

工业锅炉丛书

陈士林

集中供热和热电结合

劳动人事出版社

图书专用章

工业锅炉丛书

集中供热和热电结合

陈士林

劳动人事出版社

集中供热和热电结合

陈士林

劳动人事出版社出版发行

(北京市和平里中街12号)

北京语言学院出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 6.375印张 136千字

1989年11月北京第1版 1989年11月北京第1次印刷

印数：1—10,000册

ISBN 7-5045-0485-8/TK·016 定价：2.90元

前 言

集中供热和热电结合是关系到我国城市能源建设、经济发展、保护环境及改善人民生活的大问题。在需要使用大量蒸汽和热水的区域和企业，都要考虑实现集中供热、热电结合的可能性。集中供热是城市规划的重要组成部分，也是一项重要的节能措施。

1986年2月，国务院批发了城乡建设环境保护部和国家计委“关于加强城市集中供热管理工作的报告”。近年来，我国集中供热、热电结合事业正以前所未有的速度发展。

为了便于我国广大能源工作者、锅炉工作者对集中供热、热电结合有一个全面的了解，在劳动人事部高级工程师李毅教授的倡导下，编写了这本书。本书叙述了集中供热、热电结合的基本概念和组成方式，介绍了热功转换的基本理论，评价了集中供热和热电结合的优越性和经济效益。通过对热力发电生产过程的分析，讲述了集中供热的规划方法及企业自备热电站的设计原则。同时，对集中供热的管理，集中供热技术在各方面的应用和发展作了介绍。本书可供城市规划和能源工作者、企业热能动力管理干部、锅炉管理及操作人员、中专及高等学校学生作为自学、培训教材及参考书。

在本书编写过程中，始终受到西安交通大学陈学俊教授的关心，南京汽轮机厂樊淑珍同志协助做了许多整理工作，李毅和石家骏同志给予了大力支持。在此表示感谢。

由于水平所限，内容如有错误之处，请读者批评指正。

一九八七年四月

目 录

前言

第一章 概述	1
第二章 集中供热的基本型式和发展概况	4
第一节 集中供热、热电结合的概念	4
第二节 热功转换	8
第三节 热电结合的组成方式	22
第三章 热力发电	31
第一节 火力发电厂的生产过程	31
第二节 发电厂技术经济指标	40
第三节 锅炉的工作原理和构造	48
第四节 汽轮机的工作原理和构造	65
第五节 供热汽轮机特性	76
第六节 热负荷特性	80
第七节 电能生产率及热化系数	88
第四章 集中供热和热电结合的收益	92
第一节 节约能源	92
第二节 改善环境	98
第三节 有利城市现代化建设	102
第四节 节约国家投资	104
第五节 热电结合典型方案的经济收益	105
第五章 集中供热、热电结合的规划	114
第一节 集中供热的规划原则	114

第二节	三种主要热源的特点·····	121
第三节	集中供热热电结合项目的可行性研究·····	125
第六章	企业自备热电站的设计·····	135
第一节	确定热负荷·····	135
第二节	锅炉选型·····	141
第三节	汽轮机选型·····	148
第四节	电站总体布置·····	158
第五节	中小热电站典型方案举例·····	164
第七章	集中供热、热电结合的管理·····	169
第一节	明确在城市发展中供热的方针·····	169
第二节	健全城市集中供热管理体制·····	170
第三节	采用多种渠道解决城市集中供热的建设资金·····	171
第四节	对集中供热采取优惠政策和合理的价格政策·····	172
第五节	加强集中供热的方法和管理工作的·····	173
第八章	集中供热、热电结合技术在一些行业的应用·····	175
第一节	化肥厂及工厂的能量综合利用·····	175
第二节	钢铁工业的低温低压余热回收·····	178
第三节	制糖工业的热电结合·····	180
第四节	炼油工业的综合用能及低温余热利用·····	182
第九章	城市集中供热的应用及发展方向·····	186
第一节	我国城市集中供热和热电厂的发展过程·····	186
第二节	我国集中供热发展的特点及趋势·····	188
第三节	国外集中供热发展情况·····	192
参考资料	·····	197

第一章 概 况

城市居民住宅区需要采暖和生活用热；城市工业区，尤其是化工、炼油、纺织、造纸、制糖等行业，在生产中也需要大量用热。例如一万平方米的住宅区，每小时需要1~1.5吨低压蒸汽的热量来采暖；年产一万吨合成氨的化肥厂，每小时需要10吨左右低压蒸汽用于工艺生产。随着我国人民生活水平的提高，随着我国工业生产的发展，全国工业锅炉的总数大幅度增加，各单位、各工厂都建设大量锅炉房来供热，因此供热问题是关系到生活和生产水平的提高，关系到能源消耗和环境保护的重大问题。

由于缺乏统一规划，相邻几个工厂，几栋大楼可能各建各的小锅炉房，甚至一个大单位有六、七个锅炉房，一墙之隔两个烟囱的现象也屡见不鲜。分散的小锅炉房采用数量多，容量小，效率低的小锅炉必然消耗大量的燃料，增加对环境的污染，增加费用，难于管理，供热水平也无法保证。

为了克服这些缺点，采用集中供热，用一个集中锅炉房或区域锅炉房对几个单位或一个地区统一供热将是有利的。锅炉的数量减少，容量增大，效率和自动化水平提高，将能大量节约能源，改善供热质量；几个甚至几十个烟囱变成一个烟囱将能大大改善环境污染。因此集中供热是在统一规划供热工程基础上的一项节能技术。

利用较大容量锅炉产生较高压力、较高温度蒸汽，然后

利用这部分能量先在汽轮发电机中做功发电，然后将压力温度降低后的蒸汽用于供热，称为热电联合生产，也称热电结合。这种既供热，又供电的生产方式，通常在既装有锅炉，又装有汽轮发电机的区域热电站或企业自备热电站中实现。热电合产技术较之热电分产能源利用率高得多。低压蒸汽全部利用的热电站热效率高达80%，即燃料所含热量中只有20%损失在大气中。而只发电不供热的大型发电厂热效率只有不到40%，即燃料所含热量中，有60%损失在大气和冷却水中。从节能的观点，从我国电力供应严重短缺的现状出发，因地制宜地推广热电结合技术是适宜的。

集中供热和热电结合与地区经济的发展，城市建设的规模，能源消耗，投资使用，环境的污染都有密切的关系，是一个必须综合考虑的技术政策。近20年来，我国集中供热，热电结合技术未得到足够的重视和充分的研究，也未得到应有的发展。全国热电合供机组在火力发电机组总容量中的比例，前些年有所下降，只占到11%左右。随着城市建设的发展，工业生产的增长，小型工业锅炉的总数增加很快，达到近30万台左右。平均单台容量不到2.5吨/小时，平均效率60%甚至更低，消耗2亿多吨原煤。这样不但浪费了大量能源，而且大大恶化了环境。因此，从长远的观点看，采用集中供热、热电结合是建设现代化工业和现代化城市的重要途径之一。

通过对一个单位，一个区域或者一个城市用热、用电水平的分析和调查，制定统一供热供电规划，可以合理布点分别建立区域锅炉房，企业自备热电站和大型热电厂，点而结合，互相配合实现集中供热和热电结合。在适宜的地方，配

合煤气的供应完全可以建成很少烟囱的清洁城市，创造理想的生活条件和工作条件。

在大工业中心，配合各种余热的回收和利用，可按总能源系统进行规划和建设。在老锅炉和老电厂的更新扩建中使用集中供热、热电结合技术将使老设备充分得到利用，事半功倍，效益明显。在有常年稳定热负荷的工厂中，采用背压发电机组发电将是适合的热电结合型式。另外燃汽轮机机组、大型内燃机组以及核反应堆均可实现集中供热、热电结合，节约宝贵的能源。

第二章 集中供热的基本型式 和发展概况

第一节 集中供热、热电结合的概念

首先，让我们来看一看，什么是集中供热，什么是热电结合，它们的基本涵义和概念是什么。

一、集中供热

简单地讲，集中供热就是由一个或几个集中的热源，通过热力管网同时向多个热用户供热，满足生活采暖用热和生产用热对蒸汽或热水的需求。

集中的热源通常是工业锅炉房。对一个单位供热可称为集中锅炉房，对一个区域供热可称为区域锅炉房；一般集中供热锅炉房采用单炉容量6.5~10吨/小时以上的锅炉房。集中的热源也可以是既供热，又供电，既装置锅炉又装置汽轮发电机组的热电站。由工厂企业管理的中小型热电站，主要任务是供热，通常称为企业自备热电站，它向企业自身供电，向企业自身也向外界供热。由电力部门管理的大型热电站，主要任务是供电，通常称为大型热电厂或区域热电厂，它向电网供电，同时向邻近热用户供热。另外，由工厂企业或电力部门保留下来的容量较小，效率尚可的锅炉房，可在严寒季节或供热高峰时期协助集中供热锅炉房及热电站供热，我

们称之为尖峰锅炉房。由上看来，集中的热源可以是一个集中锅炉房，也可以由区域锅炉房、企业自备热电站，大型热电厂，尖峰锅炉房联合组成，来对一个大区域集中供热。

热力管网输送的工质可以是热水，也可以是蒸汽。热水管网输送的距离可以在10公里以上，控制水温采取集中质调节。中小热水网的供水温度一般为 $95\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，输送距离较近；大型热水网的供水温度可达 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，输送距离可达几十公里。蒸汽管网输送距离一般限制在 $3\sim 5$ 公里以内。低压蒸汽管网的压力在 $4\sim 7$ 千克力/厘米² ($39.2\times 10^4\sim 68.6\times 10^4$ 帕)，中高压蒸汽管网的压力可在 $8\sim 40$ 千克力/厘米² ($78.4\times 10^4\sim 392\times 10^4$ 帕)。管网可以架空敷设，也可以地下敷设；可以采用辐射型，也可以采用环型。这要由规模、距离、重要程度和沿途情况决定。

热用户通常是工厂、企事业单位和居民住宅区。它们的用热参数、用热量、热负荷特性、用热介质各不相同，要区别对待，保证供给。

二、热电结合

热电结合简单的说就是在供热同时也供电。在同一个热源，同一套设备中将热能的生产和电能的生产结合起来的先进生产工艺，它是在热电站中实现的，利用了能接纳高温高压蒸汽做功发电，又能抽出低温低压蒸汽供应热能的蒸汽轮机作为主要设备之一。

集中供热中，我们采用了较大容量的锅炉，这就为热电结合创造了条件。锅炉容量增大，效率提高，同时出口蒸汽的参数可以提高。锅炉提供的较高压力、温度的蒸汽与生产

工艺及民用采暖所需低压蒸汽之间有一个压差、温差。利用这段压降温降做功发电可称为压差发电。热能转变为机械能是在汽轮机中进行的，机械能转变为电能是在汽轮机拖动的发电机中进行的。高品位的热能转变为电能，低品位的热能又可能全部得到利用，因此热电站的能量利用率很高，节能效果明显。

在常规火力发电厂中，如果只是发电，采用的是冷凝式汽轮机。高温高压蒸汽在汽轮机中做功，变成低温低压蒸汽。例如可以由 90 千克力/厘米² (882×10^4 帕) 压力，535°C 降到 0.03~0.08 千克力/厘米² ($0.294 \times 10^4 \sim 0.784 \times 10^4$ 帕) 压力，25~45°C 左右，即压力降到 1 个大气压以下的真空状态。这些疲乏的蒸汽，称为乏汽，已经没有做功的本领，却含有很多热量。它们被重新凝结成水时每公斤蒸汽放出 500~550 千卡的热量，全部被冷却水带走，因此冷凝式电厂热利用率不高，冷源热量损失达 60% 左右，热效率不到 40%。在热电站中，如果采用排出乏汽全部供给热用户的背压式汽轮机，例如采用汽轮机背部(尾部)蒸汽压力为 5 千克力/厘米² (49×10^4 帕)，则发电有所减少，但蒸汽热能基本得到全部利用，电厂热效率可能达到 90% 以上，充分显示了热电结合的节能效果。当然，还有一种汽轮机，介于冷凝式和背压式之间，我们称之为抽汽冷凝式汽轮机，它的中部有抽汽口，可以排出一部分或大部分做过功，还有一定压力的蒸汽，用来对热用户供热。尾部和冷凝式汽轮机一样，部分或少部分蒸汽冷凝成水后回收。安装了这种汽轮机的热电厂，热效率也比较好，介于冷凝式发电厂和背压式热电厂之间。一般大型热电厂主要采用抽汽冷凝式汽轮机，企业自备热电

站主要采用背压式汽轮机。

通过热电组合，同时发电供热，就将常规火力发电厂和工业锅炉房合为一体，使常规火力发电中乏汽凝结回收时必须损失的大量热量得到减免，使这部分热量全部或部分得到回收。另外热电站大型锅炉的效率可能达到90%，比一般工业锅炉效率高10~30%，又较之工业锅炉房直接供热节约了燃料。热电结合技术是一种先进的节能技术，值得大力推广。

总之，随着人民生活水平的提高，随着工业生产水平的提高，用增添新型工业锅炉的方法来更新改造老锅炉，来满足供热需求，只解决了基础和局部。只有推广集中供热，热电结合技术，才能解决整体和全局，它是一种结构和布局的改进，对城市现代化及城市能源建设有重大意义。尤其在消耗热能多，热负荷密度大的企业、地区和城市，更要引起足够的重视。

三、区域集中供热

图2—1表示了一个区域的集中供热情况。图中有15个工业热用户，主要需要生产用热的蒸汽，另有5个居民区主要需要采暖用热水。如果分散供热可能要20~30个工业锅炉房及采暖锅炉房。通过规划，现采用集中供热，就可以建立大型热网和六个热源。首先是大型热电厂，它与一个企业自备热电站，二个尖峰锅炉房，一个热水锅炉房联合，供应了绝大部分热用户的用热，包括热水负荷和蒸汽负荷。位于东北部的三个企业，由于距离偏远，单独建立了一个区域锅炉房，实行小区域的集中供热。在夏季和用热正常，处于平均水平时，这个区域只有三个烟囱冒烟，即大型热电厂，企业自备

热电站和东北部一个区域锅炉房在工作，只有在用热高峰期间或冬季严寒期，尖峰锅炉房及热水锅炉房才工作。显而易见，集中供热，热电结合是可行的，有利的。

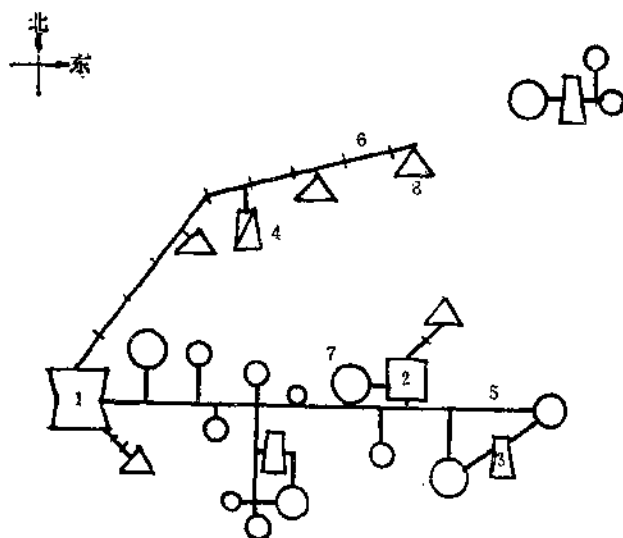


图2—1 区域集中供热示意图

1—大型热电厂；2—企业自备热电站；3—区域尖峰锅炉房；4—热水锅炉房；5—蒸汽管路；6—热水管路；7—热用户；8—居民采暖区

第二节 热功转换

自然界中可被人们利用的能源主要有风能、水能、太阳能、地热能、潮汐能、燃料的化学能及原子核能等。目前，

人们利用得最多的是燃料的化学能，通过燃烧使燃料的化学能转变为热能。

利用热能的方式有两种，一种是直接利用，另一种是间接利用。

可以把热能做加热的能源，直接利用它来加热。在各行各业的生产过程中，在日常生活中，这种例子很多。人们利用从锅炉中产生的蒸汽或热水，也可利用从工业窑炉中得到的高温烟气或炉气来完成蒸发、萃取、蒸馏、烘烤、锻造等过程的加热。日常生活中，采暖和做饭也是直接用热的例子。

如果把热能转换成别的能量形式而加以利用，就是热能的间接利用。这种能量转换必须通过具体的机器和设备来完成，热力发动机就是把热能转换成机械能的热力工程设备。包括蒸汽机，蒸汽轮机，燃气轮机，内燃机等都是热力发动机，或简称热机。它们被广泛地应用在工业、农业及交通运输等各个领域内，提供大量的动力。电力主要来源于烧煤的热力发电厂，飞机、轮船、车辆的驱动也靠燃料的热能提供动力。因此，不断改进热力设备的设计和制造，提高它们的性能，完善它们的使用维护和管理，从各方面节约热能和机械能是十分重要的。

热能和机械能相互转换的理论基础就是工程热力学。了解工程热力学的基本观点对研究和推广集中供热，热电结合有重要意义。

一、热能转变为机械能的过程

从燃料燃烧中得到热能，再利用热能得到动力的全套设备称热能动力装置。热能动力装置由于燃料、燃烧设备、

工质、传动方式的不同，可以分为蒸汽动力装置和内燃动力装置两大类。锅炉、蒸汽机或蒸汽轮机及其辅助设备组成蒸汽动力装置。内燃机，燃气轮机或喷射推进动力机及其辅助设备组成内燃动力装置。

图 2—2 是用于发电的蒸汽动力装置系统原理图。

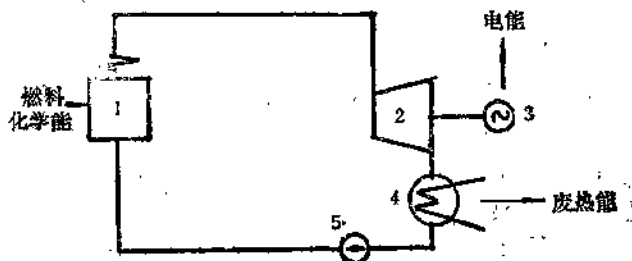


图 2—2 蒸汽动力装置原理示意图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—水泵

热力发电的基本生产过程是这样的：燃料在锅炉中燃烧释放出热能，使在锅炉中的水吸热，变成具有一定温度和压力的蒸汽；蒸汽在汽轮机喷嘴中膨胀加速，直接冲动汽轮机轮盘上的叶片，具有高速动能的蒸汽就将能量传递给叶片，使汽轮机转子高速旋转；汽轮机带动发电机转动，便发出了电；在汽轮机中做过功，压力温度降低后的蒸汽再在凝汽器中放出热量凝结成水，用水泵打回锅炉。这样，在整个蒸汽动力装置中；工质水或蒸汽就完成了—个循环。重复以上所说的过程，就连续地在锅炉、汽轮机和发电机三大设备中完成了从燃料的化学能到热能，从热能到机械能，再从机械能到

电能的转换。

在以上热力循环中，工质经过了吸热，膨胀做功、放热三个过程，这三个过程是研究热功转换的三个重要环节。

二、热功转换的数量关系

热能和机械能虽可互相转换，但转换时必须符合能量转换与守恒定律。热力学第一定律告诉我们：热能可以转变为机械能，机械能也可以转变为热能，转换时，它们的数量是相当的。这一规律适用于所有将热能转换为机械能的热机，也适用于摩擦生热这样的机械能转换为热能的情况。

热力学第一定律的数学表达式为：

$$Q = AW$$

式中 Q ——表示转变为机械能的热能，或由机械能转变而来的热能，单位是千卡（焦）。1千卡等于1千克的水在标准大气压下从 19.5°C 升高到 20.5°C 时所需的热量。（1千卡 $=4186.8$ 焦）。

W ——表示由热能转变成的机械能，或转变为热能的机械能，单位是千克·米（或焦）。

A ——称为功的热当量，表示1千克·米的功相当于 $\frac{1}{427}$ 千卡的热，既 $A = \frac{1}{427}$ 千卡/千克·米，（ $A = 9.81$ 焦/千克·米）。

发动机功率的单位，在工程实际中常用“马力”或“千瓦”表示。1马力 $=75$ 千克·米/秒；1千瓦 $=102$ 千克·米/秒。发动机功的单位常用“马力·小时”和“千瓦·小时”表示。