

水质基准的 理论与方法学导论

中国环境科学研究院 编



科学出版社

www.sciencep.com

水质基准的理论与方法学导论

中国环境科学研究院 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是水质基准系列书之一。本书汇编了大量国内资料和文献,特别是在20世纪80年代和90年代美国水质基准指南的基础上,结合近二三十年来该领域最新的进展和成果,分别总结了保护水生生物水质基准和人体健康水质基准推导的理论和方法、健康风险评估和生物累积因子的理论和方法,以及水质基准相关参数推导的案例分析。本书内容包括水质基准的概念、发展历史、现状和趋势以及中外水质基准与环境标准的分析对比、水质基准的运用和实践。

• 本书是对当前水质基准的理论和方法学的系统总结,涉及了很多有关水质基准理论与相关参数的基本概念,并对环境暴露、生物富集和风险评估等国际前沿学科均有较为详细的描述,反映了国内外水质基准与水质标准的科技动向,是水质基准相关学科及有关环保部门进行水质管理、制定水质标准的参考性资料。

本书可供从事水质基准、水质标准、环境管理、环境暴露、风险评估、毒理学、环境科学与工程、生物学、流行病学和生态学等各个学科的科研和管理人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

水质基准的理论与方法学导论/中国环境科学研究院编. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029009-0

I. ①水… II. ①中… III. ①水质标准-研究 IV. ①X824-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第182074号

责任编辑:罗吉 李晶晶/责任校对:朱光兰

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈敬

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

*

2010年11月第 一 版 开本 787×1092 1/16

2010年11月第一次印刷 印张:20

印数:1—2 000 字数:452 000

定价:68.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《水质基准的理论与方法学导论》
编辑委员会

主 编 孟 伟 吴丰昌

委 员 李会仙 张瑞卿 曹宇静

(以下以姓氏拼音为序)

曹 政 陈艳卿 冯承莲 廖海清

林 樱 卢少勇 孟 伟 苏海磊

孙福红 唐阵武 吴丰昌 武雪芳

徐利斌 闫振广 杨苏文 赵晓丽

郑丙辉

序 一

水乃生命之源，文明兴衰之根，世界万物之本。在数千年的人类文明进程中，河流、湖泊、海洋等环境水体维系着人与自然的和谐发展。中国政府高度重视环境保护，将环境保护确立为基本国策，实施可持续发展的国家战略。近几年来，相继提出建设生态文明、推进环境保护历史性转变和探索中国特色环境保护新道路等一系列新理念和创新举措，环境保护从认识到实践都发生了重要的变化，具体为：坚持环境优先理念，将生态环境影响、水环境总量、容量和承载力作为经济社会发展规模、布局和速度的基础，将环境保护要求作为各类社会经济活动的约束性条件，采取多种措施，在发展经济过程中，维持水生态系统安全，促进系统良性循环，保障人体健康。水质基准是水环境质量评价、水环境质量标准制（修）订和环境管理与政策制定的科学基础，因此也是完成上述一系列重要认识和实践变化的核心理论依据。

中国水环境形势严峻，水污染控制和治理任务繁重。中国是世界上 13 个水资源最为短缺的国家之一，人均水资源量仅为世界平均水平的 25%，现阶段水污染依然较为严重，部分大型湖泊出现富营养化问题。2009 年我国长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河七大水系地表水国家控制监测断面中，Ⅰ—Ⅲ类，Ⅳ—Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面的比例分别为 57.3%、24.3%和 18.4%，水体污染控制和管理面临巨大挑战，亟待加强基础科学研究。

水质基准强调“以人（生物）为本”及人与自然和谐共处的理念，是科学理论上人与自然“希望维持的标准”，是国家环境保护工作的“自然控制标准”，也是环境保护的政策目标。我国一贯重视环境保护基础理论研究，环境标准是我国环境保护工作的重要任务，是我国环境保护依法行政的基础准绳，标准的科学性对环境保护成效至关重要。基准是标准制（修）订的理论依据，加强标准制定的科学性，就必须加强我国环境基准的研究，“基准不科学，质量标准就无法真实反映客观规律，环境保护就难以确定工作方向和目标，也难以达到理想效果”。国务院 2005 年明确提出“科学确定基准”的国家目标，并且把“大幅提高国家环境保护科技支撑能力”列入国家中长期发展规划纲要（2006~2020 年）。我国水质基准研究正是顺应国家环境保护工作的“三个重要转变”与“风险管理”新理念的核心理论工程。“中国制造”水质基准既注重针对中国区域特点和社会经济实际问题，又注重国际经验的借鉴和理论的总结与提升，是当前我国环境保护和环境管理的重大科技需求。

近年来，针对我国环境标准主要参照国外发达国家基准与标准制定的现状，国内很多研究单位和科学工作者开展了水质基准研究，在污染过程、毒理学、水质基准的理论、技术与方法、水质标准与污染控制等方面做了大量工作，获得了许多有价值的资料和成果。《水质基准的理论与方法学导论》是中国环境科学研究院在长期研究积累的基础上，系统总结国内外水质基准理论和方法学，对环境暴露、生物富集和风险评估等国

际前沿学科进行了较为详细的论述，反映了国内外水质基准与水质标准的最新动向，是环境科学与工程及环境保护部门制定水质标准、排放标准和水质管理的重要参考资料。

该书在国内首次全面论述了水质基准理论和方法，部分内容填补了我国在水质基准方面的空白，对大气、土壤等环境基准的研究也具有一定的参考价值。该书的出版对我国环境污染控制和环境风险管理具有重要的理论意义，对推动我国环境基准体系的完善与构建，及环境管理制度的创新将产生重要而深远的影响。

祝贺《水质基准的理论与方法学导论》的付梓，感谢广大环境保护科研工作者和该书作者们为我国环境保护和环境管理所作的贡献。

环境保护部部长

A stylized, bold Chinese signature in black ink, likely belonging to the Minister of the Ministry of Environmental Protection mentioned in the text.

2010年6月

序 二

水环境污染是影响人类生存和健康的突出问题，近年来频频发生的突发性水污染事件以及由此导致的生态环境破坏和人体健康危害给人们敲起了警钟。随着对水环境问题认识的深化和强化科学管理的需要，水质基准研究也日益成为诸多领域学者探索的科学主题。

水质基准是一个科学术语，由污染物与特定对象之间的剂量-效应关系确定，涉及环境化学、毒理学、生态学、流行病学、生物学和风险评估等前沿学科领域。水质基准是世界各国可互相借鉴的科学资料，是当前最新科学知识的集成，体现了国家环境科学领域的最新进展，是在不断收集新的科学知识，并结合不同国家的国情基础上做出的合理的科学判断，开展水质基准的研究可以极大地促进和推动相关环境学科的发展。因此，水质基准研究是国家科技发展趋势和科学前沿。

国家制定环境质量标准的基本依据是反映环境中有害化学组分或物理因素的容许浓度的环境基准，同时，还要结合国家自然环境特征、控制环境污染的技术水平、经济条件和社会要求等。水质基准是指水环境中污染物对特定对象（人、生物和使用功能等）不产生不良或有害影响的最大可接受剂量、浓度和限值，是在保护人的健康及保护生活环境方面希望加以维持的最低限值，它包含了三个层次的内涵：第一，水质基准以保护人体健康、生态系统及其水体功能为目的，反映了污染物在水体中最大可接受浓度的科学信息；第二，水质基准是自然科学的研究范畴，它是在研究污染物在环境中的行为和生态毒理效应等基础上科学确定的，基准值是完全基于科学实验的客观记录和科学推论；第三，水质基准是制定水质标准的依据，以环境暴露、毒理效应与风险评估为核心内容的水质基准体系，是水环境质量评价、风险控制及整个水环境管理体系的科学基础。因此，水质基准是水环境质量科学管理的根本和源头。

我国地质、气候和生态环境要素、生态环境特征、污染类型和特征与国外相比差异显著，所处的经济发展阶段、产业发展模式、居民饮食习惯、消费方式与发达国家有明显不同。因此，完全依据国外水质基准和标准制定的水质标准可能难以符合实际区域水环境特征和经济发展现状。随着保护生物多样性和环境管理的强化，开展适合我国国情的水质基准研究势在必行。

欧美等发达国家从 20 世纪 60 年代起即开展了水质基准的研究，我国的水质基准研究相对滞后，与国外发达国家有较大的差距，尚未形成系统的理论、技术与方法体系。迄今为止，我国可用于环境管理的水质基准基本是空白，缺乏具有可操作性的水质基准制定的方法学，水质基准的理论研究不足，水质基准的原创性研究成果较少。因此，我国水质基准理论和方法学研究，对构建适合国情和污染控制需要的水质基准体系，整体提升我国环境保护科研水平具有重要的理论意义和实用价值。

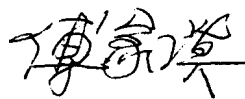
该书系统集成了当前国际水质基准的理论和方法体系，总结了以美国水质基准为代

表的国外科学和先进的水质基准制定方法；在吸收美国等发达国家和地区关于水质基准的最新研究成果的基础上，展示了中国环境科学研究院在我国水质基准研究实践中的系统性研究成果，阐明了我国水环境质量标准的演变规律和存在的不足，指出了我国水质基准对水环境标准与管理的支撑思路。

该书的出版将促进我国尚未健全的水质基准理论与方法学研究，直接服务于环境污染控制科学管理和突发性水污染事件的应急处置，为国家环境保护和管理提供理论依据；同时将引领和带动我国环境科学学科的发展，推动环境科学研究与国家环境管理工作的有效衔接。因此，该书的出版对于环境保护的科学研究具有里程碑意义。

水质基准研究因其自身的复杂性，是一项长期、艰巨和系统的工程，尚有很多科学问题需要研究，这将是政府和科学工作者今后很长一段时间的共同任务。该书为我国环境基准这一崭新领域的研究推开了一扇门，我们期待这一领域的蓬勃兴起，期望更多的科学家参与，期望更多更好的相关研究成果出版问世。

中国科学院院士



2010年6月于广州

前 言

水质基准是制定水质标准的基础和科学依据，是整个环境保护和环境管理工作的基石。自 20 世纪 60 年代以来，美国等发达国家开展长期而系统的研究，到目前为止，已颁布了 7 次美国国家基准推荐值。近年来，其他国家如日本、加拿大和澳大利亚等也都相继开展了水质基准的研究，区域水质基准研究已成为国际发展趋势。我国一直没有开展过水质基准的系统研究。

我国环境标准研究起步较晚，水环境标准如《地表水环境质量标准》和《生活饮用水卫生规范》自 20 世纪 80 年代以来，进行了多次修订。目前已形成了比较完整的水环境标准管理体系。但是，我国水环境质量标准一直是借鉴和参照国外发达国家的水质基准或标准的基础上形成的，其适用性和适应性值得商榷。

美国一般由国家环境保护局研究、推荐和颁布国家水质基准，各州根据实际情况制定水质标准。美国水质基准体系是根据美国国情和区域（污染特征、生物区系、地质地理、水环境要素和社会经济条件等）特征建立起来的，水质基准值具有一定的普遍性和局限性，有的水质基准值适合于其他国家，有的可能不适合于其他国家。中国水质基准和环境管理科研之路该如何走？我国幅员辽阔，自然背景、地质、地理、气候和生态环境特征差异明显，污染特征和生物区系特色鲜明；近年来随着中国社会经济的快速发展，环境污染事态严峻，监管和治理压力很大，国家环境争端和外交任务重，构建具有中国区域特点水质基准的管理体系势在必行。

本书就是在这一背景下编写而成的。“它山之石，可以攻玉”，首先，作者回顾了水质基准的概念、发展历史、现状和趋势；然后，作者在整理了大量国内资料和文献，特别在 20 世纪 80 年代和 90 年代美国水质基准指南的基础上，结合近二三十年来该领域最新的进展和成果，分别总结了保护水生生物基准和人体健康基准推导的理论和方法，及健康风险评估和生物累积因子的理论和方法，开展了基准相关参数推导的案例分析；最后，作者对中外水质基准与环境标准作了对比，系统概述了水质基准的运用和实践。因此，本书是对目前水质基准的理论和方法学的系统总结，论述了涉及基准理论与相关参数的很多基本概念，并在环境暴露、生物富集和风险评估等国际前沿学科做了较为详细的描述，旨在阐述水质基准推导的基本理论、技术和方法，探求它们历史演变和发展的规律，发现暴露和存在的问题及未来的研究方向，以便为我国水质基准体系的构建提供启示和借鉴。

在本书编写过程中，正值国务院《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》提出“科学确定基准”的科学目标，中华人民共和国环境保护部提出了探索中国特色的环境保护新道路，环境保护工作的“三个重要转变”、“休养生息”及“风险管理”新理论。同时，中华人民共和国科学技术部于 2008 年 7 月启动了国家重点基础研究发展计划“湖泊水环境质量演变与水环境基准研究”（“973”项目）。中华人民共和国环境保护部

于2010年6月又启动了环保公益性行业科研专项“我国环境基准技术框架与典型案例预研究”。水质基准是整个环境保护和环境管理工作的基石,它强调的是“以人(生物)为本”及人与自然和谐共处的理念,是各个环境科学学科最新研究成果的集成,直接为国家环境管理服务。水质基准研究可以全面提升一个国家环境保护科研的水平、国际地位和综合实力。“中国制造”水质基准已成为当前我国环境保护和环境管理的重大科技需求。通过本书的出版,希望能推动我国水质基准的系统研究,为构建更为合理的环境管理和标准体系提供借鉴。

本书编写工作由孟伟和吴丰昌统筹、策划和负责。本书共分8章:第1章和第2章由张瑞卿、李会仙、孟伟和吴丰昌完成,介绍了水质基准的发展历史、现状和展望。第3章由曹宇静、李会仙、吴丰昌和孟伟完成,介绍了保护水生生物水质基准推导的理论和方法。第4章和第8章由李会仙和吴丰昌完成,介绍了保护人体健康水质基准推导的理论和方法以及水质基准的运用和实践。第5章由唐阵武和李会仙完成,介绍了水质基准推导中健康风险评估的理论和方法。第6章由李会仙和苏海磊完成,介绍了生物累积因子推导的理论和方法。第7章由李会仙、吴丰昌、曹政和林樱完成,介绍了中外水质基准与水质标准的对比。参考附录部分由李会仙、张瑞卿、曹宇静和吴丰昌完成,介绍了美国颁布的7次国家水质基准推荐值。最后由李会仙完成了对全书的统稿和校稿工作。

本书经多次研讨、补充和完善后定稿。编写过程中,王子健、金相灿、郑丙辉、于云江、宋永会、刘征涛、席北斗、王圣瑞、姜霞、武雪芳、陈艳卿、胡林林、廖海清、赵晓丽、徐利斌、孙福红和冯承莲等提出了许多宝贵意见。同时,特此感谢中国环境科学研究院刘鸿亮院士、环境保护部科技司赵英民司长和刘志全副司长对本书编写过程中的技术指导、及许多具体建议。

谨以本书献给从事水质基准、水质标准、环境管理、环境暴露、风险评估、毒理学、环境科学与工程、生物学、流行病学和生态学等各个领域的同行,若能对大家的工作有所裨益,自感由衷愉快和欣慰。

本书的研究成果得到以下项目的资助,特此感谢:

- (1) 国家重点基础研究发展计划项目(973项目)“湖泊水环境质量演变与水环境基准研究”(2008CB418200);
- (2) 国家环保公益重大科研专项“我国环境基准技术框架与典型案例预研究”;
- (3) 国家自然科学基金杰出青年基金项目“环境地球化学与生物地球化学”(40525011)。

编 者

2009年8月31日

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 水质基准的总体概况	1
1.1 水质基准的概念	1
1.2 水质基准的分类和表达方式	2
1.3 水质基准的内涵	3
第 2 章 水质基准的发展历程	5
2.1 世界水质基准发展的重要历史事件	5
2.2 美国水质基准的发展历程	8
2.2.1 1976 年水质基准《红皮书》	9
2.2.2 1986 年水质基准《金皮书》	9
2.2.3 1999 年《国家推荐水质基准——修正》	9
2.2.4 2002 年《国家推荐水质基准：2002》	10
2.2.5 2006 年《国家推荐水质基准：2006》	11
2.3 水质基准推导的理论和方法学发展历程	13
2.3.1 保护人体健康水质基准推导的理论与方法学	13
2.3.2 保护水生生物水质基准推导的理论与方法学	16
2.3.3 感官质量基准的确定	18
2.4 对美国水质基准的评论	19
2.5 世界卫生组织和其他国家的水质基准	19
2.6 中国水质基准的研究历程	20
第 3 章 水生生物水质基准推导的理论和方法	23
3.1 引言	23
3.2 水生生物水质基准的理论与方法	24
3.2.1 评价因子法	24
3.2.2 物种敏感度分布曲线法	25
3.2.3 生态毒理模型法	25
3.2.4 毒性百分数排序法	26
3.2.5 4 种方法的综合比较	27
3.3 用毒性百分数排序法确定基准相关数值的理论与方法	28
3.3.1 最终急性值和最终慢性值	29
3.3.2 最终植物值	37

3.3.3	最终残留值	39
3.3.4	基准最大浓度和基准连续浓度	42
3.3.5	基准推荐值	43
3.3.6	展望	44
3.4	水生生物水质基准推导的案例研究	45
3.4.1	汞的水生生物水质基准的推导过程	45
3.4.2	镉的水生生物水质基准的推导过程	52
3.5	小结	65
第4章	人体健康水质基准推导的理论与方法	66
4.1	引言	66
4.2	人体健康水质基准推导的理论与方法概述	67
4.2.1	致癌物	68
4.2.2	非致癌物	80
4.2.3	感官基准	83
4.3	讨论	83
4.3.1	不确定性的讨论	84
4.3.2	相对源贡献的讨论	84
4.3.3	基准所需参数的讨论	84
4.3.4	推导生物累积因子时应考虑的因素	85
4.4	人体健康水质基准推导主要参数的案例分析	86
4.4.1	推导方法的选择	86
4.4.2	六氯丁二烯的参考剂量的确定	87
4.4.3	特定风险剂量的确定	88
4.4.4	PCB生物累积因子的推导过程	88
4.5	甲基汞人体健康基准的推导案例分析	90
4.5.1	汞人体健康基准的发展历史	90
4.5.2	推导方法的选择	91
4.5.3	甲基汞参考剂量的推导过程	91
4.5.4	甲基汞相对源贡献的推导过程	93
4.5.5	甲基汞水质基准的推导过程	93
4.6	小结	93
第5章	水质基准推导中健康风险评估的理论与方法	94
5.1	概述	94
5.1.1	健康风险评估的基本理论	94
5.1.2	健康风险评估的基本方法	95
5.2	致癌效应评估	97
5.2.1	致癌风险评估准则	97
5.2.2	基于致癌风险评估确定水质基准的方法	97

5.2.3 案例分析	102
5.3 非致癌效应评估	106
5.3.1 危害鉴别	106
5.3.2 剂量-效应评价	107
5.3.3 临界数据的选择	107
5.3.4 采用 NOAEL/LOAEL 方法推导 RfD	108
5.3.5 采用基线剂量法推导 RfD	112
5.3.6 采用分类回归法推导 RfD	115
5.3.7 慢性的非阈值效应	116
5.3.8 急性短期效应	116
5.3.9 复合污染物	117
5.4 小结	117
第 6 章 生物累积因子推导的理论和方法	119
6.1 引言	119
6.1.1 生物累积因子的定义	119
6.1.2 几个重要概念	120
6.2 生物累积因子的推导	124
6.2.1 实测生物累积因子法	124
6.2.2 实测生物-沉积物累积因子法	124
6.2.3 总生物富集因子法	124
6.2.4 n-辛醇-水分配系数法	125
6.2.5 各种推导方法的对比	125
6.2.6 生物累积因子的推导程序	125
6.3 非离子有机物基线生物累积因子的推导	127
6.3.1 总生物累积因子法	127
6.3.2 生物-沉积物累积因子法	128
6.3.3 实测生物富集因子和食物链因子法	130
6.3.4 n-辛醇-水分配系数和食物链因子法	131
6.4 非离子有机物的国家生物累积因子的推导	132
6.4.1 各方法计算物种平均基线生物累积因子	133
6.4.2 各生物累积因子方法计算营养级-平均基线生物累积因子	135
6.4.3 选择最终的营养级-平均基线生物累积因子	135
6.4.4 用最终的基线生物累积因子计算国家生物累积因子	135
6.5 生物累积因子估算的案例分折	136
6.5.1 现场测定的生物累积因子法	136
6.5.2 现场测定的生物-沉积物累积因子法	137
6.5.3 总生物富集因子和食物链因子法	139
6.5.4 n-辛醇-水分配系数和食物链因子法	140

6.6 小结	141
第7章 中外水质基准与水质标准的比较	142
7.1 美国环境保护局 2006 年水质基准	142
7.2 中国的《地表水环境质量标准》	142
7.3 中国《生活饮用水卫生标准》	158
7.4 世界卫生组织《饮用水水质准则》	159
7.5 评论与释解	159
7.5.1 中国标准现状	159
7.5.2 中外基准与中国标准内容比较分析	159
7.5.3 中外基准与我国标准限值差异分析	161
7.5.4 对构建中国水质基准体系的思考	163
第8章 水质基准的运用与实践	165
8.1 水质基准是水质标准的科学依据	165
8.2 水质基准、排放基准与污染排放控制	166
8.3 水质基准与环境影响评价	167
8.4 水质基准与污染治理和生态修复	168
8.5 水质基准与环境风险管理	169
参考文献	172
参考附录	187
参考附录 1 美国 1976 年水质基准《红皮书》	187
参考附录 2 美国 1986 年水质基准《金皮书》	203
参考附录 3 1999 年美国环境保护局推荐水质基准	211
参考附录 4 2002 年美国环境保护局推荐水质基准	228
参考附录 5 2004 年美国环境保护局推荐水质基准	246
参考附录 6 2006 年美国环境保护局推荐水质基准	264
参考附录 7 2009 年美国环境保护局推荐水质基准	282
参考附录文献	300
缩略词	303

第 1 章 水质基准的总体概况

水质基准 (water quality criteria, WQC) 是制定水环境的质量标准, 以及评价、预测和控制与治理水体污染的重要依据。保护特定水体用途的水质基准与水体的指定用途和抗退化政策共同构成水质标准, 是水质标准的基石和核心 (USEPA, 1998a)。水质基准描述了支持指定水体用途的水质, 反映了污染物在水体中最大可接受浓度的科学信息。水质基准是在研究特定化学物质在环境中的行为和生态毒理效应等基础上科学确定的, 并没有考虑社会、经济及技术等方面的因素, 水质基准体现了国际环境科学领域的最新进展。

环境质量基准的研究起始于 19 世纪末, 1898 年俄国卫生学家 A. Ф. 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 (郑乃彤和陆昌森, 1983)。1907 年, Marsh 发表了《工业废水对鱼类的影响》一文, 这是美国最早关于污染物对水生生物影响的研究 (USEPA, 1976)。20 世纪 60 年代, 美国加利福尼亚州首次发布了“水质基准”报告, 此后美国相继发表了《1968 年水质基准》(《绿皮书》)(1968 年)、《1972 年水质基准》(《蓝皮书》)(1974 年)、《1976 年水质基准》(《红皮书》)(1976 年) 和《1986 年水质基准》(《金皮书》)(1986 年) 等一系列水质基准文献。1980 年, 美国环境保护局 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 初步制定了确定水质基准的技术指南, 1983 年和 1985 年又进行了两次修订, 并鼓励各州开展地区性基准的研究工作以反映水环境差异的影响 (夏青和张旭辉, 1990)。美国环境保护局为各州和部落制定推荐的水质基准推导方法和水质基准值, 由于各州的区域环境差异, 允许各州直接采用美国环境保护局推荐的水质基准或根据当地环境条件重新计算水质基准。1998 年, 美国又开始制定区域性营养物基准。目前美国环境保护局已经发布了包括河流、湖库以及湿地等水域的营养物基准制定导则, 制定了 14 个生态区域的营养物水质基准。到目前为止, 欧美和日本等发达国家已经初步建立了国家水质基准体系。

1.1 水质基准的概念

欧美国家对水质基准的研究比较深入和全面, 与基准相对应的英文有 “benchmark” 和 “criteria (criterion 的复数)”, 我国学者对于这两个词的翻译以及基准的含义一直存在很大争议。“benchmark” (或 benchmark value) 是在保护生态受体的指南或标准不存在时使用的数值, 该值往往根据单一学科数据得到。而在不同国家 “criteria” 有两个不同但相关的含义, 在澳大利亚和加拿大是指用来推导水质指南或标准的科学结果, 如 “某试验生物组在暴露于一定浓度的某污染物指定时间后半数死亡”, 即是 “cri-

teria”；然而在美国“water quality criteria”（水质基准）是可以反映很多有效信息的数值，是能够反映保护水生生物和人体健康的水体中化合物的最大可接受浓度的信息。

另外，环境质量基准即为环境基准（夏征农等，2006），指环境中污染物对特定对象（人或其他生物）不产生不良或有害效应的最大剂量（无作用剂量）或浓度（郑乃彤和陆昌森，1983）。环境质量基准按环境要素可分为大气质量基准、水质量基准和土壤质量基准。

较早有关水质基准的研究是从化学物质对生物体的影响效应开始的（郑乃彤和陆昌森，1983；Marsh, 1907）。美国早期对水质基准的表达是将污染物浓度和测试结果等因果关系一一列出，在之后较早的《红皮书》（USEPA, 1976）中采用推荐浓度的形式，但是基准浓度的推导方法多样，且原始数据也不属于同一类型。在《红皮书》中，有的基准值根据急性毒性值（如 LC_{50} ）计算得到，有的就是毒性试验的临界值，还有的则是使用了其他机构（如美国食品药品监督管理局）的规定值结合一定的应用因子得到。美国环境保护局对水质基准是这样陈述的，“期望能使水体适合其指定用途的水质水平，基准的依据是污染物的特定水平，这些污染物可能导致用于饮用、游泳、农业、鱼类生产或工业过程的水体变得有害”（USEPA, 1997b）。美国环境保护局把人体健康水质基准定义为“人体健康水质基准是描述保护人体健康，防止其受到环境水体中污染物有害效应的环境水体浓度的若干数值”（USEPA, 2003c）。加拿大的不列颠哥伦比亚政府在水质政策陈述中认为“水质基准是指在指定环境条件下，为防止一些发生在水体功能或生物体的特定有害效应而不能超过的适用于省级范围的水体、生物区或沉积物的一个最大或最小的物理、化学或生物学特征”（Government of British Columbia, 2001）。加拿大环境部认为“基准（criteria）是指为各种水体用途推导推荐限值所评价的科学数据”，“水质指南（water quality guideline）是指为支持和保持一个指定的水体用途而推荐的定量浓度或叙述性陈述”（Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999a）。孟伟等（2006）参考国外文献（USEPA, 1980d）将水质基准概括为“环境中污染物对特定对象（人或其他生物）不产生不良或有害效应的最大剂量（无作用剂量）或浓度”。

随着国内外对水质基准的不断研究，对水质基准概念的理解也在不断深化。水质基准是为在一定环境条件下保护特定水体功能和生物体而推荐的定量浓度或叙述性陈述，涉及的水体污染物包括重金属、非金属无机物、农药和其他有机物，以及一些水质参数（pH、色度、浊度和大肠杆菌数量等）。

1.2 水质基准的分类和表达方式

水质基准可以根据保护对象的不同分为以保护人体健康为目标、以保护水生生物和以保护野生动物为目标的水质基准，它们构成水质基准体系的核心。其中，保护人体健康水质基准主要包括人体健康水质基准、微生物（病原体）水质基准和休闲用水水质基准；保护水生生物水质基准包括水生生物水质基准、生物学水质基准和营养物水质基准。近年来，考虑到污染物在食物链中的生物累积作用，逐渐将水环境以外的相关生物（如野生动物）纳入到水质基准的保护对象（USEPA, 2001b; 1995a）；水质基准也可以

根据水体功能的不同分为饮用水水质基准、农业用水水质基准、休闲用水水质基准、渔业用水水质基准和工业用水水质基准等；另外根据水质基准制定原理的不同可分为毒理学基准和生态学基准（孟伟，2007）。营养物基准属于生态学基准，因氮、磷等营养物质对水生生物的毒理作用相对较小，其危害主要是促进藻类生长而暴发水华，从而导致水生生物的死亡和水生态系统的破坏。因此，防止水体富营养化的营养物基准是基于生态学原理和方法制定的。而保护人体健康和保护水生生物水质基准都是根据污染物对人或生物的毒理作用，是基于生物毒理学原理和方法制定的。

根据水环境中污染物具体项目（或其他有害物质）的种类，水质基准包括重金属、有机物、营养盐、激素和病原菌等基准。2006年，美国环境保护局颁布和修订了167种污染物的基准，其中包括120种优控污染物和47种非优控污染物，涉及金属、非金属无机物、有机物、有机农药以及水质参数等（USEPA，2006）。然而，目前已给出基准的污染物仅仅是人类使用化合物中很小的一部分。在北美五大湖能检测到1000多种污染物，美国目前登记使用的化学物质达65 000种，而且登记使用的化学物质还在不断增加（Flexner，1995）。此外，一些纳米材料污染物、内分泌干扰物及藻毒素等一批新兴污染物也逐渐引起了人们的关注（汤鸿霄，2003），为此2007年美国发布了纳米材料污染物基准研究的国家战略白皮书。所以，运用新技术和新方法，不断深入开展传统污染物环境行为和毒理效应研究，发展基准新理论，制定或修订各种污染物基准，特别是对人类环境与健康有重要影响污染物的水质基准是目前世界各国环境科学的重要研究内容和努力方向。

目前水质基准大多采用双值体系，其中人体健康基准表达形式包括仅摄入水生生物的水质基准与摄入水生生物和水体的水质基准；保护水生生物基准形式为基准连续浓度和基准最大浓度，基准连续浓度保护水生生物长期暴露于一种物质而不会产生不可接受的有害效应；基准最大浓度保护水生生物短期暴露于一种污染物而不造成不可接受的有害效应。然而感官质量基准是根据污染物对人体感官所产生的效应而制定的水质基准值，所以仅是单值。

1.3 水质基准的内涵

美国环境保护局每次发布水质基准文件都会声明，水质基准仅是依据污染物浓度与环境对人体健康效应间关系的数据和科学判断得出的，人体健康水质基准不考虑达到此水体浓度的经济效应或技术可行性（USEPA，1999c）。我们可以从以下几个方面来理解水质基准。第一，水质基准有数值型和叙述型两种表达形式。数值型基准大部分是以水体中污染物的浓度表示，个别以生物组织浓度表示（如甲基汞）；而对于那些无法给出具体的污染物，就采用叙述型基准（如浊度等）。第二，水质基准总是与特定的水体功能相联系。制定水质基准的主要目的就是保护水体的指定用途，包括饮用、鱼类生产以及娱乐等。不同的水体功能要求有不同的水质基准与其相对应。第三，水质基准是在考虑了各种相关限制因素的基础上推导得出的数值。水质基准的推导要考虑多种因素，而不仅是一些毒理学参数。在推导保护人体健康的水质基准时，除了要采用毒性试验中