



“十三五”职业教育规划教材

(第二版)

供热工程

马仲元 主 编

卢春焕 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”职业教育规划教材

(第二版)

供热工程

主 编 马仲元
副主编 卢春焕
编 写 张红梅 王宇清 马宏雷
主 审 赵三元



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”职业教育规划教材,全书详细阐述了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与设计方法,并介绍了供暖系统、室外管网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中所采用的新技术、新设备、新的供暖系统形式和新的研究成果,给予了较充分的介绍。

本书可作为建筑职业技术院校及高等院校供热通风与空调工程技术专业的教材,也可作为其他相近专业“供热工程”课程的选用教材,还可供从事供暖和集中供热工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

供热工程/马仲元主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2016.1

“十三五”职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-8397-5

I. ①供… II. ①马… III. ①供热系统-高等职业教育-教材 IV. ①TU833

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第238469号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年5月第一版

2016年1月第二版 2016年1月北京第六次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.5印张 499千字

定价41.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

本书可作为职业技术学院及高等院校供热通风与空调工程技术专业的教材,本书为修订第二版教材。

根据课程基本要求,考虑到专业性、应用性和先进性,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,并介绍了供暖系统、室外管网运行管理的基本知识。

根据第一版的使用情况,本次修订中全书共两篇十二章,第一篇:供暖工程,主要介绍了室内热水及蒸汽供暖系统,并将近几年较成熟的一些新技术收录其中,第一章、第三章增加了部分内容。第二篇:集中供热,将集中供热主要是室外供热工程的相关内容进行了归类整合,内容更系统化,其篇幅较简洁精炼。第十一章增加了部分内容,并增编了第十二章供热系统的运行管理。增加了附录 B 供热工程课程设计任务书、附录 C 室内供暖系统设计工程实例,以其更加适应教学的需要。

本书由河北建筑工程学院马仲元担任主编,河南城建学院卢春焕担任副主编。绪论,第十一章的第一、第二节,第五至第八节由马仲元编写;第十一章的第三节及第四节、第十二章的第四节由河北建筑工程学院马宏雷编写;第一、二、六、九章由河南城建学院卢春焕编写;第三、四、五章由太原工学院张红梅编写;第七、八、十章及第十二章的第一至第三节由黑龙江建筑职业技术学院王宇清编写;附录 B、附录 C 由卢春焕、马宏雷、马仲元共同编写。全书由马仲元统稿,河北建筑工程学院赵三元教授主审。

由于时间和水平所限,本书难免有缺点和错误,恳请使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编者

2015 年 3 月

第一版前言

本书为职业技术学院及高等院校专科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,考虑到专业性、应用性和先进性,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。

全书共两篇十一章。第一篇:供暖工程,主要介绍室内热水及蒸汽供暖系统,并将近几年较流行的一些新技术收录其中。第二篇:集中供热,将集中供热主要是室外供热工程的相关内容进行了归类整合,内容更系统化,其篇幅较简洁。

本书由河北建筑工程学院马仲元主编,并编写了绪论,第十一章。第一、二、六、九章由平顶山工学院卢春焕编写。第三、四、五章由太原大学张红梅编写。第七、八、十章由黑龙江建筑职业技术学院王宇清编写。全书由马仲元统稿,河北建筑工程学院赵三元教授主审。

由于时间和水平所限,本书难免有缺点和错误,恳请使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编者

2003年10月

目 录

前言

第一版前言

绪论..... 1

第一篇 供 暖 工 程

第一章 供暖系统的设计热负荷计算.....	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	14
第四节 围护结构的最小传热阻与经济传热阻	16
第五节 冷风渗透及冷风侵入耗热量	18
第六节 供暖设计热负荷的计算实例	20
第七节 住宅分户计量供暖系统供暖设计热负荷计算简介	26
第八节 高层建筑供暖设计热负荷计算方法简介	27
第二章 供暖系统的散热设备	33
第一节 散热器	33
第二节 散热器的选择与计算	37
第三节 辐射供暖散热设备与暖风机	43
第四节 散热器的安装与养护	48
第三章 热水供暖系统	52
第一节 重力(自然)循环热水供暖系统	52
第二节 机械循环热水供暖系统	58
第三节 低温热水地板辐射供暖系统	62
第四节 住宅分户计量供暖系统	64
第五节 高层热水供暖系统	65
第六节 室内热水供暖系统的管路布置和主要设备及附件	68
第四章 室内热水供暖系统的水力计算	73
第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理	73
第二节 重力循环双管系统管路水力计算方法和例题	77
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	84
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	89
第五节 不等温降水力计算原理和方法	92

第五章 室内蒸汽供暖系统	97
第一节 蒸汽供暖系统热媒的特点	97
第二节 室内低压蒸汽供暖系统	98
第三节 室内高压蒸汽供暖系统	102
第四节 疏水器及其他附属设备	104
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	110
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	113

第二篇 集中供热

第六章 集中供热系统的热负荷	117
第一节 集中供热系统热负荷的概算和特征	117
第二节 热负荷图	122
第三节 年耗热量计算	124
第七章 集中供热系统	126
第一节 热水供热系统	126
第二节 蒸汽供热系统	130
第三节 集中供热系统形式、热源形式与热媒选择	131
第四节 热力站	134
第五节 换热器和喷射装置	135
第八章 热水网路的水力计算和水压图	149
第一节 热水网路水力计算的基本公式	149
第二节 热水网路水力计算方法和例题	151
第三节 水压图的基本概念及热水网路水压图	154
第四节 热水供热管网的定压方式	161
第九章 热水供热系统的供热调节与水力工况	166
第一节 概述	166
第二节 供暖热负荷供热调节的基本公式	166
第三节 直接连接热水供暖系统的集中供热调节	168
第四节 间接连接热水供暖系统的集中供热调节	174
第五节 供热综合调节	178
第六节 热水网路水力工况计算的基本原理	181
第七节 热水网路水力工况的分析和计算	183
第八节 热水网路的水力稳定性	188
第十章 蒸汽供热系统网路的水力计算与水力工况	191
第一节 蒸汽网路水力计算的基本公式	191
第二节 蒸汽网路水力计算方法和例题	191
第三节 凝结水管网的水力计算	197
第十一章 供热管道的敷设和保温	203

第一节	供热管网布置	203
第二节	室外供热管道的敷设方式	205
第三节	直埋供热管道的安装	211
第四节	供热管道及其附件	223
第五节	补偿器及选择计算	228
第六节	管道支座(架)	235
第七节	检查室与操作平台	239
第八节	供热管道的保温及其热力计算	240
第十二章	供热系统的运行管理	248
第一节	室外供热系统的验收	248
第二节	供热系统的启动、运行、故障处理	253
第三节	供热系统的自动控制及部件、设备	257
第四节	室外供热系统的水力平衡调节	266
附录 A	附表	272
附录 B	供热工程课程设计任务书	298
附录 C	室内供暖系统设计工程实例	300
参考文献		318

绪 论

一、供热通风与空调工程专业“供热工程”课程的研究对象和主要内容

人们在日常生活和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)及消耗中、低品位热能(温度低于 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$)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,在美国和日本占 $1/4\sim 1/3$;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,日益受到重视和得以发展。

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)系统及集中供热系统。本教材分两篇:第一篇“供暖工程”,第二篇“集中供热”。

众所周知,供暖就是用人工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和工作条件的技术。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,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。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。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换热方式不同,主要可分为对流供暖和辐射供暖。

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

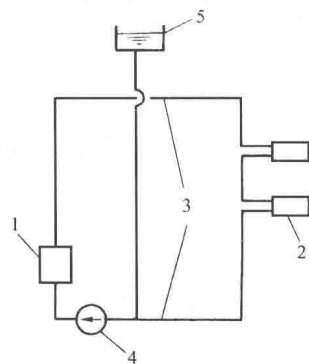


图0-1 集中式热水供暖系统示意图

1—热水锅炉; 2—散热器; 3—热水管道; 4—循环水泵; 5—膨胀水箱

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”,主要讲授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、运行等基本知识。对热风供暖和辐射供暖,仅对其散热设备及系统形式作简要的介绍。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,目前在国内有了一定的使用,根据本课程的教学基本要求,教材中也做了一些介绍。

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。

集中供热系统由热源、热力网(热网)和热用户三大部分组成。

(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。

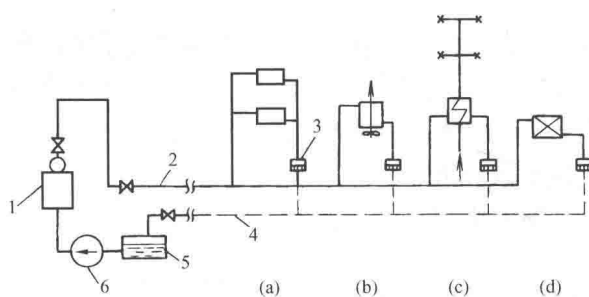


图 0-2 区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图

(a) ~ (d) 分别为室内供暖、通风、热水供应和
生产工艺用热系统

1—蒸汽锅炉房; 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

图 0-2 所示为区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图。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,同时利用做过功的抽(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 膨胀做功,驱动发电机 3 产生电能,投入电网向城镇供电。

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 $0.8 \sim 1.3 \text{ MPa}$ 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 $0.12 \sim 0.25 \text{ MPa}$ 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。蒸汽在凝汽器中被冷却水冷却为凝结水，用凝结泵 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。

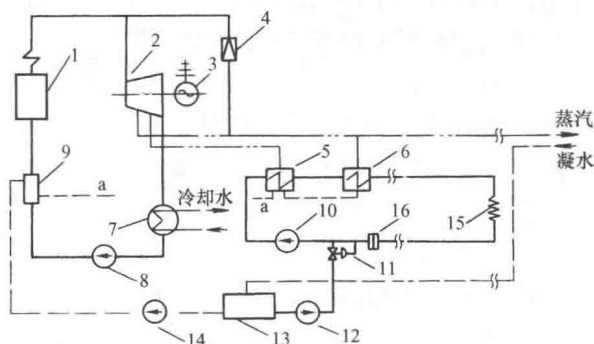


图 0-3 热电厂集中供热系统原则性示意图

- 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—凝汽器；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

由于供热汽轮机是利用做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为 $25\% \sim 40\%$ 。而热电厂的热效率可达 $70\% \sim 85\%$ 。

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。本课程的主要内容是阐述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《传热学》《工程热力学》《流体力学》等专业基本课程，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及欧洲安得塔尔化石发源地，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 20 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——热电厂和区域锅炉供热。全国热电厂的总年供热量约为 55GJ。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 t 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 45 200GJ/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 41 100GJ/h。热网干线长达 3000 多 km,向 500 多个工业企业和 4 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,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 以上的居民供暖和供应热水。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。

德国第二次世界大战后的废墟重建工作,为其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,还建立了连接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,热源的热压力为 0.5~2MPa,热源的总供汽能力为 3560t/h。由于 20 世纪 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七八十年的历史。世界上最早利用地热供暖的有意大利和新西兰等国家。冰岛首都雷克雅未克市的地热系统规模很大,据 1980 年资料,全市约 98.5% (约 100 000 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,4万人口的住宅区供暖。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展。原苏联的高尔基城已建成两座500kW的低温核反应堆。

此外、大型的工业企业,如钢铁、化工联合企业等,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,在多种形式供暖系统(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、火墙和火坑等,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。不少城镇实现集中供热。

供暖工程的设计、施工和运行管理工作,在20世纪50年代期间,主要是以学习原苏联供暖技术为依据的。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116MW,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20世纪70年代开始,多种供暖系统形式的应用和新型散热设备的研制工作,有了较大的发展。例如,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。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,

20 世纪 80 年代建造了一批太阳能供暖建筑。天津、北京等地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,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、富拉尔基等地兴建了区域性热电厂,为我国发展热电联产事业奠定了基础。

随着国民经济的迅速发展,节能工作日益受到重视,加以开放政策的实施,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。

1980 年,全国单机容量在 6000kW 及以上的供热机组容量为 443.41 万 kW,到 2001 年年底已发展到 3224 万 kW,年供热量为 128 743 万 GJ。1980 年,“三北”地区集中供热(暖)的建设面积仅为 1124.8 万 m^2 ,普及率为 2%;到 1990 年年底,全国已有 286 个城市建设了集中供热设施,供热(暖)面积达 146 329 万 m^2 ,“三北”地区集中供热普及率达到 12%。

我国集中供热技术的进展,主要表现在以下方面:

(1) 高参数、大容量供热机组的热电厂和大型区域锅炉的兴建,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 万 kW 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 m^2 。

此外,为提高热机效率,3000、6000kW 和 12 000kW 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,使供电煤耗大大降低,并为城市集中供热提供热源。20 世纪 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) 改变了许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形式多样化的局面。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,多热源联合供热系统、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形式等的应用,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形式,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,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。

我国供热工程建设和技术虽然取得了显著的成就,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。

四、建筑节能

我国是发展中国家,能源的获取一方面依靠自己生产,另一方面是通过等价交换,必须节约使用。我国近些年用于建筑供暖、通风及空调等(包括用电)的建筑能耗占总能耗的 $1/5 \sim 1/4$,建筑的能耗指标是发达国家的1.5倍。特别是在我国的“三北”地区,供暖的能耗又占建筑能耗的一半以上,是建筑能耗的主要部分,通常在这一部分的浪费最多,节能的潜力与效果也最大。可见,建筑的供暖能耗在建筑节能工作中占有重要地位。

建筑物的节能是供暖系统节能的前提与基础。近二十年来我国逐步重视建筑节能工作,国家、建设部、全国行业协会与各省市的建筑节能与主管部门相继出台了一系列的法律、法规、条例及规范。例如,1998年1月1日起实行的《中华人民共和国节约能源法》,2000年建设部发布的《民用建筑节能管理规定》(76号令),2003年7月,八大部委出台的关于城市供热体制改革试点的指导意见,等等。对实践具有指导意义的建设部《建筑节能“九五”计划和2010年规划》,规划对既有建筑与新建建筑的节能均提出了明确的时间要求,规划的目标是:

新建采暖居住建筑1996年以前,在1980~1981年当地通用设计采暖能耗水平基础上普遍降低30%,为第一阶段;1996年起在达到第一阶段要求的基础上节能30%,为第二阶段;2005年起在达到第二阶段要求的基础上节能30%,为第三阶段。

新建采暖公共建筑2000年前做到节能50%,为第一阶段;2010年在第一阶段基础上再节能30%,为第二阶段。

对采暖区域热环境差或能耗大的既有建筑的节能改造工作,2000年起重点城市成片开始,2005年各城市普遍开始,2010年重点城市普遍推行。

规划的变革深度与工作难度是前所未有的,为使规划得到顺利实施,不仅要加强宣传教育力度,还要采取法律及经济的手段。如配合规划制定的《既有居住建筑节能改造技术规程》(JGJ 129—2012),对建筑节能改造的判定原则及方法、墙体保温、提高门窗的气密性、屋面和地面的保温及采暖供热系统工程的改造等均做出了相应的规定。对应于居民住宅建筑与公共建筑(两者均属民用建筑范畴)制定的《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2010)与《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2015)。

第一篇 供暖工程

第一章 供暖系统的设计热负荷计算

供暖系统的设计,通常应完成的内容有确定系统的设计热负荷、散热设备选择计算、管道水力计算及系统主要设备的选择计算等。其中确定系统的设计热负荷是设计计算的第一步,它是散热设备的选择、水力计算、锅炉及其他设备的选择计算的基本依据。采暖热负荷计算得是否准确,直接关系到散热设备、管材、阀件数量的多少、锅炉容量的大小,进而影响采暖系统的工程造价、运行管理费用及使用效果。显然,如热负荷偏大,设备富裕量过多,将造成浪费;热负荷偏小,设备能力不够,则达不到设计使用要求。为能准确地确定热负荷,就应掌握确定热负荷的正确方法。

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到热量和散失热量的途径,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,需要有供暖通风系统补进热量,以保证室内要求的温度。

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。

房间内散失热量一般包括:

- (1) 通过围护结构两边的温差传出的热量 Q_1 ;
- (2) 由门窗缝隙渗入的室外空气吸热量 Q_2 ;
- (3) 由外门、外墙的孔洞等侵入的室外空气吸热量 Q_3 ;
- (4) 由外部运入的冷物料和运输工具等的吸热量;
- (5) 机械排风的排热量 Q_4 ;
- (6) 水分蒸发的吸热量 Q_5 ;
- (7) 通过其他途径散失的热量 Q_6 。

房间内获得热量的来源一般包括:

- (1) 最小负荷班的工艺设备散热量 Q_7 ;
- (2) 热物料在车间内的散热量 Q_8 ;
- (3) 热管道及其他热表面的散热量 Q_9 ;
- (4) 通过围护结构进入的太阳辐射热量 Q_{10} ;
- (5) 人体散热量 Q_{11} ;
- (6) 照明灯光散热量 Q_{12} ;
- (7) 通过其他途径获得的热量 Q_{13} 。

如房间获得的热量小于散失的热量,其差值即为供暖系统的热负荷。

供暖系统的设计热负荷,是指在设计室外温度 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。它是设计供暖系统的最基本依据。

对于一般住房和公共建筑,以及产热量很少的工业建筑,可以认为除太阳辐射得热量 Q'_d 外,其他均不计;失热量 Q'_{sh} 只考虑围护结构的传热耗热量 Q'_1 ,门窗缝隙渗入的室外空气吸热量 Q'_2 ,以及外门、外围护结构孔洞和其他生产跨间流入的室外空气吸热量 Q'_3 ;太阳辐射得热量又可在 Q'_1 中按一定比例扣除。故供暖系统设计热负荷为

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

式中“'”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,即

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

式中 Q'_{1j} ——围护结构的基本耗热量;

Q'_{1x} ——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(1-2)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。

供暖设计热负荷计算,一般以房间为对象,逐个房间进行计算。

第二节 围护结构的基本耗热量

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,且室外空气温度随季节和昼夜发生变化,供热设备的散热也随时间发生波动,故该传热又为复杂的不稳定传热。不稳定传热计算复杂,在工程中则以某一稳定传热过程代替实际的不稳定传热过程,虽然有一定的误差,但便于使用,且由于房屋有足够的热惰性(即有蓄热作用),所引起的误差不会造成室温过大的波动。

在稳定传热条件下,通过房间各部分围护结构的传热量,即围护结构的基本耗热量的基本计算公式为