

水质与水处理

公共供水技术手册

(第五版)

WATER QUALITY & TREATMENT

A Handbook of
Community Water Supplies
(Fifth Edition)

美国自来水厂协会

刘文君 施 周 主译

王方智 罗晓鸿 张光明 主审

水质与水处理

公共供水技术手册（第五版）

WATER QUALITY AND TREATMENT

A Handbook of Community
Water Supplies (Fifth Edition)

美国自来水厂协会

刘文君 施 周 主译
王方智 罗晓鸿 张光明 主审

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2006-7353号

图书在版编目 (CIP) 数据

水质与水处理 公共供水技术手册 (第五版)/美国自来水厂协会;刘文君,施周主译. —北京:中国建筑工业出版社,2008

ISBN 978-7-112-09103-4

I. 水… II. ①美… ②刘… ③施… III. ①水质管理-技术手册②水处理-技术手册 IV. TU991.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 015753 号

Copyright © 1999 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Translation Copyright © 2008 China Architecture & Building Press

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed

By any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written Permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Architecture & Building Press.

本书中文简体字翻译版由中国建筑工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版集团合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

责任编辑:田启铭 石枫华 俞辉群 率琦

责任设计:郑秋菊

责任校对:王爽 梁珊珊

水质与水处理

公共供水技术手册

(第五版)

美国自来水厂协会

刘文君 施周 主译

王方智 罗晓鸿 张光明 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本:880×1230毫米 1/16 印张:49¼ 字数:1540千字

2008年9月第一版 2008年9月第一次印刷

定价:135.00元

ISBN 978-7-112-09103-4

(15767)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

内容提要

本书是关于饮用水水质与处理技术最新进展的权威性著作，由美国自来水厂协会（American Water Works Association）组织美国各相关领域的权威专家编著，由清华大学和湖南大学为主的有关专业人员翻译。全书共 18 章，主要内容包括：饮用水水质标准、法规和目标；水质的健康和感官性状；水处理工艺选择；水源水质管理；空气吹脱和曝气；混凝、絮凝、沉淀和气浮；颗粒床和预涂层过滤；离子交换和无机物吸附；化学沉淀；膜技术；化学氧化；有机化合物的吸附；消毒；水的加氟；水处理厂残余物管理；管道内部腐蚀和沉淀的控制；输配水系统中的水质微生物学指标控制等。本书内涵丰富、论述系统严谨、观点权威科学、资料翔实新颖，且特别注重理论阐述与实际应用的紧密结合。本书适合从事饮用水处理的决策、科研、设计与运行管理人员阅读，也可给水排水专业、环境工程专业和相关专业的大学生和研究生参考，对饮用水有兴趣的其他人员亦可从本书获得有益的知识。

译者的话

饮用水安全已成为全球共同关注的热点问题之一。然而，在人们的潜意识中，获取安全的饮用水往往被视为理所当然、轻而易举的事。只有当日常生活因水源污染或水量短缺而受到影响时才会深切体会到水的正常供给对日常生活是何等重要和来之不易。

水量短缺和水质污染已经严重制约了我国社会经济的和谐与健康发展。我国的饮用水管理、生产、研究和设计等领域的相关专业人员正面临巨大的挑战，水资源的短缺使得他们往往不得不将不符合饮用水水质标准甚至受到较严重污染的水源水处理到满足越来越严格的，与国际接轨的饮用水水质标准的要求。为满足我国日益增加的饮用水水量与水质的需求，我国饮用水处理领域的同仁们仍需付出艰辛努力。路漫漫兮，任重而道远。

发达国家的饮用水源水质总体上大大优于我国目前的水源水质，故其对水处理技术的要求相对来讲反而不如我国高。但历史上发达国家也曾经历过类似的由工业化带来的水环境污染问题，其对饮用水水质的认识、水处理理论和技术以及水质管理经验对我国学者和行业相关人员来讲不无裨益、弥显珍贵。学习、借鉴发达国家关于饮用水水质对健康的影响、水质标准和法规的制定以及水处理理论与技术的研究开发方面的知识和经验也就显得十分的迫切和必要。

在长期的教学、科研和工程实践中，我们深深感到我国饮用水处理行业的专业人员总体上存在轻理论、重实践，轻推理、重经验的倾向。这种理论与实践脱离的倾向在一定程度上妨碍了水处理学科行业向更高层次的发展。根据译者在西方发达国家学习、研究的经历，深深体会到他们的专业人才之所以无论在理论研究或是工程实践中均表现出色，无不得益于重视从实践中总结理论、用理论指导实践的认知过程。本专著由美国自来水厂协会(AWWA)组织美国在饮用水各个领域最著名的专家写作而成，是理论体系和工程应用完美结合的一个范本。这也是译者乐于将此书翻译、介绍给国内读者的一个主要原因。

本书共18章，内容涵盖了与饮用水水质和处理技术相关的方方面面，包括美国饮用水水质标准的发展历史、制定原则、依据和未来的发展目标；饮用水水质对人体健康的影响和一般性感官参数的含义；饮用水处理工艺选择原则和依据；水源水质管理；水处理技术中的空气吹脱和曝气、混凝和絮凝、沉淀和气浮、颗粒床和预涂层过滤、离子交换和无机物吸附、化学沉淀、膜技术、化学氧化、有机化合物的吸附和消毒等单元技术；独具美国特色的水的加氟技术；越来越受重视的水处理厂残余物管理，管道内部腐蚀和沉淀的控制，输配水系统中的水质微生物学指标控制等。丰富的内容、权威专家的主笔成就了此书

兼具内容的系统全面、理论的严谨权威、观点的独具匠心之特色。

全书的翻译工作主要由清华大学和湖南大学相关人员负责完成。其中清华大学负责翻译第2章,第3章,第4章,第12章,第13章,第14章,第15章,和第18章。湖南大学负责翻译第5章,第6章,第7章,第8章,第9章,第10章,第11章和第17章。第1章则由王方智先生翻译,第16章由清华大学和湖南大学共同翻译。除了刘文君、施周两位主译人员外,参与翻译的人员有:王方智(第1章:饮用水水质标准、规范和目标);柳清(第2章:饮用水健康和卫生问题);张永吉,周玲玲(第3章:水处理工艺选择指导);贾瑞宝(第4章:水源水质管理);李炳、李淑展(第5章:吹脱与曝气);许光眉、李冬梅(第6章:混凝和絮凝);谢敏、李炳(第7章:沉淀和浮选);吴星杰、王仕汇、王政华(第8章:粒状滤料滤床和预包膜过滤);祁亚娟、马满英(第9章:离子交换和无机吸附);王湘(第10章:化学沉淀);王政华、文卫(第11章):膜技术;罗晓鸿(第12章:化学氧化);罗晓鸿(第13章:有机物的吸附);张琳(第14章:消毒);罗晓鸿(第15章:水的氟化反应);谢敏、张素霞(第16章:水处理厂剩余物管理);刘宏、周韬(第17章:内部腐蚀和沉淀控制);张向谊(第18章:配水系统中的微生物量的控制)。

本书的翻译工作从启动到完成历时近5年,期间的甜酸苦辣惟有译者自知。感谢中国建筑工业出版社的资深编辑俞辉群女士、田启铭和石枫华先生对本书出版所作出的巨大贡献,没有他们的热情鼓励和不断推动,本书也许还在襁褓中;没有他们的多方协调和细致修改本书也难以达到现在的水平。感谢王方智先生、旅居美国的水处理专家罗晓鸿女士和哈尔滨工业大学张光明教授对全书的审校,他们为保证本书翻译的质量付出了艰辛的努力。感谢张丽萍女士为校对本书所作出的细致而卓有成效的工作,她的贡献保证了本书最后的质量。在翻译初始阶段,杨宏伟博士和王芸同学也作了大量工作,特此一并致谢。同时也要感谢中国建筑工业出版社和美国 McGraw Hill 出版社对本书翻译工作的耐心和支持。

鲁迅先生曾提出“信、达、雅”的翻译原则。受限于译者的知识水平和能力,我们自知本书的翻译离这个原则尚有较大距离。译文中不妥乃至错误之处,恳请各位读者不吝指教,以便在将来有机会再版时加以更正。

此书出版之时恰逢我国饮用水领域著名的前辈学者许保玖先生90华诞,谨以此书献给许先生,并致以我们崇高的敬意。

刘文君 施周

2008年5月

前 言

第五版的《水质与水处理》是对《水处理厂设计》的补充。两本书都涵盖了传统领域中关于水处理理论、经验和技术的主题。

这版新的《水质与水处理》保留了第四版的格式，增加了各个领域的更新和扩展内容。修订委员会不仅将新版书的读者群定位于领域专家和高校学生，还尽可能使本书能有益于水厂的操作人员。所有本版中新增的或显著修改、更新和扩展的章节都是由该领域的知名专家完成的。本书延续了向水质分析和供水水质保证技术提供权威、最新信息的传统。

本版书的准备工作由来自美国自来水厂协会（American Water Works Association, AWWA）水质委员会指导。成员包括美国自来水厂协会服务公司（American Water Works Service Co.）的 Clarence A. Blanck，新泽西联合水处理公司（United Water New Jersey）的 John E. Dyksen，中佛罗里达大学（University of Central Florida）的 James S. Taylor，堪萨斯大学（University of Kansas）的 Stephen J. Randtke 和 Delta 水处理集团（Delta Water Group）的 Wendell R. Inhoffer。

本书编写委员会向进行细致耐心修改工作的所有章节的作者表示诚挚的感谢。同样要向美国自来水协会水质委员会的前任和现任主席表示感谢。科罗拉多斯普林斯市（City of Colorado Springs）的 Patricia L. McGlothlin 和经济工程服务（Economic & Engineering Services）的 Gregg J. Kirmeyer 同样提供了很宝贵的帮助。编写委员会向对编写工作提供帮助的美国自来水协会水质委员会的秘书 Clare Haas 表示感谢。美国自来水协会出版社职工如 Mindy Burke, Kathleen Faller, 和 David Talley 也对编写工作提供了帮助。最后，编写委员会要诚挚地感谢本版技术编辑——美国锡拉丘兹大学（Syracuse University）的 Raymond D. Letterman 的不懈努力，他的勘误和协调工作加速了修订过程并提高了每个章节的水准。

Clarence A. Blanck, 主席

修订委员会

美国自来水厂协会服务公司（American Water Works Service Co.）（已退休）

目 录

译者的话	iv
前言	vi
第 1 章 饮用水水质标准、法规和目标	1
Frederick W. Pontius, P. E. , and Stephen W. Clark	
1.1 饮用水标准的早期发展	1
1.2 美国联邦饮用水标准的早期历史	2
1.2.1 州际检疫法	2
1.2.2 美国公众卫生服务标准	2
1.3 美国安全饮用水法	3
1.3.1 国家暂行主要饮用水法规	4
1.3.2 国家科学院的研究	5
1.4 美国安全饮用水法的修订案 (1977 ~ 1986)	5
1.5 1988 铅污染控制法	7
1.6 1996 安全饮用水法的修正	7
1.7 国家主要饮用水法规的发展	8
1.7.1 法规中对污染物的选择	9
1.7.2 建立法规的决定	12
1.7.3 控制的优先等级和紧急威胁	12
1.7.4 制订法规的截止日期及步骤	13
1.7.5 健康风险和费用分析	13
1.7.6 MCLGs 的制订基础	13
1.7.7 风险评估和风险管理	13
1.7.8 毒理学回顾	14
1.7.9 已知的或可能的对人致癌物	15
1.7.10 致癌性证据不充分	16
1.7.11 可能的使人致癌物质	17
1.7.12 微生物污染物	18
1.7.13 MCL 的法规基础	19
1.7.14 处理工艺	19

1.7.15	风险平衡	19
1.7.16	利益应该证明费用是合理的	20
1.7.17	最可用的技术	20
1.7.18	监控和分析方法	20
1.7.19	递交报告和保持记录	21
1.7.20	公示	21
1.7.21	有效期和复审	22
1.7.22	变动	22
1.7.23	豁免	22
1.8	现今国家主要饮用水法规	22
1.8.1	规则制订的标志	23
1.8.2	美国饮用水标准的汇总清单	23
1.8.3	USEPA 饮用水健康忠告	27
1.8.4	直接和间接的饮用水添加剂	27
1.9	国际饮用水标准	28
1.9.1	加拿大	28
1.9.2	墨西哥	28
1.9.3	世界卫生组织	28
1.9.4	欧洲联盟	28
1.10	发展趋势	29

第2章 水质的健康效应和感官性指标 30

Perry D. Cohn, Ph. D., M. P. H., Michael Cox, M. P. H., and Paul S. Berger, Ph. D.

2.1	水源性疾病爆发	31
2.2	致病微生物	32
2.2.1	细菌	33
2.2.2	病毒	35
2.2.3	原生动物	37
2.2.4	藻类	39
2.2.5	真菌	39
2.3	指示物和指示生物	40
2.3.1	总大肠杆菌	40
2.3.2	粪大肠杆菌和埃希氏大肠杆菌	40
2.3.3	异养菌	41
2.3.4	产气荚膜梭菌	41
2.3.5	大肠杆菌噬菌体	41
2.3.6	拟杆菌	42
2.3.7	颗粒数	42
2.3.8	浊度	42
2.3.9	有氧孢子形成菌	42
2.3.10	微粒分析	42
2.4	化合物对健康的作用	43

2.5	无机成分	54
2.5.1	铝	54
2.5.2	砷	55
2.5.3	石棉	55
2.5.4	钡	56
2.5.5	镉	56
2.5.6	铬	56
2.5.7	铜	57
2.5.8	氟化物	57
2.5.9	硬度	57
2.5.10	铁	57
2.5.11	铅	58
2.5.12	锰	58
2.5.13	汞	58
2.5.14	钼	59
2.5.15	镍	59
2.5.16	亚硝酸盐和硝酸盐	59
2.5.17	硒	60
2.5.18	钠	60
2.5.19	硫酸盐	61
2.5.20	锌	61
2.6	有机组分	61
2.6.1	挥发性有机物质	63
2.6.2	农药	66
2.6.3	处理药剂、衬里和涂料中的化学物质	70
2.7	消毒剂 and 消毒副产物	71
2.7.1	消毒剂和无机 DBPs	72
2.7.2	有机消毒副产物	75
2.8	放射性核素	79
2.9	感官质量	81
2.9.1	臭和味	81
2.9.2	浊度和色度	82
2.9.3	矿化度	83
2.9.4	硬度	83
2.9.5	染色	83
2.10	总结	83
第3章 水处理工艺的选择		84

Gary S. Logsdon, D. SC., Alan Hess, P. E., DEE, and Michael Horsley

3.1	水源水	84
3.1.1	可选择的水源	85
3.1.2	可选择的处理方法	85

3.2 影响水处理工艺选择的因素	85
3.2.1 污染物去除	85
3.2.2 源水水质	87
3.2.3 可靠性	88
3.2.4 已有的条件	88
3.2.5 工艺的灵活性	89
3.2.6 水厂的能力	89
3.2.7 费用	89
3.2.8 环境的协调性	90
3.2.9 管网系统的水质	90
3.2.10 处理工艺的规模	91
3.3 对处理工艺进行评估	91
3.4 处理工艺实例 假设的工艺例子	92
3.4.1 地表水处理	92
3.4.2 地下水处理	94
3.4.3 实例研究	97
3.5 总结	98

第4章 水源水质量管理 99

Stuart A. Smith, C · G · W · P and John A. Hroncich

4.1 地下水	99
4.1.1 地下水水源质量：地下水与地表水的关系及法规	99
4.1.2 地下水源及其水质影响因素概述	99
4.1.3 私人及公共地下水水源水使用模式：质量管理问题	105
4.2 地表水	131
4.2.1 水文循环	131
4.2.2 影响整体源水水质的因素	132
4.2.3 自然因素对地表水水质的影响	134
4.2.4 人类活动对地表水水质产生的点源影响	135
4.2.5 人类活动对地表水水质的非点源影响	136
4.2.6 地表水源的水质管理	137

第5章 空气吹脱和曝气 142

David W. Hand, Ph. D. , David R. Hokanson, M. S. , and John C. Crittenden, Ph. D. ,P. E. ,DEE

5.1 空气转移理论	142
5.1.1 平衡	142
5.1.2 质量传递	150
5.2 运行装置	152
5.2.1 填料塔	152
5.2.2 设计公式	155
5.2.3 $K_L a$ 的确定	158

5.2.4	填料塔直径的确定	160
5.2.5	设计方法	162
5.2.6	溶解性固体对填料塔运行的影响	168
5.2.7	利用吸附对空气吹脱尾气进行控制	169
5.3	扩散曝气或鼓泡曝气	174
5.3.1	设计公式	174
5.4	表面曝气	183
5.4.1	设计公式	183
5.5	喷淋曝气	187
5.5.1	设计公式	188

第6章 混凝和絮凝 191

Raymond D. Letterman, Ph. D., P. E., Appiah Amirtharajah, Ph. D., P. E., and Charles R. O'Melia, Ph. D., P. E.

6.1	定义	192
6.1.1	混凝剂和废物处理	192
6.2	污染物	192
6.2.1	天然有机物 (NOM)	192
6.2.2	颗粒	194
6.3	悬浮液颗粒的稳定性	196
6.3.1	静电稳定性	196
6.3.2	空间稳定	200
6.4	混凝剂	201
6.4.1	简介	201
6.4.2	脱稳机理	201
6.4.3	水解性金属盐 (HMS) 混凝剂	202
6.4.4	用于水处理的水解性金属盐 (HMS) 混凝剂种类	205
6.4.5	HMS 混凝剂中的杂质	207
6.4.6	水解金属混凝剂的酸度	207
6.4.7	水解金属盐混凝剂的作用 (机理)	209
6.4.8	混凝结果的说明	211
6.4.9	聚合电解质混凝剂	218
6.4.10	活性无水硅酸	221
6.4.11	絮凝剂的组合使用	222
6.4.12	臭氧与混凝	222
6.5	絮凝工艺	222
6.5.1	絮凝目的	222
6.5.2	迁移机理	223
6.5.3	间歇式与推流式反应器的絮凝动力学	225
6.5.4	理想连续流絮凝反应器	226
6.5.5	快速混合	231
6.5.6	温度对混凝和絮凝的影响	232
6.5.7	动电测量法	232

第7章 沉淀与气浮 235

Ross Gregory, Thomas F. Zabel, and James K. Edzwald

7.1 沉淀工艺的发展史	235
7.1.1 早期历史	235
7.1.2 现代沉淀工艺	236
7.1.3 絮体层沉淀工艺与其他改进	236
7.2 沉淀理论	238
7.2.1 自由沉降	239
7.2.2 受阻沉降 (沉淀类型 3a 和 3b)	244
7.2.3 流态化	247
7.2.4 斜管 (板) 沉淀	249
7.2.5 絮体层澄清	251
7.2.6 沉淀池中水力混合和停留时间的分配	253
7.3 沉淀池的运行与设计	256
7.3.1 沉淀池类型	256
7.3.2 影响沉淀效率的其他因素	265
7.3.3 整流	266
7.3.4 水中颗粒和水质	266
7.3.5 季节流和异重流	269
7.4 溶气气浮	270
7.4.1 气浮的发展历史	270
7.4.2 气浮工艺的类型	271
7.5 溶气气浮理论	272
7.5.1 气浮机理	272
7.5.2 气浮模型	272
7.6 气浮池的设计与运行状况	281
7.6.1 气浮池类型	281
7.6.2 空气饱和系统	283
7.6.3 影响溶气气浮效率的因素	283
7.6.4 气浮处理出水的过滤	292
7.7 应用	292
7.7.1 工艺选择的影响因素	292
7.7.2 新兴技术	294
术语	295

第8章 粒状滤床与预涂膜过滤 299

John L. Cleasby, PH. D., P. E., and Gary S. Logsdon, D, Sc., P. E.

8.1 饮用水过滤概述	299
8.1.1 滤池类型	299
8.1.2 主要机理、性能及应用	300

8.1.3	过滤要求	301
8.1.4	粒状滤料和预涂膜过滤对微生物的去除	301
8.2	滤料	303
8.2.1	滤料的种类	303
8.2.2	粒状滤料的重要性质	303
8.2.3	筛分因素	305
8.2.4	颗粒滤料的典型性质	306
8.3	流过多孔滤料的水力情况	306
8.3.1	固定流动床的水头损失	306
8.3.2	流化床的水头损失	308
8.3.3	流态化起点	308
8.4	快滤池过滤	310
8.4.1	概述	310
8.4.2	快滤池滤料	310
8.4.3	滤料的等价深度概念	312
8.4.4	单层滤料滤池与多层滤料滤池的对比	312
8.4.5	颗粒活性炭 (GAC) 在快滤池中的运用	313
8.4.6	滤速	314
8.4.7	容许周期和产水率	317
8.4.8	配水系统和承托层	318
8.5	快滤池理论及其模型	320
8.5.1	过滤机理	320
8.5.2	过滤的数学模型	321
8.5.3	过滤参数对性能的影响	324
8.6	快滤池运行情况	324
8.6.1	出水水质一般模式	324
8.6.2	初滤水排放的意义	327
8.6.3	连续监控浊度和微粒数的意义	327
8.6.4	充分预处理的重要性	327
8.6.5	滤速增加的危害和脏滤池的再启动	329
8.6.6	负压的有害影响	331
8.6.7	过滤中水头损失的增加	331
8.7	直接过滤	332
8.7.1	工艺概况、优点和缺点	332
8.7.2	适合直接过滤的水源	333
8.7.3	直接过滤的化学预处理	333
8.7.4	直接过滤滤池的细节	334
8.8	过滤中的流量控制	334
8.8.1	为什么需要控制	334
8.8.2	重力滤池的滤速控制系统	335
8.8.3	滤池控制系统的一般要素	337
8.8.4	选择合适的水力控制系统	337
8.9	快滤池的反冲洗	337
8.9.1	选择反冲洗的方法	338

8.9.2	反冲洗排水槽和冲洗水要求	340
8.9.3	反冲洗时的滤料膨胀	341
8.9.4	反冲洗时的分层和混杂	342
8.9.5	GAC 滤池—吸附器的反冲洗	343
8.9.6	反冲洗水再利用	343
8.10	快滤池存在的问题	344
8.10.1	滤料污染和无机物沉积	344
8.10.2	反冲洗时承托层的移动	344
8.10.3	底部排水渠问题	346
8.11	粒状滤料压力滤池	346
8.11.1	压力滤池的描述	346
8.11.2	压力滤池与重力滤池的比较	347
8.11.3	压力滤池的运行	347
8.11.4	压力滤池滤速的控制	348
8.11.5	压力滤池的应用	348
8.12	慢砂滤池	348
8.12.1	描述和历史	348
8.12.2	过滤机理和性能	349
8.12.3	适合采用慢砂滤池的水源及其预处理	350
8.12.4	物理特征	351
8.12.5	慢砂滤池的操作和清洗	352
8.12.6	在小型系统中的应用	352
8.13	预涂膜过滤	353
8.13.1	应用和性能	354
8.13.2	过滤组件及隔膜	354
8.13.3	过滤容器	356
8.13.4	滤料	356
8.13.5	滤池的运行	356
8.13.6	预涂膜过滤器的理论研究	357
8.14	其他形式滤池	358
8.14.1	低水头连续反冲洗滤池	358
8.14.2	二级过滤系统	359
8.14.3	袋式过滤器和筒式过滤器	359
8.15	新兴技术	360
8.16	废物处置	360

第9章 离子交换和无机物吸附 361

Dennis A. Clifford, Ph. D., P. E., DEE

9.1	离子交换及其理论	361
9.1.1	水处理中离子交换的应用	361
9.1.2	离子交换的过去和将来	362

9.2	离子交换材料和离子交换反应	363
9.2.1	强酸性和弱酸性阳离子交换剂	364
9.2.2	强碱性和弱碱性阴离子交换剂	364
9.2.3	活性氧化铝吸附	365
9.2.4	专用树脂	366
9.3	离子交换平衡	367
9.3.1	选择性系数和分离因素	367
9.3.2	选择性顺序	368
9.3.3	等温线示意图	370
9.4	离子交换和吸附动力学	372
9.4.1	纯离子交换速度	372
9.4.2	氧化铝与 SBA 树脂的比较	373
9.4.3	致密型树脂的反应速度	373
9.5	柱工艺及其计算	374
9.5.1	二元离子交换	374
9.5.2	多元离子交换	374
9.5.3	穿透检测和运行终止	376
9.5.4	单一柱的典型运行周期	376
9.5.5	部分再生和再生剂重复使用	377
9.5.6	组合柱工艺	377
9.5.7	树脂与氧化铝工艺的区别	378
9.6	设计	378
9.6.1	树脂特性	378
9.6.2	床尺寸与流速	379
9.6.3	固定床交换柱	380
9.7	顺流再生与逆流再生	380
9.7.1	失效再生剂的重复使用	380
9.8	离子交换与吸附的应用	380
9.8.1	Na 离子交换软化法	380
9.8.2	软化设备中的废液的处置	384
9.8.3	H 离子交换软化法	384
9.9	离子交换除 Ba^{2+}	385
9.10	用离子交换除镭	385
9.10.1	软化过程中除镭	385
9.10.2	Ca 型树脂除镭	386
9.10.3	镭污染盐液的处置	386
9.11	离子交换除 NO_3^-	386
9.11.1	水质对去除 NO_3^- 的影响	387
9.11.2	检测 NO_3^- 穿透	388
9.11.3	去除 NO_3^- 的树脂的选择	388
9.11.4	含 NO_3^- 树脂的再生	389
9.11.5	含 NO_3^- 的再生剂的处置	389
9.11.6	失效再生剂的生物脱氮和重复使用	390
9.12	活性氧化铝去除 F^-	390

9.12.1	氧化铝去除 F^- 系统的设计	391
9.12.2	氧化铝的 F^- 容量的影响因素	392
9.12.3	F^- 失效的氧化铝柱的再生	393
9.13	树脂和氧化铝去除砷	394
9.13.1	As (III) 氧化成 As (V)	395
9.13.2	氧化铝除砷系统的设计	396
9.13.3	氧化铝对砷的吸附容量的影响因素	396
9.13.4	砷失效的氧化铝的再生	398
9.13.5	去除失效的氧化铝再生剂中的砷	399
9.14	离子交换去除砷	399
9.14.1	As (V) 离子交换穿透曲线	400
9.14.2	工艺变量对离子交换去除 As (V) 的影响	401
9.14.3	砷失效树脂的再生	403
9.14.4	失效的离子交换再生剂的处理	404
9.15	树脂和氧化铝去除硒	405
9.15.1	将亚硒酸盐氧化成硒酸盐	405
9.15.2	离子交换去除 Se (VI)	405
9.15.3	活性氧化铝去除 Se (IV)	406
9.16	离子交换去除铬	406
9.16.1	树脂母体对去除铬酸根的影响	406
9.16.2	铬酸根失效树脂的再生性能	407
9.16.3	铬酸根浓度的影响	407
9.16.4	去除失效再生剂上的铬酸根	407
9.16.5	有关铬酸根去除工艺的建议	408
9.17	树脂去除色度和有机物	408
9.17.1	离子交换去除 DOC 的历史	408
9.17.2	DOC 离子交换的基本原理	410
9.18	用阴离子交换去除铀	412
9.18.1	铀的化学性质和形成种类	412
9.18.2	离子交换去除铀的历史	413
9.18.3	pH 值和竞争离子对铀的去除的影响	413
9.18.4	对铀失效的 SBA 树脂的再生性	416
9.19	阴离子交换去除高氯酸盐	417
9.19.1	选择高氯酸盐树脂的影响因素	417
9.19.2	高氯酸盐离子交换工艺的注意事项	418
9.20	废物处置	418
9.21	总结	418
第 10 章 化学沉淀		422

Larry D. Benefield, Ph. D. , and Joe M. Morgan, Ph. D.

10.1	化学沉淀的基本原理	422
10.1.1	溶解平衡	422