

JIANZHUSHEBEI
YUNXING
JINENGJISHU

建筑设备

运行节能技术

李联友 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

建筑设备运行节能技术

李联友 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书从优化建筑设备设计及运行技术的角度出发,以理论为基础,结合了各种设备的功能和运行特点,并列举了部分工程实例,详细阐述了建筑设备经济运行的一些关键措施和方法,具有较强的针对性和实用性。本书适合广大建筑设备工程师及建筑设备运行管理人员参考使用。

建筑节能设计标准

李联友著

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备运行节能技术/李联友著. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6473-5

I. 建… II. 李… III. 房屋建筑设备-节能-研究
IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 200751 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:刘 嵩 责任印制:陈焊彬 责任校对:太兴华

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2008 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·10.75 印张·262 千字

定价:28.00 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)

前 言

建筑节能是我国走可持续发展的必由之路，而其中的设备运行节能又在建筑节能中占有相当大的比重，可以说，设备运行效率的高低、运行策略的好坏都直接影响着能否实现建筑节能的目标。全书的主要资料来源于编者在建筑设备运行方面长期的实践积累和在国内示范工程的试点工作经验以及编者在科研学术方面的一些研究成果。同时也采用了一些较为成熟的科研成果，本书重点介绍了我国供热系统的现状及运行中普遍存在的问题和故障分析，以及运行节能的关键技术和相关措施方法。对于空调机房的经济运行，编者也给出了一些优化运行的思路。全书从热源、外网和用户末端三个方面介绍了优化运行节能的一些方法和措施，同时对实现运行节能的监测系统进行了较为详细的介绍。最后，通过几个典型的示范工程实例进一步说明优化运行节能方案的制定和实施方法。

本书从优化运行技术的角度出发，重点介绍经济运行的一些关键措施和方法，具有较强的实践性和针对性，内容侧重于专业性和实用性两者的有机结合。本书可供从事建筑设备设计和运行管理的工程技术人员使用，也可供具有一定专业基础的大中专院校师生参考使用。

由于本书的主要内容是以编者及与其他人的研究成果为基础撰写的，在此对他们表示由衷的感谢。由于编者的学术水平和工作经验所限，书中一些观点和内容还不是很完善，同时也难免有不少疏漏和不妥之处，敬请同行和读者批评指正，提出宝贵意见，以便日后加以完善。

编 者

目 录

前言	1
第1章 绪论	1
1.1 建筑设备运行节能概述	1
1.1.1 我国能源消耗的特点	1
1.1.2 我国建筑能耗状况和设备节能潜力	1
1.2 建筑设备运行节能相关技术简介	2
1.2.1 各种热泵技术	2
1.2.2 降低输配系统能源消耗的技术	2
1.2.3 湿度温度独立控制的空调系统	3
1.2.4 建筑式热电冷三联供系统	3
1.2.5 太阳能蒸发面板为辅助热源的空气源三用机组	3
1.3 相关政策机制和综合节能措施	4
1.3.1 相关政策机制	4
1.3.2 综合节能措施	4
第2章 基本知识	7
2.1 流体力学基本知识	7
2.1.1 流体的主要物理性质	7
2.1.2 流体静压强及其特性	8
2.1.3 流体动力学基础	9
2.2 传热学基本知识	11
2.2.1 传热的基本方式	11
2.2.2 传热过程及传热系数	13
2.2.3 增强传热的途径	14
第3章 运行节能常用装置	15
3.1 热量表	15
3.1.1 热水流量计	15
3.1.2 温度传感器	16
3.1.3 积算仪	17
3.2 热量分配表	18
3.2.1 热量分配表	18
3.2.2 蒸发式热量分配表	18
3.2.3 电子式热量分配表	18

3.3	散热器温控阀	18
3.3.1	构造和工作原理	18
3.3.2	散热器恒温阀的节能原理	20
3.4	动态平衡阀	21
3.4.1	自力式流量控制阀	21
3.4.2	自力式温度控制阀	22
3.4.3	自力式压差控制阀	22
3.5	气候补偿器	24
3.5.1	气候补偿器简介	24
3.5.2	气候补偿器工作原理	25
3.5.3	气候补偿器的功能	25
第4章	热源运行节能	26
4.1	建筑设备运行能耗	26
4.1.1	建筑设备运行能耗的组成	26
4.1.2	主要节能途径	27
4.1.3	供暖系统常见问题分析及技术处理	27
4.2	锅炉房设备运行节能	30
4.2.1	锅炉的运行特性	30
4.2.2	锅炉供暖的运行节能	33
4.2.3	风机和泵组的运行特性	35
4.2.4	风机水泵运行节能	38
第5章	换热及热网运行节能	42
5.1	系统特性分析	42
5.1.1	管网的阻力特性	42
5.1.2	系统的水力工况	42
5.1.3	系统的热力工况	43
5.2	供热系统调节及计算依据	43
5.2.1	供暖系统初调节	43
5.2.2	供暖系统的运行调节	46
5.2.3	初调节计算依据	48
5.2.4	运行调节参数的计算	48
5.2.5	供热面积指标的确定	49
5.2.6	累计热量计算	49
5.3	分户计量供热系统调节方法的分析	49
5.3.1	分户计量下的供热系统	49
5.3.2	分户计量供热系统的热源形式	50
5.3.3	分户计量供热系统调节方法	51
5.4	分户计量供热系统的节能技术	54
5.4.1	分户计量供热系统的节能	54

5.4.2	技术分析和方法	54
5.4.3	分户计量项目实施小结	58
5.5	分户计量供热系统可调控技术的分析	59
5.5.1	分户计量供热系统的调控特点	59
5.5.2	技术分析	59
第6章	用户末端运行节能	63
6.1	分户计量供热	63
6.1.1	常用的热计量的方式	63
6.1.2	适合热计量的室内供暖系统	65
6.1.3	有关分户计量的几个问题	69
6.1.4	散热器的选用	69
6.2	热计量收费	70
6.2.1	热价和收费机制的改革	70
6.2.2	制定收费方法的探讨	72
第7章	空调系统节能运行	75
7.1	空调系统节能运行常采用方法	75
7.2	空调水系统的变流量节能	77
7.3	变风量系统的节能	79
第8章	供热运行节能监测系统	84
8.1	微机技术在热工测量中的应用	84
8.1.1	微计算机化量测系统与智能仪表	84
8.1.2	微机技术在热工测量中的应用	84
8.2	计算机监测系统	85
8.2.1	监测系统的组成	85
8.2.2	监测系统的软、硬件设计	86
8.2.3	监测系统的工作原理	88
8.2.4	监测系统的功能	88
8.2.5	监测仪简介	89
8.3	监测系统的故障分析	90
第9章	设备运行节能实例分析	91
9.1	供热系统运行节能技术改造实例一	91
9.1.1	东区供暖系统节能技术方案	91
9.1.2	高层住宅楼供暖系统节能技术方案	98
9.1.3	西区供暖系统节能技术方案	100
9.2	供热系统运行节能技术改造实例二	108
9.2.1	工程概况	108
9.2.2	技术方案的确定	108
9.2.3	主要关键技术及预期达到的技术经济指标	110
9.2.4	监测系统的安装与调试	111

12	9.2.5 参数的测量方法	113
82	9.2.6 测试结果分析	114
62	9.2.7 供热系统的量化管理与按需供热	117
0	9.3 供热系统运行节能改造技术实例三	118
62	9.3.1 小区基本情况	118
60	9.3.2 热源部分	118
60	9.3.3 管网部分	127
60	9.3.4 室内部分	130
60	9.3.5 建筑能耗指标分析	136
60	9.3.6 采暖季当年建筑能耗损失估算	137
60	9.3.7 小区采暖能耗损失环节汇总	137
07	9.3.8 节能改造建议	138
	附录	145
83	附录 A 名词术语	145
6	附录 B 公共建筑节能设计标准 (GB 50189—2005) (节选)	148
2	附录 C 民用建筑节能设计标准 (JGJ 26—1995) (节选)	156
	参考文献	161
07	.....	8.7
18	.....	8.8
48	.....	8.8
18	.....	8.8
48	.....	8.8
68	.....	8.8
68	.....	8.8
68	.....	8.8
88	.....	8.8
88	.....	8.8
08	.....	8.8
00	.....	8.8
10	.....	8.8
10	.....	8.8
10	.....	8.8
80	.....	8.8
001	.....	8.8
801	.....	8.8
801	.....	8.8
801	.....	8.8
011	.....	8.8
111	.....	8.8

第1章 绪论

1.1 建筑设备运行节能概述

1.1.1 我国能源消耗的特点

我国是一个人口多,自然资源少,能源缺乏的国家。我国石油储量仅是世界总储量的1.8%~2.34%,天然气的储量是世界总储量的0.7%~1.2%,煤的储量是世界总储量的10.97%。以平均水平计,我国的水资源是世界平均水平的1/4,人均2200m³;我国石油可开采的储量仅为世界平均水平的1/9;天然气是1/23;煤炭稍高一些,约为1/2。中国的GDP占世界GDP的比重大约为4%,却消耗了相当于全球总产量30%的主要能源和原材料,由此也带来煤、电、油、运的全面紧张和资源约束的加剧。中国传统的高投入、高消耗、重污染、低产出的发展模式,已经走到了尽头。目前我国终端能源用户用在能源消费的支出占国内生产总值的13%,而美国仅为7%。我国一次能源消耗仅次于美国,居世界第二位。若以单位GDP产出能耗来计算能源利用的效率,日本为1,意大利为1.33,法德为1.5,英国为2.17,美国为2.67,加拿大为3.5,而中国高达11.5。我国单位产值能耗比世界平均水平高2.4倍,比美国、欧盟、日本、印度分别高2.5倍、4.9倍、8.7倍和0.43倍。能源效率比国际先进水平低10个百分点。如火电机组平均效率33.8%,比国际先进水平低6~7个百分点。能源利用中间环节(加工、转换和贮运)损失量大,浪费严重,我国能源的短缺,已成为经济发展一个重要的制约因素。

1.1.2 我国建筑能耗状况和设备节能潜力

改革开放以来,由于人民生活水平的提高,我国建筑事业迅猛发展。2003年底,我国城乡房屋建筑面积共计为388亿m²,城市既有建筑141亿m²,其中住宅89亿m²,公共建筑和工业建筑52亿m²。预计到2010年底,全国房屋建筑面积为519亿m²,其中城市171亿m²;估计到2020年底,全国房屋建筑面积为686亿m²,其中城市261亿m²。我国每年新建建筑16~19亿m²,超过各发达国家年建成建筑面积的总和,其中城市住宅4~6亿m²,公共建筑3~4亿m²,市场12亿m²。住宅产业每年达到4000亿元左右的规模,直接拉动GDP上升2%,2003年超过1万亿元。今后5~10年仍将保持这一势头。但与此相关的就是建筑能耗总量的逐年上升,据统计,在我国能源总消费量中建筑能耗所占的比例已从1978年的10%上升到2001年的27.45%,目前已高达38%。到2020年我国建筑能耗将达到10.89亿t标准煤,超过2000年的3倍,城镇建筑消耗的能源为全国商品能源的23%~26%。目前发达国家的建筑能耗一般在总能耗的1/3左右。不仅已有的388亿m²建筑中95%左右仍属于高能耗建筑,新建建筑中,仍有95%为高耗能建筑,真正节能建筑仅有2%。我国单位建筑面积采暖能耗为发达国家新建建筑的3倍以上。

我国建筑能耗浪费严重也体现在主要耗能设备能源效率较低,燃煤工业锅炉平均运行效率65%左右,比国际先进水平低15~20个百分点;中小电动机平均效率87%,风机、水泵平均设计效率75%,均比国际先进水平低5个百分点,系统运行效率低近20个百分点。与

发达国家相比,即使在达到了节能 50% 的目标以后仍有约 50% 的节能潜力。

我国北方地区采暖供热的能耗占建筑能耗的 60%, 在实施建筑节能标准之前建造的建筑冬季采暖平均热指标在 $30 \sim 50 \text{ W/m}^2$, 为北欧相同气候条件下建筑采暖能耗的 2~3 倍。由于设计不合理, 大部分无法实施分户的热计量和分户控制所需的室温; 另外由于管理不科学, 运行前调试不到位, 供热系统严重水平失调, 室内采暖系统严重垂直失调, 外管热损失巨大, 楼房上层房间过热, 上下温差达 8°C 以上等, 导致部分建筑过热、开窗散热造成的热量浪费平均为供热量的 30% 以上。部分小型燃煤锅炉效率低下也是造成能耗过高的原因之一。通过改进建筑设计、加强围护结构保温和有效利用太阳能, 可使此部分能耗降低至 50% 甚至 40%。通过建筑保温、管网系统调节、提高热源效率这三方面的改进, 我国北方地区采暖能耗至少可降低 60%~70%。

除采暖外, 住宅能耗中的用电量为 $10 \sim 30 \text{ 度/m}^2 \cdot \text{年}$, 随生活水平的提高目前呈上升趋势; 生活热水能耗在大城市中也逐渐加大。据统计, 生活热水的耗能量, 约占整个民用建筑能耗的 20%~30%。其中商业建筑生活热水的能耗量占其总能耗量的 10%~40%, 具体来说, 写字楼热水能耗占总能耗的 2.7%, 商场占 10.7%, 饭店占 31%, 医院占 41.8%。估计目前我国城镇人口达 5 亿, 以每人每日用 $25 \sim 35 \text{ L}$ 热水, 那么全年生活热水的总能耗是 1750~2450 亿度电。及时开发和推广高效的家用生活热水装置, 可避免由于生活热水需要量的不断增长所导致的住宅能耗新的增加。

1.2 建筑设备运行节能相关技术简介

1.2.1 各种热泵技术

热泵技术是一种热能回收技术。使用热泵技术, 利用空气、水或土壤中所蕴藏的趋于无限的能量, 一年四季都可以取出其中的热量来制造热水; 或者将热量排放到空气、水、土壤中。利用热泵原理制造的空调冷热水机组或者热泵热水机组都是一种制冷供热效率都大于 1 的设备。无论是水源热泵或者空气源热泵, 都是可以吸取低温水源或空气源的热量, 再将这些热量连同本身所消耗的一部分电能所转化的热量, 转送到常温环境条件下去应用。

利用热泵技术, 可以充分利用空调的余热, 制造出空调和生活热水同时产生的“两用机组”, 或者称之为“热回收机组”。在夏季利用空调用的冷水机组的冷凝热回收, 可以很方便地得到生活热水; 而在冬季, 对于仍需要部分空调降温的场合, 也比较容易利用空调余热来制取生活热水。例如, 酒店的大型中央空调系统, 利用部分空调冷回水为热源, 加装一台水源热泵热水机组, 达到了为酒店全年供应生活热水的目的。冬季水源热泵的蒸发厕所产生的冷水 (7°C), 仍可以供应部分需要空调降温的房间。

另外一种是利用水路切换的水源(地源)热泵冷热三联供系统, 利用地下水为热源的部分热回收的制冷、供暖、热水供应的三联供系统, 水源热泵机组内的氟利昂介质在循环过程中的流向不改变(无论冬夏, 不用四通阀切换, 也没有除霜措施), 仅用机外空调冷热水管路上的阀门切换, 来达到夏季供冷、冬季暖热, 其生活热水仅用过热氟利昂气体加热。

1.2.2 降低输配系统能源消耗的技术

在大型公共建筑采暖空调能耗中, 60%~70% 的能耗被输送和分配冷量热量的风机水泵所消耗, 这是导致此类建筑能源消耗过高的主要原因之一。对大规模集中供热系统, 负责输配热量的各级水泵的能源消耗也在供热系统运行成本中占很大比例。分析表明这部分能量消

耗可以降低50%~70%，因此降低输配系统能源消耗应是建筑节能，尤其是大型公共建筑节能中潜力最大的部分。

目前变频器的质量已很可靠，且成本足够低。采用变频风机、变频水泵对流量进行调节已很普及。但大多数采暖空调的输配系统的结构设计还是基本上沿用传统的基于阀门调节的输配系统，没能真正发挥变频调速的作用。水泵的能耗一半消耗在各种阀门上，风机的能耗25%~40%消耗在各种阀门上。彻底改变输配系统结构，去掉调节阀，用分布的风机水泵充当调节装置，即不是用阀门消耗多余能量，而是用风机水泵补充不足能量，这可以使输配系统能耗比目前降低50%~70%。

1.2.3 湿度温度独立控制的空调系统

目前空调都使用5~7℃冷水或更低的低温水作为冷媒，对空气进行处理，这是因为空气除湿的需要。而如果仅为了降温，采用18~20℃的冷源都可满足要求。然而一般除湿负荷仅占空调负荷的30%~50%。结果大量的显热负荷也用这样的低温冷媒处理，就导致冷源效率低下。近年来此领域的一个重要方向就是采用温度湿度独立控制的空调方式。将室外新风除湿后送入室内，可用于消除室内产湿，并满足新鲜空气要求；而用独立的水系统使18~20℃温度的冷水循环，通过辐射或对流型末端来消除室内显热。这一方面可避免采用冷凝式除湿时为了调节相对湿度进行加热而导致的冷热抵消，还可用高温冷源吸收显热，使冷源效率大幅度提高。同时这种方式还可有效改善室内空气质量，因此被普遍认为是未来的主流空调方式。目前世界各国都积极开展大量的相关研究和工程尝试。

1.2.4 建筑式热电冷三联供系统

当天然气为城市中主要的一次能源时，与简单的直接燃烧方式相比，采用动力装置先由燃气发电，再由发电后的余热向建筑供热或作为空调制冷的动力，可获得更高的燃料利用率。这就是所谓热电冷三联供（BCHP）。这种方式通过让大型建筑自行发电，解决了大部分用电负荷，提高了用电的可靠性，同时还降低了输电网的输配电负荷，并减少了长途输电的输电损失（在我国此损失约为输电量的8%~10%）。

1.2.5 太阳能蒸发面板为辅助热源的空气源三用机组

在空气为热源的热泵中，可开发利用非矿物燃料为辅助热源的家用户用/商用制冷—采暖—热水供应“三用”机组。利用一般太阳能真空玻璃管集热器作为辅助热源是一个途径，但是，太阳能真空玻璃管集热板的集热效率受天气、日照、昼夜的影响，而且1m²的真空玻璃管太阳能集热器，每日平均仅能产生65~70L的热水，而且到了冬季产热量会更小。另一种可用引进的技术——中间安装有制冷剂蒸发管的太阳能蒸发面板。这种面板不同于一般真空玻璃管集热器，不只依赖太阳光的照射来吸收热量，而且可以吸取空气或自然环境中的各种热量，不受晴天、下雨的影响，也不受昼夜的影响，只要外界气温不低于-20℃，即可蒸发吸热（在有太阳辐射时，每平方米面板日产热量425L，没有太阳辐射时，约300L，显然比一般太阳能集热板的效率高）。该集热面板可以与建筑配合，放置于屋顶、墙面、阳台、甚至地下车库里。

住宅或商业服务建筑中，能用上一套三用中央空调系统，充分利用空调余热和大自然中热量——太阳能、空气，简化流程，降低造价，达到供冷、采暖和全年热水供应的效果，可以提高生活质量，大大减少建筑耗能。

1.3 相关政策机制和综合节能措施

1.3.1 相关政策机制

通过政策机制、实施有效管理,是推进我国建筑节能的重要手段。建筑节能政策机制应建筑节能的要求而出现,随着人们对建筑节能认识的加深和社会经济的发展而不断发展、创新和完善。建筑节能政策机制主要有三类:

(1) 通过制定、颁布、实施建筑节能标准规范、法律法规,下达指令性行政命令等,属于计划经济体制下的典型管理手段。为了加强建筑设备节能工作,首先要加强对节能重要性的认识,加强政策导向和强制性条文的贯彻与监管,建设部目前已颁布的建筑节能标准有:《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)、《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)、《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)、《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—1993)、《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—1995)、《采暖居住建筑节能检验标准》(JGJ 132—2001)、《建筑节能“九五”计划和2010年规划》、《建筑节能技术政策》等标准。建设部为了强化建筑节能标准的贯彻实施力度,将一些重要的节能标准条文提升为强制性条文并发布违章的处罚命令。

(2) 随着经济发展和市场完善,超越标准规范的最低要求、将建筑节能性能与产品市场价格挂钩的手段。例如正在逐渐推广的评估、审查、标识、定额管理等市场经济体制下的建筑节能管理手段;建立建筑能耗标识方法和能形成自我约束机制的能耗标识体系等措施。要使建筑节能不成为开发商概念炒作的市场行为,从而丧失了消费者的信任与兴趣,就必须有一套科学可行的管理体制,客观地评估出建筑实际的能耗状况,从而将建筑节能与市场价格有机地结合在一起。

(3) 由于建筑节能管理已经由管理者的特有任务转化为与社会各群体利益、责任相关的事务,建筑节能管理涉及主体呈多元化特点,因此将建筑节能有关的各种显性和隐性信息加以收集整理,并在一定范围内以适当形式公开,用以建立各种刺激、奖惩机制,即建筑能耗统计与信息公开制度。

1.3.2 综合节能措施

建筑节能是一个综合性过程,从建筑综合性能的角度来看。有一些传统观念需要改变。过去习惯认为,只要围护结构采取了节能措施或选用了节能材料,就是节能建筑,评判节能建筑的唯一标准就是围护结构。这种思想体现在我们的节能宣传、甚至某些节能标准之中。如本章前文所述,建筑物本体(尤其是围护结构)是建筑节能的基础,但最终是由建筑设备系统去消耗电力、消耗燃料的。举例来说,如果建筑围护结构保温性能很好而采暖系统调节性能很差,会造成室内过热,居住者甚至不得不在严寒的冬天开窗降温。这时,可能围护结构保温越好,采暖能源浪费越大。

因此,建筑节能必须树立整体观念。把居住者、建筑物和设备系统统一起来进行研究,兼顾三者之间的相互关联和相互影响,如图1-1所示。

1.3.2.1 建筑物本身的节能

对于建筑节能的要求,从20世纪80年代起,我国建设部就着手开始抓“建筑节能”的问题。目前已有许多地方着手营造“节能建筑”,大大改善了建筑物外围护结构的保温绝热

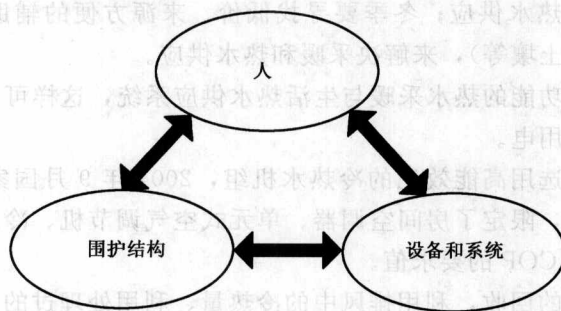


图 1-1 建筑综合节能

性能；尽量减少建筑物外墙和窗户的面积；利用大自然的能源和热泵热回收技术。不仅如此，从广义的节能观点出发，还尽量利用可再生的建筑材料，大大减少了建筑物的能耗。具体来说，采用下列措施：

(1) 智能化的外遮阳技术。采用外遮阳，可以大大减少夏季空调的制冷能耗（与内遮阳相比，约下降 83%。具体来说，采用可调式隔热金属卷帘）。

(2) 尽量缩小外墙和外窗的面积。外墙面积比同体量的建筑减少 30%，外窗减少 40%，仍能保持良好的采光要求。

(3) 高效外墙保温体系。外墙保温比内墙保温更有利于建筑结构的稳定性，避免室外环境温度对建筑结构的形变影响，保护建筑结构主体。外墙采用铝箔复合聚苯板，传热系数不大于 $0.4 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ ，严寒和寒冷地区以硬泡聚氨酯板保温。还可以采用 ECI 陶瓷隔热保温涂料。

(4) 高效隔热保温防水屋面技术与构造设计。用硬泡聚氨酯、挤塑聚苯板、膨胀聚苯板为主要保温材料，在严寒和寒冷地区做成不同厚度的保温复合屋面，其热阻可达 $1.58 \sim 3 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ；在炎热地区可采用中空板做成中空屋面。

(5) 高效门窗技术与构造设计。窗框采用保温性能好的塑钢或断热铝合金，窗玻璃采用高透光率 Low-E 中空玻璃，玻璃 K 值在 $1.35 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ 。

(6) 混凝土楼板辐射制冷/采暖系统。在楼板中或天棚中埋设塑料盘管，冬季通入 28°C 热水对房间进行辐射采暖；夏季通入 19°C 冷水对房间进行辐射供冷。冷热辐射温度接近或等于室内舒适温度的上下限。部分热水还可以利用太阳能集热板来解决。

(7) 外围结构采用物态相变蓄热材料，能量活性建筑基础以及尽量避免冷桥结露的构造技术。节能建筑中除采用上述的措施外，仍须保证室内空间必要的新风供应，因此，有的节能建筑中加设了健康新风系统。

1.3.2.2 建筑设备系统的节能

建筑物除建筑、结构外，其他附属建筑设备专业很多，包括空调、采暖、给排水、消防、热水供应、通信网络、电力供应、灯光照明、燃气供应、电梯等，在节能方面都可以有所作为。这里，仅就空调、采暖、热水供应的范围提出节能的途径：

(1) 空调采暖热水供应的节能，离不开建筑物本身的节能措施，如果建筑物外围护结构的冷热损失能降低一半，那么，空调采暖系统就可以大大缩小，消耗的能量大大减少。

(2) 设计建筑物应该对空调采暖热水供应的能量利用作统筹考虑，即夏季可以利用空调

主机的冷凝热，来解决热水供应；冬季要寻找低价、来源方便的辅助热源（例如利用太阳能、雨水、建筑中水、土壤等），来解决采暖和热水供应。

(3) 开发带有蓄热功能的热热水采暖与生活热水供应系统，这样可以充分利用夜间低价的谷电，减少白天高峰的用电。

(4) 开发、研制和选用高能效比的冷热水机组，2004年9月国家正式出台有关“空调机组能效”的国家标准，限定了房间空调器、单元式空气调节机、冷水机组的能源效率及能效等级，提高了对机组 COP 的要求值。

(5) 建筑内部热能的回收，利用排风中的冷热量、利用处理过的建筑中水。

(6) 大力开发夏季空调、冬季采暖、全年生活热水供应的家用三用空调热水机组，而其中特别重要的是如何解决以太阳能或其他非燃料性（例如雨水、地下水、建筑中水、热废气）热源为辅助热源，来解决提高冬季热泵的制热效果和热水供应。

(7) 与建筑配合，在楼板内埋设可通低温水的塑料管，制成冷顶、热板等具有供冷、采暖效果的辐射板，冬季采暖、夏季供冷，减轻建筑物的空调、采暖系统负荷，甚至可以不再需要空调采暖系统。

(8) 在空调产品与热泵热水机组的开发和制造中，应充分重视新型的除霜技术、变频技术、防腐技术、智能化控制技术的应用。不仅单机的 COP 值要高，主机的气候适应范围大，而且整个系统的能效比要高。

1.3.2.3 建筑节能中的行为节能

节能措施中还有一个重要的任务就是“行为节能”，也就是所谓“人的因素第一”的问题。要提倡全社会全民节能节水的意识，提出“要想进一步提高生活质量，必须从节能、节水做起”，在夏季，空调房间的温度提高一摄氏度；冬季采暖房间温度降低一摄氏度，就会收到很大的效果。对于有户用中央空调的住宅，用哪个房间，开哪个房间的空调；冬季少开窗等，都会收到很好的节能效果。

第2章 基本知识

2.1 流体力学基本知识

2.1.1 流体的主要物理性质

2.1.1.1 液体的密度

均质液体的密度 ρ 由式 (2-1) 表示为

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

M ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

2.1.1.2 黏滞性

1. 黏滞性的概念和内摩擦力的产生

黏滞性是由分子间的相互吸引力和分子不规则运动的动量交换产生的。液体温度增高时黏滞性减小, 这是因为液体分子间的相互吸引力随温度增高而减小, 而分子动量交换对液体黏滞性的作用影响不大。气体黏滞性的决定性因素是分子不规则运动的动量交换产生的阻力, 温度增高, 动量交换加剧, 因此气体黏滞性随温度增高而增大。

2. 牛顿内摩擦定律

内摩擦力的数学表达形式可写作

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-2)$$

这就是牛顿内摩擦定律。若以 $\tau = \frac{T}{A}$ 表示单位面积上的内摩擦力, 称切应力。则

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中 $\frac{du}{dy}$ ——速度梯度, 速度梯度表示速度沿垂直于速度方向 y 的变化率;

τ ——切应力, N/m^2 ;

μ ——动力黏滞系数 (或动力黏度), $(\text{N} \cdot \text{s})/\text{m}^2$, 以符号 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 表示。

不同液体有不同的 μ 值, 同一种液体的 μ 值愈大, 黏滞性愈强。 μ 的物理意义可以这样来理解: 当取 $\frac{du}{dy} = 1$ 时, 则 $\tau = \mu$, 即 μ 表征单位速度作用下的切应力, 所以它反映了黏滞性的动力性质。

在理论分析和工程计算中, 经常出现 μ/ρ 的比值, 用 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-4)$$

式中 ν ——运动黏滞系数, m^2/s 或 cm^2/s 。

2.1.1.3 压缩性和热胀性

液体的压缩性可用体积压缩系数（压缩模量） K 来量度，它是在一定温度下单位压强增量引起的体积变化率。设压缩前的体积为 V ，压强增加 Δp 后，体积减小 ΔV ，密度增加 $\Delta \rho$ ，则

$$K = -\frac{\Delta V/V}{\Delta p} = -\frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta p} \quad \text{或} \quad K = -\frac{dV/V}{dp} = -\frac{d\rho/\rho}{dp} \quad (2-5)$$

式中的负号表示压强增大体积缩小。上式说明， K 值越大越容易压缩， K 的单位为 m^2/N 。

工程上还常用液体的体积弹性系数（弹性模量） E 来衡量液体的压缩性，它是体积压缩系数 K 的倒数，即

$$E = \frac{1}{K} = -\frac{dp}{dV/V} \quad (2-6)$$

E 的单位为 N/m^2 。上式说明，液体的压缩性实际上也因此称为弹性。液体种类不同，其 K 或 E 值也不相同。同一种液体， K 或 E 随温度和压强而变化，但变化不大。

液体的热胀性，一般用热胀系数 α 来表示，与压缩系数相反，当温度增加 dT 时，液体的密度减小率为 $-d\rho/\rho$ ，体积增加率为 dV/V ，则热胀系数 α 为

$$\alpha = \frac{d\rho/\rho}{dT} = \frac{dV/V}{dT} \quad (2-7)$$

2.1.2 流体静压强及其特性

2.1.2.1 流体静压强的定义

流体静压强是压力的一种量度，表示为作用在某一面积上的平均压强或某一点的压强。流体静压强的因次为力/面积，在国际单位制中常用单位为帕，以 Pa 表示， $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ ；更大的单位用巴，以 bar 表示， $1\text{bar}=10^5\text{Pa}$ 。

2.1.2.2 流体静压强的特性

(1) 流体静压强的方向必然是沿着作用面的内法线方向。

(2) 在静止或相对静止的流体中，任一点的流体静压强的大小与作用面的方向无关，只与该点的位置有关。

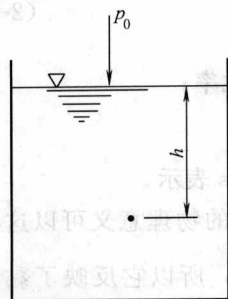


图 2-1 开敞水箱

2.1.2.3 液体静压强的基本方程式

如图 2-1 所示，设液面压强为 p_0 ，液体堆密度为 γ ，该点在液面下深度为 h ，得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (2-8)$$

式中 p ——液体内某点的压强， $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ ；

p_0 ——液面气体压强， $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ ；

γ ——液体的堆密度， N/m^3 ；

h ——某点在液面下的深度， m 。

2.1.2.4 测压管

测压管是一根玻璃直管或 U 形管，一端连接在需要测定的器壁孔口上，另一端开口，直接和大气相通，如图 2-2 所示。由于相对压强的作用，水在管中上升或下降，与大气相接

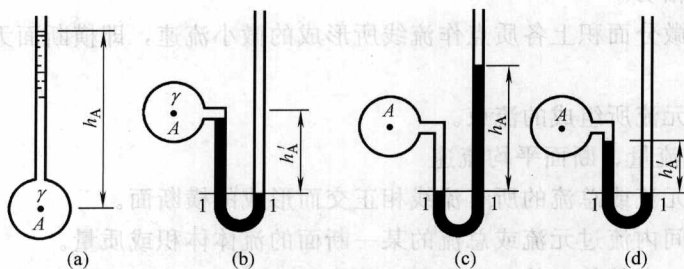


图 2-2 测压管

触的液面相对压强为零。这就可以根据管中水面到所测点的高度直接读出水柱高度。

2.1.2.5 压差计

压差计是测定两点间压强差的仪器，常用 U 形管制成。根据压差的大小 U 形管中采用空气或各种不同堆密度的液体，仍然应用等压面规律进行压差计算。图 2-3 (a) 为测定 A、B 两处液体压强差的空气压差计，由于气柱高度不大，可以认为两液面为等压面，得：

$$p_A - \gamma(y + h_m - a) = p_B - \gamma y$$

$$\text{故 } p_A - p_B = \gamma(y - a) \quad (2-9)$$

当需要测定的压差较大时，采用图 2-4

(b) 所示的水银压差计。根据 1、2 点为等压面得

$$p_A + \gamma_A(Z_1 + h_m) = p_B + \gamma_B Z_2 + \gamma' h_m$$

$$\text{故 } p_A - p_B = (\gamma' - \gamma)h_m + \gamma_B Z_2 - \gamma_A Z_1$$

如 A、B 两处为同种液体，即 $\gamma_A = \gamma_B = \gamma$ ，则

$$p_A - p_B = (\gamma' - \gamma)h_m + \gamma(Z_2 - Z_1) \quad (2-10)$$

如 A、B 两处为同种液体，且在同一高程，即 $Z_2 = Z_1$ ，则

$$p_A - p_B = (\gamma' - \gamma)h_m$$

在这种情况下，压强差就等于容重差乘以水银柱差。

如果，A、B 两处为同一气体，则

$$p_A - p_B = \gamma' h_m \quad (2-11)$$

在这种情况下，压强差就等于水银柱差所产生的压强。

2.1.3 流体动力学基础

2.1.3.1 基本概念

1. 恒定流和非恒定流

流体中任一位置的压强、流速等运动要素不随时间变化的流动称为恒定流动，否则为非恒定流。

2. 流线、元流和总流

流线：某一时刻流体在流场中所形成的一系列的空间曲线，该曲线上的每个质点的流速