

城市冷、暖、汽三联供手册

曾志诚 主编



中国建筑工业出版社

城市冷、暖、汽三联供手册

曾志诚 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

城市冷、暖、汽三联供系统是指利用城市各类热源使用一套系统解决城市供冷、供暖和供汽的需要。本手册介绍了“三联供”系统的工作原理和组成该系统各个单元的主要设备和设计方法。全书共分八章,内容包括:热源、三联供系统负荷计算、管网设计、冷暖站设计、设备和管道保温、仪表和系统自动化、三联供系统的常用设备和材料等。

本书适用于从事城市供热、供冷专业的设计、施工、运行管理人员及大专院校师生。

* * *

责任编辑 姚荣华

城市冷、暖、汽三联供手册

曾志诚 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31¼ 字数: 757 千字

1995 年 10 月第一版 1995 年 10 月第一次印刷

印数: 1—10,100 册 定价: 33.00 元

ISBN7-112-02625-3

TU·1999 (7714)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

目 录

第一章 绪论	1	一、空调负荷计算的基本构成	53
第一节 我国城市供热发展概况	1	二、设计条件	53
一、我国城市供热的发展历史和前景	1	三、民用建筑空调设计冷负荷的计算	53
二、我国城市供热的技术方向	2	四、空调冷负荷的估算方法	67
第二节 国外城市供热的发展概况	2	第四章 管网设计	70
一、国外城市供热简介	2	第一节 管网的形式	70
二、国外城市供热的技术方向	4	第二节 管网的布置	71
第三节 城市冷、暖、汽三联供系统	4	一、布置原则	71
一、什么是城市冷、暖、汽三联供系统	4	二、敷设方式	71
二、城市“三联供”系统发展过程和实现		三、疏放水和放气	84
“三联供”系统的效益分析	5	四、坡度	86
三、发展城市三联供的重要意义	5	五、附件布置	86
第二章 热源	8	第三节 管道材料及连接	87
第一节 概述	8	一、管道材料	87
第二节 热电厂	8	二、管道的连接	87
一、热电厂建设的原则	8	第四节 管道和管道零部件	87
二、机组选择	9	一、钢管	88
三、原则性热力系统	12	二、弯管	93
四、热电厂厂址的选择	18	三、大小头	93
五、小型热电厂占地面积和典型布置简图		四、三通	93
.....	22	五、法兰	93
第三节 锅炉房	22	六、法兰盖、堵头	94
一、锅炉类型和锅炉房设计	22	七、阀门	94
二、蒸汽锅炉供热系统	29	第五节 水力计算	95
三、热水锅炉供热系统	30	一、水力计算的任务	95
第三章 三联供系统负荷计算	35	二、水力计算	95
第一节 采暖热负荷计算	35	三、管径计算	96
一、采暖热负荷的种类	35	四、管道压力损失计算	97
二、设计条件	35	五、水力计算表的编制和使用	100
三、民用建筑采暖设计热负荷计算	40	六、热水管道水力计算和水压图	120
四、采暖热负荷估算	43	七、蒸汽管道水力计算	126
第二节 供热系统热负荷	44	八、凝结水管道水力计算	139
一、采暖热负荷	44	第六节 热位移和热补偿	139
二、通风热负荷	44	一、热位移	139
三、生活热水热负荷	46	二、热补偿和热补偿器	141
第三节 空调负荷计算	53	三、不同形状管段的热补偿计算	147

第七节 预制保温管直埋敷设	172	第五节 冷暖站系列	356
一、管道的应力计算	172	一、冷暖站规模	356
二、管道承受的土壤压力和摩擦力计算	173	二、组装式热力站	356
三、摩擦长度计算	173	第六章 设备和管道的保温与油漆	361
四、两种敷设方式	174	第一节 概述	361
第八节 管道支吊架	176	一、保温工作的意义	361
一、概述	176	二、保温油漆的设计依据	361
二、支吊架间距的计算	177	三、保温设计的基本原则	361
三、支吊架荷重计算	186	四、设备和管道的油漆原则	361
四、支吊架弹簧的选择	191	第二节 保温材料	361
五、固定支架水平推力	198	一、保温材料的选用原则	361
第五章 冷、暖站的设计	213	二、常用保温材料	362
第一节 热力站的设计	213	三、常用保温材料制品规格	366
一、热力站的类型	213	第三节 保温层厚度的计算	367
二、热水供热热力站	215	一、保温层厚度的计算原则	367
三、蒸汽供热的热力站	222	二、有关保温层厚度计算的一些问题	367
第二节 制冷站的设计	227	三、保温层厚度计算	368
一、制冷机的选择	227	第四节 保温结构	375
二、吸收式制冷机的特点	229	一、保温结构设计的一般原则	375
三、溴化锂吸收式制冷机	230	二、管道和管道附件保温结构	376
四、冷却塔	251	三、热力设备的保温结构	380
第三节 三联供系统中设备的设计	256	第五节 保温的施工	380
一、风机盘管机组	256	一、总则	380
二、冷却、加热盘管	262	二、保温层	380
三、加湿器	270	三、保护层	380
四、空气过滤器	273	第六节 油漆和防腐涂色	381
五、风机的选定	277	一、管道与设备油漆原则	381
六、热交换器	286	二、油漆与防腐	381
七、蓄热槽的设计	303	三、设备和管道对涂刷油漆的要求	381
八、蒸汽系统的附件	316	四、防腐用涂料和油漆	382
九、水系统的附件	322	五、管道及设备的涂色	384
十、水泵	327	第七节 保温材料的工程量计算	385
十一、散热器	334	一、主保温层	385
第四节 冷暖站的调节阀	338	二、保护层	386
一、调节阀	338	三、矩形管道	386
二、调节阀的理想流量特性	338	四、保温用辅助材料用量	386
三、工作流量特性	339	第八节 有关数据	388
四、调节阀的流通能力	340	一、保温结构数据表	388
五、调节阀的直径计算	341	二、不同条件下保温层的厚度计算表	390
六、平衡阀	342	第七章 三联供系统的自动控制和检测	402
七、流量调节阀	347	第一节 自动控制方式	402
八、压力调节阀	352	一、自动控制的设计流程	402

二、自动控制作动的选择目标	402	第八章 常用设备和材料	420
三、控制动作的概要	402	一、锅炉	420
第二节 自动控制装置的机理及适用范围	406	二、汽轮机	434
一、分类	406	三、汽轮发电机	435
二、控制装置的原理和选择的标准	406	四、减温减压装置	435
第三节 采暖系统的自动控制	407	五、热交换器	446
一、调节方式	407	六、溴化锂吸收式制冷机	463
二、采暖系统的入口调节	407	七、风机盘管	467
第四节 空调系统的自动控制	411	八、水泵	469
第五节 热工检测	414	九、阀门	476
一、检测项目	414	十、保温管材	484
二、检测系统	414	十一、热补偿器	485
三、检测仪表的选择	414	附录 全国主要供热城市气象资料	490
四、室内环境的测定	418	参考文献	492

第一章 绪 论

第一节 我国城市供热发展概况

一、我国城市供热的发展历史和前景

众所周知,发展城市供热是节能、保护环境的重要途径,是城市现代化的主要基础设施之一。从1953年至1965年,我国热电联产发展很快,新增单机6MW以上的热电机组2.4GW,占同期新增火电机组容量的27%,至1965年底,全国的供热机组容量占火电机组总容量的比重达20%,为发展热电事业奠定了基础。但从1965年至1980年间,热电发展缓慢,15年内仅新增1.99GW,至1980年供热机组比重已下降至11%。从1981年以来,“六五”共安排近40亿元,“七五”完成56亿元的节能投资,共安排各种供热机组的热电联产项目213个,装机容量达5.8GW,分布在全国近百个城市。截至1988年底已建成投产2.9GW(为我国单机6MW及以上热电装机总容量的37%),年发电能力为12TWH,实现供热能力29260GJ/h。从1992年电力工业统计资料中了解,单机6000kW及以上供热机组共671台,发电容量1340.20万kW,占同容量火电机组的12.5%(1980年为10.39%,1990年为11.29%,1991年为12.18%)。6000kW及以上电厂供热量 $75279.75 \times 10^4 \text{GJ}$ (1991年为 $66209.16 \times 10^4 \text{GJ}$),供热标准煤耗率40.34kg/GJ,供热厂用电率6.46度/GJ(1991年同类机组供热标准煤耗率40.61kg/GJ,供热厂用电率6.52度/GJ)。

近几年来,虽然热电联产供热量以10%~13%的速度发展,但是,我国热电设备仍只占火电设备的12%,且热电联产年供热量仅为工业用热的10%以下。为了满足工业特别是地方工业的发展对热力和电力的要求,不得不建设了大量的能耗高的小锅炉和部分小火电,分散的小锅炉不仅没有下降,而且还在增长。从1988年的有关资料了解,我国有40多万台小锅炉,90万蒸t/h,平均单台容量2.3t/h,每供4.2MJ热量耗煤0.2~0.24t,年耗能约3亿t标准煤。还有凝汽式小火电1200万kW,每年耗煤3100万t标准煤。

我国城市集中供热是建国以后才发展起来的。“六五”期间,国家用节能资金安排了一批城市集中供热项目的建设,到1985年底,我国北方120多个城市中,有40多个城市建设了集中供热设施,供热面积5500万 m^2 。1989年发展到81个城市,约占“三北”地区十三个省市165个城市的1/2,供热面积达到1.89亿 m^2 ,集中供热普及率达到12.08%。北京、辽宁、吉林、黑龙江四省市城市集中供热面积合计为1.25亿 m^2 ,集中供热普及率为16.15%,供热面积占“三北”地区的13.63%。北京市的集中供热普及率1989年达到17.69%。但是,从全国供暖区城镇看,仍以火炉供暖为最多,约占住宅供暖的3/4,全部建筑供暖的2/3。从北方供暖区大城市看,以分散锅炉房供热比重为最大,据北京、哈尔滨等29个大中城市共3.7亿 m^2 建筑面积统计,锅炉供热平均占84%。在锅炉供热中,锅炉房供热规模在10万 m^2 以下的占96.1%,锅炉容量在4t/h以下的占91.5%,不仅如此,这

些锅炉平均有 72% 沿用间歇供暖方式，普遍在低负荷、低效率下运行，实际供暖面积平均只达到出力能提供供暖面积的 40%。

近几年来，城市集中供热的发展速度很快，北京市 1989 年集中供热面积增加 595 万 m^2 ，比 1988 年增加 45%，天津市 1989 年新增 222 万 m^2 ，比 1988 年增加 49%。但是，新增建筑面积的速度更快，1989 年，北京市新增建筑面积 884.4 万 m^2 ，天津市 438.3 万 m^2 ，集中供热发展速度跟不上房屋建设的发展速度。可见，我国发展城市供热有极广阔的前景和巨大的潜力。

二、我国城市供热的技术方向

至本世纪末，使我国城市集中供热达到国外发达国家 80 年代的水平，并形成具有我国特色的技术体系。

(一) 坚持城市集中供热方针。在我国城市燃料以煤为主的条件下，应坚持集中供热的方针。

(二) 认真编制城市集中供热规划。

(三) 合理选择城市集中供热方式。采用热电联产的形式是我国当前的具体情况决定的，有条件的城市，要积极开展对冶金、化工等工矿企业余热资源的利用，发展集中供热。结合城市建设和改造，发展集中锅炉房供热。有计划、有步骤地开展对地热、太阳能、低温核供热反应堆等新能源、新技术的研究、开发和利用，开辟城市集中供热热源的新途径。

(四) 提高集中供热工程的设计水平。设计部门要积极创造条件，采用现代化的设计方法和手段，推广运用电子计算机，发展方案的优化设计技术，提高设计水平。

(五) 积极开发供热工程施工新技术。

(六) 加速对供热企业的技术改造。改进热力管网现行的调节方式，逐步实行城市热网调度、运行、调节的自动化、智能化。逐步实现计量、监测现代化。

(七) 提高热能利用水平。热电厂集中供热系统，应扩大夏季热负荷，推广“三联供”供热模式，发展城市生活热水供应和夏季吸收式制冷。

(八) 加强科学技术研究工作。

(九) 重视供热设备的生产和新产品的开发。

第二节 国外城市供热的发展概况

一、国外城市供热简介

世界城市供热起步较早的是德国，1901 年在德累斯顿建立集中锅炉房，1909 年建立第一个热电厂。到 1986 年德国城市供热的热源，热电站占 75%，集中锅炉房占 23%，其余 2% 为工厂余热。城市供热发展较快的是原苏联，自 1924 年建设第一条公用热力管道以来，到 1986 年城市集中供热的热化率达到 70%，有的城市热化率高达 100%，莫斯科为 98%。主要热源是热电厂，占 80%（原苏联的热电容量为同期火电容量的 40%），集中锅炉房占 18%，其余 2% 为分散锅炉房供热。

欧洲各国 1973 年和 1984 年区域供热量分别见表 1-1。热能生产见图 1-1。

在 1995 年之前，欧洲各国区域供热的发展仍将是稳定的和迅速的。之后，由于某些城镇热负荷率已高达 80% 以上，由于某些地区燃油和天然气价格低廉，由于建筑物内部和外

部节能措施等原因，欧洲各国的增长率当然会有所下降。

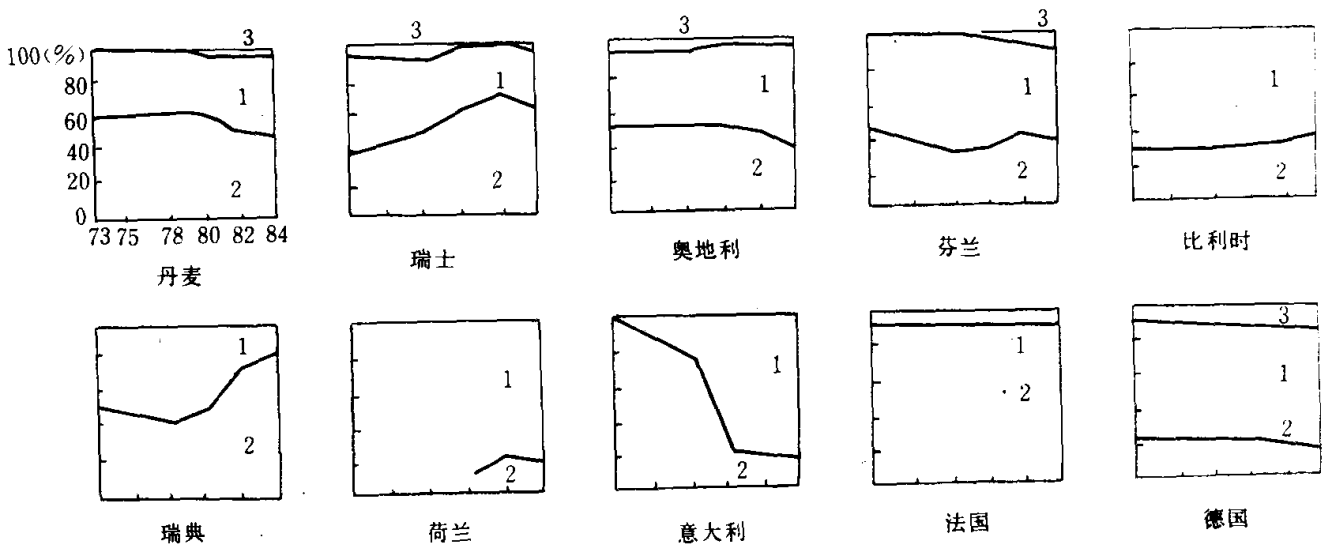
世界市场上区域供热所占的份额

表 1-1

国 家	1973 年			1984 年		
	区域供热热网的 输热量 10 ¹² J	区域供热占热 能销售的比例 (%)	热能销售量占 二次能源消耗 量的比例 (%)	区域供热热网的 输热量 10 ¹² J	区域供热占热 能销售的比例 (%)	热能销售量占 二次能源消耗 量的比例 (%)
德 国	139280	4.0	42.0	191220	8.5	40.0
英 国	—	— ²⁾	—	—	— ²⁾	—
法 国	—	—	30.0	73130	3.2	30.0
荷 兰	4800	0.5	41.0	9150	1.0	40.0
瑞 典	62000	14.0	31.0	116000	30.0	29.0
比 利 时	5600	1.2 ¹⁾	35.0	5800	1.4 ¹⁾	36.0
芬 兰	26470	11.0	33.2	70560	38.6	24.5
奥 地 利	8700	4.0	33.0	20870	7.3	35.0
瑞 士	3970	1.2	46.0	9210	2.5	48.0
丹 麦	53430	27.0	39.0	83300	42.0	37.0
意 大 利	13	—	27.0	3310	0.3	24.0

注：热能销售=供暖热能加上：

- 1. 热水供应能耗；
- 2. 极少量的工业用热。



1—热电联产；2—非热电联产；3—其他方式

图 1-1

二、国外城市供热的技术方向

在城市供热的技术方面，国外做了许多开拓性的工作。如北欧在管道敷设、系统形式、调节方法上的技术遥遥领先；德国在远距离城市供热管网，仪表设备方面很有特色；美国在综合利用能源，发展集中供热和供冷，新能源利用研究方面做了许多先导性的工作；原苏联在核供热站的建成使用，改造凝汽式电厂为热电厂，大型高峰锅炉房定型化，大型热网的安全措施等方面均有长足的进步。今后仍将坚持如下的技术方向。

(一) 充分利用各种低品位热能，实行多种能源的联合供热。多种热源的基本负荷由包括垃圾焚烧炉、工业余热、热电厂承担，尖峰和事故负荷由锅炉房负担，实现节能运行。

(二) 采用多种方法，提高热能输送系统的可靠性和经济性。原苏联输热管道最长距离为 30~35km，最大管径为 1400mm。丹麦最远距离为 40km，最大管径为 1000mm。因此，各国都在努力提高输热系统的可靠性和经济性。

(三) 在供热系统中实行集中监控。

(四) 重视供热设备的生产和新产品的开发。

1. 联合循环电厂的建立及发展，联合循环电厂热效率大于 50%。采取的主要措施是把燃气透平的进气温度提高到远远超过 1000℃，另一方面的改进是把单台容量扩大到 150MW。这种电厂的主要优点：单位容量造价低（约为传统凝汽式电厂造价的 50%~70%）；建设周期短（大约为传统凝汽式电厂建设周期的一半）；运行灵活；节省燃料量大；增加了供电、供热的可靠性和减轻了对环境的污染等。

2. 核供热反应堆的应用及发展。在欧洲各国，有 50% 的一次性能源用来生产低温热能，以供应室内供暖和一些生产性用热。由于区域供热能够利用各种能源，在欧洲，它已成为较经济的供热方式，有些国家，区域供热占供暖市场 40% 以上。核能的利用有利于实现区域供热，核能除可以替代大量的化石燃料外，还能相应地减少由烟囱中排放的燃料生成物造成的空气污染。

3. 热泵系统的研究。区域供热系统非常容易适应热泵新技术的应用，目前热泵单机容量从 3MW 增大到 30MW，较低的电价促进了热泵系统的发展，与燃烧获得热能的方案比较，热泵系统的投资回收年限短。

4. 循环流化床锅炉具有许多优点：煤种适应范围广，适应负荷变化范围 50%~100%，热效率高，易于脱硫，不易生成氮氧化合物，灰渣活性好，因此，已广泛应用于大型电站。

5. 预制保温管道系统的进一步完善。

第三节 城市冷、暖、汽三联供系统

一、什么是城市冷、暖、汽三联供系统

城市“三联供”系统是指利用城市各类热源，使用一套系统解决城市供冷、供暖、供汽的问题。系统由五个单元组成：

(一) 热源。根据城市具体情况确定热源，应尽量选择利用城市的热电厂作为城市冷、暖、汽三联供的热源。

(二) 一级管网。是指从热源至冷暖站的蒸汽输配管网。

(三) 冷暖站。是“三联供”系统的核心部分，它由各种换热、制冷设备组成。一般利

用溴化锂吸收式制冷机作为制冷设备。

(四) 二级管网和用户设备。二级管网是将站内的冷、暖、汽送到用户的管网系统。用户设备主要是风机盘管及加(减)湿器。

(五) 控制系统。包括冷暖站的控制设备和“三联供”系统的集中控制设备

二、城市“三联供”系统发展过程和实现“三联供”系统的效益分析

目前,我国供热的基本模式:北方,锅炉房、热电厂向城市提供热水或蒸汽,供民用建筑供暖或满足工艺的需要。南方,工厂自建的小型热电厂提供满足工厂供暖和工艺需要的热能。也有一些厂利用蒸汽进行吸收式制冷,大多数民用建筑采用电空调方式。这种产品单一的供热方式使设备利用率低,成本昂贵,供热单位难以实现自我积累,自我发展,更难以取消城区内的分散锅炉房。在国家节能政策和城市集中供热产业政策的指导下,淄博制冷企业联合公司从1992年开始在全国率先开展研究并组织实施了“城市冷、暖、汽三联供”这一新技术项目。至1993年10月淄博市实现“三联供”的面积,供冷 7.5万 m^2 ,供暖 108万 m^2 ,供汽 15.5t/h 。城市集中供冷实现了零的突破,清除该区域近百个小锅炉房。实际运行表明,城市“三联供”是集社会效益、环境效益及企业效益于一体的供热新模式;是一项利国、利民、改善城市人民生活工作环境,加快城市现代化建设的节能项目;是城市供热单位多、快、好、省发展本行业的方向;是国内外城市供热事业发展的一种方向;是值得广泛推广的应用技术。为此,1993年10月,建设部对这一新技术项目组织了鉴定。鉴定意见认为,一年多的实践证明“三联供”系统不仅是一种先进的、实用的、符合我国国情的城市供热新模式,而且具有显著的节能效益、经济效益、社会效益和环境效益。该项目率先实现了以燃煤热电厂为热源的城市冷、暖、汽三联供,居国内领先水平,并接近国际先进水平,可以在我国因地制宜地推广。

三、发展城市三联供的重要意义

(一) 发展热电联产三联供方式是能源工业节能的重大举措。

近五年来,随着经济的高速度发展和生活水平的提高,我国的能耗迅速地增长,一次能源产量年均增长 3.2% ,而国民经济每年年均增长 8% ,能源弹性系数只有 0.4 。1992年国民生产总值增长 12.8% ,而一次能源只增长 1.8% ,电力增长 10.3% ,一次能源和电力生产弹性系统分别为 0.14 和 0.8 ,远未达到我国处于工业化发展阶段所需要的 0.6 和 1.2 要求。1992年一次能源生产总量为 10.67亿 t 标煤,一次能源消费总量 10.9亿 t 标煤,发电量 7470亿 kW 时,分别比1991年增长 1.8% 、 5% 和 10.3% ,而国民生产总值增长 12.8% ,不但没有超前,连同步增长也没有做到。能源的供应能力十分脆弱。

目前,我国人均耗能水平很低,1989年全国人均耗能只有 0.909t 标煤,不到目前世界平均水平的一半(发达国家平均为 7.29t 标煤,美国和加拿大达 10t 标煤以上,中等收入国家为 1.55t 标煤)。人均发电量为 525kW 时,只有世界平均水平的 $1/4$;人均油气为 0.14t 油当量,只有世界平均水平的 15% 。但我国单位产值能耗高,差不多是发达国家的 $4\sim 5$ 倍,能源利用率低,能源工业方面面临着的是十分严峻的形势。

为适应国民经济发展速度 $8\%\sim 9\%$ 的需要,一次能源生产总量的增长速度至少要达到 $4\%\sim 4.5\%$ 左右,也即要求另外的一半能源需求靠节约能源来解决,能源生产和节约任务十分繁重。2000年能源发展目标是:一次能源 14亿 t 标煤,其中:原煤 14亿 t ,原油 2亿 t ,天然气 300亿 m^3 ,水电 2400亿 kW 时,装机容量 24000万 kW 。一次能源以煤为主的结

构在一个相当长的时间内难以改变,但发展二次能源特别是电力,使更多的煤用于发电,把直接使用低品位的能源转变为供应高质量的电能,可以提高能源使用效率,减少对环境的污染。发达国家发电能源在一次能源消费总量中所占比重由 60 年代的 20%~30% 提高到 35%~40%,有的高达 50%,电力消费在终端能源总消费量中的比重,由 10% 左右提高到 20% 左右,甚至高达 48%,而我国 1988 年还只占 23% 和 7%。从我国能源需求动向中可知,我国能源工业必须贯彻开发和节约并重的方针,以电力为中心,以煤炭为基础,大力节电、节油、和节煤,推广热电联产,发展余热利用。

热电联产的综合热效率为 65%~75%,与热电分产的综合热效率 42% 左右(小锅炉的热效率为 50%~55%,凝汽式发电热效率为 30%) 相比较提高了 30% 左右的效率。例如,1988 年全国 6000kW 以上供热机组占火电容量的 10.4%,发电全部能耗 18824 万 t 标煤,其中供热 2024 万 t,占 10.8%,与热电分产相比,每年节约标煤 1100 万 t。如考虑热和电的综合热效率,一年可节约 2200 万 t。如果热电比重从目前的 10% 提高至 20%,则每年总的节煤量可达 9700 万 t 标煤。从热电厂实际运行情况看,尽管热电机组小,但供电煤耗只有 214~379g/kW 时,相当于 30 万 kW 凝汽式机组的供电煤耗。1990 年,能源部制定的电力工业节能规划总目标是:到 2000 年,我国火电厂的供电煤耗比 1992 年降低 60g/kW 时,其中 1993~1995 年每年降低煤耗 5g/kW 时,1996~2000 年共降低供电煤耗 39g/kW 时。除采取其他重大节能措施外,发展热电联产必将是能源工业节能的重大举措。

(二) 发展溴化锂制冷方式是减少氟污染的重大措施。作为地球环境问题之一的臭氧层的破坏是因大量使用氟的原因。1987 年通过了保护臭氧层国际决定的蒙特利尔议定书,并于 1987 年 1 月生效。根据上述议定书的要求,各国都制定了臭氧层保护法。如日本规定至 2000 年,特殊的氟类(氟-11, 12, 113, 114 和氟-1211, 1301, 2402) 的生产、消费为零。但是,至 1992 年,臭氧层的破坏速度比预测的快。因此,美国、欧洲共同体(EC) 和日本准备至 1995 年底停止生产和消费,并制定了至 1996 年为零的方针,修改了蒙特利尔议定书。

关于制冷范围内替代氟的问题缩小至 R-123, R-134a, R-22 的范围,即使这样国际上也讨论了今后的限制规定,在新设备中,要求 2010 年不使用 R-22,2020 年以后不使用 R-123。关于 R-134a,虽然不破坏臭氧层,但是地球温暖化系数大,且不节能。因此,今后也可能被废除不用。

自从 1965 年出现蒸汽双效溴化锂吸收式制冷机和 1967 年出现燃气式冷热水机组以来,由于它具有明显的节能效益,同时还能不用氟制冷,因此,获得了许多用户。

吸收式制冷机由蒸发器、吸收器、发生器和冷凝器等四部分组成。吸收式制冷机使用水和溴化锂(LiBr) 的溶液。其中水起冷剂作用,而 LiBr 起吸收剂作用。由于吸收式没有驱动压缩机的大型电动机,运行时无氟的污染,无噪声和振动;由于使用蒸汽作为驱动力,耗电很少,配电设备也少;燃料价格较便宜,运行费低。但机组所占面积、高度和重量较大;冷却塔容量大,设备费高。若考虑电增容费,综合分析,吸收式比压缩式经济。如,若在建筑总面积为 20000~30000m² 的一般建筑物内使用吸收式制冷方式时,由于用电量不超过 1000~2000kW,因此,不必采用特别高压供电方式。相反,若采用离心式制冷机时,则必须要用特别高压供电方式。为此,若用吸收式制冷就可节省一笔数额很大的电增容费。

综上所述,由于吸收式制冷方式能减少氟的污染,还能节能,因此,在大容量制冷机

中，溴化锂制冷机处于绝对优势地位。从最近日本大容量制冷机出厂冷吨数和台数的对比中可知，吸收式制冷机约占 80%，电动离心式制冷机约为 20%。

(三) 冷暖汽三联供模式是向建筑物供能的最佳方式之一。

民用建筑用能的范围包括照明、电视、音响、冰箱、洗衣机、炊事、供暖、制冷、生活热水等方面。其中照明、洗衣机等电力过程，没有其他合适的替代能源种类，而炊事、供暖、制冷的能源种类及供能方式却是可以选择的。过去，很少进行这方面的研究，其结果造成了能量的浪费。

1990 年我国北方供暖地区城镇建筑面积为 30.7 亿 m^2 ，居住着 1.4 亿人口，长江流域非供暖地区城镇建筑面积为 26.2 亿 m^2 ，也生活着 1.4 亿人口。近几年来，我国每年城镇新建住宅 1.8 亿 m^2 ，农村建房 7~8 亿 m^2 。与同纬度许多发达国家相比，我国冬天气候更冷，夏天气候较热，南方空气湿度还很高。在这种湿热环境下，我国房屋的保温隔热性能，比发达国家低得多。供暖地区住宅单位建筑面积耗能量，约为气候条件接近的发达国家的 3 倍。从全国供暖区城镇看，采暖方式仍以火暖供暖为最多，约占住宅供暖的 3/4。从北方供暖区大城市看，以分散锅炉比重为最大，据八城市调查，在 20108 万 m^2 的民用建筑供暖建筑面积中，锅炉供暖占 82%，热电联产占 15%，其他占 3%。在分散锅炉房供暖中存在“两小”（供暖规模小，锅炉容量小），“两低”（负荷率低，热效率低），“两多”（能耗多，间歇供暖多）的特点，其中每日单方煤耗约为 0.13~0.31kg 标煤/ m^2 ，日单方水耗为 0.52~2.06kg/ m^2 ，日单方电耗为 0.02~0.034kWh/ m^2 。虽然冬天多数住宅室温较低，但供暖耗能约为 9410 万 t 标煤，折合为 $0.8 \times 10^3 \text{PJ}$ ，约占全国能源年产量的 9%，浪费极端严重。

建筑舒适性空调所占比例很小，主要为宾馆饭店。对于一座 8~11 万 m^2 的大型高层宾馆饭店而言，全年总耗能约为 1.3~1.8 万 t 标煤。单位建筑面积耗能，北京为 190~220kg 标煤/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，上海为 120~140kg 标煤/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，广州为 100~120kg 标煤/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，单位建筑面积耗电量为 100~200kWh/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，约为居民住宅楼的 10~20 倍，耗电中 50%~60% 用于空调通风，25%~35% 用于照明。

我国国民经济和社会发展规划纲要中要求小康水平做到“居住条件明显改善”，“健康水平继续提高”。这就是说，人们将要享受更高的物质生活和精神生活。用能方面要求冬季供暖、夏季制冷及热水供应等。照明等电力过程及炊事也将更上一层楼。据某小区实测资料分析，用电单耗从单纯照明的 2.5kWh/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 到有供热（冷）、热水供应的 70kWh/ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，增幅达 28 倍。其中供暖、制冷、热水供应约占总量的 70%~80%。有三种供能方式，热电联产、集中锅炉房及电动热泵能满足这类用能的要求。为满足制冷的要求及提高热电厂与集中锅炉房的热负荷率，夏季用低压蒸汽或高温热水通过溴化锂制冷向室内供冷，采用热电冷联供，热能利用率高，节能效果显著。

由于三联供能源利用率高，节能效果显著，燃料消耗量少，投资成本费用低。因此，应努力创造条件促使三联供模式在全国条件适宜的城市中应用和推广。

第二章 热 源

第一节 概 述

城市冷、暖、汽三联供系统是由集中热源所产生的蒸汽，通过蒸汽管网供给一个城市或地区用于生产、供暖和空调的供热方式。

由于三联供系统以蒸汽作为热媒，所以其理想的热源是热电厂、集中锅炉房和利用工业余热废热锅炉。

作为城市集中供热工程的一种形式，城市三联供系统热源的规划和建设应符合国家制订的一系列有关文件和建设部制订的《城市集中供热当前产业政策实施办法》。

三联供系统的热源应根据供热系统的具体条件规划和确定。

规划热源，首先应积极开展对冶金、石油、化工等工矿企业余热资源的利用。

建设热电厂，应首先进行热电合产与热电分产的方案比较。只有论证热电厂的建设在经济上合理时，才可以决定建设。

对供暖负荷和空调负荷较大的城市或地区，应根据当地的煤价、电价和热价（冷价）等具体条件论证，只有论证热电站经济合理时，才可决定建设。否则应先建集中锅炉房，以后在有工业热负荷时，再建热电厂。

有一定常年工业热负荷的地区，应积极建设热电厂。热电厂的建设应遵循“以热定电”的原则，为提高经济效益，要合理选取热化系数。

应优先安排老电厂的供热改造，可将现有火电厂中的中小型凝汽机组改造成供热机组，在火电厂中增设供热机组，或将大型高温高压凝汽机组改造成发电供热两用机组。

新建和扩建的集中锅炉房应选用容量大、热效率高、机械化程度高、适应当地燃料的锅炉。对于特大城市，单位锅炉容量应大于或等于 20t/h，热效率大于或等于 75%。大、中城市新建和改建锅炉房，单台锅炉容量大于或等于 10t/h，热效率大于或等于 70%。小城市和小城镇，单台锅炉容量大于或等于 4t/h，热效率大于或等于 70%。

集中锅炉房的建设应考虑将来实现大面积集中供热时与热电厂联网，有成为热电厂的尖峰或事故备用锅炉房的可能，或发展成为小热电厂的可能。

第二节 热 电 厂

一、热电厂建设的原则

在有一定常年工业热负荷而电力供应又紧张的地区，应建设热电厂，实行热电联产。以供工业用热为主的热电厂，有条件时在冬季可供供暖用热，在夏季可供空调用蒸汽。在建设热电厂时，应根据当地的总体规划和供热规划确定热电厂的容量和建设进度。对兼有供

暖热负荷和空调热负荷的城市区域性热电联产工程，应与城市区域建设工程同步规划，按实际情况统一建设或分期施工。热电厂的建设应坚持“以热定电”的原则，根据热负荷的大小、结合电网对电力的需求情况，确定供热机组的类型、规模和运行方式。

(一)在以稳定的常年工业热负荷为主的情况下，应尽量争取选用背压机或抽汽背压机，以达到投资省、能耗低、效益好的目的。

(二)以常年工业热负荷为主，虽有一定的波动，但采取技术性（如增设蓄热器等）和行政性（如合理调度用户用热等）的措施后，在能够保证正常运行的条件下，也应尽量选用背压机或抽汽背压机。

(三)在热负荷变化较大或者一些严重缺电的地区，可选用背压机和抽汽机联合运行的方式，但热电厂的年平均发电煤耗率应不高于 200MW 凝汽机的煤耗率。

(四)将凝汽机组改为低真空运行，利用循环水供热的方法，只适合于老机组的改造。

(五)以煤矸石、石煤为燃料的坑口电站，或边远地区，可适当考虑设置容量较小的凝汽机组。

(六) 机组参数的选择

单机容量 6000~12000kW，宜采用次高压机组（可比同容量的中压机组多发电 15%），3000kW 采用中压机组。大于 12000kW 应采用高压机组。除以煤矸石为燃料的坑口电站外，6000kW 及以下的中压抽汽凝汽式机组不宜采用。

(七)小型热电站的热化系数应根据年度热负荷曲线进行方案比较确定。一般情况，对纯工业热负荷，热化系数可采用 0.7~0.8，对工业和供暖综合热负荷，热化系数可采用 0.5~0.6。

热源点的位置应做多方案论证比较后确定。在工业负荷密集的地区，要对所有热负荷统一规划，避免重复建设小型的自备热电站，造成投资多、效益差的不良后果。按国家有关部门规定，在半径 3~5km 区域内只能建一个热源点。应注意提高热负荷比重，一般供暖的热负荷比重不应低于 $83.7 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$ [$20 \times 10^6 \text{kcal}/(\text{km}^2 \cdot \text{h})$]。供生产用汽的热网不宜过长，一般不超过 3~5km。

二、机组选择

(一) 锅炉机组的形式

锅炉机组按主蒸汽参数可分为低压、次中压、中压和次高压机组。常见压力等级如下：

参 数	主蒸汽压力 MPa (kgf/cm ²)	主蒸汽温度 (℃)
低 压	1.27~1.57 (13~16)	350
次中压	2.45 (25)	400
中 压	3.82 (39)	450
次高压	5.29~6.27 (54~64)	450~485

按燃烧方式可分煤粉炉、链条炉、抛煤机炉、沸腾炉和旋风炉等。各类锅炉的特性见表 2-1。

(二) 汽轮机机组的形式

按进汽参数汽轮机机组可分为低压、次中压、中压和次压机组。常见压力等级如下：

参 数	进汽压力 MPa (kgf/cm ²)	进汽温度 (℃)
低 压	1.27 (13)	340

次中压 2.35 (24) 390
中 压 3.43 (35) 435
次高压 4.90~5.88 (50~60) 435~470

按热力特性汽轮机组可分为背压式、抽汽背压式、抽汽冷凝式和冷凝式几种。各类汽轮机的特性表见表 2-2。

各种类型锅炉特性表 表 2-1

项 目 \ 形 式	煤 粉 炉	链 条 炉	抛 煤 机 倒转炉排炉	沸 腾 炉	旋 风 炉
化学不完全燃烧损失 q_2 (%)	0	<2	<1	≈0	0
机械不完全燃烧损失 q_4 (%)	2~4	5~15	6~12	5~30	≈0
锅炉热效率 (%)	85 以上	70~82	70~82	65~72	85 以上
额定蒸发量 (t/h)	≥35	≤35	≤35	≤35 个别也有 65	≥75
适用煤种	无烟煤、烟煤、 贫煤、褐煤	Ⅰ、Ⅱ类无烟 煤、Ⅰ、Ⅱ类 烟煤、贫煤	Ⅲ类无烟煤、 Ⅰ、Ⅱ类烟煤、 贫煤、甘蔗渣	石煤、煤矸石、 褐煤	烟煤、无烟煤、 贫煤
负荷变化适应性	在额定蒸发量 的 70%时 可 稳定工作，负 荷变化较快	在额定蒸发量 的 50%时 仍 能稳定工作， 负荷变化缓慢	蒸发量变化范 围较大，负荷 变化较快	蒸发量变化范 围较大，负荷 变化快	负荷调节范围 小，不能快速 起停
锅炉出口烟气含尘量 (g/Nm ²)	15~20	2~5	6~9	20~30	

热电站常用汽轮机组特性表 表 2-2

项 目		机 组 形 式		
		背 压 式	抽汽背压式	抽汽冷凝式
相同锅炉容量和参数情况下	供 热 量	多	多	较 少
	发 电 量	少	少	较 多
发电煤耗	设计工况	低	低	较 高
	负荷突降	高	高	略有升高
电负荷与汽负荷关系		用多少汽，发多少电	用多少汽，发多少电	汽、电比例可调整
结构复杂程度		简单	复杂	复杂
辅机配套数量		少	少	多
可满足用汽压力等级		一种	两种	一种或两种

续表

项 目	机 组 形 式		
	背 压 式	抽汽背压式	抽汽冷凝式
可适应蒸汽负荷变化幅度	小	小	较大
系统复杂性	简单	简单	复杂
比较适用的场所	热负荷稳定，对电负荷无明显要求的情况 例如：纺织、印染	热负荷稳定，要求两种以上压力等级的负荷情况 例如：化肥、化纤	热负荷变化幅度大，变化频繁，希望多发电的情况 例如：造纸

1. 背压式汽轮机

背压式汽轮机是将汽轮机的排汽供热用户使用的汽轮机。主要特点是在设计工况运行时的经济性能好，节能效果明显。另外，它的结构简单，投资少，运行可靠。主要缺点是发电量取决于供热量，不能独立调节同时满足热用户和电用户的需要。因此，背压式汽轮机多用于有稳定的基本热负荷的热电厂。

2. 抽汽背压式汽轮机

抽汽背压式汽轮机是从汽轮机的中间级抽取部分蒸汽，供需要较高压力等级的热用户，同时保持一定背压的排汽，供需要较低等级的热用户使用的汽轮机。这种机组的经济性与背压式机组相似，设计工况下的经济性好，但对负荷变化的适应性差。

3. 抽汽冷凝式汽轮机是从汽轮中间级抽出部分蒸汽供热用户使用的冷凝式汽轮机。这种机组的主要特点是当热用户所需的蒸汽负荷突然降低时，多余蒸汽可以经过汽轮机抽汽点以后的级继续膨胀发电。这种机组的优点是灵活性较大，能够在较大范围内同时满足热负荷和电负荷的需要。因此适用于负荷变化幅度较大，变化频繁的区域性热电厂中。它的缺点是经济性比背压式机组差，而且辅机较多，价格较贵，系统也比较复杂。

4. 冷凝式汽轮机

这种机组是单纯用于发电的汽轮机。在我国某些严重缺电而又有廉价燃料资源和有大量煤矸石等低热值燃料的地区，或有大量烟气余热可利用的地区，为了解决供电不足，可采用冷凝式汽轮机。有时，在某些地区为了同时满足不同时间热电负荷需要，热电厂内可适当配置部分冷凝式机组。

(三) 小型热电厂供热机组的选择原则

小型热电厂供热机组形式的选择要遵循“热电联产，以热定电”的基本原则，结合本地区供电状况和热负荷的需要，以及国内供热机组的产品系列和运行情况，通过技术经济比较确定。选择原则如下：

1. 在保证安全经济运行条件下，应尽量选择较高参数和较大容量（如 6000kW 以上的次高压机组）的机组，同时机、炉台数不宜过多。

2. 供热区的热用户有稳定的热负荷，采暖期与非采暖期的热负荷相差不大，对以供生产用汽为主的热电厂，应优先选用背压式汽轮机组，其额定功率宜按全年的基本热负荷确定。