

锅炉安全监察基础

(上 册)

水利电力部电力生产司

西北电业管理局

前 言

锅炉压力容器是生产、生活中广泛使用的具有爆炸危险的设备，这些设备或其某一部件的损坏都可能导致灾难性的后果，因此世界各国都十分重视它们的安全问题。实施设计、制造、安装、检修、使用等阶段的全过程安全监察是世界各国普遍实行的制度。

电站锅炉与热力系统压力容器是火力发电厂生产过程中不可缺少的设备，其安全运行是发电厂安全生产的重要决定因素。我国电力工业锅炉监察体系始于五十年代，在当时的历史条件下，主要以苏联经验为蓝本，制定了《电力工业锅炉监察规程》，培训了一批锅炉监察工程师，建立健全了发电厂锅炉防爆制度，而后又相继组建了化学监督、金属监督、热工仪表监督专业，加强了焊接工作的管理，包括焊工与无损检验人员的考核培训工作。在发电设备向高参数，大容量发展进程中，在确保发电设备的安全可靠运行，起了很大的作用。在文革期间，发电厂锅炉监察工作受到冲击被削弱、设备制造质量下降，运行管理水平下降，事故以致恶性事故不断。针对上述情况，根据国务院1982年颁发的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》，水利电力部于1983年决定恢复锅炉监察工程师建制，逐步实现由锅炉监察归口管理、化学、金属、焊接、热工各方面配合协作的发电厂锅炉压力容器安全监察体系，并逐步扩大为包括设计、制造、安装在内的全过程安全监察，以求大幅度、稳定地改变发电厂锅炉压力容器的不安全状况。

锅炉压力容器安全监察是一种技术性很强的管理工作，它以事故预防为主要目的。作为锅炉监察工作者，必须十分熟悉国内外有关规程，掌握国内外发生的锅炉压力容器事故的信息。随着发电设备的技术进步与诊断技术的不断发展，又需要不断实现自身的技术进步。

锅炉监察工作的技术领域包括力学、冶金、冷热加工、焊接、传热、水动力、失效分析及安全系统工作等诸方面，要从事事故分析、规程制度、反事故措施的制订审查工作，以科学态度实行安全监察在知识的广度与深度方面无疑有一定的要求。

在此恢复锅炉监察工程师建制，实行干部新老交替的情况下，部锅炉压力容器监察委员会认为有必要组织出版一些规程汇编、事故汇编、手册和学习参考材料。供从事电力系统锅炉压力容器安全监察工作的同志全面提高业务能力之用，并认为这些资料的出版发行将有利于各项规程制度的贯彻。

这本锅炉压力容器安全监察基础知识是上述资料的重要组成部分，是由西北电管局安监处负责组织撰稿，由国内许多有实践经验的同志编写而成的，希望它能对各级锅炉监察工程师广泛地掌握有关锅炉压力容器安全监察业务知识有所帮助。

本书内容以大、中型火力发电厂燃煤电站锅炉为主，对从事其他锅炉、压力容器制造、安装、使用修理、改造工作的工程技术人员也有参考价值。

能源部锅炉压力容器安全监察委员会办公室主任

钱祥鹏

88.10.28

第一篇 电站锅炉典型结构

华北电业管理局

冯永根 工程师

目 录

第一章	电站锅炉设备	(1)
第一节	锅炉设备发展概况.....	(1)
第二节	锅炉的主要类型.....	(2)
第三节	锅炉汽包和水冷壁.....	(7)
第四节	过热器、再热器和减温器.....	(13)
第五节	省煤器.....	(26)
第六节	空气予热器.....	(31)
第七节	直流锅炉.....	(37)
第二章	典型锅炉简介	(43)
第一节	国产75/39型 锅 炉.....	(43)
第二节	国产130/39型锅炉.....	(46)
第三节	国产220/100型 锅 炉.....	(47)
第四节	国 产 410/100型锅炉.....	(51)
第五节	国产670/140型 锅 炉.....	(53)
第六节	国产1000/170型锅炉.....	(56)
第七节	日 立850T/h 锅 炉.....	(61)
第八节	苏尔寿 947T/h低倍率循环 锅 炉.....	(63)
第九节	意大利 1050T/h锅炉.....	(66)
第十节	1025 T/h 多次强制循环锅炉.....	(68)

out 7/8/89

第二篇 锅炉金属材料 and 金属监督

西安热工研究所

吴非文 高级工程师

目 录

第一章 金属基础知识

第一节 引言	(72)
第二节 金属的晶体结构	(73)
第三节 塑性变形及再结晶	(80)
第四节 钢中的基本组织及其性质	(84)
第五节 铁碳平衡图	(94)

第二章 热处理

第一节 热处理基础	(101)
第二节 退火	(117)
第三节 常化 (正火)	(120)
第四节 淬火	(120)
第五节 回火	(124)
第六节 表面处理	(124)
第七节 热处理所产生的缺陷以及钢的脆性	(129)

第三章 钢号表示方法

第一节 钢的分类和用途	(133)
第二节 碳素钢钢号表示方法	(135)
第三节 合金钢钢号表示方法	(137)
第四节 捷克和西德的钢号表示方法	(140)
第五节 其它国家对钢号的表示方法	(144)

第四章 金属的力学性能 (机械性能)

第一节 静力试验下的力学性能	(147)
第二节 动力试验下的力学性能	(155)
第三节 高温短时力学性能	(157)

第五章 金属的蠕变和松弛

第一节 金属的蠕变	(159)
-----------	-------

第二节	金属的持久强度·····	(164)
第三节	持久塑性·····	(168)
第四节	蠕变与温度和应力的关系·····	(170)
第五节	金属的松弛·····	(172)
第六章 金属在长期运行中组织性质的变化和其它损坏		
第一节	珠光体球化和碳化物的聚集·····	(177)
第二节	石墨化·····	(192)
第三节	时效和新相的形成·····	(196)
第四节	热脆性·····	(197)
第五节	合金元素在固溶体和碳化物相之间的重新分配·····	(201)
第六节	金属在高温下的氧化和腐蚀·····	(207)
第七章 锅炉和蒸汽管道钢管用钢		
第一节	过热器管和蒸汽管道钢管用钢·····	(212)
第二节	水冷壁管和省煤器管用钢·····	(234)
第三节	汽包及联箱用钢·····	(245)
第四节	受热面吊架用钢和铸铁及吹灰器用钢·····	(249)
第五节	磨煤机主要零件用钢·····	(252)
第六节	锅炉钢生产过程和缺陷·····	(254)
第八章 锅炉爆管现象分析		
第一节	超温、过热的概念与错用钢材（拉尔森—米列尔公式在火力发电厂的具体应用）·····	(258)
第二节	长期过热爆管分析·····	(261)
第三节	短期过热爆管分析·····	(269)
第四节	水冷壁管的氢损坏爆管·····	(274)
第九章 过热管和主蒸汽管道金属监督		
第一节	过热器管的监督方法·····	(279)
第二节	低碳钢过热器管石墨化监督·····	(287)
第三节	蒸汽管道的金属监督·····	(292)
第十章 电站金属事故脆断裂和金相分析		
第一节	金属事故的分析程序·····	(308)
第二节	断口分析·····	(309)
第三节	宏观分析方法·····	(318)
第四节	金相分析方法·····	(320)
第五节	用于金相和断口分析的设备·····	(326)

第三篇 断裂力学基础

西安热工研究所 李自力 博士

目 录

第一章 构件中的裂纹和材料断裂

第一节 构件中的裂纹.....	(331)
第二节 断裂韧性的物理本质.....	(334)

第二章 线弹性断裂力学

第一节 应力强度因子.....	(336)
第二节 应变能释放率.....	(338)
第三节 断裂韧性.....	(339)
第四节 含裂纹构件的失效判据.....	(341)
第五节 塑性区 线弹性断裂力学的塑性区修正.....	(342)

第三章 弹塑性断裂力学

第一节 裂纹张开位移.....	(343)
第二节 J 积分.....	(345)

第四章 处理裂纹扩展的断裂力学方法

第一节 疲劳载荷下的裂纹扩展.....	(346)
第二节 蠕变裂纹扩展.....	(348)
第三节 应力腐蚀裂纹扩展.....	(350)

第五章 断裂力学材料性能的获得

第一节 取样和试样.....	(351)
第二节 试验的进行及获得的信息.....	(352)
第三节 断裂性能的测定.....	(353)
第四节 裂纹扩展性能的测定.....	(361)

第六章 断裂力学应用中的一些问题

第一节 构件运行载荷及应力的确定.....	(367)
第二节 由缺陷检测结果建立断裂力学裂纹模型.....	(369)
第三节 断裂力学材料性能数据的选取.....	(371)
第四节 安全系数的选取.....	(372)
第五节 “鼓胀效应”的考虑.....	(372)

第七章 断裂力学在电力工业中的应用举例

第一节 衡量构件材料抗裂纹扩展, 抗断裂性能的指标.....	(373)
第二节 评价有缺陷构件的运行安全性, 预测使用寿命.....	(374)
第三节 用于构件材料的损伤事故分析.....	(381)
第四节 在制定构件无损检测缺陷评定标准方面的应用.....	(382)

第一篇 电站锅炉典型结构

第一章 电站锅炉设备

第一节 锅炉设备发展概况

1900年以前世界各国制造的锅炉的容量都很小，汽压很低，一般容量小于3吨/时，压力在15大气压，温度在300℃以下。

1900年以后电站锅炉主要是发展链条炉排的分联箱直水管锅炉，当时由于燃烧方式和设计上的原因以及冶金水平的限制，使锅炉容量受到限制，一般在30吨/时，压力在40大气压，温度在420℃以下。

1925年以后煤粉炉得到很大的发展，锅炉参数和容量有了很大的提高，1950年容量达到400吨/时，蒸汽参数达到64~125大气压，过热蒸汽温度达500~525℃。

五十年代到六十年代是电站锅炉飞速发展的黄金时代，锅炉和容量和蒸汽参数提高的很快。苏联、西德、美国在试验性超临界压力锅炉上选用的压力高达300~330大气压，蒸汽温度达650℃。以后，为了减少使用昂贵的奥氏体钢及提高机组的可靠性，亚临界级的蒸汽参数在汽轮机入口处压力稳定在160~170大气压，超临界级蒸汽参数在汽轮机入口处压力稳定在246大气压，汽轮机入口汽温从600℃降低到538~566℃，锅炉容量由五十年代的400吨/时（125MW）发展到六十年代末普遍提高到2000吨/时（600MW）。

在此期间，直流锅炉的比重增加，并且出现了多种型式的直流炉，在本生式直流炉的基础上发展成UP型直流炉，在苏尔寿直流炉的基础上发展成复合循环直流炉，在拉姆辛直流炉的基础上发展成螺旋管圈直流炉。

为了提高电站的热效率，早在二十年代中曾出现过的中间再热机组，到五十年代已普遍采用一次再热机组，甚至采用二次再热机组，但因二次再热机组的管道布置和启动系统均很复杂，到六十年代后期已基本不采用。

七十年代电站锅炉发展最主要是受动力燃料的改变和火电厂负荷性质的改变影响。自从1973年以来发生了两次石油危机，油价暴涨，不少国家采取了减少石油消耗和进口的措施，停建新的燃油机组，因而燃煤机组重新得到发展，由于大型燃煤锅炉可用率不高，大容量的锅炉的发展趋于停顿，蒸汽参数趋于稳定，亚临界压力汽包炉重新获得优势。

由于核电站比重增加，核电站和大容量火电机组带基本负荷，一部分300~400MW机组必须带中间负荷。在此期间在中间负荷机组的设计运行方面得到了很大进展，主要承压部件的寿命管理的研究也得到重视和发展。由于中间负荷机组要求锅炉能承受频繁启停，快速启停、低负荷的效率降低不多等特性。现在，对负荷的适应性能如何已成为评价机组的主要因素。直流炉的趋向是朝着螺旋管圈的方向发展，螺旋管圈能适应变压运行。

七十年代以来，环境保护的要求越来越高，旋风炉采用高温燃烧方式，会产生大量

NO_x污染大气，已基本淘汰。

在此期间，液态排渣炉在西德有了很大的发展，技术上也有了充分根据，是一个有发展的炉型，U型火焰的大型液态炉不仅煤种适应范围大，而且解决了占用灰场的难题，对于负荷适应性也优于一般干式煤粉炉，做为中间负荷机组非常合适。

八十年代以来，锅炉的容量和参数及结构变化较小，燃煤炉数量已占新建火电厂的绝对优势，即使是以燃油为主的日本近年来也积极研究大型燃煤炉的设计技术，建设大型燃煤电站，将燃油炉改造为燃煤炉的工作在不少国家取得了一定经验。

我国目前新建的大型火电厂锅炉容量一般是670吨/时（200MW机组）和1000吨/时（300MW机组）。国产2000吨/时锅炉（600MW机组）正处于设计制造阶段。进口600MW机组已在元宝山电厂运行。核电站正处于建设阶段。

第二节 锅炉的主要类型

一、参数和容量

锅炉的容量或额定蒸发量是指锅炉的最大连续蒸发量，常以每小时产生多少吨额定参数的蒸汽来表示；锅炉的参数主要是指锅炉过热器出口的蒸汽压力和温度。通常在设计时规定的这种蒸汽压力和温度称为额定蒸汽压力和额定蒸汽温度。对于中间再热锅炉，蒸汽参数还包括再热蒸汽压力和温度。

按照容量的大小，锅炉通常有大型、中型和小型之分，但它们之间没有严格的分界，而且随着锅炉容量日益加大，原来被称为大型和中型的锅炉，现在则被称为中型和小型锅炉了。一般来说，按照我国当前情况，大体上可以将200MW以上机组称为大型；50MW~100MW称为中型；50MW以下称为小型。

按照压力的高低，锅炉分为低压、中压、高压、超高压、亚临界和超临界等类型。

从本世纪五十年代开始。我国逐步建立和发展自己的锅炉制造工业，容量从小到大，参数从低到高，设计和生产了各种类型的锅炉，七十年代初，我们自己设计和生产了670吨/时具有中间再热的超高压锅炉，六五计划期间已成为我国的主要机组。我国还在七十年代初生产和投运了第一台国产1000吨/时亚临界压力的大型锅炉。

在工业发达的国家里，多年来已普遍采用1000吨/时以上的亚临界压力或超临界压力锅炉，有的锅炉最大容量超过4000吨/时。

表2—1中带括号的不推广采用。

1972年8月水利电力部和原第一机械工业部联合召开了电站设备予安排会，会上提出的“关于火力发电设备系列标准讨论纪要”中规定了蒸汽锅炉的基本参数试行标准，见表2—2。

注：1. 上海目前生产的配12.5万千瓦汽轮机的锅炉，出口蒸汽参数为140表大气压，555℃/555℃配30万千瓦汽轮机的锅炉，由第二台开始出口蒸汽参数为170表大气压，555℃/555℃（第一台出口蒸汽参数为170表大气压，570℃/570℃）。

2. 带括号的不推荐采用。

3. 表内不包括特殊需要的品种。

现有国家标准GB753—65规定的蒸汽锅炉参数系列。

表1—1

蒸汽压力 表大气压	蒸汽温度 ℃	额定蒸发量 吨/时	给水温度 ℃
5	饱和	0.05, 0.1, 0.2	20
8	饱和	0.4, 0.7, 1, 1.5, 2	20
13	饱和	1, 2, 3, 4, 6(6.5), 10, 20	20, 60, 105
	(250)	2, 4, 6, (6.5), 10, 20	
	300	2, 3, 4, 6, (6.5), 10, 20	
	350	6(6.5), 10	
25	饱和	1, 2, 4, 6(6.5), 10, 20	20, 60, 105
	400	1, 2, 4, 6(6.5), 10, 20	
39	450	20, 35, 65(75), 130(120), (240)	150, 170
100	540	220, 410	215
140	540/540	670	240

4. 其他均按GB753—65蒸汽锅炉参数系列国家标准。

二、电站常用燃料

电站常用燃料是指用来在锅炉内燃烧以取得热量供锅炉产生蒸汽的物质。电站常用燃料分为固体燃料——煤；液体燃料——油和气体燃料——天然气。上述燃料都是有机燃料。

我国历来以燃煤为主，只是在六十年代在大庆油田产油后，加以对石油经营量和生产能力缺乏科学论断，盲目的发展了一批燃油炉。按照我国当前及今后一个长期内的基本方针，动力工业不应以油作为燃料。

电站锅炉是耗用大量煤的动力设备，煤的性质对锅炉的安全经济运行关系很大，不同种类的煤要采用不同的燃烧方式和燃烧装置。

三、燃烧和排渣方式

按照燃烧和排渣的方式，锅炉可以分为很多类型，下面介绍几种电站常用类型。

1. 层燃炉

层燃炉又称篦炉，燃烧主要在炉篦上的燃料层内燃烧；目前这种燃烧方式主要用于工业锅炉，在电站中也还有少量仍在运行。

2. 室燃炉

燃料全部或主要在炉膛空间内悬浮燃烧。这种室燃炉是电站使用的主要炉型。燃烧煤粉的室燃炉通称为煤粉炉。煤粉炉又分为固态排渣炉和液态排渣炉。液态排渣

表2—2

蒸发量 吨/时		出口蒸汽压力					表大气压				
		5	8	13			25	39	100	140	
		压口蒸汽温度 ℃									
		饱和	饱和	饱和 (250)	300	350	饱和	400	450	540	540/540
0.05	△										
0.1	△										
0.2	△										
0.4		△									
0.7		△									
1		△	△				△	△			
1.5		△									
2		△	△	△	△		△	△			
3			△	△	△						
4			△	△	△		△	△			
6(6.5)			△	△	△	(△)	△	△			
10			△	△	△	(△)	△	△			
20			△	△	△		△	△	△		
35			△	△	△		△	△	△		
60									△		
130									△		
220										△	
410										△	
670										△	
400配12.5万千瓦机											
1000配30万千瓦机											
待定配60万千瓦机											

炉是在炉膛下部的四周水冷壁上敷耐火材料提高了炉膛下部的温度，使落到炉底的灰渣呈液态渣。炉底水冷壁为水平或稍倾斜布置。正常运行时炉底积有一层液态渣，液态渣通过渣孔流出。近年来这种炉型在西德有了很大改进与发展，使其煤种适用性广，由于新型液态排渣炉具有飞灰复燃装置，可以将飞灰全部变为液态渣，能节省贮灰场，以及能适应带低负荷和用来停机等优点，已引起电站运行部门的很大兴趣。

3. 旋风炉

旋风炉是采用旋风燃烧方式的燃煤粉的电站用蒸汽锅炉。它可分为卧式和外置立式两种，燃料和空气进入筒内产生高速旋转运动，其燃烧方式兼有悬浮式和层燃式燃烧的优点。由于在筒内壁敷有耐高温、耐冲刷的耐火涂料，筒内燃烧又十分强烈，故旋风筒内温度很高，筒壁附有一层耐态液，筒的最低处设有渣孔，供流渣之用。我国的旋风炉数量很少，目前电站使用的旋风炉有一些则兼生产磷肥或水泥，称为动力——工艺复合旋风炉。

4. 火炬——层燃炉

火炬——层燃炉又称撒播式锅炉，这种锅炉用空气吹送或机械播撒把煤抛入炉膛空

间，然后未烧完的大煤粒又落在炉篦上燃烧。实际上，煤的燃烧方式是：有些微小的煤屑完全在空间内燃烧；较大的颗粒可能在空间内着火然后落到炉篦上；更大的煤粒则落在炉篦上后才着火燃烧。

5. 沸腾燃烧锅炉

沸腾炉可分为常压沸腾炉和增压沸腾炉两种。它是采用层燃炉燃烧方式，但由于空气通过炉篦时的速度较高，煤粒和煤块在炉篦以及以上一段距离内处于象液体沸腾般的剧烈运动，并进行燃烧，这种炉型可以燃用劣质煤和低挥发份无烟煤。

四、工质在锅炉内流动方式

工质在锅炉的蒸发受热面中的流动有很多型式，通常按工质在蒸发受热面内的流动方式可将锅炉分为以下几种类型：

1. 自然循环锅炉

蒸发受热面为自然循环的锅炉称为自然循环锅炉，位于锅炉上的汽包可通过下降管不断地向水冷壁进口联箱供水。水冷壁内水吸热后产生部分蒸汽，在管内形成汽水混合物，由于水冷壁内水受热后形成汽水混合物，与下降管的水重度不同，重量压差使下降管和水冷壁内工质产生循环流动的推力，汽水混合物上升进入汽包，使工质不停地形成自然循环。

这种自然循环锅炉水冷壁出口汽水混合物的含汽率（按重量）大致在5~25%范围内（低参数、小容量的锅炉较小，高参数、大容量的锅炉大些）。由上述讨论可知，一定量的水，必须在汽包、下降管和水冷壁等所组成的回路内循环很多次才能全部蒸发。这种自然循环汽包炉是到目前为止应用最为普遍的炉型。一些国家的亚临界压力锅炉也采用这种炉型。

2. 多次强制循环汽包锅炉

在自然循环锅炉中，工质的循环流动是靠下降管与上升管内工质的重量压差所产生的循环推力来实现的。因此，在自然循环锅炉中必须尽量减少流动阻力，在设计布置上要使水冷壁受热均匀，避免角隅处水循环不良，同时水冷壁形状必须简单，尤其是水冷壁管要尽量垂直布置，这样才可以保证对水冷壁管的足够冷却。

从饱和水和饱和蒸汽性质表可以看出，随着锅炉压力的提高，水、汽之间的重度差愈来愈小，当工作压力高到16.67~17.65MPa时，有些人认为采用自然循环就不够可靠了。此外，随着压力的提高，趋向于采用管径较小的水冷壁管，管径小，流动阻力增大，自然循环更不可靠。多次强制循环汽包锅炉就是在下降管与水冷壁进口联箱之间串接专用的循环泵，这样就可以人为地控制锅炉中水和汽水混合物的流动，从而能可靠地保证水循环的安全性。这种在水循环回路中装有炉水循环泵的锅炉与自然循环锅炉蒸发受热面的汽水系统相似，其差别只是多了一台循环水泵，但是它给锅炉的结构和运行带来很大变化，水冷壁管的布置方式不再局限于垂直上升的唯一方式，布置上可以比较自由。在这种锅炉中，水冷壁出口工质的含汽率可达20~30%，循环倍率K在1.5~8之间，一般为4左右，故又称之为低循环倍率强制循环锅炉。这种锅炉在英、法等国应用很普遍，我国大港电厂引进的二台32万千瓦机组的1050吨/时锅炉和元宝山电厂苏尔寿947吨/时锅炉即属此种型式。

3. 直流锅炉

直流锅炉与汽包锅炉相比是它不用汽包，其特点是给水进入锅炉后，在锅炉内部不进行循环，而是在顺序流过省煤器、蒸发受热面和过热器等受热面的过程中，逐步完成水的加热、蒸发和蒸汽过热等阶段。由于工质的运动是依靠给水泵的压头来推动的，所以直流锅炉一切受热面中工质都为强制流动。直流锅炉的水冷壁管可以是直立、螺旋上升，甚至是上下曲折的。

无论是自然循环或强制循环汽包锅炉都只能用于临界压力以下，而直流锅炉内的工质压力既可低于临界，又可超临界。

直流锅炉由于不用汽包，又不采用或少用下降管，可节省钢材20~30%，制造工时约可减少20%，造价降低约25%，运输安装也比较方便。但它对炉水品质的要求非常严格，启动系统复杂，需要配备高度自动化的控制设备。

我国目前国产直流锅炉的最大容量为配30万千瓦机组的1000吨/时燃煤直流锅炉。元宝山发电厂也从国外引进了苏尔寿947t/h循环低倍率锅炉。

4. 复合循环直流锅炉

复合循环直流锅炉是美国燃烧工程公司60年代在瑞士苏尔寿直流锅炉的基础上发展起来的。这种炉型不仅主要用于超临界压力锅炉，还用于亚临界压力锅炉。

复合循环直流锅炉属于直流锅炉的一种新的型式。它的特点是在直流锅炉的省煤器出口与蒸发区入口之间加装一台再循环泵，使水冷壁出口的部分工质通过再循环泵与从省煤器来的给水混合后再进入水冷壁，或者先与给水混合后再通过再循环泵而进入水冷壁。在亚临界压力下使用的复合循环直流锅炉的水冷壁出口须装汽水分离器，使分离出来的水进行再循环；在超临界压力下使用时，不需要装汽水分离器就能实现部分工质的再循环。有的复合循环直流锅炉在低负荷时按再循环方式运行，高负荷时则按纯直流方式运行；有的复合循环直流锅炉在全负荷范围内都以再循环方式运行。

超临界压力复合循环直流锅炉在美、日等国得到广泛的应用。这是因为它与其他类型锅炉相比有着许多优点：

(a) 由于水冷壁系统流动阻力比一般直流炉约小0.98~1.96MPa，水冷壁流速可选用较低的数值；

(b) 水冷壁工作条件可得到显著的改善，再循环使水冷壁进口工质焓值升高，从而导致在整个水冷壁范围内，工质的温升及水冷壁管子温度的变化降低，这样，水冷壁管的温度应力就能维持在一个最低值上，相应地提高了安全性，在恶劣的工况下，例如启动、低负荷等，损坏的可能性就会降低；

(c) 启动流量低，启动系统的容量可按再循环泵的工作起始点考虑，相应地可减少投资和启动热损失；

(a) 锅炉的低负荷极限可降至10%左右；

(e) 由于重量流速可由再循环泵容量来保证，可避免采用过小直径的水冷壁管；

(f) 可在锅炉出力很低时启动汽机，可以不需要保护再热器的旁路系统；

(g) 由于锅炉启动时用炉水再循环来保证水冷壁内足够的重量流速，锅炉给水量只有最大蒸发量的5~10%，因而启动热损失很小，仅为一般直流锅炉的15~25%。

五、通风方式

锅炉运行时必须连续地把燃烧所需要的空气送入炉膛，并将燃烧后所生成的热烟气通过烟道不断引出，这一过程称为锅炉的通风过程。

1. 平衡通风方式

在锅炉风、烟系统中装有送风机和引风机，利用送风机所产生的压头克服从风道入口到进入炉膛全部风道阻力；从炉膛到烟囱出口的全部烟道阻力则由引风机来克服。这种通风方式要使炉膛压力略低于大气压，称为平衡通风方式。这种通风方式的优点既能有效地送入燃烧所需要的空气，又使锅炉的炉膛及全部烟道均处在合理的负压下运行。这种通风方式应用得极为普遍。

2. 微正压通风方式

在锅炉风、烟系统只装有送风机，利用其产生的压头克服全部风、烟道阻力，此时锅炉炉内压力高于外界大气压，大致相当于几百毫米水柱大气压，因而要求炉墙和门孔皆需保持严密，这种通风方式称之为微正压通风方式。其主要优点是炉膛和烟道内压力都高于大气压力，消除了漏风，提高了燃烧强度和锅炉效率。这种通风方式只适用于燃油和燃气锅炉。

第三节 锅炉汽包和水冷壁

一、概述

由汽包、下降管、水冷壁、联箱及其连接管路组成蒸发系统，此系统的作用是吸收炉膛内的热量，使水变成有一定压力的饱和蒸汽。

蒸发设备的组成如（图3-1）。此图系HG-220/100-1型锅炉蒸发系统。

从图中可以看出。给水先进入汽包1。经下降管2下联箱3进入水冷壁4。水在水冷壁内吸收炉内高温辐射热。部分汽化成饱和蒸汽。由于水冷壁中汽水混合物的重度较下降管中水的比重小。故汽水混合物上升。经上联箱6和引出管7进入汽包；与此同时。汽包中的水则不断经下降管流入水冷壁。这个系统称为自然循环的汽水回路。

二、汽包

汽包是由园柱筒和两端封头焊接而成的。是给水、蒸发系统和蒸汽系统的枢纽。自然循环和多次强制循环锅炉都要求装置汽包。汽包的尺寸及材料随锅炉容量、参数及内部装置型式和数量的不同而异。（表3-1）举出几种锅炉的汽包尺寸和材料。一般来说，容量较小。压力较低。内部装置型式简单时。可采用较小的内径和壁厚。

来自省煤器出口的给水进入汽包。并通过下降管将水送入水冷壁下联箱。水冷壁受热后产生的汽水混合物也回到汽包；汽包还装有各种型式的汽水分离装置；回到汽包内的汽水混合物经过汽水分离装置把蒸汽分离出来，经过清洗净化。将饱和蒸汽送入过热器。（如图3-2）目前国产和引进的各种参数的汽包锅炉。大都采用将省煤器来的给水引入汽包后。分成各为50%水量的两路。一路作为清洗用水。一路直接引入汽包水空间。高压以上参数的锅炉省煤器出口水温一般都设计成低于饱和温度。也就是说有欠热。例如：

HG670/140-Ⅰ型锅炉。其省煤器出口水温设计为266℃，而汽压工作压力下的饱和温度为350℃。欠热达84℃；苏联制造的ЕП670/140型锅炉。省煤器出口水温欠热为54℃；日立850t/h亚临界自然循环锅炉。省煤器出口水温欠热为72℃。有一定的欠热是允许的。但

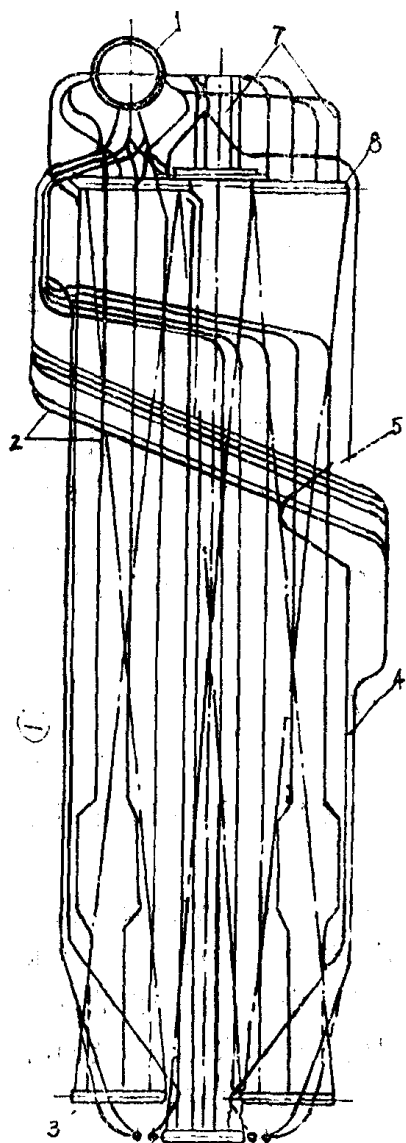


图3—1 HG—220/100—1型锅炉

1. 汽包, 2. 下降管, 3. 下联箱, 4. 上升管
5. 中间联箱, 6. 上联箱, 7. 引出管

久热太大也不好。在一般采用的汽包内给水分配方式下。会引起过大的蒸汽凝结量和旋风分离器的负荷。

在通常省煤器出口水进入汽包后的给水分配方式下。汽包内汽空间的汽包壁温与汽包工作压力下的饱和温度相适应, 水空间汽包壁温则并不是所有壁面都与汽包工作压力下的饱和温度相适应。这种给水方式使得水空间的汽包壁温与饱和温度存在不同差值。离给水部位越远的汽包壁部位, 其温度越接近饱和温度。反之。偏离饱和温度值越大。由于这种不均匀的汽包壁温度场。产生热应力。特别是高压超高压以上的厚壁汽包如果存在着汽包沿周向和轴向的壁温差。则将增大汽包的寿命消耗。特别是厚壁汽包。又是承担中间负荷的调峰锅炉。因为频繁启停和变动负荷。汽包壁大的温差值将大大增加汽包的热疲劳。加剧汽包的寿命消耗。这是因为在启停和变动负荷过程中要产生大的综合交变应力。这种应力越大, 变化幅度越大、变化频率越快, 则汽包寿命消耗越多。

以哈锅生产的HG670/140—Ⅰ型锅炉为例。该炉汽包上部内壁温度与降水口外汽包内壁温差在稳定工况下达 50°C 。超过了规程规定 40°C 的要求; 当高加停运时。该温差达 82°C ; 停高加作定压变负荷运行时, 该温差达 87°C ; 由变压改为正常参数运行时, 该温差达 64°C ; 校安全门时温差则达 97°C 。可见问题之严重。

为了解决上述问题, 水电部有关部门, 经过共同研究提出将进入水空间的50%给水直接注入降水管的方案。经过焦作发电厂、京西发电厂二个电厂的670时/时锅炉的改进证明, 将50%给水直接注入降水管, 使锅炉汽包壁温在正常运行工况和各种变工况运行时, 壁温始终比较均匀。最大壁温差不大于 5°C 。即使在停高加的恶劣运行工况下。省煤器出口水温与汽包压力相应的饱和蒸汽温度相差达 $132.5 \sim 140^{\circ}\text{C}$, 最大壁温差仍能保持不大于 5°C 。

由于将50%给水直接注入降水管。减少了蒸汽的凝结量。通过测试给水在降水管中凝结的蒸汽量比给水在汽包水空间凝结的蒸汽量减少21%使旋风分离器负荷降低, 在高负荷时, 也减少了对汽包水位的干扰。

因此, 凡汽包内给水方式有50%给水进入汽包水空间的自然循环或亚临界多次强制循

进。即使即将引进生产的国产亚临界300MW和600MW汽包炉。虽然这二种锅炉在汽包内装有夹层罩。但由于汽包底壁仍不能被罩住，会受到欠热水沉底、贴边流动的影响，使汽包壁温差较大，限制其对变工况运行的适应性，也可考虑予以改进。

三、降水管

自然循环和多次强制循环锅炉都在汽包上装有降水管。降水管的作用是把汽包内的水连续不断地送往下联箱。然后再分送入各水冷壁管。以维持蒸发系统的正常水循环。降水管的结构、截面大小和降水情况，都直接影响到锅炉正常水循环的可靠性。

降水管分为分散降水管和集中降水管两种。过去中小容量锅炉都采用小直径分散降水管。其直径一般为 $\phi 108 \sim 159$ 毫米。阻力较大。对自然水循环不利。现代大型锅炉，为了减少阻力，简化布置，大都采用大直径降水管。称为集中降水管。其直径一般为 $\phi 325 \sim 426$ 毫米；也有的锅炉集中降水管的直径很大，如日立850吨/时亚临界自然循环汽包炉。降水管只有4根，2根从汽包底部引出。2根从汽包两端封头引出。其外径为 $\phi 635$ mm。

四、水冷壁

悬浮燃烧的锅炉，在燃烧室内都布满水冷壁。过去中小型自然循环锅炉的水冷壁都是单根垂直向上布置的。并用上下联箱分成若干独立的循环回路。这些管子除去吸收燃烧室内的辐射热。完成工质的加热蒸发过程，组成蒸发系统的一个主要部件外，还起到保护炉墙的作用。现代大型锅炉则采用膜式水冷壁。此外根据燃烧方式和燃烧煤种的要求。采用带有销钉的水冷壁。因此，水冷壁就其型式可分为管式、销钉式和鳍片式水冷壁三种。

1. 光管式水冷壁

光管式水冷壁由单根无缝钢管制成，布于燃烧室四周。其布置情况与炉墙的关系如图3-3所示。

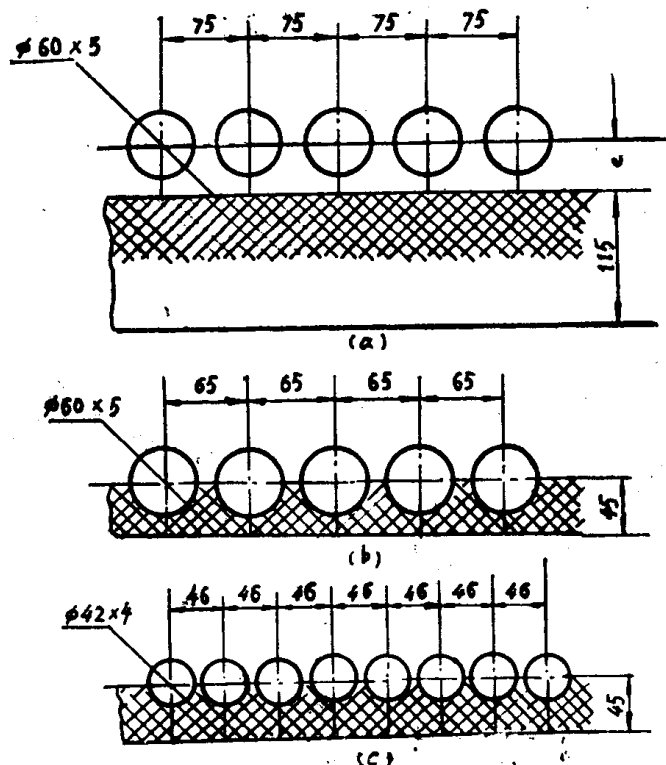


图3-3 光管水冷壁在炉墙上的布置
(a) 重型炉墙 (b) 敷管式炉墙 (c) 小管径水冷壁敷管式炉墙

2. 销钉式水冷壁

在光管水冷壁的向火侧管壁上焊上用短圆钢棍作成的销钉，这种水冷壁称为销钉式水冷壁。其结构如（图 3—4）所示。

采用销钉式水冷壁的目的是用于液态排渣炉和旋风炉的熔渣室。以及当常规煤粉炉燃用难于点火或稳燃的煤种时。在燃烧器区域加装卫燃带之用。

在销钉上敷设耐火涂料。以提高熔渣室或燃烧器区域的温度。以保证流渣顺利或煤粉着火和稳定燃烧。销钉还起到冷却耐火塑料，保持耐火塑料的热稳定性。延长耐火塑料使用寿命的作用，当采用液态排渣炉或旋风炉时，还起到保护水冷壁免受高温腐蚀的作用。

由于销钉处于炽热的高温区。我国过去的采用的销钉尺寸和销钉密度系数都不能保证销钉对耐火涂料的冷却和使用寿命。据西德资料介绍，现代大型液态排渣炉熔渣室内的销钉直径为10~12毫米。每平方米焊销钉2500~3000个；其销钉密度系数 f_{rd} 一般为0.22~0.30最大的 f_{rd} 达到0.5以上。

销钉材料是采用几种不同型号的铝铬硅耐热钢，因此碳化硅耐火涂料的使用寿命可达1.6~2万小时。销钉寿命可达10万小时。我国制造的销钉式水冷壁。用于液态排渣炉或旋风炉熔渣室的销钉密度系数较小。而且都采用碳钢。因此，耐火涂料寿命一般只有几千小时，而且销钉也常烧坏。

3. 鳍片管式水冷壁

现代大型锅炉已广泛采用带鳍片的水冷壁管。组成膜式水冷壁。其 S/D 为1.3~1.35 鳍片水冷壁管分为两种，一种为轧制鳍片管，一种为扁钢焊接的鳍片管如（图 3—5）所示。

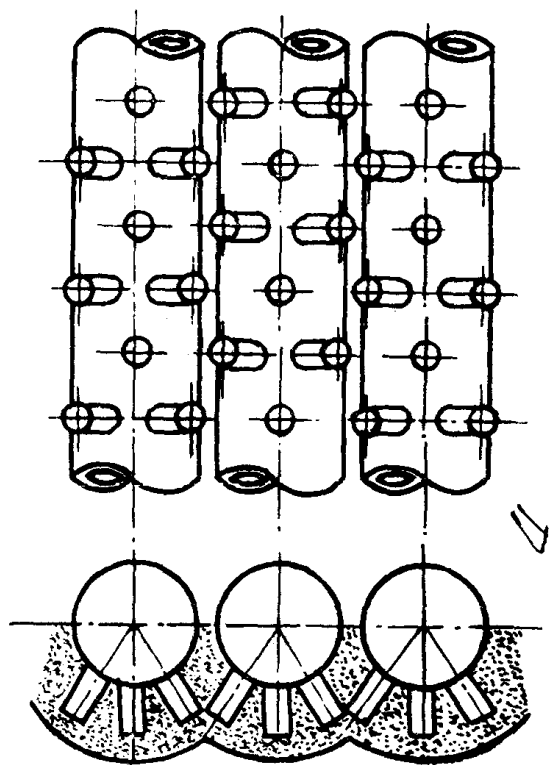


图 3—4 销钉式水冷壁的结构

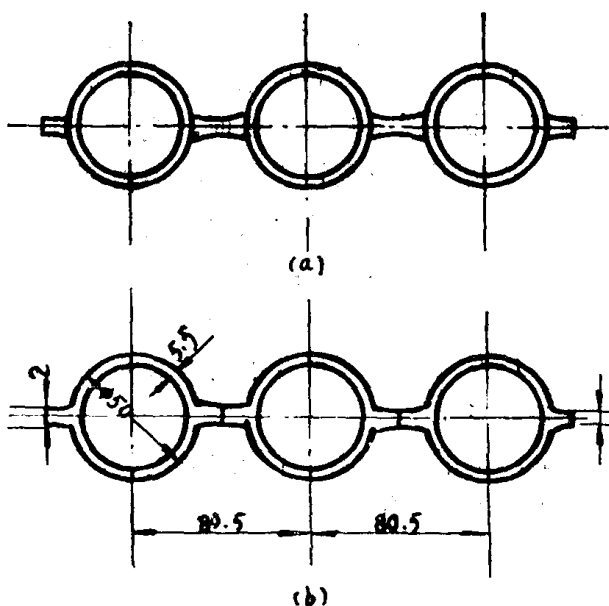


图 3—5 膜式水冷壁的结构型式
(a) 扁钢焊接鳍片管 (b) 轧制鳍片管