

国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局审定教材

工业锅炉 水处理技术

主编：郝景泰 于 萍 周 英

主审：贾国荃

化学工业出版社

TK223.5
H-433

国家质量监督检验检疫总局压力容器安全监察局审定教材

工业锅炉水处理技术

主 编 郝景泰 于 萍 周 英

主 审 贾国荃

化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业锅炉水处理技术/郝景泰, 于萍, 周英主编. 北京: 气象出版社, 2000. 4

ISBN 7-5029-2918-5

I. 工… I. ①郝…②于…③周… III. 工业锅炉-锅炉用水-水处理 IV TK223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 22228 号

内 容 提 要

本书全面而系统地介绍了工业锅炉水处理的基本知识, 包括锅炉基本知识, 水的锅炉内、锅炉外化学药剂处理, 水的预处理、离子交换处理及自动再生离子交换器的运行操作技术, 锅炉结垢、腐蚀的原因和防止措施, 锅炉的化学清洗, 水质标准及水质分析方法等, 附录中提供了一些常用的数据资料以备查用。

本书经国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局审定, 可作为从事低压锅炉水处理运行和检验人员的培训教材, 也可作为与此书所介绍的技术有关的设计和管理人员的参考书。

气象出版社出版

(北京白石桥路 46 号 邮编: 100081 电话: 68407061)

责任编辑: 王 新 成秀虎 终审: 纪乃晋

封面设计: 李洪杰 责任技编: 陈 红 责任校对: 宋春香

*

北京海丰印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 16 字数: 358 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1~2300 定价: 29.50 元

前 言

锅炉水处理的目的在于防止锅炉结垢、腐蚀，保证锅炉工况和品质的良好，搞好锅炉水处理对确保锅炉安全经济运行、节约能源、保护环境有重大的意义。

锅炉水处理工作是锅炉安全监察管理工作的重要组成部分。经过多年努力，锅炉水处理工作取得了一定的成就，解决了长期存在的锅炉水处理无章可循的局面。随着我国社会主义经济的迅速发展，我国锅炉的生产与使用也越来越多。据统计，我国在用锅炉总数已达 50 余万台，有水处理设备的锅炉为 40 余万台。在全国基本上普及了锅炉水处理，我国锅炉水处理技术得到长足的发展。但是，锅炉水处理管理工作不能放松。应当清醒地看到还存在问题，有的还是十分严重的。在锅炉事故中，因水处理而引起锅炉的事故数量仍占很大比率。我们必须树立“安全第一”和“质量第一”的思想，加强锅炉水处理管理、监察、监督、监测和检查；随着科技进步，不断提高管理、操作、检测人员的素质；打击假冒伪劣产品充斥市场造成的恶果，避免酿成锅炉事故。

为进一步规范锅炉水处理行为，今年 9 月国家质量技术监督局颁布了新修订的《锅炉水处理监督管理规则》和《锅炉化学清洗规则》，完善了锅炉水处理的法制建设，现全国各地正在组织宣传贯彻。

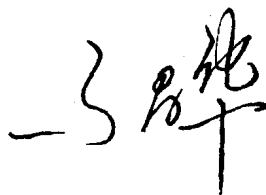
为了不断地提高锅炉水处理的管理、操作、检测人员的素质，国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局要求结合我国南北方不同水质的实际情况，指定编写了这本《工业

锅炉水处理技术》一书，做为上述人员的培训教材。

本书共分十一章。第一章：化学基础知识；第二章：锅炉用水概述；第三章：锅炉基本知识；第四章：锅炉的腐蚀与保护；第五章：水垢的形成与防止；第六章：锅内加药处理方法及其排污；第七章：水的预处理；第八章：锅外离子交换水处理；第九章：锅炉化学清洗；第十章：水质分析方法；第十一章：溶液的配制与标定方法。总的讲，本书内容结合了我国的实际情况，包括了近年来国内外的先进技术和科技成果，反映了当前的科技水平。随着时间的推移、科学技术的迅猛发展，这本指定教材在今后的日子里，也将要不断地充实和完善，以适应科技发展的实际情况。

面向 21 世纪，知识经济正在兴起，我国加入世贸组织的谈判正在加快步伐，我国锅炉水处理技术的发展和运用以及锅炉水处理管理工作，面临着新的机遇和挑战。希望这本指定教材能为我国锅炉水处理技术产业和提高锅炉水处理工作各方面人员的素质作出有价值的贡献。

国家质量技术监督局
锅炉压力容器安全监察局
副局长



1999 年 12 月 21 日

编 者 的 话

锅炉水质处理，是保证锅炉设备安全、经济运行的一项重要工作内容。对于节约能源、环境保护也关系极大。搞好锅炉水处理工作，在很大程度上取决于水质处理技术的普及与提高。为使广大从事锅炉水处理工作人员提高理论知识和技术水平，适应锅炉管理科学化的需要，国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局多次在会议上研究布置编写教材事宜。明确要求协会负责组织编写工作，内容要通俗易懂，理论结合实际，且尽可能全国统一实用。

国家质量技术监督局最近颁发了新修订的《锅炉水处理监督管理规则》，各省市锅炉安全监察部门及各有关企、事业单位都在积极宣传贯彻，实际工作很需要一套由锅炉压力容器安全监察局新审定的锅炉水质处理培训教材。为此，我们在总结锅炉水处理培训工作的基础上，参考有关方面的资料组织编写了本书。

本书在编写中，努力贯彻我国现行有关锅炉水处理的行政法规、标准和技术政策，并在相关内容注意搞好接口。按照国家计量法的要求对原有教材中一些计量单位，进行了必要的修订。还删除了当量、当量浓度、百分比浓度、摩尔浓度等名称。编写中，力求做到图、文、表并茂，实用可行，通俗易懂，简明扼要，努力使其成为完整性、实用性、技术性融为一体的全国适用的培训教材。

本书由郝景泰同志主编。于萍、周英、张爱祥等同志执笔。贾国荃同志审定。在编写过程中，国家质量技术监督局

郭元亮处长，柯振权同志和中国锅炉水处理协会理事长马德林，秘书长童有武提出了宝贵的指导性意见，并参与了稿件的审查工作。

本书可作为从事锅炉水质处理工作人员的技术培训教材及有关人员的参考书。由于编者水平有限，书中错谬在所难免，望读者多提宝贵意见。

编者

1999. 12. 21

目 录

第一章 化学基础知识..... (1)

第一节 化学的基本概念..... (1)

一、物质的组成..... (1)

二、元素和元素符号..... (2)

三、原子的构成..... (3)

四、分子、分子式与化合价..... (4)

五、常见的化学反应及运用化学方程式的有关
计算..... (7)

第二节 摩尔及物质的量..... (11)

一、摩尔..... (12)

二、摩尔质量..... (12)

三、物质的量..... (13)

四、溶液的浓度及其表示方法..... (14)

第三节 酸、碱、盐、氧化物及其络合物..... (17)

一、酸及其一般性质..... (17)

二、碱及其一般性质..... (19)

三、盐及其一般性质..... (20)

四、氧化物及其性质..... (22)

五、络合物及其一般性质..... (23)

第四节 化学反应速度与化学平衡..... (25)

一、化学反应速度..... (25)

二、化学平衡..... (26)

第五节 电离平衡.....	(28)
一、电解质及其电离.....	(28)
二、弱电解质及其电离.....	(29)
三、水的电离及其 pH 值	(31)
四、缓冲溶液.....	(33)
五、离子反应式.....	(36)
六、盐类的水解.....	(38)
第二章 锅炉用水概述.....	(41)
第一节 天然水的特点及我国天然水的分布.....	(41)
一、天然水的特点.....	(41)
二、我国天然水分布的特点.....	(45)
第二节 天然水中的杂质.....	(46)
一、悬浮物.....	(47)
二、胶体.....	(47)
三、溶解物质.....	(47)
第三节 碳酸化合物的存在形态与 pH 值的 关系.....	(53)
一、碳酸化合物的存在形态.....	(53)
二、碳酸化合物的形态与 pH 值的关系	(54)
三、pH、 $[\text{HCO}_3^-]$ 和 $[\text{CO}_2^*]$ 的关系	(55)
四、pH 值和各种碳酸化合物相对含量之间 的关系.....	(55)
第四节 锅炉用水的水源及其名称.....	(57)
一、锅炉用水的水源.....	(57)
二、锅炉用水的名称.....	(57)
第五节 水质不良对锅炉的危害.....	(58)

一、锅炉的结垢·····	(58)
二、锅炉的腐蚀·····	(59)
三、汽水共腾·····	(59)
第六节 工业锅炉用水主要评价指标·····	(60)
一、悬浮物·····	(60)
二、含盐量·····	(61)
三、溶解固形物·····	(61)
四、电导率·····	(61)
五、硬度 (YD) ·····	(62)
六、碱度 (JD) ·····	(64)
七、酸度·····	(65)
八、有机物·····	(65)
第七节 给水与锅水监测的指标和意义·····	(67)
一、锅炉给水监测指标和意义·····	(67)
二、锅炉锅水监测指标和意义·····	(69)
第八节 水质指标间的关系·····	(70)
一、阳离子与阴离子之间的关系·····	(70)
二、含盐量与溶解固形物之间的关系·····	(71)
三、硬度与碱度的关系·····	(71)
四、碱度与相对碱度的计算·····	(74)
五、碱度与 pH 值的关系·····	(76)
六、氯化物与溶解固形物的关系·····	(78)
第九节 工业锅炉的水质管理·····	(79)
一、水处理工作任务·····	(79)
二、工业锅炉的水质管理·····	(80)
第十节 中华人民共和国国家标准·····	(81)
第十一节 修订说明·····	(84)

一、修订过程·····	(84)
二、原标准中需要修改、变动的项目和指标说明·····	(84)
第三章 锅炉基本知识·····	(90)
第一节 锅炉的分类及型号·····	(90)
一、锅炉的分类·····	(90)
二、锅炉型号·····	(91)
第二节 主要类型锅炉的结构·····	(95)
一、立式水管锅炉·····	(96)
二、卧式快装锅炉·····	(97)
三、水管锅炉·····	(98)
四、直流锅炉·····	(99)
第三节 锅炉的水汽循环·····	(100)
一、锅炉水循环的原理·····	(100)
二、水冷壁管的水循环·····	(102)
三、对流管束的水循环·····	(102)
四、锅炉的汽循环·····	(102)
第四章 锅炉的腐蚀与保护·····	(103)
第一节 金属腐蚀概论·····	(104)
一、金属腐蚀的分类·····	(104)
二、电化学基本知识·····	(105)
第二节 影响电化学腐蚀的因素及防止方法·····	(112)
一、影响电化学腐蚀的因素·····	(112)
二、防止电化学腐蚀的方法·····	(116)
第三节 应力腐蚀·····	(117)

一、应力腐蚀破裂·····	(117)
二、锅炉的碱脆·····	(120)
三、锅炉的氢脆·····	(122)
四、锅炉的腐蚀疲劳·····	(123)
第四节 锅炉给水系统金属的腐蚀·····	(125)
一、溶解氧腐蚀·····	(125)
二、游离二氧化碳的腐蚀·····	(126)
三、同时有氧和二氧化碳的腐蚀·····	(128)
第五节 锅炉汽水系统金属的腐蚀·····	(129)
一、氧腐蚀·····	(129)
二、沉积物下的腐蚀·····	(129)
三、水蒸气腐蚀·····	(132)
第六节 锅炉氧腐蚀的防止·····	(133)
一、锅炉氧腐蚀的影响因素·····	(133)
二、锅炉氧腐蚀的防止·····	(134)
第七节 停用锅炉的腐蚀与保护·····	(155)
一、停用锅炉保护的必要性·····	(155)
二、我国有关停用锅炉的有关规定·····	(157)
三、全国停用锅炉的规律·····	(158)
四、停用锅炉的保护方法的分类及选择原则·····	(159)
五、锅炉停用保护方法·····	(161)
第五章 水垢的形成与防止·····	(166)
第一节 水垢的特性·····	(166)
一、水垢的分类·····	(166)
二、水垢的分析·····	(167)
三、水垢的危害·····	(168)

第二节 水渣	(170)
一、水渣的组成	(170)
二、水渣的危害	(171)
第三节 水垢的形成与防止	(171)
一、钙、镁水垢	(171)
二、硅酸盐水垢	(174)
三、氧化铁垢	(174)
第六章 锅内加药处理方法及其排污	(176)
第一节 概述	(176)
一、基本原理	(176)
二、锅水中沉淀物的形态及改变的方法	(177)
三、使用特点	(178)
四、适用范围	(179)
第二节 锅内加药处理方法常用药剂	(179)
一、国内常用水处理药剂的种类	(179)
二、国内常用水处理药剂的性能	(180)
第三节 几种常用的锅内加药水处理方法	(187)
一、天然碱处理	(187)
二、加碱处理	(188)
三、有机防垢剂处理	(191)
四、复合防垢剂处理法	(192)
五、其它方法	(194)
第四节 常用水处理药剂药量计算	(195)
一、氢氧化钠和碳酸钠加药量计算	(196)
二、磷酸三钠 ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 用量 计算	(197)

一、混凝原理·····	(220)
二、影响混凝效果的因素·····	(222)
三、混凝剂和助凝剂·····	(225)
第三节 水的沉淀软化处理·····	(229)
一、沉淀软化处理概述·····	(229)
二、石灰沉淀软化处理·····	(229)
三、其它沉淀软化处理·····	(232)
第四节 沉淀处理的设备及其运行·····	(234)
一、沉淀处理的设备·····	(234)
二、澄清池的运行·····	(237)
第五节 过滤处理·····	(239)
一、过滤原理·····	(239)
二、滤料的选择·····	(240)
三、影响过滤运行的因素·····	(241)
四、过滤设备·····	(244)
第六节 其它过滤方式·····	(250)
一、混凝过滤·····	(250)
二、变孔隙过滤·····	(252)
三、活性炭吸附过滤·····	(252)
第七节 电渗析·····	(254)
一、电渗析的原理·····	(254)
二、电渗析设备简介·····	(255)
三、电渗析的效果及应用·····	(256)

第八章 锅外离子交换水处理····· (257)

第一节 离子交换剂····· (257)

一、交换剂的种类及其命名····· (257)

二、离子交换树脂的性能·····	(262)
三、离子交换树脂的使用、贮存及污染后的 处理·····	(273)
第二节 钠离子交换软化处理的基本原理·····	(278)
一、固定床钠离子交换的软化过程·····	(279)
二、固定床钠离子交换的再生过程·····	(280)
第三节 水的离子交换软化降碱处理·····	(287)
一、部分钠离子交换法·····	(287)
二、氢—钠离子交换法·····	(291)
三、部分氢离子交换法·····	(300)
四、氨—钠离子交换法·····	(303)
五、钠离子交换软化加酸处理·····	(305)
第四节 固定床离子交换设备与再生系统·····	(306)
一、顺流再生式离子交换器的结构·····	(306)
二、逆流再生式离子交换器的结构·····	(311)
三、再生系统·····	(315)
第五节 固定床离子交换器的再生操作及常见 故障处理·····	(319)
一、逆流再生式离子交换器再生操作·····	(319)
二、顺流再生式离子交换器操作·····	(324)
三、离子交换器常见故障及其消除方法·····	(325)
第六节 浮动床·····	(327)
一、浮动床工作原理·····	(327)
二、浮动床的设备结构·····	(328)
三、浮动床的操作方法·····	(332)
四、浮动床的特点·····	(336)
第七节 离子交换器运行管理及提高经济性措施	

.....	(337)
一、离子交换系统的选择.....	(337)
二、离子交换器的运行管理.....	(338)
三、有关的计算实例.....	(339)
四、提高离子交换器经济运行的一些措施.....	(342)
第八节 全自动离子交换软水器.....	(343)
一、进口或引进国外技术的全自动离子交换软水器.....	(344)
二、浮床式全自动钠离子交换器.....	(355)
第九节 水的离子交换除盐处理.....	(361)
一、离子交换除盐原理.....	(361)
二、一级复床的运行.....	(362)
第十节 水处理系统的防腐.....	(365)
一、橡胶衬里.....	(366)
二、防腐涂料.....	(367)
三、玻璃钢.....	(368)
四、塑料.....	(368)
五、不锈钢.....	(369)
第九章 锅炉化学清洗.....	(371)
第一节 锅炉清洗的条件及机理.....	(371)
一、锅炉除垢的重要性.....	(371)
二、锅炉化学清洗的条件.....	(372)
三、化学清洗的定义及机理.....	(372)
第二节 低压锅炉化学清洗常用药剂.....	(374)
一、清洗剂.....	(375)
二、添加剂.....	(379)