

# 火电工程调试技术手册

# 锅炉卷

010

0101 100 01010101

河南省电力公司 编

010 1 01 1

1 0 011 0101 01



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 火电工程调试技术手册 锅炉卷

河南省电力公司 编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

《火电工程调试技术手册》锅炉卷，概括介绍了锅炉的类型、锅炉的发展趋势等锅炉基础知识；锅炉基建安装调试过程中的有关试验、检验项目，锅炉附属设备分系统具体启动调整试验及验收评定标准和锅炉性能验收试验的试验标准和方法。

本卷可供有关电站锅炉基建、安装、调试、试验、检验人员参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

火电工程调试技术手册. 锅炉卷/河南省电力公司编著.  
-北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1196-5

I. 火… II. 河… III. ①火力发电-发电机-机组  
-调试-技术手册②火力发电-锅炉-调试-技术手册  
IV. TM31-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 095260 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2003 年 6 月第一版 2003 年 6 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 498 千字  
印数 0001—4000 册 定价 47.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

## 《火电工程调试技术手册》编委会

主任： 吴华斌

副主任： 尚全忠 方志民 刘毓珣

委员： (按姓氏笔画排列)

马淮军 石 光 白明九 刘韶林 刘遵义

刘静宇 张 强 李丙军 李庆渝 李春茂

李春林 陈守聚 时进荣 邱武斌 易绪涛

郭子仁 袁立平 崔文涛 阎留保

责任编辑： 尚全忠 李庆渝 白明九

## 《火电工程调试技术手册》 锅炉卷编写人员

邹文华 王贺岑 琚海霞

# 前言

电力工程调整试运工作是电力基本建设不可替代的重要环节。调试工作既是一个相对独立的阶段，同时又贯穿于整个工程建设全过程。通过对整套设备的调整试运行，使各系统单个设备形成具有活力和生产力的有机整体。

在长期的电力建设中，广大电力工程调试工作者善于学习、勇于探索、勤于实践、开拓创新，积累了丰富的调试经验，为电力建设整体水平的不断提高奠定了坚实的基础。随着现代化、大容量、高参数火电机组迅猛的发展，新设备、新技术、新工艺、新材料广泛运用，对电力工程调整试运行工作提出了更高、更新的要求。

“工欲善其事，必先利其器。”为适应调试技术不断发展的需要，提高电力调试队伍的整体素质和调试技术水平，我们组织了电力工程调试战线上的一批专家和工程技术人员，立足电力工程基本建设的实际，重视经验的总结和积累，努力跟踪国内外电力工程调试前沿新技术，从大量纷繁零散的资料中综合提炼，融会贯通，历时两年，几易其稿，终于完成了这套火电工程调试技术手册的编写工作。

该《手册》详细阐述了火电工程中汽轮机、锅炉、金属、热工、化学、电气等各系统基础知识、基本原理、技术参数、经济指标以及调试的标准、方法、步骤等。其内容既是电力工程调试工作经验的升华，又充分反映了当今国际国内调试技术的最新成果，具有较强的科学性、实用性，对指导电力建设工程调试工作、提高工程调试人员的综合素质都大有裨益。

本套技术手册能在 21 世纪的开远之际如期付梓，要感谢各位作者以科学、严谨的治学态度，满腔热情投入资料的整理和编写中，为确保手册的高质量完成，付出了辛勤的汗水。要感谢各位专家，他们的学术造诣和敬业精神令人钦佩，使本套手册既有较强的实用性，又具有较高的学术价值。同时还要感谢出版社各位编辑的辛勤劳动。在此谨向他们致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

火电工程调试是一个复杂的系统工程。电力调试工作的技术含量之高、配合分工之严，使我们在编辑过程中感到了压力和责任。尽管经过专家和编者的认真审查和核校，百密一疏，错误和纰漏在所难免，敬请各位同仁和广大调试工作者斧正，以期在今后的修订中不断完善。

吴华斌

2002 年 1 月 3 日于郑州

## 编 著 说 明

火电工程调试技术手册锅炉卷，第一章概括介绍了锅炉的类型及蒸汽参数系列、燃料与炉型，锅炉按照水循环方式、燃烧方式、排渣方式的分类，锅炉排放物的污染控制以及锅炉的发展趋向等锅炉基础知识；第二章介绍了锅炉基建安装调试过程中的有关试验、检验项目及启动准备工作；第三章按照锅炉附属设备分系统详细编写了燃料油系统、输煤系统、制粉系统、锅水循环泵、风机系统、管道和阀门、空气预热器、除尘系统、除灰系统的具体启动调整试验及验收评定标准；第四章介绍了锅炉性能验收试验的组织分工试验标准和方法。

本卷由邹文华、王贺岑、琚海霞编写，刘诗词、李冠华审核，在编写过程中，得到了杨佐林教授级高级工程师的指导和大力协助，在此表示诚挚的谢意。

由于时间仓促，本书中难免存在缺点、疏漏之处，恳请读者予以批评指正。

前言

编著说明

第一章 锅炉基础知识 .....	1
第一节 电站锅炉类型及蒸汽参数系列 .....	1
第二节 燃料、炉型 .....	3
第三节 循环方式 .....	4
第四节 燃烧方式 .....	5
第五节 排渣方式 .....	6
第六节 锅炉排放物的污染控制 .....	6
第七节 锅炉的发展趋向 .....	7
第八节 典型燃煤锅炉简化的调试网络图、控制循环锅炉的工作流程图 .....	8
第九节 锅炉主要设计计算 .....	9
第二章 锅炉试验与启动准备 .....	10
第一节 锅炉水压试验与漏风试验 .....	10
第二节 锅炉烘炉、煮炉、冲管及蒸汽严密性试验 .....	14
第三节 锅炉安装质量的验收 .....	27
第四节 锅炉安装技术资料的保存 .....	56
第五节 锅炉的热效率试验 .....	88
第六节 锅炉的空气动力场试验 .....	112
第三章 锅炉附属设备启动调试 .....	127
第一节 燃料油系统的启动调试 .....	127
第二节 输煤系统及制粉设备的启动调试 .....	135
第三节 锅水循环泵的启动调试 .....	160
第四节 风、烟系统的启动调试 .....	166
第五节 管道和阀门的检查与调整 .....	178
第六节 空气预热器的调整 .....	202
第七节 除尘、除灰系统的调试 .....	212
第四章 锅炉性能验收试验 .....	245
第一节 试验目的与组织分工 .....	245
第二节 试验依据 .....	245
第三节 试验项目 .....	245
第四节 测点布置和主要测量项目 .....	246
第五节 性能试验条件 .....	246
第六节 试验方法 .....	247
第七节 试验结果及分析 .....	248

附录 1	机组分系统调整试运质量检验评定表 .....	271
附录 2	机组整套启动前应具备的条件验收单 .....	315
附录 3	机组整套试运综合质量指标考核表 .....	317



# 第一章 锅炉基础知识

随着人类社会的发展，能源需求不断增加，当今集中反映在对电力和一次能源的需求量上。电能以其传输、转换方便，效率高的特点更是获得大力发展。世界各国能源发展的事实表明，随着经济和技术的发展，发电能源在一次能源消费总量中的比重趋于增长，这说明电力增长在整个能源发展中占据重要地位。以中国为例，电力在一次能源消费总量中的比例，1960年为12.5%，1970年为17.3%，1980年为19.3%，1990年为23.1%。工业发达国家上述比例则更高些，1985年美国为39.2%，日本为46.8%，英国为36.9%；进入90年代，则普遍超过或接近40%。这一事实表明，今后电力将继续保持较快的发展速度，特别是发展中国家。

能源与环境是当今社会发展的两大主题。我国是产煤大国，也是用煤大国，目前一次能源消耗中煤炭占76%，而这些煤炭中又有84%是直接用于燃烧的，产生的污染物占我国每年排入大气中物质的比例为： $\text{SO}_2$ 87%， $\text{NO}_x$ 67%。

锅炉（蒸汽发生器）是利用燃料或其他能源的热能，把工质（一般为净化的水）加热到一定参数（温度、压力）的换热设备。

通常把燃料的燃烧、放热、排渣等称为炉内过程，把工质的流动、传热、汽水分离、热化学等称为锅内过程。

锅炉按用途可分为电站锅炉、工业锅炉和船用锅炉，其工作原理基本相同，但各具特点，见表1-1。其中以电站锅炉最为庞大和复杂，技术要求最高。

表 1-1 各类锅炉的主要特点

种 类	主 要 特 点
电 站 锅 炉	用于发电。现代电站锅炉一般为大容量，采用高参数，火室燃烧，适用于各种燃料，热效率高达90%左右
工 业 锅 炉	蒸汽（或热水）直接用于工业生产和取暖等。一般为较小容量，采用低参数，火床燃烧，热效率为70%~90%左右
船 用 锅 炉	一般采用低、中参数，对工质体积、质量有严格要求。炉膛热负荷高，水循环回路高度小，以燃油为主

## 第一节 电站锅炉类型及蒸汽参数系列

电站锅炉类型见表1-2，蒸汽参数见表1-3。

表 1-2 电站锅炉类型

分类方法	名称	简要说明	
锅内过程	按照循环方式	自然循环汽包锅炉	利用汽水密度差建立工质循环, 只能应用在临界压力以下
		辅助循环汽包锅炉也叫控制循环汽包锅炉	利用汽水密度差和循环泵的压头建立工质循环, 只能应用在临界压力以下
		直流锅炉	水依次通过受热面变成蒸汽, 用于高压以上
		复合循环锅炉	带循环泵的直流锅炉, 适用于亚临界压力和超临界压力
	按照锅炉出口蒸汽压力	中压锅炉 (3.9MPa)	一般采用自然循环, 超高压及超高压以上时都带一次再热
		高压锅炉 (9.8MPa)	
		超高压锅炉 (13.7MPa)	
		亚临界压力锅炉 (16.7MPa)	各种循环方式均可适用, 通过技术经济比较确定, 应注意防止膜态沸腾和高温腐蚀
		超临界压力锅炉 (大于 22MPa)	采用直流或复合循环, 应注意防止膜态沸腾和高温腐蚀
	炉内过程	按照所用燃料或能源	固体燃料锅炉
液体燃料锅炉			具有较高的炉膛容积热负荷和烟速, 为防止低温腐蚀和堵灰, 宜采用低氧燃烧并提高进风温度和排烟温度
气体燃料锅炉			具有较高的炉膛容积热负荷和烟速, 应注意防止燃烧器回火和爆炸
原子能锅炉			利用核反应堆释放热能的蒸汽发生器
其他能源锅炉			利用木屑、甘蔗渣、造纸废液、生活垃圾及地热、太阳能等的蒸汽发生器
按照燃烧方式		火床燃烧锅炉	主要用于工业锅炉
		火室燃烧锅炉	主要用于电站锅炉
		旋风炉 (分立式和卧式)	燃烧室热负荷高, 有利于强化燃烧; 液态排渣, 液态渣可综合利用
		沸腾燃烧锅炉	低温燃烧, 可进行炉内脱硫
按照排渣方式		固态排渣锅炉	燃煤锅炉的主要排渣方式
		液态排渣锅炉	应注意防止析铁、炉膛高温腐蚀和产生过量氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )
按照炉内烟气压力		负压锅炉	有送、引风机, 平衡通风是燃煤锅炉的主要型式
		微正压锅炉 (2~5kPa)	不需引风机, 主要用于液体和气体燃料, 适于低氧燃烧, 炉墙密封要求高
		增压锅炉 (大于 0.29MPa)	仅用于油、气燃料, 配蒸汽—燃气联合循环
布置形式		按照炉型	Π 型适用于各种燃料, 塔型适用于低质烟煤和褐煤, 箱型适用于液体和气体燃料, D 型适用于低、中参数
		按照电站布置	露天、半露天、室内 室内或露天布置采用最为广泛

表 1-3 我国电站锅炉蒸汽参数系列

蒸发量 (t/h)	出口蒸汽压力 (MPa)					配凝汽式汽轮 发电机组功率 (MW)
	3.9	9.8	13.7	16.7~18.3	25.3	
	出口蒸汽温度 (°C)					
	450	540	540/540	540/540	541/541	
35	★					6
65	★					12
130	★					25
220		★				50
410		★				100
420			★			125
670			★			200
1025				★		300
1900					★	600
2080				★		600

## 第二节 燃料、炉型

### 一、燃料特性的影响

燃料特性是指燃料的着火、可燃、结渣（也称结焦）、积灰和飞灰磨损等特性，它们对锅炉整体设计至关重要。为了正确判断这些特性，世界各国已经广泛开展了各种测定方法和判断标准的研究。

锅炉总是根据给定的燃料进行设计，并允许有一定的偏差范围。但是如果同一台锅炉改用另一类型的燃料，可能会严重影响锅炉的运行经济性、可靠性和寿命。

### 二、炉型

炉型的选择同燃料种类、地理环境、燃烧方式、锅炉参数容量及循环方式等有关。

各种炉型原则上都可以做室内、露天、半露天或紧身密封布置。露天布置的锅炉要考虑防雨、防冻、防风、防滑和防潮，还应注意低温下钢材可能发生的冷脆以及临海地区盐雾的侵蚀。露天锅炉一般布置有大屋顶，汽包设置司水小室，燃烧器上方设置防雨装置。

#### 1. $\Pi$ 型（倒U型）

$\Pi$ 型（倒U型）在电站锅炉中应用最广，不同参数容量、各种循环方式以及各种燃料均可适用。尾部空气预热器可以同省煤器间隔布置成双级，适用于燃烧高水分褐煤、无烟煤和贫煤的锅炉。这种炉型锅炉高度适中，安装起吊方便，对流受热面易于逆流布置，尾部烟道气流向下易于除灰，送、引风机及除尘器可低位布置。缺点是占地面积较大，烟道转弯容易引起局部受热面的飞灰磨损，需精心设计锅炉膨胀中心系统、炉顶密封、刚性梁系统及包覆过热器系统。

#### 2. 箱型

箱型广泛应用于容量较大的燃油/气锅炉，布置紧凑，占地面积较小，水冷壁受热均匀，适宜于快速启停，对流受热面水平布置利于疏水，主蒸汽和再热蒸汽管道较短。炉体较高，

受热面的支撑、悬吊较复杂，制造工艺要求较高。

### 3. 塔型

塔型锅炉适合燃烧褐煤、高灰分低质烟煤等煤种。有全塔型和半塔型两种，大容量锅炉常采用半塔型，将空气预热器、送风机、引风机低位布置。

### 4. D型

D型广泛应用于燃油、燃气和参数容量不大的锅炉。常采用双汽包结构，并利用大直径管系承重而不设钢结构，钢材耗量少，制造和安装快速方便。

表 1-4 炉 型 特 点

项 目	炉膛容积 大 小	炉 型	燃烧器形式	再热汽温 调温方式	制粉系统	干燥介质	
燃 料	油、 天然气	小	D型	旋流、四角切向	烟气再循环、喷 水	—	—
	烟 煤	中	Π型	四角切向、旋流	燃烧器摆动、喷 水	中速磨直吹、钢 球磨乏气送粉	热空气 + 冷空 气
	无烟煤	大	Π型	四角切向、W型 (U型)、CUF型	挡板调温、汽— 汽热交换器、喷水	钢球磨热风送粉	热空气 + 冷空 气
	高水分 褐 煤	大	塔型、半 塔型、Π型	周向切入	喷水、汽—汽热 交换器	风扇磨直吹	高温炉烟 + 低 温炉烟 + 热空气

## 第三节 循 环 方 式

工质在炉膛水冷壁中的流动方式称为循环方式，有自然循环、辅助循环（控制循环）、直流和复合循环四种，一般根据机组参数、容量、运行模式和技术传统等来选取。

### 一、自然循环汽包锅炉

自然循环汽包锅炉主要特点：

(1) 水冷壁受热后，依靠水与汽水混合物密度差产生的工质流动来冷却。因此，锅炉点火后，循环才得以开始，管内的循环流速随吸热量（负荷）增大而增加。

(2) 汽包是“蒸发”和“过热”的固定分界点。

(3) 自补偿能力较强。

(4) 汽包和水冷壁有较大的蓄热和蓄水能力，可允许在给水、燃料和蒸发量之间有短时间的不协调。相对于直流锅炉，自控要求较低。

(5) 给水带入的盐分可以在蒸发系统中浓缩和排出，相对于直流锅炉，给水品质要求低一些。

(6) 厚壁汽包和较大直径的水冷壁，限制了锅炉的启停速度和调峰能力。

(7) 金属耗量较大。

自然循环适用于亚临界压力及以下的锅炉。

### 二、辅助循环锅炉

辅助循环锅炉是在自然循环基础上发展起来的。在下水管系统中设置低压头循环泵，以产生机械外力来补充热力压差，增加循环回路的流动压头。在每根上升管入口处安装有经精确计算的节流孔板，以确保水冷壁充分冷却。

辅助循环锅炉主要特点:

- (1) 先循环后点火, 停炉后 5~6h 可以进入炉膛检修;
- (2) 循环压头大, 汽包采用“内夹套”结构, 使汽包上下壁温度在任何工况下都能保持一致, 缩短了启停时间, 提高了变负荷速率, 有利于调峰带中间负荷和两班制运行;
- (3) 循环系统设计自由, 可以满足最适合的燃烧要求;
- (4) 循环泵压差变化显示了汽包水位变化和管内洁净程度;
- (5) 相对于自然循环锅炉, 水循环安全性更高;
- (6) 循环系统质量较轻, 金属耗量较少。

### 三、直流锅炉

直流锅炉依靠给水泵压头, 使给水顺序通过各级受热面成为过热蒸汽。直流锅炉适用于各种压力, 广泛用于亚临界和超临界参数。

直流锅炉与自然循环相比, 金属耗量少, 制造、运输较方便, 热容量小, 调节反应快, 变负荷适应性强, 启停速度快。但在系统中无法排出给水中的杂质, 对给水品质要求高; 蒸发和过热没有固定分界点, 对自动控制要求较高; 汽水系统阻力较大, 给水泵功耗大。

### 四、复合循环锅炉

复合循环锅炉是在直流锅炉和辅助循环锅炉的基础上发展起来的, 它综合了两者的优点, 适用于亚临界和超临界参数。特点是在省煤器和水冷壁之间设置循环泵, 在部分负荷(一般在 50%~90% 额定负荷以下)时, 投入循环泵, 使水冷壁系统内除直流流量外还有循环流量; 超过此流量, 切除循环泵, 锅炉按直流锅炉方式运行。

同直流锅炉相比, 其主要优点是:

- (1) 水冷壁设计质量流速可以按照循环泵切除时的负荷选取较低值, 管径可以取得较大, 以降低流动阻力, 减小了给水泵功耗;
- (2) 启动流量低, 锅炉的最低负荷可以降到约 10% 额定负荷, 简化了启动系统, 减少了启动损失, 便于滑压运行;
- (3) 水冷壁工质流量和温度变化小, 温度应力相应减小, 部分负荷时, 水冷壁冷却条件改善, 提高了安全性, 可以少用甚至不用内螺纹管来防止传热恶化;
- (4) 水冷壁管径可以取得较大, 水冷壁的刚性特别对于中容量锅炉易于得到保证。

## 第四节 燃烧方式

为了适应不同燃料的着火、稳燃和燃尽特性, 发展出了各种燃烧方式。通常分为火床、火室、旋风和沸腾燃烧等方式。

### 一、火床燃烧

燃料在炉排上进行层式燃烧, 供煤系统简单。火床的型式很多, 由于炉排尺寸的限制, 主要应用于 75t/h 及以下的工业锅炉。

### 二、火室燃烧

燃料以粉状(煤)、雾状(油)或气态(气体燃料)随空气喷入炉膛进行悬浮燃烧, 电站锅炉普遍采用这种燃烧方式。燃烧器通常有旋流(煤、油)、直流(煤、油)和平流(油、气)等形式。旋流燃烧器通常布置在锅炉的前后墙或侧墙; 直流和平流燃烧器通常布置在四

角,也有布置在墙上,在炉内形成切圆燃烧。各种煤粉燃烧器都应有较大的燃料适用范围。U型(W型)火焰燃烧加强了燃烧区域温度和火焰行程,对贫煤和无烟煤稳燃有独特优点,但是结构较复杂。切圆式U型火焰燃烧(CUF)是一种改进型的切圆燃烧技术,燃烧器布置在四墙并且向下倾斜,使常规的切圆燃烧具有U型(W型)火焰的效果。

### 三、旋风燃烧

旋风燃烧是一种强化燃烧方式,燃料燃烧在圆形旋风筒内进行,然后进入炉膛,通常采用液态排渣。其他受热面布置与一般锅炉相似。适用于低灰熔点、易于结渣和难以着火的煤种。

### 四、沸腾燃烧

沸腾燃烧是一种强化燃烧和传热的燃烧技术,又称为流化床燃烧。它不同于火床扩散燃烧和火室悬浮过渡燃烧。将煤粒加入灼热的床料中,在通过风帽的上升空气气流的作用下,在床层一定高度范围内产生各个方向复杂激烈的运动,实现低温强化燃烧,床料呈现与液态相似的沸腾状燃烧。具有煤种适应性广,可燃用煤矸石、劣质煤、褐煤、高硫煤、高水分煤、煤泥、油页岩、泥煤、石油焦、尾矿、煤渣、树皮、废木头、垃圾等等。它的 $SO_x$ 、 $NO_x$ 排放量低,便于对灰渣进行综合利用。按流动形式可分为鼓泡流化床、循环流化床两种。增压流化床(PFBC)是当前正在积极开发的沸腾燃烧技术之一,能提供燃气—蒸汽联合循环发电的热源,它进一步强化了燃烧和传热,炉体体积小。

## 第五节 排 渣 方 式

燃煤锅炉的排渣方式有固态排渣和液态排渣两种,其中固态排渣最为常用。在燃煤锅炉中配备了水力定期排渣、刮板式机械连续排渣、螺旋式机械连续排渣或其他机械排渣装置。

液态排渣适用于灰熔点较低,灰渣黏度较低以及难以稳燃的煤种。液态渣需要经过水池裂化后用机械排渣装置连续排渣。液态排渣炉由于调峰能力较差,排渣热损失大,制造安装工作量大,排烟中 $NO_x$ 高以及可能产生高温腐蚀、渣池析铁等缺点,所以只在特殊情况或特殊场合才采用。

## 第六节 锅炉排放物的污染控制

引起环境污染的锅炉燃烧排放物主要是排烟中的烟雾粉尘、硫氧化物 $SO_x$ 和氮氧化物 $NO_x$ ,其次还有碳氧化物、碳氢化合物等。这些排放物不仅直接危害人体,而且与温室效应、硫酸烟雾、酸雨、臭氧层危机等环境污染问题有关。锅炉允许的排放标准值正在逐年降低。

大型电厂装设高效除尘、脱硫、脱硝装置来控制锅炉燃烧排放物。常用的除尘装置有离心式除尘器、湿式除尘器、静电除尘器和布袋除尘器。

一般情况下,燃料燃烧时约90%以上的有机硫将氧化成为气态的 $SO_2$ 或 $SO_3$ 。控制硫氧化物 $SO_x$ 排放的常用办法是从燃烧中减少其生成量并用高烟囱扩散,使散落的硫氧化物含量在排放标准值以内。为了从根本上减少其危害,在锅炉烟气系统中已越来越多地装设了烟气脱硫系统,经过60多年的发展,已经开发了50多种方法,其采用的化学反应剂和生成的最终产品也各不相同。一般分为以下两类:①非再生式烟气脱硫系统,如石灰或石灰石系统、

双碱系统、稀硫酸系统等；②再生式（回收）烟气脱硫系统，如氧化镁法、亚硫酸钠法、催化氧化法等。

氮氧化物  $\text{NO}_x$  是化石燃料燃烧过程的产物。以往  $\text{NO}_x$  的含量未受到重视，近年来已被证明， $\text{NO}_x$  除了直接就近伤害外，还与太阳光起复杂的光化学氧化反应，形成光化学烟雾，并破坏同温层中的臭氧层，降低了其防止紫外光辐射的屏蔽作用。因此，受到越来越严格的控制。燃烧时， $\text{NO}_x$  的生成量同燃料特性、炉膛温度、停留时间、燃烧区过剩空气量、煤粉细度、预热空气温度等有关。一般来说，降低火焰温度和减少富燃料区的过剩空气量有助于降低  $\text{NO}_x$ 。目前已经开发出了多种降低  $\text{NO}_x$  的燃烧技术，如分级燃烧、低氧燃烧、烟气再循环和低  $\text{NO}_x$  燃烧器等，或在烟气系统中设置脱硝装置来减少排放量。根据  $\text{NO}_x$  具有氧化、还原和吸附等特性，脱硝技术装置分为氧化法湿式吸收脱硝、还原法干式催化分解脱硝、选择性催化还原法、选择性非催化还原法等。其中有些方法可以同时除掉  $\text{SO}_x$ 。

## 第七节 锅炉的发展趋向

### 一、排放控制

锅炉燃料在燃烧过程中所产生的尘粒、烟气中的  $\text{SO}_x$  和  $\text{NO}_x$  是造成大气污染的主要因素。对尘粒的控制趋向于使用高效长寿命的袋式除尘器，或与静电除尘器一起使用。对  $\text{SO}_x$  和  $\text{NO}_x$  的控制则根据燃料含硫量、排放标准要求、机组容量及经济等因素分别采取烟气脱硫装置、炉内喷石灰石脱硫和低过量空气燃烧、分级燃烧、低  $\text{NO}_x$  燃烧器或循环流化床锅炉等方法。

### 二、调峰能力的提高

由于电网的峰谷差日益增大，火电机组趋于带中间负荷，频繁启停，并要求燃煤锅炉能在 20% ~ 30% 左右的低负荷下不用油助燃运行。因此对电站锅炉的燃烧设备、汽包等受压部件及汽水循环系统的设计提出了一系列要求。对于直流锅炉来说，采用螺旋管圈能较好地满足调峰要求。

### 三、低质量燃料的燃烧技术

我国有大量的低质燃料可用于电站锅炉，主要包括难于着火的无烟煤、贫煤、低热值的烟煤、达到褐煤的灰熔点的煤等。燃用这些燃料主要的困难在于着火不稳、结渣、积灰、磨损和高温腐蚀等。解决的措施一般为①开发新型稳燃燃烧器和燃烧方法；②加大炉膛尺寸；③降低单个燃烧器输入热量；④加大燃烧器与炉墙、灰斗、燃烧器之间的距离；⑤降低烟气流速等。也可以在关键受热面上加保护层；过热器、再热器采用复合材料管、燃料中加入添加剂等方法，以解决高温腐蚀问题。

### 四、临界压力参数和增压沸腾床联合循环

应发展超临界机组，以进一步提高机组循环效率，开发新型的高温、耐腐蚀、耐磨损材料，以适应更高参数的要求。与此同时，还应发展运行压力高出大气压 10 ~ 20 倍的增压沸腾床锅炉，并与燃气轮机做联合循环，提高机组循环效率，减少大气污染。

### 五、自动化水平的提高

电站锅炉自动控制装置的发展方向是采用以微型处理器为基础的分散控制系统来实现数

据采集；实现炉膛安全监察，以提高锅炉运行的安全经济性，协调控制，将锅炉运行时的各种变量根据负荷需要维持在一定水平；随着计算机技术的发展，还可以实现顺序控制总线控制等。总的来说，自动化技术的发展是使高参数大容量电站锅炉的运行更加安全可靠，进一步提高其经济性和负荷适应性。

### 六、综合利用

锅炉燃用高灰分的低质燃料所产生的大量灰渣越来越多地被用于铺路和制造水泥。随着环境保护的要求日趋严格，烟气脱硫装置逐步得到应用，对脱硫过程产生的副产品和废弃物应根据技术、经济等因素分别加工处理后，作为墙体材料、水泥生产中的阻滞剂、铺路和筑路材料等。

## 第八节 典型燃煤锅炉简化的调试网络图、 控制循环锅炉的工作流程图

图 1-1 是燃煤锅炉简化的调试网络图,详细编制参见《火电工程调试技术手册 综合卷》。

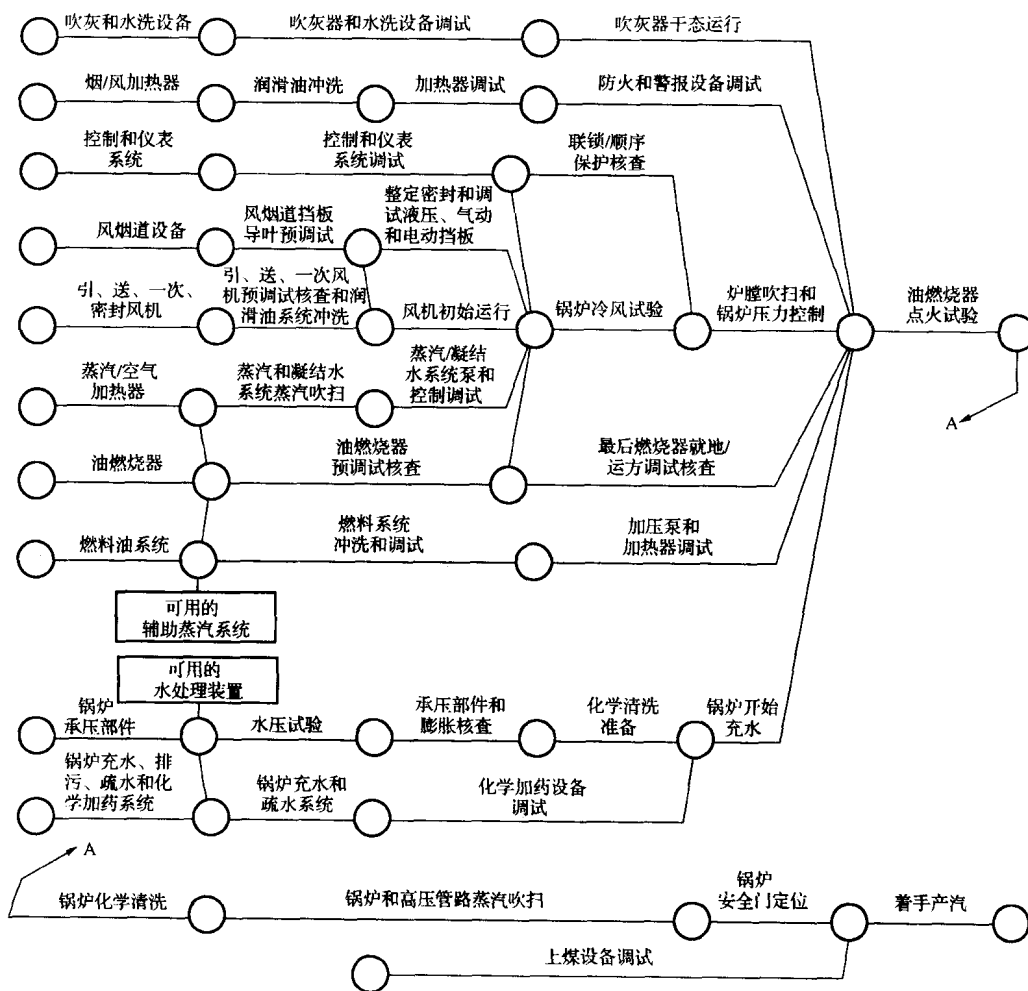


图 1-1 燃煤锅炉简化的调试网络



图 1-2 是燃煤控制循环锅炉的工作流程。

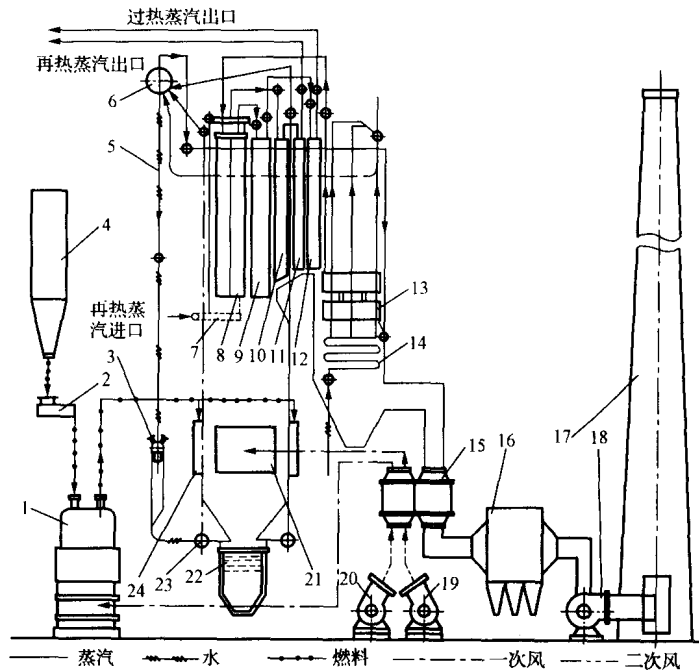


图 1-2 燃煤控制循环锅炉的工作流程

- 1—磨煤机；2—给煤机；3—循环泵；4—煤仓；5—下降管；6—汽包；7—墙式再热器；8—分隔屏；  
9—后屏；10—屏式再热器；11—末级再热器；12—末级过热器；13—低温过热器；14—再热器；  
15—空气预热器；16—静电除尘器；17—烟囱；18—引风机；19—二次风机；20—一次风机；  
21—大风箱；22—出渣设备；23—下水包；24—燃烧器

## 第九节 锅炉主要设计计算

锅炉设计或性能校核工作中的主要计算有热力计算、受压元件强度计算、应力计算和水动力计算，此外，还有钢结构计算、膨胀计算、烟风阻力计算、受热管件炉内壁温计算、炉墙传热计算、动态特性计算和旁路系统计算等。

现代锅炉的上述各种计算都借助电子计算机进行，各种计算的详细内容请参考有关文献。