

POWER PLANT BOILER HANDBOOK

胡荫平 主编

电站锅炉手册

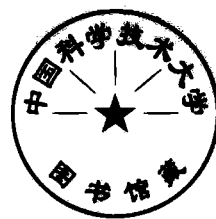


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电站锅炉手册

POWER PLANT BOILER HANDBOOK

胡荫平 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 简 介

本手册以单机容量 300MW 及以上火力发电机组配套锅炉为主,介绍了锅炉及其辅助设备的结构、运行、调试、清洁燃烧、自动控制及环境保护等方面的内容,简要介绍了锅炉的热力计算、水动力计算、空气动力计算、强度计算、金属壁温计算、设备及管道保温厚度计算和制粉系统计算,并用较大的篇幅介绍了洁净煤技术,烟气脱硫、脱硝工艺等,以突出本书的先进性。

本手册以实用为编写宗旨,避开繁琐的理论公式、经验公式推导过程,提供了较丰富的图表及公式,以方便读者查阅。

本手册可供从事电站锅炉设计、制造、运行、调试、检修工作的工程技术人员和工程管理人员查阅和参考,对相关专业的大专院校师生也有较高的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

电站锅炉手册/胡荫平主编. —北京:中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2648-2

I. 电... II. 胡... III. 火电厂-锅炉-手册
IV. TM621.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 112454 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>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

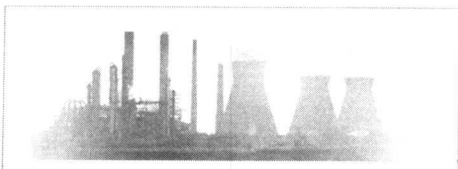
2005 年 4 月第一版 2005 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 66.5 印张 1808 千字
印数 0001—3000 册 定价 125.00 元

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)

《电站锅炉手册》作者名单

章序	作者
第一章 锅炉的分类及结构	胡荫平
第二章 锅炉的主要受热面	潘效军 胡荫平
第三章 燃料与燃烧计算	陈柏军
第四章 煤粉制备及其系统	陈柏军 赵仲琥
第五章 燃烧方式及燃烧设备	胡荫平 徐有宁
第六章 锅炉的整体设计布置	胡荫平
第七章 锅炉水处理	潘春生
第八章 汽水品质及其控制措施	周云龙
第九章 锅炉辅助设备	沙宏明
第十章 锅炉构架	胡荫平
第十一章 炉墙与管道保温	梁国喜 李兆国 刘春山
第十二章 锅炉热力计算	潘效军
第十三章 通风设备与通风阻力计算	赵宝珠 李敬
第十四章 锅炉水动力学	周云龙
第十五章 受热面热偏差及金属壁温计算	张成恩
第十六章 强度计算	刘东明
第十七章 环境保护	胡荫平
第十八章 锅炉运行与维护	王元
第十九章 锅炉性能试验	刘东明
第二十章 锅炉的自动控制	张玉铎



序 言

改革开放以来,我国电力工业得到快速发展,1996年以来我国发电量和装机容量一直位居世界第二位。

截至2003年底,全国发电装机容量已达到38500万kW,其中煤电机组占全部装机容量的74%;全国发电量达到1.89万亿kW·h,其中火力发电量占全国发电量的82.9%。

近年来安装的机组以300MW、600MW机组为主。这些机组既有从世界各国引进的设备,又有由国内厂家按引进技术制造的设备,种类和型式很多,运行特性各异。这既为我们消化、掌握和转化先进技术创造了条件,又迫使我们不断提高设计、制造、安装、运行、检修和管理水平。此外,电力的发展如何与环境保护相协调,更成为重要课题。目前经过广大科技工作者的努力,已取得不少成果。但是,介绍这些内容的材料散布在众多的杂志、报刊和书籍中,查找费时、费力。目前,人们迫切需要综合反映火电机组运行、检修和管理的书籍。《电站锅炉手册》正是为适应这一需求而面世的。

《电站锅炉手册》是全面反映火电机组中的重要组成部分——电站锅炉的大型专业工具书。本人认为其具有以下特点:

一是范围广。全书涵盖了锅炉及辅助设备的设计、运行、调试和自动控制各个方面,对锅炉设备运行中易出现的问题和解决办法也作了简要介绍。

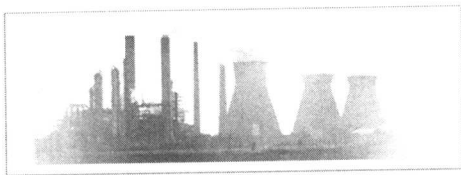
二是内容新。本书收集了大量大型电站锅炉资料,特别是近年来全国各电厂引进的国外大型锅炉的资料。书中收录了近年来国内外研制的各种燃烧器,介绍了它们的结构和运行特性,收集了国内外多种脱硫、脱硝的技术资料;对发展较快的洁净煤技术,以及对粉煤灰综合利用、噪声治理等环保技术都作了详细介绍。

三是适用性强。书中列出了大量图表、数据,对理论只作简要说明,便于读者查阅和使用。

据本人所知,本手册是由沈阳工程学院、东北电力学院、辽宁省电力有限公司、辽宁电力科学研究院、华能东北电力公司、东北火电建设第一公司和西安热工研究院有限公司的多位专家、教授合作编写的。编写队伍中的各位专家从事电力专业工作多年,有丰富的实践经验和理论知识。为了给从事电站锅炉科研、设计、安装、调试、检修、运行的工程技术人员和从事环境保护的科技工作者提供一本较好的科技书,他们团结拼搏,历时两年多,克服了许多困难,终于将一部高质量的科技书奉献给读者。

罗 捷

2004年9月



前 言

单机容量为 300 ~ 600MW 的发电机组已成为我国电网的主力机组。在这些大机组中,既有国内按引进技术生产的 300MW、600MW 机组,也有从国外引进的各种机组,它们的型号繁多,结构不同,性能各异。为了解和掌握这些机组的特性,提高运行、维护和管理水平,我国科技工作者付出了艰辛的劳动并取得了丰硕的成果,为我国电力工业的发展做出了卓越的贡献。但是,介绍这些成果的文献散布于各种杂志、书籍及论文集中,查找十分不便,目前急需一本以介绍大机组运行、维护工作为主的综合性手册。由沈阳工程学院、东北电力学院、辽宁省电力有限公司、辽宁电力科学研究院、华能东北电力公司、东北火电建设第一公司、西安热工研究院有限公司有关专家和技术人员编写了本书,希望能对我国的锅炉工作者有所裨益。

在编写过程中,作者力图体现下述指导思想:

一是实用性。书中汇集了大量数据、公式和图表,便于读者查阅。公式不作推导,但说明其适用范围,并采用了法定计量单位。

二是全面性。既要反映各种类型锅炉及附属设备有关设计、结构、运行、自动控制等方面的内容,又要介绍我国锅炉工作者的新成就和国外的先进技术。国家或行业颁布的标准则为本书脱稿时的最新版本。

三是先进性。书中介绍了锅炉技术发展的新动态以及煤炭气化、整体煤气化联合循环发电、燃料电池、流化床锅炉等先进的洁净煤技术,还以较大篇幅介绍了烟气除尘、脱硫脱硝、温室气体减排、噪声控制及粉煤灰综合利用技术。

全书共二十章,由胡荫平任主编。参加编写工作的有沈阳工程学院(原沈阳电力高等专科学校)胡荫平、潘效军、张成恩、赵宝珠、李敬、徐有宁,东北电力学院周云龙、张玉铎,辽宁省电力有限公司陈柏军、沙宏明,辽宁电力科学研究院刘东明、潘春生,国电东北公司王元,东北火电建设第一公司梁国喜、李兆国、刘春山,西安热工研究院有限公司赵仲琥等。具体写作分工见附表。

本手册在编写过程中,得到国家燃烧工程中心张经武,辽宁省电力有限公司李云普、张宏兆,辽宁电力科学研究院张永兴、张春苒、冷杰,沈阳工程学院张铁岩、李智、施庆明、王树群等同志的大力支持和帮助。在此,编者对他们致以衷心的感谢。

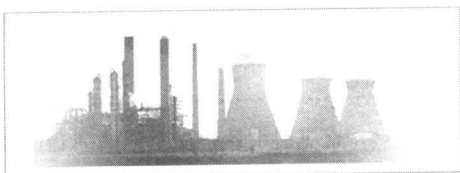
本书由原华北电管局总工程师罗挺同志主审。罗挺同志对编写大纲提出了十分宝贵的建议,又对书稿进行了认真细致的审阅,提出了许多中肯的修改意见和建议,使本书增色不少。在此,作者对罗挺同志表示衷心的感谢。

最后要说明的是,本手册吸纳了国内众多锅炉专业工作者的科技成果,对参考文献中列出的作者和其他相关人员,编者致以深深的谢意。

由于本书内容涉及面广,受编者水平限制,错误之处在所难免,敬请各位同仁批评指正。

作者

2004 年 8 月



目 录

序言

前言

第一章 锅炉的分类及结构	1
第一节 锅炉的构成及分类	1
一、锅炉的工作原理(1); 二、锅炉的基本构成(2); 三、锅炉的分类(2)	
第二节 锅炉的参数、型号及技术经济指标	4
一、锅炉参数(4); 二、锅炉型号(6); 三、锅炉技术经济指标(7)	
第三节 蒸发受热面内的工质流动方式	8
一、自然循环(8); 二、控制循环(9); 三、直流锅炉(9); 四、复合循环(9)	
第四节 自然循环锅炉的结构	13
一、中压自然循环锅炉(13); 二、高压自然循环锅炉(14); 三、超高压自然循环锅炉(16); 四、亚临界压力自然循环锅炉(20)	
第五节 控制循环锅炉的结构	31
一、300MW 控制循环锅炉(31); 二、600MW 控制循环锅炉(34)	
第六节 直流锅炉的结构	38
一、直流锅炉管屏的基本型式(38); 二、国产 300MW 亚临界压力直流锅炉(41); 三、924t/h 苏尔寿亚临界压力直流锅炉(42); 四、德国 1898t/h 亚临界压力直流锅炉(43); 五、1900t/h 超临界压力直流锅炉(44); 六、800MW 超临界压力直流锅炉(45); 七、4218t/h 超临界压力直流锅炉(47)	
第七节 复合循环锅炉的结构	47
一、苏尔寿 947t/h 低循环倍率塔式锅炉(48); 二、捷克 1650t/h 低循环倍率塔式锅炉(49); 三、亚临界压力部分负荷复合循环锅炉(50); 四、超临界压力部分负荷复合循环锅炉(51)	
第八节 电站锅炉的发展趋势	52
一、容量和参数(52); 二、变压运行超临界压力锅炉(54); 三、燃烧技术(54); 四、受热面结构(54); 五、金属材料(54); 六、可靠性技术(55); 七、洁净煤电发电技术(55)	
参考文献	57
第二章 锅炉的主要受热面	58
第一节 蒸发受热面	58
一、自然循环锅炉的蒸发受热面(58); 二、强制循环锅炉的水冷壁(62)	
第二节 过热器和再热器	65
一、对过热器和再热器的要求(65); 二、对流过(再)热器(66); 三、屏式过热器(69); 四、壁式过(再)热器(71); 五、顶棚过热器和包覆管过热器(73)	
第三节 汽温特性与蒸汽温度调节方法	74

一、汽温特性(74);二、汽温调节的基本要求(74);三、蒸汽侧调温方法(75);四、烟气侧调温方法(78)

第四节 省煤器 83

一、省煤器的作用及种类(83);二、钢管式省煤器(83);三、省煤器设计中应考虑的问题(85);四、省煤器的启动保护(89)

第五节 空气预热器 90

一、概述(90);二、管式空气预热器(90);三、回转式空气预热器(95);四、热管式空气预热器(111)

第六节 过热器和再热器的积灰与腐蚀 112

一、过热器与再热器的高温积灰(112);二、烟气侧的高温腐蚀(112);三、防止高温积灰与腐蚀的措施(114)

第七节 低温受热面的积灰、磨损和腐蚀 115

一、低温受热面的积灰及其防止措施(115);二、低温受热面的飞灰磨损及其防止措施(116);三、尾部受热面的低温腐蚀(124)

参考文献 129

第三章 燃料与燃烧计算 130

第一节 燃料及其成分 130

一、燃料(130);二、燃料成分(130);三、燃料的成分基准及其换算(131)

第二节 燃料的某些特性 132

一、燃料的发热量(132);二、煤的着火及燃烧特性(135);三、煤灰的特性(140)

第三节 燃料分类 141

一、固体燃料(141);二、液体燃料(145);三、气体燃料(146)

第四节 燃料燃烧所需空气量计算 147

第五节 燃烧产物计算 147

一、完全燃烧时的燃烧产物 ($\alpha \geq 1$) (148);二、不完全燃烧时的燃烧产物 ($\alpha < 1$) (149);三、烟气分析(150)

第六节 锅炉热平衡计算 153

一、热平衡基本概念(153);二、锅炉输入热量(153);三、锅炉有效利用热量(154);四、各项热损失(155);五、锅炉效率 η_b (157);六、锅炉热效率试验(157)

第七节 国外热平衡计算方法简介 158

一、日本三菱公司计算锅炉热效率的方法(158);二、ASME PTC 4.1 (159)

参考文献 160

第四章 煤粉制备及其系统 161

第一节 煤的磨制特性 161

一、煤的可磨性系数(161);二、煤的磨损指数(161);三、煤粉特性(162)

第二节 磨煤机的分类和制粉系统的类型 164

一、磨煤机的分类(164);二、制粉系统的类型(167);三、磨煤机和制粉系统的选择(171)

第三节 磨煤机的结构和性能参数计算 172

一、钢球磨煤机的结构和性能参数计算(172);二、中速磨煤机的结构和性能参数计算(183);三、风扇式磨煤机的结构和性能参数计算(194)

第四节 制粉系统的其他部件 202

一、原煤仓(202);二、煤粉仓(203);三、给煤机(204);四、输粉机(208);五、给粉机(209);六、

粗粉分离器(209);七、细粉分离器(214);八、锁气器(215);九、煤粉分配器(217);十、煤粉混合器(218);十一、节流元件(220);十二、制粉系统的风机(220)	
第五节 制粉系统的热力计算	222
一、干燥剂量的计算(222);二、干燥剂初温的计算(224);三、干燥剂组成成分的计算(228);四、干燥剂终温的确定(231);五、制粉系统末端干燥剂含湿量及露点计算(232);六、煤粉与一次风混合物温度的计算(233)	
第六节 制粉系统的空气动力计算	234
一、管道的阻力计算(235);二、制粉系统部件的阻力计算(243);三、制粉系统的阻力计算(245)	
参考文献	247
第五章 燃烧方式及燃烧设备	248
第一节 炉膛	248
一、对炉膛的要求(248);二、炉膛热负荷(248);三、炉膛尺寸(254);四、对燃烧器布置的要求(256);五、炉膛的运行异常(258)	
第二节 传统煤粉燃烧器	260
一、燃烧器的分类(260);二、旋流燃烧器(261);三、直流燃烧器(270)	
第三节 低 NO_x 燃烧器	284
一、概述(284);二、空气分级燃烧(291);三、燃料分级燃烧(310);四、烟气再循环(313);五、浓淡燃烧(313)	
第四节 低质煤燃烧器	319
一、煤粉气流的着火(320);二、浓淡燃烧器(322);三、钝体燃烧器(342);四、船形燃烧器(347);五、大速差射流型燃烧器(349);六、偏置射流型燃烧器(352);七、夹心风燃烧器(353);八、预燃室燃烧器(354);九、W型火焰燃烧技术(358)	
第五节 液态排渣炉和旋风炉	366
一、液态排渣炉(366);二、旋风炉(368);三、液态排渣炉和旋风炉的特殊问题(370)	
第六节 流化床燃烧	371
一、概述(371);二、典型的循环流化床锅炉(374);三、循环流化床锅炉的主要部件(380);四、增压循环流化床联合循环(PFBC-CC)发电技术(384)	
第七节 燃气炉与燃油炉	389
一、燃烧室的结构特点(389);二、气体燃料燃烧特点(389);三、气体燃烧器(390);四、油的燃烧特点(391);五、油燃烧器(392);六、油掺水燃烧(399)	
第八节 水煤浆的燃烧	401
一、水煤浆(CWM)的种类和用途(401);二、水煤浆的特性(401);三、水煤浆喷嘴(405);四、水煤浆调风器(407);五、燃油锅炉改烧水煤浆(409)	
第九节 点火装置	409
一、带煤粉预热室的点火装置(410);二、采用过渡燃料的点火装置(410);三、煤粉直接点火技术(411)	
参考文献	413
第六章 锅炉的整体设计布置	417
第一节 影响锅炉整体布置的因素	417
一、参数对整体布置的影响(417);二、锅炉容量对整体布置的影响(418);三、燃料性质对受热面布置的影响(418)	

第二节 锅炉整体布置方案	418
一、倒U型布置(418)；二、T型布置(419)；三、塔型布置(419)；四、箱型布置(419)；五、N型和M型布置(420)	
第三节 有关锅炉本体设计的几个问题	420
一、锅炉介质温度的选择(420)；二、过热器及再热器系统(421)；三、尾部受热面的布置(425)	
参考文献	427

第七章 锅炉水处理 428

第一节 概述	428
一、水处理对火力发电厂安全经济运行的影响(428)；二、水中杂质的分类及相应的处理方法(428)	
第二节 锅炉补给水预处理——混凝、澄清和过滤	429
一、预沉淀和混凝(429)；二、影响混凝效果的因素(429)；三、常用的混凝剂和絮凝剂(429)；四、混凝剂溶液的制备和投加(429)；五、混凝澄清及其设备(430)；六、水的过滤(432)	
第三节 离子交换水处理	434
一、离子交换软化水处理(435)；二、离子交换除盐水处理(435)；三、水的膜处理和膜技术与离子交换的联合应用(438)	
参考文献	439

第八章 汽水品质及其控制措施 440

第一节 蒸汽品质及蒸汽污染的原因	440
一、蒸汽品质指标(440)；二、蒸汽污染原因及影响因素(440)；三、提高蒸汽品质的途径(442)	
第二节 汽包及其内部装置	442
一、汽包的作用及结构(442)；二、汽水分离装置(444)；三、分段蒸发(448)；四、蒸汽清洗(450)；五、给水管、排污管、加药管和事故放水管(450)；六、汽包内部装置的组合(451)	
第三节 锅内结垢及腐蚀	452
一、锅内水垢的形成及其分类(452)；二、锅内水垢的危害及其防止(453)；三、腐蚀的形成及其分类(453)；四、锅内腐蚀及其防止(453)	
第四节 锅炉的水质指标	455
一、水质指标(455)；二、电站锅炉的水质指标(456)	
第五节 锅内水处理	457
一、电站锅炉的锅内水处理(457)；二、锅炉排污(457)	
参考文献	459

第九章 锅炉辅助设备 460

第一节 水位表	460
一、双色水位计(460)；二、电接点水位计(460)；三、汽包水位精确性分析(462)；四、差压式低地位水位计(463)	
第二节 水位保护装置和水位调节器	464
第三节 锅炉水再循环泵	465
一、无轴封型锅炉水循环泵主要结构(466)；二、泵的冷却系统(468)	
第四节 锅炉阀门	469
一、概述(469)；二、闸阀(477)；三、截止阀(479)；四、锅炉水循环泵出口阀(482)；五、调节阀(482)；六、电动排汽阀(483)；七、安全阀(485)	

第五节 吹灰器	491
一、吹灰器结构(492); 二、吹灰器布置及系统(496); 三、吹灰器运行(497)	
第六节 除渣设备	498
一、除渣方式(498); 二、碎渣设备(501)	
参考文献	501
第十章 锅炉构架	503
第一节 锅炉构架的类型	503
一、框架式构架 (503); 二、桁架式构架(504)	
第二节 柱和梁的结构	505
一、柱的结构(506); 二、梁的结构(506); 三、连接方式(506)	
第三节 刚性梁	510
一、刚性梁的最大间距(510); 二、连接结构(511); 三、刚性梁的典型结构(511)	
参考文献	513
第十一章 炉墙与管道保温	514
第一节 炉墙与管道保温结构	514
一、炉墙的性能要求(514); 二、炉墙分类(514); 三、锅炉炉墙结构(514); 四、设备与管道保温(519)	
第二节 炉墙材料	522
一、锅炉耐火材料(522); 二、保温材料(529); 三、填充及密封材料(533); 四、防护材料(533)	
第三节 炉墙传热和管道保温计算	535
一、经济厚度计算方法(535); 二、表面温度法(539); 三、复合材料保温层厚度计算(539); 四、允许热损失法(540); 五、表面温度的计算(541)	
参考文献	541
第十二章 锅炉热力计算	542
第一节 概述	542
一、热力计算的任务(542); 二、热力计算的方法与顺序(542)	
第二节 炉膛热力计算	545
一、炉膛几何尺寸的计算(545); 二、炉膛传热计算的基本方程(547); 三、我国常用的炉膛换热计算方法(550); 四、欧美国家的几种热力计算方法(554)	
第三节 对流受热面的热力计算	557
一、基本方程(557); 二、传热系数(558); 三、传热温压(578)	
参考文献	582
第十三章 通风设备与通风阻力计算	583
第一节 通风计算的基本原理和计算公式	583
一、通风计算的目的(583); 二、流动阻力(583); 三、自生通风(584); 四、烟、风道的全压降(585)	
第二节 锅炉烟气侧流动阻力计算	586
一、沿程摩擦阻力计算(586); 二、局部阻力计算(590); 三、横向冲刷管束阻力计算(596); 四、烟道的全压降(602)	
第三节 锅炉空气侧阻力计算	605
一、冷风道(605); 二、空气预热器(605); 三、热风道(606); 四、燃烧设备(606); 五、自生通风	

(606); 六、风道全压降(606)

第四节 烟囱..... 607

一、大气的稳定度(607); 二、污染物的最大落地浓度(609); 三、烟囱排出的污染物质(611); 四、烟囱高度及出口风速(611)

第五节 送、引风机 613

一、风机的基本知识(613); 二、轴流式风机的结构特性(616); 三、轴流送风机的运行和调节(617); 四、离心式风机(619); 五、风机的选择(620)

参考文献 622

第十四章 锅炉水动力学..... 623

第一节 水动力计算的基础知识 623

一、管组和区段的划分(623); 二、吸热量的分配(626); 三、流动特性参数(631); 四、管段内压降的计算(634); 五、蒸发管内传热恶化工况的计算(654)

第二节 自然循环锅炉水动力计算..... 659

一、循环回路计算方法(659); 二、水循环可靠性校核(660); 三、提高循环可靠性的方法(663)

第三节 直流锅炉水动力学 664

一、水平布置蒸发受热面中的水动力特性(664); 二、垂直布置蒸发受热面中的水动力特性(666); 三、蒸发受热面中的脉动现象(669); 四、蒸发受热面中的热偏差(670)

第四节 控制循环锅炉水动力学 671

第五节 传热恶化及其防止措施 673

一、传热恶化现象(673); 二、传热恶化校验及其防止措施(673)

参考文献 676

第十五章 受热面热偏差及金属壁温计算 677

第一节 基本计算公式 677

一、热偏差系数计算公式(677); 二、炉内受热管子金属壁温计算公式(677);

第二节 流量不均匀系数 681

一、管组的平均阻力系数(681); 二、并联各管长度的影响(681); 三、并联各管内径或所用材料的影响(682); 四、联箱内压力变化的影响(682); 五、吸热不均匀的影响(683); 六、总流量不均匀系数(683)

第三节 热力不均匀系数 685

一、水冷壁的热力不均匀系数(685); 二、对流烟道中管组沿宽度的热力不均匀系数(686)

第四节 同屏(片)各管受热面积的不均匀性 686

一、炉膛火焰或管组前后烟气容积的影响(686); 二、管屏间烟气容积的影响(687); 三、同屏(片)各管长度偏差的影响(687)

第五节 过热器和再热器的热偏差计算 688

一、屏式过热器和屏式再热器的热偏差计算(688); 二、高温对流过热器和再热器的热偏差计算(689); 三、低温对流过热器和再热器的热偏差计算(690)

第六节 减小热偏差的方法 690

第七节 过热器和再热器的壁温计算 691

一、计算点及校验线的确定(691); 二、计算点的蒸汽温度 t (691); 三、校验线上烟气的平均温度 θ (692); 四、计算点的热负荷 q_0 (693); 五、计算点的最大热负荷 $q_{\max}$ (694); 六、均流系数 $\bar{\mu}$ (696)

第八节 水冷壁管的壁温计算 697

一、光管水冷壁的壁温计算(697);二、膜式水冷壁的壁温计算(698)

参考文献	702
------------	-----

第十六章 强度计算 703

第一节 锅炉常用的金属材料	703
---------------------	-----

一、过热器和蒸汽管道用钢(703);二、水冷壁管和省煤器管用钢(703);三、汽包及联箱用钢(704)

第二节 锅炉元件的许用应力	704
---------------------	-----

第三节 锅炉元件的计算壁温	706
---------------------	-----

第四节 锅炉元件的计算压力	708
---------------------	-----

第五节 锅炉圆筒形元件上孔排及焊缝的减弱	708
----------------------------	-----

一、锅炉圆筒形元件的孔桥减弱系数(708);二、锅炉圆筒形元件的焊缝减弱系数(709);三、锅炉圆筒形元件的最小减弱系数(710)

第六节 锅炉圆筒形元件的附加壁厚	711
------------------------	-----

第七节 锅炉主要受压元件的强度计算	711
-------------------------	-----

一、汽包筒体的强度计算(711);二、圆筒形联箱筒体的强度计算(712);三、管子和锅炉范围管道的强度计算(713);四、凸形封头的强度计算(715);五、平端盖的强度计算(716);六、平端头和盖板的强度计算(717);七、孔的加强计算(717)

第八节 锅炉元件的强度计算方法	719
-----------------------	-----

一、设计计算(720);二、校核计算(720)

第九节 锅炉受压元件的低周疲劳分析方法	720
---------------------------	-----

一、ASME 的疲劳分析方法(720);二、TRD 的疲劳分析方法(721);三、PTM 的疲劳分析方法(722)

第十节 锅炉受压元件剩余寿命估算方法	722
--------------------------	-----

一、以蠕变为主要失效方式的部件(722);二、以疲劳为主要失效方式的部件(723);三、疲劳-蠕变交互作用下的部件(723)

参考文献	723
------------	-----

第十七章 环境保护 724

第一节 污染物排放标准	724
-------------------	-----

一、环境空气质量标准及大气污染物排放标准(724);二、水环境质量和污水排放标准(731);三、土壤环境质量和标准(738);四、噪声标准(739);五、车间空气中生产性粉尘的最高容许浓度(740);六、国外有关环境保护的标准(741);七、排放单位换算(742)

第二节 烟气除尘	742
----------------	-----

一、烟尘的性质(743);二、烟尘的危害(746);三、除尘器的分类(747);四、除尘器的性能指标(747);五、湿式除尘器(750);六、电除尘器(756);七、过滤式除尘器(769);八、除尘器的选择(776)

第三节 火电厂的脱硫技术	778
--------------------	-----

一、我国火电厂燃煤硫分及 SO_2 排放(778);二、 SO_2 的危害(780);三、脱硫技术的分类(782);四、烟气脱硫剂(784);五、烟气脱硫技术的综合评价(785);六、燃烧中脱硫——炉内喷脱硫剂脱硫(789);七、湿式烟气脱硫技术(796);八、半干式烟气脱硫技术(824);九、干式烟气脱硫技术(831)

第四节 烟气脱硝技术	842
------------------	-----

一、选择性催化还原法(843);二、选择性非催化还原法(845);三、非选择性催化还原法(846);四、湿法烟气脱硝(847)

第五节 同时脱硫脱硝技术	847
--------------------	-----

一、电子束辐射技术(847);二、脉冲电晕技术(853);三、活性炭脱硫脱硝技术(854);四、其他同时脱硫脱硝技术(857)

第六节 二氧化碳的减排与综合利用 861

一、温室气体和温室效应(861);二、减排 CO₂ 的措施(863);三、CO₂ 的储存(863);四、CO₂ 的综合利用(864);五、CO₂ 的捕集(864)

第七节 其他的洁净煤技术 864

一、煤炭洗选(865);二、型煤(867);三、煤炭气化(867);四、整体煤气化联合循环发电技术(IGCC)(880);五、燃料电池(FC)(889)

第八节 粉煤灰的综合利用 895

一、概述(895);二、粉煤灰的化学特性(895);三、粉煤灰的物理特性(895);四、粉煤灰的结构特征(899);五、粉煤灰标准(900);六、粉煤灰的分级方法(901);七、粉煤灰在建材行业中的应用(905);八、粉煤灰在建筑工程中的应用(907);九、粉煤灰在农业、水产方面的应用(907);十、粉煤灰的精细利用(909)

第九节 噪声控制技术 911

一、基本概念(911);二、噪声的危害(912);三、火电厂的主要噪声源及治理原则(912);四、磨煤机的噪声控制(914);五、风机的噪声控制(915);六、锅炉炉膛振动和噪声的控制(917);七、空气预热器振动和噪声控制(918);八、消声器(919)

参考文献 924

第十八章 锅炉运行与维护 928

第一节 锅炉的启动与停止 928

一、单元制自然循环锅炉的滑参数启动(928);二、母管制自然循环锅炉的启动与停止(935);三、控制循环锅炉的启动(939);四、超临界压力锅炉的启动(946)

第二节 锅炉的运行调节 946

一、汽包锅炉的运行调节(947);二、直流锅炉的运行调节(959)

第三节 锅炉的维护与保养 961

一、湿法保养(962);二、干法和充气法保养(963);三、热法保养(964);四、采用除湿机保养(964);

第四节 锅炉的酸洗与碱煮 965

一、概述(965);二、锅炉进行化学清洗的必要性和依据(965);三、锅炉化学清洗药剂的分类(966);四、化学清洗的工艺(970);五、化学清洗的系统(976)

参考文献 977

第十九章 锅炉性能试验 978

第一节 试验导则 978

一、锅炉的热平衡系统(978);二、试验条件(978)

第二节 输入—输出热量法锅炉热效率试验 980

一、测量内容(980);二、输入—输出热量法锅炉热效率计算(980)

第三节 热损失法热效率试验 983

一、测量内容(983);二、热损失法锅炉热效率计算(983)

第四节 锅炉热效率计算 987

一、简化热效率的计算(987);二、换算到保证条件下的锅炉热效率(987)

第五节 测试方法 987

一、测点布置(987);二、温度测量(990);三、压力测量(992);四、流量测量(993);五、烟气成分分

析(995); 六、灰渣取样分析(996); 七、燃料取样分析(997); 八、灰平衡测试方法(997)	
第六节 误差分析方法	998
一、输入—输出热量法热效率试验的误差分析(998); 二、热损失法热效率试验的误差分析(999)	
参考文献	1000
第二十章 锅炉的自动控制	1001
第一节 分散控制系统简介	1001
一、分散控制系统的结构(1001); 二、分散控制系统的硬件(1002); 三、分散控制系统的软件(1003);	
四、分散控制系统的发展趋势(1003)	
第二节 模拟量控制系统	1004
一、单元机组协调控制系统(1004); 二、燃烧控制系统(1013); 三、汽包锅炉给水控制系统(1018);	
四、汽包锅炉蒸汽温度控制系统(1022); 五、直流锅炉控制系统(1025)	
第三节 顺序控制系统	1027
一、可编程序控制器简介(1027); 二、顺序控制的分级控制(1028); 三、顺序控制的典型逻辑图	
(1029); 四、功能组控制举例(1033); 五、顺序控制设计和运行中要注意的几个问题(1033)	
第四节 炉膛安全监控系统	1034
一、炉膛安全监控系统的功能(1035); 二、炉膛安全监控系统的构成(1035); 三、火焰检测(1036);	
四、燃料安全系统(1040); 五、燃烧器控制系统(1043)	
参考文献	1047

第一章 锅炉的分类及结构

第一节 锅炉的构成及分类

锅炉是利用燃料燃烧释放的热能或其他热能将工质（水或其他流体）加热到一定参数的换热设备。绝大部分锅炉用于加热水使之转变为蒸汽，故有时也将锅炉称为蒸汽发生器。

一、锅炉的工作原理

图 1-1 所示是一台燃用煤粉的自然循环电站锅炉。煤经给煤机 17 送入磨煤机 16，磨制好的煤粉由一次风机 15 排出的空气携带，经过燃烧器 1 送入炉膛 18 燃烧。炉内燃烧产物有高温烟气、细小的飞灰和体积较大的灰渣，灰渣落入炉底被排渣装置 14 排出，携带飞灰的高温烟气在炉膛中对水冷壁进行辐射放热后，顺序流经过热器 3、再热器 6、省煤器 7 和空气预热器 8，与这些受热面中的工质进行热交换，在除尘器 11 中除掉飞灰，再通过脱硫脱硝装置 10，除去烟气中所含的硫氧化物和氮氧化物，最后由引风机 9 排入烟囱。在空气预热器之前，部分烟气被再循环风机 13 抽出，送入炉膛底部作再循环，用来调节炉内火焰中心的位置和过热汽温。

冷风由送风机 12 压入空气预热器 8，从空气预热器出来的热空气分成两股，一股进入磨煤机（一次风），另一股直接经燃烧器送入炉膛（二次风）。

锅炉的汽水流程为：水泵输送来的高压给水进入省煤器 7，在其中加热后进入汽包 5，和汽包内的锅炉水混合后流过下降管 4，再进入水冷壁 2，在水冷壁中受热形成汽水混合物上升到汽包内，在汽包中进行汽、水分离，水再流往下降管，而蒸汽则进入过热器 3 中加热，最后送入汽轮机的高压缸。高压缸的排汽重新回到锅炉，在再热器 6 中被加热后送入汽轮机的中压缸。

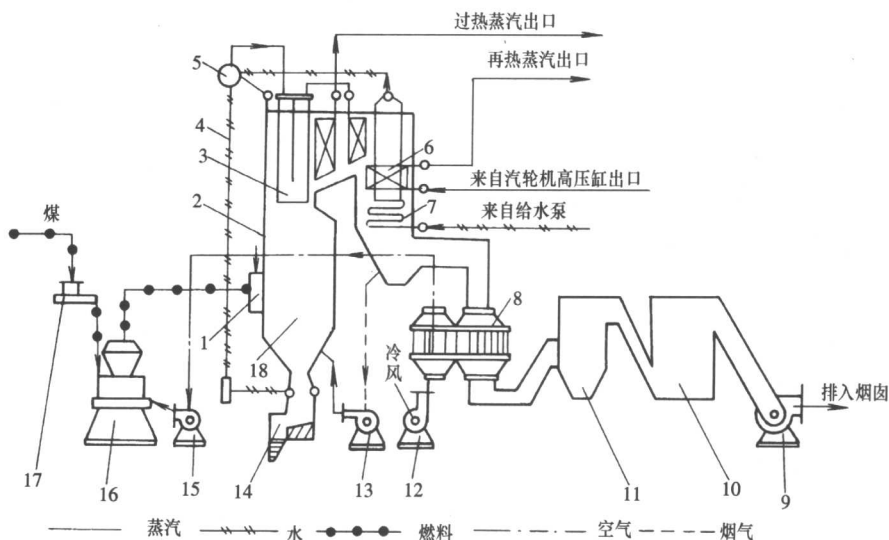


图 1-1 煤粉锅炉及其辅机工作流程图

- 1—燃烧器；2—水冷壁；3—过热器；4—下降管；5—汽包；6—再热器；7—省煤器；8—空气预热器；9—引风机；10—脱硫脱硝装置；11—除尘器；12—送风机；13—再循环风机；14—排渣装置；15—一次风机；16—磨煤机；17—给煤机；18—炉膛

二、锅炉的基本构成

锅炉由“锅”和“炉”两大部分构成。锅是容纳水和蒸汽的承压受热部件，炉是燃料燃烧的场 所，它们之间的分界面是受热面。布置在炉膛内的受热面如水冷壁，以吸收火焰和高温烟气的辐射放热为主，称之为辐射受热面；而布置在炉膛出口以后烟道中的受热面如省煤器，以吸收烟气的对流换热为主，称之为对流受热面。布置对流受热面的烟道称为对流烟道。

显然，汽包、除空气预热器之外的所有受热面、联箱以及它们之间的连接管道（包括阀门），是锅的组成部分，燃烧设备和炉膛是炉的组成部分。通常把水和蒸汽的流动、吸热、热化学反应等称为锅内过程，把燃料的燃烧、放热、排渣称为炉内过程，而在受热面上发生的烟气侧腐蚀、磨损和积灰等过程称为锅炉外部过程。

由炉膛、燃烧器、出渣设备、汽包、受热面、炉墙、构架等组成的整体称为锅炉本体。而由锅炉本体、自动控制设备与测量仪表、吹灰器、除尘器，以及制粉设备、送风机、引风机等辅助机械，和锅炉范围内烟、风、燃料、水、汽等管道及其附属设备组成的整套装置，则称之为锅炉机组。

三、锅炉的分类

锅炉的分类方法很多，每一种分类方法都反映了锅炉的某一方面的特征，所以每一台锅炉都可在任何一种分类方式中找到自己的确切位置。

（一）按用途分类

锅炉可分为电站锅炉、工业锅炉、船舶锅炉和机车锅炉。

（二）按工质种类及其输出状态分类

锅炉有蒸汽锅炉、热水锅炉、特种工质锅炉之分。

（三）按锅炉本体结构分类

锅炉有火管锅炉、水管锅炉、铸铁锅炉等。

（四）按循环方式分类

锅炉可分为自然循环锅炉、控制循环锅炉（也称为辅助循环锅炉）、直流锅炉和复合循环锅炉四种。

（五）按主蒸汽出口压力分类

锅炉按主蒸汽压力可分为低压锅炉、中压锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界压力锅炉、超临界压力锅炉和高效超临界压力锅炉，如表 1-1 所示。

表 1-1 按主蒸汽压力对锅炉分类

主蒸汽出口压力（MPa）	锅 炉 类 型	适 用 对 象
≤2.45	低压锅炉	工业锅炉
2.49 ~ 4.9	中压锅炉	工业锅炉、电站锅炉
5.9 ~ 9.8	高压锅炉	电站锅炉
11.8 ~ 14.7	超高压锅炉	
15.7 ~ 19.6	亚临界压力锅炉	
22.0 ~ 26.0	超临界压力锅炉	
≥28.0	高效超临界压力锅炉	

（六）按燃烧方式分类

锅炉可分为层燃炉、室燃炉、旋风炉和沸腾燃烧锅炉。