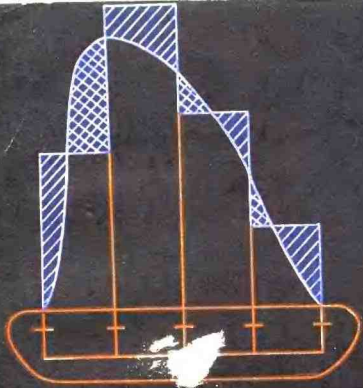




李忠良 编

工业锅炉及其安全运行

黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书按照《蒸汽锅炉安全监察规程》和《低压锅炉水质标准》的规定和要求,全面系统地介绍了有关工业锅炉本体结构型式、安全附件、辅助设备、水处理、排烟除尘以及安全运行管理等方面的基本知识,为防止和减少锅炉事故,本书还着重地介绍了锅炉的启动、停炉及保养,运行中的调节和检验,锅炉常见运行事故的预防和处理措施以及对锅炉房的安全要求。

本书内容实用性强,文字通俗易懂,有关计算容易掌握,并有插图142幅,适合从事工业锅炉运行管理人员、安技干部、司炉工人学习和参考或作为培训教材,也可作为中专、技校锅炉专业的试用教材,亦可供有关锅炉技术人员参考。

责任编辑: 王正维

封面设计: 李广源

工业锅炉及其安全运行

李忠良 编

黑龙江科学技术出版社出版发行

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

齐齐哈尔日报社燕地印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 11.5 印张 235 千字

1986年6月第1版·1986年6月第1次印刷

印数: 1—25,000册

书号: 16217·217 定价: 2.30 元

前 言

目前,全国工业锅炉的数量增加很快,已达28万余台。为保证这些工业锅炉安全经济地运行,有关人员掌握工业锅炉及其安全运行管理方面的知识具有十分重要的意义。为了适应当前工业锅炉及其安全运行管理、教学和培训的需要,我们编写了《工业锅炉及其安全运行》一书。

本书初稿经黑龙江省劳动局锅炉处王珂工程师审阅,并提出许多宝贵意见。宋士泽、王旭华等同志也对本书的初稿进行了审校。

本书成稿后又经哈尔滨工业大学动力工程系热能工程教研室程树副教授、哈尔滨建筑工程学院供热通风专业王亚贤讲师审阅、修改。在此一并表示感谢。

书中存在的缺点和问题,希望读者批评、指正。

编 者

一九八五年一月



目 录

第一章 工业锅炉基本知识	1
第一节 概述.....	1
第二节 锅炉水循环.....	14
第三节 燃料与燃烧.....	30
第四节 锅炉热平衡.....	53
第二章 工业锅炉结构型式	65
第一节 火管锅炉.....	65
第二节 水管锅炉.....	70
第三节 水火管组合锅炉.....	78
第四节 锅炉辅助受热面.....	81
第三章 工业锅炉燃烧设备	90
第一节 概述.....	90
第二节 层燃炉.....	96
第三节 室燃炉.....	125
第四节 沸腾炉.....	142
第五节 炉子的工作特性.....	154
第四章 工业锅炉安全附件	158
第一节 压力表.....	159
第二节 安全阀.....	160
第三节 水位计.....	167

第四节	水位报警器	173
第五节	防爆门	177
第五章	工业锅炉辅助设备	179
第一节	锅炉房运煤系统	179
第二节	锅炉房除灰系统	187
第三节	锅炉房通风系统	198
第四节	锅炉房水、汽及管道系统	214
第六章	工业锅炉水处理	238
第一节	概述	238
第二节	离子交换法	249
第三节	石灰—纯碱水处理	268
第四节	锅内加药水处理	273
第五节	其它水处理方法	278
第六节	锅炉给水的除氧	279
第七节	锅炉水垢及其清除	288
第七章	工业锅炉消烟除尘	294
第一节	概述	294
第二节	消烟措施	295
第三节	除尘措施	301
第四节	除尘器的选用	320
第五节	锅炉烟色的评定	324
第八章	工业锅炉安全运行及管理	326
第一节	锅炉运行	326
第二节	锅炉运行中的检验	342
第三节	锅炉运行中常见事故的预防和处理	344

第四节 锅炉房的安全要求.....	135
附录	356
附表 1 常用法定计量单位.....	356
附表 2 饱和水蒸汽表.....	359
附表 3 过热蒸汽热焓.....	360
主要参考资料.....	361

第一章 工业锅炉基本知识

第一节 概 述

锅炉是一种生产蒸汽或热水的换热设备。它是利用燃料燃烧所释放出的热量或工业生产中排放的余热生产蒸汽或热水的。因此，近代锅炉亦称做蒸汽发生器。锅炉的中心任务是把燃料中的化学能最有效地转换为蒸汽的热能。

一、锅炉的用途和对锅炉的要求

锅炉的用途极为广泛，可应用于国民经济各部门和人民生活中：电站锅炉可用于火力发电厂发电；工业锅炉可在造纸、纺织、制药、炼油、化工、食品生产、制烟造酒等行业中用以完成加热、烘干、蒸发、消毒等项加工工艺；机车、船舶锅炉可在火车、轮船上作为动力；采暖锅炉可在各类工业和民用建筑中用于供热采暖。

在各种工业企业中，锅炉是不可缺少的动力设备。因此，对锅炉的基本要求是：

(1) 保证工业生产和采暖的供热。锅炉应达到设计的额定出力并有10%左右的超负荷能力。

(2) 节约燃料。锅炉应达到规定的效率指标。如锅炉用Ⅰ、Ⅱ类烟煤，则锅炉最低效率应达到表1—1所列指标。

表 1—1

锅炉额定蒸发量D (吨/时)	锅炉最低效率 η (%)
< 1	50
1~1.5	55
2	60
4~6.5	65
> 10	72

(3) 保证锅炉安全运行。锅炉受压元件必须符合强度标准要求, 满足规定的制造工艺条件。在运行中应按照《规程》的要求进行操作和管理, 防止锅炉发生事故。

(4) 保证锅炉做到消烟除尘。锅炉排烟含尘浓度应达到烟尘排放标准所规定的200、400、600毫克/标米³的要求。

(5) 节约钢材, 运行时耗电量少。

二、锅炉设备的分类和组成

(一) 锅炉设备的分类

锅炉设备按其用途基本上可分为两大类, 即动力锅炉和工业锅炉。通常把用于动力、发电方面的锅炉, 叫做动力锅炉; 把用于工业及采暖方面的锅炉, 称为工业锅炉, 又称为供热锅炉。

(二) 锅炉设备的组成

锅炉设备包括锅炉本体和辅助设备两大部分。

1. 锅炉本体

锅炉本体是由“锅”和“炉”两个部分组成的。“锅”

就是将高温烟气的热量传给低温水的受热面 “炉”就是将燃料的化学能转化为热能的燃烧设备。

炉子是由炉墙、炉排和炉顶组成的燃烧空间 其作用是使燃料连续充分地燃烧。由于燃料种类和性质的不同，炉子的构造也不一样。

汽水系统受热面是由汽包和管束组成的一个封闭的换热器，在炉膛四壁布置的排管称为水冷壁管，在炉膛后面的排管称为对流管束。汽水系统的作用是使管束内的水不断吸收烟气的热量，以产生具有一定压力和温度的热水或蒸汽。

图 1—1 所示为锅炉和锅炉房的设备简图。

在锅炉本体中，除了由水冷壁和对流管束组成的主要受热面外，还有辅助受热面，包括蒸汽过热器、省煤器和空气预热器。蒸汽过热器的作用是将锅炉中的饱和蒸汽加热成为过热蒸汽。省煤器的作用是利用锅炉排烟余热来加热锅炉给水的。空气预热器的作用是用锅炉排烟的余热，加热送入炉内的冷空气。

过去的老式锅炉没有省煤器和空气预热器，排烟温度很高，锅炉效率很低。为了回收这部分热量，在锅炉对流烟道的最后面装置了省煤器和空气预热器。因为这两种受热面都位于锅炉烟道的尾部，故称为尾部受热面或低温受热面。

2. 锅炉的辅助设备

锅炉的辅助设备是保证锅炉本体正常运行所必需的附属设备，包括有锅炉房运煤除灰系统、通风系统、水、汽及管道系统和控制系统。

锅炉房的运煤除灰系统可将燃料连续地供给锅炉燃烧。

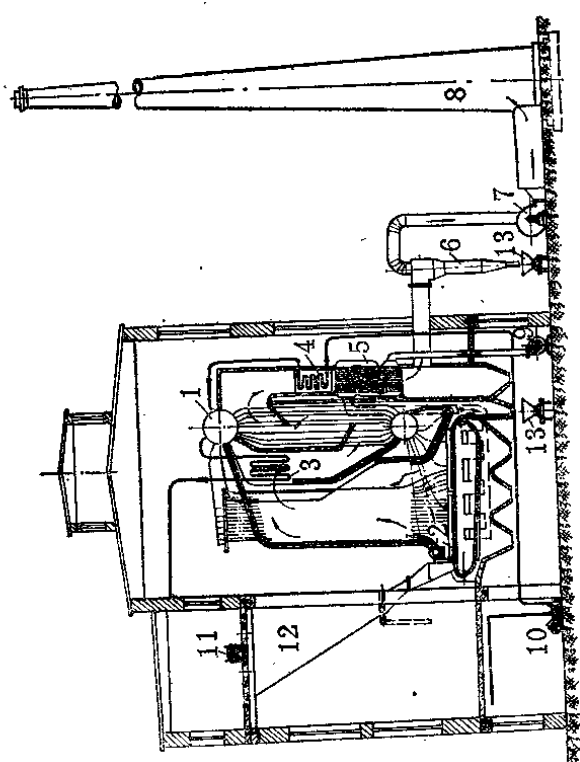


图 1—1 锅炉房设备简图

1—烟筒 2—蒸汽炉排 3—蒸汽过热器 4—省煤器 5—空气预热器 6—除尘器 7—引风机
8—强风 9—鼓风机 10—给水泵 11—通煤皮带输送机 12—煤仓 13—灰斗

同时又可将生成的灰渣及时地排走。在图 1—1 所示的锅炉房中，运煤系统是由多斗提升机、皮带运输机和炉前煤斗组成，而除灰系统是由锅炉灰斗、除渣器和运灰小车组成的。

通风系统向锅炉供给燃烧所需要的空气并排走燃烧后生成的烟气。通风系统由送风机、引风机和烟囱组成。为减少烟气中烟尘对环境的污染，在排烟系统上还设置了除尘器。

锅炉房的水、汽及管道系统包括水处理设备、水泵、分汽缸、水箱及管道等。

为了使锅炉设备安全和经济地运行，在锅炉房中还装设各种附件和控制仪表，如温度表、压力表、水位计、安全阀、水位警报器、风压表、水表、蒸汽流量计以及各种自动控制设备。上述附件和仪表统属控制系统。

（三）锅炉设备运行的工作过程

锅炉设备运行有三个工作过程是同时进行的，即燃料的燃烧过程、燃料燃烧生成的高温烟气向水传递热能的过程及蒸汽和热水的产生过程。其中任何一个过程不能正常运行，都会影响锅炉运行的经济性和安全性。

三、锅炉的基本特性

锅炉性能的基本参数是指锅炉产生蒸汽的数量和质量。通常用下述指标来表示。

（一）蒸发量或供热量

对于蒸汽锅炉来说，锅炉每小时所产生蒸汽的数量，称为锅炉的蒸发量，也有称为锅炉的出力或锅炉的容量的。通常所说的锅炉蒸发量指的就是额定蒸发量。所谓额定蒸发量

是指锅炉保持在额定的蒸汽质量（压力、温度）和一定的热效率下，长期连续运行时每小时所产生的最大蒸汽量。锅炉铭牌上所标出的蒸发量就是该锅炉的额定蒸发量，常用符号“D”来表示，单位是吨/时（t/h）或千克/时（Kg/h），国际单位用千克/秒（Kg/s）来表示。

过去旧式的小型蒸汽锅炉常用“锅炉马力”来表示锅炉的出力。所谓一个“锅炉马力”，是指锅炉每小时将15.65千克的100℃热水汽化成为同温度饱和蒸汽的能力，相当于该锅炉的受热面每小时能传热35337千焦（8440大卡）。它与蒸发量的关系是：1马力=15.65千克/小时。例如，“80马力”的考克兰锅炉，其蒸发量相当于1.25吨/时。

热水锅炉用每小时的供热量来表明锅炉容量的大小，常用符号“Q”来表示，单位为千焦/时（KJ/h）或大卡/时（KCal/h）。

小型锅炉蒸发量的大小可用蒸发率来表示。锅炉每平方米受热面上每小时所产生的蒸汽量，叫做锅炉的蒸发率，其单位是千克/米²·时。

锅炉钢板或管子的一侧吸收火焰或烟气的热量，另一侧将热量传给水、蒸汽或空气。钢板或管子的表面就叫做锅炉的受热面。根据传热方式不同，分为辐射受热面和对流受热面。辐射受热面主要是指炉膛水冷壁，对流受热面主要是指蒸汽过热器、省煤器、空气预热器、对流管束等。

（二）压力和温度

锅炉产生蒸汽的质量，常用状态参数压力和温度来反映。锅炉的蒸汽压力和温度，是指锅炉主汽阀出口处饱和蒸

汽或过热蒸汽的压力和温度。

蒸汽锅炉出汽口处或热水锅炉出水口处的蒸汽或热水的额定压力(表压力)，称为锅炉的工作压力，常用符号“P”表示，工程单位是公斤力/厘米² (Kg_f/cm²) 或大气压，国际单位用兆帕 (MPa) 来表示，1兆帕=10.198公斤力/厘米²。锅炉上经常用弹簧管式压力表测量蒸汽的压力，测出的压力称为表压力。表压力加上当地大气压力称为绝对压力。绝对压力是指作用在单位面积上的实际压力。它的大小等于表压力加1个大气压。水蒸汽图表上所标示的压力是绝对压力，而锅炉铭牌上所标示的锅炉工作压力指的是表压力。通常简单地把大气压力当作1个工程大气压。

温度是标志物体冷热程度的参数。物体的温度用测温仪表测定。为了标志温度的高低和保证温度测量的准确一致，就要规定一个衡量温度高低的标准，称为温度标尺，简称温标。目前国际上通用的温标主要有两种，其名称、符号和单位见表1—2。

表 1—2 温 标

温 标 名 称	符 号	单 位 及 代 号
摄氏温标 (或百度温标)	t	摄氏度 °C
绝对温标 (或开尔文温标)	T	开尔文 K

摄氏温标规定：在1个标准大气压下，把纯水开始结冰时的温度（冰点）定为0℃，纯水沸腾时的温度（沸点）定为100℃。在0℃与100℃之间划分为100等分，每一等分就是摄氏温度1℃。

绝对温标的 1 K 与摄氏温标的 1°C 在数值上完全相等。
 1个标准大气压下，纯水的冰点为 273.15 K （工程上取 273 K ），沸点为 373.15 K 。

摄氏温度和绝对温度之间的换算关系为

$$T = 273 + t \quad (1-1)$$

此外，英、美、日等国家还习惯采用华氏温标，仍用符号 t 表示，单位是 $^\circ\text{F}$ 。在 1 个标准大气压下，纯水的冰点和沸点分别为 32°F 和 212°F 。华氏温度与摄氏温度之间的换算关系为

$$t^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (t^\circ\text{F} - 32) \quad (1-2)$$

生产饱和蒸汽的锅炉只要标明锅炉工作压力的大小，就不必再标明蒸汽的温度。而生产过热蒸汽的锅炉或热水锅炉，则必须标明蒸汽过热器出口过热蒸汽的温度，或热水出口处的热水温度。

锅炉的蒸发量、蒸汽压力和蒸汽温度都是反映锅炉工作特性的蒸汽参数。表 1—3 为我国“工业蒸汽锅炉参数系列”的国家标准。

按照表 1—3 “工业蒸汽锅炉参数系列”的规定，蒸汽压力 ≤ 2.5 兆帕（25 公斤力/厘米²）、蒸汽温度 $\leq 400^\circ\text{C}$ ，蒸发量 ≤ 65 吨/时的蒸汽锅炉，叫做工业锅炉。

（三）锅炉的热效率

锅炉的热效率是指炉内燃料燃烧后发出的热量被有效利用的百分数。锅炉的热效率是检验锅炉的最重要的经济指标，常用符号“ η ”表示

表 1—3 工业蒸汽锅炉参数系列 (GB1921—80)

额定出力 【吨/时】	额定出口蒸汽压力 (表大气压)								
	4	7	10	13	16	25			
	额定出口蒸汽温度 (°C)								
	饱和	饱和	饱和	饱和	350	饱和	350	饱和	400
0.1	△								
0.2	△								
0.5	△	△							
1	△	△	△						
2	△	△	△	△		△			
4		△	△	△		△		△	
6		△	△	△	△	△	△	△	△
10		△	△	△	△	△	△	△	△
15			△	△		△	△	△	△
20			△	△	△	△	△	△	△
35				△		△	△	△	△
65				△		△			

注: 1. 对GB753—65国标中5和8表大气压和6.5吨/时容量的原有产品暂予保留。

2. 1大气压=1公斤力/厘米²(kgf/cm²)=9.80665×10⁴帕斯卡(Pa)。

一般工业锅炉的热效率在60~80%左右, 电站锅炉的热效率约在90%以上。

锅炉设备的运行中被有效利用的热量愈多(各项热损失愈少), 则锅炉设备的热效率就愈高, 反之, 锅炉的热效率

就低。

(四) 煤水比

锅炉单位时间内的耗煤量和该段时间内产生的蒸汽量之比，称为锅炉的煤水比或煤汽比，此比值可以大致表明锅炉运行的经济性。煤水比或煤汽比与锅炉型式、燃煤品种和运行管理质量有关。工业锅炉的煤水比或煤汽比一般为 $1:6 \sim 1:7.5$ 。

(五) 锅炉金属耗率

制造锅炉时耗用的金属重量与锅炉额定蒸发量之比，称为锅炉金属耗率，俗称钢水比。现代工业锅炉的金属耗率为 $2 \sim 6$ 吨钢/吨汽，即制造一台蒸发量为 1 吨/时的锅炉，大约需要 $2 \sim 6$ 吨钢材，单位用吨钢/吨汽来表示。

(六) 锅炉的耗电率

对锅炉不仅要求热效率高，而且也要求运行时耗电量少。耗电率是指产生一吨蒸汽每小时耗用电的度数（千瓦一时/吨）。计算耗电率时，除了需要计算锅炉本体及与其配套的辅机的耗电量外，还需计算磨煤机、破碎机、筛煤机等辅助设备的耗电量。

(七) 锅炉运行工作的可靠性

锅炉运行工作的可靠程度是反映锅炉技术水平的重要标志之一。可靠程度也是锅炉工作经济性的一种表现形式，因为安全可靠地连续运行，必能减少备用机组的投资及维护费用，也降低了锅炉停炉检修费用。

锅炉的工作寿命是由锅炉高温元件的工作寿命决定的。目前绝大部分国家锅炉高温元件的工作寿命都是按 10 万小时

考虑设计的。如取设备利用率为0.85, 则10万小时相当于

$$\frac{10^5 \text{小时}}{8800 \text{小时/年} \times 0.85} = 13.5 \text{年}$$

我国电站锅炉的设备利用率高于0.85, 因此设计考虑的允许工作年数就更少。

四、工业锅炉的型号

锅炉型号是反映锅炉结构型式主要特征的代号。我国工业锅炉产品的型号, 按第一机械工业部制定的工业锅炉产品型号编制方法JB 1626—83的规定执行。该标准适用于:

(1) 锅炉的额定蒸发量不大于65吨/时或介质出口压力不大于2.5兆帕(25公斤力/厘米²)的固定式蒸汽锅炉;

(2) 热水锅炉。

工业锅炉产品型号由三部分组成, 各部分之间用短横线隔开。锅炉型号的完整形式如下:

△△	△	×	×	——	××/×××	——	×	×
		额定蒸发量或 额定供热量		过热蒸汽温度 或出水温度/ 回水温度		设计 次序		
型式代号		燃烧方式代号		介质出口压力		燃料种类 代号		

锅炉型号的第一部分表示锅炉型式、燃烧方式和额定蒸发量或额定供热量。又分为三段: 第一段用两个汉语拼音字