

中法国际合作项目

饮用水源保护生态修复 成套关键技术研究

罗阳 王洪翠 张俊 周绪申 王乙震 孔凡青 等 著

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中法国际合作项目

饮用水源保护生态修复 成套关键技术研究

罗阳 王洪翠 张俊 周绪申 王乙震 孔凡青 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

海河流域大型饮用水源普遍存在上游及周边排污口众多、农业及农村面源污染重、内源污染累积等诸多问题,饮水安全保障工作形势十分严峻。本书基于中法双方签订的关于水资源领域的合作协议,合作研究外源污染氮磷营养盐控制技术、水源地生态系统修复构建技术、生物监测预警技术、蓝藻暴发应急处置技术,整合形成治理-修复-预警-处置四位一体的饮用水源保护成套关键技术,能够为海河流域饮用水源保护及生态系统修复提供技术支撑。

本书可供水资源保护、水生态修复、环境科学等领域的生产、科研及管理者使用和参考,也可供关心水资源保护事业的广大公众阅读。

图书在版编目(CIP)数据

饮用水源保护生态修复成套关键技术研究:中法国际合作项目/罗阳等著.——北京:中国水利水电出版社,2017.8

ISBN 978-7-5170-4559-5

I. ①饮… II. ①罗… III. ①饮用水—供水水源—水源保护—研究 IV. ①TU991

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第160568号

书 名	中法国际合作项目 饮用水源保护生态修复成套关键技术研究 ZHONG-FA GUOJI HEZUO XIANGMU YINYONG SHUIYUAN BAOHU SHENGTAI XIUFU CHENGTAO GUANJIAN JISHU YANJIU
作 者 出版发行	罗阳 王洪翠 张俊 周绪申 王乙震 孔凡青 等 著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版 印 刷 规 格 版 次 印 数 定 价	中国水利水电出版社微机排版中心 北京博图彩色印刷有限公司 170mm×237mm 16开本 20印张 380千字 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷 001—800册 58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

著作委员会

主 任：罗 阳

副 主 任：王洪翠 王乙震

参加撰写人员：罗 阳 王洪翠 张 俊 王乙震

周绪申 孔凡青 韦耀国 戴 乙

杜学军 廉铁辉 冯晓波 鲁 刚

袁 浩 王怀通 于 卉 朱龙基

王佰梅 武佃卫 周 东 王利刚

张春会

序

饮水安全是全世界面临的四大水资源问题之一，也是当前我国需要着力解决的重要问题之一。据有关资料，全球有 11 亿人口得不到安全的饮用水，我国有多达数亿人口的饮水安全不能满足要求。饮用水源保护关系到人民群众的饮水安全、社会的繁荣稳定和国家的长治久安。2011 年中央一号文件和 2012 年国务院三号文件都强调实行最严格水资源管理制度，加强水源地保护；十八大以来，陆续提出“科学发展，五位一体”以及“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的十六字治水方针，创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念。近年来，国家推进生态文明建设，落实最严格水资源管理制度，保护和修复生态环境，保障河湖基本生态用水，维护河湖健康，促进水资源可持续利用，对全面保障饮用水源安全提出了更高的要求。

海河流域在国家经济社会发展过程中具有重要的战略地位，其中京津冀都市圈是我国的政治文化中心和经济发达地区。随着经济社会的发展，海河流域大型饮用水源普遍存在上游及周边排污口众多、污水排放量大、农业及农村面源污染重、内源污染累积等诸多问题，饮水安全保障工作形势十分严峻。保障饮水安全，是海河流域水资源保护和水污染防治的首要目标。

为研究海河流域饮用水源地保护和修复技术，为流域水资源保护和管理提供支撑，落实中法双方关于水资源领域的合作协议，2013 年科技部批复了国家国际科技合作专项“饮用水源保护生态修复成套关键技术合作研究”（项目编号：2013DFA71340）。通过海河流域水环境监测中心和法国国际水资源管理办公室三年的国际合作，项目取得了一系列的原创性成果：开发了基于气候变化的蓝藻暴发预测预警模型、基于全色多光谱的蓝藻水华监测技术，发现了摇蚊科 3 个新记录种，研发了快速精准水生生物鉴定技术，筛选出于桥水库水源地指示生物，建立了综合营养指数预警系统，构建了新型有效的饮用水源保

护评价体系。项目在 2016 年顺利通过科技部的验收，在同批验收的项目中位居前列。同时，该项目在实施过程中和项目完成后，蓝藻暴发预测预警模型、全色多光谱蓝藻水华监测技术等成果已在诸多单位水源地保护与生态修复实践中得到了应用，为流域水资源保护与管理、水生态修复等方面的研究能力和学科发展水平的提升提供了基础支撑，项目的实施在促进中国流域供水安全保障能力以及提升水利部、海河水利委员会的国际地位等方面也发挥了重要作用和积极影响。

本项目取得的外源污染氮磷营养盐控制技术、水源地生态系统修复构建技术、生物监测预警技术、蓝藻暴发应急处置技术，整合形成治理-修复-预警-处置四位一体的饮用水源保护成套关键技术，能够为海河流域饮用水源保护及生态系统修复提供技术支撑。本书可供水资源保护、水生态修复、环境科学等领域的生产、科研及管理者使用和参考。

中国科学院水生生物研究所



2016 年 8 月 25 日

前言

海河流域在国家经济社会发展过程中具有重要战略地位，其中京津冀都市圈是我国的政治文化中心和经济发达地区。随着经济社会的发展和生活质量的提高，人们从“有水喝”“能喝水”向“喝好水”“健康饮水”转变，而海河流域大型饮用水源普遍存在上游及周边排污口众多、污水排放量大、农业及农村面源污染重、内源污染累积等诸多问题，饮水安全保障工作形势十分严峻。饮用水源保护关系到人民群众的饮水安全、社会的繁荣稳定和国家的长治久安。

目前，海河流域的 20 个大型重要饮用水源中，已有 45% 不满足地表水Ⅲ类水质标准，60% 处于富营养状态，严重影响和威胁着人民群众的身体健康和生活质量的提升。因此，基于中法双方签订的关于水资源领域的合作协议，在水利部和海河水利委员会的指导支持下，海河流域水环境监测中心申请科技部国家国际科技合作专项“饮用水源保护生态修复成套关键技术合作研究”（项目编号：2013DFA71340）获得立项，中法双方合作研究外源污染氮磷营养盐控制技术、水源地生态系统修复构建技术、生物监测预警技术、蓝藻暴发应急处置技术，以此整合形成治理-修复-预警-处置四位一体的饮用水源保护成套关键技术，为海河流域饮用水源保护及生态系统修复提供技术支撑。

全书共包括 9 章。第 1 章主要介绍项目背景，国内外研究现状，研究目标、内容和技术路线，项目取得的主要研究成果与创新点。第 2 章主要介绍海河流域自然地理、河流水系、经济社会、水资源及其开发利用、水功能区划、水环境质量状况，以及于桥水库、金良河、海河干流等典型研究区域的概况。第 3 章以天津市重要饮用水源地于桥水库为研究对象，通过识别于桥水库及周边氮磷营养盐污染来源，提出外源氮磷营养盐控制技术，借鉴法国在氮磷污染控制方面的经验，提出适合于桥水库外源氮磷污染源控制最优水生态管理系

统。第4章针对农村生活污水和农业生产的面源污染,以饮用水源地水质改善和提高为目标,进行了生态塘处理生活污水、湖滨带减缓面源污染的河湖污染水体净化和生态修复的研究。第5章通过连续监测,初步获得于桥水库浮游生物的时空分布规律,筛选出水源地指示种,将DNA条形码技术引入到水生生物监测中,初步构建了于桥水库综合营养指数预警系统。第6章通过构建人工神经网络模型和基于气候变化的生态动力学模型两种不同的富营养化模型,分别对于桥水库蓝藻暴发进行了预测模拟,并针对于桥水库蓝藻暴发开展实际应用;同时利用全色多光谱技术可及时、快速、全面地获取蓝藻水华范围、程度等信息,有效地监测蓝藻水平的动态变化。第7章针对蓝藻暴发不同的处理方式,开展了喷泉曝气、推流曝气、气幕式曝气等除藻技术,水生植物、鱼类等生物控藻技术,以及超声波、生物菌等其他除藻技术的研究。第8章基于水功能区划的水源地健康评估理论,构建水源地新型健康评价指标体系,在常规管理对策基础上,针对不同污染源提出水源地专项控制措施、保护对策等。第9章总结治理-修复-预警-处置四位一体的饮用水源保护成套关键技术。项目研究成果具有较高的实用价值,可提升海河流域饮用水源保护生态修复技术水平。

本书写作分工如下:

前言:王洪翠;

第1章:罗阳、王洪翠;

第2章:王洪翠;

第3章:王乙震;

第4章:罗阳、周绪申;

第5章:孔凡青、罗阳;

第6章:罗阳、王乙震、王洪翠;

第7章:周绪申;

第8章:王乙震;

第9章:张俊、罗阳、周绪申、王乙震、孔凡青。

全书由罗阳、王洪翠统稿、校稿。

该项目是落实中法海河流域水资源综合管理项目合作的重要行动，也是贯彻中央、国务院水源地保护政策方针的重要举措。项目的实施不仅有利于提高海河流域供水安全保障能力，实现国家生态环境保护战略目标，而且有利于扩大我国科技对外影响力，提升水利科技实施“走出去”战略的竞争力。

本书编写过程中，得到了北京大学、天津大学、海河水利委员会、海河流域水资源保护局等单位和专家的指导和无私帮助，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平与时间有限，对有些问题的认识和研究还有待进一步深入，不足之处恳请读者批评指正。

作 者

2016 年夏于天津

目录

序 前言

1 绪论	1
1.1 项目背景	1
1.1.1 饮用水源保护存在的问题	2
1.1.2 国家高度重视饮用水源安全	5
1.1.3 水利部始终突出保护优先原则切实保障饮水安全	6
1.1.4 中法合作基础	6
1.2 国内外研究现状	9
1.2.1 外源氮磷控制技术	9
1.2.2 生态系统修复技术	12
1.2.3 生物监测预警技术	16
1.2.4 蓝藻暴发处置技术	18
1.3 研究目标、内容和技术路线	23
1.3.1 研究目标与内容	23
1.3.2 研究技术路线	24
1.4 主要研究成果与创新	25
1.4.1 主要研究成果	25
1.4.2 项目创新点	27
参考文献	28
2 研究区域概况	35
2.1 海河流域概况	35
2.1.1 自然地理	35
2.1.2 河流水系	36
2.1.3 经济社会	38
2.1.4 水资源及其开发利用	40
2.1.5 水功能区划	42
2.1.6 重要饮用水源地	43
2.1.7 水环境质量状况	43

2.2 典型研究区域	47
2.2.1 于桥水库及其周边	48
2.2.2 金良河	51
2.2.3 海河干流	53
参考文献	53
3 外源氮磷营养盐控制技术研究	54
3.1 概述	54
3.2 氮磷营养盐污染源识别	55
3.2.1 点污染源	55
3.2.2 面源污染	57
3.2.3 内源分析	64
3.2.4 各类污染源污染贡献分析	65
3.2.5 于桥水库各入库支流污染负荷分析	65
3.3 外源氮磷营养盐控制技术	66
3.3.1 点源控制技术	66
3.3.2 面源控制技术	67
3.4 外源氮磷营养盐控制水生态管理系统的构建	69
3.5 小结	70
参考文献	71
4 水源地生态系统修复技术研究	72
4.1 概况	72
4.2 生态塘水体净化技术	73
4.2.1 相关研究简述	73
4.2.2 生态塘水体净化模拟实验研究	78
4.2.3 河道型生态塘水质改善研究	95
4.3 湖滨带人工湿地水体净化技术	109
4.3.1 研究方法	109
4.3.2 结果分析	109
4.4 小结	115
4.4.1 主要结论	115
4.4.2 主要建议	116
参考文献	117
5 生物监测预警技术研究	120
5.1 生物监测技术概述	120

5.1.1	生物监测技术研究现状	120
5.1.2	生物监测与指示生物	121
5.1.3	DNA 条形码技术与生物监测预警	124
5.2	指示性生物筛选及指示作用	125
5.2.1	生物调查情况	125
5.2.2	定性定量分析	127
5.2.3	指示生物筛选	131
5.3	DNA 条形码生物监测技术	133
5.3.1	微囊藻属的快速鉴定及毒性基因鉴定	133
5.3.2	浮游动物 DNA 条形码研究	134
5.4	生物监测预警系统构建	140
5.4.1	预测模型建立	140
5.4.2	预警方案的建立	141
5.5	研究区域摇蚊科三新记录种记述	142
5.5.1	齿突水摇蚊 (<i>Hydrobaenus dentistylus</i> Moubayed, 1985)	143
5.5.2	木兽水摇蚊 (<i>Hydrobaenus kisoecundus</i> Sasa et Kondo, 1991)	143
5.5.3	近藤水摇蚊 (<i>Hydrobaenus kondoi</i> Saether, 1989)	144
5.6	小结	145
	参考文献	145
6	蓝藻暴发预测预警与水华监测技术研究	147
6.1	概述	147
6.2	水体富营养化预警模型研究进展	148
6.2.1	水体富营养化预警模型研究现状	148
6.2.2	水体富营养化预警模型发展趋势	151
6.3	基于气候变化的于桥水库蓝藻暴发预测预报模型	152
6.3.1	基于气候变化的生态动力学模型概述	152
6.3.2	GLM-FABM-AED 模型运行	158
6.3.3	GLM-FABM-AED 在于桥水库的应用	160
6.3.4	GLM-FABM-AED 模型预测结果	163
6.3.5	GLM-FABM-AED 模型小结	172
6.4	基于人工神经网络的于桥水库蓝藻暴发预测预报模型	173
6.4.1	人工神经网络模型概述	173
6.4.2	人工神经网络模型运行条件	177

6.4.3	人工神经网络模型在子桥水库中的应用	179
6.4.4	人工神经网络模型预测结果	183
6.4.5	基于人工神经网络的子桥水库蓝藻暴发预测小结	194
6.5	基于全色多光谱蓝藻水华监测技术研究	194
6.5.1	基于多源遥感的蓝藻水华识别技术研究	195
6.5.2	全色多光谱技术在污染源探测中的应用	209
6.5.3	基于全色多光谱蓝藻水华监测小结	210
6.6	小结	211
	参考文献	212

7 蓝藻暴发处置技术研究

7.1	蓝藻处理方式简介	216
7.1.1	物理法	216
7.1.2	化学法	218
7.1.3	生物法	219
7.1.4	综合处理法	223
7.2	曝气除藻技术	223
7.2.1	喷泉曝气除藻技术	223
7.2.2	推流曝气除藻技术	226
7.2.3	气幕式曝气除藻技术	228
7.3	生物控藻技术	230
7.3.1	水生植物控藻技术	230
7.3.2	鱼类控藻技术	240
7.4	其他除藻技术	244
7.4.1	超声波除藻	244
7.4.2	生物菌除藻	246
7.5	小结	261
7.5.1	结论	261
7.5.2	建议	262
	参考文献	262

8 饮用水源保护评价体系和管理对策

8.1	概述	265
8.2	基于水功能区划的水源地新型健康评估指标体系	266
8.2.1	基于水功能区划的水源地健康评估理论	266
8.2.2	海河流域水源地健康评估指标	268

8.2.3	基于水功能区划的水源地健康评估指标体系的构建	273
8.2.4	水源地健康评估赋分标准	275
8.3	水源地管理对策	275
8.3.1	常规管理对策	275
8.3.2	专项控制措施	276
8.4	小结	279
	参考文献	279
9	结论	280
9.1	外源氮磷营养盐控制技术	280
9.2	水源地生态修复技术	281
9.3	生物监测预警技术	282
9.4	蓝藻暴发处置技术	283
9.4.1	生物控藻技术	283
9.4.2	曝气除藻技术	284
9.4.3	其他控藻除藻技术	284
9.5	饮用水源保护评价体系和管理对策	285
附录 1	中华人民共和国水利部与法兰西共和国生态、能源、可持 续发展和海洋部关于水资源领域的合作协议	286
附录 2	中华人民共和国和法兰西共和国关于水资源领域的合作海河 流域项目第一阶段合作协议	295
附录 3	中华人民共和国和法兰西共和国关于水资源领域合作海河 流域项目第二阶段合作协议	300

1.1 项目背景

饮水安全是全世界面临的四大水资源问题之一，也是当前我国需要着力解决的重要问题之一。据有关资料，全球有 11 亿人口得不到安全的饮用水，我国有多达数亿人口的饮水安全不能满足要求。饮用水源保护关系到人民群众的饮水安全、社会的繁荣稳定和国家的长治久安。2011 年中央一号文件和 2012 年国务院三号文件都强调实行最严格水资源管理制度，加强水源地保护。保障饮水安全，是海河流域水资源保护和水污染防治的首要目标。

海河流域在国家经济社会发展过程中具有重要战略地位，其中京津冀都市圈是我国的政治文化中心和经济发达地区。随着经济社会的发展，海河流域大型饮用水源普遍存在上游及周边排污口众多、污水排放量大、农业及农村面源污染重、内源污染累积等诸多问题，饮水安全保障工作形势十分严峻。目前，海河流域的 20 个大型饮用水源中，已有 45% 不满足地表水Ⅲ类水质标准，60% 处于富营养状态，严重影响和威胁着人民群众的身体健康和生活质量的提升。

随着社会生活质量的提高，人们从“有水喝”“能喝水”向“喝好水”“健康饮水”转变，饮用水源保护关系到人民群众的饮水安全、社会的繁荣稳定和国家的长治久安。基于中法双方签订的关于水资源领域的合作协议，中法合作研究外源污染氮磷营养盐控制技术、水源地生态系统修复构建技术、生物监测预警技术、蓝藻暴发应急处置技术，以此整合形成治理-修复-预警-处置四位一体的饮用水源保护成套关键技术，为海河流域饮用水源保护及生态系统修复提供技术支撑。

开展饮用水源保护生态修复成套关键技术研究，既符合《国家中长期科学和技术发展规划纲要》“环境”领域发展思路中提出的“开发饮用水安全保障技术”的要求，又属于环境重点领域的第 14 优先主题“生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建”，也是国家国际科技合作计划重点支持的能源环保全球性热点问题和生态环境保护合作重点领域，对于保障饮水安全、解决制约经济社会发展的重大瓶颈问题具有重要意义。

饮用水源保护生态修复成套关键技术研究项目是落实中法海河流域水资源

综合管理项目合作的重要行动,也是贯彻中央、国务院水源地保护政策方针的重要举措。该项目的实施不仅有利于提高海河流域供水安全保障能力,实现国家生态环境保护战略目标,而且有利于扩大我国科技对外影响力,提升水利科技实施“走出去”战略的竞争力。

1.1.1 饮用水源保护存在的问题

目前我国饮用水源地仍存在诸多问题,海河流域尤为突出,主要表现在:水资源短缺仍是主要制约因素;水环境问题愈发严峻,污染日趋严重、富营养化问题日益突出、突发性水污染事件频发;水生态功能退化日趋严重;饮用水源安全保障力度亟待加强。

1.1.1.1 水资源约束趋紧,人均水资源量偏少

水资源是地球生物赖以生存的资源,又是一种有限的不可替代的自然资源,其储量虽然丰富,但是并非人们以为的取之不尽、用之不竭。地球上总储水量约为 13.86 亿 km^3 ,而和人类生活息息相关的淡水资源仅占 2.53%。

中国水资源总量虽然位居世界第 6 位,但人均水资源量仅为世界平均值的 1/4,美国的 1/5,加拿大的 1/50。全国 400 多个城市“严重缺水”和“缺水”,水资源利用程度偏高,被联合国列为 13 个贫水国之一。且我国水资源时空分布差异大,东部与南部地区较多而北部与西部较少,夏秋多而冬春少的结构性缺水问题日益严峻。水利部发布的《2014 年中国水资源公报》表明:2014 年全国水资源总量为 27 266.9 亿 m^3 ,比常年值偏少 1.6%。

海河流域是水资源短缺且水污染严重的典型区域,多年平均水资源总量 370 亿 m^3 ,仅占全国的 1.3%,海河流域人均水资源量仅 270 m^3 ,是全国各流域中人均水资源量最少的流域,为全国平均水平的 12.8%。根据海河水利委员会发布的《2014 年海河流域水资源公报》,2014 年海河流域水资源总量仅为 216.23 亿 m^3 ,比多年平均值偏少 41.6%。

1.1.1.2 水环境问题愈发严峻

除水资源量之外,自 20 世纪 80 年代以来,改革开放使得中国的经济快速发展,然而快速发展却引起了严重的环境污染问题,水环境问题愈发严峻。

(1) 水污染日趋严重,污染物由单一型向复杂型转变。河流、湖泊是海河流域重要的饮用水源地,同时也是城市的主要排水通道。海河流域工矿企业粗放式发展,水消耗量大,单位产值污水排放量大,而废水处理率一直很低。随着社会发展,饮用水源地受到上游面源及河流的污染、周边企业排污、库周村庄生活污水、库内网箱养鱼等的干扰,水质堪忧。

在 20 世纪 50—60 年代,海河流域污水排放量较少,河流水质总体上尚好。70 年代末,海河流域已有 28% 的河流受到不同程度的污染,水污染开始

显现。80年代以后,随着工农业的迅速发展,工矿企业废水和城镇生活污水大量增加,海河流域水污染已由局部发展到全流域、由下游蔓延到上游、由城市扩散到农村、由地表延伸到地下。目前,海河流域除山区部分河道水质清洁外,其余各河均受到不同程度的污染,受污染河流占评价河流长度的60%以上,呈现出有河皆污的恶劣局面,水环境污染状况日趋严重(任宪韶,2007)。如官厅水库曾经是北京主要供水水源地之一,20世纪80年代后期,库区水受到严重污染,90年代水质继续恶化,1997年官厅水库被迫退出城市生活饮用水体系。

近年来,由于越来越多的有机和无机污染物进入水体以及这些污染物在水环境中的长期积累和暴露,水体污染的复合性特征也表现得越来越突出,污染物由单一型向复杂型转变:多种污染共存并联合作用,多种污染过程同时发生,多种污染效应表现出协同或拮抗作用,污染物在环境中的行为涉及多介质、多界面,同时发生的物理、化学和生物过程致使我国水体污染问题更加复杂。近年来在我国的许多地表、地下水中检测出了上百甚至几百种有机物、重金属以及氮磷等污染物质,甚至美国环保局提出的“优先控制污染物”和“三致”(致癌、致畸、致突变)等污染物,水质污染呈明显的复合特征。重要水源地中经常出现的污染物中不再仅仅是总氮、化学需氧量等,逐渐出现POP、VOC等,严重威胁水源地的水环境质量安全。

(2) 富营养化加剧,蓝藻时有暴发。在人类活动的影响下,生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖库水源地缓流水体,导致水体富营养化。在外界温度条件合适的情况下,富营养化水体会引起蓝藻迅速繁殖。密集暴发的蓝藻会导致水中溶解氧迅速下降、水质恶化,从而引起水生动物的大面积死亡,破坏生态平衡。同时,蓝藻死亡时或者其细胞破裂时还会释放出多种藻毒素,也会伤害水生动物以及饮用受其污染水体的牲畜,导致人体出现多种疾病。水体富营养化是一种非常严重且难以处理的水污染问题。

近年来,海河流域水源地的富营养化问题逐渐凸显并且一直向不利方向发展,富营养化水库比例占59.6%。以潘大水库为例,水体的营养化程度显著升高,1995—2010年总氮浓度增长了6.5倍(Ⅲ类降为劣Ⅴ类),总磷浓度增长了4倍(Ⅰ类降为Ⅳ类)。洋河水库、于桥水库等地蓝藻暴发现象频发,在周边城市引发了严重的水危机,在全国范围内引起了关注。

(3) 突发水污染事件频发。一直以来,国内外很多地区都面临着不同程度的水质污染问题,河流、湖泊、水库等水体不断受到各种污染事故的威胁。我国正处于社会经济高速发展期,突发水污染事件发生频次、影响范围和危害程度呈上升趋势,如2005年的松花江污染事故,2006年湖南岳阳砷污染事故,2007年太湖水污染事故、江苏沭阳水污染事故,2008年云南阳宗海砷污染事