

国家质量监督检验检疫总局 审定教材
特种设备安全监察局

工业锅炉司炉教程

(第 二 版)

鹿道智 主编



航空工业出版社

国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局审定教材

工业锅炉司炉教程

(第二版)

鹿道智 主 编

航空工业出版社

内 容 提 要

根据新形势的需要,国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局组织专家对《工业锅炉司炉教程》进行了全面修订。全书共分十章,其内容包括:锅炉的基本知识,锅炉结构,燃烧与加热设备,锅炉附件与仪表,锅炉附属设备与管道,锅炉水质处理,锅炉运行与维护保养,锅炉事故与处理,锅炉安全管理,以及锅炉的节能与环保等。

本书的读者对象是:工业锅炉司炉人员及有关管理干部。

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉司炉教程(第二版)/鹿道智主编. —北京:航空工业出版社, 2005. 4

ISBN 7-80183-568-9

I. 工… II. 鹿… III. 工业锅炉—司炉—教材
IV. TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 020571 号

工业锅炉司炉教程(第二版)

Gongye Guolu Silu Jiaocheng (Di'erban)

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64919539 010-64978486

京华印刷制版厂印刷

全国各地新华书店经售

2005年4月第2版

2005年4月第1次印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 16.375 字数: 365 千字

印数: 1—10000

定价: 22.00 元

序

据统计，目前全国共有在用的承压锅炉 50 多万台，其中绝大多数是工业锅炉。工业锅炉运行安全是安全生产的重要组成部分，它不仅关系到保障人民生命财产安全，也直接关系到经济的健康发展，甚至社会稳定。加强对司炉人员的培训是确保工业锅炉运行安全的必要前提，也是锅炉安全监察的重要内容之一。

根据新形势的需要，我局修改了原《锅炉司炉工人安全技术考核管理办法》，实施新的《锅炉司炉人员考核管理规定》。同时，组织有关专家编写了这本《工业锅炉司炉教程》作为全国统一的司炉人员培训教材，与之配套的还有《工业锅炉司炉教程习题集》。希望本书的出版能对统一我国工业锅炉司炉人员培训考核内容，提高培训质量有所帮助，达到减少或杜绝锅炉事故发生的目的，确保工业锅炉使用安全，为我国的经济和社会发展作出贡献。

国家质量技术监督局
锅炉压力容器安全监察局

局长 张纲

2001 年 4 月 1 日

前 言

随着改革开放的深入，工业锅炉发生了很大变化，一方面从国外引进了大量锅炉，另一方面生产厂家也开发了很多新型锅炉。另外，工业锅炉的规范作了很多修改，新的技术不断涌现。以往的司炉人员培训教材已不能适应新形势的需要。根据工作需要，我们在国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局的部署下，借助全球环境基金会（GEF）通过世界银行赠款的中国高效工业锅炉项目的支持，我们编写了这本《工业锅炉司炉教程》，作为全国统一的工业锅炉司炉人员培训考核教材。这本书在吸取以往司炉人员培训教材有益内容的基础上，主要注意了以下两点：一是尽量采用工业锅炉的新技术，弥补以往教材的不足，例如新型锅炉结构、锅炉环保节能要求、全自动软水器等；二是采用最新的规程、规则、规范、标准，例如新的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、工业锅炉安装规范、水质标准等，以适应现实工作的需要。

本书的编写大纲及要求由国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局锅炉处提出，由鹿道智同志主编，由陈亦惠、童有武二同志主审。其中第一章、第二章由吴少华同志编写，第三章、第六章由德亭同志编写，第四章由吴兴华同志编写，第五章、第十章由鹿道智同志编写，第七章由李

春友和关世杰同志编写，第八章由朱传标同志编写，第九章由李晗同志编写。

国家质量技术监督局郭元亮、尹学军、柯振权同志为本书提出了导向性意见，指导了编写的全过程，并参与了稿件的审定工作。

由于时间仓促，参考资料不足，加之编者水平所限，书中难免会有许多不足或错误，恳请广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2001.4.1

第二版说明

《工业锅炉司炉教程》出版后受到广大读者的欢迎，在使用过程中大家也提了一些有益的意见，希望增加各种锅炉工作系统、燃油燃气锅炉、单位换算表等内容，删掉一些繁琐的内容。另外，近几年来国家有关锅炉的法规、标准有了比较大的变化，例如国家颁布了《特种设备安全监察条例》、《锅炉压力容器制造监督管理办法》、《锅炉安装改造单位监督管理规则》、《锅炉压力容器使用登记管理办法》等新法规和《工业锅炉产品型号编制方法》、《工业蒸汽锅炉参数系列》、《热水锅炉参数系列》、《工业锅炉运行规程》等新标准，应根据国家新颁布的法规、标准对原《工业锅炉司炉教程》的相关内容进行修改。

为此，我们决定对《工业锅炉司炉教程》进行修改再版。在修改中我们按照最新的法规、标准对内容进行了调整，同时增加了一些新技术内容，例如分层燃烧、汽化燃烧、水煤浆及变频电机技术等，使教程更贴近锅炉运行实际。再版时还对原教程印刷过程中的错误作了纠正。再版的《工业锅炉司炉教程》是目前国内司炉培训教材的最新版本，应用此教程会提高司炉培训的工作水平。尽管如此，书中还会有不足或错误，恳请广大读者多提宝贵意见，以便下次再版时修改得更好。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第一章 锅炉的基本知识

第一节	锅炉的用途及工作原理·····	(1)
第二节	锅炉的主要参数·····	(3)
第三节	锅炉规格及型号表示法·····	(6)
第四节	水蒸气和其他工质的性质及水循环·····	(13)
第五节	燃料与燃烧及热效率·····	(21)
第六节	传热及热胀冷缩·····	(36)
第七节	锅炉用钢·····	(39)
第八节	各种锅炉工作系统·····	(39)

第二章 锅炉结构

第一节	锅炉结构的基本要求和基本构成·····	(51)
第二节	锅炉的结构特点及分类·····	(56)
第三节	常用的锅炉结构·····	(57)

第三章 燃烧与加热设备

第一节	燃烧方式·····	(109)
第二节	固定炉排·····	(112)
第三节	链条炉排·····	(118)
第四节	抛煤机倒转炉排·····	(131)
第五节	往复炉排·····	(134)
第六节	流化床燃烧·····	(142)
第七节	油、气燃烧器 ·····	(149)
第八节	电加热设备·····	(163)

第四章 锅炉附件与仪表

第一节	安全阀	(167)
第二节	压力表	(174)
第三节	水位表	(180)
第四节	温度仪表	(187)
第五节	排污与放水装置	(193)
第六节	锅炉的保护装置与自动控制	(199)

第五章 锅炉附属设备与管道

第一节	给煤设备	(223)
第二节	通风设备	(228)
第三节	除渣设备	(236)
第四节	给水设备	(240)
第五节	其他附属设备	(254)
第六节	锅炉范围内的管道	(257)

第六章 锅炉的节能与环保

第一节	锅炉的节能	(273)
第二节	锅炉的环保	(283)

第七章 锅炉水质处理

第一节	锅炉用水基本知识	(314)
第二节	锅炉用水评价指标	(319)
第三节	工业锅炉水质标准	(323)
第四节	水质指标间的关系	(326)
第五节	水垢的形成、危害及清除	(330)
第六节	锅外水处理	(336)
第七节	锅内水处理	(351)
第八节	锅炉给水除氧	(359)

第八章 锅炉运行与维护保养

第一节	锅炉运行前的检查与准备·····	(365)
第二节	蒸汽锅炉的运行·····	(373)
第三节	热水锅炉的运行·····	(391)
第四节	燃油燃气锅炉的运行·····	(400)
第五节	循环流化床锅炉的运行·····	(416)
第六节	有机热载体炉的运行·····	(425)
第七节	锅炉的维护与保养·····	(436)

第九章 锅炉事故与处理

第一节	锅炉事故综述·····	(446)
第二节	锅炉爆炸事故·····	(451)
第三节	蒸汽锅炉事故·····	(455)
第四节	热水锅炉事故·····	(472)
第五节	燃油燃气锅炉事故·····	(477)
第六节	循环流化床锅炉事故·····	(481)
第七节	有机热载体炉事故·····	(483)

第十章 锅炉安全管理

第一节	司炉的条件与职责·····	(486)
第二节	锅炉生产环节的安全监察·····	(487)
第三节	锅炉使用环节的安全监察·····	(492)
第四节	锅炉房的安全管理·····	(500)
第五节	锅炉安全监察与管理的法规及标准·····	(503)

附录	单位换算表·····	(505)
----	------------	-------

参考文献·····	(509)
-----------	-------

第一章 锅炉的基本知识

第一节 锅炉的用途及工作原理

锅炉是国民经济中重要的热能供应设备。电力、机械、冶金、化工、纺织、造纸、食品等行业，以及工业和民用采暖都需要锅炉供给大量的热能。

锅炉是利用燃料燃烧释放出的热能或其他能量将工质（中间载热体）加热到一定参数的设备。应用于加热水使之转变为蒸汽的锅炉称为蒸汽锅炉，也称为蒸汽发生器；应用于加热水使之提高温度转变为热水的锅炉，称为热水锅炉；而应用于加热有机热载体的锅炉称为有机热载体锅炉。

从能源利用的角度看，锅炉是一种能源转换设备。在锅炉中，一次能源（燃料）的化学贮藏能通过燃烧过程转化为燃烧产物（烟气和灰渣）所载有的热能，然后又通过传热过程将热量传递给中间热载体（例如水和蒸汽），依靠它将热量输送到用热设备中去。

这种传输热量的中间载热体属于二次能源，因为它的用途就是向用能设备提供能量。当中间载热体用于在热机中进行热—功转换时，就叫做“工质”。如果中间载热体只是向热设备传输、提供热量以进行热利用，则通常被称为“热媒”。

锅炉按其用途可以分为电站锅炉、工业锅炉、船舶锅炉和机车锅炉等四类。前两类又称为固定式锅炉，因为是安装

在固定基础上而不可移动的。后两类则称为移动式锅炉。本书介绍的是固定式工业锅炉。

在锅炉中进行着三个主要过程：

(1) 燃料在炉内燃烧，其化学贮藏能以热能的形式释放出来，使火焰和燃烧产物（烟气和灰渣）具有高温。

(2) 高温火焰和烟气通过“受热面”向工质（热媒）传递热量。

(3) 工质（热媒）被加热，其温度升高或者汽化为饱和蒸汽，或再进一步被加热成为过热蒸汽。

以上三个过程是互相关联并且同时进行的，实现着能量的转换和传递。伴随着能量的转换和转移还进行着物质的流动和变化：

(1) 工质，例如给水（或回水）进入锅炉，最后以蒸汽（或热水）的形式供出。

(2) 燃料，例如煤进入炉内燃烧，其可燃部分燃烧后连同原含水分转化为烟气，其原含灰分则残存为灰渣。

(3) 空气送入炉内，其中氧气参加燃烧反应，燃烧后过剩的空气和反应剩余的惰性气体混在烟气中排出。

水—汽系统、煤—灰系统和风—烟系统是锅炉的三大主要系统，这三个系统的工作是同时进行的。

通常将燃料和烟气这一侧所进行的过程（包括燃烧、放热、气体流动、排渣等）总称为“炉内过程”；把水、汽这一侧所进行的过程（水和蒸汽流动、吸热、汽化、汽水分离、热化学过程等）总称为“锅内过程”。

第二节 锅炉的主要参数

锅炉的主要参数，包括锅炉产生热能的数量和质量两个方面的指标。如蒸汽锅炉的主要参数是生产蒸汽的数量和蒸汽的压力、温度，热水锅炉的主要参数是热功率和热水的压力、温度。

一、锅炉出力

蒸汽锅炉的出力是指每小时所产生的蒸汽数量，也称为锅炉的蒸发量，用以表示其产汽的能力。蒸发量又称为容量，用符号 D 来表示，常用的单位是“t/h”。

新锅炉出厂时，铭牌上所标示的蒸发量，指的是这台锅炉的额定蒸发量。所谓额定蒸发量，是指锅炉燃用设计的燃料品种，并在设计参数下运行，即在规定的压力、温度和一定的热效率下，长期连续运行时每小时所产生的蒸汽量。

热水锅炉的出力是指锅炉在确保安全的前提下长期连续运行，每小时输出热水的有效供热量，称为锅炉的额定供热量。热水锅炉的额定供热量用热功率表示，其单位为“MW”。

热水锅炉在按蒸发量估算供热量时，可以近似地取热功率 0.7 MW (700 kW)、 $60 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ 相当于 1 t/h 蒸发量。

二、锅炉压力

压力是指垂直作用在单位面积上的力，实际上是压强，用符号 p 表示，单位是“MPa”。

锅炉的压力是根据所用金属材料在一定温度条件下的强度，受压元件的几何形状以及受压特点等条件，按照国家颁

布的有关强度计算标准，对各个受压元件分别进行强度计算，然后从中选出一个所能承受的压力最低值，作为这台锅炉的最高允许使用压力。

蒸汽锅炉内为什么会有压力呢？这是因为锅炉内的水吸收热量后，由液体状态变成气体状态，体积膨胀。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，因此对筒壁产生压力。

热水锅炉压力主要是由锅炉给水的压力造成的。热水锅炉的水是由给水泵送入锅炉的，给水泵的出口压力减去管道阻力就是锅炉的给水压力。

大气压力是指空气作用在地球表面上的质量力。由于 1 m^3 空气在 0°C 时的质量为 1.29 kg ，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。 0°C 时在北纬 22.5° 的海平面上（即海拔零米处）大气压力是 0.1013 MPa 。工程上常用工程大气压，它是每千克质量的物质作用在 1 cm^2 面积上的力，数值是 0.0981 MPa （工程上常把二者简化为同一数值，约为 0.1 MPa ）。

另外，随着使用的场合不同，度量压力的单位还有水银柱高度（mmHg）、水柱高度（ mH_2O ）等，其换算关系如下：

$$\begin{aligned} 0.0981\text{ MPa} &= 0.9678\text{ 物理大气压} = 735.6\text{ mmHg} \\ &= 10\text{ mH}_2\text{O} = 1\text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

表压力是指以大气压力作为测量起点，即压力表指示的压力。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力，所以压力表指的数值，是指超过大气压力的部分。

绝对压力是指以压力为零作为测量起点的，即实际压力。其数值就是表压力加 0.1013 MPa （大气压力）。

表压力与绝对压力的关系：

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + 0.1013 \text{ (MPa)}$$

$$p_{\text{表}} = p_{\text{绝}} - 0.1013 \text{ (MPa)}$$

负压是指低于大气压力（俗称真空），用符号 $p_{\text{真}}$ 表示， $p_{\text{真}} = \text{大气压力} - p_{\text{绝}}$ 。负压与大气压力之比的百分数，称为真空度，即真空度 $= \frac{\text{负压}}{\text{大气压力}} \times 100\%$ 。通常负压燃烧的锅炉正常燃烧时，打开炉门会感觉到周围空气吸向炉膛，这是炉膛内负压的缘故。一般炉膛出口保持负压 $2 \sim 3 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。

三、温度

温度是指物体冷热的程度（通常用符号 t 表示）。测量温度常用的单位是摄氏度，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。在锅炉设计计算中，常用绝对温度单位，用 K 表示。绝对温度的零度为零下 273 摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。如果以 T 表示绝对温度的值，以 t 表示摄氏温度的值，其转换公式为： $T = t + 273\text{K}$

温度通常用摄氏温度（用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示）和华氏温度（用符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示）来表示。目前我国常用的是摄氏温度。

(1) 摄氏温度：以水在一个大气压下开始沸腾时的温度（即沸点）为 100°C ，水开始结冰时的温度（即冰点）为 0°C ，中间分成 100 格，每格为 1 摄氏度。

(2) 华氏温度：以水的沸点为 212°F ，冰点为 32°F ，中间分成 180 格，每格为 1 华氏度。

两种温度的换算关系如下：

$$t^{\circ}\text{C} = (5/9)(^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8t^{\circ}\text{C} + 32$$

蒸汽锅炉的额定蒸汽温度是指锅炉输出蒸汽的最高工作温度。一般锅炉铭牌上载明的蒸汽温度是以摄氏温度表示

的。对于小型锅炉，使用的蒸汽绝大多数是从锅筒上部的主汽阀直接引出的，其蒸汽温度是指该锅炉工作压力下的饱和蒸汽温度。对于有过热器的锅炉，其蒸汽温度是指过热器后主汽阀出口处的过热蒸汽温度。

热水锅炉的额定热水温度是指锅炉输出热水的最高工作温度。锅炉铭牌上载明的热水温度也是以摄氏温度表示的。

第三节 锅炉规格及型号表示法

在我国锅炉制造业中，将工质出口压力在中压（3.8 MPa）以上的锅炉划归电站锅炉行业，其产品主要用于发电，但也可用于大型锅炉房内提供生产（工艺和动力）用热。工质出口压力为低压（不超过2.5 MPa）的锅炉划归工业锅炉行业，其产品主要用于为生产和生活（主要是采暖）提供蒸汽和热水，但也有用于小型发电设备的。此外，往往还从各种不同角度对锅炉进行分类和命名，使其名称能反映出其某个方面的特征。例如：按工质及其输出状态分为蒸汽锅炉、热水锅炉等；按热源分为燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、电加热锅炉等；按燃烧方式和燃烧设备分为火床燃烧锅炉（层状燃烧锅炉、炉排锅炉）、火室燃烧锅炉（悬浮燃烧锅炉、煤粉锅炉）、沸腾燃烧锅炉（流化床燃烧锅炉）等；按工质在锅炉内部的流动方式分为自然循环锅炉、强制循环锅炉、直流锅炉等；按通风方式分为自然通风锅炉、机械通风锅炉等；按锅炉炉型结构分为锅壳（火管）锅炉、水管锅炉等；按运输安装方式分为快装锅炉、整装锅炉、散装锅炉等。

一、工业锅炉参数系列

1. 蒸汽锅炉

工业蒸汽锅炉的参数系列由国家标准 GB/T 1921 《工业蒸汽锅炉参数系列》规定，见表 1-1。

表 1-1 工业蒸汽锅炉额定参数系列

额定 蒸发 量 /(t/h)	额定蒸汽压力（表压力/MPa）											
	0.1	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额定蒸汽温度/℃											
	饱和	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△	△										
0.2	△	△	△									
0.3	△	△	△									
0.5	△	△	△	△								
0.7		△	△	△								
1		△	△	△								
1.5			△	△								
2			△	△	△			△				
3			△	△	△			△				
4			△	△	△			△		△		
6				△	△	△	△	△	△	△		
8				△	△	△	△	△	△	△		
10				△	△	△	△	△	△	△	△	△
12					△	△	△	△	△	△	△	△
15					△	△	△	△	△	△	△	△
20					△	△	△	△	△	△	△	△
25					△		△	△	△	△	△	△
35					△		△	△	△	△	△	△
65											△	△

锅炉设计时的给水温度分 20°C、60°C、104°C 三挡，由设计单位结合具体情况确定。考核时如实测给水温度与设计值不符，应对实测蒸发量进行折算。