

实用建筑节能技术丛书

实用建筑节能 工程设计

建设部干部学院 主编

BUILDING ENERGY EFFICIENCY



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

实用建筑节能技术丛书

实用建筑节能 工程设计

建设部干部学院 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

建筑节能已成为我国节能浪潮的主流之一,建筑节能技术也已经成为当今世界范围内建筑技术发展的重点之一。

本书根据最新颁布实施的国家标准《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007)对建筑节能分部工程的质量要求,结合国家、行业及各地方建筑节能设计标准、规范规定,重点介绍了全国不同建筑热工分区、不同建筑类型以及不同建筑节能设计标准要求的建筑物围护结构保温节能(包括墙体节能、幕墙节能、门窗节能、屋面节能、地面节能)设计,采暖与通风空调工程的节能设计等,同时还介绍了绿色照明和新能源利用技术等。

本书可供建设单位、建筑设计单位、施工单位和新型建筑材料生产厂等单位职工的培训教材,也可供政府有关部门、科研单位、物业管理等单位的人员应用与参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用建筑节能工程设计/建设部干部学院主编. —北京:
中国电力出版社,2008
(实用建筑节能技术丛书)
ISBN 978-7-5083-7116-0

I. 实… II. 建… III. 建筑热工—节能—建筑设计
IV. TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 043458 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:周娟华 关 童 责任印制:陈焊彬 责任校对:郝军燕

北京市同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2008 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 开本·45.5 印张·1136 千字

定价:86.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010—88386685)

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

前 言

《实用建筑节能工程设计》编委会

主编单位:建设部干部学院

顾问:王庆生 方展和 祁政敏 熊爱华 史新华 邓祥发

主 编:李立君 王 锋

副主编:边 嫒 赵 键 张瑞军

编写人员:(以姓氏笔画为序)

丁畅征 王 岩 王力斌 王占良 王秀利 王宝利

白朝晖 刘智勇 刘新乐 齐旭燕 吴春翔 吴斌中

张 文 张 晶 李 坤 李 涛 李小欣 李明军

李振广 杜 健 花冬生 邹宏雷 孟繁辉 范 瑞

郭岐亮 高 垲 薛万龙 籍晋元

前 言

由于能源资源的日益短缺而实际利用效率低下和环境污染在不断加剧,同时建筑能耗在我国社会总能耗中所占的比例正逐步上升到30%。建筑节能已成为我国节能浪潮的主流之一,建筑节能技术也已经成为当今建筑技术发展的重点之一。

2007年10月1日,由建设部组织编制并与国家质量监督检验检疫总局联合发布的国家标准《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007)正式实施,这是我国推进建筑节能工作的又一项重要措施。连同2005年7月1日批准发布的第一部公共建筑节能设计的综合性国家标准《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005),以及建设部发布的行业标准《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1995)、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2003)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2001)等,共同形成了我国在建筑节能领域一系列较全面的设计与施工标准、规范。上述建筑节能标准、规范的颁布与实施,是建设领域贯彻落实国家大力发展节能省地型建筑、注重能源资源节约和合理利用、全面推广和普及建筑节能技术的要求,以科学的发展观,缓解人口、资源、环境的矛盾,实现经济社会的可持续发展的重大举措。

建设部干部学院组织有关专家、学者和经验丰富的工程技术人员,根据国家与地方最新颁布实施的标准、规范,参考了国内先进、实用的建筑节能技术及成熟的工程经验和研究成果编写这套《实用建筑节能技术丛书》。本丛书包括:《实用建筑节能工程设计》、《实用建筑节能工程施工》和《实用建筑节能工程技术措施》。

《实用建筑节能工程设计》按照最新颁布实施的国家标准《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007)对建筑节能分部工程的质量要求和国家标准《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)、行业标准《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1995)、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2003)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2001)等建筑节能设计标准的要求,同时参考了各地相关的建筑节能设计标准,重点介绍了全国不同建筑热工分区、不同建筑类型以及不同建筑节能设计标准要求的建筑物围护结构保温节能(包括墙体节能、幕墙节能、门窗节能、屋面节能、地面节能)设计,采暖与通风空调工程的节能设计等,同时还介绍了绿色照明和新能源利用技术等。本书共分为5章:第1章,绪论;第2章,建筑节能设计要求;第3章,建筑围护结构节能设计;第4章,采暖、通风与空调节能设计;第5章,绿色照明及新型能源利用技术。

《实用建筑节能技术丛书》是当前国内建筑领域中较全面、实用、新颖的节能类书籍,可供建设单位、建筑设计单位、施工单位和新型建筑材料生产厂家等单位职工的培训教材,也可供政府有关部门、科研单位、物业管理等单位人员应用与参考。

本丛书在编写过程中得到了许多专家和相关单位的关心与大力支持,同时参考了国内外已公开发表的资料性文件,在此表示衷心感谢。同时,谨向为推动我国建筑节能工作的发展做出卓越贡献的专家、学者和工程技术人员表示崇高敬意。

建筑节能是一项新型的且综合性很强的建筑技术,内容涉及的范围较广。同时,随着科技的进步,建筑节能技术也在不断地发展与进步。本书难免有疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正,以便本书再版时修订。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 中国建筑热工分区	1
1.1.2 室内热环境及其质量标准	2
1.1.3 建筑节能的定义与意义	6
1.2 中国建筑能耗现状及建筑节能工作主要内容	8
1.2.1 中国的建筑能耗现状	8
1.2.2 中国建筑节能的潜力	10
1.2.3 建筑节能工作的主要内容和目标	12
1.3 建筑节能工作的要点	14
1.3.1 建筑节能的政策法律、法规及标准	14
1.3.2 建设单位是开展建筑节能的关键	15
1.3.3 设计单位在建筑节能中的工作要点	16
1.3.4 施工单位在建筑节能中的工作要点	17
1.3.5 与建筑节能相关的主体各方关系	17
第 2 章 建筑节能设计要求	19
2.1 建筑节能的规划设计	19
2.1.1 建筑节能设计基本思路	19
2.1.2 环境条件与节能建筑规划设计	22
2.1.3 建筑体形	23
2.1.4 日照环境设计	27
2.1.5 环境绿化	30
2.1.6 建筑物遮阳	31
2.2 室外计算参数	37
2.2.1 围护结构冬季室外计算温度的确定	37
2.2.2 围护结构夏季室外计算温度的确定	37
2.2.3 夏季太阳辐射照度的取值	38
2.3 室内热环境设计指标	38
2.3.1 居住建筑室内热环境设计指标	38
2.3.2 公共建筑室内热环境和建筑节能设计指标	44
2.3.3 北京地区居住建筑(节能 65%)室内热环境和建筑节能设计指标	46
2.4 建筑和建筑热工节能设计要求	49
2.4.1 建筑与建筑热工设计基本要求	49
2.4.2 冬季保温设计要求	50
2.4.3 夏季防热设计要求	50
2.5 建筑围护结构保温设计	51
2.5.1 围护结构最小传热阻的确定	51

2.5.2	围护结构保温措施	54
2.5.3	热桥部位内表面温度验算及保温措施	54
2.5.4	窗户保温性能、气密性和面积的规定	56
2.5.5	采暖建筑地面热工要求	59
2.6	建筑围护结构隔热设计	59
2.6.1	围护结构隔热设计要求	59
2.6.2	围护结构隔热措施	60
2.7	采暖建筑围护结构防潮设计	60
2.7.1	围护结构内部冷凝受潮验算	60
2.7.2	围护结构防潮措施	62
2.8	围护结构热工设计及其权衡判断	63
2.8.1	居住建筑围护结构热工设计要点	63
2.8.2	不同热工分区建筑节能设计要求	72
2.8.3	公共建筑热工设计	89
2.8.4	北京地区居住建筑(节能65%)热工节能设计	98
2.8.5	建筑围护结构热工性能的权衡判断	100
第3章	建筑围护结构节能设计	117
3.1	多孔砖墙体建筑构造	117
3.1.1	概述	117
3.1.2	多孔砖砖型、尺寸及体积	120
3.1.3	模数多孔砖墙体构造	122
3.1.4	KP1 多孔砖墙体构造	137
3.2	混凝土小型空心砌块墙体	150
3.2.1	混凝土小型空心砌块	150
3.2.2	框架结构填充混凝土小型空心砌块墙体构造	156
3.2.3	配筋混凝土空心砌块砌体	164
3.3	蒸压加气混凝土砌块建筑构造	176
3.3.1	概述	176
3.3.2	蒸压加气混凝土砌块排列及构造节点	184
3.3.3	加气混凝土砌块墙外保温构造	198
3.3.4	加气混凝土砌块墙体构造	206
3.4	外墙外保温系统建筑构造	230
3.4.1	外墙外保温系统简介	230
3.4.2	I 型——聚苯乙烯泡沫塑料板薄抹灰外墙外保温系统	237
3.4.3	II 型——胶粉聚苯颗粒保温浆料外墙外保温系统	255
3.4.4	III 型——聚苯乙烯泡沫塑料板现浇混凝土外墙外保温系统	280
3.4.5	IV 型——钢丝网架聚苯乙烯泡沫塑料板现浇混凝土外墙外保温系统	294
3.4.6	V 型——机械固定钢丝网架聚苯乙烯泡沫塑料板外墙外保温系统	308
3.4.7	VI 型——岩棉板外墙外保温系统	324
3.4.8	VII 型——装配式龙骨薄板外墙外保温系统	338

3.4.9	外墙外保温系统通用构造节点	351
3.5	外墙外保温系统建筑构造(北京地区建筑节能 65%)	362
3.5.1	总说明	362
3.5.2	不同保温构造做法选用	364
3.5.3	外墙外保温做法详图	372
3.5.4	外墙主体断面	383
3.5.5	干挂石材墙面外保温	395
3.5.6	外墙外保温系统材料	397
3.5.7	面砖饰面——聚氨酯复合板外墙外保温体系	398
3.6	保温隔热屋面设计	412
3.6.1	保温隔热屋面设计一般规定	412
3.6.2	保温隔热屋面设计材料要求	413
3.6.3	保温隔热屋面设计要点	414
3.6.4	保温隔热屋面细部构造	416
3.6.5	屋面保温隔热构造(北京地区节能 65%)	418
第 4 章	采暖、通风与空调节能设计	472
4.1	采暖、通风与空调节能设计	472
4.1.1	一般规定	472
4.1.2	空调建筑的热工设计要求	473
4.1.3	热源、热力站及热力网节能设计	474
4.1.4	采暖与通风空调系统工程节能设计要求	479
4.1.5	居住建筑采暖、通风与空调节能设计	483
4.1.6	公共建筑采暖、通风与空调节能设计	494
4.1.7	北京地区居住建筑(节能 65%)采暖、空调与通风节能设计	535
4.2	地面辐射采暖工程设计	538
4.2.1	一般规定	538
4.2.2	地面构造	539
4.2.3	地面辐射供暖系统热负荷的计算	540
4.2.4	地面散热量计算	541
4.2.5	低温热水系统的加热管系统设计	542
4.2.6	低温热水系统的分水器、集水器及附件设计	543
4.2.7	低温热水系统的加热管水力计算	543
4.2.8	低温热水系统的热计量和室温控制	545
4.2.9	发热电缆系统的设计	545
4.2.10	发热电缆系统的电气设计	546
4.2.11	地面辐射采暖系统材料要求	546
4.3	集中供暖住宅分户热计量设计	551
4.3.1	供暖负荷计算	551
4.3.2	热源和室外系统设计	552
4.3.3	室内系统设计	555

4.3.4	户内系统设计	558
4.3.5	系统水力计算	561
4.3.6	热量计量装置	561
4.4	采暖供热系统节能设计	563
4.4.1	铜(钢)铝复合型散热器	563
4.4.2	钢制(板型)散热器	566
4.4.3	铝合金散热器	567
4.4.4	内腔无粘砂灰铸铁散热器	570
4.4.5	低温热水地板辐射采暖系统设计	572
4.4.6	集中供暖住宅分户热计量设计示例	587
第5章	绿色照明及新型能源利用技术	633
5.1	绿色照明工程设计	633
5.1.1	照明功率密度值	633
5.1.2	绿色照明工程设计	637
5.1.3	建筑照明节能技术措施	639
5.2	太阳能利用技术	641
5.2.1	中国太阳能分布与基本利用方式	641
5.2.2	太阳能与建筑一体化	642
5.2.3	被动式太阳房设计	658
5.3	地源热泵利用技术	675
5.3.1	地源热泵简介	675
5.3.2	地源热泵的优点	675
5.3.3	地源热泵的应用范围	677
5.3.4	地源热泵的系统组成	678
5.3.5	地源热泵的室外换热系统形式	678
5.3.6	室内换热系统形式	679
5.3.7	地源热泵的系统原理	680
5.3.8	工程解决方案实例	681
5.4	楼宇式热电冷联产(三联供)系统	682
5.4.1	楼宇式燃气热电冷联产系统简介	682
5.4.2	发展楼宇式燃气热电冷联产系统的必要性	684
5.4.3	楼宇式燃气热电冷联产系统的评价方法	684
5.4.4	楼宇式燃气热电冷联产系统的优化配置	687
5.4.5	热冷电三联供系统工程介绍	691
附录		693
附录 A	建筑热工设计计算公式及参数	693
附录 B	围护结构保温的经济评价	704
附录 C	关于面积和体积的计算	705
附录 D	全国主要城市太阳辐射总量	707
参考文献		718

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 中国建筑热工分区

1. 建筑热工设计应与地区气候相适应

我国幅员辽阔、地形复杂,由于地理纬度、地势和地理条件的不同,各地区气候差异悬殊。根据我国的气候特点,一般划分为5个建筑热工分区:严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区。

(1)严寒地区。指累年最冷月平均温度低于或等于 -10°C 的地区,主要包括内蒙古和东北北部地区、新疆北部地区、西藏和青海北部地区。这一地区的建筑必须充分满足冬季保温要求,加强建筑物的防寒措施,一般可不考虑夏季防热。

(2)寒冷地区。指累年最冷月平均温度为 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 的地区,主要包括华北、新疆和西藏南部地区及东北南部地区。这一地区的建筑应满足冬季保温要求,部分地区兼顾夏季防热。

(3)夏热冬冷地区。指累年最冷月平均温度为 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 、最热月平均温度为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的地区,主要包括长江中下游地区,即南岭以北、黄河以南的地区。这一地区的建筑必须满足夏季防热要求,适当兼顾冬季保温。

(4)夏热冬暖地区。指累年最冷月平均温度高于 10°C 、最热月平均温度为 $25\sim 29^{\circ}\text{C}$ 的地区,包括南岭以南及南方沿海地区。这一地区的建筑必须充分满足夏季防热要求,一般可不考虑冬季保温。

(5)温和地区。指累年最冷月平均温度为 $0\sim 13^{\circ}\text{C}$ 、最热月平均温度为 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ 的地区,主要包括云南、贵州西部及四川南部地区。这一地区中,部分地区的建筑应考虑冬季保温,一般不考虑夏季防热。

2. 衡量一个地方寒冷和炎热程度的指标

从人的主观感觉出发,一年中最冷月的平均温度和最热月的平均温度比较直接地反映了当地的寒冷和炎热程度。但是建筑节能设计的着眼点在于控制采暖和空调降温的能耗,而采暖和空调降温的需求除了温度的高低这个因素外,还与低温和高温持续的时间长短有着密切的关系。比如说甲地最冷月平均温度比乙地低,但乙地冷的时间比甲地长,这样两地采暖需求的热量可能是相同的。划分气候分区的最主要目的是针对各个分区提出不同的建筑围护结构热工性能要求,由于上述甲、乙两地采暖需求的热量相同,将两地划入一个分区比较合理。采暖度日数指标包含了冷的程度和冷持续的时间长度两个因素,用它作为分区指标更可能反映采暖需求的大小。对上述甲、乙两地的情况,如用最冷月的平均温度作为分区指标容易将两地分入不同的分区,而用采暖度日数作为分区指标则更可能分入同一个分区。因此,新的气候分区用采暖度日数 HDD18 和空调度日数 CDD26 作为气候分区的指标,在使用上不会给设计者带来任何新增的麻烦。

3. 用采暖度日数 HDD18 和空调度日数 CDD26 衡量当地寒冷和炎热的程度

在进行居住建筑的设计时依据不同的采暖度日数 HDD18 和空调度日数 CDD26 范围,将全国的 5 个气候区再进一步细分成 11 个子区,目的是使得依此而提出的建筑围护结构热工性能要求更合理一些,见表 1-1。

表 1-1 居住建筑节能设计气候分区

气候分区		分区依据	
严寒地区(I)	严寒 A 区	$5500 \leq \text{HDD18} < 8000$	
	严寒 B 区	$5000 \leq \text{HDD18} < 5500$	
	严寒 C 区	$3800 \leq \text{HDD18} < 5000$	
寒冷地区(II)	寒冷 A 区	$2000 \leq \text{HDD18} < 3800,$	$\text{CDD26} \leq 100$
	寒冷 B 区	$2000 \leq \text{HDD18} < 3800,$	$100 < \text{HDD26} \leq 200$
夏热冬冷地区(III)	夏热冬冷 A 区	$1000 \leq \text{HDD18} < 2000,$	$50 < \text{HDD26} \leq 150$
	夏热冬冷 B 区	$1000 \leq \text{HDD18} < 2000,$	$150 < \text{HDD26} \leq 300$
	夏热冬冷 C 区	$600 \leq \text{HDD18} < 1000,$	$100 < \text{HDD26} \leq 300$
夏热冬暖地区(IV)	夏热冬暖地区	$\text{HDD18} < 600,$	$\text{CDD26} > 200$
温和地区(V)	温和 A 区	$600 \leq \text{HDD18} < 2000,$	$\text{CDD26} \leq 50$
	温和 B 区	$\text{HDD18} < 600,$	$\text{CDD26} \leq 50$

1.1.2 室内热环境及其质量标准

1. 室内热环境的基本知识

建筑室内热环境是研究人们在建筑空间中的热舒适度问题,采取合理、有效的技术措施,可达到改善建筑室内热环境、满足人们热舒适度的要求。

(1)影响人体热交换因素概述。在人体与其周围环境之间保持热平衡,对人的健康与舒适来说,是首要的要求之一。这种热平衡在于保持体内核心组织的温度,即使在外界有较大变化的情况下,波动也很小。取得这种平衡的条件以及身体对周围环境达到平衡时的状态,取决于许多因素的综合作用。其中一些属于个人因素,如活动量、适应性及衣着条件等;另一些是环境因素,如空气温度、辐射、湿度及气流等。

人体通过新陈代谢,从摄取的食物中制造能量,而新陈代谢率的大小则取决于身体的活动量。要保持稳定的体温,体内的产热量应与对环境的散热量相平衡。如果得不到此种平衡,则随着散热量小于或大于产热量,体温即上升或下降,直到在某一新的水平上达到稳定,否则即可能生病。

人体与环境之间的热交换,通过和周围空气、物体表面之间的对流和辐射换热方式进行。此外,体内的热量还通过汗水和肺部呼出的水分蒸发而散失。上述热交换的方式受物理定律的控制,但有一些生理机能使人体具有调节产热率与散热方法的能力,从而能够保持热平衡。这些机能除了自觉地改变衣着以适应环境条件以外,还包括血流的速率及其分布、新陈代谢水平及排汗率。当人体承受热应力时,各种生理参数,如皮肤温度、体温、心率、排汗率等即发生变化,以适应在热应力条件下取得热平衡。而在极端条件下,从这些参数的变化中能反映出人体已无能力充分取得热平衡。

人体与环境之间的热交换,可用以下基本公式表述:

$$M \pm R \pm C - E = Q \tag{1-1}$$

式中 M——代谢产热;

R, C, E ——辐射、对流及蒸发热交换；

Q ——人体热量的变化量，反映平均体温的变化。

R, C, E 一方面为外部环境因素如空气温度、气流速度、水蒸气压力及环境平均辐射温度等的函数；另一方面则是人体皮肤温度及皮肤水蒸气压力的函数。

影响穿衣人体热交换的各种因素可以分为两类，从表 1-2 中可以清楚地了解到这些因素之间的关系：主要因素及次要因素。

表 1-2

影响穿衣人体热交换的因素

主要因素	次要因素	主要因素	次要因素
新陈代谢	衣服温度	气流速度	排汗率
空气温度	衣内的气流速度	水蒸气压力	皮肤和衣着的温度
平均辐射温度	皮肤温度	衣型及材料	排汗的冷却效率

表 1-2 所列的任何一种主要因素均可单独改变并引起若干种次要因素的变化。例如，气流速度的改变可影响通过衣服的气流或在衣内的气流；可影响皮肤温度、衣服温度、排汗率、皮肤湿度及排汗的冷却效率等。

(2) 新陈代谢产热。代谢是一种化学产热的过程，依靠此过程，食物与氧化合而产生人体内各种器官在功能上所需要的能量。新陈代谢率大致和人的体重成正比。在睡觉时新陈代谢水平最低，通常是把人体平躺着处于完全休息状态时所保持的水平称为基础代谢。

当工作时，新陈代谢率即提高，以便供应工作所需的能量。把人体作为一部“机器”来看，其效率并不高，体内产生的总能量比所作机械功的能量大得多，而多余的能量都转变为热。

(3) 对流及长波辐射产生的干热交换。在闭合的环境内，人体与周围空气通过对流进行换热并与周围物体表面通过长波辐射进行换热。当环境四周较人体表面为冷时，人体通过上述热交换方式对环境散热，反之则是得热。

对流换热取决于周围的气流速度，通常认为是正比于气流速度的平方根。对流换热量是空气温度与皮肤温度之差值($t_a - t_s$)的线性函数，辐射换热量则正比于环境表面绝对温度的四次方与皮肤绝对温度的四次方之差值($T_w^4 - T_s^4$)。但是，皮肤温度并非一恒定值，而是随着环境条件的改变而变化的。在寒冷条件下，皮肤温度高于气温；在炎热条件下则相反。

在给定的空气温度、湿度、气流速度、平均辐射温度及衣着条件下，要精确决定对流及辐射换热，就需计算在这些条件下的平均皮肤温度。此种计算可以应用适当的公式，也可利用这一事实，即在气温接近 35°C 时，皮肤的平均温度等于气温；在此温度以下时，皮肤温度就高于气温；在 35°C 以上时，皮肤温度就低于气温。故在实际应用中，可将对流及辐射换热分别看做是 35°C 与气温及辐射温度之差值的函数。

穿衣人体通过对流及辐射所进行的热交换取决于其衣着条件。由于大部分换热发生在衣服的外表面，故对人体本身的影响是间接的。

处于一闭合环境内的人，其身体与环境四周表面的温差如果不大，辐射热交换就取决于环境的平均辐射温度(M. R. T.)。此温度是环绕该空间的各个表面的加权平均温度，根据各表面的辐射率及其对人体所张的立体角而定。在许多情况下，各表面的温差很大，如在辐射采暖的居住建筑及办公楼中，或在靠近大片玻璃处。在这些情况下，人体的各面在同一时间有的得热，有的散热。这种不均衡的热交换以及由之造成的皮肤温差，对于健康及舒适是不利的。

实际上,当平均辐射温度接近于气温时,要精确计算穿衣人体与环境之间热交换的各个分项,几乎是不可能的,而要分别测定对流与辐射热交换又极不方便。不过,辐射和对流的综合热交换总量,即干热交换量(D)则是可以较简便而又精确地确定的。干热交换量可认为是环境的风速和温度(用黑球温度计测定)的函数。干热交换系数随衣服的不同而异。

当人处在一个其表面温度与气温明显不同的闭合环境内时,人体承受辐射热交换将超过在均一环境中。

(4)蒸发散热。在蒸发过程中,每蒸发 1g 水消耗的汽化潜热约为 2.436kJ。当蒸发发生在肺部或皮肤毛孔中时,此潜热全部从人体内部摄取。这样,即使周围气温及平均辐射温度高于皮肤温度,体内也能够散发大量的热。

汗分泌及汗蒸发的散热效率取决于蒸发过程的速率与发生蒸发的部位。当蒸发快于汗的分泌时,就在皮肤的表面甚至在其毛孔内开始蒸发。在这种情况下,热量通过导热方式由皮肤传到薄的汗液表面较之从外部空气传来更为方便,故几乎全部汽化潜热均取自人体内部;反之,若形成较厚的汗液层,在皮肤表面特别是在人体毛发上出现汗珠,对由体内到蒸发表面的热流会形成很大的阻力,这样蒸发时就可能从周围空气中摄取一定的热量,从而降低了对人体实际的冷却效果。

在后一种情况下,如果排汗量比蒸发量大,一部分汗液即转移到衣服上并在该处蒸发。于是,热流由外部空气到蒸发表面,就比由皮肤表面到蒸发表面容易些,蒸发散热的效率也就会有相当的降低。

最大可能的蒸发散热量取决于衣服条件以及周围风速与水蒸气压力的大小。水蒸气压力越低、风速越高,可能的蒸发量就越大。

空气的最大蒸发力,取决于气流速度及空气中的水蒸气压力。

(5)人体与周围环境之间热交换的调节。在工程实际中人体与环境的热交换及其调节可用简图来描述,如图 1-1 所示。



图 1-1 人体与周围环境的换热

人体的特点与其他脊椎(热血)动物一样,就是恒温,但是,对于整个身体不能说是恒温,因为内部器官的温度(内部温度)与身体表面的温度有明显差别。通常,恒温是指内部温度,在正

常条件下人的肌体温度保持在 $(37 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的水平上。人体内产生大量的热量,为了使产热量和散热量平衡,人的肌体有相应的温度调节机构。温度调节机构的负担越轻,人体越感舒适。因此,为使人体能够轻松地保持热平衡,要控制室内气温、平均辐射温度、风速和湿度,在夏季加强人体散热,冬季减少人体散热。

2. 室内热环境质量标准及其评价方法

(1) 室内热环境质量标准。室内热环境质量标准的高低,对能耗与投资都有显著影响。在同样的技术水平下,夏季室温每提高 1°C ,冬季室温每降低 1°C ,冷热负荷可减少约10%,能耗可减少10%以上。

室内热环境质量标准的高低,对生活水平,特别是工作和学习效率、身体健康有重大影响。在信息社会和知识经济时代,脑力劳动的效率具有巨大的经济价值。空气温度在 25°C 左右时,脑力劳动的工作效率最高;低于 18°C 或高于 28°C ,工作效率会急剧下降。如果以 25°C 时的工作效率为100%为准, 35°C 时只有50%, 10°C 时只有30%。因此,民用建筑房间,冬季采暖宜采用 $16 \sim 24^\circ\text{C}$,夏季空调宜采用 $22 \sim 28^\circ\text{C}$ 。

(2) 室内热环境质量的评价方法。影响热感受有6个因素:干球温度、湿度、风速、平均辐射温度、人体活动强度及衣着。前4个是热环境因素,后2个是人为因素。丹麦学者范格尔(P. O. Fanger)经过实验与研究,得出热舒适方程,其函数关系式表示为

$$f(t_i, \phi_i, v, t_r, Q_m, R_{clo}) = 0 \quad (1-2)$$

式中 t_i ——空气温度;
 ϕ_i ——空气相对湿度;
 v ——气流速度;
 t_r ——平均辐射温度;
 Q_m ——人体新陈代谢产热率;
 R_{clo} ——衣服热绝缘系数。

该方程较全面、合理地表达了人体热感受与上述6个因素的定量关系,从而建立起PMV(预测预感指数)指标系统。国际标准ISO 7730以此为理论基础,再将PMV与不满意率联系,形成PMV-PPD热环境质量指标体系。PMV值可由热舒适仪测量,也可先测4个热环境因素值,结合人体活动强度及衣着,用热舒适方程计算。根据PMV值可从PMV-PPD曲线查出不满意率PPD。ISO 7730标准推荐的热环境质量指标为 $\text{PMV} = -0.5 \sim 0.5$,对应不满意率 $\text{PPD} \leq 10\%$ 。采暖与空气调节室内热舒适性按照《中等热环境PMV和PPD指数的测定及热舒适条件的规定》(GB/T 18049—2000),采用预计的平均热感觉指数(PMW)和预计不满意者的百分数(PPD)评价,其值宜为 $-1 \leq \text{PMV} \leq +1$; $\text{PPD} \leq 279$ 。

PMV由热感受6个因素共同决定,同一个PMV值可由不同的6个因素值组合而达到,而这些不同的组合,所需消耗的能源是不一样的。合理组合6个因素,可在保证热环境质量的前提下降低能耗。

夏季提高风速,比降低温度所需的能耗和费用少得多。风速大,有利于人体散热、散湿,提高热舒适度;但风速过大,也会有害健康,特别是睡眠时,而且老、弱、病人怕风;风速过大还会吹起桌面纸张、扬起灰尘,给生活、工作、学习造成不便。夏季室内风速以 3m/s 左右为宜。提高冬季热舒适水平,应降低风速。从降低风速而言,显然地板辐射供暖优于自然对流供暖,自然对流供暖优于热风供暖。由于室内各表面温度不均,室内总有 0.1m/s 左右的风速。

室内平均辐射温度与室内干球温度是相互影响的。夏季降低平均辐射温度,冬季提高平均

辐射温度往往比相应地降低或提高干球温度的能耗要低些。冷暖地板、天棚比冷热风系统的能效高,即用平均辐射温度带动干球温度,比用干球温度带动平均辐射温度更节能。提高围护结构热工性能,可达到既减少冷热耗量,又提高热舒适水平的双重效果。加强夏季遮阳,湿度的调整能耗较大,宜避免过多地依靠调节湿度来改善热环境,以相对湿度不超过 70% 为宜。墙体热工性能良好的情况下,室内平均辐射温度与干球温度近似相等。

衣着的变化、厚薄的调整可降低冷暖能耗,而不降低热舒适感受。夏季越薄越好,冬季越厚越好,但要顾及文明与生活方便。夏季文明着装,热阻约 0.5clo;冬季方便着装,热阻约 1.5clo。

人体活动强度取决于生活水平与习惯。

1.1.3 建筑节能的定义与意义

1. 建筑能耗的形式

为了居住者的舒适与健康,必须在各种室外气象条件下保持室内热环境处于舒适区以内,这必然导致室内外热环境参数出现差异。其中,室内外的温差和辐射,通过建筑围护结构产生传热,使室内得热或失热。

得热使室内温度上升,为了抑制室温上升,将室温保持在舒适范围内,需要向室内提供冷量抵消得热。失热会使室内温度下降,为了防止室温降低到舒适范围以下,需要向室内提供热量,弥补其失热。

所需要提供的冷、热量,称为建筑的冷热耗量。建筑冷热耗量的多少,取决于以下因素。

(1) 室内外的温差和辐射。室内外的温差和辐射越大、越强,冷热耗量越大。室内、外温差和辐射由当地气候条件、室内热环境质量要求决定,夏季降低室温,冬季降低室温,冬季提高室温都会增大室内、外温差和辐射增大冷热耗量。

(2) 建筑围护结构面积。建筑围护结构面积越大,冷热耗量越大。

(3) 建筑围护结构热工性能。建筑围护结构热工性能越好,即传热系数越小、辐射透过率越低,冷热耗量越小。

(4) 室内外空气交换状况。当夏季室外空气焓值高于室内时,冬季室外温度低于室内时,室内、外空气交换量越大,冷热耗量越大。

(5) 室内热源状况。室内人体、灯具、家电、设备等都是室内热源。夏季室内热源散热量越大,耗冷量越大;冬季室内热源散热量可减少耗热量。

建筑的冷热耗量还不是建筑的采暖空调能耗,采暖空调系统在向建筑供应冷热量时所消耗的能源才是建筑的采暖空调能耗。不同的采暖空调系统以不同的方式向建筑提供相同的冷热量时,所消耗的能源量是不同的。建筑的采暖空调能耗由以下两个方面决定:其一,建筑的冷热耗量;其二,采暖空调系统向建筑提供冷热量时的能源利用效率(能效比)。采暖空调能耗与两者的关系用公式表示为

$$E=Q/EER \quad (1-3)$$

式中 E ——采暖空调能耗;

Q ——建筑冷热耗量;

EER ——采暖空调系统的能效比。

显然,应从减少建筑冷热耗量,提高采暖空调系统能效比两方面去实现建筑节能目标。

2. 建筑节能的定义

(1) 能源是人类赖以生存和发展的基本条件。20 世纪 70 年代的石油危机,对石油进口国

的经济发展和人们生活产生极大的冲击,给发达国家敲响了能源供应的警钟。同时,能源大量消费造成了大气污染,全球温室效应,生态环境迅速恶化。

(2)节能。节能是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,减少从能源生产到消费各个环节中的损失和浪费,更加有效、合理地利用能源。这既是《中华人民共和国节约能源法》对“节能”的法律规定,也是国际能源委员会的节能概念。

(3)节能不能简单地认为只是少用能。节能的核心是提高能源效率。从能源消费的角度,能源效率是指为终端用户提供的能源服务与所消耗的能源量之比。

(4)建筑使用过程中所消耗的能量,即通常所说的建筑能耗,在社会总能耗中占有很大的比例。社会经济越发达,生活水平越高,这个比例越大。西方发达国家,建筑能耗占社会总能耗的30%~45%。在2000年美国一次能源消耗量达到36.55亿吨标准煤,其中建筑能耗占33.7%,工业能耗占35.9%,交通能耗占24.8%。法国建筑能耗占社会总能耗的45%。我国尽管社会经济发展水平和生活水平都还不高,但建筑能耗已占社会总能耗的20%~25%,正逐步上升到30%。不论西方发达国家还是我国,建筑能耗状况都是牵动社会经济发展全局的大问题。

(5)由于建筑能耗在社会总能耗中所占的重大比例,建筑节能成为世界节能浪潮的主流之一,建筑节能技术已成为当今世界建筑技术发展的重点之一。

(6)目前,公认的建筑节能的含义是在建筑中合理使用和有效利用能源,不断提高能源利用率,减少能源消耗(主要包括采暖、通风、空调、照明、炊事、家用电器和热水供应等的能源效率)。

(7)在发达国家,建筑节能经历了三个阶段。第一阶段,称为在建筑中节约能源(energy saving in buildings),我国称为建筑节能;第二阶段,称为建筑中保持能源(energy conservation in buildings),意为在建筑中减少能源的散失;第三阶段,近年来,普遍称为在建筑中提高能源利用率(energy efficiency in buildings),意为不是消极意义上的节省,而是积极意义上的提高能源利用效率。

(8)始于20世纪80年代初期的我国建筑节能工作。

1)1980~1986年,是建筑节能技术的研究与节能标准制定的探索阶段。1986年3月,我国建设部颁发了第一部节能率为30%的《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1986),于1986年8月1日开始试行。

2)1987~1994年,是第一个建筑节能设计标准的执行阶段。

3)1994年至今,是有组织地制订建筑节能政策和计划并组织全面实施阶段,相继颁布实施了《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1995)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2001)、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 75—2003)和《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)等标准,明确提出了节能50%~65%的要求。

3. 建筑节能的意义

(1)建筑节能是改善空间环境的重要途径。建筑节能可改善大气环境。我国建筑采暖能源以煤炭为主,约占采暖能源总量的75%。目前,我国采暖燃煤排放二氧化碳每年约1.9亿吨,排放二氧化硫近300万吨,烟尘约300万吨,采暖期城市大气污染指标普遍超过标准,造成严重大气环境污染。二氧化碳造成的地球大气外层的“温室效应”,严重危害人类生存环境;烟尘、二氧化硫和氮氧化物也是呼吸道疾病、肺癌等许多疾病的根源,环境酸化、酸雨也是破坏森林、损坏建筑物的罪魁祸首。显然,降低建筑能耗,提高建筑节能效果是改善大气环境的重要途径。

建筑节能可改善室内热环境。适宜的室内热环境,可使人体易于保持平衡,从而使人产生舒适感。节能建筑则可改善室内环境,做到冬暖夏凉。对符合节能要求的采暖居住建筑,屋顶保温能力约为一般非节能建筑的1.5~2.6倍,外墙的保温能力约为非节能建筑的2.0~3.0

倍,窗户约为 1.3~1.6 倍。节能建筑的采暖能耗仅为非节能建筑的一半左右,且冬季室内温度可保持在 18℃ 左右,并使围护结构内表面保持较高的温度,从而避免其结露、长霉,显著改善冬季室内热环境。由于节能建筑围护结构热绝缘系数较大,对夏季隔热也极为有利。

(2) 节约能源是我国的基本国策。我国的能源形势严峻。能源是发展国民经济,改善人民生活水平的重要物质基础。据测,我国年需各种能源共 17 亿吨标准煤,但生产的能源仅有 13.7 亿吨标准煤,远低于世界平均水平(所谓标准煤,是指 1kg 煤炭的发热量为 8.14kW·h 的煤量。市场供应的普通煤,1kg 发热量 5.8~6.4kW·h;经换算,1kg 普通煤为 0.712~0.786kg 标准煤,或 1kg 标准煤为 1.27~1.40kg 普通煤。为了比较和统计方便,其他能源也可按发热量换算成标准煤)。

我国能源生产的增长速度长期滞后于国内生产总值的增长速度,能源短缺是制约国民经济发展的根本性因素。因此,节约能源是发展国民经济的客观需要。

节约能源已成为我国的基本国策,是建设节约型社会的根本要求。我国国民经济和社会发展规划第十一个五年规划规定,2010 年单位国内生产总值能源消耗要比 2005 年降低 20% 左右,而且这是一个约束性的、必须实现的指标,任务相当艰巨。

(3) 建筑节能工作的意义。目前,我国建筑用能已超过全国能源消费总量的 1/4,并将随着人民生活水平的提高逐步增加到 1/3 以上。居住建筑用能数量巨大,浪费严重。因此,居住建筑节能是当务之急。2004 年末,我国各地区城市实有住宅建筑面积共 96.2 亿平方米,2004 年全国城镇又新建住宅竣工面积 5.7 亿平方米;此外,全国农村还新建住宅面积 6.8 亿平方米,规模十分巨大。

我国地域广阔,从严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区到温和地区,各地气候条件差别非常之大,太阳辐射量很不一样,采暖与制冷的需求各有不同,就在同一个严寒地区,其严寒时间与严寒程度也有相当大的差别。因而,从建筑节能的角度,也必须划分为若干个气候区域,对不同的气候区的居住建筑围护结构的保温隔热要求做出不同的规定。

近年来,由于城市用地紧张,从总体上看,居住建筑的层数有增加的趋势,特别是一些大城市和特大城市,不断兴建高层甚至超高层居住建筑;又因富裕阶层的出现,城市周边和郊区,兴建了一些单层或低层别墅;中、小城市的居住建筑,则仍以多层和低层为主;小城镇居住建筑则主要是平房和低层建筑。因此,必须全面地而又有区别地考虑各种低层、多层、中高层和高层居住建筑的节能安排。

现在,我国人均国内生产总值已超过 1500 美元,正是人民生活水平迅速提高、消费加快升级的阶段,广大居民对热环境的要求日益提高,采暖和空调的使用越来越普遍,这时如果建筑围护结构仍然保持很低的水平,势必使建筑能耗迅速增加,对国家的能源压力必然越来越大。

因此,所有居住建筑在改建或扩建时,都应该采取节能措施。按照国家节能中长期计划的要求,必须有步骤地对既有建筑进行节能改造,到 2010 年大城市要改造 25%,中等城市改造 15%,小城市改造 10%。

1.2 中国建筑能耗现状及建筑节能工作主要内容

1.2.1 中国的建筑能耗现状

1. 建筑能耗的影响因素

(1) 室外热环境的影响。建筑物室外热环境,即各种气候因素,通过建筑的围护结构、外门