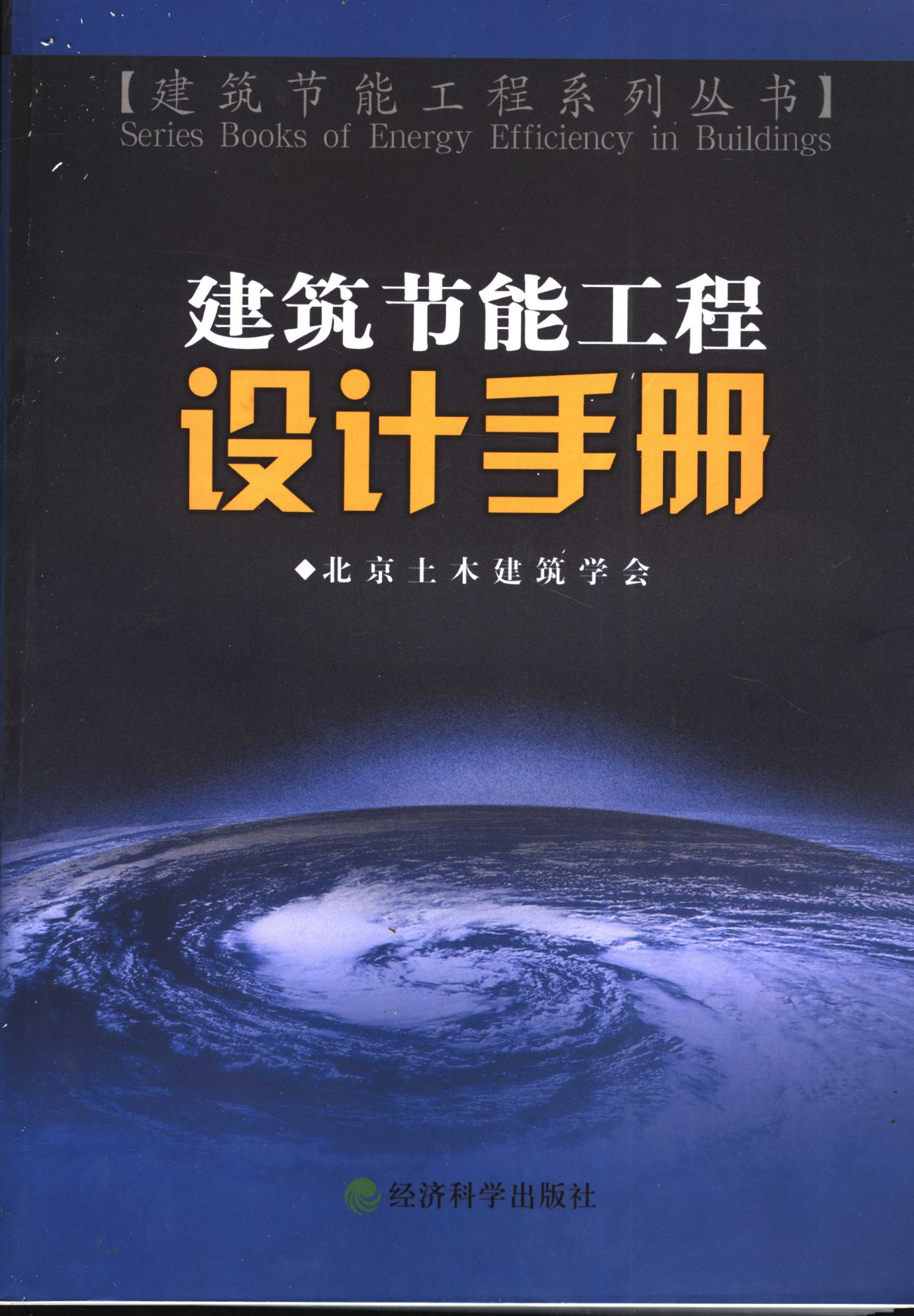


【建筑节能工程系列丛书】
Series Books of Energy Efficiency in Buildings

建筑节能工程 设计手册

◆北京土木建筑学会



 经济科学出版社

建筑节能工程系列丛书

建筑节能工程设计手册

主编单位 北京土木建筑学会

主 编 赵 键

经济科学出版社

责任编辑:张 力 杨秀华

责任校对:杨晓莹

技术编辑:董永亭

建筑节能工程设计手册

北京土木建筑学会

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址:北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编:100036

总编部电话:88191217 发行电话:88191109

网址:www.esp.com.cn

电子邮件:esp@esp.com.cn

北京义飞福利印刷厂印装

787×1092 16 开 47.5 印张 1353 千字

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月第一次印刷

印数:0001—5000 册

ISBN 7-5058-5084-9/F·4356 定价:78.00 元

(图书出现印装问题 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究 无防伪标均非正版)

前 言

2005年7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《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)正式实施。这是我国批准发布的第一部公共建筑节能设计的综合性国家标准,连同建设部发布的《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—95)、《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的设计标准。

正是由于能源资源的日益短缺而实际利用效率的低下和环境污染的不断加剧,同时我国的建筑能耗在社会总能耗中所占的比例正逐步上升到30%以上,建筑节能已成为我国节能浪潮的主流之一,建筑节能技术也已成为当今建筑技术发展重点之一。上述建筑节能设计标准的颁布与实施,是建设领域贯彻实施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,实现经济的可持续发展。

《建筑节能工程系列丛书》是北京土木建筑学会组织专家根据国家与地方最新颁布实施的标准、规范,参考了国内先进的建筑节能技术及成熟的工程经验和研究成果编写而成。本丛书共分3册:《建筑节能工程设计手册》、《建筑节能工程施工手册》、《建筑节能工程法规及相关知识》。

《建筑节能工程设计手册》:书中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要求的建筑物的设计要求和建筑围护结构保温节能设计、采暖通风空调的节能设计,同时还介绍了绿色照明和新能源利用技术等。本书共分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。

《建筑节能工程施工手册》:书中重点介绍了目前国内外先进、成熟的建筑节能工程围护结构的施工技术和施工工艺以及施工质量验收要求;介绍了采暖与通风空调等设备工程的节能施工技术。同时,书中还以实例的形式给出了国内建筑节能示范工程的施工组织设计与施工方案,以供建筑节能工程施工参考。

《建筑节能工程法规及相关知识》:书中主要介绍了国家和地方关于建筑节能工程的法律法规以及国外相关的节能标准,还包括了一些关于建筑节能经验的交流。为建筑节能工程参与各方熟悉、了解、学习和推广节能建筑提供很有益的帮助。

本套丛书堪称当前国内建筑领域中第一部最全面、最实用、最新颖的节能类书籍,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商、职工培训等学习和使用,也可供政府有关部门、科研单位、物业管理等单位应用与参考。

由于编者水平有限以及时间仓促,书中难免存在一些不足和谬误之处。同时,建筑节能又是一项新型的且综合性很强的建筑技术,涉及的范围较广,书中有疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便本书再版时修订。

编 者

2005年7月 北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	2
1.1.1 我国建筑热工分区	2
1.1.2 室内热环境及质量标准	2
1.1.3 建筑节能的定义与意义	6
1.2 我国的建筑能耗现状及建筑节能的主要内容	9
1.2.1 我国的建筑能耗现状	9
1.2.2 我国建筑节能的潜力	10
1.2.3 建筑节能工作的主要内容和目标	12
1.3 建筑节能工作要点	15
1.3.1 建筑节能的政策法律、法规及标准	15
1.3.2 建设单位是开展建筑节能的关键	16
1.3.3 设计单位在建筑节能中的工作要点	17
1.3.4 施工单位在建筑节能中的工作要点	18
1.3.5 与建筑节能相关的主体各方关系	18
第2章 建筑节能设计要求	19
2.1 建筑节能的规划设计要求	20
2.1.1 气候地理环境条件与建筑节能设计思想	20
2.1.2 建筑体形	21
2.1.3 日照环境设计	25
2.1.4 绿化	28
2.1.5 遮阳	29
2.2 室外计算参数	36
2.2.1 围护结构冬季室外计算温度的确定	36
2.2.2 围护结构夏季室外计算温度的确定	36
2.2.3 夏季太阳辐射照度的取值	36
2.3 室内热环境和节能设计指标	37
2.3.1 夏热冬暖地区室内热环境和建筑节能设计指标	37
2.3.2 夏热冬冷地区室内热环境和建筑节能设计指标	39
2.3.3 采暖居住地区建筑物耗热量指标和采暖耗煤量指标	41
2.3.4 公共建筑室内热环境和建筑节能设计指标	43
2.3.5 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	45
2.4 建筑和建筑热工节能设计要求	48
2.4.1 建筑热工设计分区及设计要求	48
2.4.2 冬季保温设计要求	48

2.4.3	夏季防热设计要求	49
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	58
2.6	建筑围护结构隔热设计	60
2.6.1	围护结构隔热设计要求	60
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	61
2.7.1	围护结构内部冷凝受潮验算	61
2.7.2	围护结构防潮措施	62
2.8	不同热工分区及节能要求的建筑热工设计	64
2.8.1	夏热冬暖地区建筑和建筑热工节能设计要求	64
2.8.2	夏热冬冷地区建筑和建筑热工节能设计要求	73
2.8.3	采暖居住地区建筑和建筑热工节能设计	78
2.8.4	公共建筑和建筑热工设计	81
2.8.5	北京地区居住建筑(节能65%)热工节能设计	89
2.9	建筑节能设计综合评价	92
2.9.1	夏热冬暖地区建筑节能设计综合评价	92
2.9.2	夏热冬冷地区的建筑节能综合指标	97
2.9.3	采暖居住地区建筑节能检验	101
2.9.4	公共建筑围护结构热工性能的权衡判断	101
2.9.5	北京地区居住建筑(节能65%)	105
第3章	建筑围护结构节能设计	107
3.1	多孔砖墙体建筑构造	108
3.1.1	概述	108
3.1.2	多孔砖砖型、尺寸及体积	111
3.1.3	模数多孔砖墙体构造	113
3.1.4	KP1多孔砖墙体构造	153
3.2	混凝土小型空心砌块墙体	166
3.2.1	混凝土小型空心砌块	166
3.2.2	框架结构填充混凝土小型空心砌块墙体构造	172
3.2.3	配筋混凝土空心砌块砌体	180
3.3	蒸压加气混凝土砌块建筑构造	194
3.3.1	概述	194
3.3.2	蒸压加气混凝土砌块排列及构造节点	201
3.3.3	加气混凝土砌块墙外保温构造	215
3.3.4	加气混凝土砌块墙体构造	223

3.4	外墙内保温建筑构造	248
3.4.1	外墙内保温简介	248
3.4.2	增强粉刷石膏聚苯板外墙内保温	250
3.4.3	钢丝网架聚苯复合板外墙内保温	259
3.4.4	增强水泥聚苯复合板外墙内保温	267
3.4.5	增强石膏聚苯复合板外墙内保温	274
3.4.6	增强(聚合物)水泥聚苯复合板外墙内保温	281
3.4.7	粉煤灰泡沫水泥聚苯复合板外墙内保温	283
3.4.8	纸面石膏岩棉(玻璃棉)外墙内保温	285
3.4.9	胶粉聚苯颗粒浆料外墙内保温	292
3.4.10	外墙内保温通用节点详图	301
3.5	外墙外保温建筑构造	307
3.5.1	外墙外保温简介	307
3.5.2	I型—聚苯乙烯泡沫塑料板薄抹灰外墙外保温	313
3.5.3	II型—胶粉聚苯颗粒保温浆料外墙外保温系统	330
3.5.4	III型—聚苯乙烯泡沫塑料板现浇混凝土外墙外保温系统	355
3.5.5	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	369
3.5.6	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	383
3.5.7	VI型—岩棉板外墙外保温系统	399
3.5.8	VII型—装配式龙骨薄板外墙外保温系统	414
3.5.9	外墙外保温通用构造节点	427
3.6	外墙外保温建筑构造(北京地区建筑节能65%)	438
3.6.1	总说明	438
3.6.2	不同保温构造做法选用表	440
3.6.3	外墙外保温BW1~BW4做法详图	448
3.6.4	外墙主体断面	459
3.6.5	干挂石材墙面外保温	471
3.6.6	材料性能指标	473
3.6.7	面砖饰面聚氨酯复合板外墙外保温体系	474
3.7	保温隔热屋面设计	488
3.7.1	保温隔热屋面设计一般规定	488
3.7.2	保温隔热屋面设计材料要求	489
3.7.3	保温隔热屋面设计要点	490
3.7.4	保温隔热屋面细部构造	492
3.7.5	屋面保温隔热构造(节能65%)	494
第4章	采暖、通风与空调节能设计	549
4.1	采暖、通风与空调节能设计要求	550
4.1.1	空调建筑热工设计要求	550
4.1.2	自然通风	551
4.1.3	夏热冬暖地区通风和空调节能设计	552

4.1.4	夏热冬冷地区通风和空调节能设计	556
4.1.5	采暖居住地区采暖、通风与空调节能设计	559
4.1.6	公共建筑采暖、通风与空调节能设计	565
4.1.7	公共建筑空气调节与采暖系统的冷热源设计	573
4.1.8	公共建筑采暖、通风与空调节能监测与控制	578
4.1.9	北京地区居住建筑(节能65%)采暖、空调与通风节能设计	582
4.2	地面辐射采暖工程设计	586
4.2.1	一般规定	586
4.2.2	地面构造	586
4.2.3	热负荷的计算	588
4.2.4	地面散热量计算	588
4.2.5	低温热水系统的加热管系统设计	590
4.2.6	低温热水系统的分水器、集水器及附件设计	591
4.2.7	低温热水系统的加热管水力计算	592
4.2.8	低温热水系统的热计量和室温控制	593
4.2.9	发热电缆系统的设计	593
4.2.10	发热电缆系统的电气设计	594
4.2.11	地面辐射采暖系统材料要求	595
4.3	集中供暖住宅分户热计量设计	600
4.3.1	供暖负荷计算	600
4.3.2	热源和室外系统设计	601
4.3.3	室内系统设计	604
4.3.4	户内系统设计	607
4.3.5	系统水力计算	611
4.3.6	热量计量装置	611
4.4	采暖供热系统节能设计	614
4.4.1	铜(钢)铝复合型散热器	614
4.4.2	钢制(板型)散热器	616
4.4.3	铝合金散热器	618
4.4.4	内腔无粘砂灰铸铁散热器	621
4.4.5	低温热水地板辐射采暖系统设计	622
4.4.6	集中供暖住宅分户热计量设计示例	638
第5章	绿色照明及新型能源利用技术	685
5.1	绿色照明工程设计	686
5.1.1	照明功率密度值	686
5.1.2	绿色照明工程设计	689
5.1.3	建筑照明节能技术措施	691
5.2	太阳能利用技术	694
5.2.1	太阳能在建筑中的应用技术介绍	694
5.2.2	太阳能热水器	697

5.3	地源热泵利用技术	701
5.3.1	地源热泵简介	701
5.3.2	地源热泵的优点	701
5.3.3	地源热泵的应用范围	703
5.3.4	地源热泵的系统组成	703
5.3.5	地源热泵的室外换热系统形式	704
5.3.6	室内换热系统形式	705
5.3.7	地源热泵的系统原理	706
5.3.8	工程解决方案实例	706
5.4	楼宇式热电冷联产（三联供）系统	709
5.4.1	楼宇式燃气热电冷联产系统简介	709
5.4.2	发展楼宇式燃气热电冷联产系统的必要性	710
5.4.3	楼宇式燃气热电冷联产系统的评价方法	711
5.4.4	楼宇式燃气热电冷联产系统的优化配置	714
5.4.5	北京燃气集团生产指挥调度中心工程热冷电三联产系统介绍	717
附录 1	建筑热工设计计算公式及参数	720
附录 2	围护结构保温的经济评价	729
参考文献		

第 1 章 绪 论

- 1.1 概述
- 1.2 我国的建筑能耗现状
及建筑节能的主要内容
- 1.3 建筑节能工作要点

1.1 概 述

1.1.1 我国建筑热工分区

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,一般划分为五个建筑热工分区: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 $0^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}\sim10^{\circ}\text{C}$,最热月平均温度为 $25^{\circ}\text{C}\sim30^{\circ}\text{C}$ 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 $25^{\circ}\text{C}\sim29^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}\sim13^{\circ}\text{C}$,最热月平均温度为 $18^{\circ}\text{C}\sim25^{\circ}\text{C}$ 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。

1.1.2 室内热环境及质量标准

1.1.2.1 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. 简述

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,但有一些生理的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:

$$M \pm R \pm C - E = Q \quad (1-1)$$

式中, M 为代谢产热; R 、 C 、 E 分别为辐射、对流及蒸发热交换; Q 为人体积热的变化量,反映着平均体温的变化。

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。

决定穿衣人体热交换的各种因素可以分为两类,从表 1-1 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 1-1 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 1-1 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内的或在衣内的气流;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 ($T_w - T_s$)。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。但是,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，人体承受辐射热交换将超过均一环境。

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 0.58kcal 。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有的冷却效果。

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，而蒸发的散热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。水蒸气压力愈低且风速愈高，可能的蒸发量就愈大。

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有简图来描述，见图 1-1。

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，人的肌体具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，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

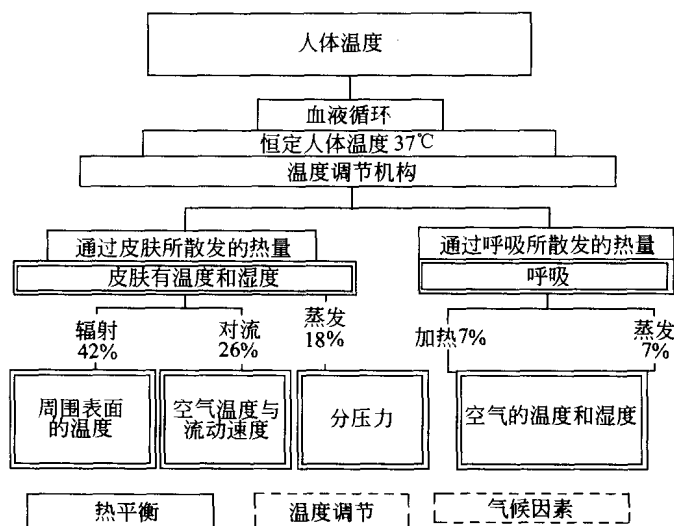


图 1-1 人体同周围环境的换热

人体散热，使人体能够轻松地保持热平衡。

1.1.2.2 室内热环境质量标准及评价方法

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℃，冬季室温每降低 1℃，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℃ 左右时，脑力劳动的工作效率最高；低于 18℃ 或高于 28℃，工作效率会急剧下降。以 25℃ 时的工作效率为 100%，35℃ 时只有 50%，10℃ 时只有 30%。

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 $PMV = -0.5 \sim 0.5$ ，对应不满

意率 $PPD \leq 10\%$ 。

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

1.1.3.1 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社会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, 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, 而且, 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 $30\% \sim 45\%$ 。美国一次能源消耗量, 2000 年达到 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 $20\% \sim 25\%$, 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. 我国的建筑节能工作,始于20世纪80年代初期:

(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—86),于1986年8月1日开始试行。

(2) 1987年~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—95)、《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%的要求。

1.1.3.2 建筑节能的意义

1. 建筑节能是改善空间环境重要途径

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. 建筑节能是发展国民经济的需要

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5.8kW·h~6.4kW·h,经换算,1kg普通煤为0.712kg~0.786kg标准煤,或1kg标准煤为1.27kg~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。

我国能源消费结构以煤炭为主。我国煤炭和水利资源藏量丰富，但能源消费结构是以煤炭为主，煤炭占 3/4 以上，我国建筑采暖用煤约占 75% 以上，其他高质能源所占比例很小，这与发达国家存在很大差距。例如，在采暖能源中，法国：电力占 5%，天然气占 50%，煤和石油等只占 10%；荷兰：天然气占 46%，石油占 46%，煤占 6%，其他占 2%。

建筑能耗的增长远高于能源的增长速度。我国原有建筑及每年新建筑量巨大，加之居住人口众多，建筑能耗占全国总能耗的 1/4 以上，特别是高能耗建筑大量建造，建筑能耗的增长远高于能源生产的增长速度，尤其是电力、燃气、热力等优质能源的需求急剧增加。鉴于建筑用能的严重浪费，抓紧建筑节能工作是国民经济可持续发展的重大课题。

建筑节能是提高经济效益的重要措施。建筑节能需要投入一定的资金，但投入少、产出多。实践证明，只要选择适合当地条件的节能技术，若使用 4%~7% 的建筑造价，可达到 30% 的节能指标。建筑节能的回收期一般为 3~6 年，与建筑物使用周期 60~100 年相比，其经济效益是非常突出的，可见，节能建筑在一次投资后，可在短期内回收，并能长期受益。