

特种设备安全技术丛书

GUOLU ANQUAN JISHU

锅炉安全技术

■ 主 编 池作和

■ 副主编 成德芳



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

特种设备安全技术丛书

锅炉安全技术

主 编 池作和
副主编 成德芳

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉安全技术/池作和主编. —北京: 中国计量出版社,
2009. 11

(特种设备安全技术丛书)

ISBN 978-7-5026-3207-6

I. ①锅… II. ①池… III. ①锅炉—安全技术 IV. ①TK288

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 200559 号

内 容 提 要

本书以工业锅炉为主体, 介绍与锅炉运行的安全性有关的基础知识。内容包括: 锅炉的燃料与燃烧产物, 分类及各自的结构特点, 主体设备、配套设备及安全附件, 水动力特性, 水处理方法, 运行控制与调整技术, 常见事故与处理要点, 锅炉在制造、安装及运行中的检验等。各部分内容均从“安全”的角度出发; 突出解决锅炉的“安全”问题。语言通俗易懂, 并附有大量图表; 便于读者理解。

本书适合广大司炉工、锅炉初中级技术人员及特种设备安全管理者参考阅读。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm × 1168 mm 32 开本 印张 15.625 字数 396 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 37.00 元

编委会名单

主 编：池作和

副 主 编：成德芳

参加编写人员：第一章 池作和
第二章 徐 旭
第三章 成德芳 刘小东
第四章 曾宪阳
第五章 孙公钢
第六章 徐 鸿
第七章 徐 鸿
第八章 徐 旭
第九章 赵晓东
第十章 成德芳 刘小东
第十一章 赵欣刚 杜 斌
第十二章 赵欣刚 杜 斌

前 言

国家对特种设备的安全和经济运行非常重视。工业和生活锅炉数量巨大，不仅是一种重要的特种承压设备，而且具有巨大的节能潜力。由于长期从事本专业的工作，经常会萌生这样的想法：是否可以编写一本关于工业锅炉安全和经济运行方面的书，希望对同行能有所帮助。但现实是似乎总有忙不完的事，所以这种想法迟迟未能付诸实施。

适逢中国计量出版社要出版一套关于特种设备安全运行的丛书，为此向我们约稿，故欣然允诺。动员学校里的多位同事，联合浙江省特种设备研究院的同行，经过一年多时间的努力，终于完稿。

本书主要面向从事工业锅炉工作的工程师和操作人员。在编写本书的过程中，力求简单明了，重点突出，并尽量做到通俗易懂，易于为大家所接受。但由于学识有限，确实不容易做好，最后是有其心但不见得获其果。

对于工业锅炉的安全和经济运行，已有许多同行有著述。本书力求融入工业锅炉领域的一些最新发展成果，但大多数内容还是属于常规。对于引用同行著作中



的一些图和表格，只列出参考文献，而没有一一注明出处。在此，对参考书的作者表示感谢。

最后，对中国计量出版社表示衷心感谢，正是他们对我们的信任和鞭策，才使本书最后能够成稿。

池作和

2009年10月

于中国计量学院

目 录

第一章 锅炉基础知识	(1)
第一节 锅炉发展简史	(1)
第二节 锅炉基本组成和工作过程	(4)
第三节 锅炉参数	(7)
第四节 锅炉传热基本原理	(10)
第五节 锅炉型号	(14)
第二章 燃料及燃烧产物	(20)
第一节 锅炉燃料	(20)
第二节 固体燃料	(21)
第三节 液体燃料	(34)
第四节 气体燃料	(41)
第五节 燃料的燃烧计算	(50)
第六节 锅炉热平衡	(63)
第三章 工业锅炉和特种锅炉的结构	(74)
第一节 锅壳锅炉	(74)
第二节 水管锅炉	(85)
第三节 热水锅炉	(93)
第四节 有机热载体炉	(98)
第五节 其他特种锅炉	(111)
第四章 锅炉主要受热面	(119)
第一节 水冷壁	(119)



第二节	对流管束	(121)
第三节	过热器	(124)
第四节	省煤器	(129)
第五节	空气预热器	(135)
第五章	锅炉燃烧设备	(140)
第一节	燃料的燃烧过程	(140)
第二节	层状燃烧方式	(144)
第三节	流化床燃烧方式	(162)
第四节	悬浮燃烧方式	(173)
第六章	锅炉水动力特性	(198)
第一节	自然循环锅炉的水动力学	(198)
第二节	自然循环锅炉的影响因素和常见故障	(204)
第三节	小型锅炉的水循环	(207)
第四节	热水锅炉的水循环	(210)
第七章	锅炉配套设备	(214)
第一节	锅炉给水设备	(214)
第二节	锅炉给水除氧	(218)
第三节	工业锅炉通风设备	(221)
第四节	工业锅炉吹灰器	(233)
第五节	锅炉上煤系统	(239)
第六节	锅炉排渣装置	(243)
第七节	工业锅炉烟气除尘	(247)
第八节	工业锅炉烟气脱硫技术	(255)
第八章	锅炉水处理	(260)
第一节	水质指标及标准	(260)



第二节	水的预处理	(264)
第三节	锅外离子交换水处理	(270)
第四节	锅内加药水处理及排污	(286)
第五节	锅炉给水除气	(296)
第六节	锅炉化学清洗	(298)
第九章	锅炉安全附件与自动控制	(304)
第一节	安全阀	(304)
第二节	压力表	(314)
第三节	水位表	(321)
第四节	排污阀	(329)
第五节	水位自动控制系统	(333)
第六节	燃烧自动控制系统	(340)
第七节	联锁保护系统	(345)
第十章	锅炉安全运行与调整	(351)
第一节	锅炉的启动	(351)
第二节	锅炉运行控制与调整	(362)
第三节	锅炉运行中的维护与管理	(367)
第四节	热水锅炉的运行调节	(374)
第五节	有机热载体炉的运行与调节	(377)
第六节	锅炉运行中的节能管理	(382)
第七节	锅炉停炉及停炉后的保养	(389)
第十一章	锅炉常见事故与处理	(395)
第一节	锅炉事故分类	(395)
第二节	事故处置	(398)
第三节	锅炉爆炸事故	(400)
第四节	缺水事故	(403)



第五节	满水事故	(407)
第六节	汽水共腾事故	(409)
第七节	爆管事故	(411)
第八节	水击事故	(414)
第九节	烟管管头泄漏事故	(419)
第十节	炉膛、烟道爆炸事故	(421)
第十一节	尾部烟道二次燃烧事故	(423)
第十二节	炉膛结焦与炉排事故	(426)
第十三节	炉墙、拱墙崩塌事故	(429)
第十二章	锅炉检验	(431)
第一节	锅炉检验工作的重要性	(431)
第二节	制造监督检验	(433)
第三节	安装监督检验	(446)
第四节	定期检验	(465)
参考文献	(487)

第一章 锅炉基础知识

第一节 锅炉发展简史

锅炉是由“锅”和“炉”组成的。炉的作用是合理组织燃料的燃烧，使燃料的化学能转化为热能。锅的作用是吸收燃料燃烧所放出的热量，使锅中工质（主要是水）的温度和压力升高或者转化为蒸汽，以满足生活、工业生产和发电的要求。

18 世纪末发明了圆筒形蒸汽锅炉。经过 200 多年的发展，锅炉的容量从小型、中型到大型（1000 MW 发电锅炉最大连续蒸汽流量为 3033 t/h）；锅炉的压力从微压、低压、中压、高压、超高压、亚临界、超临界到超超临界（27 MPa 以上）；锅炉蒸汽温度从低温、中温到高温（超超临界蒸汽温度可达 621 ℃）；锅炉制造工艺从铆接结构到焊接结构；操作方式从手工操作、机械化到自动化。总而言之，锅炉沿着扩大容量、提高参数、降低金属耗量和能耗、减轻劳动强度、提高安全性和可靠性以及减少对环境的污染等方向发展。

锅炉容量、参数差别极大，燃烧方式有多种，锅炉的用途也很不同，这使得锅炉结构千差万别。根据本书的使用对象和编写本书的目的，我们主要介绍容量比较小的工业锅炉，包括锅炉基本原理、锅炉本体、系统主要设备、系统安全运行等方面的知识。



锅炉本体的原始结构是一个圆筒形的锅筒，筒体里面盛有一定容量的水，筒体外侧下腹部作为受热面与燃料燃烧生成的高温烟气进行热量交换。这种锅炉由于受热面积小，不能充分吸收高温烟气的热能；所以，产汽量少，满足不了生产发展对热能的需要。为了提高蒸汽产量、品质和参数，充分利用高温烟气的热能，就需要扩大锅炉的受热面面积，提高受热面的传热能力。

为达到此目的，对锅炉进行了一系列的科学研究和产品研制、改造，使锅炉沿着两个不同的方向发展。图 1-1 展示出锅炉本体结构形式发展和演变过程。

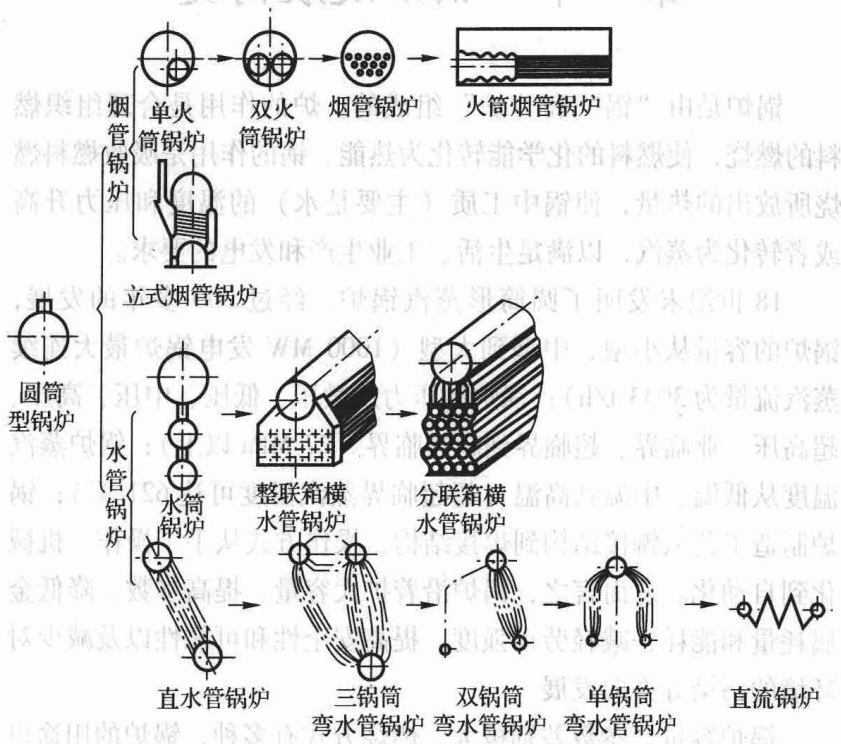


图 1-1 锅炉形式的发展和演变

锅炉发展的第一个方向是在锅筒水容积的空间内增设烟气通道，使高温烟气能够把热量传递给水；与此同时增加烟气的流



程，提高烟气流动速度，从而提高烟气的放热系数。

最初是在圆筒水容积内增加一个较大直径的炉胆，燃料在炉胆内燃烧。后来发展成为2个炉胆。炉胆为辐射受热面，吸收燃料在其内燃烧所产生的高温辐射热，并将热量传递给工质——水。以后为了进一步增加汽锅的受热面，又发展到在圆筒内安装小直径的烟管。这时燃料可以在圆筒外燃烧（卧式外燃回火锅炉）或仍然在炉胆内燃烧（卧式内燃回火锅炉），高温烟气在炉胆或烟管内流过，锅水在炉胆外或烟管外吸热和汽化。这类锅炉燃料在燃烧室或炉胆内燃烧，在管内流过的是烟气，故称火管锅炉（也称烟管锅炉）。

锅壳横向放置称卧式锅壳锅炉，其占地面积大。锅壳锅炉发展的另一种形式是锅壳呈垂直放置，也叫立式锅壳锅炉。锅壳内装有一个直径稍小的内筒（炉胆）作为燃烧室，内筒和锅壳之间为水夹层，内筒和锅壳的顶部封头之间装有烟管。立式锅壳锅炉可充分利用空间高度，占地面积小。

卧、立式锅壳锅炉的共同特点是高温烟气在炉胆或烟管内流动放热，工质——水在炉胆或烟管外侧吸热、升温和汽化。

锅壳锅炉结构简单，制造方便，对水质要求不高，安装、运行、维修都比较容易。但由于这类锅炉炉膛一般都比较矮小，燃烧室空间小，炉膛四周均被筒壁所围住，水冷程度大；所以，燃烧条件较差，炉内温度低，需燃用优质煤。烟气纵向冲刷受热面，传热效果较差。此外，锅壳直径大，既不利于提高蒸汽压力，又增加钢材消耗量；烟管的增加受到水容积的限制，即受到锅壳直径的限制，锅炉蒸发量也就受到了限制。因而不能适应于大容量、高参数锅炉发展的需要。

大约在19世纪中叶，锅炉开始进入第二个发展方向。首先在锅炉圆筒外面增设几个直径较小的圆筒受热面。进一步发展到增加圆筒数目，减小圆筒直径，以至以钢管取代圆筒，从而发展成水管锅炉。水管锅炉的特点是：燃料在圆筒外面的炉膛内燃



烧，烟气在管外冲刷放出热量，汽、水等工质则在管内流动吸收热量。

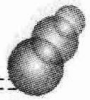
水管锅炉的出现是锅炉发展过程中的一次大飞跃。它彻底摆脱了锅壳锅炉受锅筒尺寸的制约，无论在燃烧条件、传热效果和受热面的布置等方面都取得了根本性的改善，为提高锅炉的容量、参数、热效率，降低金属耗量，确保锅炉运行的安全性、可靠性和经济性等方面创造了良好的条件。

最初生产的水管锅炉是横直水管型，水管两端与大集箱连接。由于大集箱承受内部工质压力的能力较差，后将大集箱改为分集箱，这样强度得到了保证，但集箱和集箱上的手孔加工复杂，精度要求高，且金属耗量大。竖水管锅炉于20世纪初问世，最早是直水管结构，逐步发展成富有弹性的弯水管，布置非常方便，大大增加了锅炉本体结构布置的自由度。为了增加受热面，曾采用多锅筒弯水管锅炉。此后由于对锅炉辐射换热规律有了进一步的认识，锅炉向着减少对流受热面、增大辐射受热面的方向发展，于是锅筒数目逐渐减少，逐步演变成双锅筒、单锅筒锅炉，以至发展到现代无锅筒锅炉——直流锅炉。与此同时，蒸汽过热器、省煤器、空气预热器等受热面相继被采用，使锅炉设备更趋完善，更能充分适应锅炉单台容量增大、蒸汽参数提高的发展要求。

第二节 锅炉基本组成和工作过程

一、锅炉的基本组成

锅炉能够连续、安全、稳定地运行，必须具备一些基本的设备，组成一个系统。对于工业锅炉，通常将基本设备划分为：



①“锅”：指工质在其中流动和吸热的部件。主要包括：锅筒（汽包）、水冷壁、集箱、对流管束、过热器、省煤器等。

②“炉”：指组织燃料燃烧，所产生的烟气在其中流动、并将热量传给工质的部件。主要包括：燃烧设备、炉膛、炉拱、烟道、炉墙、空气预热器等。

③ 锅炉辅机：包括通风设备、燃料的供给与制备设备、给水和水处理设备、除尘和清渣设备、脱硫设备等。

④ 锅炉安全附件和仪表：包括安全阀、压力表、温度计、水位表和必需的自动控制设备。

对一些主要设备的作用简单介绍如下：

① 锅筒（汽包）：是自然循环回路各受热面的连接部件，锅筒内部存有大量的汽水，它将锅炉各受热面连接在一起并和水冷壁、下降管等组成水循环回路，锅筒内部设有汽水分离装置以保证汽水品质。

② 水冷壁：布置在炉膛四周的管子，是炉墙的一部分。吸收炉膛的辐射热量并加热工质。

③ 过热器：将饱和蒸汽加热到额定过热蒸汽温度。有些小型工业锅炉和全部热水锅炉无过热器。

④ 省煤器：利用锅炉尾部烟气的热量加热给水，以降低排烟温度，节约燃料。

⑤ 空气预热器：利用尾部烟气加热空气温度，降低排烟温度，提高锅炉效率。热空气也非常有助于燃料的稳定着火和燃烧。

⑥ 燃烧设备：将燃料和燃烧所需的空气送入炉膛并使燃料着火稳定，燃烧良好。

⑦ 炉膛：为燃料的燃烧和燃尽提供空间，并使烟气温度降低到对流受热面能够安全工作的数值。

⑧ 炉墙：是锅炉的保护外壳，起密封和保温作用。小型工业锅炉的重型炉墙也可用于支撑锅炉部件。



⑨ 通风设备：主要为送风机和引风机。送风机将空气送入燃烧设备，用于燃料的燃烧。引风机和烟囱将低温烟气送入大气。

⑩ 燃料的供给设备：储存和运输燃料。

⑪ 燃料制备设备：包括碎煤机、磨煤机等，将燃料加工成合适的细度。

⑫ 给水设备：由给水泵将经过水处理后的给水送往锅炉。

⑬ 除尘和清渣设备：除尘设备从锅炉烟气中除去灰尘。清渣设备从锅炉中除去灰渣并运走。

⑭ 脱硫设备：脱除烟气中的 SO_2 和 SO_3 成分。

二、锅炉设备的工作过程

锅炉设备的工作过程可用图 1-2 所示燃煤链条锅炉来说明。粒度不大于 25 mm 的原煤，用斗式提升机运至链条炉前方的煤斗 8 中，并落在链条炉排 7 上，随着链条炉排的旋转，被缓慢地送入炉内。煤量（煤层厚度）由煤斗下方的煤闸门控制。链条炉排上的煤经历着火、燃烧、燃尽过程。灰渣则随链条炉的转动掉入渣池中。

送风机将空气送入空气预热器，空预器出口的热空气送入链条炉排下方的风室中。空气穿过炉排，并和炉排上的煤发生燃烧。燃烧产生的高温烟气经过炉膛、炉膛出口处的凝渣管 10，对 2 个锅筒间的对流管束 2 进行冲刷换热。为了提高换热效果，用烟气隔墙将烟道隔成 3 个曲折部分。烟气自对流管束的下部经 3 次曲折向上冲刷绕行，再从上部出口窗向后流至尾部烟道，依此流过省煤器和空气预热器后进入除尘器，再由引风机送往烟囱排入大气。

给水由给水泵经给水管道的送入省煤器，给水经省煤器吸热后进入锅筒 1，一部分水经下降管进入水冷壁下集箱 6，水在水冷壁内吸收炉膛的辐射热后形成汽水混合物并流入锅筒。一部分水在上下 2 个锅筒间对流管束中自然循环，吸收烟气的对流冲刷热

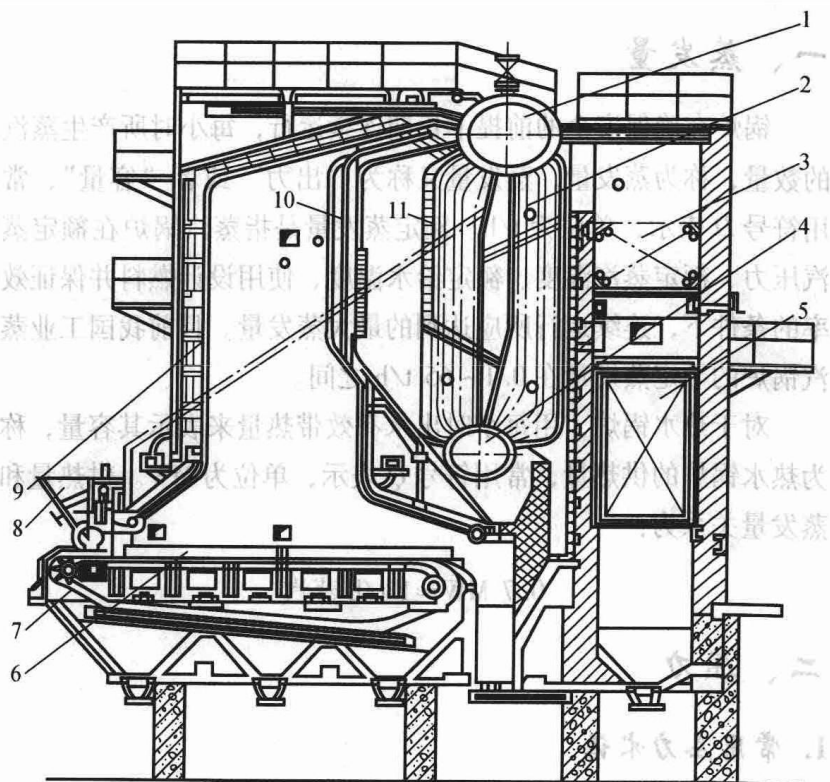


图 1-2 链条锅炉基本工作过程

- 1—锅筒；2—锅炉管束；3—省煤器；4—下锅筒；5—空气预热器；
6—水冷壁下集箱；7—链条炉排；8—煤斗；9—水冷壁；
10—凝渣管；11—烟气隔墙

量，形成汽水混合物后进入上锅筒。汽水混合物在锅筒中经汽水分离装置后，蒸汽从锅筒的上部进入输汽管道。

第三节 锅炉参数

表征工业锅炉基本特征的参数，主要有锅炉的蒸发量、压力和温度。