



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

# 供热工程 (下册 集中供热)

邹平华◎主编

邹平华 方修睦 王 芑 倪 龙◎编著

石兆玉◎主审



中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

# 供 热 工 程

(下册 集中供热)

邹平华 主编  
邹平华 方修睦 王 芑 倪 龙 编著  
石兆玉 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

供热工程 (下册 集中供热)/邹平华主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-21179-1

I. ①供… II. ①邹… III. ①供热工程-高等学校-教材  
IV. ①TU833

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 218855 号

本书为普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材, 分上、下两册。

本书根据建筑环境与能源应用工程专业课程基本要求和专业培养计划的课程体系编写。在下册——集中供热中全面系统地阐述了集中供热系统的构成、工作原理和设计方法, 介绍了有关运行管理方面的基本知识。

本书体现了编写组多年来从事“供热工程”的教学经验和科研工作体会, 反映了国内外供热工程领域的最新研究进展, 汲取了国内外供热工程教材的精华。力求文字通俗易懂, 简明扼要; 图形表现注重清晰、标准和突出重点。内容系统性强, 为教学和自学提供便利。每章后附形式多样的思考题与习题, 利于加深对所学内容的理解。通过扫描部分章节附带的二维码, 可观看知识点动画与图片 (部分为付费观看), 便于扩大学生的知识面和增强学习兴趣。

本书可作为建筑环境与能源应用工程专业的教材, 亦可作为其他有关专业的参考教材, 还可作为从事供热通风空调工程设计、制造、安装和运行人员的工作参考用书。

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 李欣慰 刘梦然

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

### 供热工程 (下册 集中供热)

邹平华 主编

邹平华 方修睦 王 芑 倪 龙 编著

石兆玉 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 499 千字

2018 年 6 月第一版 2018 年 6 月第一次印刷

定价: 43.00 元 (定价不含动画内容)

ISBN 978-7-112-21179-1

(30822)

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)

## 前 言

《供热工程》根据建筑环境与能源应用工程专业课程基本要求和专业培养计划的课程体系编写。书中总结了编写组近年来在“供热工程”教学中的经验和科研工作体会，反映了国内外供热工程领域的最新研究成果，汲取了国内外供热工程教材中的精华。

全书分为上、下两册：上册——供暖工程；下册——集中供热。上册与下册章的编号连续，上册为1~6章，下册为7~19章。两册内容相对独立，可以全选或单选使用。

供热工程（下册 集中供热），全面系统地阐述了集中供热系统的构成、工作原理和设计方法，介绍了有关运行管理方面的基本知识。在简明扼要阐述基本内容的同时，注重加强系统性、适度加大信息量和扩展深度，为教学提供广泛的选择空间和学生自学的便利。书中各章节既相对独立又相互联系。

本书在传承一般供热工程教材内容的基础上，为适应供热技术的进步和发展而新增与强化了较多内容，主要有：

(1) 新增基于概率论的供热可靠性基本原理和供热管网可靠性指标的计算方法。强调管网设计应综合考虑经济性和可靠性，用例题说明了不同规模的供热系统应采用不同的管网形式和提高可靠性的措施。

(2) 新增多热源、环状管网水力计算方法，事故工况和运行工况水力计算方法。强调循环水泵的选型除应考虑设计工况外，还应考虑运行工况和事故工况。

(3) 新增供热系统热力工况计算的基本原理和计算方法。

(4) 强化对设置中继泵的供热系统的水压图绘制方法，分布式水泵输配系统的水压图绘制方法与节能量的分析方法等内容的阐述。

(5) 新增不同类型热用户、若干热负荷并存的热用户与供热管网的连接形式以及管网设计流量的计算方法。

(6) 强化对多种热源供热系统的工作原理、系统形式和应用条件的阐述，包括供热汽轮机、燃气轮机等的工作原理和热力系统，发展热电联产的优越性和应注重的问题，低温核供热堆和核热电厂供热的基本原理等。

(7) 强化对运行管理、供热系统质量评价以及运行调度方法等内容的阐述。

为了扩大学生的知识面和学习兴趣，加强对系统和设备工作原理等知识的理解，书中部分章节增加了可扫描的二维码，以供观看与教学内容相关的图片和动画（其中一部分为免费观看，另一部分用▶标记的为低价收费观看）。此项工作为初次尝试，图片和动画数量有限，有待今后补充和完善。

在使用本教材时，可视实际的教学时数及课程安排取舍。为此在一些章节编号上标以(\*)号，以示为可供选修或自学的内容。

本书可作为高等工科院校建筑环境与能源应用工程专业的“供热工程”课程的教材，亦可作为相关专业教学参考，还可作为从事供热通风空调工程设计、制造、安装和运行人

员的工作参考用书。

本书由邹平华、方修睦、王芑、倪龙合编，邹平华担任主编。绪论由邹平华编写；第7章由方修睦、王芑合编；第8章由邹平华、王芑、倪龙合编；第9章和第10章由邹平华、王芑合编；第11章由邹平华编写；第12章由王芑编写；第13章由方修睦、邹平华合编；第14章由邹平华编写；第15章由邹平华、王芑合编；第16章由邹平华、方修睦、王芑、倪龙合编；第17章由邹平华、王芑合编；第18章由方修睦编写；第19章由倪龙编写。王芑为本书成稿做了大量辅助工作。

本书承蒙清华大学石兆玉教授细致审阅和指正，提出了不少宝贵意见，在此谨致衷心谢意。

在本书编写过程中，得到了本学科专业指导委员会的支持和鼓励，得到了中国建筑工业出版社领导的支持，中国建筑工业出版社齐庆梅编辑做了大量的组织工作。在此一并向他们表示衷心感谢。

由于时间仓促和编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请批评指正。如有意见和建议，可寄送哈尔滨工业大学 (Email: zph@hit.edu.cn, cahnburg@hit.edu.cn)。索取教材配套 ppt，可发邮件至 jiangongshe@163.com。

# 目 录

绪论 .....	1
第 7 章 供热系统的热负荷 .....	8
7.1 设计热负荷及其概算方法 .....	8
7.1.1 季节性热负荷 .....	8
7.1.2 常年性热负荷 .....	10
7.2 热负荷图及年供热量 .....	12
7.2.1 热负荷随室外温度变化图 .....	12
7.2.2 热负荷延续时间图及年耗热量 .....	13
复习思考题 .....	16
第 8 章 供热系统及其流量的计算 .....	17
8.1 供热系统的能源与供热参数 .....	17
8.1.1 供热系统的能源 .....	17
8.1.2 供热系统的设计供水温度和设计供回水温差 .....	17
8.2 供热系统的类型 .....	18
8.2.1 直接连接、间接连接供热系统 .....	18
8.2.2 闭式、开式供热系统 .....	18
8.2.3 不同制式管网的供热系统 .....	19
8.3 热用户与供热管网的连接及其设计流量的确定 .....	20
8.3.1 供暖热用户与供热管网的连接形式及其设计流量的确定 .....	20
8.3.2 * 其他热用户与供热管网的连接形式及其设计流量的确定 .....	23
8.4 供热管网及其设计流量的计算 .....	29
8.4.1 供热管网的类型 .....	29
8.4.2 供热管网设计流量的计算 .....	34
8.5 热力站 .....	39
8.5.1 热力站的设置 .....	39
8.5.2 热力站与供热管网的连接 .....	40
复习思考题 .....	42
第 9 章 供热管网的水力计算 .....	44
9.1 供热管网水力计算的基本原理及基本公式 .....	44
9.1.1 供热管网水力计算的基本原理 .....	44
9.1.2 供热管网水力计算的基本公式 .....	45
9.2 供热管网的设计水力计算 .....	48

9.2.1	单热源枝状供热管网的水力计算	48
9.2.2	单热源环状供热管网的水力计算	53
9.2.3	* 多热源供热管网的水力计算	59
9.3	* 多热源供热管网的运行工况水力计算	62
9.4	供热系统循环水泵的选择	63
	复习思考题	65
<b>第10章</b>	<b>水压图</b>	<b>66</b>
10.1	绘制水压图的基础	66
10.1.1	绘制水压图的基本原理	66
10.1.2	制定水压图的原则	67
10.1.3	一般水压图的绘制	67
10.1.4	绘制水压图的用途	70
10.1.5	间接连接系统热用户的水压图	71
10.2	补给水泵定压及补给水泵的选择	73
10.2.1	补给水泵定压	73
10.2.2	补给水泵的选择计算	75
10.3	设置中继泵的供热系统水压图	76
10.3.1	设置中继泵的大型供热管网及其水压图	76
10.3.2	扩建供热管网设置中继泵的水压图	77
10.3.3	在地势高差大地区供热管网设置中继泵的水压图	77
10.3.4	供热长输管线中设置中继泵的水压图	78
10.4	* 分布式水泵输配系统及水压图	79
10.4.1	分布式水泵输配系统	79
10.4.2	分布式水泵输配系统水压图	79
10.4.3	分布式水泵输配系统循环水泵的选择	80
10.4.4	分布式水泵输配系统的节能分析	81
10.5	* 多热源及环状供热管网的水压图	84
10.5.1	多热源枝状供热管网的水压图	84
10.5.2	环状供热管网的水压图	84
	复习思考题	85
<b>第11章</b>	<b>水力工况与热力工况</b>	<b>87</b>
11.1	概述	87
11.2	供热系统的水力工况	88
11.2.1	供热系统水力工况分析与计算的基本公式	88
11.2.2	供热系统水力工况的定性分析	90
11.2.3	* 供热系统水力工况计算	95
11.2.4	供热系统的水力稳定性	101
11.3	* 供热系统的热力工况	102
11.3.1	换热器的热力特性	102



11.3.2	供热系统的热力失调及热力稳定性 .....	106
11.3.3	热力工况计算与分析 .....	107
	复习思考题 .....	109
<b>第 12 章</b>	<b>供热调节 .....</b>	<b>112</b>
12.1	供热调节的分类 .....	112
12.2	直接连接供热系统的调节 .....	113
12.2.1	直接连接供热系统调节的基本公式 .....	113
12.2.2	直接连接供热系统的调节方法 .....	114
12.3	间接连接供热系统的调节 .....	119
12.3.1	间接连接供热系统调节的基本公式 .....	119
12.3.2	间接连接供热系统的供热调节方法 .....	120
12.4	* 多种类型热负荷的调节 .....	121
12.5	* 多热源供热系统的调节 .....	125
	复习思考题 .....	126
<b>第 13 章</b>	<b>管线与设施 .....</b>	<b>128</b>
13.1	管网布置原则 .....	128
13.2	管网敷设 .....	129
13.2.1	地上敷设 .....	129
13.2.2	地下敷设 .....	130
13.3	管道及管路附件 .....	135
13.3.1	检查室及操作平台 .....	135
13.3.2	管道的放气与放水装置 .....	135
13.3.3	管道 .....	136
13.3.4	阀门 .....	137
13.3.5	补偿器 .....	142
13.3.6	管道支架及支座 .....	145
13.4	管道及设备的保温 .....	147
13.5	* 管道及附件防腐 .....	149
13.5.1	管道及附件腐蚀的原因 .....	149
13.5.2	管道及附件防腐方法 .....	150
	复习思考题 .....	152
<b>第 14 章</b>	<b>管道与设备的保温计算 .....</b>	<b>153</b>
14.1	保温管道与设备的热损失及外表面温度的计算 .....	153
14.1.1	地上敷设管道与设备的热损失及外表面温度的计算 .....	153
14.1.2	直埋敷设管道的热损失及保温层外表面温度的计算 .....	156
14.1.3	管沟敷设管道的热损失计算 .....	160
14.2	* 管道沿程温度变化及保温效率 .....	163
14.2.1	保温管道沿程温度的变化 .....	163
14.2.2	管道保温效率的计算 .....	164



复习思考题	164
<b>第 15 章 供热管道的受力计算</b>	165
15.1 供热管道承受的荷载和应力	165
15.1.1 供热管道的受力特点	165
15.1.2 供热管道承受的荷载	165
15.1.3 供热管道承受的应力分类	166
15.1.4 承受内压的管道壁厚计算	166
15.1.5 承受内压的管道应力验算	168
15.2 地上敷设和管沟敷设管道受力计算	168
15.2.1 地上敷设和管沟敷设管道受力计算的任务	168
15.2.2 活动支座(架)间距的确定	169
15.2.3 管道的热伸长与补偿器的受力分析	172
15.2.4 固定支座(架)的间距及受力计算	179
15.3 直埋敷设管道的受力计算	183
15.3.1 土壤摩擦力	183
15.3.2 直管段的受力分析	185
15.3.3 直管段的热伸长量与补偿器选型	191
15.3.4 直埋管道部件的设计	192
15.3.5 安装方式	194
复习思考题	195
<b>第 16 章 热源及其热力系统</b>	196
16.1 常规热电厂及其热力系统	196
16.1.1 热电厂与热电联产	196
16.1.2 供热汽轮机	197
16.1.3 * 热电厂热力系统	200
16.1.4 热化系数	202
16.1.5 发展热电联产的优越性和不利因素	202
16.2 锅炉房及其热力系统	205
16.2.1 循环动力集中设置的热水锅炉房热力系统	205
16.2.2 循环动力分开设置的热水锅炉房热力系统	206
16.2.3 * 气体定压的锅炉房热力系统	207
16.3 * 燃气轮机热电联产及热力系统	209
16.3.1 燃气轮机及工作原理	209
16.3.2 燃气轮机燃气-蒸汽联合循环及热电联产热力系统	210
16.3.3 燃气轮机燃气热力循环供热系统	212
16.4 * 其他热源及其热力系统	212
16.4.1 核能热电站及其热力系统	212
16.4.2 热泵站及其热力系统	214
16.4.3 工业余热供热站及其热力系统	215

16.4.4	地热能供热站热力系统	216
16.4.5	太阳能供热系统	218
16.5	* 蓄热	219
16.5.1	热水蓄热器	220
16.5.2	汽水蓄热器	220
16.6	* 水击及其防治	223
	复习思考题	225
<b>第 17 章</b>	<b>供热系统的可靠性</b>	<b>227</b>
17.1	概述	227
17.1.1	供热可靠性	227
17.1.2	供热管网的工作状况	227
17.1.3	供热系统事故的特点	227
17.1.4	* 供热管网事故的特征数据	228
17.2	* 供热管网无事故工作概率指标	229
17.2.1	无事故工作概率指标的计算公式	229
17.2.2	供热管网无事故工作概率指标的计算	233
17.3	事故工况下的供热与修复时间	238
17.3.1	* 热用户分类及其事故工况下的供热要求	238
17.3.2	* 供热管网事故工况下建筑物室温下降规律	239
17.3.3	元件事故平均修复时间	240
17.3.4	事故工况下的限额供热与限额供热系数	241
17.4	供热管网常见故障与事故及提高供热管网可靠性的措施	242
17.4.1	供热管网常见事故及其发生的原因	242
17.4.2	提高供热管网可靠性的措施	243
17.5	事故工况水力计算	244
17.5.1	事故工况水力计算步骤	244
17.5.2	事故工况水力计算例题	245
	复习思考题	251
<b>第 18 章</b>	<b>供热系统的维护与运行</b>	<b>253</b>
18.1	* 供热系统的维护管理及运行管理	253
18.1.1	维护管理的内容	253
18.1.2	供热系统的运行管理	253
18.2	供热系统的质量评价内容及方法	254
18.2.1	设施评价	254
18.2.2	管理评价	254
18.2.3	能效评价	255
18.2.4	环保安全消防评价	259
18.3	供热系统的初调节	260
18.3.1	比例调节法	260

18.3.2	温差调节法	262
18.4	* 供热系统的智能化	263
18.4.1	智能供热系统的结构框架构成及功能	263
18.4.2	智能供热系统的经济运行	264
18.4.3	供热系统的运行监督及控制	265
18.4.4	智能供热系统的数据传输	266
18.4.5	供热地理信息系统	267
	复习思考题	268
<b>第 19 章</b>	<b>技术经济分析</b>	<b>269</b>
19.1	* 经济性评价基本要素	269
19.1.1	投资	269
19.1.2	成本	269
19.1.3	税金与税收	270
19.1.4	利润	271
19.2	* 经济性评价方法	271
19.2.1	资金时间价值	272
19.2.2	投资回收期法	276
19.2.3	现值法	277
19.2.4	案例分析	278
19.3	供热设计参数技术经济分析	281
19.3.1	经济比摩阻	281
19.3.2	保温层经济厚度	285
	复习思考题	287
<b>附录</b>		<b>288</b>
<b>参考文献</b>		<b>309</b>

# 绪 论

能源是人类社会生存、进步的重要物质基础，是各个国家持续发展经济的支柱，是建设现代化国家的命脉。热能是最主要的能源形式之一。在世界各国的能源消耗结构中，热能占有相当大的比例，据统计，欧美国家以热能形式消耗的能源约占总能源消耗的 60%~70%，中国能源结构中热能在总能耗中所占比例不低于 60%。一般将温度在 350℃ 以上的热能，称为高品位热能；低于 350℃、高于 150℃ 的热能，称为中品位热能；低于 150℃ 的热能，称为低品位热能。以热能形式消耗的能源，约 60% 是 120℃ 以下的低品位热能。供热工程是研究生产、输配和应用中、低品位热能的工程技术，涉及能源生产、供应和应用三个环节。其应用范围涉及国民经济各个部门和工业、民用各类建筑物。集中供热工程是提高生活水准和建设现代化都市不可缺少的重要工程设施，与国家发展经济、能源利用和环境保护息息相关。

## 1. 供热系统与集中供热

### (1) 供热系统

供热系统是供热工程的硬件系统，是实现供热的综合技术设施。供热系统由热源、供热管网和热用户组成。热源生产热能，是将天然或人造的能源转化为符合供热要求的热能形态的设施；供热管网输配热能，是热媒流通的管道系统；热用户应用热能，是获得热能的用热系统。热能的载体（媒介）称为热媒，常用热媒有热水和蒸汽。由热媒将热源、供热管网和热用户连通起来，构成一个有机、动态的供热系统，实现热能生产—输送—应用互相关联的能源体系。

按热媒不同，将供热系统分为：热水供热系统和蒸汽供热系统。热水供热系统的热媒为热水。热源生产的热水进入供热管网，由供水管网输送和分配给热用户，被应用之后温度降低，再由回水管网流回热源，重新加热后再进入供水管网，周而复始地循环以满足热用户的供热要求。热水供热系统中以热水为热媒，具有热损失小、节省能耗、可以长距离输送、管理简单、便于改变温度或流量来调节供热量、管道和设备使用寿命长等优势。蒸汽供热系统的热媒为蒸汽。热源生产的蒸汽由蒸汽管网输送和分配给热用户，被应用之后生成凝结水，再由凝结水管网流回热源，重新加热后再进入蒸汽管网，供给热用户。蒸汽供热系统的主要热用户为工艺生产热用户。在满足工艺生产用热要求之际，还可兼顾向有不同供热要求的其他多种热用户供热。但蒸汽耗散大、凝结水回收率低，能耗大、燃料消耗大；蒸汽依靠自身压力输送，压力低不能长距离输送；压力高要求热电厂抽汽压力高，降低经济性和增加能耗；需要维护的部件多、管理复杂；管道易腐蚀、使用寿命短。根据热水和蒸汽作为热媒的优缺点，城市热用户以供暖、通风、空调和热水供应热用户为主，利用热水供热系统可以发挥优势，因此国内外城市集中供热大多采用热水供热系统。

将由热源通过供热管网向热用户供应热能的设施总称为供热系统。图 1 为热水供热系统示意图。

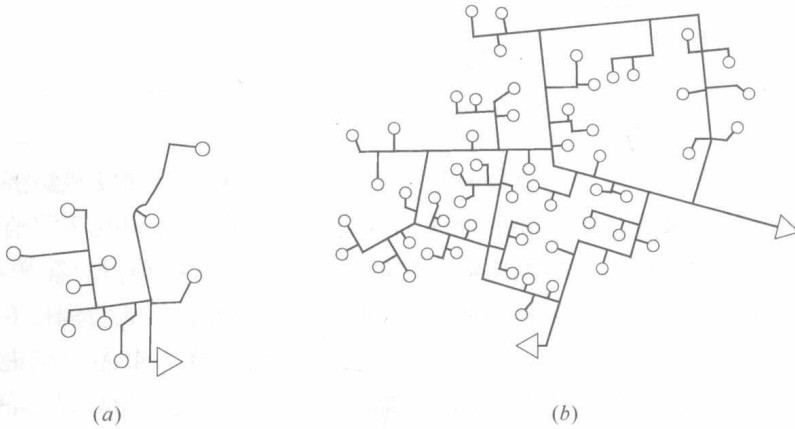


图 1 热水供热系统示意图

(a) 具有枝状管网的热热水供热系统；(b) 具有环状管网的热热水供热系统

### 1) 热源

热源为图 1 中三角符号所示。它是供热系统生产和供应热能的设施，是供热系统的顶层结构。常见供热热源的形式可分为三大类：热电厂、锅炉房和其他热源及其组合。

热电厂是同时生产电能和热能的热电厂。热电厂同时生产电能和热能的工艺过程称为热电联产。热电联产提高了能源利用率，从而可以节省燃料，减少排放物，有利于环境保护，因而在城市供热中得到广泛应用。

锅炉房只生产热能。生产热水的称为热水锅炉房，生产蒸汽的是蒸汽锅炉房。仅有供暖热负荷时一般选用热水锅炉房；当有多种热负荷，特别是有对热媒的温度和压力有要求的工业热负荷时，可选蒸汽锅炉房。

其他热源指利用生物能、工业余热、地热、太阳能和核能等能源的热源。

热源根据具体条件设置。小型供热系统可以采用单一热源；根据经济性和安全可靠性的要求，大中型供热系统应采用多热源。以热电联产为主、加上锅炉房，有条件时辅以其他热源和配置蓄热装置的多热源组合有利于实现热源的高效、经济运行，以节省燃料和减少对环境的影响。而且各热源之间可实现互补，可提高安全性。

### 2) 供热管网

供热管网如图 1 中线条所示。它是供热系统中输送和分配热能的管道系统，是供热系统中联系热源与热用户的经络，是供热系统的中间环节。供热管网是现代化城市不可或缺的市政基础设施和生命线。

供热管网的供热范围可以为几十平方千米，也可达到几百平方千米。根据供热规模和可靠性要求可选择不同的供热管网。供热管网的基本类型分为枝状管网（图 1a）和环状管网（图 1b）两类。

枝状管网呈树枝状，由热源至末端热用户的管径逐渐减小。枝状管网投资低，可靠性低，用于中小型供热系统。环状管网主要干线呈环状，从环形干线上连接枝状干线。环状管网投资高，可靠性高，用于大型供热系统。

### 3) 热用户

热用户如图 1 中圆圈所示。它是供热系统中应用和消耗热能的设施，是供热系统的基层单元。小型供热系统的热用户可能是几个；大型供热系统的热用户成千上万。供热工程中热用户应用热能的形式多种多样，几乎涉及热能应用的各个领域。按热能的应用类型将热用户分为：供暖、热水供应、通风、空调和生产工艺热用户。

供暖是供暖期用人工方法借助于专门的装置和系统加热室内空气，补偿房间热损失、保持室内一定温度的技术。供暖热用户是供暖消耗热能的用户。

热水供应是满足人们生产、生活需要热水，制备和供应热水的技术。热水供应热用户是热水供应消耗热能的用户。

通风是用室外新鲜空气置换室内空气、改善室内空气质量的技术。在室外温度下降时，为了通风加热送到室内的空气要消耗热能。通风热用户是为了通风消耗热能的用户。

空调是对室内空气温度、湿度、洁净度和空气流动速度进行调节与控制的技术。空调能耗是指冬季给室内送热空气、夏季给室内送冷风，在处理空气时空调系统对空气进行加热、加湿的过程中要消耗热能。空调热用户是为了空调消耗热能的用户。

工农业生产企业的设备运行、原料和产品的加工和处理过程中要消耗热能。如机械工厂锻压车间的锻锤用汽，印染、干燥、蒸煮、消毒、浸泡、洗涤等工艺过程中消耗蒸汽或热水。生产工艺热用户是为了生产消耗热能的用户。

一个供热系统可以向一种热用户（大多情况下为供暖热用户）供热，也可以同时向多种热用户供热。

### (2) 集中供热

分散供热是热用户数量不多、热源和供热管网规模较小的单体或小范围供热的方式。集中供热是热源通过供热管网向城市或城市部分地区众多热用户的供热方式。集中供热采用大型高效高参数热源，集中控制和调度；可以节省单位供热面积的燃料消耗、减少排放物；便于对排放物进行集中无害化处理和利用；节省城市用地和劳动力；有利于节能减排和提高供热的经济性。在严寒地区应大力推行集中供热，它是国内外城镇发展现代化供热的方向。以热电厂为基本热源，锅炉房为尖峰热源，辅以其他再生热源的形式应是大型集中供热系统热源的最佳配置。在供暖期室外温度较高的期间由热电厂承担全部热用户的用热量；室外温度降低，所需供热量超过热电厂的供热能力时，尖峰热源投入运行。尽可能多地发挥其他热源的功能。在供暖期应尽量发挥热电厂的供热能力，使供热汽轮机组满负荷工作；在非供暖期尽可能多地承担热水供应和空调负荷，这样能充分发挥热电联产的优越性。锅炉房也可单独作为供热系统的热源，根据热用户需求全年运行或仅在供暖期运行。应尽可能采用高效、大功率的锅炉，以节省燃料和减少排放物。对大型集中供热系统，采用多热源和环状供热管网是集中供热的高级系统形式。不仅可对热源进行集中调度、节约能源和提高供热质量，而且发生事故时具有备用能力，能有效控制和减少事故影响范围和经济损失。

集中供热热源所用的燃料一般为化石燃料：煤、天然气和燃油等。我国供热用燃料以煤为主，近年来天然气的比重不断增加。但是，地球上的化石燃料极其有限，为了节省资源、保护环境，除应极力提高热源设备的效率、千方百计降低各项热损失之外，还应开发利用绿色、清洁能源，大力推广生物燃料能、工业余热、地热、太阳能和核能等能源的应



用。除核能之外,根据供热参数和用户要求,这些清洁能源可以单独或辅以电能作为供热热源,或作为辅助热源。如果清洁能源提供的热量品位较低,还可通过热泵提升能级加以利用。

## 2. 国内外供热技术发展概况

在人类漫长的发展进程中,一直在开发能源资源、创造更舒适的人工环境,发明高效能量转换设备和应用技术。经历了从原始的钻石取火、篝火取暖,进步到后来的火炉、火墙、火炕,壁炉、壁炉—烟道等的烟气局部供暖,发展到热水和蒸汽的小区供暖和现代化的城市、城际集中供热的历程。

### (1) 国外供热技术发展概况

集中供热技术起源于19世纪末、20世纪初的欧美,发展壮大于苏联。19世纪80年代,美国工程师霍利采用工厂排汽进行供热。1893年德国汉堡的市政大楼利用热电厂生产的热量供暖。1905年英国制造了世界上第一台热电联产机组。1907年美国西屋电气公司制造出可调抽汽式汽轮机组。

1917年十月革命前,沙俄几乎没有集中供热。由于热电联产可提高动力工业的热效率和经济性、减少有害物排放量、降低劳动强度和人力、提高热能供应质量,十月革命后受到苏联高度重视,长期将发展热电联产作为一项重大国策。1924年11月25日由B. B. 德米特里夫教授和Л. Л. 金吉尔工程师设计的热电联产工程在圣·彼得堡投入运行。1924年召开了全苏联第一次热化会议,并将1924年11月25日定为苏联的“热化诞辰日”。从20世纪30年代开始不断发展、推广集中供热和热电联产,即使卫国战争期间也不间断,特别是1960年以后热电联产功率和供热管网建设直线上升。1940年开始对大城市的热电厂进行更新换代,每十年汽轮机更新换代一个等级,热电厂的容量和供热机组的单机功率也随之提升。1969年,当时世界上直径最大(DN1400)的热力管道由莫斯科第22号热电厂引出。1972年世界上最大的超临界参数(初参数压力24MPa、温度540℃)供热汽轮机组(联产工况额定功率250MW、凝汽工况最大功率300MW)在莫斯科第22号热电厂投入运行,配有额定功率为1000t/h的电厂蒸汽锅炉和额定功率为209.5MW的尖峰热水锅炉。1981年莫斯科市居住建筑的集中供热普及率已达到99%。率先创建了世界上最大的热电厂和供热系统:发电功率1500MW,供热能力5800MW,供热半径50km,最大管径DN1400mm。在很长一段时期内,世界上没有与莫斯科相类似的大型城市集中供热系统。20世纪80年代苏联热电厂比凝汽式电厂的煤耗率低90g/kWh,90年代热电厂标煤耗率为265~276g/kwh。截止到2011年,俄罗斯供热管网长度超过 $2.57 \times 10^5$  km,居住建筑的集中供热普及率达到81%。

苏联积累的集中供热和热电联产的丰富经验和成果也深刻地影响了其他国家,培养了一大批从事动力和供热的著名专家。索柯洛夫编著的教材《热化与热力网》从1948年到2009年共发行九版,其中1948年的第一版被翻译为中文和波兰文,1982年的第五版被翻译为中文和南斯拉夫文,也是2013年瑞典出版的教材《District Heating and Cooling》的主要参考书。1973年苏联颁布《热网设计规范》(СНиП-36-73),随着供热技术的进步不断增添新的条款,先后于1986年、2003年和2012年颁布了修订版(СНиП2.04.07-86)、



(СНП41-02-2003) 和 (124.13330), 也为其他国家制定相关规范提供了经验和样板。

由于热电联产比热电分产表现出技术经济上的显著优势, 20 世纪集中供热和热电联产在世界很多国家得到应用, 包括中、东欧国家: 保加利亚、匈牙利、波兰、罗马尼亚、捷克、南斯拉夫、德国和奥地利, 北欧国家: 丹麦、冰岛、芬兰和瑞典, 亚洲国家: 中国和蒙古, 以及美洲国家: 美国和加拿大等。90 年代欧共体支持了 45 项热电联产工程, 2000 年热电联产发电量占总发电量的 9%。1992 年丹麦热电联产供热已经占到集中供热的 60%, 热电装机容量占总装机容量的 56%。2008 年丹麦热电联产机组发电量在总发电量中占到了 50% 以上。德国在鲁尔地区和莱茵河下游还建立了联结若干城市的城际供热系统。近几十年来, 欧洲供热发达国家的预制直埋保温管工艺及产品在世界范围内畅销, 所研发的供热设备和自控装备大大提高了供热系统的智能化水平。积极开发可再生能源和绿色能源, 提出第四代供热系统, 将供水温度降至 70℃ 以下, 从而进一步提高能源利用率和输送效率。

## (2) 中国供热技术发展概况

1949 年新中国成立之前, 中国只在北京、天津等大城市的一些高级宾馆和租界区有小范围的集中供暖。新中国的集中供热起步于 20 世纪 50 年代, 在 50~70 年代得到初步发展。在第一个五年计划期间进行大规模工业建设, 开始兴起热电联产。与世界其他国家一样, 随着工业技术的进步和经济的发展, 我国热电厂的供热汽轮机组和供热锅炉也经历了从低参数、小功率、低效率、高煤耗逐渐向高参数、大功率、高效率、低煤耗进步的历程。20 世纪 50~60 年代在北京、哈尔滨、长春等城市新建了热电厂向城市供热, 在一些工业区建设了以工业热负荷为主的自备热电厂, 功率多为 6MW 以下的小型热电机组, 满足工艺生产用蒸汽和建筑供暖的需要。

1952 年我国第一台 25MW 中压单抽供热机组投入运行, 1955 年第一台 25MW 高压、高温双抽供热机组在富拉尔基热电厂投产。到 1957 年, 供热机组占全部火电设备的容量从 1952 年的 2% 增加到 17%。1959 年我国第一个城市热电厂——北京东郊热电厂开始向中南海和长安街沿线的十大公共建筑集中供热, 设计供回水温度为 150/80℃。70 年代到 80 年代国民经济发展迅速, 热电厂建设加快, 工厂自备热电厂比重增加。在北京、哈尔滨、富拉尔基、长春、洛阳和包头等地新增一批热电厂, 初步奠定了我国城市热电联产的基础。

发展集中供热初期锅炉房大量采用小型供热锅炉 (锅炉容量多为 0.7MW 以下)。1969 年第一台 2.9MW 热水锅炉问世。1981 年和 1987 年首批 14MW 和 29MW 的大容量热水锅炉投入使用。至 1997 年, 北京市建成了一大批选用 14MW 和 29MW 锅炉的大型供热厂, 1990 年以后, 哈尔滨、长春、沈阳等十几个城市相继建设了总容量为 300~500t/h 的大型区域锅炉房, 单机容量为 63MW~105MW。2000 年以后 80MW~145MW 的大容量热水锅炉相继投入使用。

开始建设的供热系统为 95/70℃ 的低温水系统, 继北京之后开始设计高温水系统。1978 年我国自行设计运行的高温水供热系统已达 15 个, 除北京外大多数规模都较小。1978 年我国集中供热普及率仅为 1%, “三北” 地区大部分城市的建筑物都采用火炉、火墙和火炕取暖, 个别家庭用土暖气供暖。1980 年全国只有不到 10 个城市有集中供热。80 年代以后中央提出到 2000 年工农业产值翻两番、人民生活达到小康水平的宏伟目标, 提

出了节约和开发并重的能源政策, 积极推广热电联产集中供热, 加快了我国热电联产事业的发展。1981年到1985年间, 我国建设热电项目137项, 其中区域热电厂78个, 自备热电厂59个, 总规模达236万kW。在黑龙江省、辽宁省、内蒙古、河北省、山西省、新疆、山东省和河南省的许多大城市相继新建大批热电厂, 向城市集中供热。到1989年, 我国“三北”地区的165个设市的城市中, 有81个城市发展了集中供热, 集中供热普及率为10.4%。

2000年以后集中供热事业突飞猛进。不仅严寒和寒冷地区的大城市, 而且中小城市、林区、农场等也开始发展集中供热; 不仅“三北”地区, 而且黄淮地区也发展了集中供热; 长江流域等夏热冬冷地区要求实施集中供热的呼声也风起云涌。截止到2012年, 我国6MW以上热电联产装机容量已达20750MW, 占全国火电机组容量的27%, 居世界第一。北京市热力集团管辖的供热管网已成为世界之最。到2014年底, 大批300MW以上高参数的大型供热机组或改造的供热机组投入运行, 规模最大的为哈尔滨第三热电厂, 装机容量达1600MW。据不完全统计, 目前供热热源总量中热电联产约占40%, 区域锅炉房约占45%, 其他热源约占15%。截至2015年末, 城市热水供热能力达到47.3万MW, 供热管道长19.3万km, 城市集中供热面积达到67.2亿 $m^2$ 。

在大型城市中普遍采用了高温水供热系统。1984年哈尔滨市引进了我国第一条总长度为10km的高密度聚乙烯外护管硬质聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管。此后直埋敷设技术得到推广应用。1987年牡丹江率先引进了芬兰供热技术和设备, 建设了环状管网。90年代以后在北京、天津等许多城市都建成了多热源环状管网供热系统。自动监测、控制和调度水平快速提高, 无人值守热力站得到普及。2000年以后分布式水泵输配系统得到推广, 变频技术得到广泛应用, 为节省输送能耗提供了新的途径。各种性能优良的调节阀、补偿器和换热器等新设备也不断涌现。直埋保温管道质量持续提高。近年来为了解决大城市雾霾等环境问题, 在大城市周边有大型电厂可以作为供热热源的条件下长输管线已在多个城市实施或进行规划。综合管廊——管道隧道敷设技术在多个城市拉开序幕。

1990年我国首次制定《城市热力网设计规范》CJJ 34—90, 借鉴了国外相关规范的经验, 也体现了国内集中供热的成果。2002年第一次修订, 2010年再次修订并更名为《城镇供热管网设计规范》CJJ 34—2010。1998年首次制定了《城镇直埋管道工程技术规程》CJJ/T 81—98, 2013年修订并更名为《城镇供热直埋热水管道技术规程》CJJ/T 81—2013。这些标准规范的颁布推动了供热技术的发展。

虽然改革开放以来我国集中供热取得了巨大成就, 供热技术进步前所未有的, 但在精细化设计、精细化施工和精细化管理方面还有许多需要改进之处。如何在集中供热事业中提升能源利用效率、降低成本和开发利用新能源、实现智慧供热, 还需要一批从事供热的专门人才努力工作才能进入新的发展阶段和达到更高的目标。

### 3. 教材内容

供热系统的基本任务是在热源、供热管网和热用户协同工作条件下, 将热能从热源送到热用户。初看起来, 完成这样的基本任务简易可行。实际上, 由于供热工况的多变性、客观因素的不确定性、热用户需求的多样性, 力求达到减排、经济、高效、可靠、适时和