



博士后文库
中国博士后科学基金资助出版

辽河流域微污染水源饮用水 净化理论与工程技术

郜玉楠 傅金祥 等 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

辽河流域微污染水源饮用水 净化理论与工程技术

邵玉楠 傅金祥 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对辽宁省微污染饮用水水源（地表水和地下水）的水质特点和存在问题，从理论和技术两个方面进行了详细的阐述和分析，提出针对不同水源水质的处理集成技术。全书分为三个部分，第一部分主要介绍辽河流域及其水源地概况、水源地水质现状，以及我国饮用水卫生标准现状；第二部分主要针对地表水源大伙房水库的水质特点，阐述不同水处理技术的理论、工艺特点、技术参数；第三部分主要针对微污染地下水的水质特点，阐述不同水处理技术的理论、工艺特点、技术参数以及工程应用等多方面内容。

本书所阐述的研究内容可为辽宁省饮用水水质安全保障提供技术支撑，同时也可为全国供水行业的技术发展提供指导和示范，可供饮用水处理领域科研机构、水质检测部门、高校教学、管理部门等相关从业人员使用。

图书在版编目（CIP）数据

辽河流域微污染水源饮用水净化理论与工程技术 / 郜玉楠等著. —北京：科学出版社，2018.2

ISBN 978-7-03-056517-4

I. ①辽… II. ①郜… III. ①辽河流域-微污染-饮用水-供水水源-净化-研究 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 024984 号

责任编辑：霍志国 金 蓉 / 责任校对：韩 杨

责任印制：肖 兴 / 封面设计：东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 2 月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2018 年 2 月第一次印刷 印张：18 3/4

字数：378 000

定价：128.00 元

（如有印刷质量问题，我社负责调换）

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委 （按姓氏汉语拼音排序）

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱

刘 伟 卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪

万国华 王光谦 吴硕贤 杨宝峰 印遇龙

喻树迅 张文栋 赵 路 赵晓哲 钟登华

周宪梁

主要编著人员

主 编:	郜玉楠	傅金祥	赵玉华	唐玉兰
参 编:	周历涛	宗子翔	王信之	杨 勇
	武卫斌	和娟娟	张文博	陈 芳
	王 硕	常启雷	茹雅芳	王 静
	梁 庚	白伏伟	张树冬	高国伟

《博士后文库》序言

1985年，在李政道先生的倡议和邓小平同志的亲自关怀下，我国建立了博士后制度，同时设立了博士后科学基金。30多年来，在党和国家的高度重视下，在社会各方面的关心和支持下，博士后制度为我国培养了一大批青年高层次创新人才。在这一过程中，博士后科学基金发挥了不可替代的独特作用。

博士后科学基金是中国特色博士后制度的重要组成部分，专门用于资助博士后研究人员开展创新探索。博士后科学基金的资助，对正处于独立科研生涯起步阶段的博士后研究人员来说，适逢其时，有利于培养他们独立的科研人格、在选题方面的竞争意识以及负责的精神，是他们独立从事科研工作的“第一桶金”。尽管博士后科学基金资助金额不大，但对博士后青年创新人才的培养和激励作用不可估量。四两拨千斤，博士后科学基金有效地推动了博士后研究人员迅速成长为高水平的研究人才，“小基金发挥了大作用”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员的优秀学术成果不断涌现。2013年，为提高博士后科学基金的资助效益，中国博士后科学基金会联合科学出版社开展了博士后优秀学术专著出版资助工作，通过专家评审遴选出优秀的博士后学术著作，收入《博士后文库》，由博士后科学基金资助、科学出版社出版。我们希望，借此打造专属于博士后学术创新的旗舰图书品牌，激励博士后研究人员潜心科研，扎实治学，提升博士后优秀学术成果的社会影响力。

2015年，国务院办公厅印发了《关于改革完善博士后制度的意见》（国办发〔2015〕87号），将“实施自然科学、人文社会科学优秀博士后论著出版支持计划”作为“十三五”期间博士后工作的重要内容和提升博士后研究人员培养质量的重要手段，这更加凸显了出版资助工作的意义。我相信，我们提供的这个出版资助平台将对博士后研究人员激发创新智慧、凝聚创新力量发挥独特的作用，促使博士后研究人员的创新成果更好地服务于创新驱动发展战略和创新型

国家的建设。

祝愿广大博士后研究人员在博士后科学基金的资助下早日成长为栋梁之才，为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出更大的贡献。

楊衛

中国博士后科学基金会理事长

前 言

辽河流域包括辽河和大辽河水系。辽河的流域面积为 21.9 万 km^2 , 全长 1390km, 西辽河、东辽河、招苏台河、条子河等支流在辽宁省境内汇合形成了辽河, 干流主要在辽宁省, 从盘锦市入海; 辽宁省的饮用水水源主要为地表水, 地下水水源主要作为备用水源。大伙房水源设计城市总供水能力为 26.95 亿 m^3/a , 由大伙房水库、桓仁水库、浑江桓仁段(西江水电站、凤鸣水电站)和跨流域输水隧洞及苏子河输水河道共同构成。它是辽宁省乃至东北地区最大的饮用水水源, 供水规模位居全国第三位。大伙房水源总体水质较好, 基本满足《生活饮用水卫生标准》的要求, 但总氮、总磷超标, 存在富营养化趋势。地下水水源面临着超量开采, 铁、锰、氨氮、氟污染严重等问题。目前, 还没有针对辽河流域饮用水水源特征所建立的系统处理技术体系, 因此, 本书作者结合多年来的项目研究成果, 围绕辽河流域区域内饮用水水源水质存在的诸多问题, 建立了一套完整的供水技术集成体系, 为辽河流域饮用水水质安全保障提供了技术指导。

水是生命之源、生产之要、生态之基, 是支撑经济、社会发展的重要自然资源。水质污染所引起的生态环境破坏和人体健康的危害, 一定程度上制约经济的发展, 影响可持续发展的进程。作者基于此编著本书, 针对微污染饮用水水源, 从理论和处理技术两个方面分别介绍了微污染地表水和地下水的净化理论与工程技术。希望能为辽宁省饮用水事业的发展和供水行业的质量提升做些贡献。

全书分为三大部分共 9 章, 第一部分为总述, 即为第 1 章; 第二部分为大伙房微污染地表水净化理论与工程技术, 包含第 2~4 章; 第三部分为微污染地下水净化理论与工程技术, 包含第 5~9 章。第 1 章“辽河流域饮用水水源现状”主要介绍辽河流域及其水源地概况、水源地水质水量现状、辽宁省地表水水源现状、地下水水源现状及我国饮用水卫生标准现状; 第 2 章“微污染地表水超滤膜处理技术”主要介绍超滤膜在国内外的应用现状、混凝-超滤短流程工艺的特性研究和除污染性能分析, 以及混凝-沉淀-超滤膜耦合工艺的试验研究; 第 3 章“汛期高浊污染微絮凝-超滤深度处理技术”主要介绍微絮凝-超滤深度处理工艺的影响因素、最优组合参数及对高浊水的去除效果分析; 第 4 章“微污染地表水超滤膜污染防治技术”主要介绍膜污染的成因、分类、膜清洗技术; 第 5 章“微污染含铁锰地下水生物处理技术”主要介绍铁锰的来源与危害、优势菌群的筛选、跌水曝

气生物强化过滤技术、最佳曝气量的计算；第6章“微污染含铁锰地下水氧化强化吸附处理技术”主要介绍氧化法、吸附法、不同氧化吸附集成工艺处理微污染含铁锰地下水；第7章“微污染含铁锰地下水改性沸石处理技术”主要介绍改性沸石的制备、单因素试验、多因素正交试验、改性沸石处理含铁锰地下水性能分析；第8章“微污染含氟地下水生物处理技术”主要介绍地下水氟的分布、危害、除氟技术、生物滤层处理铁锰氟的研究及生物除铁锰滤料再利用除氟的研究；第9章“微污染地下水水源处理工程应用”主要介绍沈阳水务集团第一水厂中试基地概况、跌水曝气-生物强化过滤工艺中试试验研究、中试工艺技术经济分析及示范工程工艺参数、运行效果。全书围绕辽宁省饮用水的水质特点、检测、分析、处理、应用等方面进行了详尽的分析阐述，可为辽宁省饮用水水质安全保障提供技术支撑。

本书写作分工如下：

第1章：邵玉楠、傅金祥

第2章：宗子翔、杨勇、梁庚

第3章：王信之、周历涛、茹雅芳

第4章：梁庚、白伏伟、王静

第5章：唐玉兰、武卫斌、和娟娟

第6章：邵玉楠、陈芳、张树冬

第7章：赵玉华、常启雷

第8章：傅金祥、王硕、高国伟

第9章：张文博、高国伟、张树冬

在本书编写过程中，引用了大量的国内外文献资料，以及相关专家的论文和专著，在此表示深深的敬意和感谢！

本书内容为国家科技重大专项、国家自然科学基金、辽宁省自然科学基金的研究成果。

本书可供饮用水处理领域科研机构、水质检测部门、高校教学、管理部门等相关从业人员使用。

受学识和水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请专家和读者批评指正。

著 者

2017年10月

目 录

《博士后文库》序言

前言

第一部分 总 述

第 1 章 辽河流域饮用水水源现状	3
1.1 辽河流域饮用水水源地	3
1.2 辽宁省地表水水源	8
1.3 辽宁省地下水水源	16
1.4 我国饮用水卫生标准现状	20

第二部分 大伙房微污染地表水净化理论与工程技术

第 2 章 微污染地表水超滤膜处理技术	47
2.1 超滤膜在国内外的应用现状	48
2.2 混凝-超滤短流程工艺的特性研究	53
2.3 混凝-超滤短流程工艺除污染性能分析	67
2.4 混凝-沉淀-超滤膜耦合工艺的试验研究	79
2.5 本章小结	83
第 3 章 汛期高浊污染微絮凝-超滤深度处理技术	85
3.1 微絮凝-超滤深度处理工艺影响因素及最优组合参数确定	86
3.2 微絮凝-超滤深度处理对高浊水的去除效果分析	90
3.3 本章小结	93
第 4 章 微污染地表水超滤膜污染防治技术	94
4.1 膜污染的特性及防治研究	94
4.2 本章小结	102

第三部分 微污染地下水净化理论与工程技术

第 5 章 微污染含铁锰地下水生物处理技术	107
5.1 铁锰去除的国内外研究现状	107
5.2 微污染含铁锰地下水的优势菌群筛选	110
5.3 微污染高锰低铁地下水生物处理技术小试研究	121

5.4	最佳曝气量计算模型	147
5.5	本章小结	155
第6章	微污染含铁锰地下水氧化强化吸附处理技术	157
6.1	微污染地下水处理的国内外研究现状	157
6.2	微污染高锰高铁地下水氧化吸附处理技术小试研究	162
6.3	本章小结	181
第7章	微污染含铁锰地下水改性沸石处理技术	183
7.1	改性沸石的制备	183
7.2	单因素试验研究	186
7.3	多因素正交试验研究	195
7.4	改性沸石处理含铁锰地下水性能研究	200
7.5	本章小结	218
第8章	微污染含氟地下水生物处理技术	220
8.1	地下水中氟的区域分布特征	220
8.2	水中氟的危害及用水标准	220
8.3	地下水中氟的存在形式及其性质	221
8.4	地下水除氟技术的发展与问题	222
8.5	生物滤层处理铁锰氟共存地下水的研究	224
8.6	生物除铁锰滤料再利用除氟的研究	234
8.7	本章小结	244
第9章	微污染地下水水源处理工程应用	245
9.1	微污染高锰低铁地下水处理集成技术中试基地概况	245
9.2	跌水曝气-生物强化过滤工艺中试试验研究	246
9.3	跌水曝气-生物强化过滤工艺中试技术经济分析	262
9.4	示范工程	267
9.5	本章小结	273
参考文献		275
编后记		286

第一部分 总 述

第 1 章 辽河流域饮用水水源现状

辽河发源于河北省境内七老图山脉的光头山，流经河北省、内蒙古自治区、吉林省、辽宁省，全长 1345km。辽河流域地处中国东北地区西南部，东邻松花江、鸭绿江流域，西邻内蒙古高原，南邻滦河、大凌河流域及渤海，北邻松花江流域，流域总面积 21.9 万 km^2 ，占全国面积的 2.30%、松辽流域面积的 17.70%。辽河流域多年平均地表水资源量为 137.2 亿 m^3 ，地下水资源量为 139.57 亿 m^3 ，水资源总量为 221.9 亿 m^3 ，占全国水资源总量的 0.78%；水资源可利用总量为 115.04 亿 m^3 ，水资源可利用率（水资源可利用总量与水资源总量的比值）为 51.8%。其中，地表水资源可利用量为 63.28 亿 m^3 ，占可利用总量的 55.0%。

1.1 辽河流域饮用水水源地

1.1.1 辽河流域概况

辽河流域包括辽河和大辽河水系。西辽河、东辽河、招苏台河、条子河等支流在辽宁省境内汇合形成了辽河，其干流主要在辽宁省，从盘锦市入海。大辽河全长 97km，是由浑河、太子河汇合形成的，从营口市入海。

辽宁省经济比较发达的工业区、都市区都主要集中在辽河流域。经过 50 多年的建设，辽河流域成为我国重要的装备制造基地、原材料工业基地、国家级精细化工基地、石化工业基地、催化剂生产基地。2009 年，区域人口达 3300 多万，占全省的 76.4%，平均人口密度 352 人/ km^2 ，城区 1240 人/ km^2 ，城市化水平居全国前列。辽宁省辽河流域的国内生产总值达到 5739 亿元，占全省的 62%。

辽河流域水资源贫乏。人均地表水资源量仅为全国的五分之一；地表径流量受季节影响致年内分配不均匀，7 月、8 月最多，占年径流量的 60%，2 月最少，占年径流量的 0.1%。

将辽宁省辽河流域划分为 56 个二级控制单元，开展监控网络的构建研究（表 1-1）。

表 1-1 辽河流域子流域划分

序号	子流域名称	流经市（县）名称
1	辽河干流上游	铁岭：铁岭市区、调兵山市、开原市、铁岭县、西丰县、昌图县
		沈阳：康平县、法库县、新民市
		阜新：彰武县
		鞍山：台安县
2	辽河干流下游	锦州：北镇市、黑山县
		盘锦：盘山县、盘锦市区、大洼县
3	浑河上游	抚顺：清原满族自治县、新宾满族自治县、抚顺县
4	浑河下游	抚顺：抚顺市区
		沈阳：沈阳市区、辽中县
		本溪：本溪市区、本溪满族自治县
5	太子河流域	辽阳：辽阳市区、灯塔市、辽阳县
		鞍山：鞍山市区、海城市
6	大辽河流域	营口：营口市区、大石桥市

1.1.2 辽河流域水源地概况

1.水源地类型分析

辽宁省辽河流域共有水源地 87 个，其中河流型水源地有 6 个、湖库型水源地有 12 个、地下水型水源地有 69 个，各类型水源地数量分布情况见图 1.1。

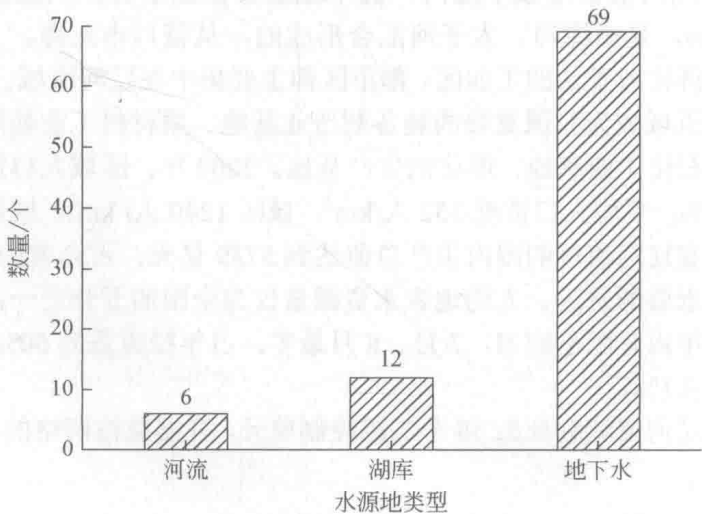


图 1.1 各类型水源地数量分布情况

辽宁省辽河流域共计 87 个城市集中式饮用水水源全部开展了水质监控。87 个水源地的服务总人口为 1475.302 万人, 实际总供水量为 136902.558 万 t/a。地下水型水源地的数量、服务人口及实际供水量都在三种类型水源地中所占比例最大, 分别为 79.31%、64.84%和 71.93%, 河流型和湖库型这两种地表型水源地的数量、服务人口和实际供水量共占辽宁省辽河流域 87 个水源地的百分数分别为 20.69%、35.16%和 28.06%。各类型水源地现状所占百分数见图 1.2。

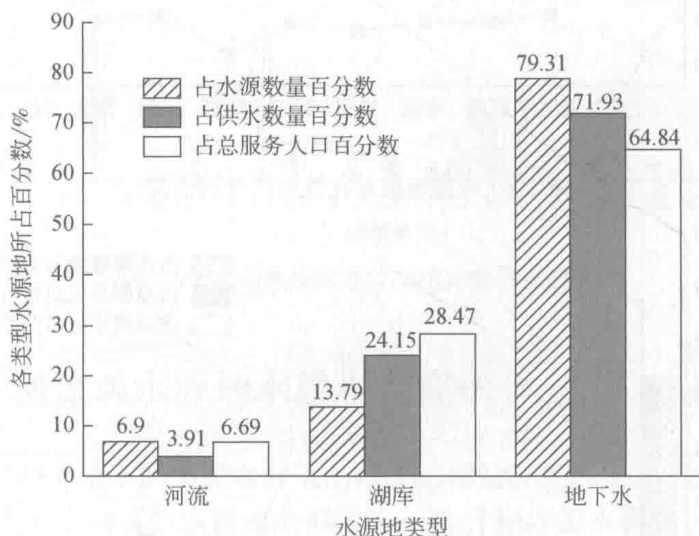


图 1.2 各类型水源地现状所占百分数

2. 水源地行政区分析

辽宁省辽河流域 87 个水源地, 按照各行政区分布在辽宁省境内辽河流域覆盖的铁岭、沈阳、鞍山等 8 个省辖市和锦州市黑山县等 3 个县(市)。湖库型和河流型水源地主要分布在铁岭市、抚顺市和本溪市。地下水型水源地主要分布在沈阳市、鞍山市、辽阳市、盘锦市和锦州市, 营口市和铁岭市也有分布。

综合各类型水源地数量在行政区分布的情况(图 1.3), 可知沈阳市水源地数量最多, 有 38 个; 其次为铁岭市, 有 12 个; 阜新市最少, 为 1 个, 沈阳市水源地数量占有所有水源地数量的 43.68%。各行政区水源地数量、供水量、服务人口占有所有水源的百分数情况见图 1.4。沈阳市水源地的服务人口最多, 占总服务人口的 43.45%, 其次为辽阳和抚顺, 分别占总服务人口的 14.17%和 11.54%。沈阳市的水源地供水量最多, 为 79534.4177 万 t/a, 占总供水量的 58.10%, 超过了总供水量的一半, 其次是抚顺市的水源地供水量, 占总供水量的 19.45%。

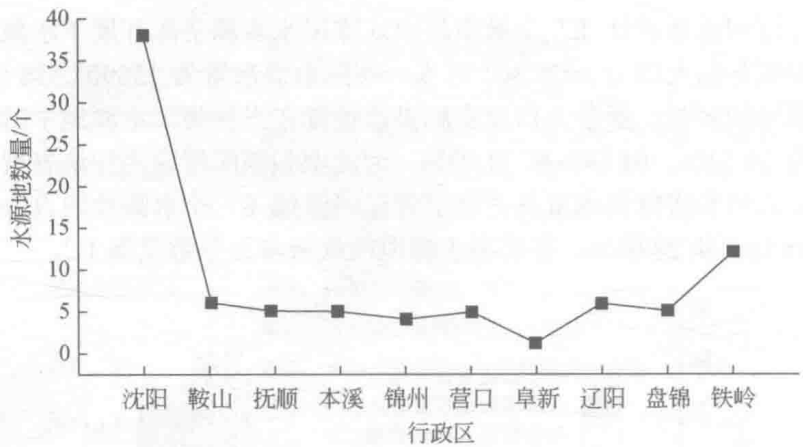


图 1.3 水源地数量在行政区分布情况

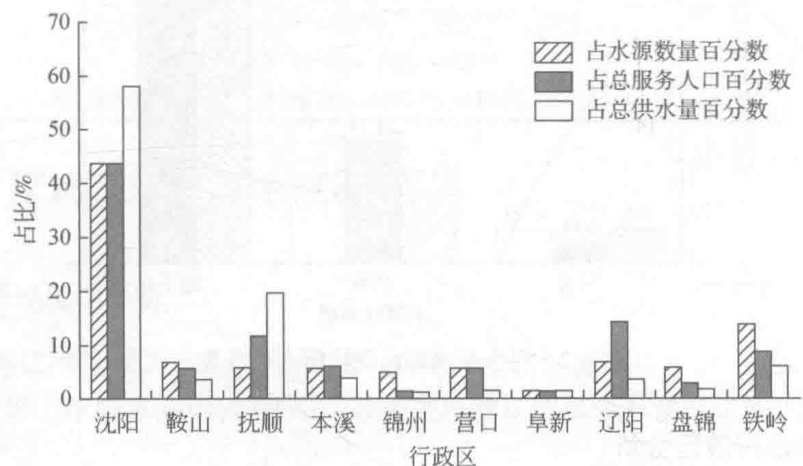


图 1.4 水源地现状在行政区分布情况

3.水源地控制单元分析

辽宁省辽河流域 87 个水源地, 按水源地类型分布在 23 个不同的控制单元内。湖库型水源地分布在 10 个不同的控制单元内, 地下水水源地主要分布在 17 个不同的控制单元内。

综合各类型水源地在控制单元分布的数量情况 (图 1.5), 可知控制单元 7 水源地最多, 有 24 个, 占水源地总数的 27.59%, 其次为控制单元 1 和控制单元 36, 各有水源地 7 个, 占水源地总数的 8.05%。同样控制单元 7 的服务人口最多, 为 427.702 万人, 占有所有水源地服务人口的 28.99%, 其次为控制单元 37 和 19, 分别占总服务人口的 11.18%和 9.69%。供水量最多的依然是控制单元 7 的水源地, 供水量为 54252.307 万 t/a, 占总供水量的 39.63%, 其次是控制单元 19, 其供水量占