

工业锅炉房 综合技术与管理

A Practical Handbook
of
Boiler Room

周斌 周金力 江红辉 主编

中国劳动出版社

工业锅炉房综合技术与管理

主 编: 周 斌

副 主 编: 周全力 江红辉

编写人员: 周 斌 周全力

江红辉 陈绍文

卜朝瑞 王黔山

马志和 袁新慧

王世荣

中国劳动出版社

(京)新登字 114 号

本书系统地介绍了工业锅炉房综合技术与管理方面的基本知识, 主要内容包括锅炉基本知识, 锅炉房设备, 燃料与燃烧, 锅炉热平衡, 锅炉房兴建, 锅炉能源技术、环保技术及其管理, 锅炉水处理, 锅炉运行管理, 锅炉检验、修理、事故处理以及锅炉房用电管理等。本书的主要特点是力求理论与实践相结合, 技术与管理相结合, 安全运行与节约能源、环境保护相结合。

本书可作为锅炉管理人员、司炉人员的培训教材, 也可供工程技术人员参考。是一本开展锅炉房综合治理的好教材。

工业锅炉房综合技术与管理

周斌 主编

责任编辑 任萍

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街 12 号)

财联印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092 毫米 32 开本 23 印张 514 千字

1991 年 11 月第 1 版 1991 年 11 月第 1 次印刷

印数: 3000 册

ISBN 7-5045-0804-7 / TK · 024

定价: 19.90 元

前 言

锅炉——工业生产的“心脏”，它是一种承受一定温度和压力的特殊的能量转换设备。目前，我国工业锅炉的拥有量已超过四十万台（含采暖锅炉）七十万蒸吨，年耗煤量达三亿余吨。多少年来，它们在各自的岗位上默默无闻辛勤地做出奉献！但另一方面，因锅炉管理不善、操作不当，大、小事故时有发生。近年来，国家为了进一步强化锅炉管理，提高锅炉运行水平，提出了许多新的要求，尤其是安全、节能、环保等方面要求十分具体，并要求在全国开展锅炉房综合治理活动。

工业锅炉的安全运行、节约能源、环境保护、文明生产及劳动保护等方面都是十分重要的，也是相辅相成的，都是不可偏废的。近几年来，广大司炉人员和管理干部在这些方面创造了很多好的作法和经验。但也有不少单位仍然存在着锅炉房管理混乱、运行操作水平低、能源浪费现象严重和锅炉房环境十分恶劣等情况。究其原因主要是各级领导对锅炉管理的认识水平不高；司炉人员缺乏安全和经济运行方面的基本知识和锅炉的多头管理、相互分割等。因此，将锅炉的安全运行和经济运行、管理工作和技术要求结合起来，抓好各级锅炉管理干部和工程技术人员以及司炉人员的普及教育，使他们掌握最基本的理论、管理知识和操作运行技能，已是当务之急！

本书是根据国家有关标准编著的，力求理论与实践相结合、技术与管理相结合、安全运行与节约能源、环境保护相结合。图文并茂、深入浅出、通俗易懂、学以致用。目的在

ABE 29/08

于提高当前和今后的锅炉管理和操作运行水平，为四化建设尽微薄之力。本书主要章节在有关部门举办的锅炉管理干部和司炉人员培训班上讲授过，深受学员好评。

本书由几位多年从事锅炉安全监察、节能及环保工作的工程技术人员编著。周斌任主编，周全力、江红辉任副主编，负责全书的统稿和审定工作。各章分别由以下同志执笔编写：第一、四、七章由周斌编写；第二章由周全力、卜朝瑞编写；第三章由江红辉编写；第六章由周全力编写；第五章由王黥山编写；第八章由马志和、袁新慧编写；第九、十一章由陈绍文编写；第十章由卜朝瑞编写；第十二章由王世荣编写；张忠顺、胡启铎参加了第八章的审稿工作。

本书在编写过程中，得到湖北省劳动厅、武汉市人民政府能源管理办公室、武汉市总工会、武汉市劳动局、武汉市环保局、武汉市物资局、武汉市职工技术协会、中国人民解放军总后勤部节能技术服务中心、武汉节能技术服务中心、武汉市煤炭公司、武汉市煤建公司等单位领导和有关人员的大力支持与协助，在此一并致谢。

由于作者水平所限，书中难免有某些错误和不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

一九九一年九月

目 录

第一章 锅炉基本知识	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 锅炉常用物理量和参数	(2)
第三节 热工知识	(7)
第四节 水和水蒸气的性质	(16)
第五节 锅炉传热	(26)
第六节 锅炉水循环	(28)
第七节 锅炉用的主要材料	(31)
第八节 金属材料的热胀冷缩	(37)
第九节 工业锅炉的分类和规范	(38)
第二章 锅炉房设备	(47)
第一节 锅炉本体构造	(47)
第二节 燃烧设备	(58)
第三节 锅炉附件	(95)
第四节 锅炉辅助设备	(127)
第三章 燃料与燃烧基本知识	(147)
第一节 燃料概述	(147)
第二节 燃料的特性	(157)
第三节 燃烧机理	(162)
第四节 工业锅炉最重要的燃料——煤	(165)
第五节 锅炉燃烧方式与设备特性	(186)

第四章 锅炉热平衡	(196)
第一节 基本概念	(196)
第二节 锅炉热平衡方程式	(198)
第三节 锅炉有效利用热量和热效率	(200)
第四节 锅炉正平衡试验	(203)
第五节 锅炉反平衡试验	(216)
第六节 烟气成分分析	(219)
第七节 锅炉热平衡试验纲目	(222)
第八节 锅炉热平衡试验注意事项	(224)
第九节 锅炉热平衡试验实例	(227)
第十节 锅炉热工测试常用仪表	(238)
第五章 锅炉房建设	(264)
第一节 锅炉房兴建的管理	(264)
第二节 锅炉的购置	(281)
第三节 锅炉的安装	(295)
第四节 锅炉登记办证	(331)
第六章 工业锅炉的运行管理	(338)
第一节 锅炉房的管理	(338)
第二节 锅炉的点火烘炉煮炉洗炉及送汽	(356)
第三节 锅炉的正常运行	(377)
第四节 锅炉停止运行的方法	(394)
第五节 锅炉的停炉保养	(398)

第七章 锅炉房能源技术与管理	(401)
第一节 概述	(402)
第二节 工业锅炉房能耗等级评定	(415)
第三节 能源计量管理	(422)
第四节 能源消耗定额管理	(430)
第五节 锅炉房能源管理制度	(436)
第六节 锅炉房节能途径	(440)
第七节 集中供热	(447)
第八节 锅炉更新、改造基本知识	(450)
第九节 锅炉节能新技术应用	(476)
第八章 锅炉房环保技术与管理	(482)
第一节 概述	(482)
第二节 燃烧方式与大气污染	(484)
第三节 无烟燃烧方式	(487)
第四节 除尘技术与管理	(499)
第五节 锅炉房的噪声及防治	(530)
第六节 锅炉排烟装置	(540)
第九章 锅炉水处理	(548)
第一节 锅炉用水	(548)
第二节 水处理的工作任务	(551)
第三节 水处理一般要求和水质标准	(557)
第四节 锅炉用水水源的管理	(562)
第五节 锅炉水处理方法	(564)
第六节 给水的除氧	(577)

第七节 锅炉化学清洗	(584)
第十章 锅炉事故处理	(597)
第一节 锅炉事故分类	(597)
第二节 事故处理时应注意的事项及报告办法	(600)
第三节 常见事故与故障处理	(602)
第四节 锅炉爆炸能量估算	(608)
第五节 事故调查和结案	(611)
第六节 事故树分析法的应用	(632)
第十一章 锅炉检验和维修	(648)
第一节 锅炉的检验	(648)
第二节 锅炉的维修	(656)
第十二章 锅炉房的用电管理	(676)
第一节 安全用电的重要性	(676)
第二节 安全用电的基本知识	(677)
第三节 安全用电的技术措施	(680)
第四节 安全用电的组织措施	(682)
附录一 中华人民共和国统计法	(684)
附录二 中华人民共和国计量法	(691)
附录三 工程热力学数表	(697)
附录四 传热学数表	(710)
附录五 国内有关技术刊物名录	(719)

第一章 锅炉基本知识

第一节 概 述

锅炉是把燃料中的潜在化学能量，经过燃烧反应转变为热能，再经过热的传播作用，将热能传递给水，使水变成为饱和蒸汽或过热蒸汽的一种能量转换设备。锅炉顾名思义是由“锅”与“炉”两部分组成的。所谓“锅”，是锅炉设备中的汽水系统。水进入锅炉以后，在汽水系统中吸收热量变成饱和蒸汽或过热蒸汽，被引出应用。所谓“炉”，是锅炉设备中的燃烧设备和风、煤、烟气系统。在这个系统中，煤与空气中的氧气化合燃烧而放热，产生高温火焰和烟气。烟气在炉内流动时，把热量传递给汽水系统，而使本身温度逐渐降低，最后由烟囱排出。煤燃尽后形成的炉渣经出渣装置排出炉外。“锅”与“炉”，一个吸热，一个放热，是密切联系着一个整体设备。

锅炉运行的安全性和经济性是十分重要的，也是相辅相成的，锅炉正常地安全运行是经济运行的前提。锅炉节煤与煤的燃烧过程和锅炉的传热过程关系很大，煤燃烧过程的好坏，直接影响锅炉的效率。传热过程也与锅炉的安全性、经济性以及环保等方面有很大关系，如传热过程进行得不好，烟气就在未能把热量充分地传递给水时就排走了，这不仅会造成热量损失，而且会直接影响锅炉的安全性及环保。锅炉产生蒸汽的过程，除汽化过程外，还包括水循环过程和汽水分离过程。水循环好坏会影响锅炉的安全性，而汽水分离效果则会影响蒸汽的品质。

锅炉在燃烧和传热过程中的工作物质（烟气、空气、水、水蒸气等）统称为工质。工质表现在热力现象方面的状况是由各种物理量来表示的，这些物理量称为状态参数。锅炉中常用的状态参数有温度、压力、比容、重度、比热、焓等。

第二节 锅炉常用物理量和参数

一、温度

温度是标志物体冷热程度的参数，温度高显示较热的状态，温度低显示较冷的状态。

在热力工程中，温度的单位主要有两种表示方法：

（一）摄氏温度：以 $^{\circ}\text{C}$ 表示，在1标准大气压下，纯水开始结冰时的温度（冰点）定为 0°C ；纯水沸腾时的温度（沸点）定为 100°C 。在 0°C 与 100°C 之间划分为100等分，每一等分就是摄氏温度 1°C 。

（二）热力学温度（绝对温度）：以开尔文（符号K）表示，每K与摄氏温度每 $^{\circ}\text{C}$ 在数值上完全相等。在1标准大气压下，纯水的冰点为273K，沸点为373K。热力学温度系国际单位。

摄氏温度和绝对温度之间的换算关系为：

$$T = 273 + t$$

式中：T——绝对温度(K)；

t——摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)。

二、压力

所谓压力，是指单位面积上承受多大的垂直方向的作用力。气体（包括蒸汽）、液体的压力，是容器内流体分子在

不规则地运动时对容器壁冲击的结果。压力的国际单位是：帕（斯卡），用符号 Pa 表示（ N/m^2 ）实际应用时，常采用千帕（kPa）或兆帕（MPa）。

锅炉内的压力，是由于水受热达到沸点开始汽化为蒸汽后，体积膨胀（在大气压下 1 公斤水蒸发成蒸汽，体积膨胀 1725 倍），由于锅筒是密闭容器，蒸汽不能自由膨胀，而被迫压缩在锅筒内，因此对筒壁就产生了压力。

（一）大气压力：是由于空气重量产生的。1 立方米空气在 0°C 时重 1.29 公斤，所以地球上部的大气层对地球表面有一定的压力，这个压力叫大气压力。在 0°C 时大气压力是 1.033 公斤力/厘米²，工程上近似取为 1 公斤力/厘米²，称为工程大气压。

1 个工程大气压等于 10 米水柱高，或 735.6 毫米水银柱高。

有些旧式锅炉上压力用英制单位（磅/英寸²）表示，它与公制压力单位及国际压力单位的换算关系为：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤力/厘米}^2 &= 14.22 \text{ 磅/英寸}^2 \\ &= 98.1 \text{ KPa} = 0.0981 \text{ MPa} \end{aligned}$$

（二）表压力：是指压力表上读出的数值，也就是指锅筒内部高于大气压力的部分，因此表压力不是实际压力，因为当压力表指针为零时，实际上已受到周围一个大气压力的作用。

（三）绝对压力：指实际压力，绝对压力的数值，就是表压力加大气压力。

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{大气压力} = \text{表压力} + 1$$

（四）负压（真空）：即绝对压力低于大气压力的数值，也就是大气压力与绝对压力之差。

负压 = 大气压力 - 绝对压力 = 1 - 绝对压力

三、比容、重度

(一) 比容：单位重量的工质所占有的体积，叫比容。

$$v = \frac{V}{G}$$

式中：v——比容，米³/公斤；

V——体积，米³；

G——重量，公斤。

(二) 重度：单位体积的工质所具有的重量叫重度。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{或} \quad \gamma = \frac{1}{v}$$

式中：γ——重度，公斤/米³。

由上可知，比容与重度是互为倒数的。

四、热量、比热

(一) 热量：热量是指物体吸收或放出的热的多少。热量的国际单位单位是焦〔耳〕，用符号 J 表示 (N·m)。其定义为 1 牛顿 (1N = 1kg·m/s²) 的力作用于质点，使它沿力的方向移动 1 米距离所做的功，称为 1 焦〔耳〕。在工程上应用时采用千焦〔耳〕(kJ)。在物理学中，把 1 克纯水从 14.5℃ 加热到 15.5℃ 所吸收的热量，规定为 1 卡。在工程上应用时嫌卡太小，故通常用千卡 (也称大卡)，即 1 卡的 1000 倍作为计量单位来进行计算的。我国现行热量单位卡有 20℃ 卡、国际蒸汽表卡、热化学卡，与焦〔耳〕间的换算关系为：

1 20℃ 卡 = 4.1816 焦

1 国际蒸汽表卡 = 4.1868 焦

1 热化学卡 = 4.1840 焦。

热量与温度不同，它们是两个不同的概念，温度是描述状态的参数，指的是物体的冷热程度，而热量是指物体状态发生变化前后热能增减多少的物理量，一般情况下，物体吸收了热量，温度就要升高，物体放出了热量，温度便下降。在特殊情况下，则不是这样，例如，水沸腾后继续吸收热量时，只发生状态变化，而温度则恒定不变。

(二) 比热：单位物理量的物质温度变化 1K (1°C) 所吸收 (或放出) 的热量，叫做这种物体的比热。比热按物理量表示单位的不同，可以分为重量比热和容积比热。重量比热是表示 1 公斤物体当温度升高 (或降低) 1K (1°C) 时所吸收 (或放出) 的热量，以 C 表示，单位是千焦/公斤开 (kJ/kgK) 或千卡/公斤度 ($\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)。容积比热是表示 1 标准立方米的气体当温度升高 (或降低) 1K (1°C) 时所吸收 (或放出) 的热量，以 C 表示，单位是千焦/标米³开 ($\text{kJ}/\text{NM}^3 \cdot \text{K}$) 或千卡/标米³度 ($\text{kcal}/\text{NM}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$)。

另外，气体比热与过程的特性有关；相应于定压加热 (或冷却) 过程来说，有定压比热。相应于定容加热 (或冷却) 过程来说，有定容比热。因此在给出物质的比热时，应该注明是在什么条件下得出的。

在锅炉中烟气与空气的放热、吸热计算时多采用定压容积比热。

五、热焓

锅炉的热力过程，属于定压过程，在定压过程中热焓就是工作介质 (工质) 的含热量，简称“焓”。例如在锅炉内，保持压力大致不变的情况下，水被加热沸腾变成蒸汽所吸收的热量，变成蒸汽的热焓贮存于蒸汽内，而载热的蒸汽，可以用来加热，取暖之用，或通过一定的热力设备将热量转化

为机械能。“焓”也是一个状态参数，单位是千焦/公斤 (kJ/Kg) 或千卡/公斤 (kcal/kg)。

六、蒸发量

锅炉每小时产生蒸汽的数量称为蒸发量。单位是吨/时 (T/h) 或公斤/时 (kg/h)。锅炉铭牌上所标出的蒸发量，是该锅炉按额定蒸汽参数，长期运行所能产生的最大蒸发量，又称为额定蒸发量。

锅炉运行时，实际蒸发量为额定蒸发量的 75~80% 时，锅炉效率最高，这时的蒸发量称为经济蒸发量。

七、蒸发率

蒸发率是指锅炉每平方米受热面积上，每小时所能产生蒸汽的数量，单位是公斤/米²·时 (kg/m²·h)。锅炉的型式不同，蒸发率也不同。一般火管锅炉为 15~20 公斤/米²·时，水管锅炉为 30 公斤/米²·时以上。蒸发率越高，同样蒸发量所需要的受热面积就越少。

八、受热面积

在锅炉内，凡是一面和煤燃烧生成的火焰或高温烟气接触，吸收它们所放出来的热量，另一面再将热量传给水或蒸汽（饱和蒸汽或过热蒸汽）的钢管或钢板，就是这台锅炉的受热面，它包括辐射、对流、尾部受热面等。通常，以接触火焰或烟气的一面来计算受热面积，单位是米² (m²)。

九、煤水比

锅炉在单位时间内的耗煤量和这段时间内产生的蒸汽量之比，称为该锅炉的煤水比。煤水比同锅炉型式、燃煤品种和运行管理水平有关，工业锅炉煤水比一般为 1:5~1:8 左右。煤水比可以大致表明锅炉运行的经济性。

十、锅炉金属耗率

锅炉制造时耗用的金属重量与其额定蒸发量之比，称为锅炉金属耗率，俗称钢水比。现代工业锅炉金属耗率一般为2~6左右，即制造一台蒸发量为1吨/时的锅炉，大约耗用2~6吨钢材，它是衡量锅炉是否先进的指标之一。

第三节 热工知识

热工基础知识包括热力学和传热学两方面：热力学是研究有关能量、尤其是热能的性质和规律（主要是转换规律）的科学；传热学是研究热量在传递过程中的有关规律的科学。

热能在转换和传递过程中，必须按照热力学第一、第二定律和传热的三个基本定律进行；同时还必须通过一定的设备和载能体（又称媒介物）来实现，设备包括：锅炉、窑炉、热机、换热器、冷凝器、热管、干燥箱、蒸发器等，统称为热设备。载能体为蒸汽、水、空气、烟气等。

一、体系、状态、过程和循环

（一）体系：在热工中，把要研究的对象从周围物体中划分出来，这个研究对象就称为体系。体系周围的有关物体称为外界（或环境）。体系是我们着重研究的，对外界则只考虑它与体系间的质量与能量交换。例如，在进行锅炉热平衡测试时，把锅炉本体看作体系，研究它与外界的热能平衡问题；又如在研究蒸汽管道散热情况时，把管道内的蒸汽看作体系（以管道内壁面和进出管道的截面为分界面），研究蒸汽本身压力、温度的变化，以及蒸汽与大气、保温层及管壁之间的热交换。

体系可分为开口体系、封闭体系、绝热体系和孤立体

系。开口体系是指和外界有质量交换的体系。如锅炉及各种动力设备、化工设备和热工设备等，均属开口体系；封闭体系是指和外界没有质量交换的体系。如造纸工业中的蒸球，在装料后至出料前的加热过程中可视为封闭体系；绝热体系是指与外界没有热量交换的体系，如蒸汽在汽轮机中的高速运动，由于蒸汽停留时间短促，来不及进行热交换（或非常微小），可当作绝热体系；孤立体系是指与外界既没有质量交换又没有能量交换的体系，这是一种科学想象，实际中并不存在，只是在分析问题时，把所有的研究对象都划到一个体系内，视为孤立体系。

（二）状态：状态系指某一瞬间体系内工质所处的状况，它是体系内各种特性的总标志。如蒸汽是处于饱和状态还是过热状态。

用来表明工质所处热力状态的物理量叫做状态参数，各状态参数都有一个确定数值。任何一个状态参数发生了变化，也就表明工质状态发生了变化。最基本的状态参数有温度、压力和比容，另外还有内能、焓、熵等状态参数。

（三）过程和循环：过程就是体系状态变化的经过，如加热、冷却、蒸发、膨胀、压缩等都是常见的过程。

实际生产过程几乎都是反复不断、周而复始地进行的，工质从某一个最初状态开始，中间经过若干变化，最后又回到原来的状态，称为循环。

对于经过一个循环后能够对外界作功的循环称为正循环或动力循环；反之对消耗功的循环称为逆循环或非动力循环；利用水蒸气来作功的循环称为蒸汽动力循环。