时间通过单位面积有质量为 $M[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 的流体由温度 t_1 的地方流至 t_2 处,其比热容为 $c_p[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$,则此热对流传热的热流密度应为 $q = Mc_p(t_2 - t_1)$ 。传热工程上涉及的问题往往不单纯是热对流,而是流体与固体壁直接接触时的换热过程,这个过程是热对流和导热联合作用的热量传递过程,称为对流换热。对流换热的公式为:

$$q = h \Delta t$$

式中, h 为对流换热表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Δt 为壁表面与流体温度差, $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 热辐射

物体通过电磁波来传递能量的方式称为辐射。温度高于绝对零度的任何物体都不停地向空间发出热辐射能。它的特点是:在热辐射过程中伴随着能量形式的转换(物体内能 $\rightarrow$ 电磁波能 $\rightarrow$ 物体内能);不需要冷热物体直接接触;无论物体温度高低,物体都不停地相互发射电磁波能,相互辐射能量,高温物体辐射给低温物体的能量大于低温物体向高温物体辐射的能量,总的结果是热由高温传到低温。以两个无限大平行平面间的热辐射为例,两表面间单位面积、单位时间辐射换热热流密度的计算公式为:

$$q = C_{1,2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

式中, $C_{1,2}$ 称 1 和 2 两表面的系统辐射系数,它取决于辐射表面材料的性质及状态,其值在 $0 \sim 5.67$ 之间; T 为热力学温度, K 。

在实际工程技术问题中,一个物体表面常常既有对流换热又有辐射换热。这种对流和辐射同时存在的换热过程称为复合换热。对于复合换热,工程上为计算方便,常采用把辐射热量折合成对流换热量的处理办法,按有关辐射换热的公式算出辐射换热量 (Φ_r)

$$\Phi_r = h_r A \Delta t$$

式中, h_r 为辐射传热系数。

复合换热总热量可以表示成 $\Phi = (h_c + h_r) A \Delta t$

式中, h_c 为对流传热系数。

二、传热过程

建筑工程上常遇到两流体通过墙壁面的换热,我们把热量从墙壁一侧的高温流体通过墙壁传给另一侧的低温流体的过程,称为传热过程。现在考虑,有一大面墙壁,面积为 A ;它的一侧为温度 t_{f1} 的热流体,另一侧为温度 t_{f2} 的冷流体;两侧对流传热系数分别为 h_1 及 h_2 ;墙壁壁面温度分别为 t_{w1} 和 t_{w2} ;墙壁材料的热导率为 λ ;厚度为 δ 。假设传热工况不随时间变化,传热过程处于稳态过程,墙壁的长宽均远大于厚度,可认为热流方向与墙壁面垂直。将该墙壁在传热过程中的各处温度描绘在 $t-x$ 坐标图上,如图 2-2 所示。

整个传热过程分为如下三个阶段。

热量由热流体以对流换热传给墙壁左侧,热流密度为:

$$q = h_1(t_{f1} - t_{w1})$$

该热量又以导热方式通过墙壁,热流密度为:

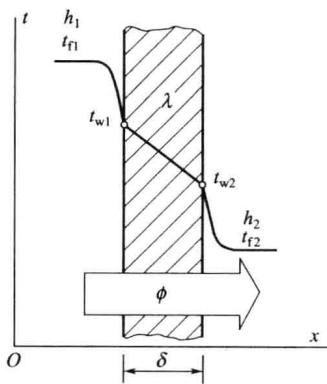


图 2-2 两流体间的热传递过程
图中各符号的含义见本节正文叙述

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2})$$

再由墙壁右侧以对流换热传给冷流体: $q = h_2 (t_{w2} - t_{f2})$

在稳态情况下, 以上三式的热流密度 q 相等, 三式相加, 消去 t_{w1} 及 t_{w2} , 整理后得该墙壁的传热热流密度为:

$$q = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} (t_{f1} - t_{f2})$$

设 $k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}}$, k 称为传热系数, 它表明单位时间、单位墙壁面上, 冷热流体间每

单位温度差可传递的热量, 是反映传热过程强弱的量, 国际单位为 $W/(m^2 \cdot K)$ 。

R_k 为平壁单位面积传热热阻, 即:

$$R_k = \frac{1}{k} = \frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}$$

三、建筑围护结构传热

在工程设计中, 建筑围护结构的传热一般按一维传热过程计算, 传热量计算的基本公式为:

$$\Phi = KA(t_n - t_w)$$

式中, K 为围护结构的传热系数; A 为围护结构的传热面积; t_n 为室内计算温度; t_w 为室外计算温度。

一般建筑物的外墙和屋顶都属于多层材料的平壁结构, 根据串联热阻叠加原则, 传热系数 K 值可以用下式计算: $k = \frac{1}{R_k} = \frac{1}{\frac{1}{h_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_w}} = \frac{1}{R_n + R_j + R_w}$

式中, R_k 为围护结构的传热热阻; h_n 为围护结构内表面传热系数; h_w 为围护结构外表面传热系数; R_n 、 R_w 分别为围护结构内表面、外表面的传热热阻; δ_i 为围护结构各层的壁厚; λ_i 为围护结构各层材料的热导率; R_j 为由单层或多层材料组成的围护结构各材料层的热阻。

【例 2-1】 某建筑物墙壁厚 370mm, 它所用的保温材料热导率为 $\lambda = 0.003 W/(m \cdot K)$; 墙壁内外两侧的表面传热系数分别为 $h_n = 5 W/(m^2 \cdot K)$, $h_w = 15 W/(m^2 \cdot K)$; 两侧空气温度分别为 $t_{f1} = 5^\circ C$, $t_{f2} = 30^\circ C$, 试求该墙壁的各项热阻、传热系数以及热流密度。

解: 单位墙壁面积各项热阻

$$R_n = \frac{1}{h_n} = \frac{1}{5} = 0.2 m^2 \cdot K/W$$

$$R_j = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0.37}{0.003} = 123.3 m^2 \cdot K/W$$

$$R_w = \frac{1}{h_w} = \frac{1}{15} = 0.0667 m^2 \cdot K/W$$

传热热阻: $R_k = R_n + R_j + R_w = 0.2 + 123.3 + 0.067 = 123.6 m^2 \cdot K/W$

传热系数: $k = \frac{1}{R_k} = \frac{1}{123.6} = 0.008 W/(m^2 \cdot K)$

热流密度: $q = K(t_{f2} - t_{f1}) = 0.008 \times 25 = 0.2 W/m^2$

第二节 建筑围护结构的热湿传递特点

影响建筑物内热湿状况和空气环境的因素有室外气象条件、室内发热和产湿量,以及供热与空气调节系统的工作方式。外部因素指室外空气的温度、湿度,太阳辐射强度,风速和风向,以及邻室的空气温湿度。它们可以通过两种形式影响房间的热湿状态。一是周围空气温度以及太阳辐射,都会通过不透明的板壁围护结构和半透明的门、窗玻璃等,通过传热与房间进行热量交换,以及太阳辐射透过半透明玻璃向房间射入的辐射热。二是通过门窗缝隙,室内外空气将有一定数量的交换,即空气渗透,通过空调通风系统也会人为地向房间送入或从房间排出一定数量的空气,它们均属于空气交换。伴随室内外的空气交换,外界的热量或湿量将直接影响房间空气的热湿状况。内部影响因素指照明装置、设备和人体的散热、散湿,它们也都将与房间进行热湿交换。因此,影响建筑物内热湿环境形成的最主要原因是各种外扰和内扰的影响。

外扰主要包括室外气候参数如室外空气温湿度、太阳辐射、风速、风向变化,以及邻室的空气温湿度,均可通过围护结构的传热、传湿、空气渗透使热量和湿量进入到室内,对室内热湿环境产生影响。内扰主要包括室内设备、照明、人员等室内热湿源。无论是通过围护结构的传热传湿还是室内产热产湿,其作用形式基本为对流换热(对流质交换)、导热(水蒸气渗透)和辐射三种形式。某时刻在内扰作用下进入房间的总热量叫做该时刻的得热,包括显热和潜热两部分。得热量的显热部分包括对流得热(例如室内热源的对流散热,通过围护结构导热形成的围护结构内表面与室内空气之间的对流换热)和辐射得热(例如透过窗玻璃进入到室内的太阳辐射、照明器具的辐射散热等)两部分。而潜热得热则是以进入到室内的湿量形式来表述。由于围护结构本身存在热惯性,使得其热湿过程的变化规律变得相当复杂,通过围护结构的得热量与外扰之间存在着衰减和延迟的关系。

一、通过非透光围护结构的显热得热

通过墙体、屋顶等非透光围护结构传入室内的热量来源于两部分:室外空气与围护结构外表面的对流换热和太阳辐射通过墙体导热传入的热量。

由于围护结构存在热惰性,因此通过围护结构的传热量和温度的波动幅度与外扰波动幅度之间存在衰减和延迟关系,见图 2-3。衰减和滞后的程度取决于围护结构的蓄热能力。围护结构的热容量愈大,蓄热能力就愈强,滞后时间就愈长,波幅的衰减就愈大。图 2-3(a)给出了传热系数相同但蓄热能力不同的两种墙体的传热量变化与室外气温之间的关系。由于重型墙体的蓄热能力比轻型墙体的蓄热能力大得多,因此其得热量的峰值就比较小,延迟时间也长得多。

二、通过透光围护结构的得热

透光围护结构主要包括玻璃门窗和玻璃幕墙等,是由玻璃与其他透光材料如热镜膜、遮光膜等以及框架组成的。通过透光围护结构的热传递过程与非透光围护结构有很大的不同。由于透光围护结构可以透过太阳辐射,而且这部分热量在建筑物热环境的形成过程中发挥了重要作用,因此通过透光围护结构形成的显热得热包括两部分:通过玻璃板壁的传热量和透过玻璃的日射辐射得热量。这两部分传热量与透光围护结构的种类及其热工性能有重要的关系。

玻璃窗由窗框和玻璃组成。窗框型材有木框、铝合金框、铝合金断热框、塑钢框、断热塑