



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

# 发电厂动力与环保

主 编 齐立强 李晶欣

副主编 刘松涛 刘 凤

非  
外  
借



冶金工业出版社  
www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

# 发电厂动力与环保

主 编 齐立强 李晶欣

副主编 刘松涛 刘 凤

冶金工业出版社

2019

## 内 容 提 要

本教材分别阐述了火力发电、核能发电、水力发电及新能源发电技术与环保的基本原理和基本知识,介绍了主要动力设备的结构、系统布置和运行方式,以及各类技术发电过程中的环境问题及控制方法。本书共分4篇12章,主要内容包括火电厂动力与环保、核电站动力与环保、水电站动力与环保、新能源发电技术与环保。

本教材可作为高等院校非能源与动力工程尤其是环境类专业的教材,也可供从事电力相关工程技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

发电厂动力与环保/齐立强,李晶欣主编. —北京:

冶金工业出版社, 2019. 2

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8009-7

I. ①发… II. ①齐… ②李… III. ①发电厂—动力装置—高等学校—教材 ②发电厂—环境保护—高等学校—教材 IV. ①TM621 ②X773

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第010158号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-8009-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2019年2月第1版,2019年2月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 26.5印张; 641千字; 409页

58.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjcs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 前 言

近年来，我国电源结构不断优化，核电、水电和新能源发电装机占比逐年增加，火电机组也朝着大容量方向发展，国产火电机组单机容量已达1000MW。从事电力工作的技术人员不仅要熟悉火力发电厂的相关知识，对核电站、水电站和新能源发电技术的工作原理，以及发电厂主要动力设备的结构、作用及机组运行调整等方面的知识也要了解。目前我国电力环境保护形势依然严峻，这就要求从事电力工作的非能源与动力工程专业的技术人员，尤其是环境类专业技术人员，除要掌握电能的生产过程外，对各种发电技术过程中的环境问题及控制技术也需要全面、深入的了解。因此，为了适应我国发电行业形势的发展，满足环境类专业的教学要求，本教材首次全面介绍了火力发电、核能发电、水力发电及新能源发电技术的基本原理和主要动力设备的结构、系统布置和运行方式，以及各类技术发电过程中的环境问题及控制方法。

本书编写分工如下：第1章由华北电力大学刘凤编写；第2章由华北电力大学刘松涛编写；第3、4章由华北电力大学齐立强编写；第5~12章由华北电力大学李晶欣编写。本书由齐立强教授、李晶欣老师主编并统稿。

由于编者水平所限，书中难免存在不足之处，恳请读者给予批评指正。

作 者

2019年1月

# 目 录

## 第 1 篇 火电厂动力与环保

1	锅炉设备 .....	1
1.1	锅炉整体 .....	1
1.1.1	煤粉锅炉工作过程 .....	1
1.1.2	锅炉的工作原理 .....	3
1.1.3	锅炉类型及规范 .....	5
1.1.4	循环锅炉 .....	9
1.1.5	强制流动锅炉 .....	10
1.1.6	燃气炉与燃油炉 .....	14
1.2	受热面 .....	22
1.2.1	蒸发受热面 .....	22
1.2.2	过热和再热受热面 .....	25
1.2.3	省煤器 .....	33
1.2.4	空气预热器 .....	34
1.3	辅机系统 .....	37
1.3.1	锅炉制粉系统及设备 .....	37
1.3.2	锅炉通风 .....	46
1.3.3	渣处理 .....	47
1.3.4	燃料运输 .....	49
1.4	燃烧过程 .....	53
1.4.1	燃料特性 .....	53
1.4.2	燃烧空气量和烟气量 .....	60
1.5	锅内流动过程 .....	66
1.5.1	自然循环原理及特性 .....	66

1.5.2	清洁蒸汽获得	67
1.6	锅炉的启停	72
1.6.1	概述	72
1.6.2	机组的启动方式	73
1.6.3	机组的停机方式	75
1.6.4	锅炉的启动和停运	75
2	汽轮机	81
2.1	汽轮机工作原理	81
2.1.1	汽轮机级的概念及工作原理	81
2.1.2	蒸汽在喷嘴叶栅中的流动和能量转换	83
2.1.3	蒸汽在动叶栅中的能量转换	85
2.1.4	汽轮机级内损失和级效率	93
2.2	多级汽轮机	95
2.2.1	汽轮机的分类和型号	95
2.2.2	多级汽轮机结构	96
2.2.3	多级汽轮机的工作特点	111
2.3	凝汽装置与冷却装备	116
2.3.1	凝汽设备的组成、作用及类型	117
2.3.2	表面式凝汽器	118
2.3.3	抽气设备	121
2.3.4	供水系统	123
2.3.5	空气冷却凝汽系统	124
2.4	汽轮机的调节与保护	127
2.4.1	汽轮机调节系统的基本原理	127
2.4.2	机械液压调节系统	133
2.4.3	DEH 调节系统	134
2.4.4	汽轮机的保护系统	138
2.4.5	供油系统	143
2.5	汽轮机的启停及运行调整	147
2.5.1	汽轮机的启动和停运	147
2.5.2	汽轮机的运行方式	156

2.5.3 汽轮机的正常运行维护 .....	158
<b>3 火电厂热力系统 .....</b>	<b>162</b>
3.1 给水回热加热系统 .....	162
3.1.1 回热加热器的形式 .....	162
3.1.2 回热系统的连接 .....	162
3.1.3 回热加热器的运行 .....	163
3.1.4 典型机组回热系统介绍 .....	163
3.1.5 回热机组的热经济指标 .....	164
3.1.6 影响回热过程热经济性的主要因素 .....	168
3.2 给水除氧系统 .....	169
3.2.1 除氧器管道系统 .....	169
3.2.2 给水系统的作用和组成 .....	172
3.2.3 给水系统的形式 .....	172
3.3 汽水损失与补充 .....	174
3.3.1 发电厂的汽水损失 .....	174
3.3.2 补充水的处理方法 .....	174
3.4 火电厂全面性热力系统 .....	175
<b>4 火电厂环境保护 .....</b>	<b>176</b>
4.1 火电厂废水处理 .....	176
4.1.1 火电厂废水及其水质特征 .....	176
4.1.2 火电厂各类废水处理技术 .....	177
4.1.3 火电厂废水的回用 .....	186
4.2 火电厂大气污染控制 .....	187
4.2.1 火电厂排放的大气污染物及其危害 .....	187
4.2.2 烟气除尘技术 .....	188
4.2.3 硫氧化物控制技术 .....	189
4.2.4 烟气脱硝技术 .....	193
4.3 火电厂固废处理与资源化 .....	197
4.3.1 概况 .....	197
4.3.2 灰渣的综合利用方式 .....	197

4.4	火电厂噪声污染与防治 .....	201
4.4.1	火电厂的噪声源 .....	201
4.4.2	火电厂控制噪声的措施 .....	201
4.4.3	球磨机的噪声控制 .....	202
4.4.4	风机水泵等噪声的控制 .....	202
4.4.5	安全阀、排气阀的噪声控制 .....	203
4.4.6	炉膛振动噪声的控制 .....	203
<b>第 2 篇 核电站动力与环保</b>		
5	核电站系统与设备 .....	205
5.1	核电站概述 .....	205
5.2	核电站一回路系统和设备 .....	207
5.2.1	一回路系统主要设备 .....	207
5.2.2	一回路的辅助系统 .....	212
5.3	核电站汽轮机系统与设备 .....	214
5.3.1	汽轮机系统概述 .....	214
5.3.2	汽轮机总体结构 .....	216
5.3.3	核电厂汽轮机特点 .....	216
5.3.4	汽水分离再热器 .....	219
5.3.5	汽轮机旁路系统 .....	220
5.4	核电站运行 .....	221
5.4.1	核电站的标准状态 .....	221
5.4.2	核电厂控制保护功能介绍 .....	224
5.4.3	核电厂的启动 .....	229
5.4.4	核电厂停闭 .....	232
6	核电站环境保护 .....	236
6.1	核电站环境污染概述 .....	236
6.1.1	核电站放射性物质的来源 .....	236
6.1.2	电离辐射量的法定单位 .....	239

6.1.3 放射性核素的循环与人体健康 .....	240
6.2 核电站放射性气体治理 .....	244
6.2.1 放射性气体来源 .....	244
6.2.2 废气处理 .....	244
6.3 核电站放射性液体治理 .....	246
6.3.1 放射性废液来源 .....	246
6.3.2 废液处理 .....	249
6.4 核电站放射性固体治理 .....	252
6.4.1 放射性固体来源 .....	252
6.4.2 固化方法 .....	253
6.4.3 最终处置 .....	257
6.4.4 深地层固化处置 .....	258

### 第 3 篇 水电站动力与环保

7 水电站发电系统与运行 .....	263
7.1 水力发电原理 .....	263
7.1.1 水力及其转换 .....	263
7.1.2 水力发电及其特点 .....	265
7.2 水力发电开发方式和电站类型 .....	267
7.2.1 水资源综合利用规划 .....	267
7.2.2 水力发电开发方式 .....	269
7.2.3 水电站的类型 .....	270
7.2.4 水力发电水能设计简述 .....	272
7.3 水电站主要水工建筑物概述 .....	276
7.3.1 水电站的总体布置 .....	276
7.3.2 挡水和泄水建筑物 .....	277
7.3.3 引水建筑物 .....	279
7.3.4 水电站厂房 .....	281
7.4 水电站主要机电设备 .....	285
7.4.1 水轮机及其辅助设备 .....	285

VI	
7.4.2	发电机及其辅助装置 ..... 297
7.5	水电站运行 ..... 307
7.5.1	水电站水轮发电机运行 ..... 307
7.5.2	水轮发电机组经济运行 ..... 309
7.5.3	水轮发电机组的事故 ..... 310
7.6	抽水蓄能电站 ..... 311
7.6.1	抽水蓄能电站的功用与开发方式 ..... 311
7.6.2	抽水蓄能电站的分类 ..... 311
7.6.3	抽水蓄能机组 ..... 312
7.6.4	抽水蓄能电站的特点 ..... 313
7.6.5	抽水蓄能电站的发展简况 ..... 314
7.6.6	抽水蓄能电站举例 ..... 315
8	水电站环境保护 ..... 318
8.1	水电站对水环境的影响与保护 ..... 318
8.1.1	水文影响 ..... 318
8.1.2	淤积与冲刷影响 ..... 319
8.1.3	水温影响 ..... 319
8.1.4	水质影响 ..... 320
8.1.5	气象影响 ..... 320
8.1.6	化学影响 ..... 321
8.2	水电站对生态环境的影响与保护 ..... 322
8.2.1	概述 ..... 322
8.2.2	对微生物的影响 ..... 323
8.2.3	对植物的影响 ..... 324
8.2.4	对动物的影响 ..... 325
8.2.5	对鱼类的影响 ..... 326
8.2.6	土壤 ..... 329
8.3	水库诱发地震及地震对坝体的影响与保护 ..... 329
8.3.1	水库地震 ..... 329
8.3.2	地震对坝体及环境的影响 ..... 331

## 第 4 篇 新能源发电技术与环保

<b>9 风力发电技术与环保</b> .....	333
9.1 风力机系统 .....	333
9.1.1 风力机的基本部件 .....	333
9.1.2 风力机分类 .....	335
9.2 并网风力发电机组的设备 .....	336
9.2.1 风力发电机组设备 .....	336
9.2.2 风电场升压变压器、配电线路及变电所设备 .....	345
9.3 风力发电环境保护 .....	346
9.3.1 风力发电对植被及水土的影响与保护措施 .....	347
9.3.2 风力发电厂的噪声污染与防治 .....	348
9.3.3 风力发电对鸟类的危害及保护措施 .....	349
9.3.4 风力发电的电磁辐射危害与防治 .....	350
9.3.5 风力发电的视觉景观污染与防治 .....	351
<b>10 太阳能发电技术与环保</b> .....	352
10.1 太阳能光伏发电系统 .....	352
10.1.1 太阳能光伏发电原理与组成 .....	352
10.1.2 太阳能光伏发电系统的分类 .....	357
10.2 太阳能光伏发电设备 .....	359
10.2.1 太阳能电池及太阳能电池方阵 .....	359
10.2.2 充、放电控制器 .....	363
10.2.3 直流—交流逆变器 .....	369
10.3 太阳能热发电技术 .....	372
10.3.1 槽式系统 .....	373
10.3.2 塔式系统 .....	373
10.3.3 碟式系统 .....	374
10.4 太阳能发电环境影响与保护 .....	374
10.4.1 土地使用 .....	375

10.4.2	常规和意外污染物质	375
10.4.3	视觉影响	375
10.4.4	消耗自然资源	375
10.4.5	废弃物污染	376
10.4.6	光污染	376
10.4.7	工频电磁场污染	376
<b>11</b>	<b>生物质能发电技术与环保</b>	<b>377</b>
11.1	生物质资源	377
11.1.1	农作物秸秆	377
11.1.2	禽畜粪便	377
11.1.3	生活垃圾	377
11.2	生物质能发电技术	378
11.2.1	直接燃烧发电技术	378
11.2.2	生物质气化发电	382
11.3	垃圾发电	387
11.3.1	国内外发展现状	387
11.3.2	垃圾发电方式	388
11.4	生物质发电对环境的影响与保护	391
11.4.1	直接燃烧发电和混合发电技术产生的问题	391
11.4.2	生物质气化联合循环发电产生的环境问题	392
11.4.3	生物质发电的环境保护	392
<b>12</b>	<b>海洋能、地热能发电技术与环保</b>	<b>393</b>
12.1	海洋能发电技术与环保	393
12.1.1	海水温差发电	393
12.1.2	波力发电	394
12.1.3	潮汐发电	396
12.1.4	海流发电	397
12.1.5	海洋能发电环境保护	398
12.2	地热能发电技术与环保	399
12.2.1	地热发电概况	399

12.2.2 地热发电技术原理.....	399
12.2.3 地热发电的热力学特点.....	401
12.2.4 地热发电方式.....	402
12.2.5 地热发电环境保护.....	406
参考文献.....	408

## 第 13 章 锅炉设备

### 1.1 锅炉管径

#### 1.1.1 锅炉管径工程应用

锅炉管径的确定是锅炉设计中的一个重要环节。管径的大小直接影响到锅炉的传热效率、流动阻力和结构强度。在工程应用中，管径的选取通常需要考虑以下几个因素：首先，要根据锅炉的额定容量和运行压力，参考相关的设计规范和标准，初步确定管径的范围；其次，要结合具体的工艺要求，如管束的排列方式、管程数等，进行进一步的校核和优化；最后，还要综合考虑制造、安装和运行维护的便利性，选择最合适的管径规格。

在实际工程中，管径的选取往往是一个迭代的过程。设计人员需要根据初步的管径估算，进行详细的流体力学计算和传热分析，验证其是否满足设计要求。如果发现管径不合适，就需要进行调整，直到找到一个既能保证锅炉高效运行，又能满足结构强度和制造要求的最佳方案。此外，随着新材料和新技术的不断涌现，锅炉管径的选取也有了更多的选择和优化的空间。

## 火电厂动力与环保

### 1 锅炉设备

锅炉是燃煤发电厂的三大主机中最基本的能量转换设备，利用燃料在炉膛内燃烧释放的热能加热锅炉给水，生产足够数量的和一定质量（汽温、汽压）且具有满足要求的洁净过热蒸汽，推动汽轮机做功，进而带动发电机发电输出电能。煤粉锅炉是以  $10\sim 100\mu\text{m}$  颗粒的煤粉为燃料的锅炉，具有燃烧效率高，燃料适应性较强，便于大型化等方面的优点。

#### 1.1 锅炉整体

##### 1.1.1 煤粉锅炉工作过程

先把原煤磨制成煤粉，然后送入锅炉燃烧放热并产生过热蒸汽，共进行四个相互关联的工作过程，即煤粉制备过程、燃烧过程、通风过程和过热蒸汽的生产过程。煤粉制备过程的任務是将初步破碎后送入锅炉房的原煤磨制成符合锅炉燃烧要求的细小煤粉颗粒，供锅炉燃烧；燃烧过程的任務是使燃料燃烧放出热量，产生高温火焰和烟气；为了使燃烧过程稳定持续地进行，必须连续提供燃烧需要的助燃氧气和将燃烧产生的烟气即时引出锅炉，即锅炉的通风过程；过热蒸汽产生过程是通过各换热设备将高温火焰和烟气的热量传递给锅炉内的工质。

锅炉是一个庞大而复杂的设备，由锅炉本体和锅炉辅助设备组成。锅炉本体主要包括炉膛、燃烧器、布置有受热面的烟道、汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、空气预热器、联箱等，锅炉辅助设备主要有送风机、引风机、给煤机、磨煤机、排粉机、除尘器及烟囱等。锅炉本体由“锅”及“炉”两大部分组成。“锅”泛指汽水系统，包括水的预热受热面——省煤器，水的蒸发受热面——水冷壁，蒸汽的过热受热面——过热器及对汽轮机高压缸排汽进行再加热的受热面——再热器。锅炉汽水系统的主要任务是将水加热、蒸发并过热成为具有一定压力、温度的过热蒸汽。“炉”泛指燃烧系统，包括炉膛、燃烧器、烟风道以及空气预热器等，其主要任务是使燃料燃烧放热，产生高温烟气，并将其传递给锅炉的各个受热面。以图 1-1 所示的煤粉锅炉及辅助示意图为例，将锅

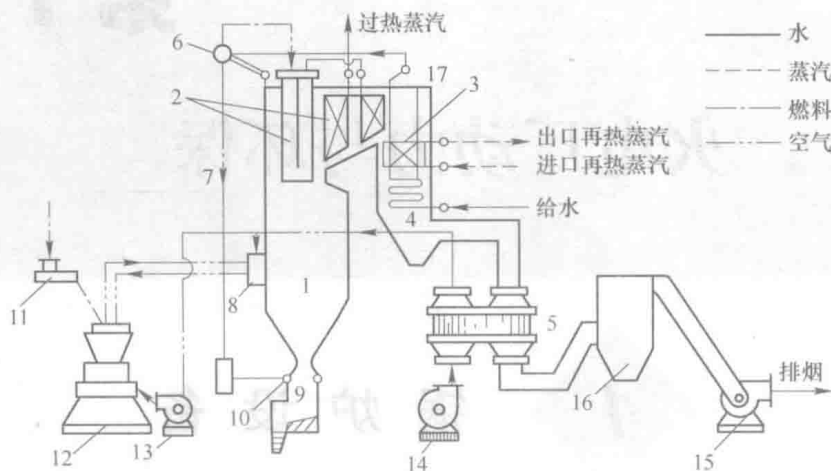


图 1-1 煤粉锅炉及辅助设备示意图

- 1—炉膛及水冷壁；2—过热器；3—再热器；4—省煤器；5—空气预热器；6—汽包；7—下降管；  
 8—燃烧器；9—排渣装置；10—水冷壁下联箱；11—给煤机；12—磨煤机；13—排粉风机；  
 14—送风机；15—引风机；16—除尘器；17—省煤器出口联箱

炉的工作过程概括为燃烧系统和汽水系统的工作过程进行介绍。

### 1.1.1.1 燃烧系统

由煤仓落下的原煤经给煤机 11 送入磨煤机 12 磨制成煤粉。冷空气由送风机 14 送入锅炉尾部的空气预热器 5 被烟气加热。从空气预热器出来的热空气一部分经排粉风机 13 送入磨煤机中，对煤进行加热和干燥，一部分作为输送煤粉的介质。从磨煤机排出的煤粉和空气的混合物经煤粉燃烧器 8 进入炉膛 1 燃烧。由空气预热器来的另一部分热空气直接经燃烧器进入炉膛参与燃烧反应。

锅炉的炉膛具有较大的空间，煤粉在此空间内进行悬浮燃烧，燃烧火焰中心温度为  $1500^{\circ}\text{C}$  或更高。炉膛周围布置着大量的水冷壁管 1，炉膛上部布置有顶棚过热器及屏式过热器等受热面。水冷壁和顶棚过热器等是炉膛的辐射受热面，其受热面管内分别有水和蒸汽流过，既能吸收炉膛的辐射热，使火焰温度降低，又能保护炉墙使其不致被烧坏。为了防止熔化的灰渣凝结在烟道内的受热面上，烟气向上流动至炉膛上部出口处时，其温度应低于煤灰的熔点。高温烟气经炉膛上部出口离开炉膛进入水平烟道，然后再向下流动进入垂直烟道。在锅炉本体的烟道内布置有过热器 2、再热器 3、省煤器 4 和空气预热器等受热面。烟气在流过这些受热面时以对流换热为主的方式将热量传递给工质，这些受热面称为对流受热面。过热器和再热器主要布置于烟气温度较高的区域，称为高温受热面。而省煤器和空气预热器布置在烟气温度较低的尾部烟道中，故称为低温受热面或尾部受热面。烟气流经一系列对流受热面时，不断放出热量而逐渐冷却下来，离开空气预热器的烟气（即锅炉排烟）温度已相当低，通常在  $110\sim 160^{\circ}\text{C}$  之间。

由于煤中含有灰分，煤粉燃烧所生成的较大灰粒沉降至炉膛底部的冷灰斗中，逐渐冷却和凝固，并落入排渣装置，形成固态排渣。大量较细的灰粒随烟气一起离开锅炉。为了防止环境污染，锅炉排烟首先流经除尘器 16，使绝大部分飞灰被捕捉下来。最后，只有少量细微灰粒随烟气通过引风机由烟囱排入大气。

### 1.1.1.2 汽水系统

送入锅炉的水称为给水。由给水到送出的过热蒸汽，中间要经过一系列加热过程。首先把给水加热到饱和温度，其次是饱和水的蒸发（相变），最后是饱和蒸汽的过热。给水经省煤器加热后进入汽包锅炉的汽包6，经下降管7引入水冷壁下联箱10再分配给各水冷壁管。水在水冷壁中继续吸收炉内高温烟气的辐射热达到饱和状态，并使部分水蒸发变成饱和蒸汽。水冷壁又称为锅炉的蒸发受热面。汽水混合物向上流动并进入汽包。在汽包中通过汽水分离装置进行汽水分离，分离出来的饱和蒸汽进入过热器吸热变成过热蒸汽。由过热器出来的过热蒸汽通过主蒸汽管道进入汽轮机做功。为了提高锅炉—汽轮机组的循环效率，对高压机组大都采用蒸汽再加热，即在汽轮机高压缸做完部分功的过热蒸汽被送回锅炉进行再加热。这种对过热蒸汽进行再加热的锅炉设备叫做再热器，或称二次过热器。

当送入锅炉的给水含有杂质时，其杂质浓度随着锅水的汽化而升高，严重时甚至在受热面上结垢使传热恶化。因此，锅炉的给水必须进行处理。同时，由汽包送出的蒸汽可能因带有含杂质的锅水而被污染，高压蒸汽还能直接溶解一些杂质。当蒸汽进入汽轮机后，随着膨胀做功过程的进行，蒸汽压力下降，所含杂质会部分沉积在汽轮机的通流部分，影响汽轮机的出力、效率和工作安全。因此不仅要求锅炉能提供一定压力和温度的蒸汽，还要求蒸汽具有一定的洁净度。

### 1.1.2 锅炉的工作原理

锅炉是一种能量转换设备，将燃料的化学能转换为蒸汽的热能。燃料燃烧后，化学能转变为烟气的热能，再将热能传递给水，使水完成预热、蒸发、过热（和再过热）过程，获得一定压力、温度、品质合格的蒸汽。由图1-2可以看出不同参数下，预热、蒸发、过热过程的吸热比例。

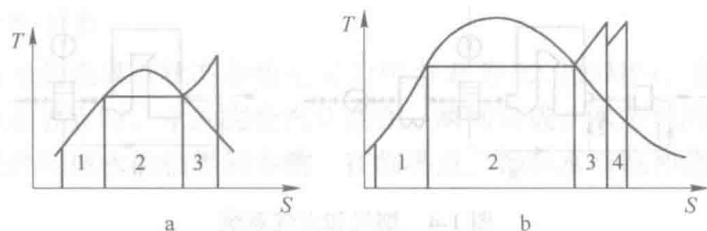


图 1-2 不同参数下温熵图

a—高参数：10MPa，540℃；b—超高参数：14MPa，540℃/540℃

1—预热热；2—汽化热；3—过热热；4—再热热

根据锅炉蒸发系统中汽水混合物流动工作原理进行分类，锅炉可分为自然循环锅炉、强制循环锅炉和直流锅炉三种。若蒸发受热面内工质的流动是依靠下降管中水与上升管中汽水混合物之间的密度差所形成的压力差来推动，此种锅炉为自然循环锅炉；若蒸发受热面内工质的流动是依靠锅水循环泵压头和汽水密度差来推动，此种锅炉为强制循环锅炉；若工质一次性通过各受热面，以泵压头为推动力，此种锅炉为直流锅炉。

#### 1.1.2.1 循环锅炉的工作原理

实际电站锅炉结构非常复杂，现以图1-3锅炉简化原理图为例，介绍锅炉蒸汽发生过

程,它与图 1-2b 相对应。

锅炉本体由炉膛、水平烟道、尾部烟道组成。水冷壁受热面布置在炉膛四侧壁面。辐射式过热器布置在炉膛顶部和水平烟道顶部。对流过热器布置在水平烟道内。再热器、省煤器及空气预热器布置在尾部烟道内。

煤粉和空气经燃烧器进入炉膛,在空间悬浮燃烧,形成的烟气流经水平烟道和尾部烟道,成为锅炉排烟。

在炉膛内,烟气以辐射传热方式,将热能传递给水冷壁。在水平和尾部烟道内主要以对流传热方式,将热能传递给各受热面。

给水进入省煤器后,与烟气进行对流传热,得到预热后进入汽包。再由下降管进入炉膛各面墙水冷壁。吸收炉内辐射传热,完成蒸发过程。汽水混合物由水冷壁管向上流动,再回到汽包。由于下降管中水的密度大于水冷壁中汽水混合物密度,形成自然循环。在汽包内汽水分离,饱和蒸汽再经过辐射过热器、各级对流过热器,成为达到额定压力、温度和一定流量的蒸汽。由汽轮机高压缸来的蒸汽,在再热器内被加热到额定温度后,再送入汽轮机的中压缸。

送风机将锅炉顶部空气吸入,送入空气预热器预热,热风再送入制粉系统干燥煤粉,或送入炉膛助燃,如图 1-4 所示。

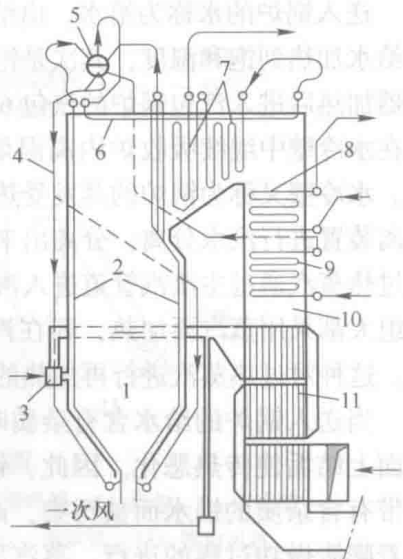


图 1-3 锅炉简化原理图

- 1—炉膛；2—水冷壁；3—燃烧器；  
4—下降管；5—汽包；6—辐射式过热器；  
7—对流过热器；8—再热器；9—省煤器；  
10—对流尾部烟道；11—空气预热器

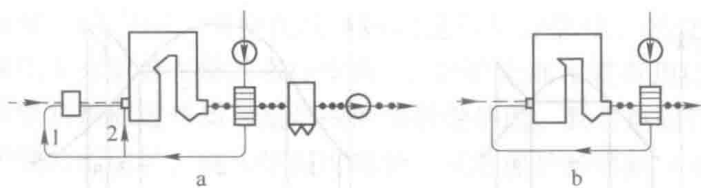


图 1-4 烟气和空气系统

a—平衡通风；b—正压通风

1—一次风；2—二次风

从锅炉出来的排烟,经过除尘器除去烟气中飞灰,由引风机送入烟囱,排入大气。烟气自炉膛流经水平和尾部烟道、除尘器,是在引风机抽力下克服流动阻力的,最后排入烟囱。锅炉本体烟气侧处于负压状态。

由炉膛下部排出的炉渣或除尘器分离出的细灰用水力或气力除灰设备送到灰场。

### 1.1.2.2 直流锅炉的工作原理

直流锅炉是由许多管子并联,然后再用联箱连接串联而成。它适用于任何压力,通常在工质压力不小于 16MPa 的情况,且是超临界参数锅炉唯一可采用的炉型。

直流锅炉依靠给水泵的压头将锅炉给水一次通过预热、蒸发、过热各受热面而变成过热汽。直流锅炉的工作原理示意图如图 1-5 所示。