

高等学校试用教材

供 热 工 程

哈尔滨建筑工程学院 天津大学
西安冶金建筑学院 太原工学院 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”课程试用教材。书中主要阐述以蒸气和热水为热媒的区域供热的基本原理和设计方法，以及有关施工运行管理的基本知识。

本书亦可供有关专业工程技术人员参考。

高等学校试用教材

供 热 工 程

哈尔滨建筑工程学院 天津大学 编
西安冶金建筑学院 太原工学院

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：22 1/2 字数：548 千字

1980年9月第一版 1982年5月第二次印刷

印数：12,451—26,350册 定价：2.30元

统一书号：15040·3861

编写说明

本书是全国高等工科院校“供热通风”专业的试用教材。由哈尔滨建筑工程学院、天津大学、西安冶金建筑学院、太原工学院合编。

全书共分六篇，十七章。其中绪论、第十一、十二、十四、十五章由天津大学李英才、王荣光、李苏兰同志编写；第一、二章由太原工学院李明、刘树铨同志编写；第三、四、五、六、七、十三、十七章由哈尔滨建筑工程学院郭骏、贺平、王义贞同志编写；第八、九、十、十六章由西安冶金建筑学院王亦昭同志编写。

本书由李英才和贺平同志主编，并由清华大学王兆霖和蔡启林同志主审。在编写过程中承蒙不少的单位和个人对教材初稿提出了许多宝贵意见，谨此致谢。

编者

目 录

绪 论	1
第一篇 供热系统的热负荷与散热设备	
第一章 供热系统的设计热负荷	6
第一节 供暖设计热负荷	6
第二节 集中供热系统的设计热负荷	24
第二章 集中供暖的散热设备	27
第一节 散热器	27
第二节 暖风机	36
第二篇 热 水 供 暖	
第三章 室内热水供暖系统	38
第一节 自然循环热水供暖系统	38
第二节 机械循环热水供暖系统	44
第三节 高层建筑供暖系统	50
第四节 室内热水供暖系统的管路布置和主要设备	52
第五节 室内热水供暖系统和室外网路连接的方式	58
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	60
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	60
第二节 室内热水供暖系统水力计算方法和例题	67
第五章 室外热水网路的水力计算和水压图	85
第一节 热水网路水力计算的基本公式	85
第二节 热水网路水力计算方法和例题	88
第三节 水压图的基本概念	91
第四节 热水网路的水压图	94
第六章 热水供暖系统的水力工况	101
第一节 热水网路水力工况计算的基本原理	102
第二节 热水网路水力工况的分析和计算	105
第三节 热水网路的水力稳定性	109
第四节 用户系统的水力稳定性	111
第七章 热水供暖系统的调节	112
第一节 概述	112
第二节 运行调节的基本公式	112
第三节 几种主要的调节方法	115
第四节 供暖系统的最佳调节工况	120
第五节 建筑物内部的温度失均	127

第三篇 蒸汽供热

第八章 蒸汽供热系统	132
第一节 室内蒸汽供暖系统	132
第二节 厂区蒸汽供热系统	140
第三节 凝水回收系统	142
第九章 蒸汽供热系统的水力计算	146
第一节 低压蒸汽供暖系统的水力计算特点及例题	146
第二节 室内高压蒸汽供暖管路水力计算特点	151
第三节 室外高压蒸汽管路的水力计算	153
第四节 高压蒸汽供热系统凝水管径的确定方法	157
第十章 蒸汽供热系统的设备	171
第一节 疏水器	171
第二节 减压阀	180
第三节 其它凝水回收设备	182

第四篇 辐射供暖与太阳能供暖

第十一章 辐射供暖	184
第一节 概述	184
第二节 辐射散热设备的型式和性能	185
第三节 辐射供暖设计	188
第十二章 太阳能供暖	193
第一节 太阳辐射能及其利用	193
第二节 太阳能供暖型式	196
第三节 太阳能供暖系统部件	199

第五篇 集中供热系统及其主要设备

第十三章 集中供热系统	201
第一节 确定集中供热系统方案的基本原则	201
第二节 热电厂供热系统	204
第三节 蒸汽锅炉房的集中供热系统	209
第四节 热水锅炉房的集中供热系统	213
第十四章 水加热器	224
第一节 壳管式表面水加热器的构造及特点	225
第二节 水加热器的热力计算	227
第三节 壳管式水加热器主要结构尺寸的设计	233
第四节 水加热器的阻力计算	236
第五节 淋水式水加热器	240
第六节 中间加热器	243
第十五章 喷射装置	245
第一节 水喷射泵	245

第二节 蒸汽喷射泵	253
-----------------	-----

第六篇 供 热 管 道

第十六章 供热管道的敷设及保温	265
第一节 室外供热管道平面布置	265
第二节 室外供热管道的敷设方式	266
第三节 管道的排水与放气	271
第四节 检查井及检查平台	272
第五节 供热管道的保温	272
第十七章 供热管道附件及支座的受力计算	280
第一节 供热管道及其附件	281
第二节 供热管道强度计算任务及许用应力的确定	287
第三节 管壁厚度及活动支座间距的确定	290
第四节 管道的热伸长及其补偿	294
第五节 固定支座的跨距及其受力计算	304

附 录

附录0-1 公制单位和国际制单位的换算	309
附录1-1 某些民用建筑的室内计算温度 $t_n(^{\circ}\text{C})$	309
附录1-2 工业车间的室内计算温度 $(^{\circ}\text{C})$	310
附录1-3 常用建筑材料的导热系数 λ	310
附录1-4 允许温差 Δt 值	311
附录1-5 机械制造厂各主要建筑物供暖通风热负荷概算指标	311
附录2-1 国产主要铸铁散热器技术经济指标	313
附录2-2 钢串片散热器结构尺寸及技术数据	313
附录2-3 三种国产散热器的传热系数(水流上进下出)	313
附录2-4 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_1	313
附录2-5 散热器安装方式不同的修正系数 β_2	314
附录2-6 流量不同的修正系数 β_3	314
附录2-7 片数不同的修正系数 β_4	315
附录3-1 每米 ³ 水在各种温度下的重量	315
附录3-2 在自然循环上给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, mmH_2O	315
附录4-1 热水供暖系统管径计算表(95/70 $^{\circ}\text{C}$, $K=0.2\text{mm}$)	316
附录4-2 热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ζ 值	320
附录4-3 热水供暖系统局部阻力 Z 值, kg/m^2	320
附录4-4 各种管径的 $\frac{\lambda}{d} \cdot l$ 值和 A 值表($t=80^{\circ}\text{C}$, $K=0.2\text{mm}$)	321
附录4-5 按 ζ 值确定热水供暖系统管段阻力损失的管径计算表	322
附录4-6 室内热水供暖系统局部阻力当量长度 l_d , m ($K=0.2\text{mm}$)	326
附录4-7 单管顺流式热水供暖系统立管组合部件 ζ_0 、 l_d 值	326
附录4-8 单管顺流式热水供暖系统立管的 ζ_{zh} 及 l_{zh} 值	328
附录5-1 热水网路水力计算表($K=0.5\text{mm}$, $t=100^{\circ}\text{C}$, $\gamma=958.38\text{kg/m}^3$, $\nu=0.295 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$)	328

附录5-2	热水网路局部阻力当量长度表 ($K=0.5\text{mm}$)	332
附录5-3	调压板孔径线算图	333
附录9-1	低压蒸汽管径计算表 (蒸汽压力 $P=0.05\sim 0.2$ 表压, $K=0.2\text{mm}$)	333
附录9-2	低压蒸汽供暖系统局部阻力损失及动压头值, mmH_2O	335
附录9-3	低压蒸汽供暖系统凝水管径及空气管径表	336
附录9-4	室内高压蒸汽供暖管路管径计算表 (蒸汽压力 $P=3$ 表压, $K=0.2\text{mm}$)	336
附录9-5	室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度, m ($K=0.2\text{mm}$)	337
附录9-6	室外高压蒸汽管径计算表 ($K=0.2\text{mm}$, $\gamma=1\text{kg/m}^3$)	338
附录9-7	室外高压蒸汽管网和凝水管网局部阻力当量长度比值 α	340
附录9-8	蒸汽容重表	340
附录9-9	由散热设备至疏水器间凝水管通过负荷值	341
附录9-10	二次蒸发汽数量, $x_2\text{kg/kg}$	341
附录9-11	汽水混合物容重 γ , kg/m^3	341
附录9-12	高压凝水管径计算表 ($\gamma_r=5.26\text{kg/m}^3$, $K=0.5\text{mm}$)	342
附录9-13	室内高压凝水管局部阻力当量长度, m ($K=0.5\text{mm}$)	342
附录10-1	浮筒式、吊筒式疏水器的排水系数 A 值	343
附录10-2	浮筒式、吊筒式疏水器排水量, kg/h	343
附录10-3	S19H-16热动力式疏水器排水量	343
附录10-4	S18H-25脉冲式疏水器在不同压差下的最大排水量, kg/h	344
附录10-5	减压阀阀孔面积及接管直径选择用图表	344
附录11-1	块状辐射板规格表	345
附录11-2	带状辐射板规格表	345
附录11-3	块状辐射板的散热量, kcal/h (板长 1.8m , 与水平面夹角为 60°)	345
附录11-4	混凝土地板辐射板的热阻 ($\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C/kcal}$)	346
附录16-1	保温材料及制品性能表	347
附录17-1	常用管道规格和材料特性数据表	347
附录17-2	管道活动支座最大允许跨距表	348
附录17-3	不通行地沟管道的最大允许跨距表	349
附录17-4	碳素钢管弹性模数及线膨胀系数	349
附录17-5	单向套管式补偿器主要尺寸表	350
附录17-6	光滑弯管特性系数表	350
附录17-7	D_025 、 32 、 40 光滑弯管方形补偿器的线算图	351
附录17-8	D_050 、 70 、 80 、 100 光滑弯管方形补偿器线算图	351
附录17-9	D_0250 、 300 、 350 、 400 光滑弯管方形补偿器线算图	352
附录17-10	夹角大于 90° 的 L 形管段短臂固定点上补偿弯曲应力系数 C 线算图	352
附录17-11	夹角大于 90° 的 L 形管段短臂上的变形弹力 P_x 、 P_y 的系数 A 、 B 线算图	353
附录17-12	夹角大于 90° 的 L 形管段长臂上的变形弹力 P'_x 、 P'_y 的系数 A' 、 B' 线算图	353
附录17-13	Z 形管段的变形弹力 P_x 、 P_y 的系数 A 、 B 线算图	354
附录17-14	Z 形管段的最大补偿弯曲应力 σ_{max} 的系数 C_{max} 线算图	354

绪 论

一、供热工程的任务

日常生活与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转化为热能以满足人们需要的科学技术，称为热能工程学，是能源科学中的一个组成部分。利用热媒（如水或蒸汽）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房屋供暖系统和区域供热系统。

经济和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则劳动生产率越高，而能源的消耗量也越多。一个国家的国民生产总值和能源消耗量基本上成正比，所以能源的消耗量是衡量一个国家经济和技术发展水平的重要标志之一。一九七五年全世界能源消耗量达85.7亿吨标准燃料，平均每人2.14吨标准燃料。近二十五年来，世界能源消耗量平均每年增长4.8%，也就是说大约十多年增加一倍。预计到本世纪末，能源消耗量将增加两、三倍。

在能源总消耗量中，供暖与空气调节的能源消耗量所占比例很大。据统计在美国和日本约占1/4~1/3左右，瑞典达到45%；至于生产工艺用热消耗能源，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。供热工程设计应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；同时研究利用新能源。

二、供热工程的发展概况

火的使用、蒸汽机的发明、电能的应用和原子能的利用，使人类利用能源的历史发生四次重大的突破；也使供热工程的发展划分为四个阶段。

在很长的历史时期中，人们为了取得热能，使用原始的炉灶，获得热能以取暖、做饭和照明。这种局部的取暖装置，一直到现在还在使用，如火炉、火墙、火炕等。

蒸汽机发明以后，随着锅炉制造事业的发展，十九世纪初期出现了用蒸汽或热水作为热媒的集中供暖系统。在集中供暖系统中，由一个锅炉产生蒸汽或热水，通过管路供给一座建筑物各房间取暖所需的热能。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的取暖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，世界的热能消耗，随着城市工业的发展和城市人口的不断增长而迅速地增加。1950~1965年间，西德、捷克斯洛伐克等国热能消耗增长了两

倍，日本增长了3.7倍。据日本估计每人每年消耗相当三吨煤的能量。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。另外锅炉房多建于城市中心人口稠密区，锅炉排出的二氧化硫气体和煤烟粉尘是污染城市空气的主要原因也要求解决。

在区域供热系统中采用大型现代化锅炉，其燃烧效率高，特别是综合生产电能与热能的热电厂可以大量节省能源。大型区域供热系统的供热半径长，锅炉房或热电厂可以建在远离城市中心人口稠密区，并装设有效的排烟脱硫和除尘设备以防止城市污染。由于这些原因，区域供热事业的发展极为迅速。

区域供热技术的发展，因各国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4~13大气压的蒸汽和130~150°C的热水。苏联的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650公里，供热总量超过 250×10^{12} kcal/h。二次世界大战后，苏联以平均每年10%的增长率发展区域供热；在1962~1967年五年间，供热总量增长将近一倍，达到 648×10^{12} kcal/h。到1969年，仅莫斯科市就有热电厂11座，总供热能力为 99×10^8 kcal/h，管网总长达到1200km，最大供热半径为20km。

美国和西欧各国区域供热的热源，以区域锅炉房为主。早期建成的区域供热系统的热媒以蒸汽为主。二次世界大战后，以高温热水为热媒的区域供热系统发展很快。

热电厂与区域锅炉房使用的燃料，主要是煤、重油和天然气等地下“埋藏燃料”。由于液体与气体燃料容易实现自动化，近二十年来煤的消耗量逐渐减少，而液体与气体燃料消耗量剧增。最近在法国、瑞士等国出现了一些城市区域供热锅炉房，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：一是节流，二是开源。因此在节约能源与综合利用能源的同时，从本世纪中期开始，对新能源的探索和利用发展非常迅速。

原子核的裂变和聚变，可以释放出巨大的能量。原子能的和平利用在五十年代获得成功。现在世界上已建成的原子能反应堆有二百多个。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厂。它用背压式汽轮发电机组，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。原子能反应堆的发电能力为65000kW，在供暖期以供10000kW的电能和相当于55000kW的热能的比例运行。

地球是一个巨大的热库。据估计地下三公里以内可供开采的地热相当于29000亿吨煤。利用地下热水与蒸汽供热已受到人们的广泛重视。

利用地热供暖已有七十多年的历史。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1500万kWh的电能，以供给全岛居民取暖，总利用量相当每年节约六万吨石油。冰岛的雷克雅未克城，把地下87°C的水用水泵提高到总容积为8400m³的高位贮水箱，供该市取暖。苏联在克拉斯诺尔建立了一个大型地热系统，以每昼夜30000m³的流量，供应该地区集中供暖。美国加利福尼亚州有十一个城市采用地热区域供热。

利用地下热水，进行区域供热是很经济的。冰岛雷克雅未克城地热供暖系统的运行情况表明，两年左右即可回收建设成本。

太阳能是取之不尽、用之不竭、不污染环境的自然能源。太阳能供暖在几十年前就研究过，但是由于技术和经济问题，一直进展不大。近年来资本主义国家发生能源危机和严重的城市污染，又开始引人关注，目前世界各国都在积极开展研究工作。

据1978年3月在新德里召开的国际太阳能会议报导，美国已经有五千座住宅和建筑物使用太阳能取暖，而且已确定这样一个目标，到1985年达到250万栋，那时每年将节约400万吨石油。

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、铸钢和铸铝散热器所代替。在民用建筑中很多采用将细金属管预埋入天花板和地板中的辐射供暖。在美国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。这个总面积达15000m²，高为15米的大车间，在靠近大门的地面上，有一条5mm宽的送风缝隙，当室外温度降至1°C时，热风自动以15m/s的风速由缝隙吹出，形成一个热风幕，阻挡室外冷空气侵入。带形辐射板由三根直径为40mm的钢管组成，每组长30m，热媒为160°C的高温水。

三、我国供热事业的发展

我国历史悠久，地域辽阔、资源丰富。西安半坡发掘出土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。从发掘的古墓中看出，汉代就有带炉篋的炉灶和带烟道的供暖设备。这是我国火炉、火炕的原始形式。几千年来我国劳动人民创造了许多防寒取暖设备。火炕、火墙和火炉，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，在北京故宫和颐和园中还完整地保存着，这是辐射供暖的原始形式。

在旧中国，只有大城市中为数很少的建筑中，装设了集中供暖设备。工厂中只有生产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。

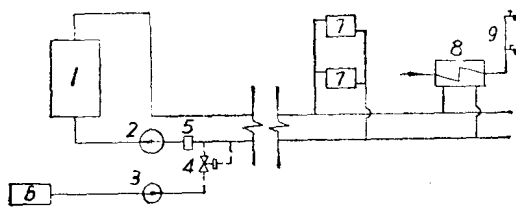
解放后，随着生产发展和人民生活水平不断提高，我国供热事业也得到迅速发展。绝大多数的工业和民用建筑都装设了集中供暖设备。从第一个五年计划开始，新建的大型工业企业多数都建立了热电站，供给工业生产用的电能和热能，以及职工宿舍的取暖。1959年我国第一座城市热电站——北京东郊热电厂投入运行。从六十年代开始，我国已经能够自己制造大、中、小型的整套热电厂设备。

近年来，工厂车间开始使用钢制辐射板，民用建筑中开始安装钢管串片和钢板模压散热器。各种形式的高温水供热系统已开始使用。在燃用低热值燃料和热能综合利用方面，也做了大量研究工作，取得了显著成果。例如沸腾炉燃烧技术的研究，对大量使用石煤、煤矸石等低热值燃料起了很大推动作用。又如上钢二厂在一台轧钢加热炉上回收五种余热：汽化冷却、烟道余热、炉头余热、防渣管余热和钢坯冷床余热，总回收余热产生蒸汽20.5T/h，使加热炉的综合热效率由原来的30%提高到70%。

关于新能源的探索和利用，我国也在积极开展。目前全国已有二十多个省市和自治区

四、区域集中供热系统的型式与本课程的主要内容

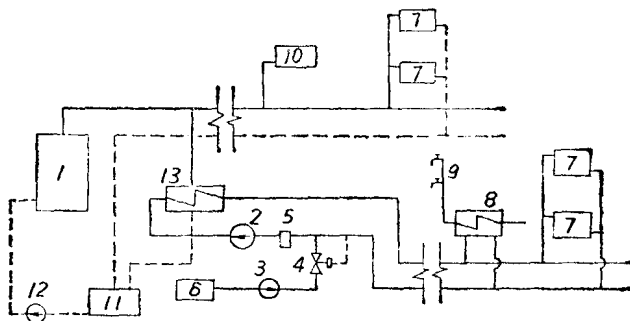
以热水为热媒的区域锅炉房供热系统，如图 0-1 所示。它利用离心水泵 2 使水在系统



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

安装蒸汽锅炉的区域锅炉房供热系统如图 0-2 所示。从蒸汽锅炉产生的蒸汽,

安装背压式汽轮发电机组的热电联合生产的热电厂区域供热系统略如图 0-3 所示。这种系统适用于工厂企业的自备热电厂。从蒸汽锅炉产生的高压、高温蒸汽进入背压式汽轮机,在汽轮机中进行膨胀,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 8~13 大气压时,由汽轮机中排出,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



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

安装具有可调节抽汽口的汽轮发电机组的热电厂区域供热系统略如图 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, 可以根据区域热用户的用热负荷的变化而调

节抽汽量。当抽气量很小时热电厂可以按凝汽式电厂运行以提高电厂效率。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做功，推动汽轮发电机组高速旋转，产生电能投入电网供电。在汽轮机中当蒸汽膨胀至压力降为8~13大气压时，可根据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做功至压力降至冷凝器所能维持的真空度时排出，进入冷凝器凝结为水。这种系统的其它部分的工作基本上与前面几种系统相同。

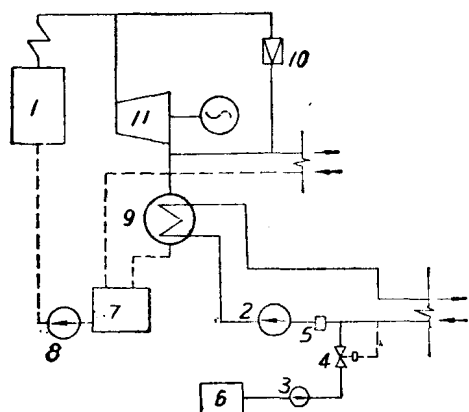


图 0-3 背压式热电厂供热系统

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—补充水处理
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

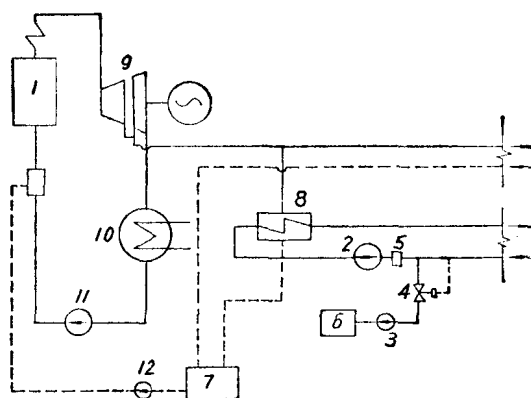


图 0-4 热电厂供热系统

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

区域集中供热系统由三大部分组成：

1. 使燃料燃烧产生热能，对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程“锅炉及锅炉房设备”中专门论述区域锅炉的内容。在“工程热力学”课程中论述过热电厂的基本工作原理；至于全面地学习热电厂课程是热力发电厂专业学生的任务。本课程的主要内容是论述，以蒸汽和热水为热媒的热网系统和热用户供暖系统的设计与运行调节原理。

第一篇 供热系统的热负荷 与散热设备

第一章 供热系统的设计热负荷

在设计区域供热系统时，为了合理地拟定供热方案、选择锅炉设备和计算输热管管径，必须对各类热用户的用热负荷作详细了解和较为准确的计算。为了拟定合理的运行方式和进行供热调节，还必须了解各类热用户的用热特性。所以，供热系统的热负荷及其特性是供热工作的重要资料。

供热系统的热负荷包括供暖、通风、生产及生活用热等四类。前两类属于季节性热负荷，随室外空气温度、湿度、风向、风速和太阳辐射等气象条件而变化。后两类属于全年性热负荷，主要决定于用热设备数目、使用人数、使用状况、生产过程、生产量及工作制度等因素，而与室外气象条件关系不大。

在这一章里，首先叙述供暖热负荷的确定与计算方法；然后叙述集中供热系统热负荷的确定与计算方法。

第一节 供暖设计热负荷

供暖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，供暖设备的多少及供暖系统的使用效果。

一、供暖热负荷的确定

供暖热负荷是根据冬季供暖房间的热平衡算出的。在冬季，供暖房间内可以具有各种得热来源和发生各种热量损失。人们为了进行生产和生活，要求室内具有一定的温度，这就必须使房间在该温度下得到的热量与损失的热量取得平衡。即

房间的得热量 = 房间的失热量 kcal/h

房间的失热量包括：

- (1) 围护结构的传热耗热量 Q_1 ；
- (2) 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ；
- (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_3 ；
- (4) 加热由外部运入的冷物料和运输工具的耗热量 Q_4 ；
- (5) 水分蒸发的耗热量 Q_5 ；
- (6) 通风耗热量 Q_6 ；
- (7) 通过其它途径散失的热量 Q_7 。

房间的得热量包括：

- (1) 散热器的散热量 Q_8 ;
- (2) 最小负荷班的工艺设备散热量 Q_9 ;
- (3) 热物料在车间内的散热量 Q_{10} ;
- (4) 人体散热量 Q_{11} ;
- (5) 照明设备散热量 Q_{12} ;
- (6) 热管道散热量 Q_{13} ;
- (7) 通过其它途径获得的热量 Q_{14} 。

供暖热负荷 Q ，就是为了在要求的室内温度保持房间热平衡，必须由供暖设备向房间供给的热量，一般就是散热器的散热量 Q_8 。它可以从上面的得、失热平衡式算出，即等于房间的失热量总和减去扣除散热器的散热量后的房间得热量的总和。即：

$$Q = Q_8 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 - (Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14})$$

对于一般民用建筑和产生热量很少的工业建筑，供暖热负荷的计算只考虑围护结构的传热耗热量 Q_1 ，加热由门窗缝隙渗入室内的冷空气耗热量 Q_2 ，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 Q_3 等三项耗热量并减去热管道散热量 Q_{13} ，其它则忽略不计。这样，供暖热负荷的计算式可表示为：

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{13} \quad \text{kcal/h}$$

其中 Q_1 ，是由于室内温度高于室外温度，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、墙、地板、屋顶）由于房间内、外空气的温度差而从室内传到室外的稳定传热量总和；附加耗热量是指由于围护结构的传热条件发生变化而对基本耗电量的修正（或附加），包括朝向修正，风力修正和房高修正三项。

二、房屋围护结构的传热

房屋围护结构的传热现象是由于室内、外空气温度不同引起的。在冬季，在供暖的房屋中，室内温度高于室外温度，因而就产生了由室内通过房屋围护结构向室外的传热。

围护结构的传热是怎样进行的呢？让我们分析一下外墙的传热过程。图 1-1 所示是厚度为 δ 的单层外墙，室内、外空气温度分别为 t_n 和 t_w ，墙壁内、外表面温度分别为 τ_n 和 τ_w ，且 $t_n > \tau_n > \tau_w > t_w$ 。热流从室内通过围护结构传至室外要经历三个基本传热过程：表面吸热——围护结构由表面从室内空间接受热量的过程；结构导热——热量由围护结构的内表面传至外表面的过程；表面放热——围护结构外表面向室外空间散发热量的过程。

在大多数情况下，每一实际的传热过程都同时存在着两种或三种传热方式。例如，通过围护结构本身的导热过程，主要是靠导热，但一般建筑材料内部多少还有一些空隙，在孔隙内除存在导热现象外，同时还有辐射和对流现象；围护结构表面的吸热和散热过程则是对流换热和辐射换热同时存在的综合过程。

房屋围护结构内、外表面的对流换热情况是不同的。在内表面主要是由壁面与邻近空气间的温差引起的自然对流，在外表面不仅有温差的作用，而且还有因风力作用而产生的强迫对流。

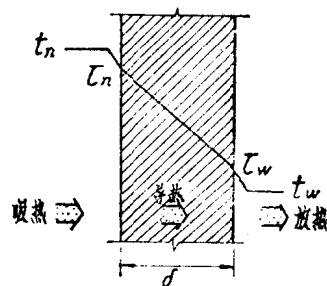


图 1-1 通过围护结构的传热过程

综合上述可见，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。

前一节分析的供暖热负荷是建立在稳定传热的基础上的，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。

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，但在手工计算手段的限制下，这还不失为一种便于实用的计算方法；在适当选用计算温度时，可以把误差控制在可以允许的范围内。

三、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式计算：

$$q = KF(t_n - t_w)a \quad \text{kcal/h} \quad (1-1)$$

式中 K ——围护结构的综合传热系数 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ；

F ——围护结构的面积， m^2 ；

t_n ——室内计算温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_w ——供暖室外计算温度， $^\circ\text{C}$ ；

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各个围护结构部分的基本耗热量的总和：

$$Q = \sum q = \sum KF(t_n - t_w)a \quad \text{kcal/h} \quad (1-2)$$

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。对于与内外温差小于 5°C 的围护结构的传热量一般可不考虑；但对于要求高的建筑物则不能忽略。

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 米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等。

附录1-1和附录1-2中给出了一些室内计算温度的数值。在采用这些数值时，应结合具体条件加以采用或适当加以调整。

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水管不冻结，需要进行值班供暖。此时的车间内空气温度，要求维持在 5°C 的水平，这个温度叫做值班供暖温度。

(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。

在本世纪四十年代以前，这个计算外温值完全由设计人按自己的经验选定。因为经验受限于个人曾实践过的地区和房屋类型，所以遇到新的情况时就感到盲目试探的风险，就常常采用偏于保守的数值。

在四十年代出现了很多根据当地的多年外温纪录去确定供暖计算外温的方法。例如欧洲一些国家采用历年的最低气温的平均值，这在德国1978年以前的工程标准DIN4701里还是这样规定的。又如苏联的全苏标准 OCT90008—39 规定按照查普林（Чаплин）公式去确定供暖室外计算温度，即

$$t_w = 0.4 t_{p,t} + 0.6 t_{min}$$

式中 t_w ——应采用的供暖计算外温， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{p,t}$ ——当地历年的最冷月平均气温的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{min} ——当地曾出现过的气温的绝对最低值， $^{\circ}\text{C}$ 。

例如美国供暖通风工程师学会（ASHVE）在其1949年手册里推荐，采用当地历年气温纪录中，在十二、一、二和三月的全部小时数中有97.5%的小时数里可以达到或超过的外温，作为当地的供暖计算外温。

四十年代的这些方法，使计算外温的确定摆脱了个人经验的局限性；并且要求以当地气温纪录为根据，从而使得出的结果能和当地的气温波动特点有了一些联系。但是这些方法中都是把气温纪录作为一个个互相孤立的数字加以处理的，最多考虑到各个外温数值的出现频率；所以它们都没能抓住对于房间向外不稳定传热最有影响的因素，即当地外温变化的过程特点。因此，从它们得出的结果有时会是很不适宜的。例如某个气温数值在甲乙两地的出现频率相同，但在甲地是连续出现，而在乙地却是分为很多次间断出现，那末这个气温对于甲乙两地的房屋供暖需要的热量的影响当然完全不同。若甲地认为它是适宜的，乙地一定会认为它偏低。

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，同时在二次世界大战后又出现了多种热性能不同的新型围护结构，在这样的主观能力和客观条件情况下，在五十年代涌现了确定供暖计算外温时必须考虑围护结构的热惰性的意见。苏联1955年制定的建筑法规里规定，供暖计算外温要按25年中最冷的四个冬季里最冷的连续五天的平均气温的平均值去确定。这个规定就是根据莫斯科通用的 $2\frac{1}{2}$ 砖外墙可使周期五天的外温波动幅度在其中衰减18倍（当地冬季外温的五天波动幅度为 $\pm 18^{\circ}\text{C}$ ），又允许室内墙面温度波动 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，这样一些条件而制订的。美国由于对围护结构热惰性的注意，在1959年

的暖通工程师学会手册里，把过去根据冬季各小时的气温统计其出现频率的规定，改为根据冬季的日平均气温统计其出现的频率；并且提出了供暖计算外温的确定，应随室内气温允许的波动幅度而不同的意见。后来，在1972年的美国这个手册里，更加明确地规定，对于轻型结构的、中型结构的和重型结构的房屋分别采用不同的供暖计算室外温度。

由上可见，关于怎样确定供暖计算外温的认识是逐渐深入的。最初的认识只浮在表面上，只能凭实践经验和当地冬季气候冷暖的表面现象去摸索。后来，由于建筑热物理学方面的研究，揭露了围护结构向外传热量与结构本身的性质及外温波动情况之间的规律性联系，对于确定供暖计算外温才能在科学的理论指导下进行。不过，如果完全按照理论去确定供暖计算外温，把多年的外温纪录、围护结构的热性质、以及允许的室内温度波动幅度都给予仔细考虑，这在实际上就是回到了我们原想回避的不稳定传热计算，而这是手工计算不便实用的。因此实际采用的方法一般是既能全面考虑这些因素，又在允许一定近似性的条件下作一些假定，从而把确定外温的工作简化到便于实用。当然，在电子计算机的应用逐渐普遍后，编出一些专用程序，甚至制作出一些专用电路，使计算的繁复不再是实用的困难时，一切情况就会和当前不同了。

我国解放前，供暖计算外温也是凭设计人的经验决定。五十年代初，在学习苏联供暖技术的同时，就接受了前面提过的查普林公式。后来就采用了苏联1955年颁布的建筑法规里的规定。苏联这个规定对于房屋结构和使用地区丝毫不加区别，所以即使在苏联国内也不是普遍恰当的。我国的气候条件及建筑结构不同于莫斯科，很多地方还相差悬殊，所以它的实用效果尖锐地暴露出它不符合我国实际情况的问题。

为了制订出比较符合我国实际情况的供暖室外计算温度的确定办法，北京有色冶金设计院会同全国有关的设计、科研、生产和高等院校等单位，根据国家建委的指示，对它进行了专题研究。在广泛开展调查研究的基础上，经过征求全国有关单位的意见，最后在《TJ19—75,工业企业采暖通风和空气调节设计规范（试行）》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”。

我国规范现所采用的方法以日平均温度为统计基础，是考虑到一般围护结构都具有一定的热惰性。统计年份采用从1951~1970的期间共有20年，是为了年代长一些可以比较充分地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”是指采用的温度是指20年的统计期间里总共可有100天的实际日平均气温低于所取的室外计算温度。按照征求意见所得的反映，大多数的地方认为这样确定的计算外温比较符合我国当前的实际情况。

应该指出的是，这规范所确定的供暖室外计算温度是以连续供暖作为假定的，如果所设计的供暖系统会在运行中间歇较长时，应结合具体情况酌予修正。另外，这规范对于各地外温波动情况的不同、以及围护结构热工性质的不同，都没有区别对待，所以遇到这些因素特殊时也应结合具体情况酌予修正。

（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 $q = KF(t_n - t_w)$ 。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 $q = KF(t_n - t_h)$ ，式中 t_h 是传热达到平衡时非供暖房间的温度。由于非供暖房间的温度 t_h 计算困难，用 $(t_n - t_w)a$ 代替 $(t_n - t_h)$ 进行计算可以比较简便。