





# 火力发电厂燃煤锅炉 工作手册

方久文 毕海岩 赵长春  
主编

 江西科学技术出版社

# 火力发电厂燃煤锅炉 工作手册

方久文 毕海岩 赵长春  
主编

 江西科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电厂燃煤锅炉工作手册 / 方久文, 毕海岩,  
赵长春主编. —南昌: 江西科学技术出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5390-6585-4

I. ①火… II. ①方…②毕…③赵… III. ①火电厂  
- 燃煤锅炉 - 技术手册 IV. ①TM621.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 240914 号

国际互联网 (Internet) 地址:

<http://www.jxkjcb.com>

选题序号: ZK2018465

图书代码: B18219-101

火力发电厂燃煤锅炉工作手册 方久文 毕海岩 赵长春 主编

---

出版 江西科学技术出版社  
发行  
社址 南昌市蓼洲街2号附1号  
邮编: 330009 电话: (0791) 86623491 86639342 (传真)  
印刷 北京市金星印务有限公司  
经销 各地新华书店  
开本 710mm × 1000mm 1/16  
字数 276千字  
印张 17  
版次 2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷  
书号 ISBN 978-7-5390-6585-4  
定价 55.00元

---

赣版权登字-03-2018-385

版权所有, 侵权必究

(赣科版图书凡属印装错误, 可向承印厂调换)

## 本书编委会

主    编    方久文    毕海岩    赵长春

编委会成员    毕海岩    方久文    吴    斌    汪    宏  
                  徐宏伟    杨振勇    赵长春    张东胜    （按音译排名）

# 目 录

第一章 调整专题 .....	1
超临界锅炉启动步骤 .....	1
飞灰对 SCR 催化剂的影响 .....	2
四管泄漏检测装置的布防 .....	3
锅炉启动前的几项重要试验 .....	5
燃烧那些事之一——什么叫燃烧 .....	7
燃烧那些事之二——燃烧类型及其特征 .....	9
燃烧那些事之三——燃烧过程和燃烧原理 .....	10
火电厂用水分类 .....	14
提高火电机组 AGC 响应速度的方法 .....	15
影响 CCS 响应速率的因素 .....	16
AGC 协调控制基本知识 .....	18
锅炉汽包壁温差的控制 .....	20
超临界锅炉湿法停炉保养 .....	22
锅炉常用的几种热力参数 .....	23
影响飞灰含碳量的因素 .....	24
影响直流锅炉汽温的因素 .....	25
如何降低飞灰含碳量 .....	27
直流炉的燃烧调整 .....	28
直流炉氧量的控制策略 .....	29
影响 AGC 响应的主要原因 .....	31
锅炉运行问答三则 .....	31
锅炉启动初期如何控制汽温 .....	33
等离子点火系统的把控 .....	34

防止四管泄漏得这么干 .....	36
二次再热锅炉再热汽温的调整方式 .....	37
防止制粉系统故障的措施 .....	39
基于炉内热信号的燃烧控制 .....	39
深度调峰期间锅炉的注意事项 .....	42
燃煤锅炉调整汽温的方法 .....	43
负荷变化对汽温的影响 .....	45
高加停运对锅炉的影响 .....	45
锅炉壁温的控制 .....	47
单元机组均衡燃烧控制 .....	47
锅炉超出力运行的危害 .....	48
四段抽汽为什么设两道逆止门 .....	49
停炉保养方法（一） .....	49
停炉保养方法（二） .....	51
点火之前，炉膛清扫是如何进行的 .....	53
影响汽包壁温差的因素 .....	54
供热季注意暖风器泄漏 .....	56
影响蒸汽压力的内外扰因素 .....	56
我们是这样对付硫酸氢铵的 .....	57
汽包水位计漏了怎么办 .....	58
水质硬度大的危害 .....	59
煤里的金色物质是啥 .....	61
氧量控制的重要意义 .....	62
<b>第二章 空气预热器专题</b> .....	<b>64</b>
逃逸的氨对空气预热器的影响及对策 .....	64
空气预热器备用和热态启动说明 .....	66
针对脱硝机组预热器的相应事项 .....	66
防止空气预热器堵塞的控制策略 .....	67
基于温度场的脱硝优化简介 .....	69
空气预热器堵塞的原因 .....	73

空气预热器的低温腐蚀 .....	75
烟气脱硝 SCR 对空气预热器运行的影响分析 .....	77
防止空气预热器重大故障导致机组非计划停机的措施 .....	78
脱硝机组防止空气预热器冷端结盐的技术措施 .....	79
回转式空气预热器性能变动对锅炉经济性的影响 .....	81
<b>第三章 燃烧专题</b> .....	<b>83</b>
亚临界机组屏式再热器失效案例 .....	83
屏式过热器的特点 .....	90
直流锅炉蒸汽参数调节原理 .....	91
影响过热器、再热器蒸汽温度的因素有哪些 .....	93
认识再热器的特点 .....	94
二次再热系统介绍 .....	94
受热面磨损的机理及减损措施 .....	96
受热面低温腐蚀的机理及影响因素 .....	97
炉管的失效 .....	98
受热面结渣的机理与危害 .....	99
燃烧——短暂的瞬间 .....	101
MFT 的效用 .....	102
烟道再燃烧的原因 .....	103
炉膛爆燃、炉膛爆炸和炉膛内爆 .....	104
炉膛爆燃的影响因素 .....	105
浅谈炉膛负压波动 .....	105
等离子燃烧器结焦的原因 .....	106
锅炉燃烧优化简介 .....	109
水冷壁高温腐蚀 .....	110
锅炉氧化皮脱落 .....	113
燃烧器失效的影响 .....	114
330MW 锅炉节能指导 .....	116
<b>第四章 风烟专题</b> .....	<b>121</b>
如何降低排烟温度 .....	121

喘振、失速、抢风的三角关系 .....	127
烟气处理一体化技术 .....	128
切圆锅炉二次风的作用 .....	132
烟气再循环技术 .....	133
浅谈炉膛出口烟温偏差 .....	134
一次风对燃烧的影响 .....	135
二次风对燃烧的影响 .....	136
三次风对燃烧的影响 .....	136
漏风对锅炉运行的影响 .....	137
二次风速的确定 .....	139
风机喘振探讨 .....	139
干式排渣机运行对锅炉的影响 .....	141
<b>第五章 环保专题</b> .....	<b>143</b>
脱硝控制导则摘选 .....	143
挥发分与含氮量对排放的影响 .....	143
SCR 系统反应器布置方式有哪些 .....	144
SCR 脱硝装置模拟量调节原理 .....	146
氨的特性及储存 .....	148
关于脱硝运行的几个问题 .....	148
脱硝技术问答举例 .....	150
关于脱硝最低喷氨温度的讨论 .....	152
湿式除尘器的那些事儿 .....	153
烟气脱硝技术 .....	156
湿除技术扫盲 .....	159
湿式电除尘器有哪些优点 .....	161
湿式电除尘器推广应用的关注点 .....	162
脱硝资料 .....	163
氟塑料换热器 .....	169
垂直浓淡燃烧器 .....	172
燃烧参数对 $\text{NO}_x$ 生成的影响 .....	173

氨氮比对脱硝的影响 .....	174
挥发分、N 含量与 $\text{NO}_x$ 的关系 .....	175
粉尘比电阻对电除尘的影响 .....	176
$\text{NO}_x$ 的分类 .....	177
等离子脱硝技术前沿 .....	178
何为 SCR 摩尔比, 有什么作用 .....	180
脱硝喷氨格栅磨损了怎么办 .....	180
脱硝系统精细化靶向控制系统 .....	182
<b>第六章 制粉专题</b> .....	<b>185</b>
磨煤机风量数值模拟 .....	185
MPS 中速磨煤机介绍 .....	187
中速磨减速机结构图 .....	188
超细煤粉的降氮作用 .....	190
煤的故事 .....	191
超细煤粉的再燃技术 .....	192
MPS 型中速磨煤机磨辊的工作原理 .....	193
煤质结焦特性 .....	194
结焦的原因 .....	195
煤的灰分 .....	196
煤的结渣特性 .....	197
燃用低挥发分煤如何防止灭火 .....	198
煤场存煤着火了怎么办 .....	198
煤的灰熔点 .....	200
磨煤机风门的控制程序 .....	201
关于磨煤机风的主要问题 .....	201
排矸那点事 .....	202
煤的发热量 .....	204
煤粉细度是什么 .....	206
提高磨煤机经济性途径 .....	207

<b>第七章 新技术专题</b> .....	209
燃煤火电超低排放技术路线 .....	209
污染物控制技术路线及相关技术 .....	210
超临界锅炉的特色 .....	214
电厂英语缩写及含义 .....	215
声波吹灰器与蒸汽吹灰器有何不同 .....	217
直流锅炉的优点 .....	217
超超临界锅炉的结构特点 .....	218
超临界与超超临界 .....	220
冷却塔排烟技术 .....	221
烟气脱汞的新技术 .....	222
可以取代金属的换热器 .....	224
低氮燃烧器技术 .....	225
搭建于温度场测量基础上的智能吹灰优化系统 .....	226
烟气再燃烧技术 .....	226
移动电极电除尘 .....	227
洗硅的含义 .....	229
另类的发电技术 .....	229
新材料的 GGH 换热器 .....	230
飞灰取样器 .....	231
燃气供热锅炉的余热利用 .....	233
烟气再循环技术国外研究动态 .....	235
无启动锅炉的启动探讨 .....	235
<b>第八章 热电技术前沿</b> .....	239
基于吸收式换热的热电联产集中供热技术原理介绍 .....	239
吸收式热泵原理 .....	245
吸收式热泵设备在热电厂的节能应用 .....	250
压缩式高温热泵废热回收机理 .....	256

# 第一章 调整专题

## 超临界锅炉启动步骤

### 1. 冷态清洗

在锅炉点火之前，用一定温度的除氧水进行循环清洗。为防止其他设备和管道中的污垢进入锅炉，清洗可分两步进行，首先进行给水泵前低压系统清洗，水质合格后再进行高压系统清洗。循环清洗的目的是洗去管内的污物，提高给水品质。

### 2. 建立启动流量

启动锅炉再循环泵，建立启动流量，保证锅炉点火初期水冷壁足够的冷却。

### 3. 锅炉点火及工质加热

锅炉点火初期，需严格控制炉膛出口烟温和燃料投入速度，以保证过热器、再热器的保护和工质膨胀时启动分离器水位的稳定。

### 4. 热态清洗

当水中的含铁量超过规定值时，应进行热态清洗。热态清洗时，水温较高，冲洗效果也较好。但水温也不能过高，通常锅炉本体汽水系统出口水温不宜超过 $200^{\circ}\text{C}$ 。因为铁的氧化物在高温水中的溶解度很小，当水温太高时，在热负荷较大的水冷壁或顶棚过热器管中，容易发生水中氧化铁重新沉积的现象。因此，通常要求热态清洗水温在 $200^{\circ}\text{C}$ 左右。

### 5. 汽轮机冲转、升速和并网

锅炉热态清洗结束后，要提高锅炉压力和蒸汽温度，当参数达到冲转要求时，即可进行汽轮机复归和冲转、并网带负荷等操作。

### 6. 停运锅炉再循环泵

当锅炉达到30%左右的负荷时，启动分离器进入干态运行，停运锅炉再循

环泵投入锅炉启动系统的暖管系统。

### 7. 锅炉本体的升压和升温

根据汽轮机升负荷曲线要求，投入锅炉制粉系统，按比例地增加燃料量和给水量，进一步提高蒸汽参数，最后达到满负荷运行工况。

## 飞灰对 SCR 催化剂的影响

这里指的飞灰就是灰，并不是飞灰含碳量简称的“飞灰”。

(1) 飞灰量高，极易导致催化剂堵塞，风机压损增加。

(2) 飞灰量高，飞灰所含有的水溶性碱金属离子钾、钠具有很高的流动性，会通过扩散的方式侵入催化剂表面的活性点，使催化剂失活。

(3) 催化剂维护费用大幅上升。催化剂维护费用上升由几个原因构成：

第一，灰量大，催化剂易腐蚀、堵塞。要解决因灰量造成堵塞和压降问题，唯一有效的办法就是增加催化剂的孔径，孔径大，同样的有效催化面积条件下的催化剂总体积随之增大。这种由于孔径增大导致的体积增加往往是非常可观的，而电厂的烟道尺寸是固定的，烟气阻力也是设计好的，催化剂体积增加必然带来烟道的改造和引风机耗电率的增加。

第二，灰量大，在吹灰间隔中，大部分的催化剂被灰覆盖。这样，为了保证恶劣情况下的脱硝率不下降和氨逃逸率不上升（假设不需要考虑压降问题），就必须增加催化剂体积，以保证随时有足够的催化剂表面裸露在外面以供吸附  $\text{NO}_x$ 、接触  $\text{NH}_3$ ，那么就上面第一条面临的问题一样了。

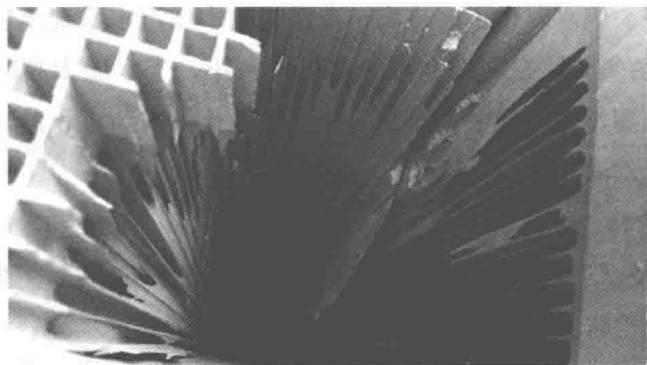


图 1-1 磨损的催化剂

(4) 灰量大, 催化剂受到冲刷和腐蚀的概率也大大提高, 烟气流速也快, 所以飞灰对催化剂的冲刷也厉害。冲刷腐蚀造成的催化剂失效快, 只有靠增加初始的催化剂体积或加快催化剂的更换速度, 才能保证稳定的脱硝率和氨逃逸率。

(5) 灰量大, 液态排渣炉的灰黏性更强, 堵塞程度更严重, 积聚的飞灰复燃可能造成催化剂烧结损失。

## 四管泄漏检测装置的布防

### 1. 原理简介

锅炉运行时本身有较强的噪声产生, 这种噪声一般称作为“背景噪声”。锅炉管发生泄漏后, 由于高压、高速介质的向外喷射将产生刺耳的尖叫声, 被称作“泄漏噪声”。通常锅炉内的“背景噪声”在机组运行时变化不大, 而且属于频率较低的噪声范围。“泄漏噪声”则相差很大, 当发生严重泄漏或炉管爆破时, “泄漏噪声”十分强烈, 人们在锅炉外很容易发现; 当炉管发生微量泄漏时, 由于炉内密排的受热面管阻碍和烟气中粉尘的消音衰减作用, “泄漏噪声”则很难被监听到, 但依靠“泄漏噪声”特殊的高频段声频性能可以被专用的声频传感器捕捉确认, 并能从锅炉复杂的“背景噪声”中准确区分判断出“泄漏噪声”, 从而实现对炉管泄漏的早期报警。

### 2. 异常现象的原因

(1) 炉管发生泄漏或爆管。

(2) 锅炉吹灰装置停止工作后汽源没有关死, 存在漏汽现象。

对于因设备原因可能造成的异常现象报警, 通常仅仅是故障通道一点的信号指数上升所致, 而该通道附近的测点基本没有信号变化。因此, 若单纯一个通道信号迅速增大而其他通道不产生任何变化, 除考虑上述两种原因的可能性外, 还应检查装置设备的工作状况。

(3) 锅炉吹灰噪声与炉管泄漏的区分。

锅炉的吹灰装置大都采用中低压蒸汽作为能量源, 蒸汽的压力一般在1.6—1.8MPa的范围。这种强度的吹灰介质也将产生类似炉管泄漏的噪声频谱声源, “检漏装置”同样会发出报警信号。

区分锅炉吹灰噪声与炉管泄漏噪声是很容易的。具体方法如下:

①炉管泄漏噪声是一种持续性的报警曲线，只有当炉管泄漏停止后才能消除报警状态；锅炉吹灰噪声是短期间断性的报警曲线信号，吹灰结束后，信号将立即复回到正常状态。对于吹灰器关闭不严使信号继续维持的情况，应作为异常现象处理，以免吹坏炉管造成真正的炉管泄漏事故。

②炉管泄漏噪声是一种不断变化的信号数值，一般随着泄漏的发展其曲线数值将逐渐增大；锅炉吹灰噪声的信号数值是相对稳定的，不会随着时间的推移而增强。

③锅炉吹灰过程是由工作人员指令实施的控制过程，工作人员知道是否正在吹灰；锅炉泄漏是非计划性的现象，工作人员很容易发现并区分。见图 1-2。

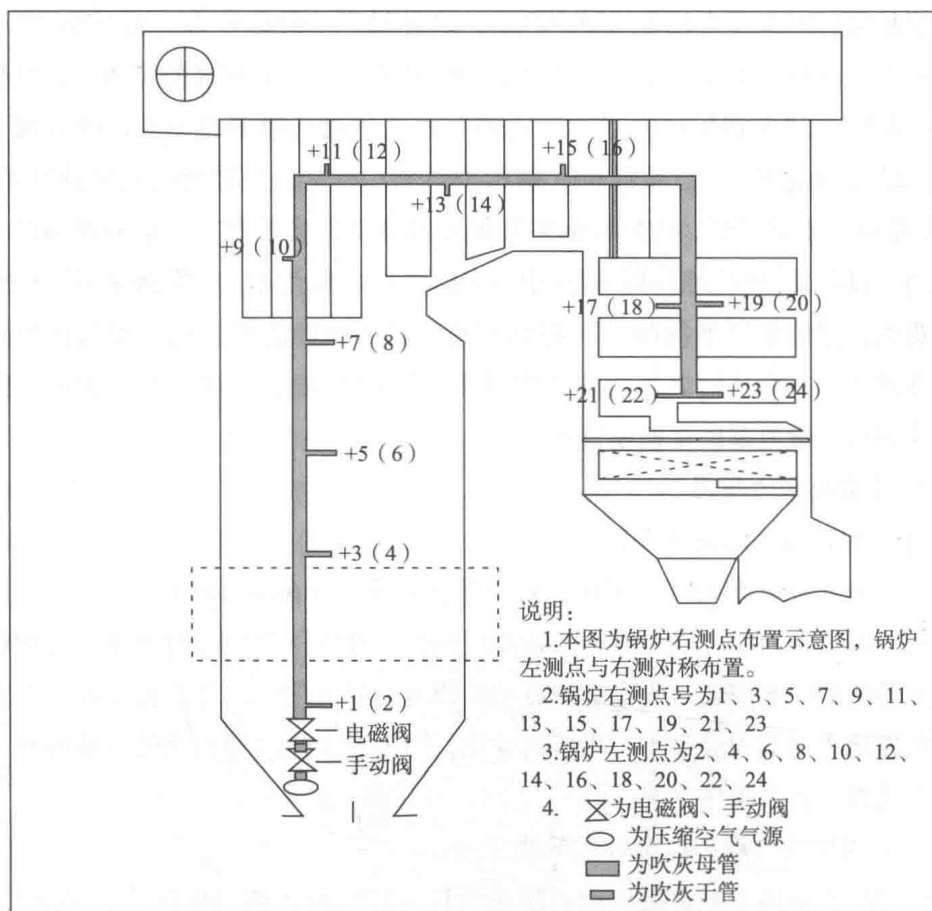


图 1-2 吹灰器布置图

## 锅炉启动前的几项重要试验

### 1. 风压试验

(1) 风压试验的目的。检查炉膛、风烟及制粉系统的严密性，减少运行中的漏风、漏灰、漏粉，改善周围环境，提高锅炉机组运行的经济性。锅炉炉墙、炉顶及风烟、制粉设备和系统大面积更换改造后，必须进行风压试验。

(2) 风压试验的技术要点。炉膛及风烟系统设备、制粉系统设备的检修工作结束后，要等人员和工作器具全部撤出方可进行风压试验。试验前，引风机、送风机、一次风机（排粉机）需经单机试运行合格，以保证这些设备在风压试验过程的可靠性。启动上述风机，维持炉膛及大部分区域较高的正压值，对风压试验范围内的全部设备、管道进行严密性检查。试验合格后，再恢复保温及其他未完检修工作。

### 2. 炉内冷态空气动力场试验

(1) 试验的目的。观察、测试燃烧器各风口气流速度、方向及气流偏斜、衰减程度，掌握炉内空气动力场情况，标定各风门挡板特性曲线，为锅炉热态运行调整提供技术依据。燃烧器火嘴经大修、更换或采用了某些技术改进的，应进行冷态动力场试验。

(2) 炉内冷态空气动力场试验的技术要点。试验前首先作好可靠的安全措施。炉内及过热器区域易于掉落的焦、灰均需彻底清理。供炉内试验用的脚手架要牢靠，炉内照明要充足。试验正式开始前，应进行充分的大风量通风吹扫，尽可能地吹掉残存在某些设备和系统内的煤粉。试验应按拟定好的试验计划进行，各工况均应进入自模化状态先标定各风门挡板的特性曲线，每一试验工况均需测出相应风口的气流速度变化和风压。每一试验工况一般应观察记录相应风口出口气流方向及气流的扩散、偏斜和衰减情况，测试仪器有皮托管、靠背管、笛形管微压计、集中数据采集系统及示踪摄像设备等。常用的试验方法有飘带法、纸屑法、火花法、摄像机示踪拍摄法。要求炉内冷态空气动力场试验应能直观地显示出炉内动力场情况，但要定量说明问题，还应进行测定，以标定各风门特性，确定各一、二、三次风的风速、风量及风率，以指导燃烧调整，见图1-3。

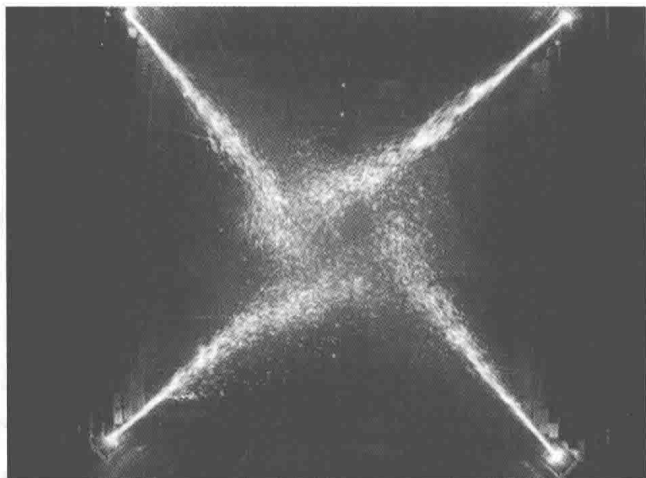


图 1-3 火花测试炉内运力场

### 3. 水压试验

#### (1) 水压试验的目的。

通过水压试验，检查锅炉承压部件的严密性，以保证承压部件运行的可靠性。为此，锅炉大修后必须进行水压试验。

#### (2) 水压试验的技术要点。

锅炉整体水压试验分工作压力试验和超压试验。

①水压试验应按照《电站锅炉水压试验标准》进行。高压和超高压汽包锅炉，水压试验压力为汽包工作压力；再热系统水压压力为再热器出口压力。亚临界、超临界压力直流炉，低倍率强制循环炉，一次汽系统（包括蒸发段）试验压力为过热器出口压力；再热系统试验压力为再热器出口压力。低倍率强制循环炉的分离器出口或直流炉蒸发段出口（分离器后）装有关断阀门时，关闭该阀门，可对蒸发段单独进行水压试验。试验压力为分离器的工作压力。

②锅炉水压试验的范围。一般为锅炉一次门前全部承压部件，直至汽机主汽门前的电动主汽门。对于再热系统来说，到汽机中压缸自动主汽门前的电动阀门，包括再热汽来汽母管（冷段）。若汽机侧没有可靠的隔离阀门时，可加装临时堵板，以防止水窜入汽轮机内。水压试验时要打开电动阀门后的疏水门，以确保万无一失。

③水压试验的技术要点。按规程要求，具备水压试验的条件后，方可进行水压试验。水压试验用水，应是合格除盐水。严禁用生水进行水压试验。水压试验

时,上水温度应比金属脆性转变温度高出 $33^{\circ}\text{C}$ 或上水温度不低于 $90^{\circ}\text{C}$ 。必要时可经除氧器加热。上水及升压过程要监视汽包上下壁的温差。启座压力低于水压试验压力的安全阀,在试验前要将其解列。锅炉上满水后,升压前应巡回检查一遍,发现问题要立即处理。严格控制升压速度。达到试验压力后,对承压部件进行全面检查。应注意不得超压。检查完毕,在达到水压试验压力的情况下,切断水压试验供水水源,根据压降情况对水压试验做出评价。降压过程,还可进行给水调节阀和减温调节阀的漏量试验及各疏排水阀门的摸管检查。

④锅炉超压试验。锅炉超压试验对设备寿命有一定影响,且还有一定的危险性,应认真组织慎重进行。试验时电厂锅炉监察工程师应在场监督,遇有可疑泄漏之处应组织人员疏散,立即降压。锅炉符合超压试验的条件时,应进行1.25倍工作压力的超压试验。超压试验过程中不得进行检查,只有待压力降至工作压力后方可检查。超压试验的条件大致如下:

锅炉已连续使用6—8年。锅炉连续停运满一年及一年以上。

大面积改造更换部件,如水冷壁换管数量达50%及以上;过热器、再热器、省煤器等部件成组更换。

根据运行情况,需对承压设备及部件作安全可靠鉴定时。

## 燃烧那些事之一

### ——什么叫燃烧

燃烧是可燃物质与助燃物质(氧或其他助燃物质)发生的一种发光发热的氧化反应。在化学反应中,丢了电子的物质被氧化,抢得电子的物质被还原。所以,氧化反应虽然有一个“氧”字,但并不限于仅同氧的反应。例如,氢在氯中燃烧生成氯化氢。氢原子失掉一个电子被氧化,氯原子获得一个电子被还原。类似地,金属钾在氯气中燃烧,炽热的铁在氯气中燃烧,都是激烈的氧化反应,并伴有光和热的发生。金属和酸反应生成盐也是氧化反应,但没有同时发光发热,所以不能称作燃烧。灯泡中的灯丝通电后同时发光发热,但并非氧化反应,所以也不能称作燃烧。只有同时发光发热的氧化反应才被界定为燃烧。

可燃物质、助燃物质和火源,是可燃物质燃烧的三个基本要素,缺一不可。燃烧反应在温度、压力、组成和点火能等方面都存在极限值。可燃物质和助燃物