

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

# 供热工程 (第四版)

贺平 孙刚 王飞 吴华新 编著  
吴 星 主审

 中国建筑工业出版社

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

# 供热工程

## (第四版)

贺平 | 孙刚 王飞 吴华新 编著  
吴星 主审

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

供热工程/贺平, 孙刚等编著. —4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材 ISBN 978-7-112-10849-7

I. 供… II. ①贺…②孙… III. 供热系统-高等学校-教材  
IV. TU833

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 040822 号

责任编辑: 齐庆梅

责任设计: 董建平

责任校对: 王金珠 梁珊珊

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材  
**供热工程**  
(第四版)

贺平 孙刚 王飞 吴华新 编著  
吴星 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版  
北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 29½ 字数: 718 千字  
2009 年 8 月第四版 2009 年 8 月第三次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-10849-7  
(18075)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 第四版前言

本书是在原《供热工程》(第三版)的基础上,保留原书的结构框架与精华,并将近15年供热发展的新技术与新设备编入其中,形成了较完整的供热工程理论体系。同时,照顾了集中供热工程实践之需要。第四版不仅可满足建筑环境与设备工程专业本科生、研究生的教学使用要求,而且也是供热工程技术人员深化专业技能的参考书籍。

本书是在原哈尔滨建筑工程学院[贺平]主编的第三版基础之上修订而成,与原教材相比内容有了较大的更新。本书绪论、第二章、第五章、第六章和第十七章由哈尔滨工程大学孙刚编写;第一章、第三章、第四章和第七章由哈尔滨工程大学吴华新编写;第八章~第十六章由太原理工大学王飞编写。全书由孙刚、王飞统稿,由北京市热力公司吴星主审。

此次修订过程中得到高校建筑环境与设备工程专业指导委员会成员、兄弟院校有关老师以及热力部门工程技术人员的大力支持和帮助。在“集中供热系统自动化”章节中还得到了潘广军高级工程师的技术指导,为此均深表感谢。

为方便任课教师制作电子课件,我们制作了包括本书中公式、图表等内容的素材库,可发送邮件至 [jiangongshe@163.com](mailto:jiangongshe@163.com) 免费索取。

由于编者水平所限,对于书中的缺点错误,恳请读者给予批评指正。

## 第三版前言

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校、天津大学、西安冶金建筑学校、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，其中第十二章、十三章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 .....                      | 9   |
| 第一章 室内供暖系统的设计热负荷 .....              | 10  |
| 第一节 供暖系统设计热负荷 .....                 | 10  |
| 第二节 围护结构的基本耗热量 .....                | 11  |
| 第三节 围护结构的附加（修正）耗热量 .....            | 17  |
| 第四节 冷风渗透耗热量 .....                   | 19  |
| 第五节 冷风侵入耗热量 .....                   | 21  |
| 第六节 供暖设计热负荷计算例题 .....               | 21  |
| 第七节 辐射供暖系统热负荷计算 .....               | 24  |
| 第八节 围护结构的最小传热阻与经济传热阻 .....          | 25  |
| 第九节 高层建筑供暖设计热负荷计算方法简介 .....         | 29  |
| 第十节 建筑节能及措施 .....                   | 34  |
| 第二章 室内供暖系统的末端装置 .....               | 38  |
| 第一节 散热器 .....                       | 38  |
| 第二节 散热器的计算 .....                    | 45  |
| 第三节 低温辐射采暖的计算 .....                 | 49  |
| 第四节 钢制辐射板 .....                     | 58  |
| 第五节 暖风机与风机盘管 .....                  | 62  |
| 第三章 室内热水供暖系统 .....                  | 66  |
| 第一节 传统室内热水供暖系统 .....                | 67  |
| 第二节 分户采暖热水供暖系统 .....                | 78  |
| 第三节 高层建筑热水供暖系统 .....                | 82  |
| 第四节 室内热水供暖系统主要设备及附件 .....           | 86  |
| 第四章 室内热水供暖系统的水力计算 .....             | 90  |
| 第一节 热水供暖系统管路水力计算的基本原理 .....         | 90  |
| 第二节 重力（自然）循环双管供暖系统管路水力计算方法和例题 ..... | 98  |
| 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 .....  | 105 |
| 第四节 分户采暖热水供暖系统管路的水力计算原则与方法 .....    | 113 |
| 第五章 室内蒸汽供热系统 .....                  | 126 |
| 第一节 蒸汽作为供热系统热媒的特点 .....             | 126 |
| 第二节 室内蒸汽供暖系统 .....                  | 127 |

|      |                              |     |
|------|------------------------------|-----|
| 第三节  | 室内高压蒸汽供热系统 .....             | 131 |
| 第四节  | 疏水器及其他附属设备 .....             | 134 |
| 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 ..... | 142 |
| 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 ..... | 146 |
| 第二篇  | 集中供热 .....                   | 151 |
| 第六章  | 集中供热系统的热负荷 .....             | 152 |
| 第一节  | 集中供热系统的热负荷的概算和特征 .....       | 152 |
| 第二节  | 热负荷图 .....                   | 157 |
| 第三节  | 年耗热量计算 .....                 | 162 |
| 第七章  | 集中供热系统的热源 .....              | 164 |
| 第一节  | 热电厂 .....                    | 164 |
| 第二节  | 区域锅炉房 .....                  | 168 |
| 第三节  | 集中供热系统的其他热源形式 .....          | 183 |
| 第四节  | 热力站 .....                    | 195 |
| 第五节  | 换热器 .....                    | 201 |
| 第六节  | 供热系统热源的其他常用设备 .....          | 216 |
| 第八章  | 集中供热系统 .....                 | 224 |
| 第一节  | 热水供热系统 .....                 | 224 |
| 第二节  | 蒸汽供热系统 .....                 | 230 |
| 第三节  | 热网系统形式与多热源联合供热 .....         | 235 |
| 第四节  | 分布式加压泵热水供热系统 .....           | 239 |
| 第九章  | 热水网路的水力计算和水压图 .....          | 242 |
| 第一节  | 热水网路水力计算的基本公式 .....          | 242 |
| 第二节  | 热水网路水力计算方法和例题 .....          | 244 |
| 第三节  | 水压图的基本概念 .....               | 248 |
| 第四节  | 热水网路的水压图 .....               | 251 |
| 第五节  | 补给水泵定压方式 .....               | 258 |
| 第六节  | 其他定压方式（氮气罐、空气囊定压，蒸汽定压） ..... | 261 |
| 第七节  | 中继加压泵站 .....                 | 262 |
| 第十章  | 热水供热系统的水力工况 .....            | 265 |
| 第一节  | 热水网路水力工况计算的基本原理 .....        | 265 |
| 第二节  | 热水网路水力工况的分析和计算 .....         | 269 |
| 第三节  | 热水网路的水力稳定性 .....             | 275 |
| 第十一章 | 热水供热系统的集中运行调节 .....          | 277 |
| 第一节  | 概述 .....                     | 277 |
| 第二节  | 供暖热负荷供热调节的基本公式 .....         | 277 |
| 第三节  | 直接连接热水供暖系统的集中供热调节 .....      | 279 |
| 第四节  | 间接连接热水供暖系统的集中供热调节 .....      | 285 |
| 第五节  | 供热综合调节 .....                 | 289 |

|             |                           |     |
|-------------|---------------------------|-----|
| 第六节         | 多热源并网运行的供热调节              | 293 |
| <b>第十二章</b> | <b>热水供热系统的初调节方法</b>       | 298 |
| 第一节         | 比例调节法                     | 298 |
| 第二节         | 补偿调节法                     | 300 |
| 第三节         | 回水温度调节法                   | 302 |
| 第四节         | 模拟分析法                     | 303 |
| <b>第十三章</b> | <b>蒸汽供热系统管网的水力计算与水力工况</b> | 308 |
| 第一节         | 蒸汽网路水力计算的基本公式             | 308 |
| 第二节         | 蒸汽网路水力计算方法和例题             | 310 |
| 第三节         | 凝结水管网的水力工况和水力计算           | 316 |
| 第四节         | 凝结水管网的水力计算例题              | 320 |
| <b>第十四章</b> | <b>供热管线的敷设和构造</b>         | 326 |
| 第一节         | 供热管网布置原则                  | 326 |
| 第二节         | 室外供热管道的敷设方式               | 327 |
| 第三节         | 供热管道及其附件                  | 331 |
| 第四节         | 补偿器                       | 335 |
| 第五节         | 管道支座(架)                   | 337 |
| 第六节         | 检查室与操作平台                  | 340 |
| 第七节         | 供热管道的保温及其热力计算             | 341 |
| <b>第十五章</b> | <b>供热管道的应力计算</b>          | 349 |
| 第一节         | 概述                        | 349 |
| 第二节         | 管壁厚度和活动支座间距的确定            | 350 |
| 第三节         | 管道的热伸长及其补偿                | 353 |
| 第四节         | 固定支座(架)的跨距及其受力计算          | 358 |
| 第五节         | 直埋管道的最大允许温差和最大安装长度        | 362 |
| <b>第十六章</b> | <b>集中供热系统方案设计比选</b>       | 366 |
| 第一节         | 集中供热系统热源形式与热媒的选择          | 366 |
| 第二节         | 管网系统形式和敷设方式的选择            | 369 |
| 第三节         | 管网初调节和运行调节方式的选择           | 371 |
| 第四节         | 供热系统定压方式的选择               | 375 |
| 第五节         | 换热器、水泵的选择                 | 377 |
| 第六节         | 高低层建筑共建小区供热方案选择           | 379 |
| 第七节         | 地暖、散热器用户共建小区供热方案选择        | 380 |
| <b>第十七章</b> | <b>集中供热系统自动化</b>          | 383 |
| 第一节         | 集中供热系统自动化的组成              | 384 |
| 第二节         | 热力站的自控                    | 388 |
| 第三节         | 锅炉房的自动监测与控制               | 400 |
| <b>附录</b>   |                           | 407 |
| 附录 0-1      | 单位换算表                     | 407 |

|        |                                                                                        |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 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)                                                        | 407 |
| 附录 1-2 | 温差修正系数 $\alpha$ 值                                                                      | 407 |
| 附录 1-3 | 一些建筑材料的热物理特性表                                                                          | 408 |
| 附录 1-4 | 常用围护结构的传热系数 $K$ 值                                                                      | 408 |
| 附录 1-5 | 渗透空气量的朝向修正系数 $n$ 值                                                                     | 409 |
| 附录 1-6 | 允许温差 $\Delta t_v$ 值                                                                    | 409 |
| 附录 2-1 | 一些铸铁散热器规格及其传热系数 $K$ 值                                                                  | 409 |
| 附录 2-2 | 一些钢制散热器规格及其传热系数 $K$ 值                                                                  | 410 |
| 附录 2-3 | 散热器组装片数修正系数 $\beta_1$                                                                  | 410 |
| 附录 2-4 | 散热器连接形式修正系数 $\beta_2$                                                                  | 410 |
| 附录 2-5 | 散热器安装形式修正系数 $\beta_3$                                                                  | 410 |
| 附录 2-6 | PE-X 管单位地面面积的散热量和向下传热损失                                                                | 411 |
| 附录 2-7 | 电热膜 (220V/20W) 的电阻与电流表                                                                 | 413 |
| 附录 2-8 | 块状辐射板规格及散热量表                                                                           | 416 |
| 附录 2-9 | 金属辐射板的最低安装高度                                                                           | 416 |
| 附录 3-1 | 水在各种温度下的密度 $\rho$ (压力为 100kPa 时)                                                       | 416 |
| 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                                                  | 417 |
| 附录 3-3 | 供暖系统各种设备供给每 1kW 热量的水容量 $V_e$                                                           | 418 |
| 附录 4-1 | 热水供暖系统管道水力计算表 ( $t'_g=95^\circ\text{C}$ , $t'_h=70^\circ\text{C}$ , $K=0.2\text{mm}$ ) | 418 |
| 附录 4-2 | 热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 $\zeta$ 值                                                              | 420 |
| 附录 4-3 | 热水供热系统局部阻力系数 $\zeta-1$ 的局部损失 (动压头) 值                                                   | 420 |
| 附录 4-4 | 一些管径的 $\lambda/d$ 值和 $\Lambda$ 值                                                       | 420 |
| 附录 4-5 | 按 $\zeta_{\text{总}}-1$ 确定热水供暖系统管段压力损失的管径计算表                                            | 421 |
| 附录 4-6 | 单管顺流式热水供暖系统立管组合部件的 $\zeta_{\text{立}}$ 值                                                | 422 |
| 附录 4-7 | 单管顺流式热水供暖系统立管的 $\zeta_{\text{立}}$ 值                                                    | 422 |
| 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 $\alpha$                                                         | 423 |
| 附录 5-1 | 疏水器的排水系数 $A_p$ 值                                                                       | 423 |
| 附录 5-2 | 减压阀阀孔面积选择用图                                                                            | 424 |
| 附录 5-3 | 低压蒸汽供暖系统管路水力计算表                                                                        | 424 |
| 附录 5-4 | 低压蒸汽供暖系统管路水力计算用动压头                                                                     | 425 |
| 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                                                                 | 425 |
| 附录 5-6 | 室内高压蒸汽供暖系统管径计算表                                                                        | 426 |
| 附录 5-7 | 室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度 ( $K=0.2\text{mm}$ )                                                | 427 |
| 附录 6-1 | 供暖热指标推荐值 $q_1$                                                                         | 427 |
| 附录 6-2 | 热水用水定额                                                                                 | 428 |
| 附录 6-3 | 居住区供暖期生活热水热指标 $q_s$                                                                    | 429 |
| 附录 6-4 | 住宅、别墅、旅馆、医院的热水小时变化系数 $k_h$ 值                                                           | 429 |
| 附录 6-5 | 一些产品单位耗能概算指标                                                                           | 429 |

|              |                                                                                             |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 附录 6-6       | 我国北方一些城市等于或低于某一室外温度的<br>平均延续小时数 (1951~1980 年) .....                                         | 430 |
| 附录 7-1       | 国产部分供热机组的主要技术资料 .....                                                                       | 431 |
| 附录 9-1       | 热力网路水力计算表 .....                                                                             | 432 |
| 附录 9-2       | 热水网路局部阻力当量长度表 ( $K=0.5\text{mm}$ ) (用于蒸汽网路<br>$K=0.2\text{mm}$ , 乘修正系数 $\beta=1.26$ ) ..... | 439 |
| 附录 9-3       | 热网管道局部损失与沿程损失的估算比值 $a_f$ 值 .....                                                            | 441 |
| 附录 13-1      | 室外高压蒸汽管径计算表 .....                                                                           | 441 |
| 附录 13-2      | 二次蒸发汽数量 $x_2$ .....                                                                         | 447 |
| 附录 13-3      | 汽水混合物密度 $\rho_v$ .....                                                                      | 447 |
| 附录 13-4      | 凝结水管管径计算表 .....                                                                             | 447 |
| 附录 13-5      | 凝结水管道水力计算表 .....                                                                            | 449 |
| 附录 14-1      | 管沟敷设有关尺寸 .....                                                                              | 454 |
| 附录 14-2      | 塑料加热管的物理力学性能 .....                                                                          | 454 |
| 附录 15-1      | 供热管道常用钢管的物理特性数据表 .....                                                                      | 454 |
| 附录 15-2      | 纵缝焊接钢管基本许用应力的修正系数表 .....                                                                    | 455 |
| 附录 15-3      | 管道应力计算常用辅助计算数据表 .....                                                                       | 455 |
| 附录 15-4      | 地沟与架空敷设供热管道活动支座最大允许间距表 .....                                                                | 456 |
| 附录 15-5      | 地沟与架空敷设的直线管段固定支座 (架) 最大间距表 .....                                                            | 458 |
| 附录 15-6      | 弹塑性分析法计算控制最大温差 .....                                                                        | 458 |
| 主要参考文献 ..... |                                                                                             | 459 |

## 绪 论

### 一、建筑环境与设备工程专业“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），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，在我国目前也达到  $1/5\sim 1/4$ ；而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。

供热工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，供暖就是使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（供热管网）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，如烟道供暖（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）。

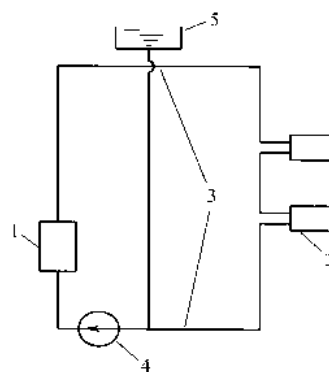


图 0-1 集中式热水供暖系统示意图

1—热水锅炉；2—散热器；3—热水管道；  
4—循环水泵；5—膨胀水箱

根据供暖系统散热给室内的方式不同，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，主要采用塑料盘管、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。辐射式供暖系统，尤其是低温热水地面辐射式供暖系统目前在国内开始普及使用，故在本书中新增了这部分内容。

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（也称热力网）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。热用户是指热量被消耗掉的场所，室内供暖中的热用户为消耗能的建筑。室内的供暖系统应包括建筑的入口或单元入口的检查井后的所有设施与设备均属热用户。这一点对在采取分户采暖之前的供暖系统是毫无疑问的，需要明确说明的是：分户采暖后建筑物内的管网（即检查井之后至居民住宅采暖入口之前的管网）也应属于热用户，而不属于热网。在检查井之前的管网与设备（包括检查井与井内的设备）才应归属于热网。

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。

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。

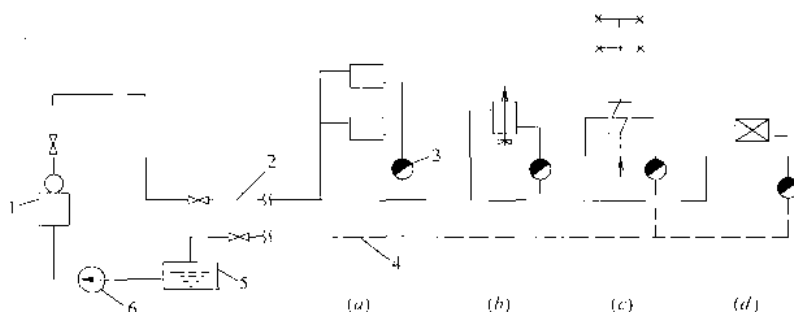


图 0-2 区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图

(a)、(b)、(c) 和 (d)室内供暖、通风、热水供应和生产工艺用热系统

1 蒸汽锅炉；2 蒸汽主管；3 疏水器；4 凝水主管；5 凝结水箱；6 锅炉给水泵；

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。

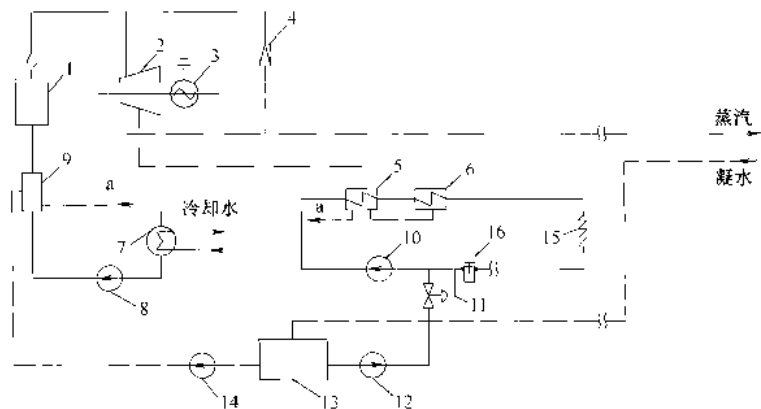


图 0-3 热电厂集中供热系统原则性示意图

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冷凝器（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热系统。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，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。

前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。前苏联集中供热规模，居世界首位。1980 年前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，单就前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（tce）。

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 45200 GJ/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 41100 GJ/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。

在一些工业发展较早的国家中，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。热源的供汽压力为 5~20bar。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，就制定了促进热电联产的技术和经济方面的倾斜政策。

利用地热能源供热已有 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 10 万人）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、前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，瑞典首都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，近年来许多国家如前苏联、瑞典、加拿大等国家都在积极开发。前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。如前苏联和东欧等国家，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

供暖技术的现代化。

### 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,装设了集中式供热系统,被视为高贵的建筑设备。在工厂中,对生产工艺用热,大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 20 世纪 50 年代期间,主要是以学习前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》(GBJ 19—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。2003 年颁布了现行的《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ 50019—2003)。

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达 116MW,促进了集中供热(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。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,20 世纪 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,地热能供暖也有了一定的发展前景。

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,近年来也获得了长足的进步。

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了基础。

近三十年来,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，无论在供热规模还是供热技术方面，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143.41万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）面积仅为1124.8万m<sup>2</sup>，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m<sup>2</sup>，到2005年底，全国实现供热（暖）面积为252056万m<sup>2</sup>。

到20世纪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m<sup>2</sup>。到2005年底，供暖面积已发展到31736万m<sup>2</sup>。

20世纪80年代后，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1.2万、2.5万、5.0万kW的供热机组。近年来，主要应用的是20万和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。太原市的大型区域锅炉房，供暖建筑面积达到600万m<sup>2</sup>。

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，使发电耗煤大大降低，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和分布式水泵供热系统等的应用，促进了供热技术的发展。

4. 预制供热保温管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、旋转式补偿器、蝶阀、手动调节阀、自立式调节阀等，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。

7. 建设部颁布了《城市热力网设计规范》（CJJ 34—2002）和《城市供热管网工程施工及验收规范》（CJJ 28—2004）等设计、施工基础资料。

虽然在建国五十多年来，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。

供热工程发展面临的主要问题是：