

国产30万千瓦火力发电设备

第一分册

# 1000<sup>吨/时</sup>亚临界压力中间再热直流锅炉

华东电业管理局望亭发电厂  
华东电业管理局七·二一工人大学

水利电力出版社

**国产30万千瓦火力发电设备**

**第一分册**

**1000<sup>吨</sup>/时亚临界压力  
中间再热直流锅炉**

华东电业管理局望亭发电厂    华东电业管理局七·二一工人大学

**水利电力出版社**

## 内 容 提 要

本书对国产1000吨/时亚临界压力中间再热直流锅炉及其附属设备的工作原理、结构、特性、技术要求、启动和停运等进行了比较系统和通俗的介绍。全书有插图296幅，数据资料较全，内容比较实用，适宜发电厂锅炉专业工人、技术人员和大、中专院校锅炉专业师生阅读和参考。

国产30万千瓦火力发电设备

第一分册

1000吨/时亚临界压力中间再热直流锅炉

华东电业管理局、淮南发电厂

华东电业管理局七·二一工人大学

水利电力出版社出版

(北京魏家胡同外方胡同)

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

1975年11月北京第一版

1975年11月北京第一次印刷

印数 00001—9380册 每册 1.70元

书号 15143·3167

内 部 发 行

## 前 言

在毛主席和党中央的英明领导下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，祖国大地一片兴旺，社会主义到处都在胜利地前进。电力战线与其他各条战线一样，呈现着一派生气勃勃的革命景象。

解放二十五年来，我国的电力工业发生了翻天覆地的变化。广大工人、干部和技术人员坚持“独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国”的伟大方针，“打破洋框框，走自己工业发展道路”，努力赶超世界先进水平。火力发电设备从无到有，从小到大。国产第一台1000吨/时亚临界压力中间再热燃油直流锅炉及其配套的30万千瓦汽轮发电机组仅花了很短的时间就完成了设计、制造、安装和试运转等工作，并已胜利并网发电，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利。

为了适应现场工人培训的需要，我们组成了工人、教师和技术人员三结合编写小组，编写了这本《国产30万千瓦火力发电设备第一分册1000吨/时亚临界压力中间再热直流锅炉》。本书通过对锅炉设备的具体结构的介绍，力求深入浅出地阐明这种类型直流锅炉的工作原理及有关运行知识。本书可供具有初中以上文化程度的同志阅读。

本书曾作为望亭发电厂的培训材料在内部印发过。为适应我国电力工业发展的需要，现修订出版。在修订时，我们根据亚临界压力直流锅炉单元机组启动和运行的实践，增加了启动章节，以便大家进一步研究这种类型锅炉的启动过程时参考；考虑到今后新安装的1000吨/时直流锅炉有很大一部分是燃烧煤粉的，故对这种类型的燃煤直流锅炉的特点也作了介绍；此外，给水泵的调节和运行对直流锅炉有密切关系，从事锅炉工作的同志也应了解，因此本书还增加了给水泵的有关内容。

在本书编写过程中，上海锅炉厂、上海第一水泵厂和上海鼓风机厂等单位曾提供了许多资料，并对有关章节进行了审阅，提出了不少宝贵意见；在收集有关煤粉炉及空气预热器资料时，还得到了姚孟电厂的大力支持，在此谨致谢意。

由于我们经验不足，业务水平有限，因此，本书还会存在不少的缺点和错误，恳切希望读者提出宝贵意见。

华东电业管理局望亭发电厂

华东电业管理局七·二一工人大学

一九七五年五月

# 目 录

## 前 言

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>第一章 直流锅炉概述</b> .....                                                    | 1  |
| 第一节 直流锅炉的工作原理和特点.....                                                      | 1  |
| 第二节 直流锅炉的类型.....                                                           | 5  |
| 第三节 我国直流锅炉的发展概况.....                                                       | 7  |
| 第四节 1000吨/时直流锅炉概述.....                                                     | 7  |
| 一、1000吨/时燃油直流锅炉的规范和整体布置；二、1000吨/时燃油直流锅炉的汽、水系统和风、烟系统；                       |    |
| 三、1000吨/时燃油直流锅炉的热力数据汇总；四、935吨/时和1000吨/时燃煤直流锅炉概况                            |    |
| <b>第二章 炉室、省煤器和水冷壁</b> .....                                                | 21 |
| 第一节 1000吨/时燃油直流锅炉的炉室.....                                                  | 21 |
| 第二节 省煤器和双面水冷壁.....                                                         | 23 |
| 一、1000吨/时燃油直流锅炉的省煤器和双面水冷壁系统和布置；二、1000吨/时燃油直流锅炉的省煤器结构；                      |    |
| 三、1000吨/时燃油直流锅炉的双面水冷壁结构；四、935吨/时和1000吨/时燃煤直流锅炉的省煤器和双面水冷壁                   |    |
| 第三节 小管径膜式水冷壁.....                                                          | 27 |
| 一、1000吨/时燃油直流锅炉膜式水冷壁系统；二、1000吨/时燃油直流锅炉膜式水冷壁的结构；三、膜式水冷壁的优点；四、为什么要采用小管径膜式水冷壁 |    |
| 第四节 蒸发受热面的热偏差.....                                                         | 34 |
| 一、亚临界压力、一次上升型直流锅炉蒸发受热面热偏差情况分析；二、1000吨/时燃油直流锅炉蒸发受热面减少热偏差的措施                 |    |
| 第五节 蒸发受热面中的沸腾传热.....                                                       | 47 |
| 一、两类沸腾传热；二、亚临界压力垂直管屏蒸发受热面传热情况分析；三、1000吨/时燃油直流锅炉防止蒸发受热面传热恶化采取的结构措施          |    |
| 第六节 蒸发受热面中工质流动特性.....                                                      | 53 |
| 一、流动不稳定性；二、脉动；三、垂直管屏中的停滞、倒流现象                                              |    |
| 第七节 关于直流锅炉的过渡区问题.....                                                      | 58 |
| 一、过渡区在直流锅炉中的作用；二、取消过渡区                                                     |    |
| 第八节 935吨/时和1000吨/时燃煤直流锅炉蒸发管屏的特点.....                                       | 60 |
| <b>第三章 过热器和再热器</b> .....                                                   | 63 |
| 第一节 过热器.....                                                               | 63 |
| 一、1000吨/时燃油直流锅炉过热器的系统、布置和结构；二、过热器出口汽温的调节；三、935吨/时和1000吨/时燃煤直流锅炉的过热器        |    |
| 第二节 再热器.....                                                               | 76 |
| 一、1000吨/时燃油直流锅炉再热器的系统、布置和结构；二、再热器的汽温调节；三、再热器的保护；                           |    |
| 四、935吨/时和1000吨/时燃煤直流锅炉的再热器                                                 |    |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| <b>第四章 燃烧器</b> .....                              | 87  |
| 第一节 重油燃烧的基本知识.....                                | 87  |
| 第二节 重油燃烧器.....                                    | 89  |
| 一、重油雾化喷嘴；二、旋流式燃烧器；三、平流式燃烧器                        |     |
| 第三节 直流式煤粉燃烧器.....                                 | 102 |
| 一、煤粉燃烧的一般概念；二、直流式煤粉燃烧器；三、四角布置和切线燃烧；四、煤粉点燃设备；      |     |
| 五、1000吨/时燃煤直流锅炉的煤粉燃烧器                             |     |
| <b>第五章 空气预热器</b> .....                            | 114 |
| 第一节 空气预热器的结构.....                                 | 114 |
| 一、管箱及其结构；二、管箱的支和膨胀                                |     |
| 第二节 管式空气预热器的腐蚀和积灰.....                            | 117 |
| 一、空气预热器腐蚀和积灰的原因；二、1000吨/时燃油直流锅炉空气预热器防腐蚀和防积灰的结构措施； |     |
| 三、管式空气预热器防腐蚀和防积灰的运行措施                             |     |
| 第三节 回转式空气预热器.....                                 | 121 |
| 一、回转式空气预热器的工作原理；二、风罩回转式空气预热器的结构；三、1000吨/时燃煤直流锅炉   |     |
| 预热器密封结构的改进；四、回转式空气预热器的优越性                         |     |
| <b>第六章 钢架和炉墙</b> .....                            | 132 |
| 第一节 锅炉钢架.....                                     | 132 |
| 一、炉顶钢架；二、过流梁；三、锅炉的悬吊；四、平台扶梯；五、锅炉的防震               |     |
| 第二节 锅炉炉墙.....                                     | 136 |
| 一、炉墙的作用；二、炉墙的结构；三、炉墙材料                            |     |
| <b>第七章 锅炉阀门</b> .....                             | 141 |
| 第一节 阀门概述.....                                     | 141 |
| 第二节 1000吨/时直流锅炉的主要阀门.....                         | 142 |
| 一、给水调节阀；二、闸阀；三、截止阀；四、调节阀；五、安全阀；六、止回阀；七、减压阀；       |     |
| 八、减温减压阀                                           |     |
| 第三节 阀门传动装置.....                                   | 158 |
| <b>第八章 1000吨/时直流锅炉的启动和停运</b> .....                | 164 |
| 第一节 直流锅炉的启动特点.....                                | 164 |
| 第二节 1000吨/时燃油直流锅炉的启动旁路系统.....                     | 166 |
| 一、启动分离器；二、启动分离器进口调节阀；三、节流管束；四、过热器高压隔绝阀及其旁路调节      |     |
| 阀；五、过热器低压隔绝阀；六、热量回收系统；七、工质回收系统；八、旁路系统；九、给水操作台     |     |
| 第三节 1000吨/时燃油直流锅炉单元机组的启动.....                     | 181 |
| 一、启动程序；二、循环清洗；三、启动压力；四、启动流量；五、工质升温速度；六、过热器通汽；     |     |
| 七、汽轮机冲转参数；八、锅炉工质膨胀；九、切除启动分离器；十、锅炉本体和过热器升压；十一、     |     |
| 启动方案举例                                            |     |
| 第四节 1000吨/时燃油直流锅炉单元机组的停运.....                     | 202 |
| 一、停运程序；二、定压降负荷；三、锅炉本体及过热器降压；四、启动分离器入系；五、按比例减      |     |
| 水、减油                                              |     |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 第五节 启动资料的准备 .....                                                                                | 204 |
| 一、受压管材的许用工作温度；二、产汽量估算；三、油枪喷油量曲线；四、蒸汽流量修正曲线；五、<br>给水流量修正曲线；六、阀门最大通流量估算；七、汽、水流动阻力估算                |     |
| 第九章 泵与风机 .....                                                                                   | 220 |
| 第一节 概 论 .....                                                                                    | 220 |
| 一、往复泵（活塞泵）；二、齿轮泵；三、螺杆泵                                                                           |     |
| 第二节 离心式泵和风机 .....                                                                                | 223 |
| 一、离心式泵与风机的原理；二、离心式泵与风机的参数与性能曲线；三、工作点；四、泵的汽蚀及防<br>止方法                                             |     |
| 第三节 DG-500-240型给水泵构造与性能 .....                                                                    | 231 |
| 一、叶轮；二、导向叶轮；三、平衡盘及推力轴承；四、浮动环密封；五、润滑冷却系统；六、关于中间抽<br>头及膨胀；七、性能曲线；八、调节方法与传动方式；九、给水泵的并联工作；十、电动泵增速齿轮箱 |     |
| 第四节 再循环风机 .....                                                                                  | 249 |
| 第五节 轴流式送、吸风机 .....                                                                               | 251 |
| 一、原理；二、型号与参数；三、结构；四、调节与调节机构；五、风机的不稳定工况区；六、风机的并联<br>工作                                            |     |
| 附录 水和水蒸汽的性质表 .....                                                                               | 286 |
| 1. 饱和状态参数表（按压力排列） .....                                                                          | 286 |
| 2. 水和过热蒸汽的焓；（大卡/公斤） .....                                                                        | 288 |
| 3. 水的比容 $v' \times 10^3$ （米 <sup>3</sup> /公斤） .....                                              | 294 |
| 4. 过热蒸汽的比容 $v' \times 10^3$ （米 <sup>3</sup> /公斤） .....                                           | 295 |

# 第一章 直流锅炉概述

## 第一节 直流锅炉的工作原理和特点

直流锅炉的工作原理不同于自然循环汽包锅炉。为了比较和鉴别,在叙述直流锅炉之前,先讨论一下我们所熟悉的自然循环汽包锅炉,以便在对比中认识直流锅炉的工作原理。

自然循环汽包锅炉(见图 1-1a)的给水是由水泵送来,在省煤器中加热后进入汽包;在汽包中给水和炉水相混合,通过下降管进入水冷壁,然后在水冷壁管内受炉膛高温火焰的加热并蒸发,形成汽水混合物,返回汽包;汽水混合物在汽包内进行分离,分离出来的汽进入过热器,加热成过热蒸汽,而分离出来的水又会同给水进入下降管,继续参加循环。

在自然循环汽包锅炉中,工质在汽包→下降管→水冷壁→汽包回路中的循环流动,是由于下降管中水的重度 $\gamma_*$ 大于水冷壁中汽水混合物的重度 $\gamma_{\text{混}}$ ,两者重度差产生的压头克服了其流动阻力,即:

$$H(\gamma_* - \gamma_{\text{混}}) = \Sigma \Delta P \text{ 或 } H\gamma_* - H\gamma_{\text{混}} = \Sigma \Delta P \quad (1-1)$$

式中  $H$ ——循环回路的高度;

$H\gamma_*$ ——下降管中水的重位压头;

$H\gamma_{\text{混}}$ ——水冷壁管中汽水混合物的重位压头;

$\Sigma \Delta P$ ——循环回路的总阻力。

给水泵主要是克服锅炉出口压力和省煤器、过热器的流动阻力,即:

$$P_{\text{给}} = P_0 + \Delta P_{\text{省}} + \Delta P_{\text{过}} \quad (1-2)$$

式中  $P_0$ ——锅炉出口压力;

$\Delta P_{\text{省}}$ ——省煤器中工质流动阻力;

$\Delta P_{\text{过}}$ ——过热器中工质流动阻力;

$P_{\text{给}}$ ——给水泵出口压力。

自然循环汽包锅炉中的汽包是建立自然循环所必须的。汽包除了是保证水循环和进行汽水分离不可缺少的部件之外,还有以下几个主要作用:

1. 汽包是一个贮水容器。锅炉的给水流量控制着汽包中的水位,由于汽包水位能在一定范围内波动,所以允许给水流量和蒸发量之间可有一定的偏差,即汽包在短期中可起到贮存或补充水量的作用。但这个作用随着锅炉容量的增大而愈来愈小。

2. 汽包的容水量很大,其壁厚、金属重量也大,故汽包锅炉有较大的蓄热能力,在工况变动时能放出部分贮蓄热量或增加贮蓄热量,使工质参数变化较小而稳定,有利于工况调节。但同时由于汽包大而壁厚,加热、冷却不易均匀,限制了锅炉启动和停炉速度。

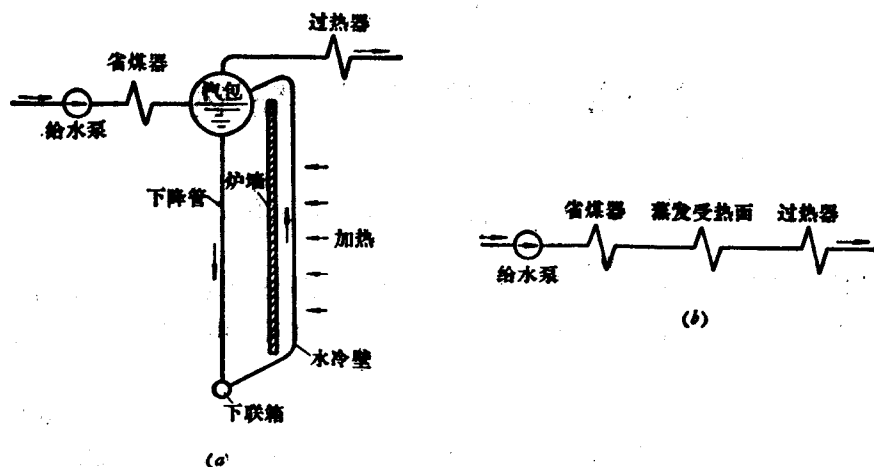


图 1-1 自然循环汽包锅炉和直流锅炉原理图

(a) 自然循环锅炉; (b) 直流锅炉

3. 由给水带入锅炉的盐类杂质可由汽包进行排污去除。因此, 汽包锅炉的给水允许含有一定数量和一定种类的非结垢性盐类 (数量、种类的要求随锅炉参数而定)。

直流锅炉的工作原理见图 1-1 b。工质在顺序流过省煤器、蒸发受热面和过热器等受热部件的过程中, 逐步完成水的加热、蒸发和蒸汽过热等阶段。

直流锅炉是没有汽包的锅炉, 因此失去了上述汽包的这些作用, 但同时产生了直流锅炉自己的特点:

1. 由于没有汽包等部件构成的自然循环回路, 故蒸发部分的阻力也必须由给水泵产生的压头克服。因此, 直流锅炉的给水泵出口压力  $P_{\text{出}}$  应如公式 (1-3) 所示。

$$P_{\text{出}} = P_0 + \Delta P_{\text{省}} + \Delta P_{\text{蒸}} + \Delta P_{\text{过}} \quad (1-3)$$

式中  $\Delta P_{\text{蒸}}$ ——蒸发部分的阻力。

从公式 (1-3) 可以看出直流锅炉需要较高的给水泵压头, 给水泵耗电量要大些。在一般电厂自然循环汽包锅炉中, 汽水总阻力约为 10~20 公斤/厘米<sup>2</sup>, 而直流锅炉的汽水总阻力约为 30~50 公斤/厘米<sup>2</sup>。例如表压力 140 公斤/厘米<sup>2</sup> 的 400 吨/时直流锅炉汽水总阻力为 33 公斤/厘米<sup>2</sup>, 而同参数的自然循环汽包锅炉的汽水总阻力却只有 16 公斤/厘米<sup>2</sup>。

2. 省煤器、水冷壁、过热器之间没有汽包分界, 使水的加热、蒸发、蒸汽的过热等受热面之间没有固定的界限, 随着运行工况的变动而变动 (见图 1-2)。在锅炉吸热和其它条件都不变时, 若减少给水流量, 则只需吸收较少的热量就可使水达到沸点, 故加热水的受热面长度缩短, 蒸发受热面的长度也由于给水流量减少而缩短, 但锅炉受热面的总长度是不变的, 所以过热受热面的长度必然增加, 使过热汽温升高; 反之, 给水流量增加时, 过热汽温下降。可同样分析, 给水流量和其它条件都不变时, 增加燃料量, 过热汽温上升; 减少燃料量, 过热汽温下降。例如国产 220 吨/时高压直流锅炉运行试验表明: 给水流量变动 10 吨/时, 过热汽温变动 40°C 左右; 燃料量变动 5%, 过热汽温变动 50°C 左右。当然, 锅

炉参数和结构型式不同, 给水流量和燃料量的变动对过热汽温的影响程度是不一样的, 但规律是一致的, 这是直流锅炉的普遍规律。因此, 要控制过热汽温在规定值, 首先要保持或调整给水流量和燃料量成一定的比例, 而喷水减温、烟气再循环等调节过热汽温的措施只能在给水、燃料量保持比例的基础上作细调之用。

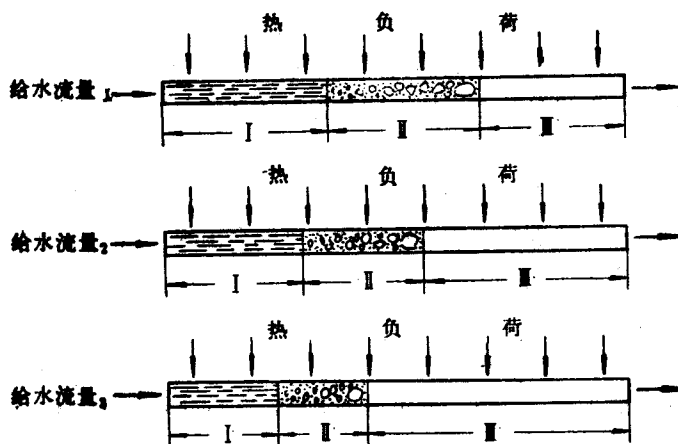


图 1-2 直流锅炉中工质状态的变化

给水流量<sub>1</sub> > 给水流量<sub>2</sub> > 给水流量<sub>3</sub>

I—水加热; II—水蒸发; III—汽过热

3. 在直流锅炉的蒸发受热面内, 水要从沸腾开始一直到完全蒸发(即蒸汽干度  $x$  从 0% 到 100%)。在自然循环汽包锅炉中, 蒸发受热面出口的汽含量是很少的, 例如国产 120 吨/时中压自然循环锅炉, 负荷从 50 吨/时升到 100 吨/时, 蒸发受热面出口的蒸汽干度  $x$  从 5.6% 变到 16.7%, 即使是高压、超高压自然循环汽包锅炉, 蒸发受热面出口的蒸汽干度  $x$  也很少大于 25%。直流锅炉和自然循环汽包锅炉的蒸发受热面内两种工质状况的差别, 对管内水的沸腾传热过程有很大的影响。

正常情况下, 水在管内沸腾时, 管子内壁总被一层水所润湿, 由于管子内壁不断产生汽泡和汽泡脱离, 对贴近管壁的一层水不断进行扰动, 因而放热系数很高, 使管子内壁温度只略高于工质温度, 一般不超过  $50^{\circ}\text{C}$ 。这种沸腾过程称之为汽泡状沸腾或核态沸腾。但当管子内蒸汽干度  $x$  增大到一定程度时, 在管子内壁上将形成一层汽膜, 蒸汽的放热系数比水低很多, 因而管壁温度急剧上升, 严重时便会烧坏管子, 这种沸腾过程称之为膜态沸腾。

试验表明, 在锅炉常见的热负荷下, 压力为 100 公斤/厘米<sup>2</sup> 时, 蒸汽干度  $x$  在 60% 以上才会发生膜态沸腾; 压力为 150 公斤/厘米<sup>2</sup> 时, 蒸汽干度  $x$  达到 40% 才可能发生膜态沸腾。因此, 在中压、高压自然循环汽包锅炉中, 一般不会发生膜态沸腾现象。但在亚临界压力的直流锅炉中, 特别是在热负荷较高的燃油直流锅炉中, 很可能在高热负荷区发生膜态沸腾而使管子过热爆破。影响膜态沸腾的因素很多, 将在第二章中较详细地论述这个问题。

4. 直流锅炉由于没有汽包, 蓄热能力大为降低, 一般为同参数汽包锅炉的 $1/2 \sim 1/4$ , 故对内外扰动的适应性较差, 一旦操作不当, 就会造成出口蒸汽参数的大幅度波动, 所以要配置较好的自动控制设备。

5. 直流锅炉一般不能排污, 给水带入锅炉的盐类杂质, 除了被蒸汽带走一部分以外, 其余的都沉积在锅炉中。因此, 直流锅炉对给水品质的要求较高。为了得到直流锅炉需要的给水品质, 增加了化学水处理设备的投资和运行费用。但是, 随着工质参数的提高和锅炉容量的增大, 汽包锅炉对给水品质的要求也愈来愈高, 在超高压 ( $140 \text{ 公斤/厘米}^2$ ) 参数以上, 直流锅炉对给水品质要求高的特点同汽包锅炉比较并不显著。

6. 在直流锅炉中, 蒸发受热面中的工质是强制流动的, 并且进入锅炉的给水一次全部蒸发成蒸汽, 无汽水分离的要求, 故当锅炉压力增高, 汽水重度差减少, 就是到超临界压力, 汽水重度差等于零时, 直流锅炉仍能可靠地工作。但在直流锅炉的蒸发受热面中, 双相工质进行着强迫流动, 特别是在压力较低时, 可能会出现一些如流动不稳定和脉动等问题, 这些也将在第二章中论述。

7. 直流锅炉没有厚壁汽包, 启动、停炉速度只受到联箱以及管子和联箱连接处热应力的限制, 但由于联箱的直径比汽包小很多, 壁也薄很多, 故启动、停炉速度可大大地提高。

此外, 直流锅炉由于没有汽包, 故不需要制造汽包的优质厚钢板; 直流锅炉的水冷壁可以采用小管径管子, 例如: 1000吨/时直流锅炉采用  $\phi 22 \times 5.5$  毫米的小管径鳍片管组成膜式水冷壁; 同时, 多数型式的直流锅炉又省掉了下降管; 有些型式的直流锅炉联箱数量也很少。因此, 直流锅炉一般可比汽包锅炉节省钢材  $10 \sim 20\%$  (表1-1)。

表 1-1 相同参数的国产汽包锅炉和直流锅炉金属消耗比较

| 项 目                     | 汽 包 锅 炉 |         | 直 流 锅 炉 |         |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                         | SG220   | SG400   | SG220   | SG400   |
| 蒸发量(吨/时)                | 220     | 400     | 220     | 400     |
| 压力(公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 100     | 140     | 100     | 140     |
| 过热/再热蒸汽温度(°C)           | 540     | 550/550 | 540     | 555/555 |
| 金属总消耗量(吨)               | 1058    | 1378    | 793     | 1000    |
| 每吨蒸汽金属消耗量               | 4.8     | 3.44    | 3.5     | 2.5     |

直流锅炉由于不用汽包, 不需要大型卷板机和锻压机等设备, 所以制造方便。特别在高压及超高压参数时, 要用非常厚的特种钢板制造汽包。假如 1000 吨/时亚临界压力直流锅炉做成相同参数的汽包锅炉的话, 则需要用 170 毫米厚的钢板制造汽包, 不但成本高, 而且工艺和热处理都相当复杂。大容量锅炉汽包制造后运往安装工地在运输方面也有很大的困难, 如果采用汽包分段运输, 则在工地现场需要有专门的焊接设备及大型热处理设备, 这也是有困难的。因此, 直流锅炉制造方便这个特点, 随着锅炉压力、容量的提高更为突出。

## 第二节 直流锅炉的类型

直流锅炉一般是按通常称为蒸发受热面的水冷壁的结构和布置方式的不同来分类的,目前国内外直流锅炉主要分为三大类型,如图1-3所示。

### 1. 水平围绕管圈型(拉姆辛型)

上海锅炉厂生产的220吨/时高压直流锅炉和400吨/时超高压直流锅炉都属于水平围绕管圈型直流锅炉。它的水冷壁是由许多根平行并联的管子组成的管圈自下往上盘绕而成,为了稳定流动特性和减少各管的热偏差,在所有管子的入口处装有节流孔板。

水平围绕管圈型直流锅炉的水冷壁无下降管及中间联箱,金属消耗量少,疏水排气方便。同时,因管圈四壁围绕,且宽度较狭,能使受热不均匀性减少。只有在锅炉容量增加较大而管圈变宽时,才会造成沿高度方向较大的热偏差。

这种形式的直流锅炉,由于各根管子结构不同,难以将水冷壁预先组合。同时,水冷壁管多方向膨胀,因而不能应用简便的敷管式炉墙,采用框架炉墙则金属消耗量增加。此外,为防止水平管子发生汽水分离,采用了较高的重量流速,加上管子又长,因此整体的阻力较大。

### 2. 垂直多次上升管屏型(本生型)

这种直流锅炉的水冷壁由许多垂直管屏组成,每一管屏都有进出口联箱,各屏间用不受热的下降管联结。

垂直多次上升管屏型直流锅炉,管系简单,管屏能以组件出厂。水冷壁采用膜式结构,可应用敷管炉墙。水冷壁垂直向下膨胀,能采用悬吊结构。由于有较多的中间联箱,能起平衡各管因吸热不均而造成的热偏差和平衡产生管间脉动时压力峰的作用,因此这种型式的直流锅炉的水动力特性较其它型式稳定,但可能发生类似自然循环锅炉的停滞和倒流现象,应引起足够的注意(详见第二章)。

这种型式的直流锅炉需炉外下降管,联箱数量也多,所以金属消耗量大。由于各管屏在炉内所处的位置不同,辐射传热的差异引起热偏差较大。此外联箱中双相流体的均匀分配问题也较为重要。

### 3. 多弯道垂直升降型或多弯道水平弯曲管带型(苏尔寿型)

这种直流锅炉的水冷壁是有许多根平行并列的管子组成管带围绕炉膛连续上升下降而成,一般在单相工质区是水平管带,在双相工质区为垂直管带。

这种型式的直流锅炉不用中间混合联箱和炉外下降管,金属消耗量较少。其缺点是:因无中间联箱,使最后出口热偏差较大。上升下降管带,疏水排气不方便,特别是向下流的垂直管子在低负荷时因流速低,可能造成蒸汽停滞现象,使管子过热烧坏。此外,管子的受热膨胀也较复杂。目前,这种型式的直流锅炉的应用并不广泛。

### 4. 本生型直流锅炉的发展

随着生产实践和科学研究工作的深入发展,直流锅炉的型式也在不断地增加和变化。

目前,国内外除水平围绕管圈型直流锅炉仍在继续制造和采用外,单纯的垂直多次上

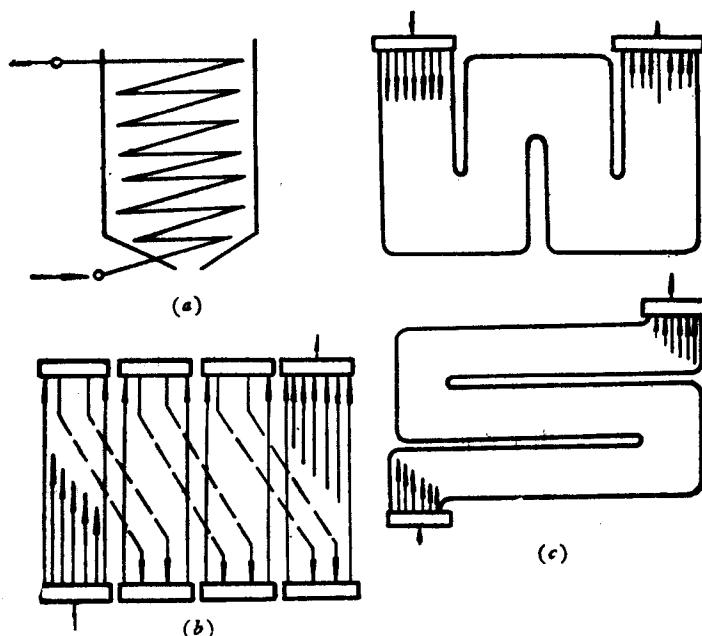


图 1-3 直流锅炉的类型

(a)水平圈绕管圈型；(b)垂直多次上升管屏型；(c)多弯道垂直升降型和多弯道水平弯曲管带型

升管屏型直流锅炉和多弯道垂直升降型或多弯道水平弯曲管带型直流锅炉的生产和使用已经为数不多了。其中后者被少弯道升降管屏，如N型、U型和Ⅱ型等多种型式代替。前者发展为一次上升或两次上升管屏型式，国外常称的“UP 锅炉”即通用压力锅炉，就是指这种一次或二次上升的管屏型直流锅炉。这种锅炉结构上的主要特点是：采用小管径膜式水冷壁垂直管屏，悬吊结构，燃烧器布置在炉膛四角或前后墙，采用烟气再循环等。

国产 1000 吨/时直流锅炉和 935 吨/时直流锅炉都是属于一次上升管屏（其中经两次或三次混合）型式的直流锅炉。

一次上升管屏是当前世界上较先进的水冷壁管屏，这种管屏较其它型式管屏或管圈有许多独特的优点：

(1) 管子直径小、节距大、炉外系统简单、中间联箱直径比多次上升管屏小得多，没有下降管，所以金属消耗量小。

(2) 管子长度同其它型式比较为最短，汽水阻力较小。

(3) 膨胀自由、方向明确，通过联箱进行支吊方便。

(4) 管屏组合率高，宜采用敷管炉墙，能减少吊装工序，缩短施工工期。

我国开始设计和制造大容量直流锅炉，就选用一次上升管屏，充分体现了中国人民赶超世界先进水平的雄心壮志。

### 第三节 我国直流锅炉的发展概况

解放前，旧中国受尽了帝国主义的压迫和摧残，工业水平非常落后，动力锅炉制造业完全是一个空白点，只依靠一些国外进口的破旧发电机组，发出微弱的电力。解放初期全国总发电量只有 149 万千瓦，当时，号称“远东第一”的上海杨树浦发电厂，三十一台破旧锅炉，总的发电能力不到 10 万千瓦。

解放后，党和国家十分重视电力工业的发展。二十多年来，动力工业战线的广大职工高举毛泽东思想伟大红旗，坚持“独立自主、自力更生”的道路，从无到有，从小到大，自行设计和制造了 40 吨/时、75 吨/时和 120 吨/时中压汽包锅炉，220 吨/时高压汽包锅炉，400 吨/时和 670 吨/时超高压汽包锅炉。

毛主席教导我们：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”在毛主席这一光辉指示照耀下，上海锅炉厂自行设计和制造成功我国第一台 220 吨/时高温高压直流锅炉，于 1968 年 10 月安装试运成功，几年以来，运行情况良好，从此为我国电力工业采用直流锅炉积累了丰富的经验。

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大推动力。无产阶级文化大革命的伟大胜利，推动了我国工农业生产和科学实验的飞跃发展。在第一台 220 吨/时高温高压直流锅炉的设计、制造和运行进行了大量科学试验的基础上，我国的锅炉制造部门又相继设计和制造成功 400 吨/时超高压直流锅炉和 935 吨/时、1000 吨/时亚临界压力直流锅炉。当前，配合 60 万千瓦机组的更大容量的直流锅炉也正在设计和制造中。

有伟大领袖毛主席和伟大的中国共产党的英明领导，有战无不胜的毛泽东思想，有勤劳智慧的中国人民，什么人间奇迹我们也可以造出来。在不远的将来我们一定能够赶上和超过世界先进水平，把我国建设成伟大的社会主义强国。

我们的目的一定要达到，我们的目的一定能够达到。

### 第四节 1000 吨/时直流锅炉概述

配置 30 万千瓦汽轮发电机组的 1000 吨/时直流锅炉有燃油和燃煤两种，现重点介绍 1000 吨/时燃油直流锅炉的概况，1000 吨/时燃煤直流锅炉仅作简要说明。

#### 一、1000 吨/时燃油直流锅炉的规范和整体布置

该锅炉的全称是 1000 吨/时亚临界压力中间再热燃油直流锅炉，简称为 1000 吨/时燃油直流锅炉。

##### 1. 1000 吨/时燃油直流锅炉的基本参数和经济指标

锅炉型式

一次上升两次混合中间再热燃油直流锅炉

锅炉容量（蒸发量）

1000 吨/时

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| 过热蒸汽压力 (表压力)      | 170公斤/厘米 <sup>2</sup>   |
| 过热蒸汽温度            | 555°C                   |
| 再热蒸汽流量            | 830吨/时                  |
| 再热蒸汽进口/出口压力 (表压力) | 35/33公斤/厘米 <sup>2</sup> |
| 再热蒸汽进口/出口温度       | 325/555°C               |
| 给水温度              | 265°C                   |
| 热风温度              | 295°C                   |
| 冷风温度              | 60°C                    |
| 排烟温度              | 150°C                   |
| 锅炉效率              | 91.66%                  |
| 锅炉金属消耗量           | 每吨蒸汽消耗4.25吨金属           |

## 2. 燃料特性

该锅炉设计燃料为\*200重油, 其特性如下

$$C^v = 85.3\%$$

$$H^v = 12.0\%$$

$$O^v = 0.65\%$$

$$N^v = 0.30\%$$

$$S^v = 1.20\%$$

$$W^v = 0.50\%$$

$$A^v = 0.05\%$$

低位发热量  $Q_b = 9852$  大卡/公斤 (油温120°C)

每小时燃料消耗量70.73吨

## 3. 给水品质

由于本锅炉是没有过渡区的直流锅炉, 为了防止水冷壁管积盐, 引起管壁温度升高造成爆破事故, 及避免盐分带入汽轮机, 影响汽轮机的安全经济运行, 因此要求给水品质符合下列指标。

|                  |              |
|------------------|--------------|
| 硬度               | ~ 0          |
| 总含盐量             | < 0.05毫克/公升  |
| SiO <sub>2</sub> | < 0.02毫克/公升  |
| O <sub>2</sub>   | < 0.007毫克/公升 |
| Fe               | < 0.01毫克/公升  |
| Cu               | < 0.005毫克/公升 |
| pH               | 8.5~9        |
| 导电率 (25°C)       | < 0.3微姆/厘米   |

#### 4. 整体布置

图 1-4 为本锅炉整体布置示意图。

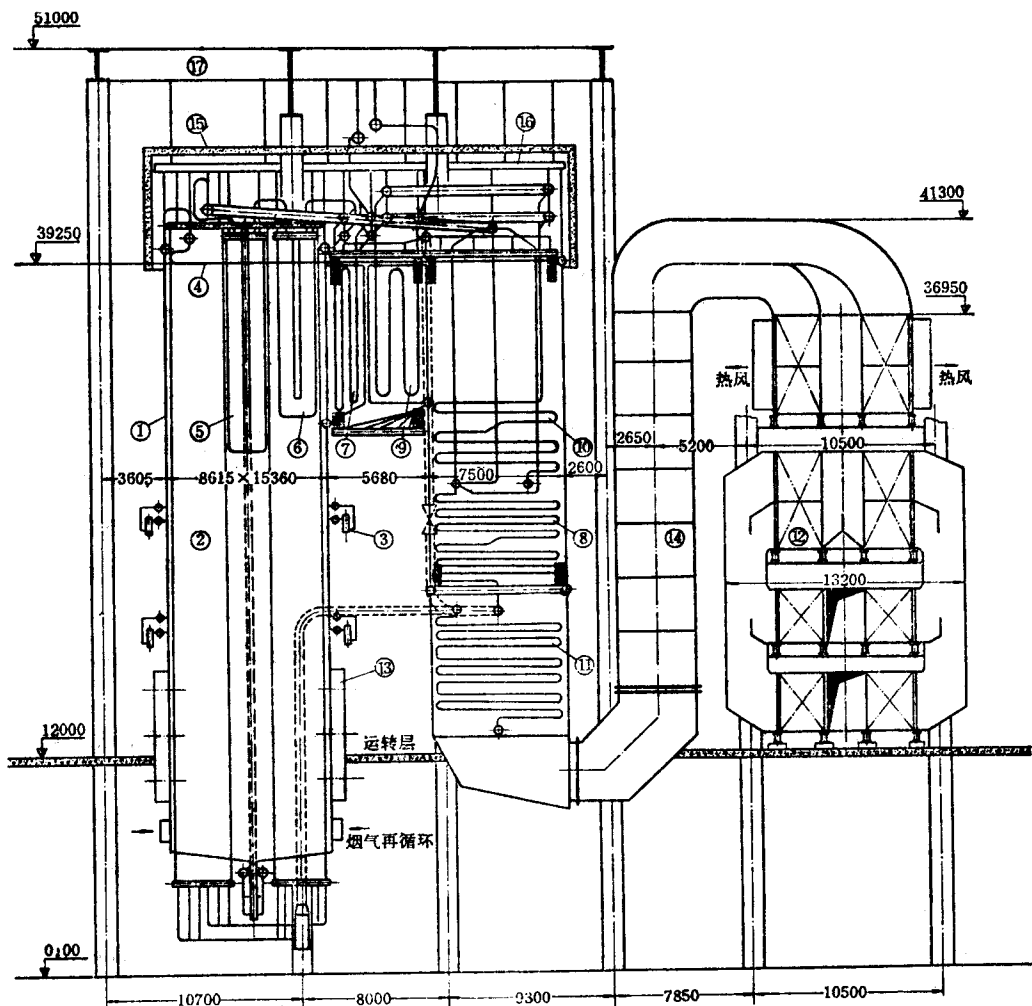


图 1-4 1000吨/时亚临界中间再热燃油直流锅炉整体布置示意图

- 1—炉膛；2—双面水冷壁；3—混合器；4—炉顶过热器；5—前屏过热器；6—后屏过热器；7—高温过热器；8—低温过热器；9—高温再热器；10—低温再热器；11—省煤器；12—空气预热器；13—大风箱及燃烧器；14—烟道；15—炉顶罩壳；16—过渡梁；17—大梁

本锅炉为负压燃油直流锅炉，单炉体双炉膛“Ⅱ”型布置，由双面水冷壁将整个锅炉炉膛分隔成两个燃烧室。

锅炉炉膛宽15.360米，深8.615米，炉顶标高39.250米，炉顶大梁标高51.00米，炉膛有效容积为3458米<sup>3</sup>。表1-2为炉室结构主要尺寸及热力数据。

水冷壁由1360根 $\phi 22 \times 5.5$ 毫米的小管径鳍片管组成膜式结构，工质在水冷壁管中一次上升，中间经过两次混合。标高9.5~19.70米范围内的水冷壁因处于燃烧器附近，热负荷较高，故采用了内螺纹鳍片管。水冷壁进出口采用 $\phi 219 \times 30$ 毫米的联箱联接。水冷

表 1-2 炉室结构主要尺寸及热力数据

|            |                    |            |                                            |
|------------|--------------------|------------|--------------------------------------------|
| 炉室截面积(宽×深) | 15.360×8.615米      | 炉室容积热强度*   | 202×10 <sup>3</sup> 大卡/米 <sup>3</sup> ·时   |
| 整个炉室周界长度   | 47.95米             | 炉室断面热强度*   | 5.27×10 <sup>4</sup> 大卡/米 <sup>2</sup> ·时  |
| 单个炉膛截面尺寸   | 7.680×8.615米       | 炉室壁面平均热负荷* | 154.6×10 <sup>3</sup> 大卡/米 <sup>2</sup> ·时 |
| 炉膛计算高度     | 32.500米            | 炉膛理论燃烧温度*  | 1980°C                                     |
| 炉室有效容积     | 3458米 <sup>3</sup> | 炉膛出口平均温度*  | 1260°C                                     |

注：有\*号者均指蒸发量为1000吨/时的额定工况数据。

壁中间采用 $\phi 159 \times 25$ 毫米的小直径联箱联接。

在炉膛后墙上部有一突出的“鼻子”，称为折焰角。

炉底完全封闭，前后向中间略倾斜，其倾斜度为10度。

采用轴向进风旋流式燃烧器，共30只，错列布置在炉膛前、后墙。燃油雾化喷嘴采用机械压力中间回油式，进油压力50公斤/厘米<sup>2</sup>，喷油孔直径有 $\phi 5.1$ 、 $\phi 6.1$ 毫米两种。

在炉膛上部，沿炉膛宽度布置前屏和后屏过热器，各24片。在屏后的水平烟道中，布置对流高温过热器和高温再热器。在炉膛和水平烟道顶部，布置炉顶过热器。

尾部对流竖井深度为7.50米，宽度15.36米。在竖井中顺烟气流动方向布置低温再热器、低温过热器和省煤器；三者都由低温过热器出口的垂直悬吊管进行悬吊。省煤器以上的竖井四周和水平烟道两侧及底部均有包覆管。为了便于对省煤器经常检修，在省煤器的四周不用包覆管。

由于蒸汽参数高，所以采用多级过热器，并设有三级喷水和控制燃料-给水比来调节气温。在100%负荷时总喷水量为40吨/时。

再热器分高、低温二级，由烟气再循环调节再热气温，采用喷水作为细调和事故处理用。

不设置一般直流锅炉常用的过渡区，因此给水品质要求高。

锅炉本体汽水系统总阻力为42.04公斤/厘米<sup>2</sup>，再热器阻力为1.86公斤/厘米<sup>2</sup>。

采用管式空气预热器，为防止燃油锅炉尾部受热面的低温腐蚀，使用前置暖风器预先把冷风加热到60°C，必要时还可利用热风再循环加热到90°C。

锅炉为露天布置，12米运转层以上全部敞开，炉顶设置平板大屋顶，炉顶管道由炉顶大罩壳封闭，锅炉四周敷设金属波形板防雨。

锅炉本体采用悬吊结构，除空气预热器外，全部重量均悬吊在由十根钢筋混凝土立柱支撑的四根顶部大梁上，整个受热面均向下膨胀。管式空气预热器重量由单独的八根钢筋混凝土立柱支承。

采用敷管式轻型炉墙，用耐火混凝土作绝热材料，用水泥珍珠岩作保温材料。

## 二、1000吨/时燃油直流锅炉的汽、水系统和风、烟系统

### 1. 锅炉汽、水系统

锅炉汽水系统对应两个炉膛分为两个独立的并联回路，中间不相互混合。给水流量除了用给水泵转速进行总调节外，每一回路还有各自的给水调节阀可进行单独调节。

#### (1) 锅炉汽水流程

锅炉汽水流程示于图1-5中。