

建筑环境与设备工程系列教材

# 冷热源工程

LENGREYUAN GONGCHENG

重庆大学出版社

主编 龙恩深



建筑环境与设备工程系列教材

# 冷热源工程

主 编 龙恩深  
编 著 龙恩深 黄 忠 吴祥生 孙纯武  
杨小凤 何天祺 丁 勇



A1024550

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书系统介绍了冷热源设备的基本知识、基本原理及冷热源相关系统的特点及其设计方法。全书共分为4篇。第1篇介绍冷源及冷源设备;第2篇介绍热源及热源设备;第3篇介绍冷热源一体化设备;第四篇为冷热源系统及其设计。

本书为建筑环境与设备工程专业的技术平台课教材,也可作为有关大专院校师生及工程设计人员的学习参考书,同时,还可作为相关设备安装、管理调试、维修人员的培训和自学教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

冷热源工程/龙恩深主编. —重庆:重庆大学出版社,2002.10

建筑环境与设备工程系列教材

ISBN 7-5624-2583-3

I. 冷... II. 龙... III. ①制冷工程—教材②热力工程—教材 IV. ①TB6②TK1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056754 号

## 冷 热 源 工 程

龙恩深 主 编

责任编辑:袁江 季加 赵娜 版式设计:袁江

责任校对:任卓惠 责任印制:张永洋

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:25.5 字数:636千:插页:8 开1页

2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-2583-3/TU·105 定价:33.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究



# 前 言

能源是国民经济的重要物质基础;在热力学上,“冷”与“热”属于同一概念,是能源的一种形式,只是相对于环境温度高低不同罢了。在实际工程中,需要根据具体情况供给一定的冷量或热量,以满足不同的需要。冷量或热量的生产要消耗大量的能源,而能源形式是多种多样的,能源的种类决定了冷热源设备及其系统的形式,同时也对生态环境和能源的可持续利用有重要影响。

冷热源设备是维持建筑环境舒适条件的能源供应中心,其能耗占建筑总能耗的70%以上。能源的大规模利用很大程度上会加快能源枯竭的进程,恶化城市生态环境,对人类的生存环境造成不可估量的影响。本书是在国家大力提倡节能与能源合理利用、推行清洁能源工程、鼓励开发利用可再生能源、严格控制大气环境污染的背景下编写的,考虑到调整后的建筑环境设备工程专业的实际情况,将原来的《空气调节用制冷技术》及《锅炉及锅炉房设备》两门专业课合并构筑新的专业技术平台课程《冷热源工程》,使冷、热源成为既相对独立又有机联系的新的体系。从内容上,既介绍了独立的常规冷源及热源设备,又介绍了冷热源一体化设备;从冷热源的初级能源形式上,既对常规的清洁能源天然气、燃油、电能有相当的介绍,又对太阳能、地热等可再生能源形式有所涉及;在冷热源系统方面,本书尝试将冷热源作为一个整体,加以阐述,如蓄冷系统、燃料供应系统、自动控制系统、机房设计等。这样对读者充分认识冷热源的本质,扩大知识面将有所裨益。

本书由重庆大学龙恩深副教授编写绪论,第5章~第7章,第8章第1、2节,第12、13章,第16章第1、4节;重庆后勤工程学院吴祥生教授编写第1、3章;重庆大学孙纯武副教授编写第9、10章;重庆大学何天祺教授编写第11章;重庆大学黄忠讲师编写第4章,第14章第1节,第15章第1节,第16章第2、3、5节;重庆后勤工程学院杨小凤副教授编写第8章第3~5节,第14章第2、3节,第15章第2节;重庆大学丁勇讲师编写第2章。

由于本书内容涉及面较广,且第1次将冷源与热源合并,编者虽主观上力图使本书对广大读者的工程实践更具参考价值,但因水平所限,加之时间仓促,书中一定存在许多错漏之处,恳请读者批评指正。

编者  
2002年5月

# 目 录

绪论 .....	1
能源与冷热源工程 .....	1
冷热源与生态环境 .....	3
能源的品位与利用 .....	7

## 第 1 篇 冷源及冷源设备

第 1 章 制冷的基本知识 .....	11
1.1 概述 .....	11
1.2 理想制冷循环—逆卡诺循环 .....	15
1.3 蒸气压缩式制冷的理论循环 .....	18
1.4 蒸气压缩式制冷的实际循环 .....	23
1.5 焓分析在制冷循环中的应用 .....	28
第 2 章 制冷剂及载冷剂 .....	34
2.1 制冷剂的基本知识 .....	34
2.2 常用制冷剂 .....	39
2.3 CFCs 的使用与替代 .....	44
2.4 载冷剂 .....	48
第 3 章 制冷压缩机 .....	52
3.1 活塞式制冷压缩机 .....	53
3.2 螺杆式制冷压缩机 .....	61
3.3 离心式制冷压缩机 .....	68
3.4 其他型式的制冷压缩机 .....	72
第 4 章 制冷系统设备与机组 .....	79
4.1 换热器 .....	79
4.2 节流机构 .....	91
4.3 辅助设备 .....	101
4.4 制冷机组 .....	109

## 第 2 篇 热源及热源设备

第 5 章 锅炉的基本知识 .....	125
5.1 概述 .....	125
5.2 锅炉的工作过程 .....	127

5.3	锅炉基本特性的表示 .....	128
<b>第6章</b>	<b>燃料与燃烧计算</b> .....	<b>133</b>
6.1	燃料的成分及分析基础 .....	133
6.2	燃料种类及特性 .....	136
6.3	燃料的发热量 .....	146
6.4	燃料的燃烧计算 .....	150
6.5	锅炉烟气分析及其结果的应用 .....	157
<b>第7章</b>	<b>供热锅炉</b> .....	<b>163</b>
7.1	锅炉的热平衡 .....	163
7.2	水管锅炉水循环及汽水分离 .....	168
7.3	锅炉的燃烧方式与设备 .....	172
7.4	锅炉的受热面的布置形式 .....	190
<b>第8章</b>	<b>其他热源设备</b> .....	<b>203</b>
8.1	电热式热源 .....	203
8.2	常压中央热水机组 .....	205
8.3	太阳能热源 .....	210
8.4	地热能源 .....	218
8.5	其他可再生能源 .....	222

### 第3篇 冷热源一体化设备

<b>第9章</b>	<b>热泵</b> .....	<b>224</b>
9.1	概述 .....	224
9.2	热泵的低位热源 .....	227
9.3	热泵的能源利用系数 .....	236
9.4	热泵在空调供热系统中的应用 .....	238
<b>第10章</b>	<b>吸收式制冷及设备</b> .....	<b>255</b>
10.1	吸收式制冷的工作原理 .....	255
10.2	直燃型溴化锂吸收式冷热水机组 .....	270

### 第4篇 冷热源系统设计

<b>第11章</b>	<b>蓄冷技术</b> .....	<b>274</b>
11.1	蓄冷技术综述 .....	274
11.2	冰蓄冷技术 .....	277
11.3	水蓄冷(热)技术 .....	284
11.4	共晶盐蓄冷技术 .....	288
<b>第12章</b>	<b>冷热源燃料供应与通风系统设计</b> .....	<b>291</b>
12.1	燃气供应系统设计 .....	291
12.2	燃油供应系统设计 .....	297
12.3	通风系统设计 .....	306

<b>第 13 章 冷热源水处理系统</b> .....	310
13.1 水中的杂质和水质指标 .....	310
13.2 离子交换原理 .....	314
13.3 离子交换设备 .....	317
13.4 其他水处理方法简述 .....	322
13.5 水的除气 .....	324
13.6 锅炉的排污系统及排污量计算 .....	327
<b>第 14 章 冷热源装置的自动控制</b> .....	330
14.1 制冷系统的自动控制 .....	330
14.2 供热锅炉的微机控制 .....	334
14.3 直燃型机组燃烧的自动调节与保护 .....	344
<b>第 15 章 冷热源设备的运行管理和维护</b> .....	349
15.1 制冷设备的运行维护 .....	349
15.2 供热锅炉的运行管理和维护 .....	353
<b>第 16 章 冷热源机房设计</b> .....	362
16.1 冷热源机组的选择 .....	362
16.2 蒸气压缩式制冷系统的典型流程 .....	372
16.3 冷源水系统 .....	379
16.4 热源机房的热力系统及设备 .....	386
16.5 冷热源机房的设计 .....	390
<b>附录</b>	
附录 1 氨压焓图 .....	396
附录 2 氟里昂 134a 压焓图 .....	397
附录 3 正丁烷焓焓图 .....	398
附录 4 氟里昂 22 压焓图	
<b>参考文献</b> .....	399

# 绪 论

## 能源与冷热源工程

能源是发展工业、农业、国防、科学技术和提高人民生活水平的重要的物质基础。也就是说,现代文明是建立在对物质和能源大量消耗的基础上。

### 1) 能源的形式

按能源的形态可分为太阳能、电能、化学能、热能、核能、水力能、海洋能、生物能等。我们通常把以原始状态存在于自然界中的能源叫做一次能源(或初级能源),如煤炭、石油、天然气、水力等;把一次能源经过各种方式加工转换后得到的能源叫二次能源,如电能、蒸汽、热水等。

太阳能是地球上能源的主要来源。它是无穷无尽的、无公害的干净能源,也是 21 世纪以后人类可期待的最有希望的能源。太阳向四周放出巨大的能量,虽然到达地面的能量只不过是其总能量的二十二亿分之一,但是在 1 年内可达  $5.61 \times 10^{21} \text{ kJ}$  ( $1.34 \times 10^{21} \text{ kcal}$ ) 的热量,是全球 1998 年消耗能量的 18 000 倍,其中约 34% 被云和地表面反射掉,66% 被地球所吸收;而这 66% 左右,最终又都全部从地面和大气中通过长波辐射,送回到宇宙中去。不过在此过程中,会引起地面上水的循环(水力发电),刮风(风能)和潮汐,并促使谷物生长,森林茂盛(生物能)……

电能是人们消费能源的一种最广泛的形式,电能的获得主要由火力发电、水力发电、核能发电等,在我国火电比例约占总电量的 70%。在现代社会中,需要广泛使用蒸汽和热水,以供人们生活和生产之用。

化学能是物质通过化学反应释放出的一种能量,它不是任何物质都具备的,在自然界中,煤炭、石油、天然气是开采成本较低的质优的能源。因此被人们广泛采用,目前占能源消费量的 85% 左右;热能广泛存在于空气、海洋、土壤中,它属于物质的内能,由于开采利用成本较高,还未得到广泛的利用;水力能主要是利用江河中水的落差具有的势能进行发电,目前水电占总电量的 10% 左右。

### 2) 能源的重要性

能源是现代社会生活和生产的物质基础。世界各国经济、技术发展的事实表明:机械化、自动化水平越高,电气化程度越高;经济和技术迅速发展,劳动生产率越高,产品就越多,能源的消耗量也就越多。在正常情况下,各国工业化初期,能源消耗量(包括电能消耗在内)与国民生产总值同步增长。

人的生活与能源消费息息相关,人们生活中衣、食、住、行、文化娱乐等,都需要消费大量的能源。具体来说,人的生活能源消费包括两部分:直接能耗和间接能耗。直接能耗是指烧饭、



点灯、采暖、自来水、各种家用电器等所需要消耗的能源。间接能耗是指盖房子、生产吃穿用的消费品、交通运输等所需要消费的能源。

随着社会生产的发展,人们的生活水平不断地提高,能耗也不断地增加。在最近二三十年里,世界各国生产用电大幅度增加。在一些工业发达国家,现代化水平较高的城市,民用电量比例很大。例如,日本生活用电量占其总能耗的 25%,德国生活用电量占其总能耗的 30%,瑞士生活用电量占其总能耗的 40%,美国生活用电量比例更高,占其总能耗的 45%,平均每个家庭每月用电 300kWh。同时,由于人们对舒适条件要求提高了,用于采暖和空气调节方面的能耗占总能耗的比例很大,欧洲约占 50%,美国和日本也占到 33% 左右,而且自 1945 年以来,采暖和空气调节用能量每年平均以 4% ~ 5% 的速度增长着,因此,采暖和空气调节的节能问题十分重要。

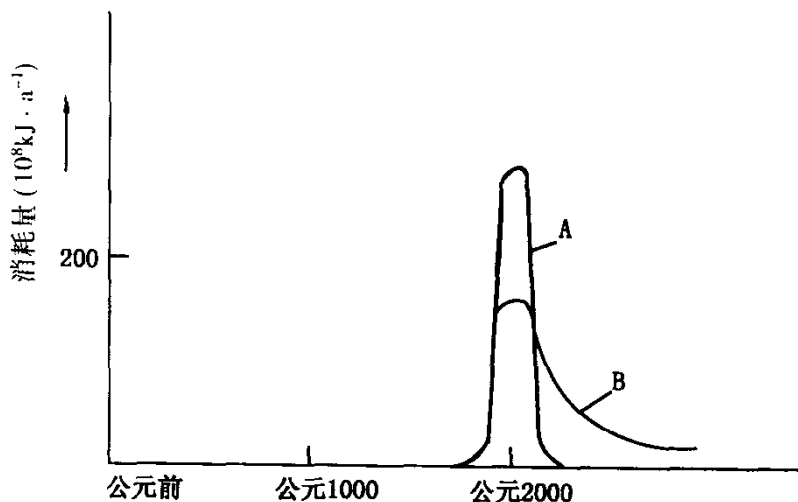


图 0.1 矿物燃料的消耗模式

### 3) 现有能源的有限性

第二次世界大战以来,能源的消费量直线上升。据估计,现在全世界每年所消耗的矿物燃料相当于地球史前 200 万年地球所储存的。如仍按现在的消费增长率持续下去,估计在今后 30 ~ 40 年内矿物燃料即将枯竭。

图 0.1 是矿物燃料的消耗模式图。按当前能源消耗增长率来增加消费量的话,则包括煤在内的矿物燃料(煤炭、石油、天然气)即将像 A 曲线所

示,到 21 世纪中叶就要耗尽。因此人类应把矿物燃料的消费量控制成 B 曲线那样。

世界人口的急剧增长,是人类将面临的最重要的问题之一。世界的总人口在 15 世纪时,据估算不过 3 亿人左右,其生活可以靠再生产的资源,即农、林、牧、渔业等来维持。自公元 1400—1900 年,人口的年增长率也只不过为 0 ~ 0.75%,人口的增长较缓慢。但进入 20 世纪后,主要由于卫生条件的改善,人口年增长率约达 2%。这意味着:30 多年人口就要翻一番。这就加剧了能源的消耗和枯竭。

### 4) 重视能源的可持续性

虽然地球及浩瀚的宇宙中蕴藏的能量是无穷无尽的,但是,在现有的技术水平和经济条件下,地球上可被人类利用的能源却是非常有限的。当代社会广泛使用的能源仍然是煤炭、石油、天然气和水力。世界上,一次能源消费结构中,煤炭占 27.5%,天然气占 22.9%。许多专家预言,石油和天然气的资源将在 30 年、最多 50 年内被耗尽。通过发现一些新油田,事态固然会缓和若干年,但这对问题的本质却毫无影响。煤炭资源虽然远比石油和天然气资源多,但是直接应用煤炭严重污染环境,亟需研究解决把它转化为气体或液体燃料的问题。

为了保证大规模的能源供应不至中断,保证人类能源供应的可持续性,人类必须采取两大战略,一是大力开发新能源,目前世界各国都在制订规划、采取措施、组织力量、增加投资,大力开发利用太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能以及核聚变能等新能源技术,力图在不太长的时间里,由目前的常规能源系统逐步地过渡到持久的、多样化的、可以再生的新能源系统上来。人类可大量利用太阳能和核聚变能;也可以利用生物能、风力能、水力能、潮汐能、地热能

等新能源;更可以利用地球表面的大气、土地、水中含有的低位热能和工业废热等。这些低位热能处处皆是,形式颇多,数量可观,利用的前景远大。但是,要利用这些能源还存在一些技术和经济上的困难,尚有大量的科学研究工作待做。只要应用现代科学技术,采取合理的能源政策,完全可以避免世界性的、全面的能源危机的出现。

二是大力提倡节约能源(节能)。世界能源消耗每年都在大幅度的增长。据估计,2001年全球能源消耗总量以达200亿t标煤以上,为了减缓能源枯竭的进程,我们必须提高能源利用率,节约能源。目前世界上仍然存在能源供应紧张,产品能耗偏高,能源利用率偏低、浪费严重的现象,在我国尤为突出。

### 5)冷热源设备

“冷”与“热”是能源的一种形式,在热力学上,冷量和热量均属于一个概念,它只是相对于环境温度高低不同罢了。在实际工程中,根据具体情况不同,需要供给一定的冷量或热量,以满足不同的需要。例如,在建筑物中,夏天需要供冷,以降低室内温度,冬天需要供热,以提高室内温度,从而满足人们的需要。

冷量供应或热量供应一般是通过中间载体实现的,我们把中间载体称为“冷媒”或“热媒”。常见的冷媒有制冷剂、水及盐水;常见的热媒有水或蒸汽。我们把生产冷量的设备称作冷源设备(或制冷设备),把生产热量的设备称作热源设备。冷(热)媒可以直接利用,也可通过其他热交换设备(或末端装置)进行能量转换。

冷、热源设备是能源消耗与转化设备,由于能源形式的多样性,使得冷、热源设备的形式也多种多样。本书主要介绍工程中常见的冷热源设备。如以消耗电能为主的蒸汽压缩式制冷设备、以消耗矿物燃料为主的热源设备——锅炉、充分利用低位热源的热泵、消耗矿物燃料的冷热源一体化设备——直燃机组,同时对其他冷热源设备也有一定的介绍。

## 冷热源与生态环境

冷热源设备是大量消耗能源的能量转化装置,主要消耗的能源是电能及矿物燃料。

全世界每年燃用的燃料总量约为70亿t,而目前我国的能源中煤占70%,天然气石油约占25%,即矿物燃料仍是我国主要的一次能源。电能也在很大程度上依赖矿物燃料的消耗,大量使用冷热源设备会导致众多与生态环境有关的问题。

### 1)臭氧层破坏

臭氧( $O_3$ )是大气中的微量物质,是一种具微腥臭味、浅蓝色的气体,主要密集在离地面25~30km的平流层内,科学家称这为臭氧层。臭氧层具有吸收紫外线的功能,阻挡了太阳99%的紫外线辐射,从而保护了地球上的生命。1985年,英国科学家首先发现南极上空臭氧层已出现空洞。后来,美国的“雨云-7号”气象卫星观测到这个“空洞”大如美国,高似珠穆朗玛峰,这个观测结果引起了全球的震动。此后,在北美、欧洲、新西兰等地的上空,科学家相继发现了臭氧层正在变薄。近年来,美国的“雨云-7号”气象卫星也观测到,北半球大气层中的臭氧正在减少。减少最多的区域是斯堪的纳维亚和北极之间的斯匹次卑尔根群岛一带。

臭氧层破坏所带来的后果是十分严重的,对人类及其生存环境将造成极为不利的生态灾难。医学界认为,大气中的臭氧每减少1%,照射到地球表面的紫外线就会增加2%,人类皮肤

癌的发病率就会增加7%，白内障患者就会增加6%。据专家估计，到2060年，美国的皮肤癌患者将可能达到4000万人。被称为“阳光州”的澳大利亚昆士兰州，因患皮肤癌而丧生的人数比例居世界之冠，且呈逐年上升趋势。

紫外线辐射增强对动植物的生存也是灾难性的。它将打乱生态系统中复杂的食物链和食物网，导致一些主要生物物种的灭绝：破坏植物的光合作用和授粉能力，对小麦、水稻、豆类作物的生长结果产生有害影响。它可能使地球上2/3的农作物减产，从而导致粮食危机。据试验，如臭氧减少25%，大豆将减产25%。另外，紫外线辐射增强，还会杀死水中鱼卵和单细胞藻类，对生活在清水中20m深处和浊水中5m深处的鱼、虾、蟹等都有伤害作用，还可能引起某些海洋生物的灭绝。

破坏臭氧层的主要原因还是人类自己。近百年来全球工业生产增加了50倍以上，其中80%的增长是1950年以后发生的。人类在使用冷冻剂、消毒剂和灭火剂等化学制品时，向大气排放出大量的氟氯烃气体。氟氯烃气体一经释放，就会慢慢上升到地球大气圈的臭氧层顶部。在那里，紫外线会把氟氯烃中的氯原子分解出来，氯原子再把臭氧中的一个氧原子夺去，使臭氧变成氧，从而使其丧失吸收紫外线的的能力。从氟氯烃类物质的消耗量来看，美国占28.6%，欧洲共同体占了30.6%，日本占7%，前苏联和东欧国家占14%，中国约占2%。

近年来，全世界的科学家都在呼吁：拯救臭氧层，禁止使用氟氯烃。1985年3月，美国、前苏联、日本、加拿大等20多个国家签署了《保护臭氧层国际公约》。1987年9月，24个国家在加拿大蒙特利尔签订该公约的《关于消费臭氧层物质的蒙特利尔协议书》，该协议书规定签字国在20世纪末把氟氯烃的使用量减少到1986年水平的一半。1989年3月5日，联合国环境规划署在伦敦召开了保护臭氧层的国际会议，有113个国家和地区出席了会议，再次向全世界发出了“拯救臭氧层”的倡议。发达国家已同意到20世纪末完全停止生产和使用氟氯烃类物质。尽管有些国家已采取了行动，如美国早在1978年就禁止使用氟氯烃作喷雾剂，比利时、葡萄牙已宣布禁止生产氟氯烃类化合物，但当今世界上，从灭火器、冰箱、冷冻机到计算机和汽车等都离不开氟氯烃，要全面禁止使用氟氯烃类物质是十分困难的，因此，开发研制新的代用品势在必行。科学家们指出，即使现在立即全面禁止使用氟氯烃，也需要多达100多年的时间才能弥补已遭破坏的臭氧层。改革开放以来，我国制冷空调产业得到了迅速发展，电冰箱、空调器的产量已居世界第一位；冷源设备已非常广泛地用于空调工程、食品冷藏储运、机械电子、医疗卫生等国民经济各个领域。由于在传统的冷源设备中需大量使用CFCs类物质，可见，保护臭氧层是一个迫在眉睫的世界性环境问题，需要全人类的共同努力，我们暖通空调及能源工作者更是责无旁贷。

## 2) 全球气候变暖与海平面上升

全球气候变暖及其效应已成为近年来人们最为关注的环境问题之一。人类大量使用石油、煤和天然气等矿物燃料，释放到大气中的二氧化碳等气体会愈来愈多。

1992年，全球二氧化碳的排放达264亿t，其中84%（223亿t）是来自工业活动。过去年间，工业活动的排放上升了38%。美国是二氧化碳工业排放的主要国家，接近全球排放总量的22%，人均排放量也最高——每年达19.1t；接下来是中国（占11.98%）、俄罗斯（占9.4%）和日本（占5%）。另外，欧盟国家一共占全球排放量的13%；经济合作与发展组织的发达国家共占44.7%（世界资源报告，1996—1997）。

目前，全世界的工厂和电厂每年向大气排放的二氧化碳有50多亿t，大气中二氧化碳含量

的年增长率约为0.4%。大气中的水汽、二氧化碳以及甲烷、氧化亚氮、氟氯烃等气体的大量聚集,可以吸收某些从地球表面向外辐射的长波辐射热,并将其反射回地球,对地面气候起到增温作用,出现地球表面的“温室效应”。据科学家们估计,按照目前的速率,在2030—2050年,大气中二氧化碳的含量将比工业革命之前增加1倍,全球气温有可能上升1.5~4.5℃

全球气候变暖将是一场世界性的环境灾难,它将会导致海水变暖和膨胀,加速极地冰川和冻土的融化,造成海平面上升等。美国环保局的资料认为,如果温室气体继续按目前的情况释放,估计到2025年,海平面将上升10~40cm,到2100年,将上升60~200cm,现在30%~80%的沿海沼泽和许多地势低洼的岛屿将可能被海水淹没;目前世界上大约有1/3的人口生活在离海岸线小于60km的范围内,如果全球变暖,海平面升高,一些城市和乡村可能被淹没。此外,由于气候异常,旱涝灾害的次数可能增加,森林、草原火灾增多,水资源问题将更为突出,对农业影响也将十分明显。

全球气候变暖的趋势和严重后果已引起了国际社会的关注。专家们呼吁,为了控制全球气候变暖,必须采用以下对策:

①减少矿物燃料的使用,提高燃料的热效率;

②开发各种新能源,改变能源结构,大力提倡使用自然能(如太阳能、风能等),加快发展核能以代替化石能;

③必须控制和制止乱砍滥伐森林,提倡生物资源的可持续利用,大力开展植树造林,利用绿色植物吸收二氧化碳的功能来减少温室气体的含量。

有人估计,仅仅在21世纪维持目前大气中二氧化碳的含量,就需要营造相当于法国国土面积,即 $55.16 \times 10^4$ 万 $\text{km}^2$ 的森林。

### 3) 酸雨蔓延

酸雨是一种严重的污染物质,含有多种无机酸和有机酸,绝大部分是硫酸和硝酸。酸雨是一种复杂的大气化学和大气物理现象。主要来自于工业生产、民用燃料排放出来的二氧化硫以及汽车尾气排放出来的氮氧化物等进入大气后,经过“云内成雨过程”和“云下冲刷过程”,形成较大的酸雨雨滴,最后降落在地面上。据估计,全球每年人为排入大气的硫氧化物约为3亿t,其中二氧化硫约为1.5亿t。欧洲每年大约排放6000万t二氧化硫。1980年,美国大约排放了2600万t二氧化硫。

我国的能源主要是煤炭,目前天然气和石油副产品作为一次能源越来越受到重视和提倡,由于这些一次能源中不同程度的含硫,在燃烧过程中生成二氧化硫和二氧化氮,因此,我国既是一次能源消耗大国,也是二氧化硫和二氧化氮气体的排放大国和受害国,每年排放的二氧化硫大约在1500万t以上,是少数几个排放量大的国家之一。我国酸雨的分布面广量大,1982年全国普查中对各省市2400多次雨水进行了抽样检查,结果表明属酸雨的占44.5%,酸雨次数占总降雨次数一半以上的城市有12个。另据监测,我国有21个城市有酸雨出现,占被测定的23个城市的90%以上。重庆、贵阳、南昌、武汉、沈阳、哈尔滨、广州等均是酸雨严重危害的城市。近年来,随着我国能源工业和社会经济的发展,重酸雨区有迅速扩展之势,不仅城市地区降水酸度逐年递增,而且全国大部分地区降水酸度普遍增加。

酸雨对生态系统的影响很大,它可以直接使大片森林死亡、农作物枯萎;也会抑制土壤中有机物的分解和氮的固定,淋洗与土壤粒子结合的钙、镁、钾等营养元素,使土壤贫瘠化;酸雨可以使湖泊河流酸化,并溶解土壤和水体底泥中的重金属进入水中,毒害鱼类,使水生生态受

到严重破坏,对人体健康也有直接的和潜在的影响。很多国家由于酸雨而出现了酸湖。挪威南部的 5 099 个湖泊中有 1 750 个已变酸,酸湖中鱼虾绝迹。美国在 18.78 万 km 长的河川中,已有 7.8 万多千米受到酸雨危害而不见鱼虾。水体酸化还会导致水生生物的组成结构发生变化,耐酸的藻类、真菌增多,而有根植物和动物减少。酸雨还能加速建筑物和文物的腐蚀和风化过程,使许多建筑物遭受损害。例如具有 2000 多年历史的雅典古城堡的大理石建筑和雕塑正在一层层地剥落,纽约自由岛上的自由女神铜像披上了一层厚厚的铜绿,我国重庆的嘉陵江大桥也已被酸雨腐蚀得锈迹斑斑。

酸雨问题同样引起了我国政府的高度重视,拨出了专项资金,进行了全国性的酸雨监测和普查研究,寻求对策。但我国许多地区都存在着产生酸雨危害的自然条件与人为因素,我们尚缺乏系统而可靠的科学资料和全民对环境的忧患意识,我们必须在当前注重发展经济的同时,加强环境保护,采取有效措施,限制二氧化硫和氮氧化物的排放量,以减少和消除酸雨的威胁与危害。

#### 4) 烟尘、废渣及噪音污染

当前,世界上开发利用的能源,主要是煤、石油、天然气等矿物能源和水力资源,原子能也有一定的开发,其他如太阳能、地热能等只有小规模的开发利用。煤、石油、天然气等矿物燃料的燃烧,需要使用各种机械设备(如水泵、风机等)运转,随之而来发出噪音污染环境,同时燃烧生成二氧化碳、烟尘、硫化物及产生废水等有害物质,造成大气污染,对人类威胁很大。20 世纪初,能源燃料主要是煤,英国伦敦陆续发生了 3 次由于燃煤造成的烟雾事件,死亡人数约 1 800 名,成为伦敦型烟雾的典型例子。20 世纪 20 年代以后,能源中除煤外,又增加了石油,而且它所占的比重急剧上升。二次世界大战以后,有机化学工业和汽车工业迅速发展,使环境污染问题更带有社会普遍性。在此期间,曾先后发生过几起世界闻名的公害事件。例如,美国洛杉矶因大量汽车排出废气而生成光化学烟雾,每年受害人达数百人;美国多诺拉地区烟雾事件则使数千人患病。20 世纪 50 年代以后,环境污染问题发展到了高潮阶段,环境公害泛滥成灾。1952 年 12 月伦敦有 5 天连续大雾无风,再次发生更严重的烟雾事件,数日内死亡达 4 000 人,以后又陆续发生多次。

目前,我国能源中煤占 70% 以上,石油及天然气占 25%,能量利用率都在 30% 以下。加上我国城市民用炉灶烟囱低矮,燃烧效率只有百分之十几;采暖锅炉吨位小、效率低、燃烧点严重分散等,更加重了大气污染。例如,北京飘尘比东京、伦敦 20 世纪 60 年代还高。人们对未来环境的危机感日益加深。

环境污染问题已为暖通空调工作者提出新课题:即如何减少使用矿物燃料,以减少环境污染;如何发展城市集中供冷供热系统,如何把防治污染同能源的合理开发利用结合起来。

由于冷热源设备大多位于人口稠密的市区,因此冷热源设备对城市生态环境的影响应摆在相当突出的地位,在设计中应尽量优先选用无环境公害或环境公害轻微的冷热源设备,综合考虑技术可行性、经济实用性和环境效益三方面因素。大力提倡开发使用太阳能及其他可再生能源。重视和研究热泵装置是解决当前供热、通风和空气调节领域用能源的供需矛盾,减少环境污染的有效而可靠的办法之一。借助于吸收式设备,人们能把自然界或废弃的工业低温余热,变为有用的能源形式,供应生产和生活上的需要。这样就给人们提出了一条节约矿物燃料、合理利用能源、减轻环境污染的途径。



## 能源的品位与利用

### 1) 能源的品位

通常,以作功本领来描述能量的大小。在封闭系统中,各种形式的能量无论发生什么变化过程,都可以互相转换,但其总和恒定不变。换言之,我们可根据需要把自然界中存在的各种形形色色的能转化为其他各种形式的能。所以,能量利用的过程实质就是能量的转化、传递过程。能量由某一状态转化或传递到另一状态时,因能源状态的不同,其转换效果亦不同,也就是说,能源因所处的状态不同,而其价值也不同。

例如,某城镇供水池位于 100m 水坝之下,而又高出了某湖面 10m 的地方(图 0.2)。该城镇供水的取水方案有二,一是由水坝直接供水,似乎未消耗任何能量;二是用水泵从湖中取水,即以坝中水作为动力驱动一个水轮机,水轮机再拖动水泵,将低于 10m 以下的湖水,输入供水池之中。若向供水池供水 10t/s,且不计机械摩擦损失(认为机械效率  $\eta = 1$ )和管路阻力损失时,则水坝直接供水的方案,不需要外界作功,而水由 100m 高处流下的势能将损失掉,其量为  $100 \times 10 \times 1\,000 \times 9.81\text{W} = 9.81 \times 10^6\text{W}$ ;用水泵从湖中取水的方案将需要由外界供给一定量的能量,其值为  $9.09 \times 1\,000 \times 10 \times 9.81\text{W} = 8.92 \times 10^5\text{W}$ 。如果用水坝中 0.91t/s 水(仅方案一供水量的 1/11)拖动水轮机( $0.91 \times 1\,000 \times 100 \times 9.81\text{W} = 8.92 \times 10^5\text{W}$ ),即能完成由湖中取水的任务。由此可见,水坝中的水和湖中的水,虽然都是水,但其价值是不同的。就其供水而言,坝中水有作功的能力,可自动地流向水池。坝中水的价值随其位置的高低而变,若坝的位置降至 50m,则它的价值亦降一半;而大量的低位湖水需要外界对它作功方能取得,外界作功的大小也与湖水的位置有关。因此,湖中水的价值为负。坝中水的价值为正。供水方案二用了 0.91t/s 水坝中高价值的水,而利用了 9.09t/s 低价值的湖水。

水位不同,其作功的能力不同。热能也是一样,不仅有其数量,而且也有其质量问题。现以室内采暖为例说明之。

若向室内供热 10kW(8 600kcal/h),现在有两种用电能的供热方案:

第 1 方案,采用电阻式加热器,直接加热室内空气,则需要供给的电能为 10kW。

第 2 方案,用电能拖动制冷机向室内供热,即热泵供热。若供热温度  $t_2 = 45^\circ\text{C}$ ,低温热源的温度  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ,热泵采用的最理想循环——逆卡诺循环,则热泵的制热性能系数:

$$\varepsilon_h = \frac{t_2}{t_2 - t_1} = \frac{273 + 45}{45} = 7.07$$

如向室内供热 10kW,驱动热泵所消耗的电能为:

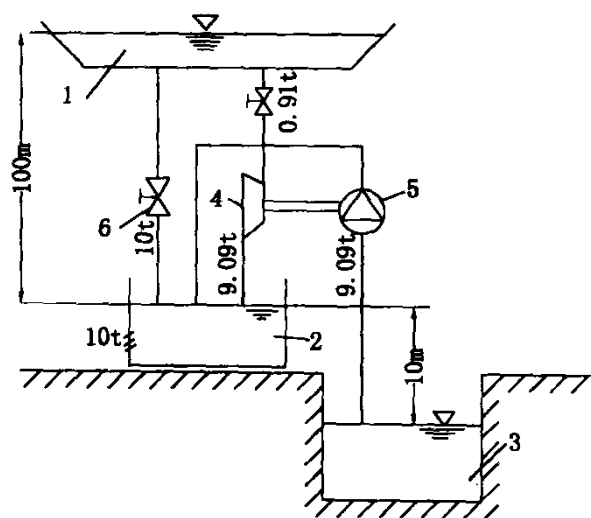


图 0.2 某城镇供水方案

1—水坝中的水;2—供水池;  
3—湖中的水;4—水轮机;5—水泵

$$W = \frac{Q_h}{\varepsilon_h} = \frac{10}{7.07} \text{kW} = 1.414 \text{kW}$$

用第2方案供热仅消耗1.414kW的电能,约为第一方案的1/7。这似乎违背了热力学第一定律——能量守恒定律。事实上则不然,由于此方案中约6/7的供热量利用了温度低于室温的低温热源的热量,因此,节省了高位能源(电能)的消耗量。

又如,0℃时的4.1868kJ(1kcal)热量与100℃时的4.1868kJ(1kcal)热量比较,从其数量上说是相等的,但其品质却大不一样。例如,用这两种温度下的热量来向室内供热时,则0℃时的4.1868kJ热量不能自动传递到室内,而温度为100℃的4.1868kJ可自动传递到室内。那么,品质如何衡量呢?一般来说,品质的高低完全取决于它做功的本领,温度为0℃时的热量毫无作功能力,温度为100℃的热量具有作功能力。

综上所述,可归纳以下几点:

①评价能源的价值时,既要量其数量,又要看其质量。能量按其质量可划分为高位能和低位能两种。在理论上可以完全转化为功的能量,称为高位能,或称高质量的能量。属于这一类的有电能、机械能、化学能、水力和风力、高温的物质等,从本质上说,高位能是完全有用的能量。不能全部而只能部分地转化为功的能量,称为低位能,或称低质量的能量。属于这一类的有物质的内能、低温的物质等。

热源也同样分为高位热源和低位热源。一般高位热源系指温度较高而能直接应用的热源。如蒸汽、热水、燃料化学能、生物能等。而低位热源系指无价值,不能直接应用的热源。如:取之不竭的贮存在周围空气、水、大地之中的热能;生活中所排出的废热(如排水和排气中的废热);生产的排除物(水、气、渣等)中的含热量;能量密度较小的太阳能等。

②合理地使用高位能的问题是十分重要的。因为实际的能量利用过程具有两个特性:量的守恒性和质的贬值性。任何用能过程实质上也可以说成能的量与质的利用过程。要使热能得到合理利用,必须合理使用高位能,必须做到按质用能。例如,由燃料直接提供给采暖等所需的低温热量,即使在不损失热量的条件下,室内所得的热量最多为燃料发热量的100%,也应该认为是一种巨大的浪费。因为在这种情况下,贮藏在燃料中的化学能所具有的作功能力并未加以合理利用而被贬值了。

③按照热力学第一定律,在一系统内,能量既不能产生,也不能消失,只能从一种形式转变为另一种形式,而且转换的方向也是一定的,只能由高位能变为低位能。因此,一般所谓“节约能量”之说,严格而言是不十分确切的。因为仅仅节约了高位能,利用了部分低位热能,也就是说,能量是守恒的,一切能量使用到最后,都成废热传递给大气环境了,虽然它在数量上看是守恒的,但质量上已经越来越不中用,最后降级到无用了。因此,在节约能量问题上,要把能量贬值看为重要问题。

当然,在一个建筑物中或一个区域中什么冷热源设备系统供热方法更经济合理,不仅要考虑能量的消耗,还应考虑到设备的初投资、使用寿命、运行费等等。一般说,热泵的初投资比锅炉房供热大,寿命也敌不过锅炉设备。热泵系统中的压缩机、电动机是易损件,往往因某个主要部件损坏而使整个设备不能继续使用。至于运行管理费用,热泵有不需燃料及排渣的运输费用和管理人员较少的优点。而主要的运行费用——消耗燃料及动力的费用取决于当地燃料与电能的比较。可能会有这种情况,虽然热泵有较高的能量利用系数,从全局看是节能的,但是由于当地电能价格与燃料价格相比偏高,而使热泵用户支付的经费高于用锅炉房供热的

系统,从用户的局部利益看热泵又是不经济的。对于同时有供热和供冷要求的建筑物,或对于有全年空调要求且冬季热负荷不大的建筑物,热泵就有明显的优点。它不仅节省了能量,而且可以用一套设备满足了供热和供冷的要求,减少了初投资。而太阳能由于其能量密度较小,用作建筑热源初投资大,从经济上是不合适的,目前还在开发研究之中。

## 2) 热电冷联供系统

合理利用能源,提高能源利用率是国内外普遍关注的问题,总能系统能量综合利用是节能的主要方向。近年来,国内外都致力于总能系统的研究。所谓总能系统,是指能量自给的系统,即该系统所需的能量,几乎都由该系统中所设置的惟一能源供给,而不必求助于其他能源。热电联产就是一种典型的总能系统。

热电联产中,较高参数的蒸汽首先用来作功发电,然后抽汽或排汽供热,既避免了热电分产时有用能的大量损失,也避免了大量冷源损失,具有热力学优势。这一能源综合利用技术已是当今世界推行的一项行之有效的节能措施,其节能意义已被国内外的大量实践证明。

热电冷联供是在热电联产基础上发展起来的。目前我国的所谓“热电冷联供”,是指使锅炉产生的蒸汽先通过背压式汽轮机作功发电,排汽除满足各种热负荷外,还用作溴化锂吸收式制冷机的工作蒸汽。这样,整个系统的热负荷平衡,提高了夏季热电厂的发电量与供汽量,使系统能够高效运行,提高了全年的综合经济效益,另一方面大大减轻了空调制冷负荷对于电网的压力,缓解了当地电力紧张局面。由于热电冷联供一般采用溴化锂吸收式制冷机,而不采用以CFCs为工质的压缩式制冷机,有利于保护大气臭氧层,减缓地球温室效应。溴冷机以低压蒸汽甚至热水为热动力源,还可根据具体条件,利用余热、废热等低品位能源,提高能源利用率。因此,热电冷联供,有利于保护环境,优化能源结构,促进热电事业发展,缓解电力紧张,提高能源利用率,具有广阔的发展前景。

热电冷联供中的冷热联供系统主要由热源、一级管网、冷暖站、二级管网和用户设备组成(图0.3)。夏季吸收式制冷机利用汽轮机的抽汽产生冷水供空调用户使用,供回水的温度为 $7^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$ ,供回水的温差为 $5^{\circ}\text{C}$ ;冬季板式换热器利用抽汽加热水,产生 $60^{\circ}\text{C}$ 的热水供用户取暖,回水温度为 $50^{\circ}\text{C}$ ,供回水温差 $10^{\circ}\text{C}$ 。当然如吸收式制冷机组为热泵型,冬季也可利用制冷机产生的热水供暖;系统同时也可满足用户的用汽需要。

热电冷联供系统的热经济性如何,应怎样评价热电冷联供系统,是实行热电冷联产必须考虑的问题,应依据总能系统的概念,能量梯级利用的原则,从工程热力学和系统工程角度,综合研究系统可能得到的能源和对各种品质能量的要求,总体安排好功和热的利用,并结合市场经济,使热电冷联供系统能量供需之间品位优化匹配,达到节电、节能、节省资金的三节目的。

总能利用效率是基于热力学第一定律,只区分能量有多少被利用,而不考虑功热不同品质的问题。所以它对只做功或温度、压力水平相同的热力装置比较合适。从经济价值考虑,功热价格不等,当功热以同样的能量单位出售时,功的价格要高于热的价格 $5\sim 6$ 倍,所以从经济观

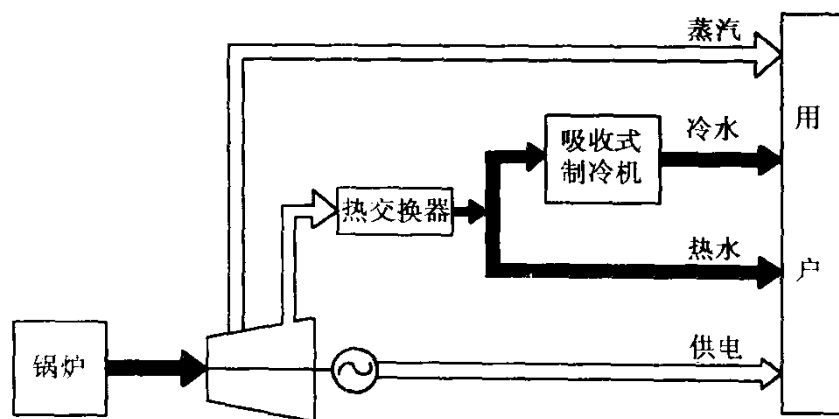


图 0.3 热电冷联供系统原理图

点看,总能利用效率不全面。

燃料消耗量、焓效率和经济焓效率 3 个评价标准主要是围绕能源利用效率和热经济性从不同角度来评价,每一个标准都有其局限性,应将几个标准相结合进行综合评价。因为,从燃料消耗量可直观地看到节省了多少燃料,直接地显示节能效果;从焓效率的比较,则将不同品质的能统一在一个尺度下考虑能量的利用问题;而经济焓效率则进一步将能量的利用与能量的价格相结合,也体现了地区经济状况的差异,成为一个社会经济指标。焓效率是从热力系统做功能力出发,规定统一的标准和尺度即焓和焓效率,认为能量有质的区别,按质供能,梯级利用,是能源利用的基本原则。焓效率克服了总能利用效率的局限性,用它来考虑热力系统的完善性既准确又全面。经济焓效率模仿热力学分析热功的公式,又与经济活动中热冷功的价格和不同燃料的价格密切联系,从而能够较好地反映出热力装置的经济性。所以,这三者的结合可以较完善地反映热电冷联供的能量利用和经济性问题。当然,如果要更全面地评价热电冷联供,则还有装备投资回收期、环保、社会效益、系统可靠性等方面的问题。