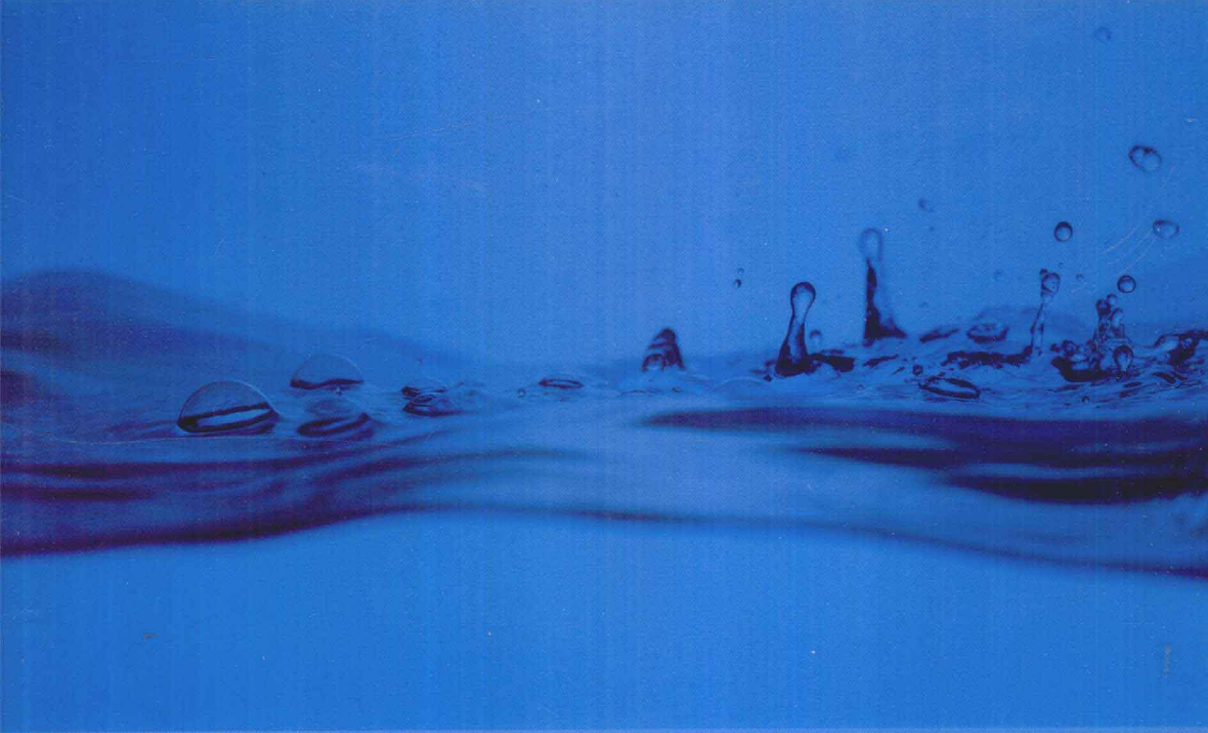




水环境 质量基准方法与应用

刘征涛 主编 孟 伟 审校



科学出版社

水环境质量基准方法与应用

刘征涛 主编

孟 伟 审校

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从环境污染物的暴露与水环境质量的生态安全与相关人体健康保护的角度,系统介绍水环境质量基准的框架体系与基础性方法技术。重点阐述近年来我国流域水环境基准方法体系框架的构建及典型流域特征污染物基准阈值的应用研究。主要包括水环境质量基准方法概述、国内外水环境基准研究进展、水环境特征污染物筛选、水生生物基准、水生态完整性质量基准、沉积物质量基准、营养物基准、水生态风险评估方法、混合物联合毒性方法等我国流域水环境质量基准的方法学体系框架,及其在代表性区域如太湖流域、辽河流域的应用性研究进展。

本书可为水环境保护的基准和标准研究与制定领域的教学、科研及相关管理决策者提供基础资料和工作参考。

图书在版编目(CIP)数据

水环境质量基准方法与应用 / 刘征涛主编. —北京: 科学出版社, 2012
ISBN 978-7-03-032830-4

I. 水… II. 刘… III. 水环境质量评价 IV. X824

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 242396 号

责任编辑: 张 震 / 责任校对: 张怡君
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 无极书装

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>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 24 1/2

字数: 450 000

定价: 99.00

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

主 要 作 者

刘征涛 闫振广 孙 成 朱 琳

祝凌燕 姚庆帧 高士祥 周俊丽

张亚辉 余若桢 杨绍贵

前 言

本书主要介绍国家重大水专项监控预警主题中“流域水环境质量基准与标准体系研究”课题的部分阶段性研究成果。重点阐述近年来我国流域地表水环境质量基准方法体系框架的构建及典型流域特征污染物质量基准阈值应用研究；并从典型流域水环境特征污染物的暴露筛选、水环境质量的生态安全基准与相关人体健康保护、生态风险评估及污染物的联合毒性阈值等环境热点研究问题进行讨论，较系统地论述环境基准方法体系及基准阈值应用研究所涉及的环境与生态毒理学、污染生态学、环境化学及环境健康与风险评估等多学科综合交叉的理论技术方法。

全书内容共14章，由本研究课题负责人刘征涛统一拟稿和最后定稿。其中，第1章绪论部分由刘征涛撰稿，主要综述性介绍水环境基准研究概况及我国构建水环境基准体系的重要性，并讨论当前该领域存在的一些挑战与机遇；第2、3、4章主要由闫振广、刘征涛等撰稿，介绍水环境质量基准的基本方法、国内外水环境基准研究进展，并讨论了我国水环境基准与标准方法体系现状；第5章主要由周俊丽、刘征涛等撰稿，介绍水环境特征污染物筛选规范和方法，并就我国太湖流域和辽河流域的特征污染物进行应用性筛选探讨；第6章、第12章主要由孙成、高士祥、杨绍贵、陈良燕、李梅、刘红玲等撰稿，介绍和探讨我国流域水环境中水生生物质量基准方法，并以硝基苯的水生生物基准制定为例，讨论相关基准方法的实验应用成果；第7章、第9章主要由朱琳、姚庆帧等撰稿，介绍和探讨我国流域生态学完整性质量基准方法和相关营养物基准方法的构建，并讨论我国流域生态完整性基准主要指标以及相关流域营养物基准的应用；第8章主要由祝凌燕、卞京娜等撰稿，介绍和探讨我国流域水环境沉积物质量基准的采用方法与实际应用成果；第10章主要由余若桢、刘征涛等撰稿，介绍和讨论我国流域水环境的生态与健康风险评估方法与相关应用结果；第11章主要由张亚辉、刘征涛等撰稿，介绍和探讨水环境基准制定中，多种污染物联合作用毒性的应用方法；第13章、第14章主要由闫振广、刘征涛等撰稿，着重探讨重金属镉、氨氮在我国典型流域及其水生态区域环境中，水生生物安全基准阈值的采用方法与实际应用，同时还介绍对我国水环境质量基准框架体系与相关标准转化构建的思

考与进展。本书编写过程中，得到孟伟院士多方面的综合指导与审核，他在水环境基准理论的具体应用方面提出了许多宝贵的校正意见。此外，曹莹、杜丽娜、梁丽君等参与了本书的目录编排等整理工作。

书中每一项成果都凝聚了众多人员的劳动，感谢在课题研究和文稿编辑过程中付出劳动而在本书中未提及的工作者；同时，出版社的多位同志为本书的顺利出版做出努力，一并敬致衷心感谢。由于研究内容涉及学科众多，另受时间、水平等因素所限，书中难免有不妥之处，恳请指正。

刘征涛

2011年6月于中国环境科学研究院

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.2 需求与意义	3
1.2.1 水环境基准是实施水环境管理的基本需求	3
1.2.2 水环境标准需要持续改进和升级	4
1.2.3 新型污染物需要水质基准理论方法创新发展	5
1.2.4 复合污染亟须联合作用效应的环境基准研究	7
1.2.5 水环境基准是生物多样性和水生态安全的必要需求	8
1.2.6 水环境基准研究是提升国家环境科技水平的重要需求	9
1.3 主要问题与发展趋势	10
参考文献	13
第2章 水环境质量基准方法概述	16
2.1 基本理念	16
2.2 保护水生态系统的基准方法	18
2.2.1 水生生物基准	18
2.2.2 生态学基准	21
2.2.3 营养物基准	21
2.2.4 沉积物基准	23
2.3 保护人体健康的基准方法	24
2.3.1 人体健康基准	24
2.3.2 微生物基准	26
2.3.3 休闲娱乐用水基准	26
2.4 存在问题与进展	26
2.4.1 水生生物基准研究	27

2.4.2 生态学基准研究	28
2.4.3 营养物基准研究	29
2.4.4 沉积物基准研究	29
2.4.5 人体健康基准研究	31
参考文献	32
第3章 国外水环境质量基准研究	35
3.1 各国水质基准研究概述	35
3.2 欧盟及日本水质基准研究	39
3.3 美国水质基准研究	41
3.3.1 水生生物基准	41
3.3.2 人体健康水质基准	45
3.3.3 营养物基准	45
3.3.4 沉积物质量基准	45
3.3.5 细菌学基准	46
3.3.6 生物学基准	46
3.3.7 野生生物基准	47
3.3.8 物理基准	47
3.4 美国各州与区域特异性水质基准	47
参考文献	51
第4章 我国水环境质量基准与标准研究	54
4.1 我国水质标准发展	54
4.1.1 地表水环境质量的形成和发展	54
4.1.2 海水水质标准	57
4.1.3 地下水质量标准	58
4.1.4 农田灌溉水质标准	58
4.1.5 渔业水质标准	59
4.1.6 水质标准之间的关系	60
4.2 我国水质基准研究状况	61
4.2.1 我国水质基准研究进展	61
4.2.2 我国水质基准研究成果	63
4.3 我国水质基准与标准方法体系现状与问题	68

4.3.1 基准方法体系现状与问题	68
4.3.2 标准方法体系现状与问题	70
参考文献	72
第5章 流域水环境特征污染物筛选与应用	74
5.1 水环境特征污染物筛选方法	74
5.1.1 模糊综合评判法	75
5.1.2 综合评分法	76
5.1.3 Hasse 图解法	76
5.1.4 密切值法	77
5.1.5 潜在危害指数法	78
5.1.6 模糊聚类法	78
5.2 流域水环境特征污染物筛选技术规范	79
5.2.1 技术规范目的	79
5.2.2 规范性引用文件	79
5.2.3 术语和定义	80
5.2.4 流域特征污染物筛选技术	81
5.2.5 流域水环境特征污染物监测技术	83
5.3 示范应用（太湖、辽河）	84
5.3.1 估算空气环境目标值（ $AMEG_{AH}$ ）	84
5.3.2 估算“三致”物质的 $AMEG_{AC}$	85
5.3.3 潜在危害指数的计算	85
5.3.4 评分标准	85
5.3.5 总分值（ R ）的计算	87
5.3.6 筛选结果	87
参考文献	91
第6章 水生生物基准方法与应用	94
6.1 水生生物基准方法	94
6.1.1 总体原则	94
6.1.2 水生生物基准值的推导方法	94
6.1.3 数据采用规范	98
6.1.4 通用模式生物	109

6.2 水生生物质量基准方法在典型流域中的应用	116
6.2.1 流域特征水生物物种	116
6.2.2 水生生物基准阈值	120
参考文献	145
第7章 水生态完整性质量基准方法与应用	148
7.1 水生态完整性基准方法	148
7.1.1 流域水环境生态学基准表征方法	148
7.1.2 流域水环境生态学基准建议值的计算方法	149
7.1.3 基于浮游生物的水生态学基准建议值的提出	151
7.2 水生态安全基准技术规范	152
7.2.1 流域水环境生态学基准技术框架	152
7.2.2 流域水环境参考状态选择方法与技术	153
7.2.3 流域水环境生态学基准变量指标调查方法	164
7.2.4 流域水环境生态学基准制定的质量保证体系	166
7.3 基于浮游生物生态完整性基准主要指标与应用	168
7.3.1 流域水环境生态学基准变量指标的筛选原则	168
7.3.2 流域水环境生态学基准变量指标	169
7.3.3 流域水环境生态学基准指标评分标准	171
7.3.4 基于浮游生物生态完整性基准计算方法的应用	172
参考文献	199
第8章 沉积物质量基准方法与应用	202
8.1 沉积物质量基准方法	202
8.1.1 筛选水平浓度法	203
8.1.2 效应范围法	203
8.1.3 效应水平法	204
8.1.4 证据权重法	205
8.1.5 相平衡分配法	207
8.1.6 组织残留测定	209
8.1.7 一致法	210
8.1.8 逻辑回归模型方法	211
8.1.9 沉积物质量三合一法	212

8.1.10 表观效应阈值法	213
8.2 沉积物质量基准制定规范	213
8.2.1 沉积物中优先污染物识别	213
8.2.2 典型底栖生物筛选	215
8.2.3 沉积物质量基准指标	217
8.3 沉积物安全基准阈值应用	218
8.3.1 模型建立	218
8.3.2 参数确定	220
8.3.3 沉积物质量基准构建	221
8.3.4 有机污染物风险评价	223
参考文献	226
第9章 营养物基准与标准研究进展	228
9.1 水环境营养物质量基准方法	228
9.1.1 水环境背景调查	228
9.1.2 流域水生态分类	229
9.1.3 基准变量指标筛选	229
9.1.4 数据库建设	230
9.1.5 参照水生态区构建	231
9.1.6 基准值评价和校正	231
9.2 研究进展	231
9.2.1 湖泊水库基准	232
9.2.2 河口区营养物基准	236
参考文献	240
第10章 水生态风险评价应用	243
10.1 生态风险评价概述	243
10.1.1 生态风险概念	243
10.1.2 生态风险评价	244
10.2 生态风险评价内容	248
10.2.1 生态风险评价指标	248
10.2.2 各国生态风险评价方法	249
10.3 生态风险评价过程	251

10.3.1	基本步骤	251
10.3.2	评价规划	252
10.3.3	提出问题	252
10.3.4	风险分析	254
10.3.5	风险表征	256
10.4	污染物风险评价	257
10.4.1	毒性数据推算	257
10.4.2	数据外推安全系数	259
10.4.3	污染物风险评价	264
10.5	水生态风险评价应用	265
10.5.1	研究方法	265
10.5.2	Cd 的水生态风险	266
10.5.3	Cr 的水生态风险	270
10.5.4	硝基苯的水生态风险	273
10.5.5	太湖水中微囊藻毒素评估	274
10.5.6	风险评价结果	278
	参考文献	278
第 11 章	混合物联合毒性方法与水质基准应用	281
11.1	水质目标值的混合物毒性	281
11.1.1	混合物毒理学评估	281
11.1.2	重金属联合毒性	284
11.2	混合物水质基准推导方法	285
11.3	联合毒性评估应用	288
11.3.1	铜、镉联合毒性评估	288
11.3.2	三种氯酚风险评价及水质基准推导	289
11.3.3	三种氯酚化合物毒性数据筛选	289
11.3.4	三种氯酚化合物 HC ₅ 的计算	297
11.3.5	三种氯酚联合作用风险	301
	参考文献	303
第 12 章	水生生物基准案例——流域硝基苯水质基准阈值	309
12.1	研究目的	309

12.2 技术路线	310
12.2.1 基准试验生物	310
12.2.2 数据筛选	311
12.2.3 推导方法	312
12.3 研究结果	313
12.3.1 毒性数据	313
12.3.2 基准推导	313
12.3.3 结果讨论	317
参考文献	318
第13章 水生生物基准案例——流域镉水质基准阈值	322
13.1 目的路线	322
13.2 基准方法	322
13.2.1 数据筛选	322
13.2.2 采用方法	323
13.2.3 毒性检测	324
13.3 基准推算	325
13.3.1 镉的本土水生生物毒性数据	325
13.3.2 镉毒性硬度斜率	332
13.3.3 镉水生态毒性排序与发布	335
13.3.4 我国淡水生物镉基准	337
13.3.5 典型流域镉水质基准	339
13.3.6 区域生物镉基准试点	342
13.3.7 应用讨论	344
参考文献	348
第14章 水环境基准体系与标准化构建探讨	360
14.1 体系发展探讨	360
14.1.1 建立水质基准方法学	360
14.1.2 促进优控污染物筛选	361
14.1.3 加快生态营养物基准研究	362
14.1.4 加强国家水质基准战略研究	363
14.2 创新讨论	364

14.2.1	最少有效数据	364
14.2.2	流域水质基准推导采用模式生物	365
14.2.3	生物替代毒性	368
14.2.4	联合毒性基准	368
14.3	水质基准向标准转化	371
14.3.1	基准数据	371
14.3.2	流域氨氮水质标准	372
14.3.3	转化讨论	375
参考文献		376

| 第 1 章 | 绪 论

1.1 基本概述

伴随着工农业经济的持续快速发展,近 20 多年来我国的地表水环境污染逐渐呈现出复合型、结构型、累积型的特点,这可能成为制约经济和社会发展的瓶颈,亟须加强水污染防治与整治工作。从“十一五”时期开始,我国的水环境管理战略从污染物的目标总量控制向容量总量控制转变,从点源污染控制向面源污染控制转变,从单纯的水质污染控制向全面的水生态系统安全保护的方向转变,这就迫切要求进一步发展和完善现有的水环境质量标准体系。环境基准是制定环境标准的科学依据;环境标准是有效实施环境管理的行政基础,也是识别环境问题、判断污染风险、评估环境影响、制定监测预警方案、确定污染修复对策及采用污染治理技术等法规执行依据。由于不同的环境基准可产生不同的环境标准,而管理上实施不同的环境标准值,可能导致环境保护管理行为、目标和结果的很大差异^[1~3];所以科学地研究确定适用于实际环境状况的环境基准,进而制定正确合理的环境标准,在很大程度上将决定环境风险管理决策是否正确。

有关水环境基准的研究始于 19 世纪末,1898 年俄国卫生学家 A. Φ. 尼基京斯基在《医生》杂志发表了《石油制品对河流水质和鱼类的影响》一文,阐述了原油、重油和其他石油制品对鱼类的毒害,提出了环境质量基准的概念。大约从 1905 年开始,美国及一些欧洲发达国家的科研人员不断发表有关环境水质基准方面的毒理学研究结果。如 1907 ~ 1937 年,美国约发表了 114 种物质的水生物毒性值,规范采用金鱼、大型蚤等水生物作为标准试验物种,1952 年美国加利福尼亚州首先从政府层面发布“水质基准”文件,1965 年美国在“公法 600”中通过了国家开发水质基准的计划。从 1968 年开始每隔 5 ~ 10 年,美国政府从国家层面相继颁布了有关水环境保护的《绿皮书》、《蓝皮书》、《红皮书》、《金皮书》、《白皮书》等水质基准技术文件的持续修订升级版本;欧盟等发达国家也相互参考,相继建立了相关的水质基准文件^[4~17]。1980 年美国环境保护局

(USEPA) 制定的《环境水质基准》文件中规定一个物质的完整水质基准应包括急性最大浓度 (CMC) 和慢性连续浓度 (CCC) 两个值^[12,14], 要求通过水生生物急性毒性试验来得出最大值, 推导平均值时要考虑水生动物的慢性毒性、水生植物毒性和生物积累毒性。1985 年在其《环境水质基准》修订版中将平均值的时间范围由 24h 改为 30 天, 更加突出了平均值与防止慢性毒性效应的关系, 同时对环境浓度偏离平均值的累积时间规定为 96h, 以防止较长时间的环境高浓度对水生生物造成的急性毒性影响。1985 年 USEPA 提出《推导保护水生生物及其用途的国家水生态基准技术指南》, 强调制定水质基准目的在于防止污染物对重要水生生物以及其他的重要物种造成不可接受的长期和短期危害效应; 应充分考虑生物多样性, 用于推导基准的毒性数据至少涉及 3 个门、8 个科的水生动物, 使其能有较好的生态学代表性, 能为大多数生物 (95% 以上) 提供适当的保护, 避免“欠保护”; 相对欧洲一些国家的方法, USEPA 提出的基准方法引入了频率和急性最大浓度基准值的概念, 充分考虑水生态系统对偶然暴露的耐受能力和恢复能力, 防止“过保护”。从 1990 年开始, USEPA 又对水质基准体系增加了营养物基准等水生态学范畴的基准内容^[15~19]; 环境基准经约 100 余年的发展, 国际上相对发展较为成熟的美国国家水质基准体系主要建立在“科学确定水质基准方法”的基础上, 目前已构建了较为完善的基准推导方法学, 形成了较为完整的环境基准体系, 并且制定的环境标准得到了广泛的运用^[20~29]。美国确立的水环境质量基准体系主要针对环境化学物质, 以保护水生态系统的完整性及水生生物安全的水质基准和保护人体饮水与用水安全的人体健康水质基准为核心, 还包括防止水体富营养化的营养物基准、保护底栖生物的沉积物基准、与人体健康保护相关的人体感官基准及病原微生物基准等。水环境基准是世界各国可互相借鉴的科学资料, 由于各国在研究基准时根据当地实际情况, 采用的实验方法或观测项目可能有所不同, 因此同一污染物的基准阈值可以有所不同。

随着水环境基准体系的日益成熟, 大量研究表明, 水生态系统的地理区域性或流域特征不是由单一的地表要素决定的, 而是多种环境要素共同作用的结果, 并且这些要素在各个区域所发挥的作用也不尽相同。USEPA 于 1987 年提出了美国水生态区划方案, 提出根据不同空间尺度的地貌、气候、土壤、生物、水生态系统结构与功能的完整性等特征要素, 进行国家水生态分区的方法体系。该水生态分区方案, 得到了管理部门的普遍认可并很快应用于水生态系统的管理之中, 特别是用于区域或流域监管点位的选择和进一步研究建立区域范围内受损水生态系统的恢复标准, 以达到基于水生态风险控制的目的来选择制定环境管理的有效措施^[27~31]。自美国提出了水生态分区的概念和方法后, 得到世界许多国家的关

注,如英国、奥地利、加拿大等国开始将其应用于本国的水环境标准研究中^[32]。1998 年美国根据不同水生态区域的水化学和水生物区系特点开始制定区域性水环境的营养物基准,并于 2000 年发布了河流、湖库的营养物基准制定导则;美国政府至今已逐步更新、充实并颁布了主要基于生态学和毒理学原理的 14 个生态区域的河流、湖库、河口、湿地等四种水生态类型的水环境基准。

当前,我国较全面系统地水环境基准与标准的理论方法与应用技术研究刚起步,相关区域性水环境标准的研究与制定还不完善,还没有从全国流域尺度上系统地评价水环境质量的风险特征,还无法准确判断不同流域特征的水环境承载力,尚未确立全国的保护水环境安全的水质量基准,也未明确国家流域或区域社会经济发展等人类活动对自然水生态系统影响的输入响应关系。因此,我国现阶段制定的水环境标准体系还不能较真实地体现我国流域或区域的水生态特征,还不能较科学地实现流域污染物的容量与总量控制;在污染源控制与水环境管理方面,一定程度上存在“一刀切”的盲目性,难以高效实现水环境管理目标。国务院在《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》中,明确提出了“科学确定环境标准”的要求,将其作为建立和完善环境保护长效机制的重要内容。因此,建立适合我国国情特点的水环境质量基准与标准体系,对于保护我国水环境安全与实现环境风险管理的战略目标具有重要价值。

1.2 需求与意义

1.2.1 水环境基准是实施水环境管理的基本需求

环境水质质量基准(water quality criteria, WQC)主要指水环境中污染物对水生生物和人及水生态系统的完整性不产生有害影响的最大剂量或浓度,它是基于科学实验的客观记录或科学推论。环境水质质量标准(water quality standards, WQS)是以水环境质量基准为依据,在综合考虑国家或地区的自然和社会、经济、技术等因素的基础上研究制定,由政府主管部门颁布的具有法律效力的水环境污染物控制限值。基准与标准是两个不同的概念,环境基准是制定环境标准的理论基础,决定着环境标准的科学性。环境规划、环境评价、环境监测、环境突发事件应对及污染控制技术应用等环境技术管理的各个重要环节都要依据环境质量标准。科技部在“十五”期间已提出实施“人才、专利、技术标准”三大战略,首次从战略高度把技术标准落实到具体的科技工作中,目前标准专项已取得