

Technologies and Techniques for Early Warning
Systems to Monitor and Evaluate drinking
Water Quality : A State-of-the-ART Review

美国饮用水 预警监测评估的 技术与方法

美国国家环境保护局 / 编

刘 伟 等 / 译

中国环境出版集团

美国饮用水预警监测评估的 技术与方法

美国国家环境保护局 编

刘伟 等译

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

美国饮用水预警监测评估的技术与方法 / 美国国家环境保护局编; 刘伟等译.

—北京: 中国环境出版集团, 2018. 8

ISBN 978-7-5111-3789-0

I. ①美… II. ①美… ②刘… III. ①饮用水—水质管理—研究—美国

IV. ① TU991.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 191242 号

出版人 武德凯

责任编辑 田 怡

责任校对 任 丽

封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版集团

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

发行热线: 010-67125803 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2018 年 8 月第 1 版

印 次 2018 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 × 960 1/16

印 张 16.75

字 数 250 千字

定 价 80.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

译者序

美国饮用水环境预警起步较早。2004年2月美国总统令要求美国国家环境保护局（EPA）“发展稳健、全面、协调的监测方法和监测系统，提供早期对疾病、有害生物或有毒有害制剂的检测和识别”；其研究重点放在这个相对较新且快速发展领域中最有前途的产品和技术。美国饮用水预警方面特别注意联合政府相关部门、军队、研究机构、基金会、公众等多方机构在资金、技术、政策上形成合力，推动预警技术的发展。

我国为切实加大水污染防治力度，保障水安全，2015年4月国务院印发了《水污染防治行动计划》。计划中有三处提到预警。一是在宏观政策上，要建立水资源、水环境承载能力监测评价体系，实行承载能力监测预警。二是在科技支撑上，要加强水环境监控预警、水处理工艺技术装备等领域的国际交流合作。三是在管理上，地方各级人民政府要制定完善的水污染事故处置应急预案，落实责任主体，明确预警预报与响应程序、应急处置及保障措施等内容，依法及时公布预警信息。这三个预警层次相互联系依托，为我国的预警体系构建了大的框架。

美国的恐怖袭击事件加剧了人们对蓄意威胁水安全行为的关注。这些行为可能是物理破坏，计算机干扰，或化学、微生物和放射性污染。这种蓄意污染事件将对国家水安全、公众健康和信心产生深远的影响。为应对这些事件，需要设计功能完善的预警系统，这种系统应包括能检

测污染物的传感器、数据传输处理和分析、决策、紧急情况下的通信等。

翻译出版《美国饮用水预警监测评估的技术方法》一书，系统介绍美国饮用水基础设施的综合预警系统（特别是饮用水供应和配水系统）方面最先进的技术和方法。本书不仅总结和评价现有和新兴的识别一般化学类别、微生物和放射性污染物的预警系统技术，还探索预警系统未来发展方向、技术问题，以及研究差距。可供我国饮用水环境预警借鉴参考。

本书在翻译的过程中，得到许多专家和同行的大力帮助。感谢重庆市环保局领导的大力支持。谨以此书献给参与水环境保护的各位同仁，希望对大家的工作有所帮助。

由于翻译人员水平有限，时间仓促，对原文误解、疏漏甚至错误之处在所难免，请广大读者不吝赐教。

免责声明

本文件已按照美国国家环境保护局的政策进行了审查并批准出版和发行。本书所描述的研究是在美国国家环境保护局和ICF咨询公司签订的第68-C-02-009号合同项下进行的。在本文件或参考资料中提及商业产品、商品名称或服务并不表明通过了美国国家环境保护局官方的正式批准、认可或推荐。

与本研究报告或其适用有关的问题可联系：

Jafarul Hasan博士

美国国家环境保护局总部

科学技术办公室，水办公室

宾夕法尼亚大道1200号，西北

邮 编：4304 T 华盛顿特区20460

电 话：202-566-1322

电子邮件：hasan.jafarul@epa.gov

致 谢

本研究报告由美国国家国土安全研究中心研究和发展办公室资助，并由其科学技术办公室和水办公室管理。

美国国家环境保护局感谢下列人士和组织对本报告《饮用水预警监测评估的技术与方法》所做的贡献。

美国国家环境保护局项目经理：Jafarul Hasan

ICF工作项目经理：David Goldbloom-Helzner

联合工作任务经理：Audrey Ichida

ICF工作人员：Tina Rouse 和 Mark Gibson

咨询的主题专家：Stanley States、Walter Grayman和 Rolf Deininger

内部 (EPA) 审查人员

- Jonathan Herrmann 国家国土安全研究中心/研究和发
展办公室
- Irwin Silverstein 国家国土安全研究中心/水安全司和
研究办公室发展/水办公室
- John Hall 国家国土安全研究中心/研究与发
展办公室
- Roy Haught 国家风险管理研究实验室/研究和发
展办公室
- Robert Janke 国家国土安全研究中心/研究和发
展办公室
- Alan Lindquist 国家国土安全研究中心/研究和发
展办公室
- Matthew Magnuson 国家国土安全研究中心/研究和发
展办公室
- Regan Murray 国家国土安全研究中心/研究和发
展办公室
- Grace Robiou 国家国土安全研究中心水安全司办
公室/水办公室
- Cesar Cordero 国家国土安全研究中心科学技
术办公室/水办公室
- Jafrul Hasan 国家国土安全研究中心科学技
术办公室/水办公室

外部 (非EPA) 审查人员

- Ronald J. Baker 美国地质调查局
- Frank Blaha 美国水厂协会研究基金会
- Erica Brown 大都会水务机构协会
- Bill Clark 大都会水务机构协会
- Ricardo DeLeon 南加州大都会供水区
- Wayne Einfeld Sandia 国家实验室
- Lee Glascoe Lawrence Livermore 国家实验室
- Kevin Morley 美国水厂协会
- My-Linch Nguyen 美国水厂协会研究基金会
- Irwin Pikus 弗吉尼亚大学
- Connie Schreppel Mohawk 河谷水务局
- Alan Roberson 美国水厂协会

表格清单

- | | | | |
|------|-------------------|------|--------------------|
| 表3-1 | 饮用水污染物分类及其例子 | 表9-4 | 化学传感器和理想的EWS特征对比 |
| 表3-2 | 使用两级监测的预警系统方法 | 表9-5 | 化学传感技术和方法 |
| 表4-1 | 饮用水配水系统模型软件 | 表9-6 | 微生物传感器和理想的EWS特点的对比 |
| 表9-1 | 水质参数监测仪评估 | 表9-7 | 微生物传感器技术与方法 |
| 表9-2 | 水质监测仪器和理想的EWS特征对比 | 表9-8 | 辐射传感器和理想的EWS特点比较 |
| 表9-3 | 作为EWS的水质监测仪器 | 表9-9 | 辐射传感器技术 |

首字母缩写词和缩略语

- AFD 自动喂养设备
- AK 肌激酶（骨骼肌内的耐热性蛋白质成分）
- AMS 高级监控系统中心
- AOAC 国际分析家化学学会
- APDS 自主病原检测系统
- ASCE 美国土木工程协会
- ASTM 美国材料测试协会
- ASV 阳极溶出伏安法
- ATP 三磷酸腺苷
- ATR 衰减全反射
- AWWA 美国水厂协会
- AWWARF 美国供水工作协会研究基金会
- BADD 生物毒剂检测设备
- BARC 珠阵列计数器
- BCIP 5-溴-4-氯-3-磷酸吡啶二钠水合物
- BEADS 生物检测分析分发系统
- BOSS 生物光电传感器系统
- BTA 生物威胁警报
- CAD 计算机辅助设计
- CBR 化学、生物和放射性
- CBRTA 化学、生物和放射技术联用
- CBS 案例系统
- CBW 化学生物毒剂
- CCD 电荷耦合装置
- CDC 美国疾病控制和预防中心
- CFD 计算流体动态模型
- cfu 群落形成单位Ci Curies
- CIS 客户信息系统
- COD 化学需氧量
- cpm 每分钟计数
- CRADA 合作研究与发展协议
- CWS 污染预警系统
- DARPA 国防部高级研究计划局
- DHS 美国国土安全部
- DNA 脱氧核糖核酸
- DO 溶解氧
- DOD 美国国防部
- DOE 美国能源部
- DSRC 饮用水配水系统研究联合会
- DSS 饮用水配水系统模拟器
- ECBC Edgewood 化学生物中心
- ECD 电导检测器
- ECL 电化学发光

EDS 事件检测软件

ELFA 酶联荧光免疫分析

ELISA 酶联免疫吸附测定

ELOD 估计检测限

EMPACT 公众获取和社区跟踪的环境监测

EOC 紧急指挥中心

EPA 美国国家环境保护局

EPS 长期生态模型

ETV 环境技术确认

EWS 预警系统

FBI 美国联邦调查局

FDA 美国食品药品监督管理局

FID 火焰离子化检测器

FPW 弯曲板波

FT-IR 傅里叶变换红外光谱仪

GC 气相色谱分析

GC-MS 气相色谱质谱

GE 基因组当量

GIS 地理信息系统

GMR 巨磁阻

HA 羟磷磷灰石

HANAA 手持式核酸分析仪

HRP 辣根过氧化物酶

HSPD 国土安全总统指令

I-CORE 集成冷却/加热光学反应

ICS 事故指挥体系

ICWATER 涉水事故指挥建模工具

IDSE 初始饮用水配水系统评估

ILSI 国际生命科学会

IMS 离子迁移光谱

INL 爱达荷州国家实验室

ISAC 信息共享与分析中心

ISE 离子选择电极

JBAIDS 联合生物试剂识别诊断系统

LAN 局域网

LEMS 液体流出物监测系统

LIMS 实验室信息管理系统

LLNL Lawrence Livermore 国家实验室

LRAD 远程 α 探测

LRN 实验室反应网络

MAGIChipTM 凝胶固定化化合物的微阵列

MALS 多角度光散射

MALLS 多角度激光光散射

MCL 最大污染水平

MEMS 微电子机械电系统

MIP 分子打印聚合物

MIT 麻省理工学院

MOEMS 微光电子机械系统

MS 质谱分析

MW 分子量

NaI 碘化钠

NALOD 核酸检测限

NASA 美国国家航天&太空总署

NDWAC 国家饮用水咨询委员会

NHSRC 国家国土安全研究中心

NNI 国家纳米技术计划

NRMRL 国家风险研究实验室

NSF 国际卫生基金会

NTA 国家技术联盟

OGWDW 地表水和饮用水办公室

OHS 国土安全部办公室/美国环境保护局

OLM 液体在线监测系统

ORD 研究与发展办公室

ORNL Oak Ridge 国家实验室

ORP 氧化还原电位

PCR 聚合酶链式反应

PDD 总统令

PEC 光合酶复合物

pfu 空斑形成单位

pfu-e 空斑形成等效单位

PID 光离子化检测器

PNNL 西北太平洋国家实验室

ppb 十亿分比浓度 (10^{-9})

ppm 百万分比浓度 (10^{-6})

ppt 万亿分之比浓度 (10^{-12})

psi 每平方英寸的磅数 (压力单位)

QA/QC 质量保证与质量控制

QLFA 定量侧流法

R&D 研究与开发

RADACS 放射评估显示和控制软件

RAPID 强化高级病原体识别装置

RBS 基于规则的系统

RLU 相对光单位

RNA 核糖核酸

ROC 接收器工作特性

SAIC 科学应用国际公司

SAW 表面声波

SBIR 小企业创新研究

SCADA 监督控制和数据获取模块

SCDWA 安全饮用水法案

SERS 表面增强拉曼散射

SIA 连续注射分析

SMART™ 敏感膜抗原快速测试

SMP 亚线粒体微粒

SNL Sandia 国家实验室
SOPs 标准化操作规程
SPCE 表面等离子体耦合发射
SPME 固相微萃取
SPR 表面离子体共振
SSL 安全套接层
TAM 热阿尔法监视器
TCD 热传导式探测器
TCR 总大肠菌群规则
T&E 测试与评估
TEVA 《威胁的总体脆弱性评估》
TIGER 三角分量基因风险评估
T&O 嗅味
TOC 总有机碳
TRA 技术准备状态评估
TTEP 技术测试与评估程序
UC 超滤浓缩
UHF 超高频
UPT 恢复荧光技术
URL 统一资源定位器（也称为网站地址）
USACEHR 美军环境卫生研究中心
USAMRIID 美军传染病医学研究所
USGS 美国地质调查局
UV 紫外光
VARA 脆弱性和风险评估
VHF 甚高频率
VOCs 挥发性有机物
WaterISAC 水信息共享与分析中心
WATERS 水评价技术的安全评价与研究
WCIT 水污染信息工具
WDM 饮用水配水系统监测
WERF 水环境研究基金会
WISE-SC 水务基础设施安全提升标准委员会
WLA 水实验室联盟
WQS 水的质量体系
WS-CWS 水污染哨兵预警系统
WSD 水安全部门
WSTB 水科学和技术委员会
WSWG 水安全工作组
WUERM 水务应急经理

目 录

| | |
|--------------------------------|----|
| 1 报告重点 | 1 |
| 1.1 综合EWS应有的特点 | 2 |
| 1.2 结论与建议 | 3 |
| 2 介绍 | 9 |
| 2.1 关注于供水 | 9 |
| 2.2 EPA在水安全和预警系统中的角色 | 9 |
| 2.3 本先进技术综述研究的目的 | 14 |
| 2.4 本先进技术综述研究的途径 | 18 |
| 2.5 信息来源 | 19 |
| 2.6 选择产品和技术的标准 | 20 |
| 3 综合预警系统应具有的特性和特点 | 21 |
| 3.1 综合预警系统应具有的特点 | 21 |
| 3.2 综合预警系统设计特点 | 30 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4 | 预警系统相关的数据获取与分析, 污染物流量, 传感器位置, 报警, 数据安全, 通信、响应和决策的特点 | 39 |
| 4.1 | 实时数据的获取和分析 | 39 |
| 4.2 | 污染物流量预测系统 | 45 |
| 4.3 | 传感器位置 | 49 |
| 4.4 | 报警管理系统 | 52 |
| 4.5 | 配水模型和数据获取系统的整合 | 52 |
| 4.6 | 数据安全 | 54 |
| 4.7 | 通信、响应和决策 | 54 |
| 5 | 预警系统候选技术——多参数水质监测技术 | 57 |
| 5.1 | 几种多参数水质监测仪的描述 | 57 |
| 5.2 | 确定多参数水质监测仪性能和建立水质基线的工作 | 62 |
| 5.3 | 使用多参数水质监测仪识别特征污染物并预警 | 63 |
| 6 | 化学污染物的预警检测科技 | 66 |
| 6.1 | 检测、传感技术总体介绍 | 66 |
| 6.2 | 可用技术 | 66 |
| 6.3 | 潜在的可调整的技术 | 77 |
| 6.4 | 新兴技术 | 86 |
| 7 | 预警系统中微生物污染物检测技术 | 92 |
| 7.1 | 化验和传感器的总体介绍 | 92 |
| 7.2 | 可用技术 | 93 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 7.3 潜在的可调整的技术 | 102 |
| 7.4 新兴技术 | 114 |
| 7.5 浓度方法 | 122 |
| 8 预警系统中的放射性污染物检测技术 | 125 |
| 8.1 检测方法的总体介绍 | 126 |
| 8.2 可用技术 | 127 |
| 8.3 潜在的可调整技术 | 129 |
| 8.4 新兴技术 | 129 |
| 9 预警系统的技术评价 | 131 |
| 9.1 技术评价方法 | 131 |
| 9.2 预警系统多种操作特点的评价 | 133 |
| 9.3 多参数水质监测仪的评价 | 136 |
| 9.4 化学传感器的评价 | 145 |
| 9.5 微生物传感器评价 | 157 |
| 9.6 放射性传感器评价 | 167 |
| 10 结论和建议 | 172 |
| 10.1 主要结论和建议 | 172 |
| 10.2 具体结论和建议 | 175 |
| 参考资料 | 185 |

附录A 水卫士概述 195

附录B 参与预警系统的机构 203

附录C 所选择产品和技术的清单及其标准 212

附录D 美国水工程协会基金会资助的预警系统和其他可用研究
项目简介 221

尾注（包括参考的网站） 228