



国家示范性高等职业院校建设计划项目

高等职业教育规划教材

建筑供暖工程建造

JIANZHU GONGNUAN GONGCHENG JIANZAO

宋喜玲 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家示范性高等职业院校建设计划项目
高等职业教育规划教材

建筑供暖工程建造

主 编	宋喜玲		
副主编	马志彪	王海鹰	
参 编	高昆生	谭翠萍	曾 艳
	杨存志	曲俊峰	张贵国
主 审	贺俊杰		



机械工业出版社

内容简介

本书为高职高专院校供通风与空调工程技术专业建筑供暖工程建造课程用教材。

本书共分7章, 主要介绍建筑供暖系统的工作原理、组成及形式; 建筑室内热水供暖系统设计的基本原理、方法、步骤; 室内散热设备、热源设备及管网的安装; 热水供暖系统的调试; 蒸汽供暖系统的基本原理。

本书内容实用、新颖, 各章内容独立, 除作为教材外, 还可供从事供暖系统设计、施工和运行管理的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑供暖工程建造/宋喜玲主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.1

ISBN 978-7-111-30090-8

I. ①建… II. ①宋… III. ①采暖设备—建筑安装工程—基本知识 IV. ①TU832

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第001748号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 覃密道 责任编辑: 王靖辉

版式设计: 霍永明 责任校对: 唐海燕

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 李 妍

北京外文印刷厂印刷

2011年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·402千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-30090-8

定价: 30.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书根据职业教育发展的需求,依据国家示范性高职院校建设需要,以“建筑供暖工程建造”课程教学大纲为根本,其编写突出了高职类教育“以市场需求为导向,以职业能力培养为宗旨”的特色。

“建筑供暖工程建造”课程是一门理论性与实践性比较强、涉及知识范围广的综合性课程,是供热通风与空调工程专业的重点专业课程。本书在内容选材上,突出了理论与实践相结合,强化技能培养的目标,将原有学科体系的专业课程内容进行了重组,以满足建筑行业供热通风与空调工程专业对高技能型人才培养的需求。本书有以下特点:

1) 内容量以够用、适用为原则。

2) 内容选编上,保留基本原理,结合新规范、新技术、行业发展新趋势,使教学内容具有前瞻性。

3) 理论与实践相结合的编写思想突出。

本书共分7章,其内容包括:建筑供暖系统的工作原理和组成、简单供暖工程的施工图设计、散热器及辅助设备安装、建筑供暖管道及配件安装、室外(庭院)供热管道工程安装、供暖锅炉房及换热站设备安装、热水供暖系统的初调节。

本书由宋喜玲任主编,马志彪、王海鹰任副主编,内蒙古建筑职业技术学院副院长贺俊杰主审。参加本书编写的人员有:内蒙古建筑职业技术学院宋喜玲、马志彪、王海鹰、谭翠萍、杨存志、曲俊峰、曾艳,呼和浩特市富泰热力公司总工高昆生,北京工业职业技术学院张贵国。具体分工为:本书第1章由宋喜玲、高昆生、张贵国编写,绪论、第2章及附录由宋喜玲编写,第3章由谭翠萍、曲俊峰编写,第4章由曾艳编写,第5章由王海鹰编写,第6章由杨存志、曲俊峰编写,第7章由马志彪编写。

本书在编写过程中得到了内蒙古建筑职业技术学院的大力支持,在此致以谢意!

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请使用本书的教师及读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----------	-----

第1章 建筑供暖系统的工作原理和组成	(5)
--------------------------	-----

1.1 建筑供暖系统的工作原理	(5)
-----------------------	-----

1.1.1 热水供暖系统的工作原理和分类	(5)
----------------------------	-----

1.1.2 蒸汽供暖系统的工作原理和分类	(10)
----------------------------	------

1.2 普通散热器热水供暖系统的组成	(15)
--------------------------	------

1.2.1 散热器	(15)
-----------------	------

1.2.2 供暖管道和附件	(20)
---------------------	------

1.2.3 排气装置	(24)
------------------	------

1.2.4 调节控制装置	(25)
--------------------	------

1.3 低温热水地板辐射供暖系统的组成	(28)
---------------------------	------

1.3.1 辐射供暖的定义、特点和分类	(28)
---------------------------	------

1.3.2 低温热水地板辐射供暖系统	(29)
--------------------------	------

1.4 常用热水供暖系统	(32)
--------------------	------

1.4.1 多层建筑常用供暖系统	(32)
------------------------	------

1.4.2 高层建筑常用供暖系统	(38)
------------------------	------

1.4.3 常用热水供暖系统施工图	(41)
-------------------------	------

本章小结	(45)
------------	------

思考题	(45)
-----------	------

实训练习题	(46)
-------------	------

第2章 简单供暖工程的施工图设计	(47)
------------------------	------

2.1 供暖系统的设计热负荷计算	(47)
------------------------	------

2.1.1 热负荷计算用传热学知识	(47)
-------------------------	------

2.1.2 供暖房间的设计热负荷	(50)
------------------------	------

2.1.3 围护结构的基本耗热量	(51)
------------------------	------

2.1.4 围护结构的附加(修正)耗热量	(58)
----------------------------	------

2.1.5 冷风渗透耗热量	(59)
---------------------	------

2.1.6 分户热计量供暖热负荷	(62)
------------------------	------

2.1.7 围护结构的最小传热热阻与经济传热热阻	(63)
--------------------------------	------

2.2 散热设备设计计算	(65)
--------------------	------

2.2.1 散热器和散热地面管道的布置	(65)
---------------------------	------

2.2.2 供暖房间普通散热器数量计算	(67)
---------------------------	------

2.2.3 供暖房间散热地面管道设计计算	(71)
2.3 室内热水供暖系统的水力计算	(73)
2.3.1 水力计算用流体力学基本知识	(73)
2.3.2 水力计算的基本原理	(77)
2.3.3 水力计算的任务和方法	(80)
2.3.4 自然循环双管系统管路的水力计算方法和例题	(83)
2.3.5 机械循环单管热水供暖系统管路的水力计算方法和例题	(89)
2.3.6 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	(92)
本章小结	(95)
思考题	(96)
实训练习题	(97)
第3章 散热器及辅助设备安装	(98)
3.1 散热器安装	(98)
3.1.1 散热器安装工序	(98)
3.1.2 低温地面辐射供暖系统加热管安装	(105)
3.2 热水供暖系统辅助设备安装	(107)
3.2.1 排气装置的安装	(107)
3.2.2 分集水器的安装	(109)
本章小结	(110)
思考题	(111)
实训练习题	(111)
第4章 建筑供暖管道及配件安装	(112)
4.1 室内供暖管道的安装	(112)
4.1.1 钢管的安装	(112)
4.1.2 塑料管的安装	(121)
4.2 管道配件的安装	(125)
4.2.1 阀门的安装	(125)
4.2.2 管道支架的安装	(134)
4.2.3 补偿器的安装	(138)
4.2.4 管道保温	(139)
本章小结	(144)
思考题	(145)
实训练习题	(145)
第5章 室外(庭院)供热管道工程安装	(146)
5.1 室外供热管道的划分与规定	(146)
5.1.1 按管道布置形状分	(146)
5.1.2 按管道敷设方式分	(146)
5.1.3 室外供热管道敷设的一般规定	(147)

5.2 室外供热管道的施工	(149)
5.2.1 架空敷设	(149)
5.2.2 管沟敷设	(149)
5.2.3 直埋敷设	(150)
5.2.4 检查井	(152)
5.2.5 补偿器	(152)
5.2.6 管道支架	(153)
5.2.7 供热钢制管道的焊接	(158)
5.3 管道系统的试压与冲洗	(165)
5.3.1 管道系统的试压	(165)
5.3.2 管道系统的冲洗	(166)
5.4 管道防腐与绝热	(166)
5.4.1 管道防腐	(166)
5.4.2 管道绝热	(168)
5.5 室外供热管道的验收	(169)
5.5.1 主控项目	(169)
5.5.2 一般项目	(169)
本章小结	(170)
思考题	(170)
实训练习题	(171)
第6章 供暖锅炉房及换热站设备安装	(172)
6.1 热水供暖锅炉房系统和设备	(172)
6.1.1 热水供暖锅炉房系统	(172)
6.1.2 热水供暖锅炉房设备	(179)
6.2 热水供暖换热站系统和设备	(192)
6.2.1 热水供暖换热站系统	(192)
6.2.2 热水供暖换热站设备	(195)
6.3 热水供暖锅炉房设备安装	(199)
6.3.1 热水供暖锅炉安装	(199)
6.3.2 锅炉房辅助设备安装	(203)
6.3.3 换热器安装	(212)
6.3.4 锅炉房、换热站工艺管道安装	(214)
本章小结	(215)
思考题	(215)
实训练习题	(216)
第7章 热水供暖系统的初调节	(217)
7.1 初调节的概念及必要性	(217)
7.1.1 初调节的概念	(217)

7.1.2 初调节的必要性	(217)
7.2 调节与控制装置	(217)
7.2.1 阀门的调节特性	(218)
7.2.2 平衡阀	(221)
7.2.3 自力式控制阀	(223)
7.3 初调节的方法	(229)
7.3.1 比例法	(229)
7.3.2 简易快速法	(230)
本章小结	(231)
思考题	(231)
实训练习题	(231)
附 录	(233)
附录1 一些铸铁散热器规格及其传热系数 K 值	(233)
附录2 室外气象参数	(234)
附录3 一些建筑材料的热物理特性表	(236)
附录4 常用围护结构的传热系数 K 值	(237)
附录5 按各主要城市区分的朝向修正率 (%)	(237)
附录6 渗透空气量的朝向修正系数 n 值	(238)
附录7 散热器组装片数修正系数 β_1	(238)
附录8 散热器连接形式修正系数 β_2	(238)
附录9 散热器安装形式修正系数 β_3	(238)
附录10 一些钢制散热器规格及其传热系数 K 值	(240)
附录11 地板供暖地板向房间的有效散热量表 (一) (二) (三) (四)	(241)
附录12 热水供暖系统管道水力计算表 ($t_g = 95^\circ\text{C}$, $t_h = 70^\circ\text{C}$, $K = 0.2$)	(245)
附录13 热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 ξ 值	(247)
附录14 一些管径的 λ/d 值和 A 值	(247)
附录15 按 $\xi_{zh} = 1$ 确定热水供暖系统管段压力损失的管径计算表	(248)
附录16 单管顺流式热水供暖系统立管组合部件的 ξ_{zh} 值	(249)
附录17 单管顺流式热水供暖系统立管的 ξ_{zh} 值	(250)
附录18 塑料管水力计算表	(250)
附录19 供暖系统中沿程损失与局部损失的概略分配比例 α (%)	(251)
附录20 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	(251)
附录21 热水供暖系统局部阻力系数 $\xi = 1$ 的局部损失 (动压头) 值 $\Delta p_d = \rho v^2 / 2$	(252)
参考文献	(254)

绪 论

1. 建筑供暖工程建造的研究对象

人们在日常生活和社会生产中都需要大量的热能,如在生活中煮饭、烧水、洗涤、医疗、消毒和供暖等,在生产中拖动、锻压、蒸煮、烘干以及直接或间接加热等。热能工程是将自然界的能源直接或间接地转化成热能,满足人们需要的科学技术。热能工程中,生产、输配和应用中、低品质热能的工程技术称为供热工程。热媒是可以用来输送热能的媒介物,常用的热媒是热水和蒸汽。

供热系统包括热源、供热热网和热用户三个基本组成部分。

1) 热源主要指生产和制备具有一定参数(温度、压力)热媒的锅炉房和热电厂。

2) 供热热网指输送热媒的室外供热管道系统,主要解决建筑物外部从热源到热用户之间热能的输配问题。

3) 热用户指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等用热系统。

我国国土面积的70%属于严寒或寒冷地区,这些地区建筑的室内供暖是冬季消耗热能的主要用户,也是本课程的主要学习内容。

建筑供暖工程建造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系统的建造,包括建筑供暖工程的设计、施工及运行管理。

本课程的主要任务是熟悉建筑供暖系统的工作原理、组成及形式;掌握建筑室内热水供暖系统(普通散热器系统和低温热水地板辐射供暖系统)设计的基本原理、方法、步骤和施工;掌握热源设备、管网的管道及设备的安装;掌握热水供暖系统的调试;熟悉蒸汽供暖系统的基本原理。

2. 建筑供暖工程建造的基本概念

(1) 供暖及供暖期 供暖是指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的工程技术。所有的供暖系统都由热媒制备(热源)、热媒输送(室外管网)和热媒利用(散热设备)三个主要部分组成。

供暖期是指从开始供暖到结束供暖的期间。《采暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2003)规定:设计计算用采暖期天数应按累年日平均温度稳定低于或等于采暖室外临界温度的总日数确定。对一般民用建筑和工业建筑,采暖室外临界温度宜采用5℃。各地的供暖期天数及起止日期可从有关资料查取。

(2) 供暖系统的分类

1) 根据三个主要组成部分的相对位置关系分类

根据三个主要组成部分的相对位置关系可分为局部供暖和集中供暖。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,如烟气的供暖(火炉、火墙和火炕等)。热源和散热设备分别设置,用管道相连接,

由散热设备向各个房间或建筑物供给热量的供暖系统称为集中式供暖系统。目前，集中式供热系统的热源主要是区域锅炉房和热电厂。

以区域锅炉房（内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，如图 0-1 所示。由蒸汽锅炉 1 产生的蒸汽，通过蒸汽干管 2 输送到各个热用户，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 和凝水干管 4 返回凝结水箱 5，再由锅炉给水泵 6 将水送入锅炉重新加热。

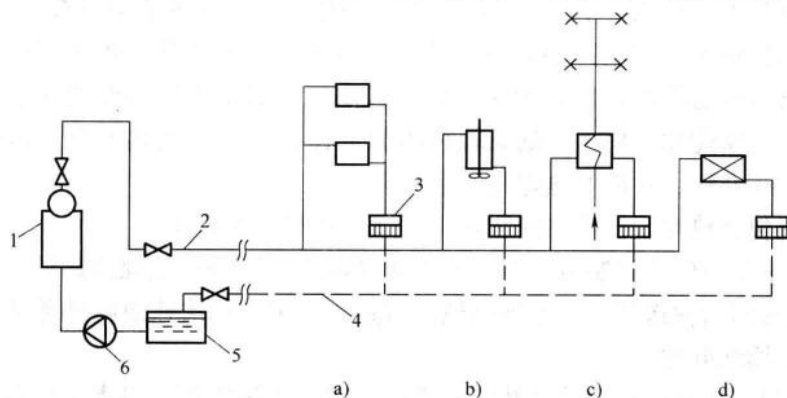


图 0-1 区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图

a) 室内供暖 b) 通风空调 c) 热水供应 d) 生产工艺用热

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

以热电厂为热源的供热系统，称为热电厂集中供热系统，如图 0-2 所示。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。

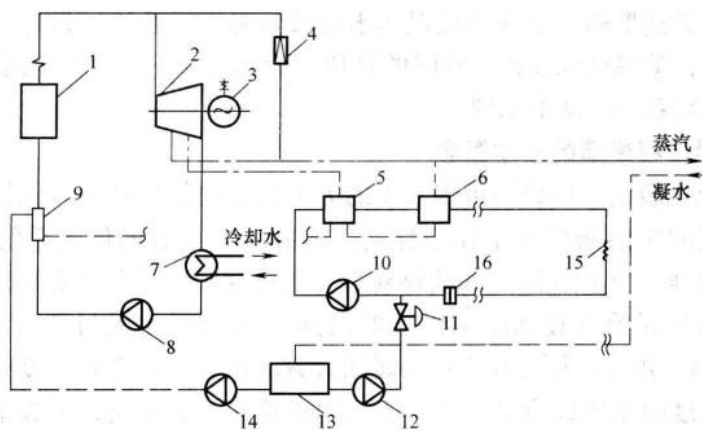


图 0-2 热电厂集中供热系统示意图

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 - 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

如图 0-2 所示，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气口的压力时,可抽出部分蒸汽向外供热,通常向生产工艺用户供热。当蒸汽在汽轮机中进行膨胀到低压可调抽气口的压力时,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),将热水热网的回水加热。在室外温度较低,需要加热到更高的供水温度,蒸气不能满足要求时,可由高压抽气口或从蒸汽锅炉通过减压减温装置 4 获得。高低压可调节抽气口的抽气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 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,再进入锅炉重新加热。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 送入电厂的回热装置加热。热水热网的循环水泵 10,驱动热网内的水不断循环而被加热和冷却。通过热水热网的补给水泵 12,补充热水热网的漏水量。利用补给水压力调节器 11,控制热水供热系统的压力。

《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019-2003)(以下简称《暖通空调规范》)规定:累年日平均温度稳定低于或等于 5°C 的日数大于或等于 90 天的地区,宜设置集中供暖。同时规定设置供暖的公共建筑和工业建筑,当其位于严寒地区或寒冷地区,且在非工作时间或中断使用的时间内,为了防止水管及其他用水设备等发生冻结,室内温度必须保持 0°C 以上,而利用房间蓄热量不能满足要求时,应按 5°C 设置值班温度。

2) 根据热媒种类不同分类

根据热媒种类不同可分为热水供暖系统、蒸汽供暖系统和热风供暖系统。热水供暖系统的热媒是热水。根据热水在系统中循环流动的动力不同,热水供暖系统可分为以自然循环压力为动力的自然循环热水供暖系统和以水泵扬程为动力的机械循环热水供暖系统。

蒸汽供暖系统的热媒是蒸汽。根据蒸汽压力的不同,蒸汽供暖系统可分为低压蒸汽供暖系统和高压蒸汽供暖系统。

热风供暖系统是以空气作为热媒,即把空气加热到适当的温度直接送入房间,以满足供暖要求。根据需求和实际情况,可设独立的热风供暖系统或采用通风和空调联合的系统。

3) 根据散热设备的散热方式不同分类

根据散热设备的散热方式不同可分为对流供暖和辐射供暖。以对流换热为主要换热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。热风供暖系统也是以对流换热方式向室内供热。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。

3. 建筑供暖工程的发展概况

现代供热技术在我国是近几十年发展起来的。在建国前只有在大城市的高档建筑中才有供暖或空调系统的应用,设备都是舶来品。新中国成立后,供热技术才得到迅速发展。20 世纪 50 年代建设了热电厂,有了城市集中供热系统。

到了20世纪60~70年代,热水供暖技术得到快速的发展,并且逐步取代了蒸汽供暖系统,城镇集中供热业迅速发展起来。在民用与公共建筑中,供暖设备的制造业也有了相应的发展。我国在1969年生产了第一台2.9MW的热水锅炉,以后陆续有了新的热水锅炉的问世。

20世纪80~90年代是供热技术发展最快的时期。国民经济的迅速发展,供热节能日益受到重视,供热规模和供热技术都有了很大的发展。

进入21世纪,随着我国国民经济建设的迅速发展和人们生活水平的不断提高,我国的建筑供暖事业得到了迅速的发展。就我国目前的情况来看,在东北、西北、华北地区,大部分民用建筑和工业建筑都装设了集中供暖设备,许多城镇实现了集中供热。建筑供暖是能源消耗大户,能源的消耗量在不断增加,同时也直接或间接地影响着生态环境。因此,提高建筑供暖质量和降低能源消耗成为新时代建筑供暖的关键问题。

第1章 建筑供暖系统的工作原理和组成

【学习目标】

1. 了解建筑供暖系统的工作原理。
2. 了解普通散热器热水供暖系统的组成。
3. 了解低温热水地板辐射供暖系统的组成。
4. 了解常用热水供暖系统。

1.1 建筑供暖系统的工作原理

建筑供暖系统根据热媒的不同可分为热水供暖系统、蒸汽供暖系统和热风供暖系统。由于热水供暖系统的热能利用率较高,输送时无效热损失较小,散热设备不易腐蚀,使用周期长,且散热设备表面温度低,符合卫生要求,系统操作方便,运行安全,易实现供水温度的集中调节,系统蓄热能力高,散热均衡,适用于远距离输送。因此,《暖通空调规范》规定,民用建筑应采用热水供暖系统。

1.1.1 热水供暖系统的工作原理和分类

热水供暖系统按循环动力的不同,可分为自然循环热水供暖系统和机械循环热水供暖系统。目前应用最广泛的是机械循环热水供暖系统。

1. 自然循环热水供暖系统

(1) 自然循环热水供暖的工作原理及作用压力

图1-1是自然循环热水供暖系统的工作原理图。在图中假设整个系统只有一个放热中心1(散热器)和一个加热中心2(锅炉),用供水管3和回水管4把锅炉与散热器连接起来。在系统的最高处连接一个膨胀水箱5,用来容纳水在受热后膨胀而增加的体积。

在系统运行之前,先将系统内充满冷水。当水在锅炉中被加热后,密度减小,水向上浮升,经供水管流入散热器。在散热器内水被冷却,密度增大,水再沿回水管返回锅炉。

在水的循环流动过程中,供水和回水由于温度差的存在,产生了密度差,系统就是靠供回水的密度差作为

循环动力。这种系统称为自然(重力)循环热水供暖系统。分析该系统循环作用压力时,忽略水在管路中流动时管壁散热产生的水冷却,认为水温只是在锅炉和散热器处

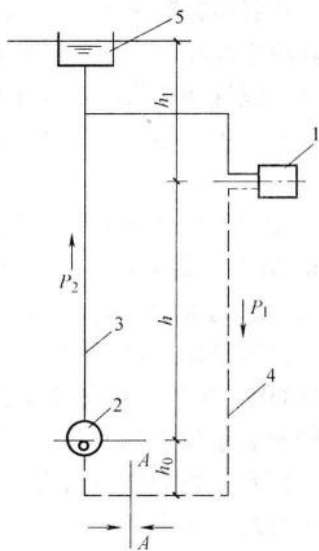


图1-1 自然循环热水供暖系统工作原理图

1-散热器 2-锅炉 3-供水管
4-回水管 5-膨胀水箱

发生变化。

假设图 1-1 的循环环路最低点的断面 $A-A$ 处有一阀门。若阀门突然关闭, $A-A$ 断面两侧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内进行循环流动的自然循环作用压力。

设 P_1 和 P_2 分别表示 $A-A$ 断面右侧和左侧的水柱压力, 则 $A-A$ 断面两侧的水柱压力分别为:

$$P_1 = g(h_0\rho_h + h\rho_h + h_1\rho_g)$$

$$P_2 = g(h_0\rho_h + h\rho_g + h_1\rho_g)$$

断面 $A-A$ 两侧的压力差, 即系统的循环作用压力为:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = gh(\rho_h - \rho_g) \quad (1-1)$$

式中 ΔP ——重力循环系统的作用压力, 单位为 Pa;

g ——重力加速度, 单位为 m/s^2 , 取 9.81m/s^2 ;

h ——冷却中心至加热中心的垂直距离, 单位为 m;

ρ_h ——回水密度, 单位为 kg/m^3 ;

ρ_g ——供水密度, 单位为 kg/m^3 。

由式 (1-1) 可见, 自然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。低温热水供暖系统供回水温度一定 ($95/70^\circ\text{C}$) 时, 为了提高系统的循环作用压力, 应尽量增大锅炉与散热设备之间的垂直距离。

在热水供暖系统中, 应考虑系统充水时, 如果未能将空气完全排尽, 随着水温的升高或水在流动中压力的降低, 水中溶解的空气会逐渐析出, 空气会在管道的某些高点处形成气塞, 阻碍水的循环流动。空气如果积存于散热器中, 散热器就会不热。另外, 空气中的氧气还会加剧管路系统的腐蚀。所以, 热水供暖系统应考虑如何排除空气。

在自然循环系统中, 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 , 而干管中空气气泡的浮升速度为 $0.1 \sim 0.2\text{m/s}$, 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, 通过膨胀水箱排除。

自然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 $0.005 \sim 0.01$ 。散热器支管也应沿水流方向设向下坡度, 坡度值不小于 0.01 , 以便空气能逆着水流方向上升, 聚集到供水干管最高处设置的膨胀水箱排除。

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能通过回水干管顺利泄水。

(2) 自然循环热水供暖双管系统的作用压力

在图 1-2 所示的双管上供下回式系统中, 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 1-2 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, 在散热器内放热冷却后, 在 b 点汇合后返回热源。该系统形成了两个冷却中心 S_1 和 S_2 , 同时与热源、供回水干管形成了两个并联环路 aS_1b 和 aS_2b 。

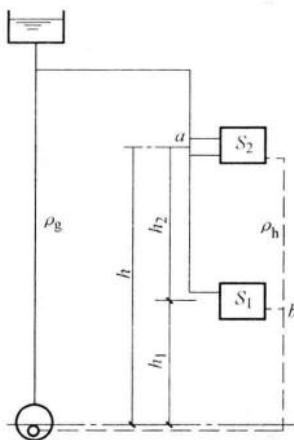


图 1-2 双管系统原理

通过底层散热器的环路 aS_1b 的作用压力为：

$$\Delta P_1 = gh_1 (\rho_h - \rho_g) \quad (1-2)$$

通过上层散热器的环路 aS_2b 的作用压力为：

$$\Delta P_2 = g(h_1 + h_2)(\rho_h - \rho_g) = \Delta P_1 + gh_2(\rho_h - \rho_g) \quad (1-3)$$

式中 ΔP_1 ——通过底层散热器 aS_1b 环路的作用压力，单位为 Pa ；

ΔP_2 ——通过上层散热器 aS_2b 环路的作用压力，单位为 Pa 。

由式 (1-3) 可见，通过上层散热器环路的作用压力比通过下层散热器的大，其差值为 $gh_2(\rho_h - \rho_g)$ 。因而在计算上层环路时，必须考虑这个差值。

在双管系统中，由于各层散热器与锅炉的高差不同，虽然进入和流出各层散热器的供、回水温度相同（不考虑管路沿途冷却的影响），也将形成上层作用压力大、下层作用压力小的现象。如选用不同管径仍不能使各层阻力损失达到平衡，则由于流量分配不均，必然要出现上热下冷的现象。

在供暖建筑物内，同一竖向的各层房间的室温不符合设计要求的温度，而出现上下层冷热不均的现象，通常称为系统垂直失调。由此可见，双管系统的垂直失调，是由于通过各层的循环作用压力不同而出现的；而且楼层数越多，上下层的作用压力差值越大，垂直失调就会越严重。

(3) 自然循环热水供暖单管系统的作用压力

在图 1-3 所示的单管上供下回式系统中，热水进入立管后，由上向下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，各立管环路是并联关系。

图中散热器 S_2 和 S_1 串联在立管上，引起自然（重力）循环作用压力的高差是 $(h_1 + h_2)$ ，冷却后水的密度分别为 ρ_2 和 ρ_h ($\rho_h = \rho_1$)，其循环作用压力为

$$\Delta P = gh_1(\rho_h - \rho_g) + gh_2(\rho_2 - \rho_g) \quad (1-4)$$

同理，若循环环路中有 N 组串联的冷却中心（散热器）时，其循环作用压力可用下面通式表示：

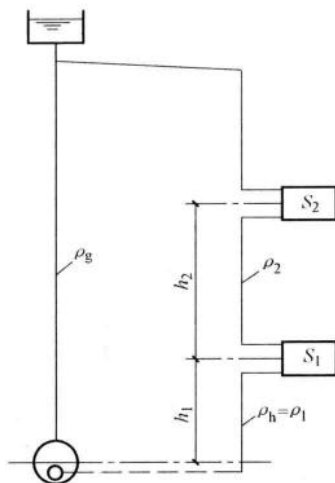


图 1-3 单管系统原理图

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n g h_i (\rho_i - \rho_g) \quad (1-5)$$

式中 n ——在循环环路中，冷却中心的总数；

g ——重力加速度，单位为 m/s^2 ，取 9.8 m/s^2 ；

ρ_g ——供暖系统供水的密度，单位为 kg/m^3 ；

i ——表示冷却中心的顺序数，令沿水流方向最后一组散热器为 $i = 1$ ；

h_i ——从计算冷却中心 i 到 $(i-1)$ 之间的垂直距离，单位为 m ；当计算的冷却中心 $i = 1$ （沿水流方向最后一组散热器）时， h_i 表示与锅炉中心的垂直距离，单位为 m ；

ρ_i ——流出所计算的冷却中心的水的密度，单位为 kg/m^3 。

在单管系统运行期间，由于立管的供水温度或流量不符合设计要求，也会出现垂直失调的现象。但在单管系统中，影响垂直失调的原因，不是如双管系统那样，由于各层作用压力不同造成的，而是由于各层散热器的传热系数 K 随各层散热器平均计算温度差的变化程度不同而引起的。

应注意，前面讲述自然循环作用压力时，只考虑水温在锅炉和散热器中发生变化，忽略了水在管路中的沿途冷却。实际上，水的温度和密度沿途是不断变化的，散热器实际进水温度比上述假设情况下的水温低，这会增加系统的循环作用压力。自然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，计算自然循环系统的综合作用压力时，应首先在假设条件下确定自然循环作用压力，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 ——重力循环系统中，水在散热器内冷却所产生的作用压力，单位为 Pa ；

ΔP_f ——水在循环环路中冷却的附加作用压力，单位为 Pa 。

【例 1-1】如图 1-2 所示，设 $h_1 = 3.2 \text{ m}$ ， $h_2 = 3.0 \text{ m}$ ，供水温度 $t_g = 95^\circ\text{C}$ ，回水温度 $t_h = 70^\circ\text{C}$ 。求：双管系统的循环作用压力。（计算作用压力时，本题不考虑水在管路中冷却因素。）

【解】系统的供、回水温度： $t_g = 95^\circ\text{C}$ ， $t_h = 70^\circ\text{C}$ 。 $\rho_g = 961.92\text{kg/m}^3$ ， $\rho_h = 977.81\text{kg/m}^3$ 。

根据式(1-2)和式(1-3)的计算方法，通过各层散热器循环环路的作用压力，分别为：

$$\text{第一层: } \Delta P_1 = gh_1(\rho_h - \rho_g) = [9.81 \times 3.2 \times (977.81 - 961.92)] \text{ Pa} = 498.8 \text{ Pa}$$

$$\text{第二层: } \Delta P_2 = g(h_1 + h_2)(\rho_h - \rho_g) = [9.81 \times (3.2 + 3.0) \times (977.81 - 961.92)] = 966.5 \text{ Pa}$$

第二层与底层循环环路的作用压力差值为：

$$\Delta P = \Delta P_2 - \Delta P_1 = (966.5 - 498.8) \text{ Pa} = 467.7 \text{ Pa}$$

自然循环热水供暖系统是最早采用的一种热水供暖方式，已有约200年的历史，至今仍在应用。它装置简单，运行时无噪声，不消耗电能。但由于其作用压力小，管径大，作用范围受到限制。自然循环热水供暖系统通常只能在单幢建筑物中应用，其作用半径不宜超过50m。

2. 机械循环热水供暖系统

机械循环热水供暖系统设置了循环水泵为水循环提供动力。这虽然增加了运行管理费用和电耗，但系统循环作用压力大，管径较小，系统的作用半径会显著提高。

图1-4为机械循环上供下回式系统，系统中设置了循环水泵、膨胀水箱、集气罐和散热器等设备。现比较机械循环系统与自然循环系统的主要区别：

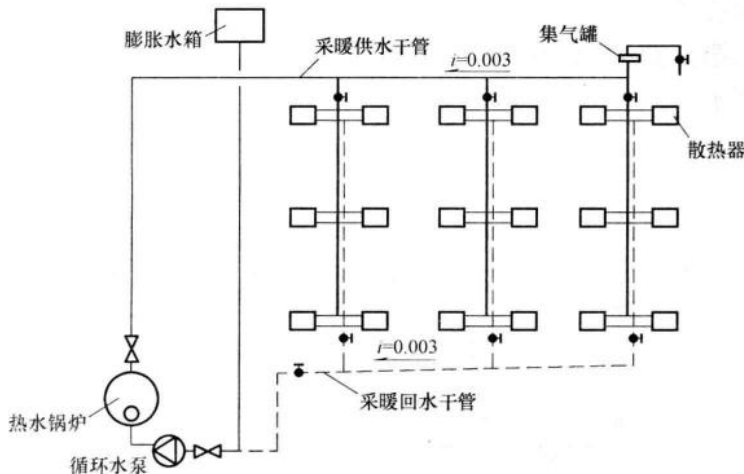


图1-4 机械循环热水供暖系统工作原理图

1) 循环动力不同。机械循环系统靠水泵提供动力，强制水在系统中循环流动。循环水泵一般设在锅炉入口前的回水干管上，该处水温最低，可避免水泵出现气蚀现象。

2) 膨胀水箱的连接点和作用不同。机械循环系统膨胀水箱设置在系统的最高处，水箱下部接出的膨胀管连接在循环水泵入口前的回水干管上。其作用除了容纳水受热膨胀而增加的体积外，还能恒定水泵入口压力，保证供暖系统压力稳定。

如图1-4所示，系统定压点设在循环水泵入口处，既能限制水泵吸水管路的压力降，避免水泵出现气蚀现象，又能使循环水泵的扬程作用在循环管路和散热设备中，