

高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

供热工程

闫秋会 赵建会 张联英 编著



科学出版社
www.sciencep.com

高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

供 热 工 程

闫秋会 赵建会 张联英 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为高等院校建筑环境与设备工程专业“供热工程”课程教材。

本书由浅入深,对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做了系统的阐述,并介绍了有关运行管理的基本知识;对供热收费改革与计量、低温热水地板辐射供暖、温控阀等新技术、新设备和新的研究成果给予了较充分的介绍;为了便于读者学习、理解,同时结合勘查设计注册公用设备工程师暖通空调专业执业资格考试的复习,在每章附有专业概念型和案例分析型的例题、习题。

本书可供从事供暖和集中供热的工程技术人员参考,也可作为勘查设计注册公用设备工程师暖通空调专业执业资格考试的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

供热工程/闫秋会,赵建会,张联英编著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-022682-2

I. 供… II. ①闫…②赵…③张… III. 供热系统 IV. TU833

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 117251 号

责任编辑:陈 迅/责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2008 年 9 月第一次印刷 印张: 21
印数: 1—2 500 字数: 482 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BZ08)

版权所有 侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

“供热工程”是普通高等学校建筑环境与设备工程专业的主要专业课程之一。本书由浅入深,对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做了系统的阐述,并介绍了有关运行管理的基本知识,对近年来供暖和供热方面的新技术和新的研究成果也给予了较充分的介绍。

本书的写作结合了作者多年的教学经验,参考了相关书籍,考虑了建筑环境与设备工程专业课程的调整,与以往同类教材相比,本书在内容设置上做了较大整合和变动,采用了由整体到局部的编写手法,即首先为读者呈现热水供暖系统的各种形式,在读者对供暖系统的组成和作用有全面认识的基础上,对系统中的热负荷、散热设备、水力计算及相关设备等内容逐一介绍,进而对供热系统的各种形式和组成进行较为系统的介绍。各章后附有习题,便于课后练习和自学。

本书为大专院校建筑环境与设备工程专业“供热工程”课程教材,也可作为勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业执业资格考试复习参考书,亦可作为其他相近专业相关课程的教材。

本书绪论、第1章~第3章、第6章、第7章以及第13章由西安建筑科技大学闫秋会编写,第4章和第5章由西安交通大学张联英编写,第8章~第12章由西安科技大学赵建会编写。全书由闫秋会统稿。

本书在编写过程中得到李桂霞、张亮、高鹏程、李奕阳、白亚娟、韩妮、李美琼、张宏飞等同学的大力协助,在此向他们表示衷心感谢。

本书得到西安建筑科技大学教改项目“《供热工程》课程体系与教学内容的改革与实践”的资助,特致谢意!

由于作者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

绪 论	1
0.1 供热工程的研究对象和主要内容	1
0.1.1 供暖工程	1
0.1.2 集中供热	1
0.2 我国供热技术的现状与发展	2
第一章 热水供暖系统	4
1.1 重力循环热水供暖系统	4
1.1.1 重力循环热水供暖系统的工作原理及其作用压力	4
1.1.2 重力循环热水供暖系统的主要形式	5
1.1.3 重力循环热水供暖系统作用压力的计算	6
1.2 机械循环热水供暖系统	10
1.2.1 垂直式系统	10
1.2.2 水平式系统	14
1.2.3 同程式和异程式系统	15
1.3 高层建筑热水供暖系统	15
1.3.1 竖向分区式供暖系统	15
1.3.2 双线式系统	16
1.3.3 单、双管混合式	17
1.4 室内热水供暖系统管路布置及主要设备	18
1.4.1 室内热水供暖系统的管路布置	18
1.4.2 室内热水供暖系统的管路敷设要求	18
1.4.3 室内热水供暖系统的主要设备	20
第二章 供暖系统的设计热负荷	24
2.1 供暖系统设计热负荷	24
2.2 围护结构的传热耗热量	25
2.2.1 围护结构的基本耗热量	25
2.2.2 围护结构的附加(修正)耗热量	32
2.3 冷风渗透和冷风侵入耗热量	34
2.3.1 冷风渗透耗热量	34
2.3.2 冷风侵入耗热量	36
2.4 围护结构传热热阻的技术和经济要求	37
2.4.1 围护结构的最小传热阻	37
2.4.2 围护结构的经济传热阻	39

2.5	供暖设计热负荷计算例题	39
第三章	供暖系统的散热设备	43
3.1	散热器	43
3.1.1	散热器的散热过程和要求	43
3.1.2	散热器的种类及选择	44
3.2	散热器的计算	49
3.2.1	散热器内热媒平均温度的计算	50
3.2.2	散热器的传热系数 K 值	50
3.2.3	散热器片数或长度的确定	52
3.2.4	考虑供暖管道散热量对散热器面积的折减	52
3.2.5	散热器计算例题	53
3.3	暖风机	54
3.3.1	暖风机的种类、构造和性能	54
3.3.2	暖风机的布置及选用	55
第四章	室内热水供暖系统的水力计算	58
4.1	热水供暖系统管路水力计算的基本原理	58
4.1.1	热水供暖系统管路水力计算的基本公式	58
4.1.2	当量局部阻力法和当量长度法	61
4.1.3	室内热水供暖系统管路水力计算的主要任务和方法	62
4.2	重力循环双管系统管路水力计算方法和例题	64
4.3	机械循环单管热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	71
4.3.1	机械循环单管顺流式热水供暖系统管路水力计算例题	71
4.3.2	散热器的进流系数 α	75
4.3.3	机械循环单管跨越式热水供暖系统管路水力计算例题	76
4.4	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	77
4.5	不等温降的水力计算原理和方法	80
4.5.1	热水管路的阻力数	81
4.5.2	不等温降水力计算方法和步骤	82
4.5.3	机械循环异程式单管顺流式热水供暖系统水力计算例题(不等温降)	82
4.6	等压降的水力计算原理和方法	86
4.6.1	等压降水力计算原理	86
4.6.2	等压降水力计算方法	86
第五章	分户计量集中热水供暖系统	88
5.1	供暖系统形式	88
5.1.1	新建分户计量供暖系统户外型式	88
5.1.2	新建分户计量供暖系统户内型式	89
5.1.3	传统供暖系统的改造	91
5.2	供暖系统设计热负荷的特点	92

5.3	供暖系统水力计算	92
5.4	供暖系统分户计量及温控装置	93
5.4.1	计量装置	93
5.4.2	散热器温控阀	95
第六章	辐射供暖	98
6.1	低温热水地板辐射供暖	98
6.1.1	辐射供暖地板构造	99
6.1.2	设计计算方法	100
6.1.3	设计中应注意的几个问题	101
6.2	钢制辐射板	102
6.2.1	钢制辐射板的型式	102
6.2.2	钢制辐射板的散热量	103
6.2.3	钢制辐射板的设计与安装	105
6.3	低温辐射电热膜供暖	106
6.3.1	电热膜数量的计算	107
6.3.2	电热膜供暖的布置与敷设	107
6.4	低温热电缆地板辐射供暖	108
6.5	燃气红外线辐射供暖	109
第七章	室内蒸汽供暖系统	111
7.1	蒸汽供暖的原理与特点	111
7.2	室内低压蒸汽供暖系统	112
7.2.1	重力回水低压蒸汽供暖系统	112
7.2.2	机械回水低压蒸汽供暖系统	113
7.2.3	低压蒸汽供暖系统设计和施工应注意的问题	114
7.3	室内高压蒸汽供暖系统	115
7.4	蒸汽供暖系统主要设备	118
7.4.1	疏水器	118
7.4.2	减压阀	125
7.4.3	二次蒸发箱	126
第八章	集中供热系统及热负荷概算	128
8.1	热水供热系统	128
8.1.1	闭式热水供热系统	128
8.1.2	开式热水供热系统	133
8.1.3	闭式与开式热水供热系统的优缺点	133
8.2	蒸汽供热系统	134
8.2.1	热用户与蒸汽网路的连接方式	135
8.2.2	凝结水回收系统	136
8.2.3	凝结水回收系统的改进方法	141

8.2.4	集中供热系统的热媒及其参数选择	141
8.3	集中供热系统热负荷的概算	143
8.3.1	集中供热系统热负荷的概算	143
8.3.2	热负荷图	149
8.3.3	年耗热量计算	152
第九章	室外供热系统水力计算和水压图	155
9.1	室外供热系统水力计算的基本公式	155
9.1.1	沿程损失	155
9.1.2	局部损失	157
9.1.3	总阻力损失	158
9.2	热水网路计算方法和例题	158
9.3	热水网路的水压图	163
9.3.1	水压图的理论基础和基本概念	164
9.3.2	热水供暖系统的水压图	165
9.3.3	热水网路的水压图	167
9.3.4	用户系统的压力状况和与热网连接方式的确定	172
9.3.5	变流量系统的水压图分析	175
9.3.6	水泵的选择	176
9.4	补给水泵定压方式	178
9.5	蒸汽网路水力计算方法和例题	181
9.5.1	沿程压力损失计算	182
9.5.2	局部阻力损失计算	182
9.5.3	水力计算步骤及例题	182
9.6	凝结水管网路水力计算例题	189
9.6.1	凝结水管管径确定的基本原则	189
9.6.2	凝水管路水力计算方法	189
9.6.3	水力计算例题	194
第十章	室外供热系统的水力工况	202
10.1	热水网路的阻力特性	202
10.1.1	基本公式	202
10.1.2	管网阻力数的计算	203
10.1.3	管网阻力特性曲线	205
10.1.4	水泵工作点的确定	206
10.1.5	水泵运行工况分析	207
10.2	热水网路的水力工况和水力稳定性	209
10.2.1	热水网路的水力工况	209
10.2.2	热水网路的水力稳定性	219

第十一章 热水供热系统的供热调节	222
11.1 热水供热系统调节的基本原理和计算公式	222
11.1.1 热水供热系统调节方法	222
11.1.2 热水供热系统调节的基本原理和计算公式	223
11.2 直接连接热水供暖系统的集中供热调节	224
11.2.1 质调节	224
11.2.2 分阶段改变流量的质调节	228
11.2.3 间歇调节	230
11.3 间接连接热水供暖系统的集中供热调节	231
11.3.1 热水网路采用质调节	231
11.3.2 热水网路采用质量-流量调节	233
11.4 供热综合调节	235
11.4.1 综合调节对闭式并联系统设计流量的影响	236
11.4.2 分户计量实施后城市热网的综合调节	239
第十二章 集中供热系统的设计	240
12.1 室外供热管网布置原则	240
12.2 室外供热管网的敷设及附件	241
12.2.1 供热管网的敷设	241
12.2.2 供热管道及其附件	247
12.3 供热管道的保温及其热损失计算	252
12.3.1 供热管道的保温	252
12.3.2 供热管道热损失计算	254
12.4 供热管道的应力计算	263
12.4.1 管壁厚度及活动支座间距的确定	263
12.4.2 室外管网的热伸长及其补偿	266
12.4.3 固定支座(架)的跨度及其受力计算	275
12.4.4 直埋敷设供热管网的设计原理和方法简介	276
第十三章 集中供热系统的热源及主要设备	279
13.1 热电厂	279
13.1.1 凝汽式火力发电厂	279
13.1.2 热电厂	280
13.2 区域锅炉房	283
13.2.1 蒸汽锅炉房	284
13.2.2 热水锅炉房	288
13.3 集中供热系统热力站	290
13.3.1 用户热力站	291
13.3.2 集中热力站(小区热力站)	291
13.3.3 区域热力站	293
13.3.4 热力站内设备布置要求	294
附表 有关数据	295
参考文献	325

绪 论

0.1 供热工程的研究对象和主要内容

人们在日常生活和社会生产中需要大量的热能。将自然界的能源直接或间接地转化为热能的工程称为热能工程。热能工程是一门综合性和交叉性较强的学科。热能工程中，生产、输配和利用热媒（如热水、蒸汽或其他工作介质）供应热能的工程称为供热工程。随着技术经济的发展和节约能源的需要，供热工程已成为热能工程的一个重要组成部分，并日益得到人们的重视。

供热工程的主要内容包括两部分，即以热水和蒸汽作为热媒的建筑物供暖工程和集中供热两部分。

0.1.1 供暖工程

所谓供暖，就是用人工的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。所有的供暖系统都是由热媒制备（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连在一起组成的供暖系统，称为局部供暖系统，如烟气（火炉、火墙和火炕等）供暖、电热供暖和燃气供暖等。热源和散热设备分别设置，用管道将其连接，由热源向各个房间或各个建筑物供应热量的供暖系统，称为集中供暖系统。

图 0.1 为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。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）。

0.1.2 集中供热

集中供热系统由三大部分组成：热源、供热管网和热用户。

1) 热源：在热能工程中，热源是泛指能从中吸收热量的任何物质、装置或天然能源。目前应用最广泛的热源是区域锅炉房和热电厂。随着化石能源的枯

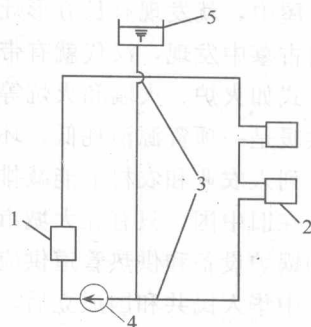


图 0.1 集中热水供暖系统示意图

1. 热水锅炉；2. 散热器；3. 热水管道；

4. 循环水泵；5. 膨胀水箱

竭及其使用带来的环境压力增大，可再生能源如太阳能、风能、生物质能、地热能等在供热领域的应用越来越大。

2) 供热管网：输送热媒的室外供热管路系统。

3) 热用户：直接使用或消耗热能的室内供暖、通风空调、热水供应和生产工艺用热系统等。

图 0.2 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 返回凝结水箱 5，再由锅炉给水泵 6 将给水送进锅炉重新加热。

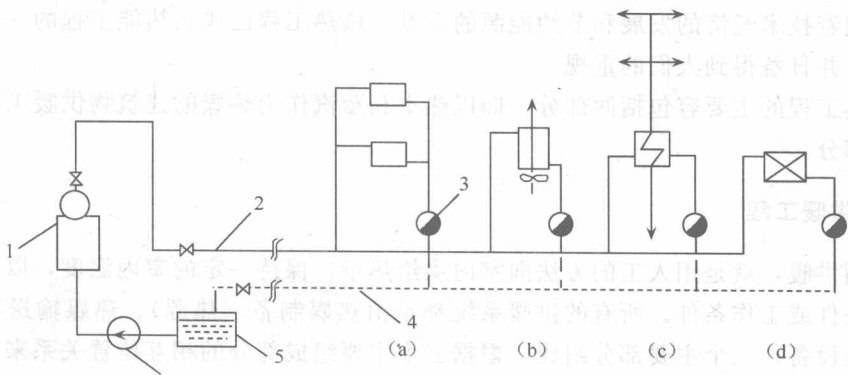


图 0.2 区域蒸汽锅炉房集中供热系统的示意图

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

0.2 我国供热技术的现状与发展

我国供热技术有悠久的历史，例如，在西安半坡村挖掘出土的新石器时代仰韶时期的房屋中，就发现有长方形灶坑，屋顶有小孔用以排烟，还有双连灶形的火炕。从已出土的古墓中发现，汉代就有带炉算的炉灶和带烟道的局部供暖设备。这些利用烟气供暖的方式如火炉、火墙和火炕等，在我国北方农村至今还被广泛使用。并且研究表明，火炕供暖是一项资源消耗低、环境负荷小的建筑技术，农业部已将农村省柴节煤炕技术的推广列入农业和农村节能减排十大技术之一。

在旧中国，只有在大城市很少建筑中装设了集中供暖系统，在工厂中也只装设了简陋的锅炉设备和供热管道供应生产用热，供热事业的发展非常落后。

中华人民共和国成立后，随着经济建设的发展，供热事业逐步发展起来，普遍采用了以小型锅炉房作为热源向一幢或数幢房屋供暖的供暖系统。一些大型工业企业建立了热电站，铺设和架设了用以满足生产用热和供暖用热的供热管网。

城市的集中供热是从北京开始的，北京第一热电站是在 1959 年建国 10 周年大庆前夕建成的，并于当年向东西长安街部分民用建筑及部分工厂企业供应热能。

现在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、华北地区,许多民用建筑和多数工业企业设置了集中供暖系统,很多城镇实现了集中供热。

20世纪80年代以来,我国的供热事业在供热规模和供热技术方面得到了很大的发展。各种新设备、新技术、新工艺不断出现,供暖方式出现多样化,如独立式分户供暖、地板辐射供暖、电热膜供暖、家庭中央空调供暖等。按照供暖规模和供热建筑物的种类的不同,众多的供暖方式可归并为四大类,即城市集中热力网供热、居住小区集中供热、分户供热、商业或公共建筑供热(指自备热源的独立供热建筑)。

1) 城市集中热力网供热主要有燃煤热电联产、燃气三联供、大型燃气锅炉房、大型燃煤锅炉房、大型燃油锅炉房、燃气—蒸汽联合循环等。

2) 居住小区集中供热有燃气锅炉房、燃煤锅炉房、燃油锅炉房、燃气三联供、楼栋式燃气供暖、集中水源热泵、带蓄热装置的电锅炉、地热热水、地源热泵等。

3) 分户供热有分户燃气炉供暖、电暖气供暖、分户水源热泵供暖、分户空气源热泵等。

4) 商业或公共建筑供热有燃油或燃气直燃机、空气源热泵、水源热泵、电锅炉、小型燃气—蒸汽联合循环机组、燃气三联供等。

随着供热规模的不断扩大,建筑能耗占总能耗的比重越来越大,据2003年统计,我国建筑能耗已占总能耗的15%,一些寒冷地区供暖能耗占了当地总能耗一半左右。供暖能耗不仅比重大,而且也是浪费最大的一部分,因此搞好建筑节能对我国的经济建设和发展有重要意义。建设部于1986年颁布了我国第一部建筑节能标准《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ 26—86),目标是在1980年、1981年当地通用设计的基础上节能30%。这个标准实施后,建筑节能的重点是围绕围护结构的改善进行的。随着墙体材料的革新,产生了很多新的保温材料和保温结构。1996年建设部又制定了节能50%的目标,即第二阶段供暖居住建筑节能设计标准。该目标从两个方面来实现,即提高围护结构保温性能、改善门窗密闭性以及提高供热运行效率。近些年来,为了实现民用建筑节能50%的目标,国内许多部门、专家学者进行了大量有效的工作,取得了很大的成绩。

目前,我国的供热能源绝大部分是不可再生的化石燃料,其中煤炭大约占到了总能耗的75%。化石燃料燃烧会排放二氧化碳,产生温室效应,导致地球变暖,同时还会排放烟尘、 SO_2 、 NO_x 等污染物,因此供热工程在清洁利用化石燃料的同时,必须加大可再生能源(如太阳能、地热能、生物质能等)的利用,走高效、节能、减排的可持续发展之路。

第一章 热水供暖系统

供暖系统常用的热媒有水、蒸汽和空气。以热水作为热媒的供暖系统，称为热水供暖系统。热水供暖系统的热能利用率较高，散热设备不易腐蚀，系统蓄热能力高，同时易于实现供水温度的集中调节，供热半径大，因此在居住建筑和公共建筑以及工业企业厂房中得到广泛应用。

热水供暖系统可按下述方法进行分类。

1) 按热媒温度的不同，分为低温热水供暖系统（热媒温度低于或等于 100°C 的）和高温热水供暖系统（热媒温度高于 100°C ）。室内热水供暖系统，大多采用低温热水供暖系统，设计的供回水温度多采用 $95^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ （也有采用 $85^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$ 的）。高温热水供暖系统一般宜在生产厂房中应用。

2) 按系统循环动力的不同，分为重力循环热水供暖系统（即自然循环）和机械循环热水供暖系统。

3) 按系统每组立管数的不同，分为单管系统和双管系统。

4) 按系统管道敷设方式的不同，分为垂直式系统和水平式系统。

5) 按管道连接及热媒流经路程的不同，分为同程式系统和异程式系统。

1.1 重力循环热水供暖系统

1.1.1 重力循环热水供暖系统的工作原理及其作用压力

顾名思义，重力循环热水供暖系统是指水依靠重力的作用实现在供暖系统中的循环流动。图 1.1 为重力循环热水供暖系统的工作原理图。图中假设整个系统有一个加热中心（锅炉）和一个冷却中心（散热器），用供、回水管路把散热器和锅炉连接起来。在系统的最高处连接一个膨胀水箱，用来容纳水受热膨胀而增加的体积。运行前，先将系统内充满水，水在锅炉中被加热后，密度减小，同时受着从散热器流回来密度较大的回水驱动，使供水沿供水管上升，流入散热器。在散热器内热水被冷却，密度增加，水再沿回水管道返回锅炉，这样就形成了图 1.1 箭头所示的循环流动。

由此可见，重力循环热水供暖系统循环作用力的大小，取决于水温（水的密度）在循环环路中的变化情况。为简化分析，先不考虑水在沿管路流动时因管壁散热而使水不断冷却的影响，认为在图 1.1 的循环环路内，水温只在锅炉（加热中心）和散热器（冷却中心）两处发生变化。假想回水管路的最低点断面 A—A 处有一阀门，若阀门突然关闭，A—A 断面两侧会受到不同的水柱压力，两侧的水柱压力差就是推动水在系统中循

环流动的重力循环作用压力。

A—A 断面两侧的水柱压力分别为

$$P_{\text{左}} = g (h_1 \rho_h + h \rho_g + h_2 \rho_g)$$

$$P_{\text{右}} = g (h_1 \rho_h + h \rho_h + h_2 \rho_g)$$

系统的循环作用压力为

$$\Delta P = P_{\text{右}} - P_{\text{左}} = gh (\rho_h - \rho_g) \quad (1.1)$$

式中, ΔP ——循环系统的作用压力, Pa;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

h ——加热中心至冷却中心的垂直距离, m;

ρ_h ——回水密度, kg/m^3 ;

ρ_g ——供水密度, kg/m^3 ;

h_1 ——加热中心至最低处的垂直距离, m;

h_2 ——冷却中心至最高处的垂直距离, m。

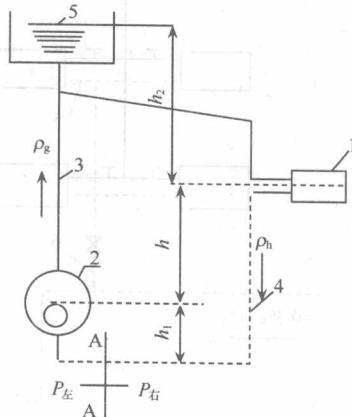


图 1.1 重力循环热水供暖系统工作原理图

1. 散热器; 2. 热水锅炉; 3. 供水管路;

4. 回水管路; 5. 膨胀水箱

由式 (1.1) 可见, 重力循环作用压力的大小与供、回水的密度差和锅炉中心与散热器中心的垂直距离有关。热水供暖系统, 供回水温度一定时, 为了提高系统的循环作用压力, 锅炉的位置应尽可能降低。重力循环系统的作用压力一般不大, 作用半径以不超过 50m 为好。

1.1.2 重力循环热水供暖系统的主要形式

图 1.2 (a) 和 (b) 是重力循环热水供暖系统的两种主要形式。(a) 为双管上供下回式系统; (b) 为单管上供下回式 (顺流式) 系统。上供下回式系统的供水干管敷设在所有散热器之上, 回水干管敷设在所有散热器之下。

在重力循环系统中, 水的循环作用压力较小, 流速较低, 水平干管中水的流速小于 0.2m/s , 而干管中气泡的浮升速度为 $0.1\sim 0.2\text{m/s}$, 立管中约为 0.25m/s , 一般超过了水的流动速度, 因此空气能够逆着水流方向向高处聚集。因此, 重力循环上供下回式热水供暖系统的供水干管应顺水流方向设下降坡度, 坡度值为 $0.5\%\sim 1\%$, 散热器支管也应沿水流方向设下降坡度, 坡度值为 1% , 以便空气能逆着水流方向上升, 聚集到供水干管的最高处, 然后通过膨胀水箱排除。

回水干管应该有向锅炉方向下降的坡度, 以便于系统停止运行或检修时, 系统中的水能通过回水干管顺利排出。

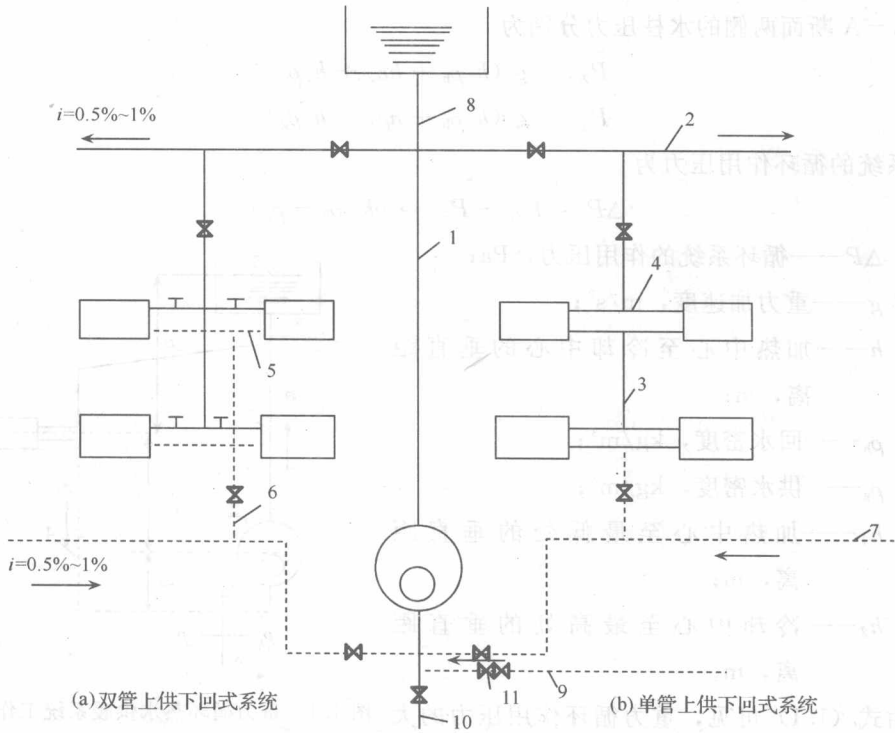


图 1.2 重力循环供暖系统

- 1. 总立管; 2. 供水干管; 3. 供水立管; 4. 散热器供水支管; 5. 散热器回水支管; 6. 回水立管;
- 7. 回水干管; 8. 膨胀水箱链接管; 9. 充水管 (接上水管); 10. 泄水管 (接下水道); 11. 止回阀

1.1.3 重力循环热水供暖系统作用压力的计算

1. 重力循环热水供暖双管系统作用压力的计算

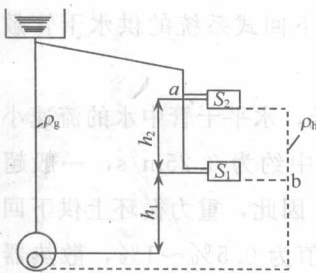


图 1.3 双管系统

由图 1.3 可见，双管上供下回式系统的特点是：各层散热器都并联在供、回水立管上，热水直接经供水干管、立管进入各层散热器，冷却后的回水，经回水立管、干管直接流回锅炉，如果不考虑水在管道中的冷却，则进入各层散热器的水温相同。

图中散热器 S_1 和 S_2 并联，热水在 a 点分配进入各层散热器，在散热器内冷却后，在 b 点汇合返回热源。该系统有两个冷却中心 S_1 和 S_2 ，它们与热源、供回水干管

形成了两个并联的循环环路 aS_1b 和 aS_2b 。

通过底层散热器 aS_1b 环路的作用压力 ΔP_1 为

$$\Delta P_1 = gh_1(\rho_h - \rho_g) \quad (1.2)$$

通过上层散热器 aS₂b 环路的作用压力 ΔP_2 为

$$\Delta P_2 = g(h_1 + h_2)(\rho_h - \rho_g) = \Delta P_1 + gh_2(\rho_h - \rho_g) \quad (1.3)$$

可以看出, 通过上层散热器环路的作用压力 ΔP_2 比通过下层环路的作用压力 ΔP_1 大。

在双管重力循环系统中, 虽然各层散热器的进出水温相同 (忽略水在管路中的沿途冷却), 但由于各层散热器到锅炉之间的垂直距离不同, 形成了上层散热器环路作用压力大于下层散热器环路的作用压力。如果在设计工况下, 选用不同管径仍不能使上下各层阻力平衡, 则在运行中, 流量就会分配不均匀, 必然会出现上层过热, 下层过冷的垂直失调问题。楼层越多, 垂直失调问题就越严重。在供热工程中, 把同一竖向各层房间的室温不符合设计要求, 而出现上、下层冷热不匀的现象, 称为系统垂直失调。

2. 重力循环热水供暖单管系统作用压力的计算

由图 1.4 可见, 单管上供下回式系统的特点是: 热水送入立管后, 由上向下按顺序流过各层散热器, 水温逐层降低, 各组散热器串联在立管上。每根立管 (包括立管上各层散热器) 与锅炉、供回水干管形成一个循环环路。

图 1.4 中散热器 S₁ 和 S₂ 串联在立管上, 该立管循环环路的作用压力 ΔP 为

$$\Delta P = gh_1(\rho_h - \rho_g) + gh_2(\rho_2 - \rho_g) \quad (1.4)$$

同理, 当立管上串联 N 组散热器时, 如图 1.5 所示, 其循环作用压力的通式可写成

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N gh_i(\rho_i - \rho_g) \quad (1.5)$$

式中, N——循环环路中冷却中心的总数;

h_i ——相邻两组散热器间的垂直距离, m;

ρ_i ——水流出所计算散热器的密度, kg/m³;

ρ_g, ρ_h ——供暖系统的供回水密度, kg/m³,

其值可参考附表 1.1 选取。

当 $i=1$ 时, 代表的是沿水流方向最后一组散热器, h_1 表示底层散热器与锅炉之间的垂直距离。

应当注意前面计算重力循环系统的作用压力时, 只考虑水温在锅炉和散热器中发生的变化, 忽略了水在管路中的沿途冷却。但实际上, 水的温度和密度沿途是不断变化的, 散热器的实际进水温度比上述假设的情况下低, 这会增加系统的循环作用压力。

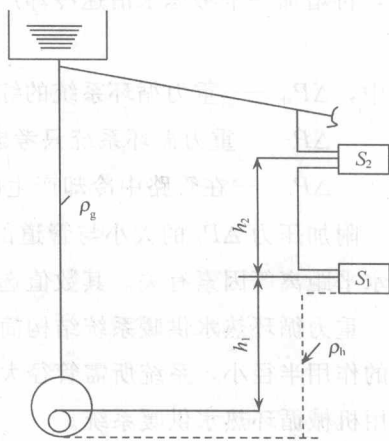


图 1.4 单管系统

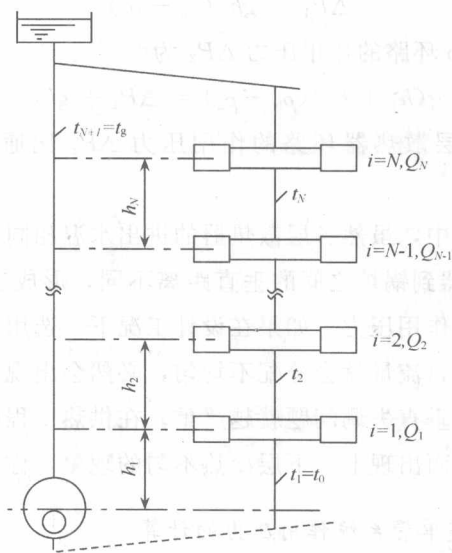


图 1.5 计算单管系统立管混合水温示意图

重力循环系统的作用压力一般不大，所以水在管路内冷却产生的附加压力不应忽略，计算重力循环系统的综合作用压力时，应首先在假设条件下确定重力循环作用压力，再增加一个考虑水沿途冷却产生的附加压力，即

$$\Delta P_{zh} = \Delta P + \Delta P_f \quad (1.6)$$

式中， ΔP_{zh} ——重力循环系统的综合作用压力，Pa；

ΔP ——重力循环系统只考虑水在散热器内冷却产生的作用压力，Pa；

ΔP_f ——在管路中冷却产生的附加压力，Pa。

附加压力 ΔP_f 的大小与管道的布置情况、楼层高度、所计算的散热器与锅炉之间的水平距离等因素有关。其数值选用，参见附表 1.2。

重力循环热水供暖系统结构简单，操作方便，运行时无噪音，不需要消耗电能。但它的作用半径小，系统所需管径大，初投资较高。当循环系统作用半径较大时，应考虑采用机械循环热水供暖系统。

【例 1.1】 如图 1.6 所示，设 $h_1 = 3.2\text{m}$ ， $h_2 = h_3 = 3.0\text{m}$ ，散热器： $Q_1 = 700\text{W}$ ， $Q_2 = 600\text{W}$ ， $Q_3 = 800\text{W}$ 。供水温度 $t_g = 95^\circ\text{C}$ ，回水温度 $t_h = 70^\circ\text{C}$ 。求：

- 1) 双管系统的循环作用压力。
- 2) 单管系统各层之间立管的水温。
- 3) 单管系统的重力循环作用压力。

计算作用压力时，本题不考虑水在管路中冷却因素。

解 1) 求双管系统的重力循环作用压力。系统的供、回水温度， $t_g = 95^\circ\text{C}$ ， $t_h = 70^\circ\text{C}$ 。查附表 1.1 得 $\rho_g = 961.92 \text{ kg/m}^3$ ， $\rho_h = 977.81 \text{ kg/m}^3$ 。根据式 (1.2) 和式