



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

# 冷热源系统

杜 渐 主 编  
李东雄 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

# 冷热源系统

主 编 杜 渐  
副主编 李东雄  
编 写 江惠红 袁发崇 田 华  
主 审 余 宁 邢玉林



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材。全书共 19 个单元, 主要内容包括热源设备基本知识, 燃料与燃烧计算, 锅炉的热平衡, 锅炉的燃烧设备, 锅炉的构造, 锅炉的炉型及选择, 锅炉房的燃料供给与除灰渣, 锅炉的烟气除尘与通风, 锅炉给水的处理系统, 锅炉房的汽(热水)、水系统, 锅炉及锅炉房设备安装与试运行, 锅炉房工艺设计初步知识, 锅炉房施工图和设计布置示例, 压缩式制冷, 压缩式制冷系统的主要设备与附属设备, 吸收式制冷, 溴化锂吸收式制冷系统的主要设备与附属设备, 制冷设备与管道的敷设, 制冷系统施工图图例等。

本书将设备原理和安装工艺两门课程结合起来, 突出技能, 用大量的图片和少量的文字进行介绍; 重点介绍链条炉排燃煤锅炉, 加大了燃油和燃气锅炉的比重; 将一些德国的教材内容或资料编写进来, 使内容更新、更丰富。

本书主要作为高职高专建筑设备、供热通风与空调专业教材, 也可作为中职相关专业教材, 还可作为相关专业施工、管理和销售人员培训或自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

冷热源系统/杜渐主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-5410-1

I. 冷... II. 杜... III. ①制冷系统—高等学校: 技术学校—教材②供热系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU833  
TU831.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 045495 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

2007 年 7 月第一版 2007 年 7 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 520 千字  
印数 0001—3000 册 定价 31.80 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的建筑设备类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列人教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书是根据教育部和建设部2004年制定的《建设行业技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的，主要介绍冷热源设备的组成、原理、布置、安装、调试与验收。

冷热源系统安装是建筑设备工程技术专业的一门主要课程，牵涉到锅炉等产热设备和制冷设备的两个系统。在编写过程中，我们将设备原理和安装工艺两门课程结合起来，突出技能，用大量的图片和较少量的文字进行介绍。考虑到我国幅员广大，各个地区经济发展不平衡，各个地方所使用的设备有较大的差异，对施工人员的要求也各不相同，我们进行了以下几方面的变动：

(1) 从环境保护和节能的角度出发，对烟气测量与排放进行了较多篇幅的介绍，增加了对节能与环保的新型锅炉的介绍。由于一些燃煤锅炉污染大、噪声大，在许多城市使用越来越受到限制，因此我们只重点介绍链条炉排燃煤锅炉，加大了燃油和燃气锅炉的比重。

(2) 由于我国加入WTO后，与世界接轨的速度越来越快，各地引进了许多国外先进的技术、设备和安装工艺，而我国的规范尚未来得及跟上，因此我们将一些德国的教材或资料编写进来。例如最新型的燃烧器（辐射式、催化式燃烧器）、地下储油罐渗漏监测的敷设等。

(3) 由于我国东西部和南北方发展不平衡，各单位的用人情况也不同，中职校和高职院校的教学内容交叉覆盖面很大，这本教材可同时作为中职校和高职院校同类专业的教材用书。凡标有“☆”号的内容，中职的学生可不学，但可以作为中职学生和工程技术人员选修、进修和参考用书。本书也可以作为锅炉与制冷系统运行管理工作人员学习和参考用书。

在教学中，教师可以不必按照教材的顺序讲课，应该采用新的教学方法，结合当地实际情况，将有关内容穿插到理论课、实训和实习课中。

本书由南京高等职业技术学校杜渐主编，他编写了单元1~7、8.1~8.3、8.7、9~12，太原电力高专李东雄为副主编，他参与了单元8.4~8.6、9、10的编写，江苏城市技术学院

江惠红编写了单元 14~18，南京高等职业技术学校袁发崇编写了单元 19 并参与了单元 18 的修改，南京高等职业技术学校田华编写了单元 13。本书由江苏广播电视大学余宁与黑龙江建筑职业技术学院邢玉林主审。

在编写过程中，我们得到德国 Buderus 热力有限公司中国分公司和中国电力出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

**编 者**

2006 年 2 月

# 目 录

---

## 前言

<b>1 热源设备基本知识</b> .....	1
1.1 热源设备的分类与锅炉房设备的组成 .....	1
1.2 锅炉的基本特性与型号 .....	3
复习题 .....	7
<b>2 燃料与燃烧计算</b> .....	8
2.1 锅炉的燃料 .....	8
2.2 燃料的成分与分析 .....	11
2.3 燃料的发热量 .....	13
2.4 锅炉中燃料的燃烧计算 .....	15
复习题 .....	24
<b>3 锅炉的热平衡</b> .....	25
3.1 锅炉的热平衡方程 .....	25
3.2 锅炉的各项热损失 .....	27
3.3 锅炉的热效率 .....	31
3.4 锅炉的燃料消耗量及锅炉能耗 .....	34
复习题 .....	35
<b>4 锅炉的燃烧设备</b> .....	36
4.1 煤的燃烧过程和炉膛 .....	36
4.2 手烧炉 .....	39
4.3 链条炉排炉 .....	40
4.4 燃油、燃气锅炉燃烧装置 .....	47
复习题 .....	68
<b>5 锅炉的构造</b> .....	69
5.1 锅炉的主要受热面 .....	69
5.2 辅助受热面 .....	74
5.3 锅炉构架与炉墙 .....	80
5.4 锅炉附件 .....	82
复习题 .....	92
<b>6 锅炉的炉型及选择</b> .....	93
6.1 锅炉的炉型 .....	93

6.2	热水锅炉	98
6.3	电厂余热与常用换热器	109
6.4	锅炉炉型的选择*	113
	复习题	117
<b>7</b>	<b>锅炉房的燃料供给与除灰渣</b>	<b>118</b>
7.1	燃料的储存与供给系统	118
7.2	燃煤锅炉房的灰渣系统和设备	134
	复习题	141
<b>8</b>	<b>锅炉的烟气除尘与通风</b>	<b>142</b>
8.1	烟尘与烟气的排放标准	142
8.2	除尘设备与烟气的脱硫	145
8.3	除尘器的选用*	150
8.4	锅炉的通风方式	153
8.5	锅炉风、烟道	154
8.6	锅炉风、烟道的阻力*	156
8.7	烟囱	158
	复习题	161
<b>9</b>	<b>锅炉给水的处理系统</b>	<b>163</b>
9.1	水质指标和水质标准	163
9.2	离子软化水处理及软化设备	169
9.3	离子软化除碱水处理*	177
9.4	沉淀软化处理和锅内加药水处理*	183
9.5	锅炉给水的除氧*	188
	复习题	190
<b>10</b>	<b>锅炉房的汽(热水)、水系统</b>	<b>191</b>
10.1	蒸汽锅炉给水系统和热水锅炉热力系统	191
10.2	管道和热力系统设备	192
10.3	热力系统、排污系统及汽水管道材料	199
	复习题	206
<b>11</b>	<b>锅炉及锅炉房设备安装与试运行</b>	<b>207</b>
11.1	中小型锅炉及锅炉房设备安装	207
11.2	快装锅炉的安装	209
11.3	烘炉与煮炉	211
11.4	锅炉房的运行与管理	213
11.5	锅炉事故*	222
	复习题	225
<b>12</b>	<b>锅炉房工艺设计初步知识</b>	<b>226</b>
12.1	锅炉房设计的原则、程序和内容	226

12.2	设计需搜集的原始资料	227
12.3	锅炉房的位置与锅炉房的布置	229
12.4	对其他有关专业的技术要求	232
	复习题	233
<b>13</b>	<b>锅炉房施工图和设计布置示例</b>	<b>235</b>
13.1	锅炉房施工图	235
13.2	设计布置示例	236
	复习题	246
<b>14</b>	<b>压缩式制冷</b>	<b>247</b>
14.1	压缩式制冷的组成与工作原理	247
14.2	制冷剂	248
14.3	载冷剂	254
	复习题	255
<b>15</b>	<b>压缩式制冷系统的主要设备与附属设备</b>	<b>256</b>
15.1	压缩机	256
15.2	冷凝器	261
15.3	蒸发器	267
15.4	节流机构	271
15.5	制冷装置辅助设备	277
	复习题	285
<b>16</b>	<b>吸收式制冷</b>	<b>286</b>
16.1	吸收式制冷的工作原理	286
16.2	溴化锂吸收式制冷系统的组成	290
	复习题	292
<b>17</b>	<b>溴化锂吸收式制冷系统的主要设备与附属设备</b>	<b>293</b>
17.1	溴化锂吸收式制冷主要设备	293
17.2	辅助设备	299
	复习题	301
<b>18</b>	<b>制冷设备与管道的敷设</b>	<b>302</b>
18.1	制冷机房及设备敷设和安装	302
18.2	制冷剂管道的布置与敷设	303
	复习题	308
<b>19</b>	<b>制冷系统施工图与实际举例</b>	<b>309</b>
19.1	制冷系统施工图	309
19.2	制冷机房布置施工图举例	311
	复习题	328
	<b>参考文献</b>	<b>329</b>



# 热源设备基本知识

**知识点：**热源设备的分类，锅炉房设备的组成，锅炉的基本特性，锅炉型号。

**能力要求：**熟悉锅炉的基本特性，根据用户的需要和环保的要求，能正确选择热源设备。

## 1.1 热源设备的分类与锅炉房设备的组成

### 1.1.1 热源设备的分类

采暖系统、空调系统以及热水和蒸汽的一些用户都需要热媒，而热源是供应热媒的来源。热媒的来源一般有以下几种：第一种是利用燃料的化学能，通过燃料的燃烧，将化学能转化为热能，这是目前热源的最主要形式；第二种是利用电热元件，将电能转化为热能；第三种是通过热泵从低温热源中提取热量，由机械能转化为热能，或热能转化为热能。此外，还可利用核能、环境能（如地热等）、工业余热作为热源。

锅炉是最常用的热源设备。锅炉的类型很多，分类的方法也不同，下面是常用的一些分类方式：

(1) 按烟气在锅炉管的流动：分为火管锅炉（烟气在管内流动，水在管外流动）、水管锅炉（烟气在管外流动，水在管内流动）和水火管锅炉（前两者的结合）。

(2) 按锅筒的放置：分为落地式锅炉（有立式与卧式锅炉）和壁挂炉。

(3) 按压力：分为低压锅炉（设计工作压力 $\leq 2.5\text{MPa}$ ）、中压锅炉（设计工作压力在 $2.5\sim 3.9\text{MPa}$ ）、高压锅炉（设计工作压力在 $3.9\sim 10\text{MPa}$ ）和超高压锅炉（设计工作压力 $> 10\text{MPa}$ ）。

(4) 按运输安装的方式：分为快装锅炉、组装锅炉和散装锅炉。

(5) 按能源：分为固体燃料锅炉（燃煤、燃垃圾等）、液体燃料锅炉（燃柴油、燃重油、燃煤粉浆等）、气体燃料锅炉（燃天然气、燃城市煤气等）、余热锅炉、电锅炉等。

(6) 按锅炉生产的热媒：

1) 热水锅炉：分为高温水锅炉（供水温度在 $100^\circ\text{C}$ 以上）、中温水锅炉（供水温度在 $90^\circ\text{C}$ 左右）、低温水锅炉（供水温度在 $70^\circ\text{C}$ 以下）。

2) 蒸汽锅炉：分为饱和蒸汽（湿蒸汽）锅炉与过热蒸汽（干蒸汽）锅炉。

3) 汽水两用锅炉：既能产生蒸汽，又能产生热水的锅炉。

(7) 按燃料燃烧方式：分为层燃炉、悬燃炉、流化床炉（沸腾炉）和煤浆炉等。

(8) 按锅筒材料：分为铸铁锅炉、钢制锅炉和硅铝合金锅炉（主要用于燃油或燃气的燃烧值锅炉）。

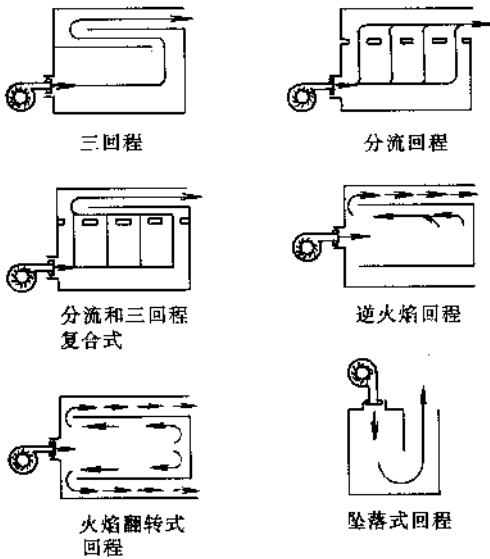


图 1.1-1 根据烟气流程的不同分类

(9) 按烟气的流程形式：分为三回程、分流回程、逆火焰回程、翻转式回程、坠落式回程等（图 1.1-1）。

(10) 按锅内水循环的方式：分为自然循环（依靠热水密度的不同而产生重力循环）和强制循环（依靠水泵进行机械循环）。

### 1.1.2 锅炉房设备的组成

锅炉房设备分为锅炉本体与辅助设备两大部分。

(1) 锅炉本体：主要是由锅与炉两部分组成。

1) 锅：是吸热并产生、容纳蒸汽或热水的受压部件，即吸收燃料燃烧放出的热量，使水加热成为规定压力和温度的热水或蒸汽。它由主要受热面和辅助受热面组成。主要受

热面有锅筒（又称汽包）、集箱、水冷壁、对流管束等；辅助受热面是辅助的加热设备，其作用是继续降低烟气温度、加热蒸汽（过热器）、预热锅炉给水（省煤器）、预热空气（空气预热器）等。

2) 炉：是燃烧、放热设备，燃料在这里将化学能转变成烟气的热能。对于各种燃料有不同的燃烧设备。

(2) 锅炉房附属设备：是保证锅炉安全、经济和连续运行必不可少的组成部分。

1) 燃料供给系统：能够保证锅炉有充足的燃料连续或间隙燃烧，各种燃料的供给设备各不相同。

2) 排渣系统：在燃煤锅炉中保证灰渣能够及时、顺利地排出，它主要由排渣机组成。

3) 送、引风系统：送入适量的空气，保证燃料在燃烧室中能够完全地燃烧，并将烟气顺利地排出，它主要由送、引风机，风管和烟管等组成。

4) 给水系统：处理和供给锅炉用水，它由水处理设备、水箱、给水泵和管路等组成。

5) 热媒供应系统：蒸汽锅炉产生的蒸汽通过分汽缸和管网分送到各用户，再通过凝结水管道和凝结水水箱回到锅炉；热水锅炉产生的热水通过分水器、热水泵和管网送到用户，再通过回水管、集水器回到锅炉。

6) 调节控制系统：保证锅炉能够安全、经济地工作，并随时进行调节。它主要有安全仪表（安全阀、水位计、压力表、温度计等）、调节装置（调节风量、燃料等）、阀门与调节控制器等。

图 1.1-2 为 SHL 型燃煤锅炉的锅炉房设备简图。

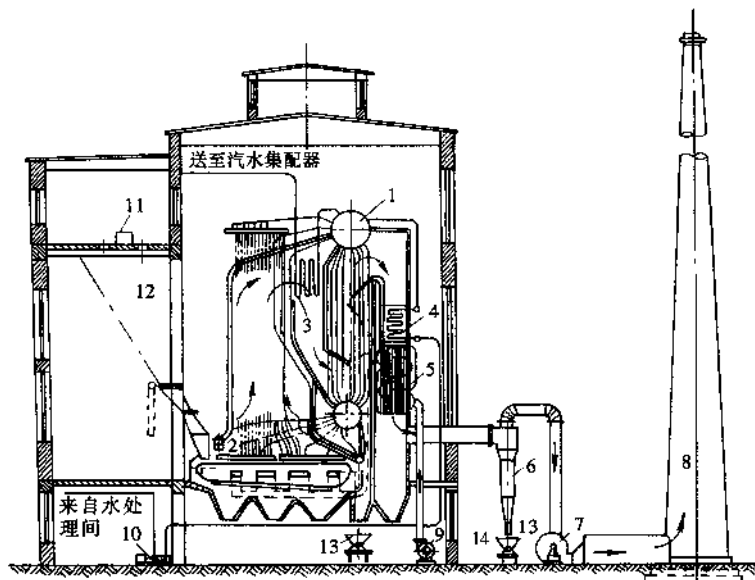


图 1.1-2 燃煤锅炉房设备简图

1—锅筒；2—炉排；3—蒸汽过热器；4—省煤器；5—空气预热器；6—除尘器；7—引风机；8—烟囱；  
9—送风机；10—给水泵；11—皮带输送机；12—煤仓；13—刮板除渣机；14—灰车

## 1.2 锅炉的基本特性与型号

### 1.2.1 锅炉的基本特性

为了表明锅炉的构造、容量、参数和运行的经济性等特点，通常用下列参数来表示锅炉的基本特性。

(1) 锅炉的生产能力。

1) 蒸发量：在额定参数下，蒸汽锅炉每小时能够连续产生的蒸汽量，用符号  $D$  表示，单位是 t/h。

2) 热功率（供热量）：在额定参数下，热水锅炉连续产生的额定供热量，用符号  $Q$  表示，单位是 kW、MW。

热功率与蒸发量之间的关系为

$$Q = 0.000278D(h_q - h_{js}) \quad \text{MW} \quad (1.2-1)$$

式中  $D$ ——锅炉的蒸发量，t/h；

$h_q$ 、 $h_{js}$ ——分别为蒸汽和给水的焓，kJ/kg。

热水锅炉的热功率可由下式计算

$$Q = 0.000278G(h_{cs} - h_{js}) \quad \text{MW} \quad (1.2-2)$$

式中  $G$ ——热水锅炉每小时送出的水量，t/h；

$h_{cs}$ 、 $h_{js}$ ——锅炉供、回水的焓，kJ/kg。

蒸发量为 1t 的蒸汽锅炉相当于供热量 0.7MW（即 700kW）的热水锅炉。

(2) 额定参数：指在锅炉设计效率下，锅炉中的蒸汽或热水应该达到的压力和温度（见表 1.2-1、表 1.2-2）。



1) 额定压力: 为蒸汽锅炉出汽口处的蒸汽额定压力或热水锅炉出水口处的热水额定压力(表压力), 符号用  $p$  表示, 单位为 MPa。

2) 额定温度: 过热蒸汽锅炉为出口处过热蒸汽的温度, 热水锅炉为出水口/回水口热水的额定温度, 符号用  $t$  表示, 单位为  $^{\circ}\text{C}$ 。

有些热水锅炉还设定了额定循环水量, 它是与额定供热量、额定热水温度及额定回水温度相对应的通过热水锅炉的水流量, 单位为 t/h, 常用符号  $G$  表示。

(3) 经济性指标。

1) 锅炉的热效率: 为锅炉有效利用的热量与单位时间内送进锅炉的燃料在完全燃烧时发出的热量之比。燃煤锅炉的效率较低, 约 60%~80%; 燃气或燃油锅炉的效率较高, 国际上先进的锅炉效率可达 99% 以上。

2) 受热面蒸发率与受热面发热率: 受热面蒸发率为蒸汽锅炉每平方米受热面每小时所产生的蒸汽量, 符号用  $D/H$  表示, 单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 受热面发热率为热水锅炉每平方米受热面每小时所产生的热量, 符号用  $Q/H$  表示, 单位为  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。锅炉受热面是指汽锅和附加受热面等与烟气接触的金属表面积, 一般以烟气放热的一侧来计算, 符号用  $H$  表示, 单位为  $\text{m}^2$ 。

在同一台锅炉中, 各受热面所处的烟气温度不同, 其受热面蒸发率或发热率差异很大。例如, 炉内辐射受热面的蒸发率可达  $80\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  左右, 而对流受热面的蒸发率就只有  $20\sim 30\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。因此, 对整台锅炉的总受热面来说, 这个指标只反映蒸发率的一个平均值。

鉴于各种型号的锅炉参数不尽相同, 为了便于比较, 就引入了标准蒸汽(在 1 标准大气压下的干饱和蒸汽)的概念, 其焓值为  $2676\text{kJ}/\text{kg}$ , 把锅炉的实际蒸发量  $D$  换算为标准蒸汽蒸发量  $D_{\text{bz}}$ , 受热面蒸发率以  $D_{\text{bz}}/H$  表示, 即

$$\frac{D_{\text{bz}}}{H} = \frac{D(h_q - h_{\text{gs}})}{2676H} \times 10^3 \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (1.2-3)$$

一般蒸汽锅炉的  $D/H$  小于  $30\sim 40\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 热水锅炉的  $Q/H$  小于  $83700\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  或小于  $0.02325\text{MW}/\text{m}^2$ 。

受热面蒸发率和受热面发热率表示锅炉的工作强度指标, 其数值较高, 则表示传热较好, 锅炉所耗金属量较少。但是,  $D/H$  值较大, 锅炉排出的烟气温度也较高, 未必经济, 所以这一指标不能真实反映锅炉运行的经济性。

3) 锅炉的金属耗率: 为制造锅炉所用的金属材料质量与额定蒸发量之比, 也称钢水比。一般锅炉的金属耗率为  $2\sim 6$ , 即制造一台蒸发量为  $1\text{t}/\text{h}$  的锅炉, 大约需用  $2\sim 6\text{t}$  钢材。

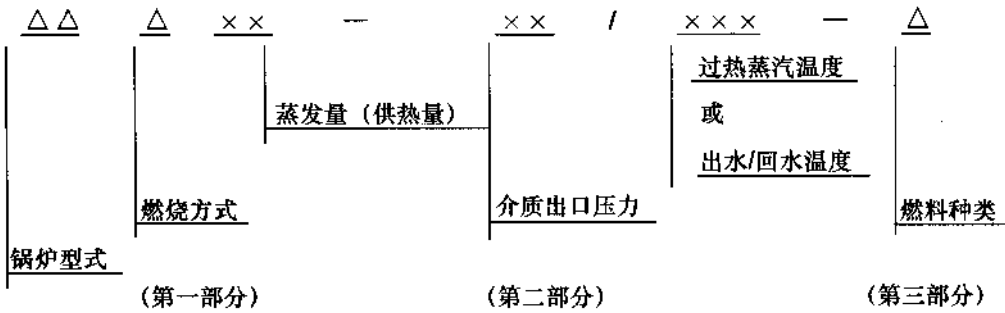
4) 锅炉的耗电量: 为锅炉房生产  $1\text{t}$  蒸汽耗用的电量, 单位为  $\text{kWh}/\text{t}$ 。

5) 燃料水比: 为锅炉单位时间内的燃料消耗量和该段时间内产生的蒸汽量之比, 该数值的高低与锅炉型式、燃料品质和运行管理质量等因素有关。燃煤锅炉时则称为煤水比, 煤水比一般为  $1:6\sim 1:7.5$ , 即  $1\text{t}$  煤大约能产生  $6\sim 7.5\text{t}$  蒸汽。

### 1.2.2 锅炉的型号

我国的锅炉型号由三部分组成, 各部分之间用短横线隔开, 表示形式如下:

型号的第一部分共分三段: 第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉本体型式(表 1.2-3); 第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式(表 1.2-4); 第三段用阿拉伯数字表示蒸汽锅炉



的额定蒸发量 (t/h) 或热水锅炉的额定供热量 (MW)。

型号的第二部分共分两段，中间以斜线分开：第一段用阿拉伯数字表示蒸汽出口压力；第二段用阿拉伯数字表示过热蒸汽（或热水）的温度。对于生产饱和蒸汽的锅炉，则没有斜线和第二段。

型号的第三部分用汉语拼音字母代表燃料种类（表 1.2-5），同时以罗马数字与其并列，代表燃料分类。如同时使用几种燃料，主要燃料放在前面。

表 1.2-3 锅炉型式的代号

锅炉本体型式	代号	锅炉本体型式	代号	锅炉本体型式	代号
立式水管	LS	单锅筒纵置式	DZ	卧式内燃	WN
立式火管	LH	双锅筒纵置式	SZ	卧式外燃	WW
卧式快装	KZ	热水锅炉	RS	纵横锅筒式	ZH
双锅筒横置式	SH	废热锅炉	FR	强制循环式	QX

表 1.2-4 锅炉燃烧方式的代号

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号	燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
链条炉排	L	燃气炉	Q	振动炉排	Z	沸腾炉	F
往复推动炉排	W	燃油炉	Y	抛煤机	P	室燃炉	S

表 1.2-5 燃料种类的代号

燃料种类	代号	燃料种类	代号	燃料种类	代号
I类无烟煤	WI	I类烟煤	AI	柴油	Yc
II类无烟煤	WII	II类烟煤	AII	重油	Yz
III类无烟煤	WIII	III类烟煤	AIII	天然气	Qr
型煤	X	木柴	M	焦炉煤气	Qj
褐煤	H	稻糠	D	液化石油气	Qy

例如 DZL4-1.25-WII，表示单锅筒纵置式锅炉，采用链条炉排，蒸发量为 4t/h，额定蒸汽压力为 1.25MPa，额定蒸汽温度为饱和温度，燃用二类无烟煤；SHL20-2.5/350-AII 表示双锅筒横置式锅炉，采用链条炉排，蒸发量为 20t/h，额定蒸汽压力为 2.5MPa，过热蒸汽温度为 350℃，燃用 II 类烟煤；QXS1.4-0.7/130/70-Y 表示强制循环室燃炉，额定



# 2

## 燃料与燃烧计算

**知识点:** 燃料的种类, 燃料的特性, 燃料的成分与分析, 发热量, 燃烧计算, 燃烧与烟气的分析。

**能力要求:** 根据燃料的种类与特性, 能正确选择燃烧设备, 能正确进行烟气测量和燃烧分析。

### 2.1 锅炉的燃料

锅炉所需要的热能主要是通过燃料的燃烧获得的。燃料是几百万年前由植物和微生物形成的, 被储藏在地壳里。

燃料的种类和特性, 与燃烧设备的选用、锅炉的安全经济运行有着密切的关系。因此, 了解燃料的分类、组成、特性和燃烧的过程十分重要。

锅炉燃料分为三大类: 固体燃料、液体燃料和气体燃料。

#### 2.1.1 固体燃料

在我国, 锅炉使用的固体燃料主要是煤, 也有少量锅炉使用油页岩、木柴、垃圾、煤矸石等。煤又分为无烟煤(又称白煤, 挥发分含量很少、含碳量很高, 着火困难、不易燃尽烧透, 燃烧无烟)、烟煤(含碳量高、挥发分也高, 易于着火和燃烧, 燃烧时多烟)、褐煤(挥发分很高, 容易着火, 含水量高, 燃烧时多烟)等。即使是同一地区生产的同一品种固体燃料, 其成分也有很大的不同。由于煤运输困难、运行的劳动量大, 特别是燃烧产生的烟尘和二氧化硫等有害气体造成严重污染, 在许多大中城市和风景区已经被限制或禁止使用。

#### 2.1.2 液体燃料

液体燃料主要是石油冶炼产品, 称为燃油(例如轻柴油、重油等)。重油的使用在我国大中城市受到限制。我国拟订的设计用代表性燃油的品种见表 2.1-1、表 2.1-2。

表 2.1-1 设计用代表性燃油品种

成分与发热量 名称	$\frac{M_{ar}}{w\%}$	$\frac{A_{ar}}{w\%}$	$\frac{C_{ar}}{w\%}$	$\frac{H_{ar}}{w\%}$	$\frac{O_{ar}}{w\%}$	$\frac{S_{ar}}{w\%}$	$\frac{N_{ar}}{w\%}$	$\frac{Q_{ar,net}}{(kJ \cdot kg^{-1})}$	相对 密度
200号重油	2	0.026	83.976	12.23	0.568	1	0.2	41868	0.92~1.01
100号重油	1.05	0.05	82.5	12.5	1.91	1.5	0.49	40612	0.92~1.01
渣油	0.4	0.03	86.17	12.35	0.31	0.26	0.48	41797	
0号轻柴油	0	0.01	85.55	13.49	0.66	0.25	0.04	42915	

注 M 代表水分; A 代表灰分; ar 代表收到基为基准。



表 2.1-2 部分燃油参数

名称	渣油			重柴油	轻柴油	试验方法标准
	120	180	380	20	0	
标准牌号	120	180	380	20	0	
运动粘度 (100℃) $\text{mm}^2/\text{s} \leq$				20.5 (50℃)	3.0~8.0 (20℃)	GB/T 265 GB/T 11137 ISO 3104
运动粘度 (50℃) $\text{mm}^2/\text{s} \leq$	120	180	380			
雷氏粘度 (37.8℃) $\leq$	950	1600	3600	135	30~40	
闪点 (闭杯)℃ $\geq$	60	60	60	65	65	GB/T 261 ISO 2719
残碳 (康氏) wt% $\leq$	14	15	18	0.5	10% 蒸余物: 0.40	GB/T 268 ISO 6615
灰分 wt% $\leq$	0.10	0.10	0.15	0.06	0.02	GB/T 508 ISO 6245
水分 wt% $\leq$	0.80	1.0	1.0	1.0	痕迹	GB/T 260 ISO 3733
沉淀物 (机械杂质) wt% $\leq$	0.10	0.10	0.10	0.10 (GB/T511)	无 (GB/T511)	ISO 10307-2
密度 $\text{kg}/\text{m}^3 \leq$	985.0	991.0	991.0	实测	实测	GB/T1884 ISO 3765 ISO821 (6.2)
硫含量 wt% $\leq$	3.5	3.5	3.5	0.5 (GB/T387)	1.0 (GB/T 380)	GB/T 11140 ISO 8754

燃油主要有以下几个特性:

(1) 粘度。反映燃油流动性的高低, 粘度的高低会影响燃油的运输和雾化质量。我国衡量油的粘度采用恩氏粘度, 即在一定温度下, 200mL 重油从恩氏粘度计中流出的时间与 20℃ 时同体积蒸馏水流出的时间比值, 用 °E 表示。油的粘度在 80~30°E 时, 才能保证油在管中顺利输送。燃油按其粘度分为 20、60、100、200 号四种牌号。小型锅炉一般使用 20 号燃油, 在 20℃ 时的运动粘度最大为  $6\text{mm}^2/\text{s}$ 。燃油的粘度与它的成分、温度、压力有关。燃油的平均分子量越大, 其粘度越高; 燃油的平均分子量越小, 其粘度越低。燃油的粘度随着温度的升高而降低, 随着温度的降低而升高。所以燃油需要根据其粘度和环境温度进行预热。

(2) 密度。油的密度与其温度有关, 以 20℃ 时的密度作为标准密度, 它一般在  $0.8 \sim 0.98\text{t}/\text{m}^3$  之间。常用轻柴油的密度约为  $0.8\text{t}/\text{m}^3$ 。

(3) 凝固点。是指燃油丧失流动性开始凝固时的温度。取试样放在一定的试管中冷却, 并将它倾斜 45°, 若试管中的油面经过 1min 保持不变, 这时的油温即为其凝固点。它根据易溶性分成不同的等级。易熔的燃油 (在德国, 为了不用错, 将这种燃油染成红色, 与柴油类似), 在常温下粘稠度低, 民用和商业用锅炉都使用它; 难熔的燃油在燃烧前要加热到 100~150℃ 才能达到足够的流动性, 只用于工业。轻柴油按其质量分为优等品、一等品和合格品三个等级, 每个等级按其凝固点分为 10、0、-10、-20、-35 和 -50 六个牌号。重