

空调 过程设计 与 建筑节能

陈在康 丁力行 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

空调 过程设计 与 建筑节能

陈在康 丁力行 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了影响建筑能耗的主要因素，分析了建筑节能的基本途径，重点介绍了建筑热工及暖通空调系统过程设计的基本理论与方法。全书共9章，绪论和前两章主要阐述基本概念和方法，其余各章分别就负荷计算及能耗分析、空气处理过程分析、冷热源过程分析、运行调节过程分析等的具体方法及其与节能的关系进行了介绍。本书选材简练，并注意与有关专业的实际应用相结合。

本书融理论分析和实际应用为一体，是有关建筑节能方面设计、研究人员的必备书籍，也可作为建筑技术、建筑环境与设备工程专业本科及研究生教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

空调过程设计与建筑节能/陈在康，丁力行编著. 北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7 - 5083 - 2576 - 1

I. 空… II. ①陈…②丁… III. ①采暖设备 - 建筑设计②通风设备 - 建筑设计③空气调节设备 - 建筑设计④建筑 - 节能 IV. ①TU83②TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 086580 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>)

航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 12.25 印张 276 千字

印数 0001—4000 册 定价 21.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,暖通空调系统及各种现代化建筑设备的广泛应用,建筑能耗猛增,其所占国民经济总能耗的份额也越来越大,建筑节能问题的重要性越来越受到社会各有关方面的关注。要使建筑节能收到实效,首先要建立和完善建筑节能设计的规范和标准体系,有明确的评价指标。与此相适应,暖通空调系统设计方法的改革必须积极地推进;各种相关过程适用的简化模型及其算法的研究和过程模拟仿真软件的开发,各种配套适用的气象资料及其他相关数据库的建设等方面,还有大量的工作要做。

各门学科相互渗透是当代科学技术发展的重要特点之一。计算机技术的发展几乎渗透到所有科学技术部门。其中,系统分析和系统辨识方法得到空前广泛的应用,并取得相当显著的成效。计算机技术在暖通空调领域的应用,一开始就把负荷计算方法从稳态计算推向动态计算,开辟了过程设计的道路,极大地推动了暖通空调技术的发展。暖通空调过程设计的研究和优化调节与控制,成为推动建筑节能的强有力的杠杆。此外暖通空调负荷及建筑能耗需求具有极大的不平衡性,不仅有季节性不平衡,昼夜间的不平衡也十分突出。为了平衡电力需求的峰谷差,供电部门正积极实行分时电价,加强电力需求侧管理,促进储能空调的发展,冰蓄冷空调及水蓄冷空调技术也应运而生。虽然它们并不直接产生节能效果,但配合供电部门一起,改善供电效益仍有其不可忽视的重要性。冰蓄冷空调及水蓄冷空调系统的设计,当然也必须运用过程设计方法。

本书系统地介绍了影响建筑能耗的主要因素,分析了建筑节能的基本途径,重点介绍了建筑热工及暖通空调系统的过程设计的基本理论与方法。全书共9章,绪论和前两章主要阐述基本概念和方法,其余各章分别就负荷计算及能耗分析、空气处理过程分析、冷热源过程分析、运行调节过程分析等的具体方法及其与节能的关系进行了介绍。本书绪论和第三章由陈在康执笔,其余各章由丁力行执笔,陈秀芬、李越铭为本书的完成作了大量工作。本书选材力求简练,并注意与有关专业的实际应用相结合。然而,系统分析的理论与方法的研究方兴未艾,新的成果不断涌现,但比较成熟的当推线性时不变系统的分析,因而本书系统分析方法的介绍也是以线性时不变系统的分析为主。当然,本书还只能算是引导入门的书,有要求深入研究的读者,可进一步阅读相关的专著。由于编著者水平所限,本书在内容的选择、体系的安排、文字的叙述上肯定还会有缺点或错误,请读者予以批评指正。

编 者

2004年7月于长沙岳麓山

目 录

前言			
第一章 绪论	1	第五章 空调冷热源	82
第一节 人和环境	1	第一节 空调冷热源基本形式	82
第二节 建筑能耗与建筑节能	2	第二节 空调冷热源的选择原则	87
第三节 建筑节能设计的规范化	3	第三节 能源效率与经济技术分析	90
第四节 空调系统的工况设计与过程 设计方法	4	第四节 热电冷三联供技术	95
第五节 可持续发展战略和建筑与空调 未来的发展	5	第六章 空气处理系统及风系统	101
第二章 建筑节能与能源有效利用率	6	第一节 空气热湿处理过程	101
第一节 能源概论	6	第二节 空调系统的运行调节	106
第二节 建筑节能的意义	12	第三节 变风量系统	113
第三节 建筑节能在国内外的的发展	14	第七章 冷媒水系统	121
第四节 电力需求侧管理	15	第一节 空调水系统基本形式	121
第五节 建筑能耗评价	17	第二节 变流量水系统的应用问题	124
第六节 建筑节能标准化情况	20	第三节 变流量水系统水泵的优化设置	133
第七节 建筑节能基本途径	25	第八章 冷剂循环系统节能设计	145
第三章 空调设计方法	32	第一节 制冷循环概述	145
第一节 工程设计	32	第二节 蓄冷空调技术	152
第二节 空调设计方法	42	第三节 节能运转方式	160
第三节 过程设计方法	47	第九章 热泵空调技术	165
第四章 室内外气象参数及空调负荷 分析	61	第一节 热泵	165
第一节 空调室内外气象参数	61	第二节 水源热泵系统	177
第二节 室外气象与环境条件的资源化	68	第三节 土壤源热泵系统	180
		第四节 冷凝热回收系统	186
		参考文献	190
		第三节 空调负荷	74

第一章

绪论

第一节 人和环境

人不能脱离一定的自然环境和社会环境生存与生活。远古的洪荒时代，在地球的生态系统中，人和其他生物一样是其中的一环。人类经过了漫长的发展岁月，为了能遮风避雨和日晒夜露以及避免受到袭击，常常利用天然的洞穴栖身。自从人们学会了建造房屋，开始出现不同于自然环境的建筑室内环境，这时，室内环境的热湿状况决定于建筑物和内、外环境之间自发的热湿交换过程，无须额外地消耗能源。随着生产力的发展和社会的进步，人对室内环境的要求也越来越高。建筑物除了不断更新其使用的材料与结构，以改善它本身的热工特性之外，并进一步运用各种技术与设备按照人的意愿创造不同于自然环境的室内环境，称为人工环境。到了 20 世纪，机械、冶金和材料工业有了很大的发展，传热和流体力学理论日臻成熟，流体机械的广泛应用，特别是制冷技术的进步，大大地促进了空调技术得以创立并迅速的发展起来。1904 年，被称为空调之父的美国工程师 Willis H. Carrier 首次利用淋水室处理空气，建造了可以同时控制室内空气温度和湿度的空气调节系统，成为开创暖通空调技术的新的里程碑，为在室内创造更加舒适的环境和满足现代生产技术和科学实验对人工环境提出的要求开辟了道路。然而，伴随着这些新技术的应用，也带来大量能源的消耗，对周边环境和城市环境的热污染形成了“城市热岛”，空调 CFC 制冷剂成为破坏大气臭氧层的罪魁祸首，空调热源散发出大量污染大气的 SO_2 、 NO_x 、煤尘和温室气体 CO_2 ，空调系统对周边环境的噪声污染也不容忽视。自然环境与建筑环境的关系如图 1-1 所示。

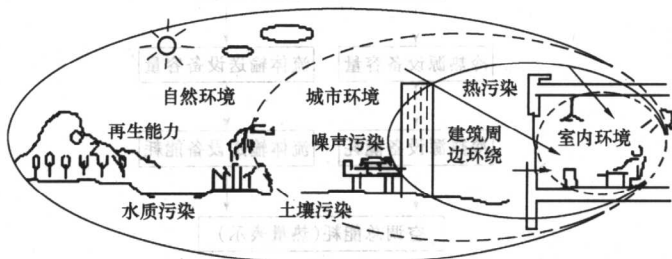


图 1-1 自然环境与建筑环境

任何学科的发展都和社会需求及社会环境与技术发展的总体发展水平息息相关。社会的需求又成为推动科学技术发展的原动力。暖通空调和制冷技术就是 20 世纪社会经济和技术发展的产物。生产过程对室内空气温湿度的要求，是空调技术的催生婆，随着人们生

活水平的提高,舒适性空调也迅猛发展起来,如今,人们对室内环境提出了更高的要求:健康、舒适、安全和方便。空调能耗所占整个社会能耗的份额节节攀升,成为能耗大户。20世纪70年代爆发的能源危机导致空调系统大量缩减新风换气量,从而引发“建筑病”,某些空调系统竟成为室内环境的污染源,使人们认识到关注室内空气品质的重要性,人们要求创造更为健康、舒适、安全、方便的室内环境。建筑环境学已应运而生,它所关注的不只是室内空气品质和热湿环境,还涉及建筑室内的光环境、声环境、信息与物流条件与安全防灾条件等等。保证室内空气品质和热湿环境的暖通空调技术目前仍然是其中的重要组成部分。与此同时,室外环境污染和自然资源枯竭的问题已经成为全社会关注的焦点,它们既是制约暖通空调发展的因素,也是推动暖通空调技术进步的动力。这些问题的严重性在新的世纪仍然有增无减。

第二节 建筑能耗与建筑节能

在建筑能耗中,暖通空调系统的能耗占据主要份额。暖通空调系统是用以保证室内空气品质和适宜的温湿度为目的的,即通常所说的室内空气设计条件。所以我们讨论暖通空调系统的能耗与节能都是以保证人工环境的这些条件为前提的。现在我们来看一看影响暖通空调系统能耗的因素以及它们在构成能耗中的地位。图1-2为反映这种关系的示意。

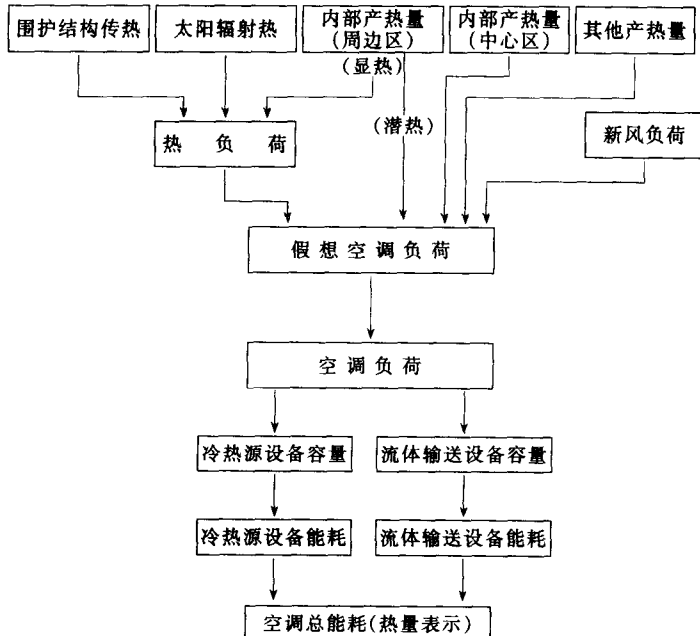


图 1-2 影响暖通空调系统的能耗的因素

图1-2中,把暖通空调系统简单地统称为空调,我们先解释一下图中的几个术语:空调负荷是指为保持室内空气设计条件,单位时间内需要向室内空气输入或排出的热量,前者称为热负荷,后者称为冷负荷,相互之间差一个负号,有时就笼统的称之为热负荷。假想空调负荷包括的新风负荷是指按照规范规定的最小新风量换气,不考虑排风热回收情

况下产生的热负荷,如果采取排风热回收措施,实际空调负荷将减少,这就是假想空调负荷和空调负荷具有的不同含义。通过建筑围护结构传热、太阳辐射以及室内周边区内部产热的显热部分引起的空调负荷直接和建筑物的隔热保温、遮阳及体形设计有关。由此可见,改善建筑热工条件对于减少空调负荷具有不可忽视的重大影响。应当指出,空调负荷并不等于空调能耗,空调能耗包括冷、热源设备为满足空调负荷的需求制备冷(热)水消耗的能量、输送各种传输能量的介质消耗的能量以及管道系统散失的能量等等。要减少这一部分能耗就必须提高冷、热源设备及各种介质输送设备的运行效率,减少各种介质输送过程中的传热损失。

此外,随着室外气象条件的变化和室内运行方式的不同,空调负荷也在不断变化。按照最大空调设计负荷选择的设备,绝大部分的运行时间处于部分负荷情况下运行。在额定负荷下运行效率很高的设备,在部分负荷条件下运行效率可能很低。因此,调节过程的优化对减少空调能耗也有非常重要的影响。

第三节 建筑节能设计的规范化

目前,建筑节能的重要性越来越引起人们的关注。从建筑设计方面来看,提高隔热保温性能、采用合理的朝向、增设必要的遮阳等可以减少空调负荷,因而也会降低能耗,然而也可能由此提高建筑造价。从空调系统的设计方面来看,对于确定的空调负荷,提高设备的效率和为优化运行过程提供相应的硬件软件,都成为降低能耗的关键。对空调系统而言,降低能耗可以降低运行费用,当然,为此采取的各种技术措施也会使初投资增加。总之,从设计者的角度,他们更关注的是其设计对象满足其功能要求的可靠性和在此基础上的技术经济的合理性。从社会公众的利益出发和可持续发展战略的要求来看,还必须通过立法建立必要的法律、法规、规范及标准体系,作为建筑及空调系统设计的约束条件,限制不合理的能源过度消费,保护环境,使建筑节能设计规范化,使建筑节能工作得到有效的落实。

20世纪70年代爆发全球性能源危机以后,各个经济发达国家都相继完善了有关建筑节能的法制体系。例如,日本在1979年6月制定《节能法》的基础上,进一步完善了关于建筑节能的法规,提出了以建筑周边区年负荷系数PAL(Perimeter Annual Load)和空调能耗系数CEC(Coefficient of Energy Consumption for air-conditioning)作为衡量建筑节能程度的指标,并规定其限值。所谓建筑周边区年负荷系数,是用距外围护结构5m以内的周边区的年热负荷(Mcal/年)除以该区的建筑面积,它反映外围护结构的隔热遮阳的水平;所谓空调能耗系数,是指空调年能耗量除以年累计假想空调负荷,它反映空调系统能源合理利用水平。

我国关于建筑节能的法制建设起步较晚,完整的法律法规体系还远没有形成。1995年颁布的《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》JGJ26—1995主要是针对北方地区的,对建筑围护结构平均传热系数(按面积为权重进行平均)的最大值作了限制。《旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准》针对旅游旅馆作了一些规定。建设部建筑节能

“九五”计划和2010年规划中提出的目标是：第一阶段，1996年以前新建采暖居住建筑的能耗在1980~1981年当地住宅通用设计基础上节能30%；第二阶段，1996年在达到第一阶段基础上节能30%；第三阶段，2000年在达到第二阶段基础上再节能30%。新建采暖公共建筑2000年做到节能50%，为第一阶段；2010年在第一阶段基础上再节能30%，为第二阶段。2001年发布了行业标准《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》，该标准规定采用建筑物耗热量、耗冷量指标和采暖、空调全年用电量作为建筑物的节能综合指标。该标准规定建筑物的节能综合指标采用动态方法计算，室内计算温度规定冬季全天为18℃，夏季全天为26℃；室外气象计算参数采用该标准定义的典型气象年的逐时气象参数。标准条文说明中还明确规定，计算采用反应系数法，并采用美国劳伦斯伯克力国家实验室开发的DOE-2软件作为计算工具。在计算采暖、空调年耗电量时，能效比均采用固定的值，分别为1.9和2.3。实际上，该标准在空调系统设计中没有任何约束，“标准条文说明”对这种情况解释为：“在计算中取比较低的能效比，有利于突出建筑围护结构在建筑节能中的作用。”为了贯彻执行这个标准，在提高它的可操作性方面，还有许多工作要做。目前，《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》已经颁布，意味着今后很多住宅项目从设计时就要考虑到节能问题，设计出来的产品不但要美观，而且要注意节约能源。

第四节 空调系统的工况设计与过程设计方法



暖通空调系统传统的设计方法为工况设计方法，所谓工况设计方法，就是先选定最不利的情况作为“设计工况”，对暖通空调系统而言，就是可能出现最大热负荷或最大冷负荷的情况，前者称为冬季设计工况，后者称为夏季设计工况。设计工况的各种设计条件参数都看成固定不变的，暖通空调系统设计方案和设备的选择都是根据满足设计工况的最大负荷的需要来确定的，使用的计算方法自然也都是静态或稳态的。然而，暖通空调系统在全年的运行过程中，情况是不断变化的，运行过程的绝大部分时间都不是在设计工况的条件下进行的。在设计工况的条件下选择具有较高效率的设备，在部分负荷条件下运行效率就有可能大幅度降低。在设计决策中不能只考虑设计工况，还应当顾及整个运行过程。暖通空调系统运行中要消耗大量能源，在技术经济比较中也不能不把初投资和运行费用综合加以考虑，这就要求在设计过程必须预估全年的能耗，才能作出正确的比较。新颁布的建筑节能标准规定的各项综合评价指标都是采用动态方法计算的，传统的工况设计方法无法确定所选定的设计方案是否满足综合评价指标限值规定的要求。优化运行调节过程也是降低运行能耗的重要方面。此外，暖通空调负荷不仅有明显的季节性，即使在同一天，负荷也是很不平衡的，电力供应部门已开始实行分时电价，即对电力负荷的高峰期和低谷期采用不同的电价，达到均衡电力需求的目的，并鼓励暖通空调采用蓄能式系统，充分利用需求“低谷期”的廉价电力，冰蓄冷空调技术也就应运而生。对这类空调系统的设计，自然也必须采用过程设计方法。

所有这些，都说明了改革传统设计方法的重要性。也就是说，在设计过程中，我们关注的不仅是某个固定不变的“设计工况”，而应更加着眼于考察各种过程。推广应用过程

设计方法已成为实现建筑节能的越来越重要的方面。当然,要实现这种转变,还有许多工作要做,例如,还必须研究描述各种过程的合理的简化模型,开发相应具有自主知识产权的计算及过程模拟仿真软件等等。

研究过程变化的基本方法为系统方法。我们知道,客观世界上的事物都是互相联系的,互相联系的事物通常称为系统。这种相互间的联系是在变化过程中表现出来的,任何客观规律都体现在变化过程之中。如果一切都是静止不变的,则系统和规律将无从谈起。系统的这种相互间的联系按照其密切的程度又是有层次的,系统可分为若干子系统,子系统又可分为下一层次的子系统,我们研究的对象常常只是某一层次的子系统,通常简称系统,其他相关事物则称为此系统的环境。系统的变化过程不仅和系统本身的特性有关,也要受到环境对它的影响。随着计算机技术的发展,为系统方法在工程技术中的应用提供了条件,系统科学本身也获得了前所未有的发展,新的研究成果不断涌现。最为成熟的当推对线性时不变系统的分析方法和理论体系。

第五节 可持续发展战略和建筑与空调未来的发展



影响人的舒适与健康最为直接的则是建筑室内环境,我们运用暖通空调技术创造了美好的建筑室内环境,同时却使室外自然环境遭到破坏。CFC 制冷剂正在破坏保护人类生存的大气臭氧层,大量耗费的能源正在使可供利用的自然资源走向枯竭,大气、水和土壤正在受到污染,就连夏季空调排出的热也造成“热岛”现象,恶化了所处的城市环境。为了贯彻可持续发展战略,建筑与空调未来的发展必须坚持“绿色建筑”和“绿色空调”的方向。所谓“绿色建筑”就是指能为建筑中的人提供健康、舒适、安全、方便的室内环境,而又不损害周边、区域乃至全球环境,充分开发利用可再生能源和高效利用自然资源的建筑,当然符合这种条件的空调才能称之为“绿色空调”。

第二章

建筑节能与能源有效利用率

第一节 能源概论

一、地球上的能源

能源是社会存在与运动的基础,任何生产与生活过程都离不开能源。广义地讲,宇宙的运动到处充满着能量过程,对于工程技术人员来说,当然最关心的是地球上的能源及其利用技术。

从物理学的观点看,能量可以简单的定义为做功的本领。广义而言,任何物质都可以转化为能量,但是转化的数量及转化的难易程度差异是极大的。比较集中而又较易转化的物质称为能源。由于科学技术的进步,人类对物质性质的认识及掌握能源转化的方法也在深化,因此并没有一个很确切的能源的定义。但对于工程技术人员而言,在一定的工业发展阶段,能源的定义还是明确的。还有另一类型的能源,即物质在宏观运动过程中所转化的能量,也就是所谓的能量过程,例如水的势能落差运动产生的水能及空气运动所产生的风能等等。因此,能源的定义可写为:比较集中的含能体或能量过程称为能源。

凡是能够到达地球上的能源统称为地球上的能源,地球上的能源可归纳成三类。

(1) 地球本身蕴藏的能源,这是在天地演变过程中形成地球时即储藏的能量,如地球内部的核能、地热能等。

(2) 来自太阳的辐射能,且通过各种类型的转化过程而储存于地球者,太阳能的直接辐射能是一类;通过水、空气转化成的水能、风能为另一类;而通过生物过程转化的煤、石油、天然气、薪柴等则为当前更有意义的一类。

(3) 地球与其他天体互相作用而产生的,如潮汐能等。

根据研究目的不同,能源有各种分类方法。常见的分类有按来源、按性质及按转换与使用特征方法进行分类,见表2-1。对于能源利用工作者来说,更多的是采用一次能源和二次能源的概念。

二、能源在国民经济发展中的作用

能源贯彻在具体的生产与生活的每个环节中。正因为如此,能源的形式也决定了国家的经济实力、发展模式和发展前途。人类社会发展的各个阶段都与某个阶段能源生产与消费形势有关。

1. 能源与生产、能源与经济

任何生产过程,必须有一定的投入。以往人们往往只以原材料、资金和劳动力作为生

生产的必要条件。随着工业生产的进步与扩大,人们越来越认识到,不投入必要的能源,生产过程是绝对不能实现的。

表 2-1 能源分类

分类依据	分类类别	分类细则及举例
按来源分	第一能源 (来自地球之外)	经生物质转化:煤、石油、天然气、油页岩、草木、沼气
		经空气或水转化:风、流水、海浪、波浪
		经热转化:海洋热
		太阳能直接辐射
	第二能源 (来自地球内部)	地热:地震、火山活动、地热水或地热气、热岩层 核能:铀、钍等
	第三能源 (与其他天体作用)	潮汐、各种宇宙线、流星等
按性质分	含能体能源	化石燃料 (煤、石油、天然气)、草木燃料、氢能 地热水或地热气 高位水水库 氢能 (氢燃料)
	过程性能源	风、流水、海洋能、潮汐 地震 电 太阳直接辐射

任何工农业产品的生产都离不开能源,它的需要量不仅表现在生产中它直接消耗掉的能量,还包括生产设备本身及所耗能源的生产所必需的能源。以矿井采煤为例,勘探、建矿、井下开拓、采掘、通风、提升至地面、传输乃至洗煤每一步骤都需要消耗能源。任何产品都离不开能源,所以能源发展水平在一定程度上代表了国家的经济发展水平。图2-1是美国 Brook Heaven 实验室对各发展中国家人均年产值与人均年能耗的关联曲线。由图可见,两者相当紧密且呈单调关系。而发达国家的线性度比发展中国家高得多。由此可知,如果没有足够的人均能耗水平,想达到很高的人均国民生产总值或很强的经济实力,是不可能的。

2. 能源结构与国民经济发展模式

能源生产与消耗,决定了当前国家经济实力与生活质量,它的前景还决定了经济发展的速度与模式。

表 2-2 全球 1997 年能源产量及部分国家能源消耗结构

	石油	天然气	煤	核电	水电	可再生能源	其他	总耗能量 (PJ)
全球 (产量)	39.5	22.1	24.2	6.3	6.9		0.5	401330
美国	37.9	21.5	24.1	8.2	4.3	3.4	0.6	99216
荷兰	35.4	48.9	13.4	1.5	0.01	0.04	0.75	4087
英国	34.9	32.0	22.9	9.8	0.2	0.08	0.12	10618
日本	56.0	12.0	14.0	14.0	3.8		0.2	22416
加拿大	38.5	22.9	16.3	16.1			6.2	12840
中国	15.8	1.7	61.9	0.3	1.5	18.8		38595

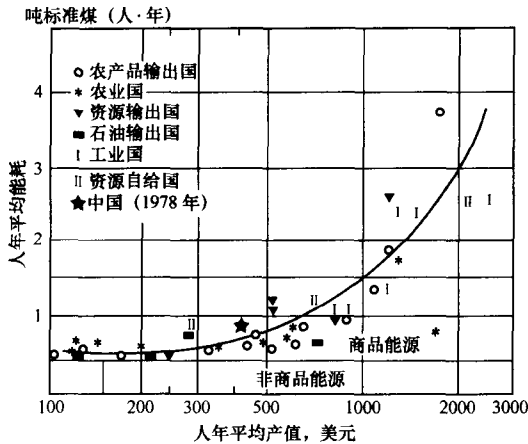


图 2-1 各发展中国家人均
年产值与人均年能耗的关联曲线

我国能源的蕴藏量在世界上名列前茅，但按人均计算，只能列于中等水平。限于我国的资金、技术水平和国民教育水平，故能源的开发速度不可能十分快。能源供应不足，国民经济中就要研究轻、重工业的比例及第三产业和生产行业的正确比例关系。一般来说，重工业是高耗能工业，轻纺工业相对能耗较少，旅游、服务行业则耗能更少，经济发展的模式应以充足的能源供应为前提。我国的能源结构中以煤为主，这一情况是由我国的能源蕴藏及经济技术发展水平而定的，在相当长的时间内不会改变。以煤为主体的能源系统必然要占用大量的运输力量，加上我国产

煤地集中在华北、西北一带，而经济发达地区则集中在东部沿海，所以全国相当大部分的铁道、沿海和江河的运输力量被运煤占据，造成运输工作十分沉重，甚至影响了不少地区的经济发展速度，故我国的经济的发展必需要以能源和交通业为重点。

当今世界上正面临第三次浪潮的挑战。信息技术、生命科学、空间技术和海洋工程等的发展，对能源工业提出了新的要求。加上环境保护、生态平衡的要求，能源的合理与节约使用成为迫切需要解决的课题。

三、我国能源资源结构特点

1. 中国已成为世界能源生产大国

改革开放以来，我国能源工业保持了较快的增长。1997年我国原煤产量1373.0Mt，居世界第1位，占世界煤炭总产量的29.5%；发电量达1134.2TWh，仅次于美国，居世界第2位；原油产量160.7Mt，居世界第5位；天然气产量22.7Gm³，居世界第18位。进入21世纪，中国已拥有世界第3位的能源生产系统。与此同时，中国的节能工作取得了明显的成效，1996年相对1980年的能源强度下降了50%，年均节能率达到4.4%，这在发展中国家还是比较少见的。

我国一次能源消费量已超过俄罗斯，居世界第2位。能源消费总量虽大，但人口过多，故人均能耗水平很低。根据国际有关能源机构预测，到2050年世界人均能源消费量（按吨油当量计）为2~2.5t，OECD国家平均为5.6~6.7t；如果特别强化生态因素制约，则2050年世界人均能源消耗量为1.4t。如果OECD国家为3t，则我国届时人均能源消费量至少是2.0~2.5t。这个数值仅达到目前OECD国家的低限值，低于目前OECD国家人均消费量的50%水平。

根据以上设想，如果2050年我国人口总数为14.5~15.8亿，一次能源需求总量（吨油当量）为2.9~3.95Gt，则约为目前美国能源消费总量的1.5~2倍左右，为届时世界能

源消费总量的 16%~22%。可见,从量的方面来看,这是一个严重的挑战。

2. 能源效率低

我国研究人员对中国 1980 年、1995 年的能源效率进行了计算,并和 OECD 国家 20 世纪 70 年代初、90 年代初的相应数据进行比较,见表 2-3。

表 2-3 中外能源效率比较 (%)

		中 国		OECD 国家	
		1980	1995	20 世纪 70 年代初	20 世纪 90 年代初
一次能源投入到终端利用	中间环节	77.43	75.82	76.0	75.0
	农 业	23.3	29.5	30.0	36
	工 业	33.7	44.16	50.0	65
终端利用	交通运输	15.6	30.0	23.0	30
	城市民用和商业	23.5	45~50	45.0	60~65
合 计		33.4	45.21	45.0	55
能源效率 (1×2)		25.86	34.28	32.0	41

注 此栏数据是 OECD 国家 20 世纪 70 年代末时的预测数;中间环节效率下降是由于一次能源转换成电力的比例上升。

由表 2-3 可见,我国 1995 年的能源效率相当于 OECD 国家 20 世纪 70 年代后期的水平,终端利用环节的效率仅略高于 OECD 国家 20 世纪 70 年代初的水平,工业部门的能源利用效率比 OECD 国家 20 世纪 70 年代初的水平尚低 5 个百分点。

目前中国能源效率仍远低于发达国家,这就是差距,也是对我们的严峻挑战。

3. 人均能源资源不足

中国人口众多,人均能源资源探明量(以吨煤当量计)只有 135t,相当于世界平均拥有量(以吨煤当量计)264t 的 51%。

4. 以煤为主的能源结构急需调整

1997 年全国 SO₂ 排放量 2346 万 t,居世界第 1 位,其中 78.9% 来自工业排放。我国由于 SO₂ 排放引起的酸雨污染已扩展到全国整个面积的 30%~40%,根据有关研究的结果,酸雨造成的经济损失,已接近当年国民生产总值的 2%。

1997 年全国烟尘排放量达 1873 万 t,其中工业烟尘排放量占 83.6%,城市总悬浮颗粒物(TSP)年均值浓度在 32~741 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围之内,全国平均值为 291 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,超过国家二级标准(200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的有 67 个城市,占城市总数的 72.0%,北方城市年均值为 381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,南方城市年均值为 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。城市氮氧化物浓度年均值在 4~140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围之内,全国年均值为 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。我国能源使用排放的 CO₂ 约占各种温室气体总排放量的 80%,它随能源消费量的增加而增加。我国不仅面临着温室气体排放问题的政治和外交方面的压力,经济发展和对外贸易也可能面临新的问题。中国的环境污染与大量消耗煤炭有关,1995 年中国煤炭消费量占世界煤炭总消费量的 29%,而 70% 的 TSP、90% 的 SO₂、60% 的 NO_x 和 85% 的矿物燃料生成的 CO₂ 来自燃煤,故要保护环境必须努力减少煤炭在一次能源结构中的比例。

中国的能源利用效率远低于西方发达国家,从单位国内生产总值(GDP)的能源消费上看,无论用官方汇率还是用购买力评价(PPP)计算,中国的能源效率都属世界上最低的一类,主要耗能产品的单位产品能源消耗也比发达国家高12%~55%。以煤为主的能源结构能源效率比以油、气为主的能源效率低8~10个百分点。

中国煤炭生产基地远离煤炭消费中心,形成了西煤东运,北煤南运,煤炭出关的强大煤流;不仅运量大,而且运距长。

中国未来能源供应安全问题主要是油、气可靠供应问题。据中国海关统计资料,1993年起中国成为石油净进口国,1996年起中国成为原油净进口国,这种趋势还将继续。

5. 中长期能源发展战略

提高能源利用效率是确保我国中长期能源供需平衡的先决条件,中国只有创造比目前工业化国家更高的能源效率,才可能在有限的资源保证下,实现高速增长和达到中等发达国家人均水平。

提高能源效率的节能潜力很大,如用国际上先进的技术和设备替代现有落后技术和设备,则全部节能潜力可达目前能源消费量的50%;如用国内已有的先进技术和设备进行落后设备的更新,则总节能潜力可达目前能源消费量的30%。

世界上大多数国家早已完成了由煤炭时代向石油时代的转换,现在正向石油、天然气时代过渡。由于中国能源消费总量巨大,优质能源所占比例过小,因而想单纯依靠某种优质能源进行替代是不现实的。能源供应优质化是一项十分艰巨的工作,需要采取多种措施去发展多种优质的清洁能源。从全国来看,改变以煤为主的能源结构需要很长的时间,即使努力去实现能源结构优质化和多元化,煤炭在未来几十年中仍将是我国的主要能源,因此清洁地利用煤炭必将是能源工业的重要任务之一。应减少煤炭在终端的直接利用,提高煤炭转换为电力和气体、液体燃料的比例,发展清洁煤燃烧技术。

从根本上来说,只有可再生能源才是清洁能源,是我们最终的追求目标。

中国政府已制订了1996~2010年新能源和可再生能源发展纲要,要求15年中实际使用的可再生能源数量(以吨煤当量计)从目前的近300Mt增长至390Mt。为加快可再生能源的发展,政府需加大研究,开发商业化的资金投入,并提供减免税收、价格补贴、低息贷款等一系列的经济激励措施。

四、能源环境与空调制冷

1. 京都协议、能源环境与空调制冷行业的发展

1997年12月,全球160多个国家在日本京都达成协议:减少温室气体(主要是二氧化碳)的排放量(主要国家和地区排放CO₂比例见表2-4)。协议要求与会的发达国家在协议实施的第一个五年,即2008~2012年,必须决定如何减少规定的各自的份额。中国也于1998年5月签署了该协定。不同类型的能源,散发的温室气体是不同的,从宏观角度看,煤、石油、天然气、电力(包括水电、核电、风力发电等)、可再生能源(地热、太阳能、生物质能等)是主要的能源种类。在不影响工业生产和人民生活的前提下,应减少温室气体排放、提高能源利用效率,减少能源消耗总量,以及改变能源种类在总能源消

耗中所占的比例,或者说调整能源结构,是两个重要途径。美国能源部在就京都协议对美国能源市场和国民经济的影响向美国国会所作的研究报告中指出,为达到美国应该减少的温室气体排放份额,美国将在2010年采取以下措施:①减少原计划燃煤使用量的18%~77%(主要影响发电工业);减少汽油使用量的2%~13%(主要影响交通)。②增加2%~12%的天然气和2%~16%的可再生能源使用量,延长现有核电站的使用寿命。③要想通过市场调节手段来达到以上目的,能源价格将上涨17%~18%。

虽然作为发展中国家,不必要在近期对温室气体排放量的减少做出承诺,但我国已经感受到了能源和环境方面的巨大压力。因此,也将在近期对能源结构和政策做较大的调整。其中总体趋势是降低煤炭的使用量,增加天然气的份额。

作为建筑能耗的最大用户,建筑的空调制冷系统消耗的能量在全国能源消耗中占有相当大的比例。同时,广泛使用的压缩式制冷系统也是泄漏氟里昂、导致破坏臭氧层的重要污染源。在能源环境问题成为新世纪人们最为关心的全球性问题和危机的今天,空调制冷行业的工作人员有义务把自己作为能源工业的重要一员,对全球能源和环境问题进行深入研究。一方面,提供本行业对能源环境问题的数据和分析意见,供国家有关决策部门参考;另一方面,对于能源环境方面的发展趋势和已有政策进行研究,为行业的持续发展提供技术储备和支持。

表 2-4 主要国家和地区排放 CO₂ 比例

国家或地区	CO ₂ 排放量所占比例 (%)	国家或地区	CO ₂ 排放量所占比例 (%)
美 国	23	中 国	13
西欧国家	16	其他远东国家	18
东欧和独联体国家	14	世界其他国家	16

2. 空调制冷对能源的影响

在国家能源消耗中,建筑能源占有相当大的比例。据统计,我国历年建筑能耗在总能耗中的比例是19%~20%左右,平均值为19.8%。其中,暖通空调的能耗约占建筑能耗的85%。建筑能耗主要体现在采暖、通风及空调系统所消耗的能源,其消费的能源是季节性的。在采暖通风及空调系统中的耗能设备中,包含有泵、风机、空气处理器、冷水机组及制冷装置(如各类窗、柜分体式空调等)、冷却塔、换热设备及热泵等。它们有的是季节性消耗电能,有的是季节性消耗热能。对于各种冷水机组及制冷装置,根据其制冷原理的不同,又可分为氟利昂制冷装置和吸收式制冷装置两大类。研究表明,氟利昂类制冷装置对臭氧层有破坏作用。表2-5为按建筑能源消费形式进行的分类。

表 2-5 按建筑能源消费形式进行分类

类 别	细 则 及 举 例
消耗电能的设备	泵、风机等通用机械 电制冷机及制冷装置 使用电力的空气处理器、冷却塔、空气加热器、换热器、热泵等
消耗热能的设备 (使用一次能源如天然气或余热)	溴化锂吸收式制冷机组,如溴化锂直燃型机组、蒸汽双效制冷机

据有关专家的调查,我国建筑能源消耗在全国总能源消耗中所占的比例从1980年至1997年平均为10%~20%。而空调制冷系统是建筑总消耗能源中最主要的设备。在制冷设备中,根据国外的经验,考虑全球及我国目前能源、环境的发展趋势,以下几种设备值得我们深入研究。

- (1) 在空调制冷设备中,加大使用天然气的设备比例;
- (2) 小型冷热电联产系统;
- (3) 推广可再生能源的使用;
- (4) 蓄冷技术的应用。

第二节 建筑节能的意义



近二、三十年来,在世界建筑发展的大潮流中,人们可以明显看出,建筑节能是其中的一个极为重要的热点,是建筑技术进步的一个重大标志,也是建筑界实施可持续发展战略的一个关键环节。各发达国家为此已经进行了长久的努力,并取得了十分丰硕的成果。我国建筑师也应把建筑节能视为自己义不容辞的历史职责。

一、建筑节能的内涵

一幢建筑物从最初的设想,到原材料的采集、生产、运输,接着是构部件的组合、加工、建造和使用,最后复原、回收或废物管理等一系列过程,可称为这个建筑物的寿命周期。在整个生命周期当中,都存在能源消耗与节约的问题。建筑节能的概念有广义和狭义之分。

广义的建筑节能要求考虑建筑物整个寿命周期内的能源流动情况,与广义节能相对应的建筑节能技术即是绿色建筑。绿色建筑是综合运用当代建筑学、生态学及其他技术科学的成果,把住宅建筑造成一个小的生态系统,为居住者提供生机盎然,自然气息浓厚,方便舒适并节约能源,没有污染的居住环境。“绿色”并非指一般意义上的立体绿化、屋顶花园,而是对环境无害的一种标志,是指这种建筑能够在不损害生态环境的前提下,提高人们的生活质量及当代与后代的环境质量。其“绿色”的本质是物质系统的首尾相接、无废无污染、高效和谐、开放式闭合性良性循环。

狭义的建筑节能通常对构部件的组合、加工、建造及建筑的使用过程中的能耗关注较多,尤其是建筑运转过程中的能耗,是狭义节能研究的重点。与狭义节能相对应的建筑节能技术即是节能建筑。建筑节能包括两个方面:一是建筑围护结构节能,即改善围护结构的保温性能,减少围护结构的热损失;二是系统节能,即提高建筑物暖通空调系统的效率,充分发挥能量的效应。

近几十年来,特别是1973年爆发石油危机以来,建筑节能在发展过程中,其内容和含义不断进展。在发达国家,已经经历了三个发展阶段:开始时一般为energy saving in buildings,就是我们现在所说的建筑节能;不久即改称energy conservation in buildings,即在建筑中保持能源,意思是要减少能量的散失;近来普遍称作energy efficiency in buildings,