



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

Gongre  
Gongcheng

# 供热工程

(供热通风与空调工程技术专业适用)

王宇清 主编

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

# 供 热 工 程

(供热通风与空调工程技术专业适用)

王宇清 主编



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

供热工程/王宇清主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 2  
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材(供热通风与空调工程技术专业适用)  
ISBN 978-7-112-21666-6

I. ①供… II. ①王… 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 316836 号

本书主要包括: 识读、绘制室内热水供暖系统施工图; 供暖系统设计热负荷的计算; 散热器选择计算; 附属设备的选择与布置; 室内供暖系统的水力计算; 识读室内蒸汽供暖施工图; 蒸汽供暖系统的水力计算; 识读集中热水供热系统施工图; 集中热水供热系统的计算; 集中蒸汽供热系统形式及水力计算; 绘制热水管网的水压图; 集中热水供热系统的水力工况; 集中热水供热系统的供热调节; 集中供热系统的热力站及管道的布置与敷设; 集中供热管网的保温及主要设备。

本书主要用于建筑类高职高专学校供热通风与空调工程技术专业、建筑设备工程技术专业、通风空调与制冷技术专业、建筑水电技术专业的教学用书, 也可用于从事相关专业工作的工程技术人员掌握专业知识的自学与培训用书。

责任编辑: 朱首明 李 慧 张晨曦

责任校对: 刘梦然

住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

### 供热工程

(供热通风与空调工程技术专业适用)

王宇清 主编

\*

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

北京富生印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18¼ 字数: 441 千字

2018年2月第一版 2018年2月第一次印刷

定价: 47.00 元

ISBN 978-7-112-21666-6

(31520)

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》课程是供热通风与空调工程技术专业、建筑设备工程技术专业、通风空调与制冷技术专业、建筑水电技术专业的一门主干专业课程。为了适应市场经济条件下工程建设工作的需要,满足高等职业技术教育教学和工程技术人员的需求,真正做到了理论与实践结合、学校和企业结合。编者在总结多年的教学与工程实践的基础上,根据教育部高等职业教育、建筑类高职“建筑设备技术”技能型紧缺人才及教学培养、培训指导方案的指导思想编写了这本以“工作过程”为导向的工学结合型教材。

本教材摒弃了传统学科体系的教材模式,坚持贯彻以素质为基础,以能力为本位,以实用为主导的指导思想,构建了以任务为载体的工学结合型教材。为了突出高等职业教育的特色,专业知识以必须、够用为度,教材所述内容贴近工程实际的需要,尽量做到理论联系实际。本教材符合专业教育标准和专业培养方案的要求,书中介绍的新设备、新工艺、新材料、新技术力求能适应和满足集中供热系统设计、施工的需求,具有一定的先进性。编写中遵循实用、全面、简明的原则,力求做到图文并茂,论述通俗易懂,内容符合专业需要,语言精练、准确、通畅,便于学习。所用名词、符号和计量单位符合现行国家和行业标准规定。

本书是以任务为载体,按照真实工程项目,以“工作过程”为导向编写的。全书共有15个学习任务,具体如下:任务1识读、绘制室内热水供暖系统施工图;任务2供暖系统设计热负荷的计算;任务3散热器选择计算;任务4附属设备的选择与布置;任务5室内供暖系统的水力计算;任务6识读室内蒸汽供暖施工图;任务7蒸汽供暖系统的水力计算;任务8识读集中热水供热系统施工图;任务9集中热水供热系统的计算;任务10集中蒸汽供热系统形式及水力计算;任务11绘制热水网路的水压图;任务12集中热水供热系统的水力工况;任务13集中热水供热系统的供热调节;任务14集中供热系统的热力站及管道的布置与敷设;任务15集中供热管网的保温及主要设备。

本教材由黑龙江建筑职业技术学院王宇清主编,黑龙江建筑职业技术学院边喜龙主审。全书由黑龙江建筑职业技术学院王宇清统稿。其中,任务1由黑龙江建筑职业技术学院毕轶编写;任务2由黑龙江建筑职业技术学院郑福珍编写;任务3、任务4由黑龙江建筑职业技术学院刘影编写;任务5~任务8由黑龙江建筑职业技术学院王全福编写;任务9~任务14由黑龙江建筑职业技术学院王宇清编写;任务15由黑龙江建筑职业技术学院石焱编写。

本书主要用于建筑类高职高专学校供热通风与空调工程技术专业、建筑设备工程技术专业、通风空调与制冷技术专业、建筑水电技术专业的教学,也可用于本专业工程技术人员自学与培训。

由于编者水平有限,难免存在疏漏与不妥之处,敬请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>任务 1 识读、绘制室内热水供暖系统施工图</b> .....	1
1.1 识读自然循环热水供暖系统形式 .....	1
1.2 识读机械循环热水供暖系统形式 .....	6
1.3 识读高层建筑热水供暖系统 .....	10
1.4 室内热水供暖系统管路布置与敷设 .....	12
1.5 识读、绘制供暖系统施工图 .....	14
1.6 辐射供暖系统布置与敷设 .....	23
1.7 分户热计量供暖系统布置与敷设 .....	27
<b>任务 2 供暖系统设计热负荷的计算</b> .....	33
2.1 围护结构传热耗热量的计算 .....	33
2.2 冷风渗透耗热量的计算 .....	40
2.3 供暖设计热负荷实训练习 .....	47
<b>任务 3 散热器选择计算</b> .....	57
3.1 散热器的选择与布置 .....	57
3.2 散热器的计算 .....	59
<b>任务 4 附属设备的选择与布置</b> .....	66
4.1 膨胀水箱的选择与布置 .....	66
4.2 其他附属设备的选择与布置 .....	69
4.3 温控计量装置的选择与布置 .....	71
<b>任务 5 室内供暖系统的水力计算</b> .....	79
5.1 热水供暖系统管路水力计算的原理及方法 .....	79
5.2 机械循环热水供暖系统等温降法水力计算实际训练 .....	82
<b>任务 6 识读室内蒸汽供暖施工图</b> .....	94
6.1 室内蒸汽供暖系统概述 .....	94
6.2 识读室内低压蒸汽供暖系统 .....	95
6.3 识读室内高压蒸汽供暖系统 .....	99
6.4 室内蒸汽供暖系统的管路布置 .....	102
<b>任务 7 蒸汽供暖系统的水力计算</b> .....	104
7.1 低压蒸汽供暖系统的水力计算 .....	104
7.2 高压蒸汽供暖系统的水力计算 .....	108
7.3 蒸汽供暖系统附属设备的工作原理、选择方法 .....	111
<b>任务 8 识读集中热水供热系统施工图</b> .....	119
8.1 集中热水供热系统形式 .....	119

8.2 识读集中热水供热系统施工图 .....	124
<b>任务 9 集中热水供热系统的计算</b> .....	131
9.1 集中热水供热系统的热负荷及年耗热量计算 .....	131
9.2 集中热水供热系统的水力计算 .....	135
<b>任务 10 集中蒸汽供热系统形式及水力计算</b> .....	141
10.1 集中蒸汽供热系统形式及特点 .....	141
10.2 集中蒸汽供热系统的水力计算 .....	144
<b>任务 11 绘制热水网路的水压图</b> .....	157
11.1 绘制热水网路的水压图 .....	157
11.2 热水供热系统的定压方式 .....	164
11.3 循环水泵和补给水泵的选择 .....	166
<b>任务 12 集中热水供热系统的水力工况</b> .....	168
12.1 热水供热系统的水力工况 .....	168
12.2 热水供热系统的水力稳定性 .....	173
<b>任务 13 集中热水供热系统的供热调节</b> .....	175
13.1 集中热水供热系统供热调节原理 .....	175
13.2 直接连接热水供热系统的集中供热调节 .....	178
13.3 间接连接热水供热系统的集中供热调节 .....	183
<b>任务 14 集中供热系统的热力站及管道的布置与敷设</b> .....	188
14.1 集中供热系统的热力站 .....	188
14.2 集中供热系统管道的布置与敷设 .....	191
<b>任务 15 集中供热管网的保温及主要设备</b> .....	198
15.1 集中供热管网的保温 .....	198
15.2 换热器 .....	214
15.3 补偿器 .....	222
15.4 室外供热管道支吊架 .....	236
15.5 室外供热管网附属设施 .....	240
<b>附录</b> .....	243
附录 1 自然循环上供下回双管热水供暖系统中水在管路内冷却而产生的附加压力 $\Delta p_f$ .....	243
附录 2 居住及公共建筑物供暖室内计算温度 $t_n$ .....	244
附录 3 辅助用室的冬季室内空气温度 $t_n$ .....	246
附录 4 室外气象参数 .....	247
附录 5 温差修正系数 $\alpha$ 值 .....	253
附录 6 一些建筑材料的热物理特性表 .....	253
附录 7 常用围护结构的传热系数 $K$ 值 .....	254
附录 8 渗透空气量的朝向修正系数 $n$ 值 .....	254
附录 9 一些铸铁散热器规格及其传热系数 $K$ 值 .....	256
附录 10 60℃热水管道水力计算表 .....	256

附录 11	热水及蒸汽供暖系统局部阻力系数 $\xi$ 值 .....	262
附录 12	热水供暖系统局部阻力系数 $\xi=1$ 的局部损失 (动压力) 值 .....	262
附录 13	供暖系统中沿程损失与局部损失的概略分配比例 $\alpha$ .....	263
附录 14	室内低压蒸汽供暖系统水力计算表 .....	263
附录 15	室内低压蒸汽供暖管路水力计算用动压头 .....	264
附录 16	蒸汽供暖系统干式和湿式自流凝结水管管径选择表 .....	264
附录 17	室内高压蒸汽供暖系统管径计算表 .....	265
附录 18	室内高压蒸汽供暖管路局部阻力当量长度 .....	267
附录 19	疏水器的排水系数 $A_p$ 值 .....	268
附录 20	室外热水网路水力计算表 .....	269
附录 21	室外热水网路局部阻力当量长度表 .....	273
附录 22	热网管道局部损失与沿程损失的估算比值 .....	275
附录 23	室外高压蒸汽管路水力计算表 .....	276
附录 24	饱和水与饱和蒸汽的热力特性表 .....	278
附录 25	二次蒸汽数量 $x_2$ .....	278
附录 26	凝结水管水力计算表 .....	279
附录 27	各地环境温度、相对湿度表 .....	280
附录 28	全国主要城市实测地温月平均值 .....	282
参考文献	.....	284

## 任务 1 识读、绘制室内热水供暖系统施工图

**【教学目的】**通过项目教学活动,培养学生具备识读、绘制室内热水供暖系统施工图的能力,具备进行热水供暖系统管路的布置和敷设的能力;具备识读辐射供暖系统施工图的能力,具备进行辐射供暖系统管路的布置和敷设的能力;具备识读分户热计量供暖系统施工图的能力,具备进行分户热计量供暖系统管路的布置和敷设的能力。培养学生良好的职业道德、自我学习能力、实践动手能力和耐心细致地分析和处理问题的能力,以及诚实、守信、善于沟通和合作的专业素养。

### 【知识目标】

1. 掌握识读、绘制供暖系统施工图的方法。
2. 掌握热水供暖系统的管路布置和敷设的方法。
3. 掌握识读辐射供暖系统施工图的方法。
4. 掌握辐射供暖系统管路的布置和敷设的方法。
5. 掌握识读分户热计量供暖系统施工图的方法。
6. 掌握分户热计量供暖系统管路的布置和敷设的方法。

### 【主要学习内容】

### 1.1 识读自然循环热水供暖系统形式

#### 1. 热水供暖系统的分类

热水供暖系统按热水参数的不同分为低温热水供暖系统(供水温度低于 $100^{\circ}\text{C}$ ,设计供回水温度 $95^{\circ}\text{C}$ 或 $70^{\circ}\text{C}$ )和高温热水供暖系统(供水温度高于 $100^{\circ}\text{C}$ ,设计供回水温度为 $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ 或 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ )。

热水供暖系统按循环动力的不同,可分为自然(重力)循环和机械循环系统。目前,应用最广泛的是机械循环热水供暖系统。

#### 2. 自然循环热水供暖系统的工作原理

图 1-1 为自然循环热水供暖系统的工作原理图。图中假设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,水向上浮升,经供水管道流入散热器。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。

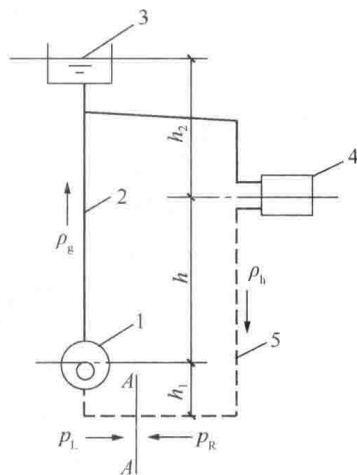


图 1-1 自然循环热水供暖系统工作原理图

- 1—热水锅炉; 2—供水管路;  
3—膨胀水箱; 4—散热器;  
5—回水管路



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的。这种系统称为自然（重力）循环热水供暖系统。

### 3. 自然循环热水供暖系统的形式特点

图 1-2 所示是自然循环热水供暖系统的两种主要形式，左侧立管为双管上供下回式系统；右侧立管为单管上供下回式系统。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。

(1) 自然循环双管上供下回式系统，其特点是：各层散热器都并联在供、回水立管上，热水直接流经供水干管、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。分析该系统循环作用压力时，因假设锅炉是加热中心，散热器是冷却中心，可以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发生变化。

(2) 自然循环单管上供下回式系统，其特点是：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（包括立管上各组散热器）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。

### 4. 计算自然循环上供下回式双管、单管热水供暖系统的循环作用压力

#### 1) 自然循环双管上供下回式系统

图 1-3 是自然循环双管上供下回式系统示意图，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  $aS_2b$ 。

通过下层散热器  $aS_1b$  环路的作用压力  $\Delta p_1$  为

$$\Delta p_1 = g h_1 (\rho_h - \rho_g) \quad (1-1)$$

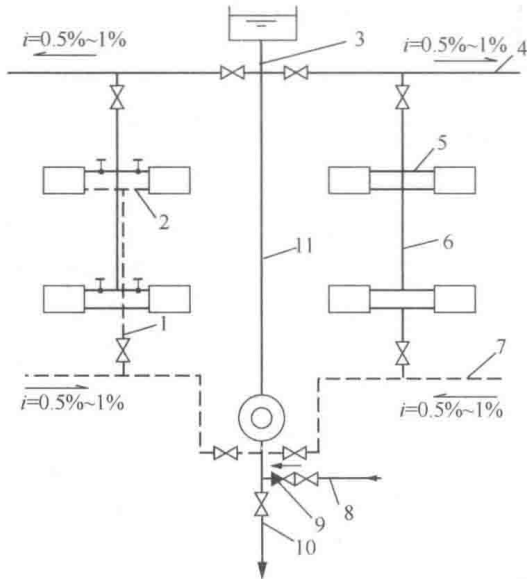


图 1-2 自然循环热水供暖系统

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

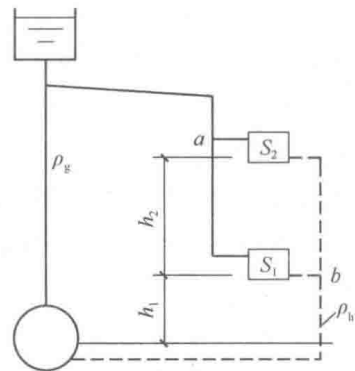


图 1-3 自然循环双管上供下回式系统

式中  $\Delta p_1$ ——自然循环系统的作用压力 (Pa);

$g$ ——重力加速度 ( $m^2/s$ );

$h_1$ ——加热中心至冷却中心的垂直距离 (m);

$\rho_h$ ——回水密度 ( $kg/m^3$ );

$\rho_g$ ——供水密度 ( $kg/m^3$ )。

通过上层散热器  $aS_2b$  环路的作用压力  $\Delta p_2$  为

$$\Delta p_2 = g(h_1 + h_2)(\rho_h - \rho_g) = \Delta p_1 + gh_2(\rho_h - \rho_g) \quad (1-2)$$

可以看出, 通过上层散热器环路的作用压力比下层的大。

在双管自然循环系统中, 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, 就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。如果选用不同管径仍不能使上下各层阻力平衡, 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。进行双管系统的水力计算时, 必须考虑各层散热器的自然循环作用压力差, 也就是考虑垂直失调产生的附加压力。

## 2) 自然循环单管上供下回式系统

图 1-4 是自然循环单管上供下回式系统示意图, 图中散热器  $S_1$  和  $S_2$  串联在立管上, 该立管循环环路的作用压力为

$$\Delta p = g(h_1\rho_h + h_2\rho_1 - h_1\rho_g - h_2\rho_g) = gh_1(\rho_h - \rho_g) + gh_2(\rho_1 - \rho_g) \quad (1-3)$$

同理, 当立管上串联几组散热器时, 其循环作用压力的通式可写成

$$\Delta p = \sum gh_i(\rho_i - \rho_g) \quad (1-4)$$

式中  $h_i$ ——相邻两组散热器间的垂直距离 (m); 当  $i=1$ , 也就是计算的是沿水流方向最后一组散热器时,  $h$  表示最后一组散热器与锅炉之间的垂直距离。

$\rho_i$ ——水流出所计算散热器的密度 ( $kg/m^3$ )。

$\rho_g$ 、 $\rho_h$ ——供暖系统的供、回水密度 ( $kg/m^3$ )。

式中的  $\rho_i$  可根据各散热器之间管路内的水温  $t_i$  确定, 如图 1-5 所示。

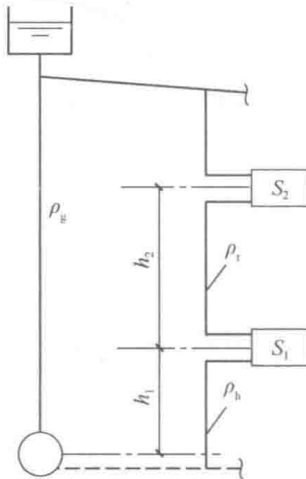


图 1-4 自然循环单管上供下回式系统

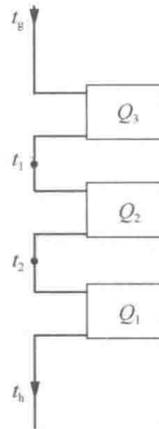


图 1-5 单管热水供暖系统

其中

$$t_1 = t_g - \frac{Q_3(t_g - t_h)}{(Q_1 + Q_2 + Q_3)} \quad (1-5)$$

$$t_2 = t_g - \frac{(Q_2 + Q_3)(t_g - t_h)}{(Q_1 + Q_2 + Q_3)} \quad (1-6)$$

写成通式

$$t_i = t_g - \frac{\sum Q_{i-1}(t_g - t_h)}{\sum Q} \quad (1-7)$$

式中  $t_i$ ——计算管段的水温 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\sum Q_{i-1}$ ——沿水流方向计算管段前各层散热器的热负荷之和 (W);

$\sum Q$ ——立管上所有散热器热负荷之和 (W);

$t_g$ ——系统的供水温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_h$ ——系统的回水温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

计算出各管段水温后, 就可以确定散热器内水的密度, 再利用式 (1-4) 计算自然循环单管系统的作用压力。

### 5. 计算示例

(1) 某自然循环双管热水供暖系统有三层散热器, 各层散热器之间的垂直距离以及底层散热器距锅炉的垂直距离均为 3.2m, 系统设计供水温度为  $95^{\circ}\text{C}$ , 回水温度为  $70^{\circ}\text{C}$ 。试计算: 该系统各层散热器环路的自然循环作用压力。(计算时不必考虑水在管路中的冷却, 相关数据见表 1-1)

示例相关数据

表 1-1

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
70	977.81	80	971.83	90	965.34
75	974.29	85	968.00	95	961.92

**【解】** 各管段密度  $\rho_{70^{\circ}\text{C}} = 977.81\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho_{95^{\circ}\text{C}} = 961.92\text{kg}/\text{m}^3$ 。

系统的自然循环作用压力

$$p_1 = gh_1(\rho_h - \rho_g) = 9.81 \times 3.2 \times (977.81 - 961.92)\text{Pa} = 498.82\text{Pa}$$

$$p_2 = g(h_1 + h_2)(\rho_h - \rho_g) = 9.81 \times 3.2 \times 2 \times (977.81 - 961.92)\text{Pa} = 997.64\text{Pa}$$

$$p_3 = g(h_1 + h_2 + h_3)(\rho_h - \rho_g) = 9.81 \times 3.2 \times 3 \times (977.81 - 961.92)\text{Pa} = 1496.46\text{Pa}$$

(2) 某单管顺流式热水供暖系统有三层散热器, 如图 1-5 所示, 各层散热器之间的垂直距离以及底层散热器距锅炉的垂直距离均为 2.8m, 各层散热器的热负荷均为 2000W。系统设计供水温度为  $95^{\circ}\text{C}$ , 回水温度为  $70^{\circ}\text{C}$ 。试计算: 该立管环路的自然循环作用压力。(计算时不必考虑水在管路中的冷却)

**【解】** ① 计算各立管管段的水温

$$t_1 = t_g - \frac{\sum Q_{i-1}(t_g - t_h)}{\sum Q} = \left[ 95 - \frac{2000 \times (95 - 70)}{(2000 + 2000 + 2000)} \right]^{\circ}\text{C} = 86.67^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 95 - \left[ \frac{(2000 + 2000) \times (95 - 70)}{(2000 + 2000 + 2000)} \right]^{\circ}\text{C} = 78.33^{\circ}\text{C}$$

## ② 确定各管段密度

$$\rho_{70^{\circ}\text{C}} = 977.81\text{kg/m}^3; \rho_{95^{\circ}\text{C}} = 961.92\text{kg/m}^3。$$

由内差法确定  $\rho_1 = 967.14\text{kg/m}^3$ ;  $\rho_2 = 972.86\text{kg/m}^3$ 。

## ③ 系统的自然循环作用压力

$$\begin{aligned} p &= gh_1(\rho_h - \rho_g) + gh_2(\rho_1 - \rho_g) + gh_3(\rho_2 - \rho_g) \\ &= [9.81 \times 2.8 \times (977.81 - 961.92) + 9.81 \times 2.8 \\ &\quad \times (967.14 - 961.92) + 9.81 \times 2.8 \times (972.86 - 961.92)]\text{Pa} \\ &= 880.62\text{Pa} \end{aligned}$$

## 6. 自然循环上供下回式热水供暖系统排空气及供回水干管的坡度设置

无论是自然循环还是机械循环热水供暖系统，都应考虑系统充水时，如果未能将空气完全排净，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，氧气还会加剧管路系统的腐蚀。所以，热水供暖系统应考虑排空气的问题。

自然循环上供下回式热水供暖系统可通过设在供水总立管最上部的膨胀水箱排空气。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  $0.2\text{m/s}$ ，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  $0.25\text{m/s}$ ，一般超过了水的流动速度。此外，自然循环上供下回式热水供暖系统的供水干管一般应设沿水流方向下降的坡度，坡度值为  $0.5\% \sim 1.0\%$ 。散热器支管也应沿水流方向设下降坡度，坡度值为  $1\%$ ，因此空气能够逆着水流方向向高处膨胀水箱处聚集排除。

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。

## 7. 计算自然循环系统的综合作用压力

应注意前面计算自然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。

自然循环系统的作用压力一般不大，所以水在管路内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

$$\Delta p_{zh} = \Delta p + \Delta p_f \quad (1-8)$$

式中  $\Delta p_{zh}$ ——自然循环系统的综合作用压力 (Pa)；

$\Delta p$ ——自然循环系统只考虑水在散热器内冷却产生的作用压力 (Pa)；

$\Delta p_f$ ——水在管路中冷却产生的附加压力 (Pa)。

附加压力  $\Delta p_f$  的大小可根据管道的布置情况、楼层高度、所计算的散热器与锅炉之间的水平距离查附录 1 确定。

## 8. 自然循环热水供暖系统的优缺点

自然循环热水供暖系统结构简单，操作方便，运行时无噪声，不需要消耗电能。但自然循环系统的作用压力一般都不大，作用半径较小，为了提高系统的循环作用压力，锅炉的位置应尽可能地降低，作用半径以不超过  $50\text{m}$  为好。自然循环热水供暖系统所需管径

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。

## 1.2 识读机械循环热水供暖系统形式

### 1. 机械循环热水供暖系统工作原理

如图 1-6 所示，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。

机械循环系统膨胀水箱设在系统的最高处，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，保证水泵入口压力稳定。

### 2. 分析机械循环热水供暖系统的压力分布

图 1-7 所示的机械循环热水供暖系统中，膨胀水箱与系统的连接点为  $O$ 。系统充满水后，水泵不工作系统静止时，环路中各点的测压管水头  $Z + \frac{P}{\gamma}$  均相等。因膨胀水箱是开式高位水箱，所以环路中各点的测压管水头线是过膨胀水箱水面的一条水平线，即静水压线  $j-j$ 。

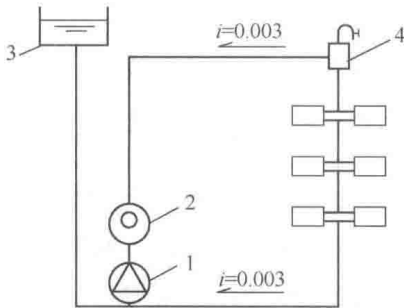


图 1-6 机械循环热水供暖系统

- 1—循环水泵；2—热水锅炉；  
3—膨胀水箱；4—集气装置

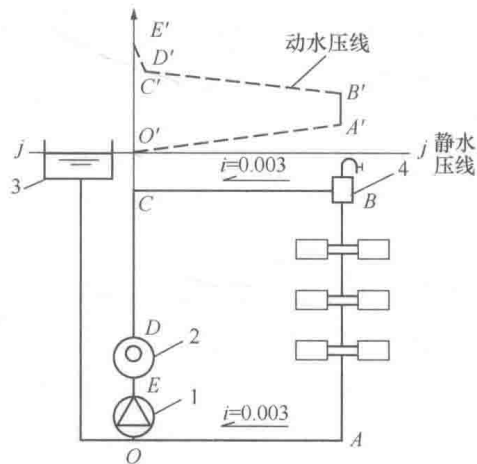


图 1-7 机械循环热水供暖系统压力分布

- 1—循环水泵；2—热水锅炉；  
3—膨胀水箱；4—集气装置

水泵运行后，系统中各点的水头将发生变化，水泵出口处总水头  $H'_E$  最大。因克服沿途的流动阻力，水流到水泵入口处时水头  $H'_A$  最小。循环水泵的扬程  $H'_E - H'_A$  是用来克服水在管路中流动时的流动阻力的。图中虚线  $E'D'C'B'A'O'$  是系统运行时的动水压线。

如果系统严密不漏水，且忽略水温的变化，则环路中水的总体积将保持不变。运行时，开式膨胀水箱与系统连接点  $O$  点的压力与静止时相同，即  $H_O = H_j$ ，将  $O$  点称为定压点或恒压点。定压点  $O$  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，保证有足够的压力克服流动阻力使水在系统中循环流动。这可以保证系统中各点的压力稳定，使系统压力分布更合理。膨胀水箱是机械循环热水供暖系统中最简单的定压设备。

机械循环系统如果像自然循环系统那样，将膨胀水箱接在供水总立管上，如图 1-8 所示。此时定压点在图中  $O$  点处，定压点  $O$  处的静水压力（即  $h_j$  段水柱高度）较小， $h_j$  段水柱压力将用来克服管路系统中的流动阻力。因机械循环系统水流速度大，压力损失也较大，当供水干管较长，定压点压力  $h_j$  只够克服  $OF$  段阻力时，在  $FD$  段将产生负压，空气会从不严密处吸入。如果在  $D$  点装设集气罐或自动放气阀，此处不仅不能排除空气，反而会吸入空气。若该处压力低于水在供水温度下的饱和压力时，水就会汽化。这种错误的连接在运行中还会造成膨胀水箱经常满水和溢流，甚至导致系统抽空排空，不能正常工作。因此，机械循环热水供暖系统不能把膨胀水箱连接在供水总立管上。

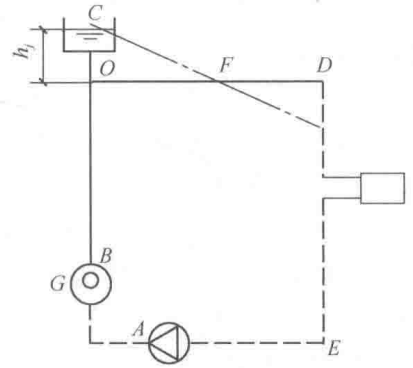


图 1-8 机械循环系统膨胀水箱与系统的错误接法

### 3. 机械循环上供下回式热水供暖系统的排空气及供回水干管的坡度设置

机械循环系统中水流速度较大，一般都超过水中分离出的空气泡的浮升速度，易将空气泡带入立管引起气塞。所以，机械循环上供下回式系统水平敷设的供水干管应沿水流方向设上升坡度，坡度值不小于 0.002，一般为 0.003。在供水干管末端最高点处设置集气罐，以便空气能顺利地和水流同方向流动，集中到集气罐处排除。

回水干管应沿水流方向设下降的坡度，坡度值不小于 0.002，一般为 0.003，以便于集中泄水。

### 4. 机械循环热水供暖系统的形式及特点

#### 1) 垂直式系统

(1) 上供下回式：如图 1-9 所示，上供下回式机械循环热水供暖系统也有单管和双管两种形式。

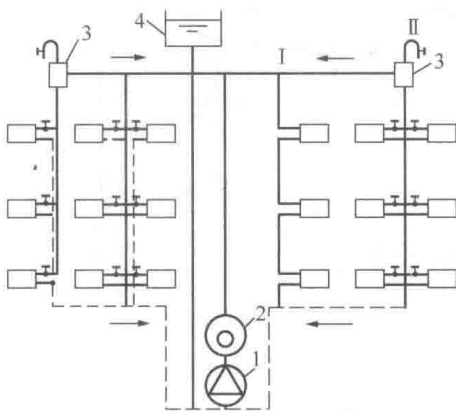


图 1-9 机械循环上供下回式热水供暖系统  
1—循环水泵；2—热水锅炉；3—集气装置；  
4—膨胀水箱

图 1-9 左侧两根立管为双管式系统，双管系统的垂直失调问题在机械循环热水供暖系统中仍然存在，设计计算时必须考虑各层散热器并联环路之间的作用压力差。

图 1-9 右侧为单管式系统，立管 I 为单管顺流式，其特点是：热水顺序流过各层散热器，水温逐层降低。该系统散热器支管上不允许安装阀门，不能进行个体调节。立管 II 为单管跨越式，立管中的水一部分流入散热器，另一部分直接通过跨越管与散热器的出水混合，进入下一层散热器。该系统可以在散热器支管或跨越管上安装阀门，可调节进入散热器的流量，适用于房间温度要求较严格，需要调节散热器散热量的系统上。《民用建筑供暖通风

与空气调节设计规范》GB 50736（简称《暖通规范》）规定，垂直单管跨越式系统的楼层数不宜超过 6 层。

机械循环单管上供下回式热水供暖系统，形式简单，施工方便，造价低，是一种被广泛采用的系统形式。

(2) 双管下供下回式：双管下供下回式系统的供水干管和回水干管均敷设在所有散热器之下，如图 1-10 所示。当建筑物设有地下室或平屋顶建筑物顶棚下不允许布置供水干管时，可采用这种布置形式。

双管下供下回式系统运行时，必须解决好空气的排除问题，主要的排气方式有：如图 1-10 左侧立管，在顶层散热器上部设置排气阀排气；如图 1-10 右侧立管，在供水立管上部接出空气管，将空气集中汇集到空气管末端设置的集气罐或自动排气阀排除。应注意，集气罐或自动排气阀应设置在水平空气管下  $h$  米处，可以起隔断作用，避免各立管水通过空气管串流，破坏系统的压力平衡。 $h$  值应考虑大于各立管上部之间的压力差，最小不应小于 300mm。

与双管上供下回式系统相比，双管下供下回式系统具有如下特点：主立管长度小，管路的无效热损失较小；上层的作用压力虽然较大，但循环环路长，阻力也较大，下层作用压力虽然较小，但循环环路短，阻力也较小，这可以缓解双管系统的垂直失调问题；可安装好一层使用一层，能适应冬期施工的需要；排气较复杂，阀件、管材用量增加，运行维护管理不方便。

(3) 中供式：如图 1-11 所示，中供式系统将供水干管设在建筑物中间某层顶棚之下。中供式系统用于顶层梁下和窗户之间的距离不能布置供水干管时采用。上部的下供下回式系统应考虑解决好空气的排除问题；下部的上供下回式系统，由于层数减少，可以缓和垂直失调问题。

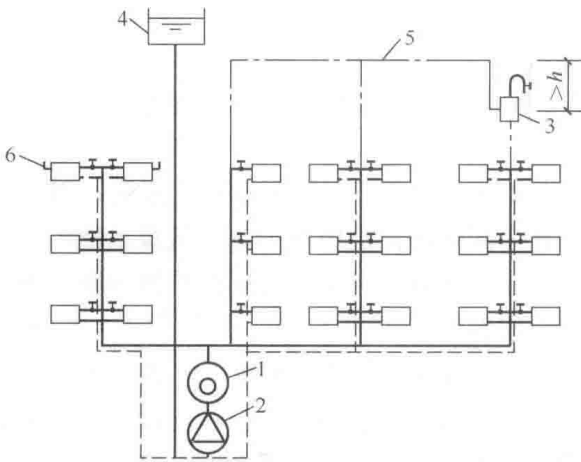


图 1-10 机械循环双管下供下回式热水供暖系统  
1—热水锅炉；2—循环水泵；3—集气装置；  
4—膨胀水箱；5—空气管；6—排气阀

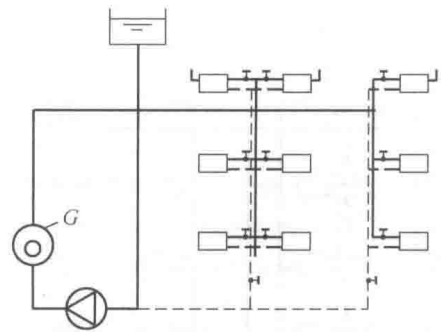


图 1-11 机械循环中供式热水供暖系统

(4) 下供上回（倒流）式：如图 1-12 所示，机械循环下供上回式系统供水干管设在所有散热设备之下，回水干管设在所有散热设备之上，膨胀水箱连接在回水干管上。回水经膨胀水箱流回锅炉房，再被循环水泵送入锅炉。

该系统的特点是：水与空气的流动方向均为自下向上流动，有利于通过膨胀水箱排空气，不需要增设集气罐等排气装置；供水总立管较短，无效热损失少；底层散热器供水温



度最高，可以减少底层房间所需的散热面积，有利于布置散热器；该方式比较适合于高温水供暖，由于温度低的回水干管在顶层，温度高的供水干管在底层，系统中的水不易汽化，可降低防止水汽化所需的水箱标高，便于用膨胀水箱定压，减少高架水箱的困难；下供上回式系统散热器内热媒平均温度远低于上供下回式系统，在相同的立管供、回水温度下所需的散热面积会增加；该系统多采用单管顺流式，热水自下向上顺序流过各层散热器，水温逐层降低。

### 2) 水平式系统

图 1-13 所示为水平单管顺流式系统。水平单管顺流式系统将同一楼层的各组散热器串联在一起，热水水平地顺序流过各组散热器，它同垂直顺流式系统一样，不能对散热器进行个体调节，只适用于对室温要求不高的建筑物或大的空间中。

图 1-14 所示为水平单管跨越式系统，该系统在散热器的支管间连接一跨越管，热水一部分流入散热器，一部分经跨越管直接流入下组散热器。这种形式允许在散热器支管上安阀门，能够调节散热器的进流量。《暖通规范》规定，水平单管跨越式系统的散热器组数不宜超过 6 组。

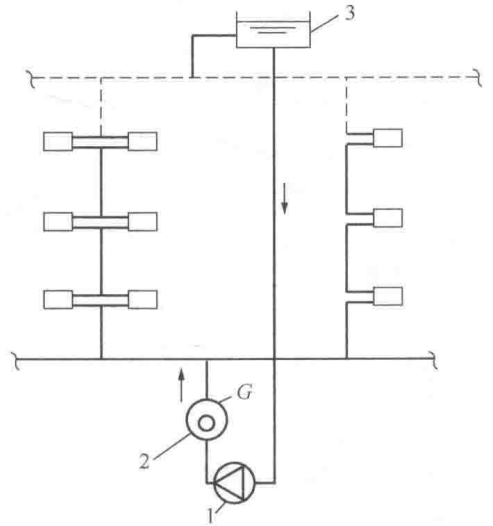


图 1-12 机械循环下供上回式（倒流式）热水供暖系统  
1—循环水泵；2—热水锅炉；3—膨胀水箱

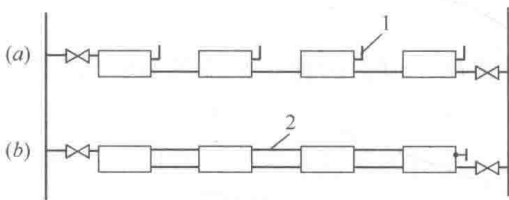


图 1-13 水平单管顺流式系统  
1—放气阀；2—空气管

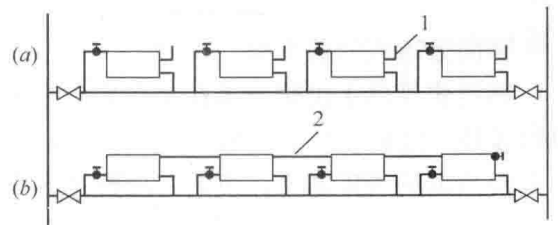


图 1-14 水平单管跨越式系统  
1—放气阀；2—空气管

水平式系统结构形式简单，穿各层楼板的立管少，施工安装方便，顶层不必专设膨胀水箱间，可利用楼梯间、厕所等位置架设膨胀水箱，不影响建筑结构外形，且总造价比垂直式低。但该系统必须考虑好空气的排除问题，可通过在每组散热器上设放气阀排空气，如图 1-13(a)，图 1-14(a) 所示；也可在同一楼层散热器上部串联水平空气管，通过空气管末端设置的放气阀集中排气，如图 1-13(b)，图 1-14(b) 所示。水平式系统也是目前居住建筑和公共建筑中应用较多的一种形式。

### 5. 同程式和异程式热水供暖系统

异程式系统是指通过各立管的循环环路总长度不相等，如图 1-15 所示。前面介绍垂直式系统时列举的各种图示均是异程式系统。

由于机械循环系统的作用半径较大，各立管循环环路的总长度就可能相差很大，各并联环路的阻力不易平衡，离总立管最近的立管虽采用了最小管径  $DN15$ ，有时仍有过多的



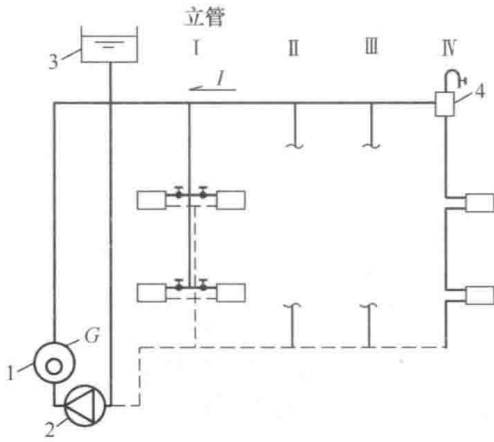


图 1-15 异程式系统

1—热水锅炉；2—循环水泵；3—膨胀水箱；4—集气罐

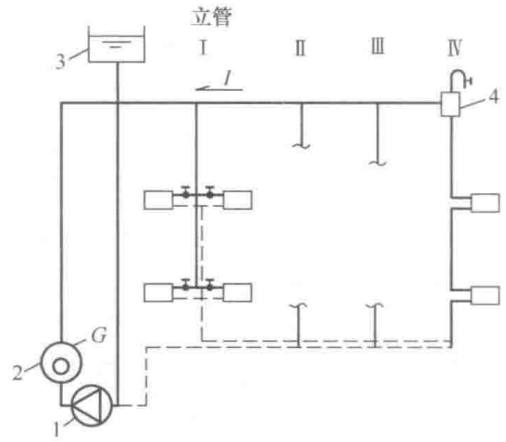


图 1-16 同程式系统

1—热水锅炉；2—循环水泵；3—膨胀水箱；4—集气罐

剩余压力，当初调节不当时，会出现远近立管流量的分配不均，造成近处立管分配的流量多，房间过热；远处立管分配的流量少，房间过冷的水平失调问题。

在大型的供暖系统中，为了减轻水平失调，使各并联环路的压力损失易于平衡，多采用同程式系统，同程式系统各立管的循环环路总长度相等，阻力易于平衡，如图 1-16 所示。但同程式系统会增加干管长度，需要精心考虑，布置得当。

### 1.3 识读高层建筑热水供暖系统

#### 竖向分区式供暖系统

高层建筑热水供暖系统在垂直方向上分成两个或两个以上的独立系统称为竖向分区式供暖系统，竖向分区式供暖系统的低区通常直接与室外管网相连接，应考虑室外管网的压力和散热器的承压能力，决定其层数的多少。高区与外网的连接形式主要有以下几种：

(1) 设热交换器间接连接的分区式系统：图 1-17 中的高区水与外网水通过热交换器进行热量交换，热交换器作为高区热源，高区又设有循环水泵、膨胀水箱，使之成为一个与室外管网压力隔绝的、独立的完整系统。该方式是目前高层建筑供暖系统常用的一种形式，比较适用于外网水是高温水的供暖系统。

(2) 设阀前压力调节器直接连接的分区式系统：图 1-18 所示为设阀前压力调节器的分区式热水供暖系统，该系统高区水与外网水直接连接。在高区供水管上设加压水泵，水泵出口处设有止回阀，高区回水管上安装阀前压力调节器，阀前压力调节器可以保证系统始终充满水，不出现倒空现象。图 1-19 所示为阀前压力调节器结构示意图，只有当回水管作用在阀瓣上的压力  $p_1$  超过弹簧的平衡压力时，阀孔才开启，高区水与外网直接连接，高区正常供暖。网路循环水泵停止工作时，弹簧的平衡拉力超过用户系统的静水压力，阀前压力调节器的阀孔关闭，与安装在供水管上的止回阀一起将高区水与外网水隔断，避免高区水倒空。弹簧的选定压力应大于局部系统静压力  $3\sim 5\text{mH}_2\text{O}$ ，这可以保证系统不倒空。

高区采用这种直接连接的形式后，高、低区水温相同，在高层建筑的低温水供暖用户中，可以取得较好的供暖效果，且便于运行调节。