

◎ 安全生产新技术丛书

工业 锅炉 水处理技术

(第二版)

许兴炜 主编



中国劳动社会保障出版社

ANQUAN

SHENGCHAN XINJISHU CONGSHU

安全生产新技术丛书

工业锅炉水处理技术

(第二版)

许兴炜 主编

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

·工业锅炉水处理技术/许兴炜主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2008

ISBN 978-7-5045-6793-2

I. 工… II. 许… 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(2008)第 045043 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京新华印刷厂印刷 北京密云青云装订厂装订

850 毫米×1168 毫米 32 开本 12.5 印张 308 千字

2008 年 5 月第 2 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定价: 26.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

编 委 会

主 任	闪淳昌	施卫祖	吕海燕	牛开健
委 员	杨国顺	柯振泉	冯维君	吴旭正
	高继轩	杨有启	孙桂林	王海军
	马恩远	王琛亮	时 文	邢 磊
	甘晓东	冯国庆	吴 燕	钮英健
	张建荣	刘普明	洪 亮	曹希桐
	李家兰	徐洪军	王何畏	郑建军
主 编	许兴炜			

内 容 提 要

本书以最新颁布的国家标准和规范为依据，系统全面地介绍了工业锅炉水质监督管理及水处理作业人员应掌握的工业锅炉水处理知识和操作技能。主要内容有：工业锅炉用水的基础知识、锅炉水质分析基本知识、工业锅炉用水的预处理、离子交换树脂及离子交换原理、水的除盐处理、锅内加药处理、锅炉腐蚀及防腐蚀、锅炉化学清洗。

本书可作为工业锅炉水质监督管理人员及水处理作业人员的培训教材，也可供相关技术人员和管理人员学习参考。

前 言

进入 21 世纪，人类跨进一个崭新的时代。人们在欢庆新世纪，享受经济高速发展带来的成果的同时，也面临着生产中种种危险隐患的威胁。因此，在坚持科学发展观，实施可持续发展战略，全面建设小康社会的过程中，安全生产工作便显得尤其重要。

当前，我国正处于经济发展的转型期，工业安全生产基础薄弱，安全生产管理水平不高。受生产力发展水平、从业人员整体素质等因素的影响，安全生产形势相当严峻，重大特大事故频繁发生，造成了巨大的人员伤亡和财产损失。这种局面如果得不到有效控制，将直接影响我国改革开放、经济发展、构建社会主义和谐社会宏伟目标的实现。

随着科学技术的进步和发展，新设备、新产品、新工艺、新材料不断涌现，生产过程中的潜在危险和有害因素不断增加，企业的安全生产与事故的预防和控制工作面临新的挑战。如何有效地预防和控制企业中各种安全生产风险，从被动防范事故向主动控制危险源头，往本质安全化方面转变；如何以人为本，珍爱生命，保护劳动大众的安全与健康；如何加强安全培训，使广大职工和生产管理人员了解和掌握安全生产新技术、新知识，增强劳

动者自我保护的意识和能力，成为安全生产工作的艰巨任务。为此，我们组织有关专家、学者和专业技术人员编写了这套“安全生产新技术丛书”。

本套丛书从企业安全生产的各项具体工程技术入手，有针对性地提出了解决安全问题的方法和措施。理论联系实际，既注重科学性、规范性，又突出实用性和可操作性。丛书本着“少而精”“实用、管用”的原则，对安全生产技术特别是新技术、新成果进行了系统的介绍。本套丛书可作为全国各工矿企业管理干部和技术人员的工作用书，也可供各单位用做职工安全技术岗位培训教材。

本套丛书所涉及的内容十分广泛，由于编者经验不足、水平有限，书中内容若有不妥和错误之处，热切希望读者不吝赐教。

编委会

目 录

第一章 工业锅炉用水的基础知识	(1)
第一节 工业锅炉用水及锅炉水循环	(1)
一、锅炉用水名称	(1)
二、天然水中的杂质	(3)
三、锅炉水循环	(8)
第二节 水质不良对锅炉的危害	(10)
一、水垢	(10)
二、腐蚀	(13)
三、汽水共腾	(14)
第三节 工业锅炉水处理工作的任务	(15)
一、汽水监督	(15)
二、锅炉用水处理	(16)
三、锅炉腐蚀的防护	(16)
四、锅炉的化学清洗	(16)
第四节 工业锅炉用水所涉及的量的概念	(17)
一、摩尔	(17)
二、等一价基本单元物质的量规则	(19)
第五节 工业锅炉用水所涉及的溶液的概念	(21)
一、溶液概念	(21)
二、溶液的浓度及其表示法	(23)
第六节 工业锅炉常用的水质指标	(28)

一、水质指标和水质标准·····	(28)
二、给水和锅水监测的指标及意义·····	(41)
第七节 水质指标间的关系及工业锅炉水质标准·····	(42)
一、硬度与碱度的关系·····	(42)
二、碱度与相对碱度的关系·····	(44)
三、碱度与 pH 值的关系·····	(47)
四、溶解固形物与氯化物间的关系·····	(49)
五、工业锅炉水质标准·····	(50)
第二章 锅炉水质分析基本知识·····	(54)
第一节 工业锅炉水处理所涉及的化学基础知识·····	(54)
一、化学反应速度和化学平衡·····	(54)
二、强电解质与弱电解质·····	(58)
三、弱电解质的电离平衡·····	(59)
四、水的电离和 pH 值·····	(61)
五、同离子效应和缓冲溶液·····	(64)
六、盐类的水解·····	(66)
七、沉淀物的溶解平衡·····	(68)
八、离子反应方程式·····	(72)
九、氧化还原反应及原电池·····	(75)
第二节 水质分析的基本知识·····	(78)
一、水样的采集·····	(78)
二、化学试剂的性质及等级标志·····	(80)
三、标准溶液的配制及滴定度·····	(82)
四、分析数据处理·····	(84)
五、水质分析方法简介·····	(89)
第三节 重量分析法·····	(90)
一、重量分析法介绍·····	(90)
二、重量分析法的基本操作·····	(91)
第四节 容量分析法·····	(96)

一、容量分析法介绍·····	(96)
二、容量分析法的基本操作·····	(97)
三、容量分析法中法定计量单位的应用·····	(105)
第三章 工业锅炉用水的预处理·····	(107)
第一节 地表水的预处理·····	(107)
一、混凝·····	(107)
二、沉淀和澄清·····	(110)
三、过滤·····	(111)
第二节 地下水的预处理·····	(114)
一、无铁地下水的预处理·····	(114)
二、含铁地下水的预处理·····	(117)
第三节 自来水的预处理·····	(120)
一、游离性余氯的性质·····	(120)
二、除氯方法·····	(121)
第四节 高硬度与高碱度水的预处理·····	(123)
一、石灰处理法·····	(124)
二、石灰、纯碱处理法·····	(126)
第四章 离子交换树脂及离子交换原理·····	(131)
第一节 离子交换树脂的结构及性能·····	(131)
一、离子交换树脂的结构·····	(131)
二、离子交换树脂的分类·····	(133)
三、离子交换树脂的物理性质·····	(138)
四、离子交换树脂的化学性质·····	(142)
第二节 离子交换树脂的使用及管理·····	(148)
一、离子交换树脂的管理·····	(148)
二、离子交换树脂的使用及鉴别·····	(150)
三、离子交换树脂的污染和复苏·····	(154)
四、离子交换树脂交换能力的调整·····	(162)
第三节 离子交换基本理论·····	(163)

一、离子交换平衡	(163)
二、离子交换速度	(167)
第四节 离子交换器的工作过程	(171)
一、离子交换器的运行过程	(172)
二、离子交换器的再生过程	(180)
三、离子交换器中树脂的利用率	(189)
四、离子交换器计算基本公式	(191)
第五章 水的除盐处理	(198)
第一节 水的化学除盐	(198)
一、化学除盐原理	(198)
二、化学除盐系统	(202)
三、化学除盐水质	(203)
四、除盐系统的布置原则及水质要求	(205)
第二节 电渗析除盐	(207)
一、电渗析除盐原理及过程	(207)
二、离子交换膜	(208)
三、离子交换膜作用机理	(211)
四、电渗析器的构造与组装	(213)
五、电流效率	(217)
六、极限电流密度	(220)
七、极化和沉淀	(223)
八、电渗析器适用范围及故障排除	(225)
第三节 反渗透	(231)
一、渗透和反渗透	(231)
二、反渗透膜	(235)
三、反渗透膜脱盐机理	(240)
四、反渗透膜组件	(243)
五、反渗透除盐系统	(247)

第六章 锅内加药处理	(251)
第一节 水垢的生成及危害	(251)
一、水垢的生成过程	(251)
二、水垢的危害	(255)
第二节 锅内加药处理法	(257)
一、概述	(257)
二、锅内水处理常用药剂的种类和性质	(259)
三、锅内水处理常用药剂配方及其选择	(265)
四、锅内水处理常用药剂用量的计算	(267)
第三节 锅炉的排污	(271)
一、排污的目的和意义	(271)
二、排污的方式和要求	(272)
三、排污量的测定	(273)
四、排污率的计算	(274)
五、锅水的化验监督	(276)
六、锅水监督的核心指标	(281)
第七章 锅炉腐蚀及防腐蚀	(285)
第一节 金属腐蚀类型及腐蚀速度	(285)
一、金属腐蚀类型	(285)
二、金属腐蚀速度	(287)
三、金属腐蚀速度的测定方法	(288)
四、化学腐蚀	(290)
第二节 电化学腐蚀	(293)
一、原电池及电极反应	(293)
二、原电池的极化	(300)
三、去极化作用	(303)
四、电极表面积对腐蚀的影响	(305)
第三节 锅炉运行中的腐蚀及防腐蚀	(306)
一、锅炉腐蚀原因	(306)

二、防止酸碱腐蚀的方法.....	(312)
三、给水物理除氧方法.....	(316)
四、给水化学除氧方法.....	(319)
五、给水的其他除氧方法.....	(325)
第四节 停用锅炉的腐蚀及防腐.....	(327)
一、停用锅炉腐蚀原因.....	(327)
二、停用锅炉保护方法.....	(329)
第八章 锅炉化学清洗.....	(337)
第一节 水垢的种类及其分析方法.....	(337)
一、水垢的分类及组成.....	(337)
二、水垢的取样及鉴定方法.....	(340)
三、水垢化学成分的测定.....	(344)
第二节 锅炉酸洗除垢.....	(350)
一、酸洗除垢原理.....	(350)
二、酸洗过程中缓蚀剂的作用.....	(351)
三、酸洗工艺.....	(360)
第三节 锅炉碱洗除垢.....	(373)
一、碱洗除垢原理.....	(373)
二、碱洗药剂用量.....	(374)
三、碱洗工艺.....	(375)

附录 锅炉水处理作业人员考核大纲

第一章 工业锅炉用水的基础知识

第一节 工业锅炉用水及锅炉水循环

一、锅炉用水名称

根据汽水系统中的水质差别，常将锅炉用水分为以下几类。

1. 原水

原水是未经任何净化处理的天然水或自来水。是工业锅炉用水的水源。天然水包括地表水和地下水，这种水又称为生水。

(1) 地表水

地表水是由雨水、雪水和泉水汇聚而成，并存在于地壳表面的水，诸如江河、湖泊、水库、海洋等的水。这类水受自然环境的影响较大，其特点是水中悬浮物和溶解盐类（包括硬度成分）随季节的不同变化幅度较大。例如，在丰水季节（春季、夏季）由于雨水径流的冲刷，使水中悬浮物骤增；又因雨水的稀释作用，使水中含盐量降低。而在枯水季节（秋季、冬季）由于水流趋于稳定，水生生物繁殖缓慢，水中悬浮物明显降低；但因水体的蒸发和浓缩使含盐量升高，水的硬度也随之升高。

(2) 地下水

地下水由雨水和地表水经过地层的渗透而形成。水在地层渗透过程中，通过土壤和沙砾的过滤作用，去除了大部分悬浮物和

菌类。由于与大气和外界环境隔绝，水体不易受到污染。但因水流经各类矿层，所以地下水的含盐量通常比地表水高，并且较多地区的地下水都普遍含有 Fe^{2+} 。

(3) 自来水

自来水是城市工业锅炉用水的主要水源，它是天然水经过自来水管厂的净化处理后，经铁管或水泥管道输送到用户。由于自来水管厂在净化处理过程中，投加混凝剂和杀菌剂等药剂，所以自来水中悬浮物、有机物和碱度都明显降低。为防止自来水中微生物的繁殖，通常向水中投加漂白粉或注入氯气，并维持一定量的游离性余氯（简称游离氯或活性氯），当这种成分超过限量时，对离子交换树脂具有较大的破坏作用。

2. 补给水

原水经过各种方法净化处理后，用来补充锅炉汽水损失的水，称为锅炉补给水。根据净化处理方法不同，补给水又有不同的名称：去除原水中悬浮杂质的水称为清水（自来水即属于清水）；去除水中钙、镁离子的水，称为软化水（简称软水）；去除水中全部阴、阳离子杂质的水，称为除盐水。工业锅炉的补给水大多是软化水。

3. 生产回水

蒸汽经生产设备或采暖设备进行热交换，冷凝后返回锅炉的水，称为生产回水（即凝结水）。如果供热系统清洁，且没有外界杂质侵入污染时，生产回水的水质就近似于蒸馏水。由于这部分水的水量大，水质纯净，水温较高，所以应注意管理，避免污染，最大限度回收利用。这样，不仅提高锅炉给水的水质，减少补给水处理的工作量，而且还可以节约燃料。但生产回水已被严重污染时，就不宜回收了。

4. 给水

供给锅炉工作的水称为给水。工业锅炉给水通常是由生产回水和补给水两部分组成。当生产回水污染严重不能回收利用时，

补给水即成为给水。

给水在进入锅内之前，先经过烟道尾部的省煤器预热，这不仅提高锅炉的热效率，并且也防止冷水直接进入锅内而引起锅炉压力下降。

5. 锅水

在锅炉内受热沸腾的水，称为锅水。对于蒸汽锅炉除下降管中的水以外，其他系统的锅水几乎都是汽水混合状态。

值得指出的是，有些热水锅炉为防止用户私自放水，而向锅中注入各种油类，这是一种十分有害的做法，因为这些油类容易在锅炉受热面或采暖设备上结成传热性很差，且不易清除的油垢。

6. 排污水

由于锅水不断蒸发和浓缩，结果不仅会使锅水的含盐量增加，而且还容易形成水垢或泥渣。所以，当锅水水质指标超过《工业锅炉水质》标准的要求时，需从汽锅中排放掉一部分锅水，补以新鲜的给水。这种排放掉的锅水称为排污水。

锅炉的排污量，取决于锅水的水质变化情况，排污量过大造成锅炉热损失增高及锅水碱度降低，但排污量小或不按时排污，造成锅水浓度过大，是使锅炉结垢和蒸汽品质恶化的原因之一。

二、天然水中的杂质

天然水在大自然循环过程中，无时不与大气、土壤和岩石接触。由于水具有较强的溶解能力，所以任何水体都不同程度地含有多种多样的杂质。另外，工业废水、生活污水以及农田化肥等的流失排入水体，使天然水中杂质更趋复杂。

天然水中杂质，按其颗粒大小可分为三类：颗粒最大的称为悬浮物；其次称为胶体；最小的是分子和离子，称为溶解物。如果将上述各类杂质均按球形颗粒计，则它们尺寸的大致差异可从表 1—1 看出。

表 1—1

天然水中的杂质

杂质种类	溶解物	胶体	悬浮物			
颗粒尺寸	0.1 nm 1 nm	10 nm 100 nm	1 μm	10 μm	100 μm	
分辨手段	质子显微镜可见	超显微镜可见	普通显微镜可见	肉眼可见		
水体外观	透明	光照下浑浊	浑浊	浑浊		

值得指出的是，各类杂质的尺寸界限绝非能截然划分开，其中悬浮物和胶体之间的尺寸界限，根据颗粒形状和密度不同而略有变化。一般说，粒径在 100 nm 至 1 μm 之间应属于胶体和悬浮物的过渡阶段。小颗粒悬浮物往往也具有一定的胶体特性，只有当粒径大于 10 μm 时，才与胶体有明显区别。

下面详细介绍天然水中各类杂质。

1. 悬浮杂质

(1) 悬浮杂质的特性

悬浮物的颗粒直径较大，是使水产生浑浊现象的主要原因。它在水中的状态受颗粒本身质量影响较大。在动水中，由于水的紊流作用，常呈悬浮状态；在静水中，密度较大的颗粒在重力作用下容易自然下沉，密度较小的颗粒，可上浮水面。易于下沉的悬浮物，主要是颗粒较大的黏土、细沙以及矿物废渣等杂质，能够上浮的一般是体积较大、密度小于水的有机质悬浮物。

(2) 悬浮杂质的危害

给水含有的悬浮杂质，进入锅内受热后会很快下沉，尤其在水流速缓慢的锅筒和联箱内，以及炉管的拐弯处，是悬浮杂质最容易沉积的部位。沉积的悬浮物质不仅影响锅炉的传热和锅水循环，严重时还可堵塞炉管，从而造成被迫停炉。

2. 胶体杂质

(1) 胶体杂质的特性

天然水中的胶体是某些低分子的集合体，它具有较小的粒径和较大的比表面积，胶体颗粒的表面通常带有电荷，而且大多带