

本书第一版荣获

★ 1999年国家石油和化学工业局科技进步二等奖

★ 1996~1997年部级化工优秀图书二等奖

工业水处理技术

第二版

周本省 主编



化学工业出版社

本书第一版荣获
1999年国家石油和化学工业局科技进步二等奖
1996~1997年部级化工优秀图书二等奖

工业水处理技术

第 二 版

周本省 主编

化学工业出版社
·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工业水处理技术/周本省主编. —北京:化学工业出版社, 2002.5

ISBN 7-5025-3517-9

I. 工… II. 周… III. 工业用水-水处理 IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005234 号

工业水处理技术

第 二 版

周本省 主编

责任编辑:郭乃铎

责任校对:马燕珠

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 44 $\frac{1}{4}$ 字数 1094 千字

2002 年 5 月第 2 版 2002 年 5 月北京第 7 次印刷

ISBN 7-5025-3517-9/X·119

定 价: 85.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

第二版前言

《工业水处理技术》第一版自1997年2月出版发行以来，得到了广大读者的厚爱，先后印刷6次，共发行23000册。在1999年的北京全国书市上，成为化学工业出版社最畅销的5本书之一。1997年和1999年它又分别获得了部级化工优秀图书二等奖和国家石油和化学工业局科技进步二等奖。从读者打来的电话中获悉，除了中国内地和香港、台湾之外，新加坡、澳大利亚都有《工业水处理技术》的读者。基于以上情况，化学工业出版社建议，由我们在第一版的基础上，对《工业水处理技术》进行适度的补充和修改后，出版《工业水处理技术》第二版，并希望把本书编写成一本能长期连续出版的实用性的工程技术型精品图书。

据此，在编写《工业水处理技术》第二版时，我们在保持原有特色的基础上，采取了以下的一些措施。

1. 补充了工业水处理方面某些重要的实用性技术知识。例如：

(1) 在第七章中，增加了第五节化学清洗过程中盐酸清洗液（盐酸浓度、铁离子浓度）的测定、第六节化学清洗时金属的腐蚀和第十节化学清洗和钝化的废液处理，后者对环境保护将是有益的；

(2) 在第八章中，增加了第五节日常运行中水处理剂的添加（加药量的计算、加药方式、加药装置、加酸、加药系统、加药地点）。

2. 介绍了一些较新而又较为成熟或发展前景较好的新技术。例如：

(1) 在第四章中，介绍了两种新型的聚羧酸——AA/AMPS类共聚物和聚天冬氨酸；

(2) 在第五章中，增加了钛和钛钎合金换热器、各种锌离子的稳定剂，此外，在用防腐阻垢涂料涂覆的内容中，除了原有的一种CH-784涂料外，还增加了三种防腐阻垢涂料——环氧酚醛、环氧糠酮、环氧漆酚酞防腐阻垢涂料；

(3) 在第六章中，介绍了两种新的水处理技术——静电水处理和电子水处理；

(4) 在第七章中，用较多的篇幅重写了高压水射流清洗部分；

(5) 在第八章中，介绍了锌盐-羟基膦酰基乙酸这种新型复合水处理剂；

(6) 在第三篇锅炉水处理中新添加了两章，即第十三章膜法除盐水处理（电渗析、EDI、反渗透）和第十四章凝结水净化；

(7) 在第十七章中，介绍了蒸汽加氧吹洗的新技术。

3. 介绍或推荐了一些较重要的和较新的技术标准，例如：

(1) 在第七章中，推荐了中华人民共和国化工行业标准《工业设备化学清洗质量标准》（HG/T 2387—92）；

(2) 在第八章中，介绍了中华人民共和国化工行业标准《水处理剂产品分类和命名》（HG 2762—1996）；

(3) 在第二十章中介绍了中华人民共和国化工行业标准《水处理剂 2-膦酰基-1,2,4-三羧基丁烷》（HG/T 3662—2000）和《水处理剂 丙烯酸-2-甲基-2-丙烯酰胺基丙磺酸共聚

物》(HG/T 3642—1999)。

4. 添加了一些实用性和可操作性的应用实例。例如：

(1) 在第六章中，添加了季铵盐杀生剂的现场应用试验、戊二醛的应用实例、静电水处理的应用实例；

(2) 在第七章中，增加了冷却水系统中不锈钢、不锈钢-铜、铜换热器的硝酸酸洗的应用实例；

(3) 在第十三章第三节反渗透脱盐的应用实例中介绍了将循环冷却水的排污水经反渗透等处理后作锅炉补给水的应用实例，这对缺水地区发电厂的锅炉水处理的节水将有很大的参考价值。

5. 在第二十章中，增加了水处理剂分析的品种和项目。在水处理中，水处理剂的质量十分重要，为此在第二版的第二十章中采取了如下的一些加强措施：

(1) 增加了所讨论的水处理剂的品种，从第一版中的 10 个品种增加到第二版中的 18 个品种；

(2) 第一版中仅讨论水处理剂主要成分一项质量指标的分析，第二版中则扩充到多项重要质量指标的分析；

(3) 第二版对所讨论的水处理剂均列出了有关标准所要求的各项指标的数值，供判定所检验的水处理剂是否符合标准中的质量要求。

第二版中增加或补充较多的内容，在目录中的相关标题前都加注了 * 号作标记。为了便于不同领域（专业方向）的水处理工作者能在本书相关的某一篇中，而不必在全书中找到其所需的知识和材料，在第二版的编写中，我们注意到应保护各篇相对的完整性和独立性，容许各篇之间存在适度的重复，以减少读者在阅读时需要到本书各篇或各章中去反复翻阅查找的不便。例如：在第二篇的第七章冷却水系统的清洗和预膜与第三篇第十七章锅炉的化学清洗之间有一些难于避免的交叉和重复，这样做虽然增加了一些篇幅，但对读者而言，由于各篇相对的完整性、独立性和连续性，他们可以一气呵成地阅读下去，节约了时间，提高了效率。

在本书第二版的编写过程中，得到了各有关方面的大力支持和关心。原国家石油和化学工业局、化学工业出版社、南京工业大学的有关人士和广大读者对本书给予了高度的评价和支持，使我们深受鼓舞。国家质量技术监督局、原国家石油和化学工业局和化学工业出版社为我们提供了所需的国家标准和化工行业标准。本书各章后面的参考文献中所列的各位作者为本书提供了丰富而又十分宝贵的素材、数据和图表。南京工业大学张有衡教授、国家电力公司热工研究院的何辉纯教授级高级工程师、南京大学的田笠卿教授、《河北电力技术》的副主编孙育文高级工程师在百忙中为本书第二版的有关章节进行了认真的审阅，河海大学的赵仲善师傅虽年事已高，停笔多年，但仍应我们的邀请，为本书的第二版绘制了大部分新增加的插图。国家电力公司热工研究院的刘国平教授级高级工程师对第二版的部分稿件提出了十分有益的建议。对此，一并向他们致以衷心的感谢！

我还要感谢本书第二版的各位作者——南京工业大学的朱一帆教授、张丽君副教授、俞斌教授、龙荷云教授，国家电力公司热工研究院的陈洁教授级高级工程师、朱小莎教授级高级工程师、赵建祖高级工程师和清华大学的王晓琳教授。他们在百忙中抽出时间，为本书的第二版增写或补充了有关章节，为提高本书的质量做出了很大的贡献。

本书的第一版共计 81 万字，第二版则有 109.4 万字，约增加了 28 万字，占第一版总字数的 35%，工作量和难度较大，而大部分作者都是有事在身，因此时间上显得有些仓促，再加上本书的涉及面很广，而本人的知识有限，因此书中不妥或错误之处一定会有。在此谨请各位读者和专家多加指评和指正。我们也欢迎各位读者在认为需要的时候和我们进行互利的技术合作。谢谢！

邮 编 210037

通讯地址 江苏省南京市，新模范马路，青石村，137—1 号，202 室

电 话 025—3421328

025—3316755—4082

传 真 025—3421328

周本省

2001 年 12 月 1 日于南京工业大学

第一版前言

随着全球人口的不断增加和工农业的持续发展，全世界的淡水资源日益紧张。现在全世界约有 80 个国家存在着影响经济发展和人民生活的缺水问题。有人推测，如果下个世纪发生战争，其起因可能是水而不是石油。

为了用好我国有限的淡水资源和提高我国工业水处理的技术水平，化学工业部于 80 年代中期在我校创办了工业水处理技术培训中心。到这个培训中心来学习的学员除了来自化学工业部门外，还有的来自石油化工、电力、冶金、轻工、机械、纺织等部门。为了提高培训的质量与水平，培训中心于 1990 年组织有关专家编写了一套《工业水处理技术》的讲义。讲义由四部分组成：水处理基础知识、循环冷却水处理、低压锅炉水处理、工业水水质分析与监测，供各届学员使用，效果不错。

后经我校前校长魏宝明教授推荐，本书被列入了化学工业出版社的出版计划。出版社希望能在此讲义的基础上写成本面向全国工业水处理工作者的工程技术性图书。

为此，我们增邀了几位专家参加本书的编写和审阅工作，并在原有讲义的基础上作了较多的补充、修改和较大的调整。例如，在第二篇循环冷却水处理的有关章节中，增加了冷却水处理咨询用的计算机专家系统（第八章中）；补入了最新的国家标准《工业循环冷却水设计规范》（GB 50050—95）中要求的循环冷却水的水质标准（第八章中）；重新改写了循环冷却水系统中微生物及其控制一章（第六章）；增加了钢铁厂冷却水系统的不停产化学清洗的应用实例（第七章中），并大大充实了循环冷却水系统中现场监测方面的内容（第九章中）。在第三篇锅炉水处理的编写中，则实现了重点的转移，由原来以低压锅炉水处理为主改为以中高压锅炉水处理为主。在第四篇工业水处理中的分析与监测中，则除了保留原有的水质分析法（第十六章）和沉积物的分析（第十七章）两章外，还增加了常用水处理药剂的分析（第十八章）一章。在该篇中所用的分析方法都是以最新公布的中华人民共和国国家标准或行业标准等为依据。

本书采用了目前国家所规定的法定计量单位。关于过去在锅炉水处理中，人们习惯使用的表示物质浓度的单位 meq/L（或 eq/L、 $\mu\text{eq/L}$ ），本书均改为 mmol/L（或 mol/L、 $\mu\text{mol/L}$ ）。但为了能利用现有的公式、图、表、曲线和数据等，本书在第一篇（水及工业用水预处理）和第三篇（锅炉水处理）中，除了有特殊说明之外，均采用以一价离子作为基本单元；对于二价离子以其 1/2 作为基本单元；对于三价离子则以其 1/3 作为基本单元。在第二篇（循环冷却水处理）和第四篇（工业水处理中的分析与监测）中，则采用在表示浓度的符号 c 后面或在计量单位后面，用括号注明用什么作为其基本单元。

在整个编写过程中，南京化工大学及应用化学系的领导及有关同志给予了热情的支持。南京化工大学张有衡教授、中国科学院微生物研究所吕人豪研究员、电力工业部热工研究院秦金藻教授级高级工程师和何辉纯教授级高级工程师、西北电力设计院徐卫教授级高级工程师、南京大学田笠卿教授等，在百忙中为本书的有关章节进行了认真仔细的审阅；南京化工大学张有衡教授、魏宝明教授给予了有益的指教，刁月民副研究员为本书中的一个疑点特地进行了实验验证；电力工业部热工研究院的秦金藻和陈洁两位教授级高级工程师为本书第三

篇的编写和审阅进行了大量的协调和组织工作；我的两位研究生——杨文忠和郑戎戎在本书的统稿过程中进行了大量繁琐而费时的具体工作；河海大学赵崇善师傅为本书绘制了全部插图。对此，一并表示衷心的感谢！

我还要感谢参加本书编写工作的电力工业部热工研究院陈洁教授级高级工程师和朱小莎高级工程师、西安灞桥热电厂叶涛高级工程师以及南京化工大学的龙荷云教授、朱一帆教授、张丽君副教授和俞斌教授。对于他们的认真编写和密切合作表示衷心的感谢！

参加编写的各位作者当时都有工作在身，以致整个编写过程拉得较长而统稿和定稿工作有些仓促。再加以本书涉及的知识面广而本人的知识有限，书中不妥或错误之处一定会有，谨请各位读者多多批评并来信指正。来信请寄：南京市，新模范马路，青石村，137—1号，202室，周本省收（邮政编码：210037，电话号码：(025) 3421328）。谢谢！

周本省

1996年10月18日于南京化工大学

《工业水处理技术》第二版 编写及审稿人员名单

主编	周本省
各篇负责人	
第一篇	龙荷云
第二篇	周本省
第三篇	朱一帆
第四篇	张丽君
编写人	
第一~四章	龙荷云 (其中第四章第三节五 (二) 中的 8 和 9 两小节由周本省编写)
第五~九章	周本省
第十章	叶 涛 (第一节) 朱一帆 (第二、三节)
第十一、十二章	朱一帆
第十三章	朱一帆 (第一、二节) 赵建祖、王晓琳 (第三节)
第十四章	朱一帆
第十五章	朱小莎
第十六章	朱一帆
第十七章	陈 洁
第十八章	张丽君 (第一~三节) 俞 斌 (第四~七节)
第十九章	张丽君
第二十章	俞 斌
审稿人	
第一、二章	张有衡
第三、四章	张有衡、周本省
第十~十七章	何辉纯
第十三章	孙育文 (第三节)
第十八~二十章	田笠卿

《工业水处理技术》第一版 编写及审稿人员名单

主编	周本省
各篇负责人	
第一篇	龙荷云
第二篇	周本省
第三篇	朱一帆
第四篇	张丽君
编写人	
第一~四章	龙荷云
第五~九章	周本省
第十章	叶涛 (第一节) 朱一帆 (第二、三节)
第十一、十二章	朱一帆
第十三章	朱小莎
第十四章	朱一帆
第十五章	陈洁
第十六章	张丽君 (第一~三节) 俞斌 (第四~六节)
第十七章	张丽君
第十八章	俞斌
审稿人	
第一、二章	张有衡
第三、四章	张有衡、周本省
第六章	吕人豪
第十章	秦金藻、何辉纯
第十一、十二章	徐卫
第十三~十五章	秦金藻、何辉纯
第十六~十八章	田笠卿

内 容 提 要

本书是一本关于工业水处理技术的实用性的工程技术型书籍，是在《工业水处理技术》第一版的基础上，补充了大量的新内容后编写而成的。

全书共四篇。第一篇介绍水的特性和工业用水预处理（混凝、沉淀与澄清、过滤、除铁、软化与除氯等）及其设备；第二篇介绍循环冷却水系统和循环冷却水处理（沉积物、金属腐蚀、微生物及其控制，清洗和预膜，日常运行及现场监测）；第三篇介绍锅炉用水及其处理技术（锅炉及其水汽质量标准、离子交换树脂及离子交换基本原理、离子交换水处理、膜法除盐水处理、凝结水的净化、锅内加药处理、热力设备系统的腐蚀与控制、锅炉的化学清洗）；第四篇介绍水质分析、沉积物分析和常用水处理药剂分析。

本书还介绍了最新国家标准《工业循环冷却水处理设计规范》对循环冷却水要求的标准和控制指标、工业设备化学清洗的质量标准、一些主要水处理剂的质量指标，以及冷却水处理咨询用计算机专家系统、高压水射流清洗、用于锅炉化学清洗中的蒸汽加氧吹洗、EDI（电去离子除盐）、反渗透等新技术、新进展。另外还介绍了许多工业水处理的现场应用实例。

本书可供化工、石油化工、炼油、电力、冶金、纺织、交通及宾馆等使用循环冷却水和锅炉的部门从事冷却水处理和锅炉水处理的研究、设计和应用的工程技术人员、管理人员阅读，也可供有关高校、大中专院校及培训中心的师生使用。

主 编 简 介

周本省 男，1930年4月生，江苏昆山人。毕业于复旦大学化学系。曾任南京工业大学水质稳定研究室主任和防腐教研室主任，教授。兼任《化工机械》、《腐蚀与防护》、《化学清洗》编委，享受国务院政府特殊津贴。

长期从事冷却水处理和缓蚀剂的研究工作，讲授工业水处理、腐蚀工程和电极过程动力学三门课程。发表论文80多篇，主编了《工业水处理技术》（化学工业出版社，1997），编著了《工业冷却水系统中金属的腐蚀与防护》（化学工业出版社，1993），参加编写了《实用防腐蚀工程施工手册》（涂湘湘主编，化学工业出版社，2000）。

负责指导了烟台合成革厂、大庆喇二热电站等引进工厂循环冷却水系统的开车及运行。提出了国际首创的鼓泡法，并负责将它制订为化工行业标准：《水处理药剂阻垢性能测定方法——鼓泡法》（HG/T 2024—91）。

目 录

第一篇 水及工业用水预处理

第一章 水及工业用水	1
第一节 水资源	1
一、水资源分布概况.....	1
二、工业用水的各种水源及其特点.....	2
第二节 天然水的化学特征及工业用水水质要求	4
一、天然水的化学特征.....	4
二、工业用水的水质要求.....	8
第三节 节约水资源和防止水污染的重要性	9
一、水在自然界的循环.....	9
二、节水和防止污染的重要性.....	9
参考文献	11
第二章 工业用水预处理	12
第一节 天然水中的杂质	12
一、悬浮物	12
二、胶体物	12
三、溶解物质	12
第二节 工业用水预处理	14
一、混凝	14
(一) 混凝机理	14
(二) 影响混凝的因素	16
(三) 混凝剂	17
(四) 混凝剂的投加	21
二、沉淀与澄清	21
三、过滤	23
四、除铁	25
五、软化	27
六、除氯	30
参考文献	31

第二篇 循环冷却水处理

第三章 循环冷却水系统及其水处理概况	32
第一节 循环冷却水系统	32
一、冷却水系统	32

二、冷却塔	33
三、敞开式循环冷却水系统	34
(一) 浓缩倍数	35
(二) 补充水量	35
(三) 排污水量	36
(四) 运行条件改变时系统中离子浓度的变化	36
第二节 敞开式循环冷却水处理的重要性	38
一、敞开式循环冷却水系统产生的问题	38
二、敞开式循环冷却水处理的重要性	39
参考文献	40
第四章 循环冷却水系统中的沉积物及其控制	41
第一节 循环冷却水系统中的沉积物	41
一、沉积物的分类	41
二、水垢析出的判断	42
(一) 碳酸钙垢析出的判断	42
(二) 磷酸钙垢析出的判断	46
(三) 硅酸盐垢析出的判断	50
三、污垢热阻	50
(一) 管壁两侧为流体的传热基本方程	50
(二) 管壁两侧为流体的传热原理	51
(三) 总传热系数的计算	52
(四) 污垢热阻的测定和计算	52
(五) 恒温态污垢热阻的测定	53
第二节 循环冷却水系统中沉积物的控制	56
一、水垢的控制	56
二、污垢的控制	58
第三节 阻垢剂及分散剂	60
一、聚磷酸盐	60
二、有机膦酸	62
三、膦羧酸	64
四、有机磷酸酯	65
五、聚羧酸	65
六、天然分散剂	70
七、有机膦酸和聚羧酸的阻垢和分散机理	72
八、阻垢剂的应用实例	73
参考文献	74
第五章 循环冷却水系统中金属的腐蚀及其控制	75
第一节 冷却水中金属腐蚀速度的表示方法	75
第二节 冷却水中金属腐蚀的机理	75
一、液滴试验	75

二、冷却水中金属腐蚀的机理	76
三、伊文思极化图	77
第三节 冷却水中金属腐蚀的形态	77
一、均匀腐蚀	78
二、电偶腐蚀	78
三、缝隙腐蚀	78
四、孔蚀	79
五、选择性腐蚀	80
六、磨损腐蚀	81
七、应力腐蚀破裂	81
第四节 冷却水中金属腐蚀的影响因素	82
一、pH值	82
二、阴离子	83
三、络合剂	83
四、硬度	83
五、金属离子	83
六、溶解的气体	84
七、浓度	86
八、悬浮固体	87
九、流速	87
十、电偶	87
十一、温度	87
第五节 冷却水系统中换热器管子的腐蚀隐患	88
一、变动材质	88
二、酸洗	88
三、装运或水压试验	88
四、残余应力	88
五、高温沾污	89
六、热处理	89
七、杂质金属	89
八、晶粒取向	89
九、表面状态	89
十、凹陷	89
十一、分层	90
十二、管头打磨	90
第六节 冷却水中金属腐蚀的控制指标	90
第七节 冷却水中金属腐蚀的控制方法	90
一、添加缓蚀剂	91
(一) 缓蚀剂和缓蚀率	91
(二) 缓蚀剂的分类	91

(三) 冷却水缓蚀剂应具备的条件	92
(四) 常用的冷却水缓蚀剂	93
(五) 发展趋向	99
(六) 协同作用和复合缓蚀剂	100
二、提高冷却水的 pH 值	101
(一) 碳钢的腐蚀速度与 pH 值的关系	101
(二) 提高 pH 值控制碳钢腐蚀的原理	101
(三) 碱性冷却水处理	102
(四) 提高冷却水 pH 值的方法	103
(五) 提高 pH 值后遇到的问题	104
(六) 碱性冷却水处理用的复合缓蚀剂	104
(七) 应用实例	105
三、使用耐蚀材料换热器	106
(一) 概述	106
(二) 聚丙烯类换热器	106
(三) 钛和钛钎合金换热器	109
(四) 254 SMO 全奥氏体不锈钢凝汽器	111
四、用防腐阻垢涂料涂覆	113
(一) 防腐阻垢涂料的基本组成	113
(二) 防腐阻垢涂料的作用机理	114
(三) 环氧三聚氰胺甲醛防腐阻垢涂料	115
(四) 应用实例	116
(五) 其他的防腐阻垢涂料	117
(六) 优缺点	119
参考文献	119
第六章 循环冷却水系统中的微生物及其控制	121
第一节 微生物及其特性	121
一、微生物	121
二、微生物的特性	121
第二节 冷却水系统中引起故障的微生物	123
一、细菌	123
二、真菌	125
三、藻类	126
第三节 冷却水系统中金属的微生物腐蚀	127
一、铁和低碳钢	127
二、不锈钢	127
三、铜和铜合金	127
四、镍和镍合金	128
五、钛和钛合金	128
六、非金属材料	128

第四节 冷却水系统中的微生物黏泥	129
一、微生物黏泥的组成	129
二、黏泥微生物的种类和特点	130
三、黏泥的污垢热阻	130
四、微生物黏泥引起的故障	131
五、影响微生物和黏泥的环境因素	131
第五节 冷却水系统中微生物的控制指标	133
第六节 冷却水系统中微生物的控制方法	134
一、选用耐蚀材料	134
二、控制水质	134
三、采用杀生涂料	134
四、阴极保护	134
五、清洗	134
六、防止阳光照射	134
七、旁流过滤	135
八、混凝沉淀	135
九、噬菌体法	135
十、添加杀生剂	135
十一、静电水处理与电子水处理	136
第七节 冷却水杀生剂	136
一、优良的冷却水杀生剂应具备的条件	136
二、冷却水杀生剂的选择依据	136
三、氧化性杀生剂	136
(一) 氯	136
(二) 次氯酸盐	137
(三) 氯化异氰尿酸	138
(四) 二氧化氯	139
(五) 臭氧	139
(六) 溴及溴化物	142
四、非氧化性杀生剂	143
(一) 氯酚类	143
(二) 有机锡化合物	144
(三) 季铵盐	144
(四) 有机胺类	145
(五) 有机硫化合物	145
(六) 铜盐	146
(七) 异噻唑啉酮	146
(八) 溴化丙酰胺	147
(九) 戊二醛	148
(十) 季磷盐	151

五、一些杀生剂杀生性能的比较	154
六、使用中的注意事项	154
第八节 静电水处理与电子水处理	155
一、静电水处理	155
二、电子水处理	157
第九节 冷却水系统中微生物控制的实例	158
一、冷态运行杀菌灭藻处理方案	158
二、异噻唑啉酮的应用试验	159
三、冷却塔防菌藻涂料的应用	160
四、季铵盐杀生剂的现场应用试验	162
五、戊二醛的应用实例	165
六、静电水处理的应用实例	165
参考文献	166
第七章 冷却水系统的清洗和预膜	168
第一节 冷却水系统中的沉积物及其来源	168
第二节 物理清洗	169
一、物理清洗的方法	169
(一) 捅刷	169
(二) 吹气	169
(三) 冲洗	169
(四) 反冲洗	169
(五) 刮管器清洗	169
(六) 胶球清洗	169
(七) 高压水射流清洗	170
二、优缺点	176
第三节 化学清洗	176
一、分类	176
二、化学清洗的方法	177
(一) 碱清洗	177
(二) 酸清洗	177
(三) 络合剂清洗	181
(四) 表面活性剂清洗	183
(五) 杀生剂清洗	183
三、优缺点	183
第四节 不同情况下的清洗	184
一、新设备的清洗	184
二、老设备的清洗	184
第五节 化学清洗时金属的腐蚀	184
一、化学清洗时发生的两类反应	184
二、化学清洗时金属腐蚀速度的表示方法	185