

高等学校试用教材

供热工程

(第二版)

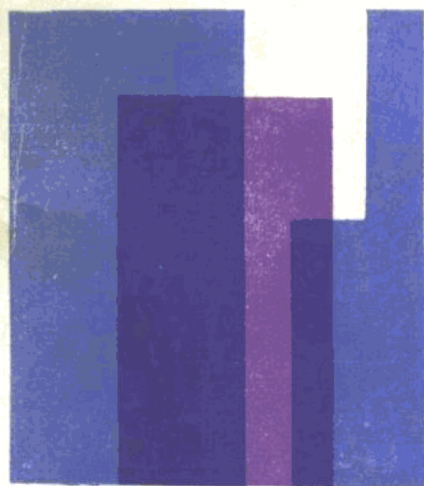
哈尔滨建筑工程学院

天津大学

西安冶金建筑学院

太原工业大学

编



中国建筑工业出版社

IV833

高等学校试用教材

供 热 工 程

(第二版)

哈尔滨建筑工程学院 天 津 大 学
西安冶金建筑学院 太原工业大学 编

中国建筑工业出版社

本书系高等学校供热通风专业“供热工程”课程的教材。

本书详细阐述了热水和蒸汽热媒的集中供暖系统、热用户供热系统的设计与运行调节的基本原理，并介绍了有关施工和管理的基本知识。与第一版比较，本版内容有较大调整，增强了集中供热内容，并增加了一章集中供热系统的技术经济分析。书中用了不少新材料和研究成果，并全部采用国际单位制。

本书也可供有关工程技术人员参考。

2P26/38
32

高等学校试用教材
供 热 工 程
(第二版)

哈尔滨建筑工程学院 天津大学 编
西安冶金建筑学院 太原工业大学

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 22¹/₂ 字数: 545 千字

1985年12月第二版 1985年12月第四次印刷

印数: 40,451—60,850册 定价: 3.25元

统一书号: 15040·4875

编写说明

本书是1980年出版的全国高等工科院校“供热通风与空气调节”专业试用教材《供热工程》的修订第二版。由哈尔滨建筑工程学院、天津大学主编，西安冶金建筑学院、太原工业大学参加编写。

本书保留原书将室内供暖与集中供热系统合并编写的特点，适当增加了集中供热方面的内容，并全部改用国际单位制。

绪论、第十一、十二、十五章由天津大学李英才、李苏兰、郑长印、王万达编写，第一、二章由太原工业大学罗自强、王宪恭编写，第三、四、五、六、七、十、十四章由哈尔滨建筑工程学院王义贞、贺平编写，第八、九、十三章由西安冶金建筑学院王亦昭编写。本书由贺平和李英才主编。

编 者

目 录

绪论	1
第一章 供暖系统的设计热负荷	6
第一节 供暖系统设计热负荷	6
第二节 围护结构传热耗热量	7
第三节 冷风渗透耗热量	19
第四节 冷风侵入耗热量	21
第五节 供暖设计热负荷计算例题	22
第六节 高层建筑供暖热负荷计算的特点	24
第二章 供暖系统的散热设备	28
第一节 散热器散热过程及对散热器的要求	28
第二节 散热器的种类及选择	29
第三节 散热器的计算	34
第四节 暖风机	40
第五节 钢制辐射板	43
第三章 室内热水供暖系统	48
第一节 自然循环热水供暖系统	48
第二节 机械循环热水供暖系统	53
第三节 高层建筑热水供暖系统	58
第四节 室内热水供暖系统的管路布置和主要设备	60
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	68
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	68
第二节 室内热水供暖系统水力计算方法和例题	73
第五章 室外热水网路的水力计算和水压图	92
第一节 热水网路水力计算的基本公式	92
第二节 热水网路水力计算方法和例题	94
第三节 水压图的基本概念	97
第四节 热水网路的水压图	100
第五节 加压泵站	108
第六章 热水供暖系统的水力工况	111
第一节 热水网路水力工况计算的基本原理	111
第二节 热水网路水力工况的分析和计算	113
第三节 热水网路的水力稳定性	118
第四节 用户系统的水力稳定性	120
第七章 热水供暖系统的供热调节	121
第一节 概述	121

第二节 供热调节的基本公式	121
第三节 几种主要的集中调节方法	123
第四节 热水供暖系统的最佳调节工况	130
第八章 蒸汽供热系统	137
第一节 蒸汽作为热媒的特点	137
第二节 室内蒸汽供暖系统	138
第三节 厂区蒸汽供热系统	143
第四节 凝水回收系统	145
第五节 疏水器及其它附属设备	149
第九章 蒸汽供热系统的水力计算	160
第一节 低压蒸汽供暖系统的水力计算特点及例题	160
第二节 室内高压蒸汽供暖管路水力计算特点	164
第三节 室外高压蒸汽管路的水力计算	167
第四节 高压蒸汽供热系统凝水管径的确定方法	172
第十章 集中供热系统	185
第一节 集中供热系统热负荷的概算和特征	185
第二节 集中供热系统型式	189
第三节 热电厂供热系统	191
第四节 区域锅炉房集中供热系统	197
第五节 工业余热的利用	210
第六节 集中供热系统的热力站	212
第十一章 水加热器	215
第一节 表面式水加热器	215
第二节 混合式水加热器	231
第十二章 喷射装置	236
第一节 喷射装置的分类与用途	236
第二节 蒸汽喷射泵	236
第三节 水喷射泵	249
第十三章 供热管道的敷设和保温	256
第一节 室外供热管道的平面布置	256
第二节 室外供热管道的敷设方式	257
第三节 管道的排水与放气	263
第四节 检查井及检查平台	263
第五节 供热管道的保温	264
第十四章 供热管道附件及支座的受力计算	274
第一节 供热管道及其附件	274
第二节 供热管道强度计算任务及许用应力的确定	281
第三节 管壁厚度及活动支座间距的确定	284
第四节 管道的热伸长及其补偿	286
第五节 固定支座的跨距及其受力计算	296
第十五章 集中供热系统的技术经济分析	301
第一节 供热工程技术经济分析的目的和方法	301

第二节 集中供热系统方案选择原则	309
第三节 热电联合生产和集中供热节约燃料量的计算	312
第四节 供热工程设计的技术经济问题	315
附录	319
附录0-1 国际单位制和公制单位的换算	319
附录1-1 某些民用建筑及工业企业辅助用室的冬季室内计算温度 $t_n(^{\circ}\text{C})$	319
附录1-2 工业企业工作地点温度 $t_o(^{\circ}\text{C})$	319
附录1-3 常用建筑材料的导热系数 λ	320
附录1-4 允许温差 Δt , 值($^{\circ}\text{C}$)	320
附录2-1 国产几种铸铁散热器技术经济指标	321
附录2-2 国产几种钢制散热器技术经济指标	321
附录2-3 计算散热器面积时, 考虑水在未保温暗装管道内的冷却应乘的修正系数 β	321
附录2-4 散热器安装方式不同的修正系数 β	322
附录2-5 块状辐射板规格表	322
附录2-6 带状辐射板规格表	323
附录2-7 块状辐射板的散热量(W) (板长1.8m, 与水平面夹角为 60°)	323
附录3-1 水在各种温度下的密度 ρ (kg/m^3)	323
附录3-2 在自然循环上供下回双管热水供暖系统中, 由于水在管路内冷却而产生的附加压力(Pa)	324
附录4-1 热水供暖系统管道水力计算表 ($t_g=95^{\circ}\text{C}$, $t_h=70^{\circ}\text{C}$, $K=0.2\text{mm}$)	325
附录4-2 热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ξ 值	327
附录4-3 热水供暖系统局部阻力系数 $\xi=1$ 的局部损失(动压头)值, $\Delta P_d=\rho v^2/2(\text{Pa})$	327
附录4-4 一些管径的 λ/d 值和 A 值表	327
附录4-5 按 $\xi_{sh}=1$ 确定热水供暖系统管段阻力损失的管径计算表	328
附录4-6 供暖系统沿程阻力及局部阻力概略分配比例表	329
附录4-7 管内热媒流动最大允许速度 (m/s)	329
附录4-8 单管顺流式热水供暖系统立管组合部件的 ξ_{sh} 值	330
附录4-9 单管顺流式热水供暖系统立管的 ξ_{sh} 值	331
附录5-1 热水网路水力计算表 ($K=0.5\text{mm}$, $t=100^{\circ}\text{C}$, $\rho=958.38\text{kg}/\text{m}^3$, $\nu=0.295 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	332
附录5-2 热水网路局部阻力当量长度表 ($K=0.5\text{mm}$)	334
附录5-3 局部损失与沿程损失的估算 比值 α 值	335
附录8-1 BS1H-16Q型热动力式疏水器最大连续排水量表	335
附录8-2 减压阀阀孔面积及接管直径选用图表	336
附录9-1 低压蒸汽供暖系统管路水力计算表 ($K=0.2\text{mm}$, $P=5000\sim 20000\text{Pa}$)	336
附录9-2 低压蒸汽供暖管路水力计算用动压头(Pa)	337
附录9-3 蒸汽供暖系统干式和湿式自流凝结水管管径计算表	337
附录9-4 室内高压蒸汽供暖管路管径计算表 (蒸汽压力 $P=3 \times 10^5\text{Pa}$, $K=0.2\text{mm}$)	338
附录9-5 室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度, m ($K=0.2\text{mm}$)	339
附录9-6 室外高压蒸汽管径计算表 ($K=0.2\text{mm}$, $\rho=1\text{kg}/\text{m}^3$)	340
附录9-7 二次蒸发汽数量 x , (kg/kg)	341
附录9-8 汽水混合物密度 ρ_r (kg/m^3)	341

附录9-9 凝结水管管径计算表 ($\rho=10.0\text{kg/m}^3$, $K=0.5\text{mm}$)	342
附录9-10 室内高压凝水管局部阻力当量长度, m ($K=0.5\text{mm}$)	343
附录10-1 一些民用建筑物供暖面积热指标概算值	343
附录10-2 热水用水量标准	344
附录10-3 热水小时变化系数 K_h 值	344
附录10-4 我国一些北方城市各室外温度间隔的出现小时数	345
附录12-1 $(\Delta P_s/\Delta P_p)_{max}$, $(f_s/f_p)_s$ 与 u 的关系表	348
附录13-1 保温材料及制品性能表	346
附录13-2 允许最大热损失表	347
附录14-1 常用管道规格和材料特性数据表	348
附录14-2 管道活动支座最大允许跨距表	348
附录14-3 不通行地沟管道的最大允许跨距表	349
附录14-4 碳素钢管弹性模数及线膨胀系数	349
附录14-5 单向套管式补偿器主要尺寸表	350
附录14-6 光滑弯管特性系数表	350
主要参考书目	351

绪 论

一、热能工程的任务

人们在日常生活和社会生产中都需要大量的热能。将自然界的能源直接或间接地转化为热能以满足人们需要的科学技术，称为热能工程。它是能源科学中的一个组成部分。利用热媒（如水、蒸汽或其它介质）将热能从热源输送到各热用户的工程技术，称为供热工程。本课程讲述的内容，主要是以水和蒸汽作为热媒的建筑物供暖系统和集中（区域）供热系统。

世界各国经济、技术发展的事实表明，生产过程的机械化、自动化和电气化程度越高，经济、技术越发展，劳动生产率越高，能源的消耗量也越多。在正常情况下，一个国家的能源消耗量的增长速度和国民生产总值的发展速度基本上成正比例，所以能源消耗量已成为衡量一个国家经济和技术发展水平的重要标志之一。1950年全世界能源总消耗量为26.64亿t标准燃料，平均每人1.08t标准燃料；1975年世界能源总消耗量达85.7亿t标准燃料，平均每人2.14t标准燃料。近二十五年来，世界能源消耗增长率平均每年为4.8%，大约十多年增加一倍。预计到本世纪末，世界能源消耗总量将增加两、三倍，至少将达200亿t标准燃料。

在能源消耗总量中，供暖及空气调节的能源消耗量占有很大比例。据统计，在美国和日本约占1/4~1/3左右，瑞典达45%；至于生产工艺用热消耗的能源所占比例就更大。因此，现代经济和技术的发展，对供热工程技术的要求很高。供热工程的设计应该从节约能源、提高能源利用率出发，因地制宜地确定综合利用能源的供热方案；研制高效率的供热设备以减少热能损失；采用现代化的自动调节控制系统以节约能源；同时应进行对新能源利用的研究工作。

二、供热工程的发展概况

火的使用、蒸汽机的发明、电能的应用以及原子能的利用，使人类利用能源的历史经历了四次重大的突破，也使供热工程技术的发展划分为四个阶段。

在人类很长的历史时期中，如北京原始人化石发源地龙骨山以及欧洲尼安德塔尔人化石发源地，都曾发现过烧火的遗迹，人们以火的形式利用能源。后来，人们为了取得热能，始用原始的炉灶获得热能以取暖、做饭和照明。这种局部的取暖装置至今还保留和使用着，如火炉、火墙、火炕等。

蒸汽机发明以后，促进了锅炉制造业的发展。十九世纪初期，开始出现了以蒸汽或热水作为热媒的供暖系统。在供暖系统中，由一个锅炉产生的蒸汽或热水，通过管路供给一座建筑物各房间取暖。1877年在美国建成了区域供热系统，由一个锅炉房供给全区许多座建筑物和生产与生活所用的热能。

二十世纪初期，一些工业发达的国家，开始利用发电厂中汽轮机的废汽，供给生活与生产用热。其后逐渐发展为现代化的热电厂，联合生产电能与热能，显著地提高了燃料利

用率。

二次大战后，特别是六十年代，世界能源的消耗，随着城市工业的发展和城市人口的增长而迅速地增加，1950~1965年间，联邦德国、捷克斯洛伐克等国热能消耗量增长了两倍，日本增长了3.7倍。巨大的热能消耗，不仅要求有足够的供应能力，而且要求提高供热效率和降低成本。此外，锅炉房多建于城市人口稠密区，煤烟粉尘和锅炉排出的二氧化硫气体是造成城市环境污染的主要原因。

在区域供热系统中采用大型现代化锅炉，燃烧效率高，尤其是综合生产热能与电能的热电厂可以大量节省能源、大型区域供热系统供热半径长、热源可以远离城市中心人口稠密区，并可装设有效的排烟脱硫和除尘设备以防止城市环境的污染。因此，近30年来区域供热事业的发展极为迅速。

区域供热技术的发展，各国因具体情况不同而各具特点。

苏联和东欧各国的区域供热的热源以热电厂为主。从热电厂供给的热媒参数多为 $4 \times 10^5 \sim 13 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的蒸汽和 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 的热水。苏联区域供热事业很发达，到1940年，区域供热在多数旧城市和新建城市中已相当普及，热网总长度达到650km，供热总量已超过 $1047 \times 10^{12} \text{ kJ/h}$ 。二次世界大战以后，苏联以平均每年10%的增长率发展区域供热，1962~1967年的五年间，供热总量增长将近一倍，达到 $2713 \times 10^{12} \text{ kJ/h}$ 。到1969年，仅莫斯科就有热电厂11座，供热总量达 $415 \times 10^8 \text{ kJ/h}$ ，最大供热半径为20km。1978年，莫斯科有热电厂14座，区域锅炉房20座，总供热能力为 $1083 \times 10^8 \text{ kJ/h}$ ，住宅与公共建筑集中供热率已达90%以上，管网总长度3000km、最大管径1400mm。

美国和西欧各国的区域供热的热源，多以区域锅炉房为主，早期以蒸汽作为主要热媒，二次世界大战以后，以高温水为热媒的区域供热系统发展很快。近年来，在法国、瑞士等国出现了一些城市区域供热锅炉，以城市垃圾作为主要燃料。

从世界范围来看，解决能源紧张问题的途径有两条：一是开源，二是节流。因此，在对常规能源积极开展综合利用，提高能源利用率的同时，从本世纪中期开始，世界上许多国家都在注意对新能源开发和利用的研究，近年来发展非常迅速。

原子核的裂变和聚变可以释放出巨大的能量。据有关资料估计，地球上的铀、钍矿藏量按能量计算，相当于地球上总矿物能源的20余倍，将来实现受控核聚变反应，则海水中的氘和氚都将作为可用的燃料，能源资源是无限的。原子能的和平利用在50年代获得成功，现在世界上已建成原子能电站近300座。例如，热电联合生产的瑞典斯德哥尔摩附近的沃加斯塔原子能热电站，用背压汽轮机排出的乏汽加热高温水，供给距厂4.5km的发鲁斯塔地区15000户，四万人口的住宅区取暖。据有关资料预计到八十年代末，原子能电站的总功率将达4亿kW。

地球是一个巨大的热库。据估计地球上的地热资源储量是全部煤炭资源储量的17000万倍。仅地下3公里以内可供开采的地热资源相当于29000亿t煤炭。利用地下热能供热已受到人们的广泛重视。

利用地热供暖已有70多年的历史，世界上最早利用地热供暖的有意大利和新西兰等国家。目前冰岛每年利用地热相当于 $1.5 \times 10^8 \text{ kWh}$ 的电能，以供给全岛居民取暖。冰岛的雷克雅未克城，把地下 98°C 的水用水泵提高到高位贮水箱，供给该市取暖。苏联高加索北坡500km的几个点上，已广泛地发展地热供热系统。美国加利福尼亚州有十一个城市采

用地热区域供热。

太阳能是一种巨大的无污染的自然能源，每年投射到地球表面的太阳能，相当于130万亿t标准煤的热量。太阳能热利用在几十年前就开始研究过，由于技术和经济问题，一直进展不大。近年来由于世界性能源危机和严重的城市环境污染，又开始引起人们的注意。目前，世界各国都在积极开展太阳能利用的研究工作。据1978年3月国际太阳能会议报导，美国已经有5000栋住宅和建筑物利用太阳能取暖，预计到1985年将达到250万栋，那时每年将节约石油400万t。

在供暖设备方面，长期以来使用的铸铁散热器，已逐渐为钢板模压、异型钢管、铸钢和铸铝散热器所代替。在民用建筑中很多采用细金属管道或塑料管道预埋入顶棚和地板中的辐射供暖；在美国和西欧等国家，大量采用踢脚板散热器和电热供暖。

工厂的高大车间很多采用蒸汽或高温热水辐射供暖。例如法国巴黎奥莱机场的大型飞机库，就采用了带形辐射板与地面条缝送热风相结合的供暖方式，机库总面积15000m²，高为15m，在靠近大门的地面上安装一条5mm宽的条形缝隙热风幕，在室外温度降至1°C时，热风幕自动以15m/s的风速由缝隙中吹出，阻挡室外冷风侵入。带状辐射板由三根直径40mm钢管组成，每组30m长，热媒为160°C高温水。

三、我国供热事业的发展

我国地域辽阔、资源丰富、历史悠久。西安半坡村发掘出土的新石器时代仰韶时期的房屋中，就发现有长方形灶坑，屋顶有小孔用以排烟，还有双连灶形的火炕。在《古今图书集成》中记载，夏、商、周时期就有供暖火炉，从出土的古墓中看出，汉代就有带炉箆的炉灶和带烟道的供暖设备。火炉、火墙、火炕在我国北方目前还广泛使用。火地是我国宫殿中常用的供暖形式，至今在北京故宫和颐和园中还完整的保存着，这是辐射供暖的原始形式。

在旧中国，只有在大城市为数很少的建筑中，装设了集中供暖设备，工厂中只有生产所必需的陈旧锅炉设备和简单的供热管道。供热事业的基础非常薄弱。

解放后，随着国民经济建设和人民生活水平的不断提高，我国供热事业也得到了迅速的发展。绝大多数工业企业和民用建筑都装设了集中供暖设备。从第一个五年计划开始，许多新建的大型工业企业都建立了热电厂，供给工业生产的电能和热能以及车间和职工住宅的取暖。1959年我国第一座城市热电站——北京东郊热电站投入运行。从六十年代开始，我国已经能够自己设计制造大、中、小型的成套热电厂设备以及各种型式工业锅炉设备。

近年来，城市集中供热发展较快，1980年全国只有七个城市有集中供热，1981年增加到15个城市，供热面积达2252万m²，其中北京现有两个热电站、一个蒸汽工厂、供热能力为344×10⁷kJ/h，这两年又批准沈阳、大连等十个城市的集中供热建设项目，新建热网长度207km、供热面积660.5万m²。东北、西北、华北地区许多工业企业建立了各种形式的高温水供热系统、工厂车间开始使用钢制辐射板、民用建筑中开始安装钢串片、钢制片式、钢板模压等新型散热器。在燃用低值燃料和热能综合利用方面，也做了大量的研究工作，取得了显著的效果。例如，沸腾炉燃烧技术的研究，对大量燃用低值燃料起了很大的推动作用。全国许多城市的工业企业能平衡测定工作，促进热能综合利用技术的发展，如上钢二厂在一台轧钢加热炉上回收五种余热，总回收余热产生蒸汽20.5t/h，使加热炉

热能利用率由原来的30%提高到70%。

关于新能源的开发和利用的研究,我国也正在积极开展。目前全国已有20多省市和自治区开展了地热能的勘探和开发利用。西藏羊八井附近和云南腾冲地带,相继发现了地热湿蒸汽田、天津南郊万家码头打出了98°C的地热水井,为开展地热发电和集中供热以及农业暖房等方面的利用研究提供了有利的条件。太阳能热利用的研究已引起各部门的重视,正在积极开展工作。太阳能热水器、太阳灶已推广应用,目前我国正在研究和应用太阳能暖房,已初见成效,已建成被动式太阳能暖房近百座。

四、集中供热系统的型式与本课程的主要内容

目前应用最广泛的是以蒸汽或热水作热媒的集中供热系统,主要有两种型式:区域锅炉房供热系统和热电厂供热系统。

以热水为热媒的区域锅炉房集中供热系统,如图0-1所示。它利用循环水泵2使水在系统中循环。水在热水锅炉1中被加热到需要的温度后,通过供水干管输送到各热用户,供取暖用热与加热生活用热水。循环水在各热用户被冷却后,又通过循环水泵送入锅炉再重新加热。系统中损失和消耗的水量由补给水泵3补充经过净化、除氧和化学处理的净水。系统内的压力由压力调节阀4控制。

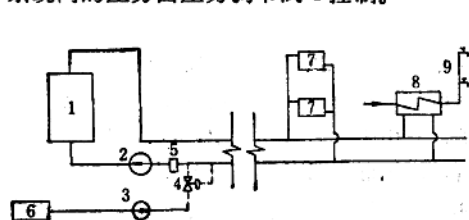


图 0-1 区域热水锅炉房供热系统

1—热水锅炉; 2—循环水泵; 3—补给水泵; 4—压力调节阀; 5—除污器; 6—补充水处理装置; 7—供暖散热器; 8—生活热水加热器; 9—生活用热水

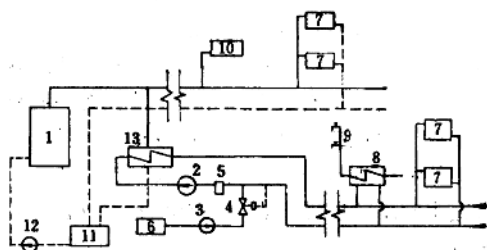


图 0-2 区域蒸汽锅炉房供热系统

1—蒸汽锅炉; 2—循环水泵; 3—补给水泵; 4—压力调节阀; 5—除污器; 6—补充水处理装置; 7—供暖散热器; 8—生活热水加热器; 9—生活用热水; 10—生产用蒸汽; 11—凝结水箱; 12—锅炉给水泵; 13—热网水加热器

安装蒸汽锅炉的区域锅炉房供热系统如图0-2所示。从蒸汽锅炉1产生的蒸汽,通过蒸汽干管输送到各热用户,供生产、生活和供暖用热。各用户的凝结水,经过凝结水干管流回锅炉房的凝结水箱11,再由锅炉给水泵12注入锅炉。从锅炉产生的蒸汽,也可以通过热网水加热器13,加热热水供热管网的循环水输送到各热用户。

安装背压式汽轮发电机组的热、电联合生产的热电厂供热系统如图0-3所示。这种系统适用于工业区或工业企业自备热电厂。从蒸汽锅炉产生的高压、高温蒸汽进入背压式汽轮机,在汽轮中进行膨胀,推动汽轮机转子高速旋转,带动发电机发出电能供给电网。蒸汽在汽轮机中膨胀至压力降为 $8 \sim 13 \times 10^5 \text{ Pa (abs)}$ 时,由汽轮机排出进入蒸汽供热系统,供给各蒸汽用户;也可以进入热网水加热器,加热热水供热系统的循环水,供给热水热用户。蒸汽供热系统的凝结水和热网水加热器的凝结水集中回收后,再经过净化、除氧和化学处理,作为锅炉的给水。

安装具有可调节抽汽口的汽轮发电机组的热电厂供热系统如图0-4所示。具有可调节

抽汽口的供热汽轮发电机组的抽汽量，可以根据热用户的用热负荷的变化而调节抽汽量。从锅炉产生的高压、高温蒸汽进入汽轮机，蒸汽在汽轮机中膨胀作功，推动汽轮发电机组高速旋转，发出电能投入电网供电。在汽轮机中当蒸汽膨胀至压力降为 $8 \sim 13 \times 10^5 \text{ Pa}$ (abs) 时，可根据该区域用热负荷变化抽出适量的蒸汽供热，剩余的蒸汽继续在汽轮机中膨胀作功，直到压力降为冷凝器所能维持的真空度时，排入冷凝器凝结为水。这种系统的其他部分的工作原理基本上与前述几种系统相同。

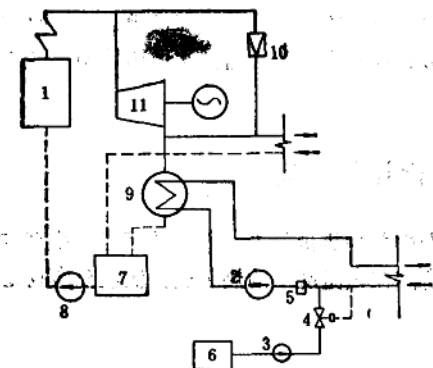


图 0-3 背压式热电厂供热系统

1—蒸汽锅炉，2—循环水泵，3—补给水泵，4—压力调节阀，5—除污器，6—补水处理装置，7—凝结水回收装置，8—锅炉给水泵，9—热网水加热器，10—减压减温装置，11—背压式汽轮发电机组

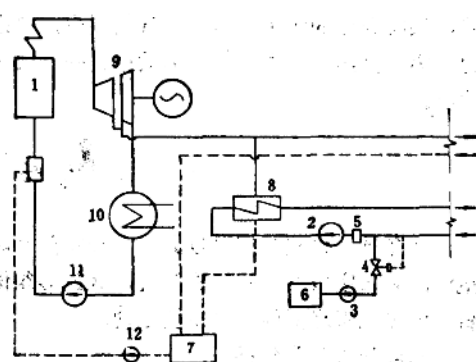


图 0-4 热电厂供热系统

1—锅炉，2—热水网循环水泵，3—补给水泵，4—压力调节阀，5—除污器，6—水处理设备，7—凝结水箱，8—热网水加热器，9—汽轮发电机组，10—冷凝器，11、12—凝结水泵

集中供热系统由三大部分组成：

1. 使燃料燃烧产生热能，将热媒加热成为高温水或蒸汽的区域锅炉房或热电厂，总称之为热源。
2. 由区域供热蒸汽管网或热水管网组成的热媒输配系统，总称之为热网。
3. 由建筑物内供暖、生活与生产用热系统与设备组成的热用户系统，总称之为热用户。

本专业设置的专业课《锅炉及锅炉房设备》中专门论述锅炉及锅炉房的内容。在《工程热力学》中论述过热电厂的基本工作原理，至于全面地论述热电厂课程则是热力发电厂专业的任务。

在本课程之前，应系统地学习过《传热学》、《工程热力学》、《流体力学》等技术基础课程，要求有较好的专业基础理论。本课程主要内容是阐述以热水和蒸汽为热媒的集中供暖系统和热用户供热系统的设计与运行调节的基本原理。

第一章 供暖系统的设计热负荷

供暖系统设计热负荷是供暖设计中最基本的数据，它的数值直接影响着供暖方案的选择，供暖管径的大小，散热设备的多少，关系着供暖系统的使用效果和经济效果。同时它也是集中供热系统设计的基本数据之一，因而也影响着锅炉设备的选择和供热管网管径的大小。

第一节 供暖系统设计热负荷

在冬季，供暖房间可以具有各种得热来源和产生各种热量损失。人们为了进行生产和生活，要求室内具有一定的温度，这就必须保持房间在该温度下的热平衡。供暖热负荷是根据冬季供暖房间的热平衡决定的。

房间的失热量包括：

- (1) 围护结构的传热耗热量 Q_{11} ;
- (2) 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_{12} ;
- (3) 加热由门、孔洞和其它生产跨间流入室内的冷空气的耗热量 Q_{13} ;
- (4) 加热由外部运入的冷物料和运输工具的耗热量 Q_{14} ;
- (5) 水分蒸发的耗热量 Q_{15} ;
- (6) 加热由于通风进入室内的冷空气的耗热量 Q_{16} ;
- (7) 通过其它途径散失的热量 Q_{17} 。

房间的得热量包括：

- (1) 工艺设备的散热量 Q_{21} ;
- (2) 热物料的散热量 Q_{22} ;
- (3) 热管道及其它热表面的散热量 Q_{23} ;
- (4) 太阳辐射进入室内的热量 Q_{24} ;
- (5) 人体散热量 Q_{25} ;
- (6) 通过其它途径获得的热量 Q_{26} 。

供暖系统的热负荷是指在某一室外温度下，为了达到要求的室内温度，保持房间的热平衡时，供暖系统在单位时间内向建筑物供给的热量。它随着建筑物房间的得失热量的变化而变化。而供暖系统的设计热负荷，是指在设计室外温度下，为了达到上述同样要求时，供暖系统在单位时间内向建筑物供给的热量。它是设计供暖系统的最基本依据。

对于一般民用建筑和产生热量很少的工业建筑，供暖系统设计热负荷的计算通常只考虑围护结构的传热耗热量，加热由门窗缝隙渗入室内的冷空气耗热量，以及加热由门、孔洞和其它生产跨间流入室内的冷空气耗热量和太阳辐射得热量，其它往往可以忽略不计。

围护结构的传热耗热量是指当室内温度高于室外温度时，通过围护结构向外传递的热

量损失。在计算中又把它分成为围护结构传热的基本耗热量和附加（修正）耗热量两部分。基本耗热量是指在一定条件下，通过房间各部分围护结构（门、窗、地板、屋顶等），从室内传到室外的稳定传热量的总和；附加（修正）耗热量是由于围护结构的传热条件发生变化而对基本耗热量的修正。太阳辐射得热量的影响，对于一般的民用和工业建筑，在工程上也常采用修正耗热量的计算方法。修正耗热量包括朝向修正、风力修正和高度修正等。

热管道的散热量是指非供暖系统的其它热管道的散热量。它作为房间得热量，用以抵销部分失热量，从而减少供暖系统的设计热负荷。在计算供暖系统散热设备时，如考虑了供暖系统热管道散入房间的有效散热量后，就可以适当减小散热设备的面积。

从设计安全可靠角度考虑，其它几项的得热量，只有是经常性的散热量才能列入。经常而不稳定的散热量，通常采用一天内的小时平均值。工艺设备散热量应采用最小负荷班的数值。人体散热量在一些特殊工程中，例如在人员较多的影剧院，教室等建筑物应适当考虑。

工业厂房的其它得热量和耗热量，可以根据工艺特点和过程，以及对室温的要求进行计算。

第二节 围护结构传热耗热量

围护结构的传热是很复杂的传热现象。它包括表面吸热，结构导热和表面放热三个基本过程。而这些过程又是由导热、对流和辐射三种基本传热方式组合而成的。

供暖设计热负荷是按稳定传热过程来进行计算的，即假设在计算的时间内，室内、外空气温度和其它的传热过程参数都不随时间而改变。但是这种情况在实际生活中是并不存在的，因为室内空气温度及围护结构内部温度，由于供热系统散热设备的放热波动、室外空气温度和其它很多因素发生变化而不断变化着，室外空气温度也随着季节的和昼夜的变化而不断波动。因此，通过围护结构的传热量也随时间而变化，也就是说发生了复杂的不稳定传热过程。

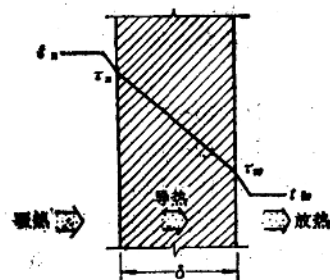


图 1-1 通过围护结构的传热过程

可见，稳定传热过程是有条件的，特殊的传热情况；而不稳定传热过程才是符合客观实际的。但是，由于不稳定传热的计算比较复杂，在工程上通常以某一稳定传热过程来代替实际的不稳定传热过程，以稳定传热的简单计算来代替不稳定传热的复杂计算。这固然有一定的误差，但却是一种便于使用的计算方法。

一、围护结构基本耗热量的计算

围护结构基本耗热量，就是在一定传热条件下通过房间各部分围护结构（门、窗、墙、地板、屋顶）由于房间内外空气的温度差，从室内传向室外的热量。在稳定传热条件下，通过各部分围护结构的传热量，即围护结构的基本耗热量可按下式计算：

$$q' = KF(t_n - t_w) \alpha \quad \text{W} \quad (1-1)$$

式中 K ——围护结构的传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

F ——围护结构的面积, m^2

t_n ——冬季室内计算温度, $^\circ C$;

t_w ——供暖室外计算温度, $^\circ C$;

a ——围护结构的温差修正系数。

整个房间的基本耗热量等于它的围护结构各部分基本耗热量的总和:

$$Q' = \sum q' = \sum K F (t_n - t_w) a \quad W \quad (1-2)$$

为了计算和以后修正时的便利,把围护结构按照朝向、材料结构和室内外温差的不同而划分为各个计算部分。对一侧不与室外气温直接接触的围护结构,当内外温差大于 $5^\circ C$ 时,宜计算通过该围护结构的传热量。

下面对式(1-1)中各项分别加以分析讨论:

(一) 室内计算温度

室内计算温度一般是指距地面 2 m 以内人们活动地区的平均空气温度。室内计算温度的高低应满足人的生活要求和生产的工艺要求。生产要求的温度一般由工艺设计人员提出。人们生活要求的温度,主要决定于人体的生理热平衡。它和许多因素有关,如房间的用途,室内的潮湿情况和散热强度、劳动强度以及生活习惯、生活水平等。

在设计集中供暖时,对于民用建筑,其主要房间的冬季室内计算温度,按建筑物的等级采用不同的温度:

甲等高级民用建筑: $20 \sim 22^\circ C$;

乙等中级民用建筑: $18 \sim 20^\circ C$;

丙等普通民用建筑: $16 \sim 18^\circ C$ 。

对于工业企业的生产厂房,规定的是其工作地点的空气温度,一般宜按下列规定采用:

轻作业: $15 \sim 18^\circ C$;

中作业: $12 \sim 15^\circ C$;

重作业: $10 \sim 12^\circ C$ 。

当工作人员较少,每名工人占用较大面积($50 \sim 100 m^2$)时,其下限温度可相应再降低 $5^\circ C$ 。当每名工人占用的面积超过 $100 m^2$,工艺又无特殊要求时,一般不设置全面供暖,而应根据工作地点是否固定,设置局部供暖或取暖室解决。工厂中在非工作时间内,为了保证车间内设备的润滑油和各种管路不冻结,温度要求维持在 $5^\circ C$ 的水平,这个温度叫作值班供暖温度。

选取室内温度应根据现行的《工业企业采暖通风及空气调节设计规范》,《工业企业设计卫生标准》。建筑物的等级和分类,应按《民用建筑等级标准》执行。

附录1-1和1-2中给出了一些民用建筑和工业辅助建筑的室内计算温度,以及工业厂房工作地点的空气温度。

在计算围护结构基本耗热量时,冬季室内计算温度一般是采用房间工作区的温度。当房间的高度较大时,由于对流作用使热空气上升,房间上部的空气温度高于下部空气温度,这样就使上部围护结构的耗热量加大,因此,生产厂房的冬季室内计算温度 t_n 一般应按下列规定采用:

- (1) 计算地面的耗热量时, 用工作地点的空气温度 t_a , °C;
- (2) 计算屋顶和天窗的耗热量时, 采用屋顶下的温度 $t_{\text{下}}$, °C;
- (3) 计算墙、门和窗的耗热量时, 用室内平均温度 $t_{\text{平}}$, $t_{\text{平}} = (t_a + t_{\text{下}}) / 2$ °C。

屋顶下的空气温度由于受车间性质, 供暖方式和布置, 热设备的布置等很多因素影响, 确定比较复杂, 方法也很多。最好是对已有的类似车间进行实测确定, 在一些散热比较均匀的车间, 可按温度梯度法确定。即

$$t_{\text{下}} = t_a + \Delta t (H - 2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

式中 H ——屋顶距地面的高度, m;

Δt ——温度梯度, °C/m。

(二) 供暖室外计算温度

在计算围护结构的基本耗热量时, 我们假设了传热过程是在稳定状态下进行的, 即围护结构的各种传热参数都不随时间而改变, 其中室外计算温度也是采用某一固定数值。但是, 在整个供暖期中, 室外空气温度是经常变化的。这样就出现了围护结构基本耗热量计算时, 室外计算温度究竟采用多大的问题。室外计算温度采用过低, 会造成设备投资的浪费; 如采用值过高, 则不能保证供暖的效果。

从上面的分析可以看出, 供暖室外计算温度应是我们按照稳定传热公式计算房间的向外传热量时可以采用的一个假想的外温数值。根据这数值算出的结果, 应足以反映通过实际的不稳定的向外传热过程中所传出的热量。

怎样确定供暖室外计算温度的认识是逐渐深入的。经历了由设计人员按个人经验选定, 到以当地气温记录作为依据, 与气温波动发生联系来选定的过程。

随着人们对于波动的外温作用下的房屋围护结构传热规律的认识不断深入, 认识到对于房屋向外不稳定传热最有影响的因素不仅是气温记录中互相孤立的数值, 而且是气温变化的过程特点, 同时认识到房屋围护结构本身热惰性对室内温度的影响。综合国内外确定供暖室外计算温度的原则, 可以归纳为两种: 第一种是根据围护结构的热惰性去选择一个足以影响室内温度的统计周期内的平均温度作为供暖室外计算温度。例如现行的苏联建筑法规规定, 供暖室外计算温度要按50年中最冷的八个冬季里最冷的连续五天的日平均气温的平均值来选定。第二种是在实际出现室外温度的基础上进行统计, 并允许有一定的时间可以低于设计值, 根据不保证时间, 得出供暖室外计算温度。我国采用了第二种方法来确定供暖室外计算温度。

我国《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》里规定: “采暖室外计算温度, 应采用历年平均每年不保证5天的日平均温度”。我国规范所采用的方法以日平均温度为统计基础, 是已考虑到一般围护结构都具有一定的热惰性。统计年份采用1951~1970年, 共20年, 采用年代长一些可以比较充分反映各地冬季气候变化的情况。文中所谓“平均每年不保证5天”也就是说在20年的统计年份里, 总共可有100天的实际日平均气温低于所取的室外计算温度。

(三) 温差修正系数

计算与大气直接接触的外围结构的基本耗热量时, 所用公式是 $q' = KF(t_a - t_{\text{下}})$ 。但是, 供暖房间的围护结构的外侧有时并不是室外, 而中间隔着不供暖的房间或空间。此时通过该围护结构的传热量应为 $q' = KF(t_a - t_{\text{中}})$, 式中 $t_{\text{中}}$ 是传热达到平衡时非供暖房间的