

971847

11/833
4610

高等学校推荐教材



供热工程

(新一版)

贺平 孙刚 编著

盛昌源 主审

中国建筑工业出版社

971847

TU833
4610

TU833
4610

高等学校推荐教材

供热工程

(新一版)

贺平 孙刚 编著
盛昌源 主审

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书为高等院校供热通风与空调工程专业“供热工程”课程的教材。

本书详细阐述以热水和蒸汽作为热媒的集中供暖系统和城市集中供热系统的工作原理和设计方法,并介绍了有关运行管理的基本知识。本书对我国近年来供暖和集中供热事业迅速发展采用的新技术、新设备和新的研究成果,给予了较充分的介绍。

本书可作为燃气工程专业“供热工程”课程的选用教材,也可供从事供暖和集中供热工作的工程技术人员参考用。

高等学校推荐教材

供热工程

(新一版)

贺平 孙刚 编著

盛昌源 主审

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

天津新华印刷一厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 22 字数: 532 千字

1993年11月新一版 1993年11月第一次印刷

印数: 1—14,100册 定价: 10.20元

ISBN7-112-02017-4/TU·1535

(7039)

前 言

本书为高等院校供热通风与空调工程专业“供热工程”课程的教材。

根据课程基本要求，本书详细阐述以热水和蒸汽作为热媒的集中供暖系统和城市集中供热系统的工作原理和设计方法，并介绍了有关运行管理的基本知识。

在由哈尔滨建筑工程学院、天津大学、西安冶金建筑学院、太原工业大学编写，贺平和

李英才主编的供热通风与空调工程专业试用教材《供热工程》（1980年修订第二版）中，室内供暖和集中供热技术上一些共同的问题是合并在一起阐述的。这样的编写方法和内容，对当时国内集中供热事业规模并不很大的情况下是适宜的，也满足教学的基本要求。

目前，考虑到我国近年来及今后集中供热事业迅速发展的状况，并为了便于系统地介绍集中供热技术，本书编写作了重大的变动，即分别按两大篇编写——第一篇：供暖工程；第二篇：集中供热。同时，适当增加了集中供热的教学内容。对近年来在供暖和供热方面的新技术、新设备和新的研究成果，给予较充分的介绍。

本书由哈尔滨建筑工程学院贺平、孙刚撰写，其中第十二、十三和第十五章由孙刚编写。全书由贺平统稿，上海城建学院盛昌源主审。

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 供 暖 工 程

第一章 供暖系统的设计热负荷	8
第一节 供暖系统设计热负荷	8
第二节 围护结构的基本耗热量	9
第三节 围护结构的附加(修正)耗热量	15
第四节 围护结构的最小传热阻与经济传热阻	17
第五节 冷风渗透耗热量	19
第六节 冷风侵入耗热量	21
第七节 供暖设计热负荷计算例题	22
第八节 高层建筑供暖设计热负荷计算方法简介	25
第二章 供暖系统的散热设备	31
第一节 散热器	31
第二节 散热器的计算	36
第三节 钢制辐射板	40
第四节 暖风机	44
第三章 热水供暖系统	47
第一节 重力(自然)循环热水供暖系统	47
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及附件	60
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	64
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	64
第二节 重力循环双管系统管路水力计算方法 and 例题	69
第三节 机械循环单管热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	76
第四节 机械循环同程式热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	81

第五节 不等温降的水力计算原理和方法	85
--------------------------	----

第五章 室内蒸汽供热系统

第一节 蒸汽作为供热系统热媒的特点	90
第二节 室内蒸汽供暖系统	95
第三节 室内高压蒸汽供暖系统	95
第四节 疏水器及其它附属设备	97
第五节 室内低压蒸汽供暖系统管路的水力计算方法和例题	105
第六节 室内高压蒸汽供暖系统管路的水力计算方法和例题	109

第二篇 集 中 供 热

第六章 集中供热系统的热负荷

第一节 集中供热系统热负荷的概算和特征	113
第二节 热负荷图	117
第三节 年耗热量计算	122

第七章 集中供热系统

第一节 热水供热系统	124
第二节 蒸汽供热系统	130
第三节 集中供热系统热源型式与热媒的选择	134
第四节 热网系统型式	136

第八章 热水供热系统的供热调节

第一节 概述	140
第二节 供暖热负荷供热调节的基本公式	140
第三节 直接连接热水供暖系统的集中供热调节	142
第四节 间接连接热水供暖系统的集中供热调节	148
第五节 供热综合调节	152

第九章 热水网路的水力计算和水

压图	156
----------	-----

第一节 热水网路水力计算的基本公式	156
-------------------------	-----

第二节	热水网路水力计算方法和例题	158	第一节	热电厂	280
第三节	水压图的基本概念	162	第二节	区域锅炉房	283
第四节	热水网路的水压图	165	第三节	集中供热系统的其它热源型式	294
第五节	补给水泵定压方式	173	第十六章	集中供热系统的技术经济	
第六节	中继加压泵站	175	分析		298
第十章	热水供热系统的水力工况	178	第一节	概述	298
第一节	热水网路水力工况计算的基本原理	178	第二节	经济效果的指标计算和评价方法	300
第二节	热水网路水力工况的分析和计算	180	第三节	热水网路的经济比摩阻的确定——数学分析法实例	305
第三节	热水网路的水力稳定性	185	第四节	热电联产与热电分产相比的节约燃料量的原则性计算方法	308
第十一章	蒸汽供热系统管网的水力计算与水力工况	188	附录		313
第一节	蒸汽网路水力计算的基本公式	188	附录0-1	单位换算表	313
第二节	蒸汽网路水力计算方法和例题	190	附录1-1	辅助建筑物及辅助用室的冬季室内计算温度 t_n (最低值)	313
第三节	凝结水管网的水力工况和水力计算	196	附录1-2	温差修正系数 α 值	313
第四节	凝结水管网的水力计算例题	200	附录1-3	一些建筑材料的热物理特性值	314
第十二章	集中供热系统的热力站及其主要设备	206	附录1-4	常用围护结构的传热系数 K 值($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	315
第一节	民用热力站	206	附录1-5	允许温差 Δt 值($^\circ C$)	315
第二节	工业热力站	208	附录1-6	渗透空气量的朝向修正系数 n 值	315
第三节	热水换热器	210	附录2-1	一些铸铁散热器规格及其传热系数 K 值	316
第四节	喷射装置	223	附录2-2	一些钢制散热器规格及其传热系数 K 值	316
第十三章	供热管线的敷设和构造	236	附录2-3	散热器组装片数修正系数 β_1	317
第一节	供热管网布置原则	236	附录2-4	散热器连接形式修正系数 β_2	317
第二节	室外供热管道的敷设方式	237	附录2-5	散热器安装形式修正系数 β_3	317
第三节	供热管道及其附件	242	附录2-6	块状辐射板规格及散热量表	318
第四节	补偿器	245	附录2-7	金属辐射板的最低安装高度(m)	319
第五节	管道支座(架)	247	附录3-1	水在各种温度下的密度 $\rho kg/m^3$ (压力在100kPa时)	319
第六节	检查室与操作平台	249	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)	319
第七节	供热管道的保温及其热力计算	250	附录3-3	供暖系统各种设备供给每1kW热量的水容量 $V_w(L)$	320
第十四章	供热管道的应力计算	258	附录4-1	热水供暖系统管道水力计算表	
第一节	概述	258			
第二节	管壁厚度及活动支座间距的确定	258			
第三节	管道的热伸长及其补偿	262			
第四节	固定支座(架)的跨距及其受力计算	267			
第五节	直埋敷设供热管道设计原理和方法简介	271			
第十五章	集中供热系统的热源	280			

	($t'_k = 95^{\circ}\text{C}$, $t'_h = 70^{\circ}\text{C}$, $K = 0.2$ mm)321	附录6-4	住宅、旅馆、医院的热热水小时 变化系数 k_h 值.....331
附录4-2	热水及蒸汽供暖系统局部阻力 系数 ζ 值322	附录6-5	一些产品单位耗热概算指标.....331
附录4-3	热水供暖系统局部阻力系数 $\zeta = 1$ 的局部损失(动压头)值.....322	附录6-6	我国北方一些城市等于或低于 某一室外温度的平均延续小时 数(1951~1980年).....332
附录4-4	一些管径的 λ/d 值和 A 值322	附录9-1	热水网路水力计算表.....333
附录4-5	按 $\zeta_{\Sigma h} = 1$ 确定热水供暖系统管 段阻力损失的管径计算表.....323	附录9-2	热水网路局部阻力当量长度表 ($K = 0.5\text{mm}$)335
附录4-6	单管顺流式热水供暖系统立管 组合部件的 $\zeta_{\Sigma h}$ 值324	附录9-3	管道局部损失与沿程损失的估 算比值 α_j337
附录4-7	单管顺流式热水供暖系统立管 的 $\zeta_{\Sigma h}$ 值325	附录11-1	室外高压蒸汽管径计算表($K =$ 0.2mm , $\rho = 1\text{kg/m}^3$).....337
附录4-8	供暖系统中摩擦损失与局部损 失的概略分配比例(%)325	附录11-2	二次蒸发汽数量 $x_2(\text{kg/kg})$...338
附录5-1	疏水器的排水系数 A_p 值326	附录11-3	汽水混合物密度 $\rho_r(\text{kg/m}^3)$...338
附录5-2	减压阀阀孔面积选择曲线图.....326	附录11-4	凝结水管管径计算表($\rho_r = 10$ kg/m^3 , $K = 0.5\text{mm}$).....339
附录5-3	低压蒸汽供暖系统管路水力计 算表(表压力 $P_b = 5 \sim 20\text{kPa}$, $K = 0.2\text{mm}$)327	附录13-1	管沟敷设有关尺寸表340
附录5-4	低压蒸汽供暖系统管路水力计 算用动压头(Pa)327	附录14-1	供热管道常用钢管的物理特性 数据表340
附录5-5	蒸汽供暖系统干式和湿式自流 凝结水管管径选择表.....328	附录14-2	纵缝焊接钢管基本许用应力的 修正系数表340
附录5-6	室内高压蒸汽供暖系统管径计 算表(蒸汽表压力 $P_b = 200\text{kPa}$, $K = 0.2\text{mm}$).....328	附录14-3	管道应力计算常用辅助计算数 据表340
附录5-7	室内高压蒸汽供暖管路局部 阻力当量长度, m ($K = 0.2$ mm)329	附录14-4	地沟与架空敷设供热管道活动 支座最大允许间距表341
附录6-1	供暖热指标推荐值.....330	附录14-5	地沟与架空敷设的直线管段固 定支座(架)最大间距表342
附录6-2	热水用水量标准.....330	附录14-6	直埋敷设供热管道的最大允许 温升和屈服温差342
附录6-3	居民区供暖期生活热水热指标 $q_0(\text{W/m}^2)$331	附录15-1	国产部分供热机组的主要技术 资料343
		主要参考书目	344

绪 论

一、供热通风与空气调节专业“供热工程”课程的研究对象和主要内容

人们在日常生活的社会生产中都需要使用大量的热能。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。生产、输配和应用中、低品位热能的工程技术，称为供热工程。在本专业的范畴内，热媒（载能体）主要是采用水或蒸汽。应用中、低品位热能的热用户，主要是：保证建筑物卫生和舒适条件的用热系统（如供暖、通风、空调和热水供应），和消耗中、低品位热能（温度低于 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ）的生产工艺用热系统。

在能源消耗总量中，用以保证建筑物卫生和舒适条件的供暖、空调等能源消耗量占有较大的比例。据统计，在美国和日本约占 $1/4 \sim 1/3$ 左右；至于生产工艺用热消耗的能源所占比例就更大。因此，随着现代技术和经济的发展，以及节约能源的迫切要求，供热工程已成为热能工程中的一个重要组成部分，日益受到重视和得到发展。

本供热工程课程的研究对象和主要内容，是以热水和蒸汽作为热媒的建筑物供暖（采暖）系统和集中供热系统。本教材分两篇：第一篇——“供暖工程”，第二篇——“集中供热”。

众所周知，供暖就是用人造方法向室内供给热量，保持一定的室内温度，以创造适宜的生活条件或工作条件的技术。所有供暖系统都由热媒制备（热源）、热媒输送和热媒利用（散热设备）三个主要部分组成。根据三个主要组成部分的相互位置关系来分，供暖系统可分为局部供暖系统和集中式供暖系统。

热媒制备、热媒输送和热媒利用三个主要组成部分在构造上都在一起的供暖系统，称为局部供暖系统，如烟气供暖（火炉、火墙和火炕等），电热供暖和燃气供暖等。虽然燃气和电能通常由远处输送到室内来，但热量的转化和利用都是在散热设备上实现的。

热源和散热设备分别设置，用热媒管道相连接，由热源向各个房间或各个建筑物供给热量的供暖系统，称为集中式供暖系统。

图0-1是集中式热水供暖系统的示意图。热水锅炉1与散热器2分别设置，通过热水管道（供水管和回水管）3相连接。循环水泵4使热水在锅炉内加热，在散热器冷却后返回锅炉重新加热。图0-1中的膨胀水箱5用于容纳供暖系统升温时的膨胀水量，并使系统保持一定的压力。图中的热水锅炉，可以向单幢建筑物供暖，也可以向多幢建筑物供暖。对一个或几个小区多幢建筑物的集中式供暖方式，在国内也惯称联片供热（暖）。

根据供暖系统中散热给室内的方式不同，主要可分为对流供暖和辐射供暖。

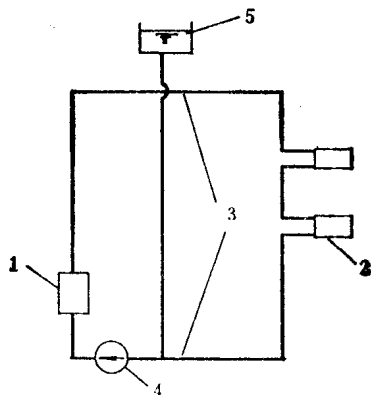


图 0-1 集中式热水供暖系统示意图

1—热水锅炉；2—散热器；3—热水管道；
4—循环水泵；5—膨胀水箱

以对流换热为主要方式的供暖，称为对流供暖。系统中的散热设备是散热器，因而这种系统也称为散热器供暖系统。利用热空气作为热媒，向室内供给热量的供暖系统，称为热风供暖系统。它也是以对流方式向室内供暖。辐射供暖是以辐射传热为主的一种供暖方式。辐射供暖系统的散热设备，主要采用金属辐射板或以建筑物部分顶棚、地板或墙壁作为辐射散热面。

第一篇“供暖工程”，主要讲受以热水和蒸汽作为热媒的集中式散热器供暖系统的工作原理和设计、运行的基本知识。对热风供暖和辐射供暖，仅对其散热设备作简要的介绍。热风供暖技术，将在通风和空气调节课程中详细阐述。辐射供暖系统，目前在国内应用尚不广泛，根据本课程的教学基本要求，教材中未予详细阐述。

随着经济的发展、人们生活水平的提高和科学技术的不断进步，在19世纪末期，在集中供暖技术的基础上，开始出现以热水或蒸汽作为热媒，由热源集中向一个城镇或较大区域供应热能的方式——集中供热。目前，集中供热已成为现代化城镇的重要基础设施之一，是城镇公共事业的重要组成部分。

集中供热系统由三大部分组成：热源、热力网（热网）和热用户。

1. 热源 在热能工程中，热源是泛指能从中吸取热量的任何物质、装置或天然能源。供热系统的热源，是指供热热媒的来源。目前最广泛应用的是：区域锅炉房和热电厂。在此热源内，使燃料燃烧产生的热能，将热水或蒸汽加热。此外也可以利用核能、地热、电能、工业余热作为集中供热系统的热源。

2. 热网（热力网） 由热源向热用户输送和分配供热介质的管线系统，称为热网。

3. 热用户 集中供热系统利用热能的用户，称为热用户，如室内供暖、通风、空调、热水供应以及生产工艺用热系统等。

以区域锅炉房（内装置热水锅炉或蒸汽锅炉）为热源的供热系统，称为区域锅炉房集中供热系统。

图0-2所示为区域蒸汽锅炉房集中供热系统的示意图。

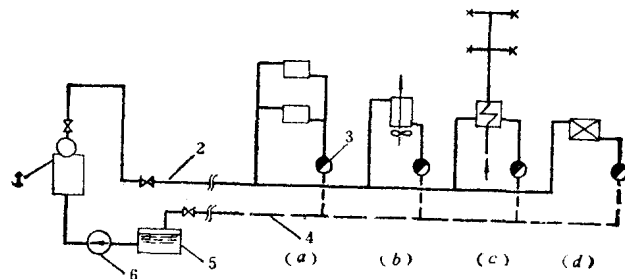


图 0-2 区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图

1—蒸汽锅炉；2—蒸汽干管；3—疏水器；4—凝结水干管；5—凝结水箱；6—锅炉给水泵；
(a)、(b)、(c)和(d)——室内供暖、通风、热水供应和生产工艺用热系统

由蒸汽锅炉1产生的蒸汽，通过蒸汽干管2输送到各热用户，如供暖、通风、热水供应和生产工艺系统等。各室内用热系统的凝结水，经过疏水器3和凝结水干管4返回锅炉房的凝结水箱5，再由锅炉给水泵6将给水送进锅炉重新加热。

以热电厂作为热源的供热系统，称为热电厂集中供热系统。由热电厂同时供应电能和热能的能源综合供应方式，称为热电联产（也称为“热化”）。

热电厂内的主要设备之一是供热汽轮机。它驱动发电机产生电能，同时利用作过功的抽（排）汽供热。供热汽轮机的种类很多，下面以在热电厂内安装有两个可调节抽汽口的供热汽轮机为例，简要介绍热电厂供热系统的工作原理。

图0-3中蒸汽锅炉1产生的过热蒸汽，进入供热汽轮机2膨胀作功，驱动发电机3产生电能，投入电网向城镇供电。

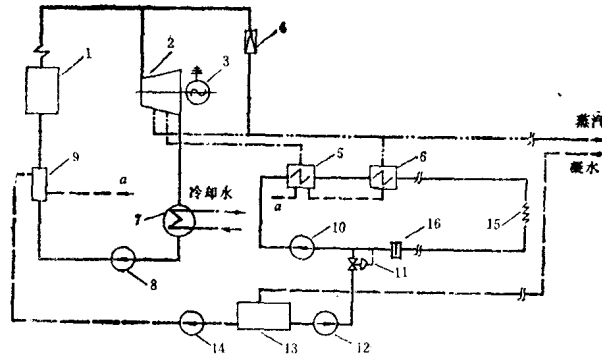


图 0-3 热电厂集中供热系统原则性示意图

1—蒸汽锅炉；2—供热汽轮机；3—发电机；4—减压减温装置；5—基本加热器；6—尖峰加热器；7—冷凝器；8—凝结水泵；9—回热装置；10—热网循环水泵；11—补给水压力调节器；12—补给水泵；13—水处理装置；14—给水泵；15—热用户；16—除污器

在汽轮机中当蒸汽膨胀到高压可调抽汽口的压力时（压力可保持在8~13bar以内不变），可抽出部分蒸汽向外供热，通常向生产工艺热用户供热。当蒸汽在汽轮机中继续膨胀到低压可调抽汽口压力时（压力保持在1.2~2.5bar以内不变），再抽出部分蒸汽，送入热水供热系统的热网水加热器5中（通常称为基本加热器，在整个供暖季节都投入运行），将热水网路的回水加热。在室外温度较低，需要加热到更高的供水温度，而基本加热器不能满足要求时，可通过尖（高）峰加热器6再将热网水进一步加热。尖峰加热器所需的蒸汽，可由高压抽汽口或从蒸汽锅炉通过减压减温装置4获得。高低压可调节抽汽口的抽汽量将根据热用户热负荷的变化而变化，同时调节装置将相应改变进入凝汽器7的蒸汽量，以保持所需的发电量不变。蒸汽在冷凝器中被冷却水冷却为凝结水，用凝结水泵8送入回热装置9（由几个换热器和除氧器组成）逐级加热后，再进入蒸汽锅炉重新加热。

由于供热汽轮机是利用作过功的蒸汽向外供热，与凝汽式发电方式相比，大大减少了凝汽器的冷源损失，因而热电厂的热能利用效率远高于凝汽式发电厂。凝汽式发电厂的热效率约为25%~40%，而热电厂的热效率可达70%~85%。

蒸汽在热用户放热后，凝水返回热电厂水处理装置13，再通过给水泵14送进电厂的回热装置加热。

热水网路的循环水泵10，驱动网路水不断循环而被加热和冷却。通过热水网路的补给水泵12，补充热水网路的漏水量。利用补给水压力调节器11，控制热水供热系统的压力。

在本教材第二篇“集中供热”中，热源部分有关区域锅炉房的内容，在本专业设置的《锅炉及锅炉房设备》课程中将详细阐述。热电厂部分，主要阐述与供热系统热媒制备部分有关的基本知识和热电厂的某些基本概念。本课程的主要内容是阐述整个集中供热系统的

工作原理和设计、运行的基本知识，并以热网和热用户为主。

在学习本课程之前，应系统地学习过《传热学》、《工程热力学》《流体力学》等专业基础课程，要求有较好的专业基础理论知识。

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，也带来了供热工程技术的不断发展。

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安得塔尔人化石发源地，都曾发现过烧火的遗迹。人们以火的形式利用能源。后来，人们利用原始的炉灶获得热能来供暖、炊事和照明。这种局部的取暖装置，如火炉、火墙和火坑等，至今还应用甚广。

蒸汽机发明以后，促进了锅炉制造业的发展。19世纪初期，在欧洲开始出现了以蒸汽或热水作为热媒的集中式供暖系统。集中供热方式始于1877年，当时在美国纽约，建成了第一个区域锅炉房向附近14家用户供热。

20世纪初期，一些工业发达的国家，开始利用发电厂内汽轮机的排汽，供给生产和生活用热，其后逐渐成为现代化的热电厂。在本世纪中，特别是二次世界大战以后，城镇集中供热事业得到较迅速发展。其主要原因是集中供热（特别是热电联产）明显地具有节约能源、改善环境和提高人民生活水平以及保证生产用热要求的主要优点。

集中供热技术的发展，各国因具体情况不同而各具特点。

原苏联和东欧国家的集中供热事业，长时期来是以积极发展热电厂供热作为主要技术发展政策。原苏联集中供热规模，居世界首位。1980年原苏联的热电厂总装机容量为9600万kW。全国工业与民用的年总供热量中，70%由集中供热方式——热电厂和区域锅炉房供热。全国热电厂的总年供热量约为55亿GJ。由于热电联产，单就原苏联能源电力部所属的热电厂（占全国热电厂的总装机容量的86%），就节约了6800万吨标煤。

莫斯科的集中供热系统是世界上规模最大的供热系统。据1980年资料，市区有14座热电厂，供热机组78台，总容量为585万kW，供热能力达45200GJ/h。在室外温度较低时，投入系统运行的高峰热水锅炉共有71台，供热能力为41100GJ/h。热网干线长达3000多km，向500多个工业企业和四万多座建筑供热。热水网路设计供、回水温度为150℃/70℃，热水网路与供暖热用户的连接大多采用直接连接方式。热电厂供热系统供热量占全市用热量的60%，其余由区域锅炉房供热。城市的集中供热普及率接近100%。

地处寒冷气候的北欧国家，如瑞典、丹麦、芬兰等国家，在第二次世界大战以后，集中供热事业发展迅速。城市的集中供热普及率都较高。据1982年资料，如瑞典首都斯德哥尔摩市，集中供热普及率为35%。丹麦的集中供热系统，遍及全国城镇，向全国1/3以上的居民供暖和热水供应。这些国家的热水网路的设计供水温度大多为120℃左右，网路与供暖热用户的连接方式多采用间接连接方式。

德国在第二次世界大战后的废墟重建工作，为发展集中供热提供了有利的条件。目前除柏林、汉堡、慕尼黑等已有规模较大的集中供热系统外，在鲁尔地区和莱茵河下游，还建立了联结几个城市的城际供热系统。

北欧国家和德国等，集中供热技术较为先进，如管道大多采用直埋敷设方式、装配式热力站、优化的热网运行管理和良好的热网自控设施等，在世界上处于领先地位。

在一些工业发达较早的国家中，如美、英、法等国家，由于早期多以区域锅炉房供热来发展集中供热事业，因此目前区域锅炉房供热仍占较大的比例，如法国首都巴黎的一个供热公司，采用蒸汽管网向部分城市的约4000幢大楼供热。据1985年资料，集中供热系统的热源由八座区域性蒸汽锅炉房、三座大型焚烧垃圾的锅炉房和一座热电厂所组成。热源的热源压力为5~20bar。热源的总供汽能力为3560t/h。由于70年代的石油危机，也促使这些国家更重视发展热电联产，如美国在1978年通过的国家能源法，就制订了促进热电联产的技术和经济方面的倾斜政策。

利用地热能供热已有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。冰岛首都雷克雅维克市的地热供热系统规模很大，据1980年资料，全市约98.5%（约100000人）已使用地热供暖和热水供应。地热水一般温度为80~120℃。此外，在匈牙利、日本、美国、原苏联等许多国家都有地热水供热系统。

原子核的裂变和聚变可以释放出巨大的能量。原子能利用于热电联产上，始于1965年。目前世界上已建成的原子能电站超过300座。例如，瑞典斯德哥尔摩市附近的沃加斯塔原子能热电厂，用背压汽轮机组排出的蒸汽加热高温水，供给距厂约4.5km远的发鲁斯塔地区15000户，四万人口的住宅区供暖。利用低温核反应堆只供应热能的集中供热，近年来许多国家如原苏联、瑞典、加拿大等国家都在积极开发。原苏联的高尔基城已建成两座500MW的低温核反应堆。

此外，大型的工业企业，如钢铁、化工联合工业企业等，最大限度地利用生产工艺用热设备的余热装置，已成为生产工艺流程中不可缺少的组成部分。工业余热利用是节约能源的一个重要途径。

供暖技术的发展，离不开工业水平的提高和集中供热事业的发展。随各国具体情况不同，各国供暖技术的发展也有不同的特点。如原苏联和东欧等国家，由于城市多采用大型热水网路系统，因而在散热器热水供暖系统和工业厂房采用集中热风供暖方面，无论在系统的设计原理和方法、运行中系统水力工况和热力工况的分析、以及与热网的连接方式等问题，都进行了大量的研究工作和有丰富的实践经验。在欧、美等国家中，由于市场经济和适应用户的多种要求，在多种型式供暖系统（如辐射供暖、与空调相结合的供暖方式等）、供暖设备和附件的多样化、以及供暖系统的自控技术等方面，不断进行研究和开发，促进了供暖技术现代化。

三、我国供热事业的发展

我国在远古时期，就有钻木取火的传说，西安半坡村挖掘出土的新石器时代仰韶时期的房屋中，就发现有长方形灶炕，屋顶有小孔用以排烟，还有双连灶形的火炕。在《今古图书集成》中记载，夏、商、周时期就有供暖火炉。从出土的古墓中表明，汉代就有带炉算的炉灶和带烟道的局部供暖设备。火地是我国宫殿中常用的供暖方式，至今在北京故宫和颐和园中还完整地保存着。这些利用烟气供暖的方式，如火炉、火墙和火炕等，在我国北方农村还被广泛地使用着。

在旧中国，只有在大城市为数很少的建筑中，装设了集中式供暖系统，被视为高贵的建筑设备。在工厂中，对生产工艺用热，多只装设简陋的锅炉设备和供热管道。供热事业的基础非常薄弱。

新中国成立后，随着国民经济建设和人民生活水平的不断提高，我国的供暖和

集中供热事业得到了迅速的发展。在东北、西北、华北三北地区，许多民用楼房建筑和大多数工业企业都装设了集中式供暖系统。不少城镇实现了集中供热。

供暖工程的设计、施工和运行管理工作，在50年代期间，主要是以学习原苏联供暖技术为依据的。经过数十年来广大供暖通风技术工作者的努力，在1975年建设部颁布的设计规范基础上，1987年颁布了适合我国国情，总结国内供暖通风技术经验的国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》（GBJ19-87）。如规范中对供暖室外计算温度和供暖热负荷的确定以及计算原则和方法，进行了大量的研究和编制工作，其成果与世界先进国家的规范相比，毫不逊色。

随着我国机械工业的发展，目前我国已有各种燃煤用的工业锅炉和热水锅炉系列产品，其中热水锅炉单台容量高达104.7GJ/h（25Gcal/h），促进集中供热（暖）的发展。在燃用低值燃料的热能综合利用方面，也做了大量的工作，取得了显著的效果。

从70年代开始，多种供暖系统型式的应用和新型散热设备的研制工作，有了较大的发展。如工业企业中高温水供暖系统，钢制辐射供暖的应用、新型钢串片、钢板模压等散热器的研制和应用，高级旅馆中供暖与空调相结合的风机盘管系统的出现等等，这些都标志着我国供暖技术有了较迅速的发展。

太阳能和地热能用于供暖方面，也取得可喜的成绩。在西北地区、北京、天津等地，80年代建造了一批太阳能供暖建筑。天津、北京等地也相继出现了地热能供暖。目前已有20多个省市和自治区开展了地热能的勘探和开发利用，地热能供暖也有一定的发展前景。

此外，供暖技术的研究工作，供暖系统设计优化和电算技术的应用以及施工技术方面，近年来也获得长足的进步。

我国的集中供热事业，可以说是在几乎空白的基础上，从第一个五年计划开始发展的。伴随着当时的大规模工业建设，兴建了区域性热电厂，如在北京、保定、石家庄、郑州、洛阳、西安、兰州、太原、包头、吉林、哈尔滨、富拉尔基等地，为我国发展热电联产事业奠定基础。

近十多年来，国民经济的迅速发展，节能工作日益受到重视和开放政策的实施，使我国集中供热事业，无论在供热规模和供热技术方面，都有很大的发展。

根据能源部的统计资料，1980年，全国单机容量6000kW及以上的供热机组容量为443.41万kW，到1990年底已发展到998.93万kW，年供热量为56481万GJ。根据建设部统计资料，1980年，“三北”地区集中供热（暖）的建设面积仅为1124.8万m²，普及率为2%；到1990年底，全国已有117个城市建设了集中供热设施，供热（暖）面积达21263万m²，“三北”地区集中供热普及率达到12%。

到80年代末期，北京市热力公司所管辖的集中供热系统，热源是由两个热电厂、两个区域锅炉房组成的。供暖建筑面积到1989年底为1304万m²。民用热水管道的最大管径为 $\phi 1000\text{mm}$ ，工业蒸汽管道的最大管径为 $\phi 600\text{mm}$ 。近年来，集中供热发展最快的辽宁省，80年代末期，已有11个城市，17个县镇发展了集中供热，供暖的建筑面积已达3000万m²。

80年代期间，我国集中供热技术的进展，主要方面有：

1. 高参数、大容量供热机组的热电厂和大型区域锅炉房的兴建，为大、中型城市集中供热，开辟了广阔的前景。以前我国供热机组容量较小，多为1.2、2.5、5.0万kW的供

热机组。近年来，成功研制了20和30万kW抽汽冷凝两用供热机组，在北京、沈阳、长春和太原等地建成投产。北京左家庄和沈阳滑翔区的大型区域锅炉房，供暖建筑面积都超过200万m²。

此外，为提高热机效率，3000、6000和12000kW的次高压供热机组也在逐步完善和系列配套。

2.改造凝汽式发电厂为热电厂，采用汽轮机汽缸开孔抽汽或在导汽管开孔抽汽，或利用凝汽器低真空运行加热热网循环水的方式，改造中、小型老旧凝汽机组，使发电煤耗大大降低，并为城市集中供热提供热源。80年代末期，单在东北地区电网所属范围的凝汽式发电厂，已有14个电厂采用低真空运行的方式供热，为小城镇供热开辟了快而省的途径。

3.改变了多年来城市集中热水供热系统单一的系统模式，初步形成集中供热系统型式多样化的局面。我国城市民用的集中热水供热系统，绝大多数是由单一热源，按质调节方式（即随室外温度变化，相应改变供水温度，但网路循环水量不改变的调节方式）供热，热水网路与供暖用户系统采用直接连接的方式。近年来，多热源联 供热系统、热水网路与供暖用户系统采用间接连接、环形热水网路和利用变速循环水泵的系统型式等等的应用，促进了供热技术的发展。

4.预制供热保温管道直埋敷设的较广泛应用，改变了以前主要采用地沟敷设的型式，节约管网投资和便于施工。此外，管道保温材料的品种和规格也多种多样。

5.一些新型的供热管道的附件和设备得到推广应用，如波纹管补偿器、球形补偿器、蝶阀和手动调节阀等等，对保证供热系统安全运行起着重要的作用。

6.集中供热系统优化设计方面，进行了大量研究工作。供热系统的自控技术，如采用微机监控系统、采用机械式调节器控制等技术，已在国内一些集中供热系统中应用。

7.建设部颁布了《城市热力网设计规范》（CJJ34—90）和《城市供热管网工程施工及验收规范》（CJJ—28—89）等设计、施工基础资料。

虽然在建国四十多年来，我国供热工程建设和技术，取得了显著的成就，但与一些工业发达的国家相比，在整个供热系统的热能利用效率、供热（暖）产品设备品种和质量、供热系统的运行管理和自控水平等方面，仍有不少差距，亟待提高。

第一篇 供暖工程

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。它直接影响供暖系统方案的选择、供暖管道管径和散热器等设备的确定、关系到供暖系统的使用和经济效果。

第一节 供暖系统设计热负荷

人们为了生产和生活，要求室内保证一定的温度。一个建筑物或房间可有各种得热和散失热量的途径。当建筑物或房间的失热量大于得热量时，为了保持室内在要求温度下的热平衡，需要由供暖通风系统补进热量，以保证室内要求的温度。供暖系统通常利用散热器向房间散热，通风系统送入高于室内要求温度的空气，一方面向房间不断地补充新鲜空气，另一方面也为房间提供热量。

供暖系统的热负荷是指在某一室外温度 t_w 下，为了达到要求的室内温度 t_n ，供暖系统在单位时间内向建筑物供给的热量。它随着建筑物得失热量的变化而变化。

供暖系统的设计热负荷，是指在设计室外温度 t_w' 下，为达到要求的室内温度 t_n ，供暖系统在单位时间内向建筑物供给的热量 Q' 。它是设计供暖系统的最基本依据。

冬季供暖通风系统的热负荷，应根据建筑物或房间的得、失热量确定：

失热量有：

1. 围护结构传热耗热量 Q_1 ；
2. 加热由门、窗缝隙渗入室内的冷空气的耗热量 Q_2 ，称冷风渗透耗热量；
3. 加热由门、孔洞及相邻房间侵入的冷空气的耗热量 Q_3 ，称冷风侵入耗热量；
4. 水分蒸发的耗热量 Q_4 ；
5. 加热由外部运入的冷物料和运输工具的耗热量 Q_5 ；
6. 通风耗热量。通风系统将空气从室内排到室外所带走的热量 Q_6 ；

得热量有：

7. 生产车间最小负荷班的工艺设备散热量 Q_7 ；
8. 非供暖通风系统的其它管道和热表面的散热量 Q_8 ；
9. 热物料的散热量 Q_9 ；
10. 太阳辐射进入室内的热量 Q_{10} ；

此外，还会有通过其它途径散失或获得的热量 Q_{11} 。

对于没有由于生产工艺所带来得失热量而需设置通风系统的建筑物或房间（如一般的民用住宅建筑、办公楼等），建筑物或房间的热平衡就简单多了。失热量 Q_{11} 只考虑上述

的前三项耗热量。得热量 Q_d 只考虑太阳辐射进入室内的热量。至于住宅中其它途径的得热量。如人体散热量、炊事和照明散热量（统称为自由热），一般散发量不大，且不稳定，通常可不予计入。

因此，对没有装置机械通风系统的建筑物，供暖系统的设计热负荷可用下式表示：

$$Q' = Q'_{sh} - Q'_d = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 - Q'_{10} \quad (1-1)$$

上式带“'”的上标符号均表示在设计工况下的各种参数（全书均以此表示之）。

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。在工程设计中，计算供暖系统的设计热负荷时，常把它分成围护结构传热的基本耗热量和附加（修正）耗热量两部分进行计算。基本耗热量是指在设计条件下，通过房间各部分围护结构（门、窗、墙、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）耗热量是指围护结构的传热状况发生变化而对基本耗热量进行修正的耗热量。附加（修正）耗热量包括风力附加、高度附加和朝向修正等耗热量。朝向修正是考虑围护结构的朝向不同，太阳辐射得热量不同而对基本耗热量进行的修正。

因此，在工程设计中，供暖系统的设计热负荷，一般可分几部分进行计算。

$$Q' = Q'_{1,j} + Q'_{1,x} + Q'_2 + Q'_3 \quad (1-2)$$

式中 $Q'_{1,j}$ ——围护结构的基本耗热量；

$Q'_{1,x}$ ——围护结构的附加（修正）耗热量。

计算围护结构附加（修正）耗热量时，太阳辐射得热量可用减去一部分基本耗热量的方法列入，而风力和高度影响用增加一部分基本耗热量的方法进行附加。式中前两项表示通过围护结构的计算耗热量，后两项表示室内通风换气所耗的热量。

本章主要阐述供暖系统设计热负荷的计算原则和方法。对具有供暖及通风系统的建筑（如工业厂房和公共建筑等），供暖及通风系统的设计热负荷，需要根据生产工艺设备使用或建筑物的使用情况，通过得失热量的热平衡和通风的空气量平衡综合考虑才能确定。这部分内容将在“通风工程”课程中详细阐述。

第二节 围护结构的基本耗热量

在工程设计中，围护结构的基本耗热量是按一维稳定传热过程进行计算的，即假设在计算时间内，室内、外空气温度和其它传热过程参数都不随时间变化。实际上，室内散热设备散热不稳定，室外空气温度随季节和昼夜变化不断波动，这是一个不稳定传热过程。但不稳定传热计算复杂，所以对室内温度容许有一定波动幅度的一般建筑物来说，采用稳定传热计算可以简化计算方法并能基本满足要求。但对于室内温度要求严格，温度波动幅度要求很小的建筑物或房间，就需采用不稳定传热原理进行围护结构耗热量计算，详见“空气调节”工程的书籍。

围护结构基本耗热量，可按下式计算：

$$q' = KF(t_n - t_w)\alpha \quad W \quad (1-3)$$

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, $^{\circ}\text{C}$;

a ——围护结构的温差修正系数。

整个建筑物或房间的基本耗热量 $Q'_{1,j}$ 等于它的围护结构各部分基本耗热量 q' 的总和。

$$Q'_{1,j} = \Sigma q' = \Sigma K F (t_n - t'_w) a \quad \text{W} \quad (1-4)$$

下面对上式中各项分别讨论。

一、室内计算温度 t_n

室内计算温度是指距地面2 m以内人们活动地区的平均空气温度。室内空气温度的选定,应满足人们生活和生产工艺的要求。生产要求的室温,一般由工艺设计人员提出。生活用房间的温度,主要决定于人体的生理热平衡。它和许多因素有关,如与房间的用途、室内的潮湿状况和散热强度、劳动强度以及生活习惯、生活水平等有关。

许多国家所规定的冬季室内温度标准,大致在 $16 \sim 22^{\circ}\text{C}$ 范围内。根据国内有关卫生部门的研究结果认为:当人体衣着适宜,保暖量充分且处于安静状况时,室内温度 20°C 比较舒适, 18°C 无冷感, 15°C 是产生明显冷感的温度界限。

中华人民共和国国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ19—87)(简称《暖通规范》,下同)规定:设计集中供暖时,冬季室内计算温度,应根据建筑物的用途,按下列规定采用:

1.民用建筑的主要房间,宜采用 $16^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$;

2.生产厂房的工作地点:轻作业不应低于 15°C ,中作业不应低于 12°C ,重作业不应低于 10°C 。

轻作业是指能量消耗在 140W 的工种,如仪表、机械加工、印刷、针织等;中作业是指能量消耗在 $140 \sim 220\text{W}$ 的工种,如木工、钣金工、焊接等;重作业是指能量消耗在 $220 \sim 290\text{W}$ 的工种,如人力运输、大型包装等。

3.辅助建筑物及辅助用室的冬季室内计算温度值,见附录1-1。

对于高度较高的生产厂房,由于对流作用,上部空气温度必然高于工作地区温度,通过上部围护结构的传热量增加。因此,当层高超过4 m的建筑物或房间,冬季室内计算温度 t_n ,应按下列规定采用:

(1)计算地面的耗热量时,应采用工作地点的温度, $t_g(^{\circ}\text{C})$;

(2)计算屋顶和天窗耗热量时,应采用屋顶下的温度, $t_d(^{\circ}\text{C})$;

(3)计算门、窗和墙的耗热量时,应采用室内平均温度 $t_{p,j}$, $t_{p,j} = (t_g + t_d) / 2 (^{\circ}\text{C})$ 。

屋顶下的空气温度 t_d 受诸多因素影响,难以用理论方法确定。最好是按已有的类似厂房进行实测确定;或按经验数值,用温度梯度法确定。即

$$t_d = t_g + (H - 2) \Delta t \quad ^{\circ}\text{C} \quad (1-5)$$

式中 H ——屋顶距地面的高度, m;

Δt ——温度梯度, $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

对于散热量小于 $23\text{W}/\text{m}^2$ 的生产厂房,当其温度梯度值不能确定时,可用工作地点温度计算围护结构耗热量,但应按后面讲述的高度附加的方法进行修正,增大计算耗热量。