

火电厂安全生产系列读本



锅炉设备 事件及预防

浙江能嘉兴发电有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

火电厂安全生产系列读本



锅炉设备 事件及预防

浙江浙能嘉兴发电有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了总结多年来火力发电厂在运行方面及锅炉、汽轮机、电气、热控、外围设备相关的事件,对产生的问题进行分析及预防,提高我国火力发电企业的安全生产水平,中国电力出版社特约浙江浙能嘉兴发电有限公司相关技术人员编制了《火电厂安全生产系列读本》。本系列读本是结合火力发电厂在300、600、1000MW机组实际运行中发生的事件及火力发电厂系统情况编写而成。

《锅炉设备事件及预防》是本丛书之一,全书共分8章,主要内容包括锅炉整体布置、锅炉本体事件及预防、制粉系统事件及预防、风烟系统事件及预防、除灰系统事件及预防、除渣系统事件及预防、脱硫系统事件及预防。

本书可供火力发电厂新、老员工培训学习,也可供设计、安装、试验调试相关人员借鉴,并可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉设备事件及预防/浙江浙能嘉兴发电有限公司
编. —北京:中国电力出版社,2015.3
(火电厂安全生产系列读本)
ISBN 978-7-5123-5715-0

I. ①锅… II. ①浙… III. ①火电厂-电厂锅炉-事故预防 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 060237 号

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http://www. cepp, sgcc. com. cn](http://www.cepp,sgcc.com.cn))
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 8.75 印张 230 千字
印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《火电厂安全生产系列读本》

编 委 会

主任委员 戚国水

副主任委员 倪 震 刘为民 沈寿延 张建龙
陈小飞

顾 问 卢建明 王 毅 徐绍平

委 员 董 磊 王亨海 刘宏芳 戴中林
郭向健

丛书主编 吴孚辉

本册编写人员

主 编 钱晓峰

副 主 编 朱明秋 陈恒中

编写人员 程 暄 周何敏 白路镇 余涤清
梅光云 戴立军 吴忠泉 张 震
张 越 虞华生 毛志坚 许 超



安全生产是火力发电企业的重中之重，事关企业从业人员的人身安全和设备财产安全。坚持贯彻“安全第一，预防为主，综合治理”的方针，是火力发电企业安全可靠稳定运行，以及取得经济效益、社会效益和可持续发展的根本保证。

浙江浙能嘉兴发电有限公司（简称浙能嘉电公司）管理和运行维护的机组占浙江省能源集团有限公司总装机容量的近 1/4，且机组类型多，安全管理工作一直是浙能嘉电公司工作的重要内容。自建厂以来，浙能嘉电公司始终坚持“四不放过”的原则，对每一起不安全事件均进行认真分析并采取有效的防范措施，避免不安全事件的重复发生，取得了较好的经济效益和社会效益。近几年来，随着火力发电装机容量的不断增加，机组向更大容量、更高参数和高度自动化方向发展，大量的新系统、新设备、新技术、新材料投入使用，而发电企业员工新老交替问题突出，一批批新员工走向工作岗位，大量的外来检修人员缺乏安全经验和职业技能，这些人员都迫切需要通过提高安全意识，加强理论学习、技能训练和实践经验的积累，以切实保障安全生产；同时需要通过案例来提高各级生产人员防范不安全事件的能力，坚决杜绝事故的发生。

浙能嘉电公司各级生产管理人员结合专业特点，借助本单位及行业内历年来发生的不安全事件的教训，编辑了本套

系列读本，其中的案例均来自生产实际，具有较强的针对性和实用性。安全生产，永无止境。编写人员结合专业特点和个人工作经验，把事件与预防的经验毫无保留地奉献给广大读者，旨在抛砖引玉，为火力发电企业和广大读者提供借鉴。

浙能嘉电公司编写的这套系列读本，专业全面，分析、预防措施有一定深度，涵盖了锅炉、汽轮机、电气、热控、机组运行及外围的化学水处理、燃料、除灰、脱硫、脱硝等专业。本套系列读本是对浙能嘉电公司多年来安全管理及不安全事件进行科学总结和提炼的结果，也是浙能嘉电公司在实践安全生产标准化基础上的又一成果。

相信本套系列读本的出版，一定会给读者带来启发、借鉴和提高。

浙江浙能嘉兴发电有限公司董事长



2014 年 12 月



前言

火力发电（火电）占我国发电装机容量的近 80%，火力发电机组的安全可靠运行对电网的稳定运行起着重大的作用。然而由于火电机组在设计、选型、安装、调试、运行、维护、检修、改造等过程中存在一些隐患，对机组的安全可靠运行带来一些风险，风险没能及时化解就会产生火电机组、系统或设备的不安全事件，不安全事件轻则损坏设备或停运局部系统，重则损坏主要设备、全厂停电等，对企业和社会造成损失。为此，安全生产过程中控制并化解不安全事件是一项优先考虑的任务，火电机组安全生产始终处于“可控、在控”的状态是每个火力发电企业的不懈追求。

浙能嘉电公司，拥有 2 台国产引进型 300MW 机组，运行维护着 4 台 600MW 机组和 2 台 1000MW 超超临界机组，从 1995 年 2 台 300MW 机组建成投产以来，就非常重视对机组、系统或设备上发生的不安全事件的分析，每年年底对全年不安全事件进行汇编，印发供相关人员学习。前事不忘，后事之师。通过学习和反思，举一反三，认真吸取教训，防止类似不安全情况的再次发生。这些分析汇总为本系列读本的编写提供了丰富而有力的素材，也使不安全事件的学习和借鉴更有针对性和实用性。

本系列读本分《汽轮机设备事件及预防》《锅炉设备事件

及预防》《电气设备事件及预防》《热控设备事件及预防》《火电厂外围设备事件及预防》《运行事件及预防》六册；为了有利于学习，每分册均对火力发电的相关设备作了简要介绍，重点对不安全事件的经过、原因及措施进行分析，同时结合实际案例来提高读者对不安全事件的认识和防范。

本系列读本专业分布全面、条理清晰、分析到位、案例实际，有利于广大生产运行人员学习、借鉴和提高。本系列读本可供火电厂新、老员工培训，也可供设计、安装、试验调试相关人员借鉴，并可供大专院校相关专业师生参考。

本系列读本的编写者均是火力发电厂生产一线的专业带头人、技术人员、管理人员和公司级专家等，他们根据设备情况、操作经验，以及检修、运行中的历年不安全事件的经验教训，学习并借鉴了一些同类火力发电厂的不安全事件，查找了一些资料，使本系列读本达到学习和借鉴的有机结合，为读者提高安全生产意识、防范不安全事件的发生具有很好的指导作用。

本分册为《锅炉设备事件及预防》，主要包括制粉系统、风烟系统、除灰系统等内容。本书由钱晓峰主编，朱明秋、陈恒中副主编，程暄、周何敏、白路镇、余涤清、梅光云、戴立军、吴忠泉、张震、张越、虞华生、毛志坚、许超等参加编写。

在本系列读本的编写过程中，得到了浙能集团公司的大力支持，得到了有关领导和专家的悉心指导和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有所疏漏，恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 12 月



目 录

序

前言

第一章 概述	1
第二章 锅炉整体布置	13
第三章 锅炉本体事件及预防	25
第一节 锅炉本体系统流程、功能及主要设备配置情况	25
第二节 电厂锅炉本体事故案例、原因分析及预防	26
第三节 锅炉元件的故障及预防	40
第四节 锅炉承压部件典型事故与预防	49
第五节 锅炉吹灰系统典型事故与预防	54
第六节 锅炉燃烧系统典型事故与预防	61
第七节 锅炉燃油系统典型事故与预防	72
第八节 锅炉汽水系统阀门典型事故与预防	77
第九节 锅炉本体事故案例分析	90
第四章 制粉系统事件及预防	106
第一节 制粉系统流程、功能及主要设备配置情况	106
第二节 给煤机设备典型事故与预防	107
第三节 HP 型磨煤机设备典型事故与预防	110
第四节 制粉系统事故案例分析	122

第五章 风烟系统事件及预防	127
第一节 风烟系统流程、功能及主要设备配置情况.....	127
第二节 风机设备典型事故与预防.....	130
第三节 空气预热器设备典型事故与预防.....	152
第四节 烟风道设备典型事故及预防.....	162
第五节 风烟系统事故案例分析.....	168
第六章 除灰系统事件及预防	179
第一节 除灰系统流程、功能及主要设备配置情况.....	179
第二节 电除尘器及其附属设备典型事故与预防.....	180
第三节 灰库设备典型事故与预防.....	189
第七章 除渣系统事件及预防	197
第一节 链式捞渣机系统流程、功能及主要设备 配置情况.....	197
第二节 捞渣机及其附属设备典型事故与预防.....	198
第三节 水浸渣斗式系统流程、功能及主要设备 配置情况.....	202
第四节 渣斗及其附属设备典型事故与预防.....	203
第八章 脱硫系统事件及预防	206
第一节 湿法脱硫系统流程、功能及主要设备 配置情况.....	206
第二节 脱硫烟气系统设备典型事故与预防.....	210
第三节 脱硫剂制备系统设备典型事故与预防.....	213
第四节 吸收塔系统设备典型事故与预防.....	218
第五节 石膏脱水及储存系统设备典型事故与预防.....	244
第六节 废水处理及公用系统设备典型事故与预防.....	255
第七节 管道及容器腐蚀、堵塞事故与预防.....	260
参考文献	269



第一章

概 述

一、锅炉的构成及工作过程

电厂锅炉是一种为汽轮发电机组提供合格蒸汽的设备，它通过煤、油或天然气等燃料的燃烧释放出化学能，并通过传热过程将能量传递给水，产生规定参数（温度、压力）和品质的蒸汽，再通过汽轮发电机组转换为电能。锅炉是火力发电厂的三大主要设备之一。

（一）锅炉的构成

锅炉由锅炉本体和辅助设备组成，是进行燃料燃烧、烟气向工质传热、工质受热汽化三种过程的综合装置。

锅炉本体是锅炉的主要组成部分，由燃烧系统和汽水系统两大部分组成。锅炉燃烧系统由炉膛、烟道（水平烟道和垂直烟道）、燃烧器、空气预热器等组成，其主要作用是使燃料在炉内良好燃烧，放出热量。锅炉汽水系统由省煤器、汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器、再热器等组成，其主要任务是有效吸收燃料放出的热量，使锅水蒸发并形成具有一定温度和压力的过热蒸汽。此外，锅炉本体还包括连接管道、炉墙和构架。连接管道用于烟道与风道的连接，炉墙用来构成封闭的炉膛和烟道，构架用来支承和悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等。

锅炉的辅助设备主要包括燃料供应设备（系统）、制粉设备、通风设备、水处理及给水设备、除尘除灰出渣设备、脱硫设备、

脱硝设备、仪表及自动控制设备等。

(1) 燃料供应设备。燃料供应设备主要包括燃料装卸和运输机械等，其主要作用是将燃料由储煤场送到锅炉房。

(2) 制粉设备。制粉设备主要包括原煤斗、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机及煤粉输送管道等，其主要作用是将原煤干燥并磨制成合格的煤粉。

(3) 通风设备。通风设备主要包括送风机、引风机、烟道、风道和烟囱等，其主要作用是提供燃料燃烧和煤粉干燥所需的空气，并将燃烧生成的烟气排出炉外。

(4) 水处理及给水设备。水处理及给水设备由水处理设备、给水泵和给水管路组成，其主要作用是防止锅炉水汽系统结垢、积盐和腐蚀，可靠地向炉内提供符合标准品质、安全的给水。

(5) 除尘除灰出渣设备。除尘除灰出渣设备的主要任务是清除烟气中的飞灰和燃料燃烧后的灰渣。

(6) 脱硫设备。脱硫设备的主要任务去除烟气中的二氧化硫，减少污染排放。

(7) 脱硝设备。脱硝设备的主要任务是去除烟气中的 NO_x ，减少污染排放。

(8) 仪表及自动控制设备。仪表及自动控制设备主要包括热工测量仪表、自动控制设备、工业电视及计算机技术的应用等，主要作用是测量和控制汽、水、烟等工质的各项参数，维持电厂锅炉的安全高效运行。

(二) 锅炉的工作过程

锅炉内部的过程比较复杂。以图 1-1 所示具有中间再热、配直吹式制粉系统的煤粉锅炉为例来说明锅炉的工作过程。

原煤斗 1 中的煤靠自重落下，经过给煤机 2 进入磨煤机 3 中。煤在磨煤机中被由空气预热器 23 来的热风干燥，磨制成合格的煤粉。通过排粉风机 4 经燃烧器 5，煤粉被喷入炉膛 8 的空间中燃烧放热，燃烧产生的高温火焰和烟气在炉膛 8 和烟道中。以不同的换热方式依次将热量传递给水冷壁 9（辐射换热）、屏

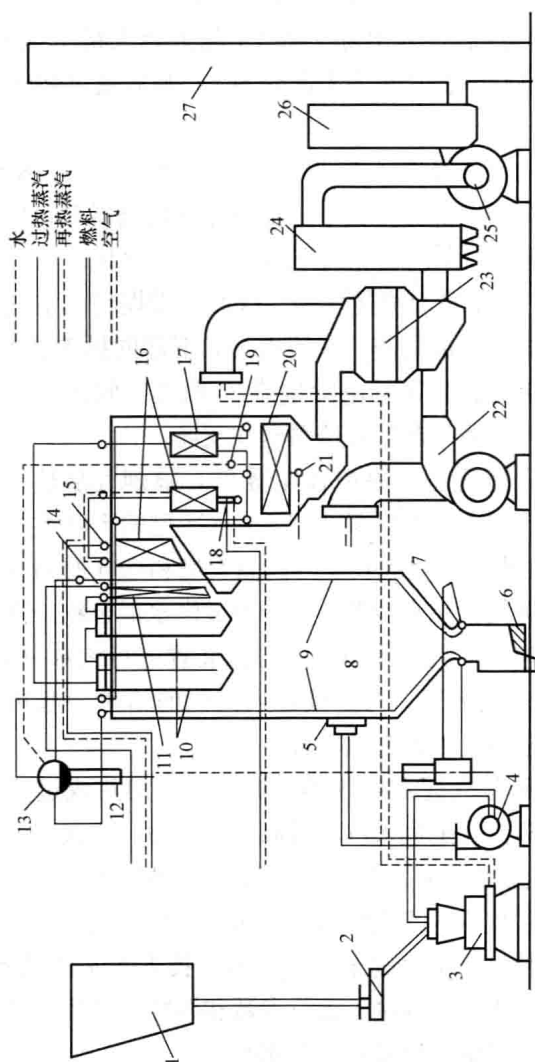


图 1-1 电厂锅炉设备及工作过程示意图

1—原煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—排粉风机；5—燃烧器；6—排渣装置；7—下联箱；8—炉膛；9—水冷壁；10—屏式过热器；11—高温过热器；12—下降管；13—汽包；14—过热器出口联箱；15—再热器出口联箱；16—再热器；17—低温过热器；18—再热器进口联箱；19—省煤器进口联箱；20—省煤器；21—省煤器进出口联箱；22—送风机；23—空气预热器；24—电除尘器；25—引风机；26—脱硫装置；27—烟囱



式过热器 10（半辐射、半对流换热）、高温过热器 11（对流换热）、再热器 16（对流换热）、低温过热器 17（对流换热）、省煤器 20（对流换热）和空气预热器 23（对流换热）。烟气离开锅炉时，温度已经较低，然后进入电除尘器 24 除去绝大部分灰粒，经引风机 25 进入脱硫装置 26 除去大部分 SO_2 ，最后通过烟囱 27 排至大气中。

燃料燃烧需要的空气经送风机 22 送入空气预热器 23，被烟气加热成热空气后分成两部分，其中一部分通过燃烧器 5 直接送入炉膛 8。主要起混合、强化燃烧的作用，称为二次风。另一部分进入磨煤机 3，用于干燥和输送煤粉。这股携带煤粉的空气称为一次风。燃料燃烧后生成灰渣，灰渣由炉膛下部的排渣装置 6 排出，较细的飞灰由烟道尾部的电除尘器 24 收集，收集的干灰可以综合利用，也可与渣一起经灰渣泵送往灰场。

给水经给水泵升压后送入锅炉省煤器 20，被烟气加热，然后进入汽包 13。汽包里的水沿下降管 12 至水冷壁的下联箱 7 再进入水冷壁 9。水在水冷壁中吸收炉内高温火焰和烟气的辐射热量，部分水变成水蒸气，在水冷壁管子中形成汽水混合物。汽水混合物向上流入汽包，在汽包中由汽水分离装置进行汽水分离。分离出来的水留在汽包下部，与连续送入汽包的给水一起再下降，又进入水冷壁吸热，形成自然循环。

而分离出的饱和蒸汽进入过热器，被进一步加热成过热蒸汽。过热蒸汽经过蒸汽管道进入汽轮机高压缸做功，蒸汽在汽轮机高压缸做功后，温度、压力都下降，又引回锅炉再热器 16，再次加热达到规定参数后送往汽轮机的中压缸继续做功。

现代电厂锅炉是一个十分复杂、具有高度技术水平的设备，各部分的组成取决于锅炉的容量、蒸汽参数和燃料的性质，也取决于工作的可靠性、经济性以及自动化水平。

二、锅炉的容量、参数与分类

（一）锅炉容量

锅炉容量或额定蒸发量，是指锅炉在额定蒸汽参数、额定给



水温度和使用设计燃料，并保证热效率时的最大连续蒸发量，常以每小时供应蒸汽的吨数来表示。

(二) 锅炉的蒸汽参数

锅炉的蒸汽参数是指锅炉过热器和再热器出口的额定蒸汽压力和额定蒸汽温度。

额定蒸汽压力是指蒸汽锅炉在规定的给水压力和规定的负荷范围内长期连续运行时应保证的过热器和再热器出口的蒸汽压力。

额定蒸汽温度是指蒸汽锅炉在规定的负荷范围内、额定蒸汽压力和额定给水温度下长期运行所必须保证的过热器和再热器出口的蒸汽温度。

中国电厂锅炉的蒸汽参数及容量情况见表 1-1。

表 1-1 中国电厂锅炉的蒸汽参数及容量

参 数			最大连续蒸发量 (t/h)	发电功率 (MW)
主蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)	给水温度 (℃)		
2.5	400	105	20	3
3.9	450	145~155	35/65	6/12
3.9	450	165~175	130	25
9.9	540	205~225	220/410	50/100
13.8	540/540	220~250	420/670	125/200
16.8	540/540	250~280	1025	300
17.5	540/540	260~290	1025/2008	300/600
25.4	571/569	282	1913	600
27.5	605/603	298	2950	1000

(三) 给水温度

锅炉的给水温度是指省煤器进口的给水温度，无省煤器时即指锅筒进水温度。



(四) 锅炉的分类

按用途可以分为工业锅炉、船舶锅炉和电厂锅炉。

按蒸汽压力可以分为低压锅炉（出口蒸汽表压 $\leq 2.45\text{MPa}$ ），中压锅炉（表压 $2.94 \sim 4.90\text{MPa}$ ），高压锅炉（表压 $7.84 \sim 10.8\text{MPa}$ ），超高压锅炉（表压 $11.8 \sim 14.7\text{MPa}$ ），亚临界压力锅炉（表压 $15.7 \sim 19.6\text{MPa}$ ），超临界压力锅炉（表压高于 $24.0 \sim 28.0\text{MPa}$ ），超超临界机组（表压达到 28.0MPa 以上或主蒸汽温度和再热蒸汽温度为 593°C 及以上）。

按燃料种类可以分为燃煤锅炉、燃油锅炉和燃气锅炉等。

按燃烧方式可以分为火床炉、室燃炉、旋风炉、流化床炉等。目前，电厂锅炉以燃烧煤粉为主，称为室燃炉。

按工质在蒸发受热面中的流动方式可以分为自然循环锅炉和强制流动锅炉两大类。强制流动锅炉可以进一步分为控制循环锅炉和直流锅炉。

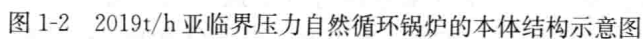
三、锅炉的基本型式

电厂锅炉蒸发受热面内工质流动方式存在差异，因而其循环方式不同，可以分为自然循环锅炉、强制循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉等，本节主要介绍电厂锅炉中常用的自然循环锅炉和直流锅炉。

(一) 自然循环锅炉

自然循环锅炉中，汽水主要依靠下降管中的水和上升管中汽水混合物的密度差产生的压头而循环流动。锅炉的工作压力越低，密度差越大，循环越可靠。在高压、超高压锅炉中，只要适当地设计锅炉的循环回路，汽水循环是很可靠的。甚至到了亚临界压力时，虽然汽包中压力已达到 18.5MPa 左右，水和蒸汽的密度差已经很小。但只要按照炉内热负荷的分布规律合理地设计循环回路，仍然可以采用自然循环。2019t/h 亚临界压力自循环锅炉的本体结构示意图如图 1-2 所示。

该锅炉为亚临界自然循环锅炉，单炉膛对冲燃烧，配低氮型 DX 旋流分级燃烧器。采用一次中间再热，水浸式捞渣机除渣和



正压气力除灰系统。制粉系统为中速碗式磨煤机一次风正压直吹式制粉系统。燃烧器前后墙对冲布置共 36 只, 前后墙各 3 排, 每排 6 只, 垂直错列布置, 设计燃料为烟煤。