



入海河口区 营养盐基准确定方法研究

——以长江口为例

郑丙辉/著



科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

入海河口区营养盐基准 确定方法研究

——以长江口为例

郑丙辉 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

入海河口的环境变化一直以来都是国内外十分关注的问题。本书主要针对长江口营养盐基准的确定问题,运用海洋化学、海洋生物学、物理海洋学等多学科理论,识别出长江口富营养化的敏感因子,确定了长江口营养盐的参照状态,提出了长江口营养状态指标无机氮和活性磷酸盐的基准值和标准建议值,并建立了河口区营养盐基准制定的技术方法体系。

本书可供从事海洋环境保护的科技工作者、管理干部以及科研院所、大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

入海河口区营养盐基准确定方法研究:以长江口为例 / 郑丙辉著.
—北京:科学出版社, 2013

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-03-037281-9

I. 入… II. 郑… III. 长江口-海洋学-研究 IV. P7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 071605 号

责任编辑:张 震 / 责任校对:邹慧卿

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 5 月第一次印刷 印张:14

字数:400 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

环保公益性行业科研专项 经费项目系列丛书

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目234项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研

院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得的资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011年10月

前 言

我国海岸线漫长,有众多规模各异、类型多样的人海河口。据统计,在长达 32 000km 的海岸线上,分布着大小河口 1800 多个,仅河流长度在 100km 以上的河口就有 60 多个。河口作为连接流域和海洋的枢纽,既是流域物质的归宿,又是海洋物质补给的开始。河口区由于受到淡水径流和海洋潮汐的影响,陆海相互作用特别强烈。同时,河口也是受人类活动与全球气候变化影响最为显著的区域。全球 60% 的人口和 2/3 的大中城市集中在河口海岸地区,日益加剧的人类活动增加了河口海岸地区的压力。全世界河流携带的人海悬浮物质及化学元素/污染物的 75% ~90% 归宿于河口—近海地区。大量污染物进入河口,导致河口营养盐过剩从而发生富营养化,破坏了原有的生态系统平衡,引起赤潮的暴发,对人类生存环境安全构成严峻的挑战。

2008 年,环境保护部在环保公益性行业科技专项中设立“长江河口区营养盐基准确定方法研究”项目,项目编号为“2008467041”。项目以长江口及其邻近海域为典型研究区域,在深入调查河口区生态系统健康及演变过程、河口生态系统对营养盐的响应特征基础上,建立基于营养盐敏感性的河口分区方法、河口区参考状态确定方法,进而提出营养盐基准制定技术方法,解决营养盐基准制定过程中的关键基础问题,提出长江口及毗邻海域营养盐参照状态、基准值以及标准建议稿,探索基准应用及管理模式,为长江口水域营养盐管理提供决策支持,并为我国开展区域性河口营养盐基准制定提供技术示范。

本书是对“长江河口区营养盐基准确定方法研究”项目研究成果的进一步凝练,主要针对河口营养盐基准的制定问题,运用海洋生物学、生物地球化学、环境地质学、物理海洋学、统计学以及地理信息学等多学科理论,确定了河口区营养盐的变量指标,进行了河口分区,提出了河口营养盐基准制定方法。我们的研究为河口营养盐标准的制定提供了技术支撑,为实现河口分类、分区的管理模式提供了支持。

全书共计八章。第 1 章系统介绍了河口的特征、富营养化、国外营养盐基准制定的典型案例以及河口营养盐基准制定的技术理论框架。第 2 章全面介绍了长江口自然环境特征、社会经济特征、水质与沉积物以及生物群落特征。第 3 章系统分析了长江口浮游植物、浮游动物、底栖生物等主要生物群落对营养盐变化的响应关系,分析了长江口 40 年以来赤潮暴发的时空分布特征。第 4 章系统阐述了河口分区理论与分区方法,并从营养盐敏感性角度,基于长江口自然地理特征,对长江口进行了一、二级分区和检验。第 5 章基于 EFDC 模型,搭建了长江口及邻近海域三维水动力水质模型,对河口区营养盐对流域氮、磷负荷的响应进行了模拟与验证。第 6 章系统介绍了河口富营养化指标的筛选与确定方法,利用频率分布曲线法,确定了长江口敏感区富营养化指标的参照状态。第 7 章基于长江口营养盐的历史记录与模型分析,初步确定了长江口外近海区和舟山海区的无机氮和活性磷酸盐的基准建议值,并进一步提出了长江口及近岸海域营养盐的分级控制标准。第

8 章对河口及近岸海域营养盐管理工作提出了若干对策建议和研究展望，包括开展河口分区、完善河口营养盐指标体系、基于流域尺度进行营养盐的综合管理以及实施河口科技专项研究等。

本项目由中国环境科学研究院牵头，浙江省舟山海洋生态环境监测站协作完成。本项目的圆满完成与两承担单位的通力合作以及众多研究者的辛勤劳动是分不开的。作为本项目的负责人，我衷心地感谢中国环境科学研究院同仁刘录三博士、林岿璇博士、朱延忠助理研究员、乔飞博士、王丽平博士、李黎博士、王丽婧博士、周娟助理研究员、王瑜助理研究员等，他们为本项目的高质量、高水平的完成各尽其责，不懈努力。此外，还要感谢浙江省舟山海洋生态环境监测站的邵君波高工、唐静亮高工、王益鸣高工、胡颢琰高工、何松琴高工、黄备高工等项目组人员对本项目开展长江口海洋生态综合调查以及近 20 年的历史数据综合分析提供的帮助。

在本书写作过程中，作者力求最大限度的科学性、前沿性和应用性的有机结合，但是河口营养盐基准研究中涉及的内容广泛，又是多学科交叉，缺乏现成的经验可以借鉴，书中若存在不足与错误，恳请读者批评指正。

郑丙辉
2013 年 2 月于北京

目 录

序言 前言

1 概论	1
1.1 河口的定义与特征	1
1.2 河口富营养化现象	2
1.3 河口营养盐基准的概念	3
1.4 典型案例研究	4
1.4.1 切萨皮克湾	5
1.4.2 坦帕湾	7
1.4.3 英国	8
1.5 营养盐基准确定的技术方法	9
1.5.1 技术流程	9
1.5.2 研究区域	11
1.5.3 研究内容	12
1.5.4 技术路线	12
参考文献	13
2 长江口生态环境特征调查	15
2.1 长江口自然环境状况	15
2.1.1 地理区位	15
2.1.2 地质地貌	15
2.1.3 河流水系	16
2.1.4 气候特征	16
2.1.5 水文特征	16
2.2 长江口社会经济特征	17
2.2.1 行政区划与人口分布	17
2.2.2 经济状况	17
2.3 长江口水质特征	19
2.3.1 调查区概况	19
2.3.2 氮、磷时空分布特征	20
2.4 长江口沉积物质量特征	30
2.4.1 调查区概况	30
2.4.2 柱状沉积物中各形态氮的含量及垂直变化	31

2.4.3	柱状样沉积物中氮的降解与埋藏	33
2.4.4	有机质来源判断	35
2.4.5	柱状沉积物中不同时期氮的变化趋势	36
2.5	长江口生物群落特征	37
2.5.1	浮游植物	37
2.5.2	浮游动物	44
2.5.3	大型底栖生物	50
2.6	小结	58
	参考文献	59
3	河口营养盐基准制定的科学基础	62
3.1	河口区生态系统对营养盐的响应	62
3.1.1	营养盐限制的时空尺度	62
3.1.2	生态系统对营养盐的响应模型	63
3.2	长江口浮游植物对营养盐变化的响应	64
3.3	长江口浮游动物对营养盐变化的响应	66
3.4	长江口底栖生物对营养盐变化的响应	68
3.4.1	物理因素	68
3.4.2	化学因素	69
3.4.3	生物因素	71
3.4.4	其他因素	72
3.5	长江口赤潮暴发特征分析	73
3.5.1	数据来源	74
3.5.2	赤潮发生的空间特征	74
3.5.3	赤潮发生的时间特征	76
3.5.4	赤潮生物分布特征	77
3.6	小结	78
	参考文献	79
4	基于营养盐敏感性的河口分区研究	84
4.1	概述	84
4.1.1	分区理论	84
4.1.2	分区方法	85
4.2	长江口分区结果	86
4.2.1	研究区范围及数据来源	86
4.2.2	一级分区	86
4.2.3	二级分区	88
4.3	长江口分区检验	92
4.3.1	水体特征的一致性检验	92
4.3.2	沉积物特征的一致性检验	95

4.4	小结	95
	参考文献	96
5	河口区营养盐对流域氮、磷负荷的响应研究	99
5.1	概述	99
5.1.1	模型选择	99
5.1.2	模型构建	100
5.2	长江口水质模型建立及验证	104
5.2.1	长江口水质模型设置及验证	104
5.2.2	验证期水质要素浓度时变特征分析	107
5.2.3	水质分布特征分析	112
5.3	长江口水质对流域负荷的响应特征分析	114
5.3.1	模拟方案	114
5.3.2	水质年内、年际变化特征分析	115
5.3.3	河口水质对入海通量的响应特征分析	120
5.4	小结	121
	参考文献	122
6	河口区营养盐参照状态确定方法研究	123
6.1	方法选择	123
6.2	指标筛选与分区考虑	126
6.2.1	河口富营养化指标筛选	126
6.2.2	长江口不同分区的考虑	127
6.3	无机氮参照状态的确定	127
6.3.1	各分区无机氮浓度的年际变化	127
6.3.2	无机氮参照状态的初步确定	129
6.4	活性磷酸盐参照状态的确定	132
6.4.1	各分区活性磷酸盐浓度的年际变化	132
6.4.2	活性磷酸盐参照状态的初步确定	133
6.5	Chl-a 参照状态的确定	136
6.5.1	各分区 Chl-a 浓度的年际变化	136
6.5.2	Chl-a 参照状态的初步确定	137
6.6	COD _{Mn} 参照状态的确定	141
6.6.1	各分区 COD _{Mn} 浓度的年际变化	141
6.6.2	COD _{Mn} 参照状态的初步确定	142
6.7	浮游植物密度参照状态的确定	145
6.7.1	各分区浮游植物密度的年际变化	145
6.7.2	浮游植物参照状态的初步确定	146
6.8	DO 参照状态的确定	150
6.8.1	各分区 DO 浓度的年际变化	150

6.8.2 DO 参照状态的初步确定	151
6.9 小结	154
参考文献	155
7 河口营养盐基准与标准确定技术研究	156
7.1 长江口营养盐历史记录分析	156
7.1.1 长江大通站营养盐通量历史记录	156
7.1.2 长江河口区营养盐浓度历史记录	157
7.2 历史较好状态下长江口营养盐模拟分析	167
7.2.1 模拟方案设定	167
7.2.2 模拟结果及分析	167
7.3 长江口营养盐基准建议值	170
7.3.1 无机氮基准值的确定	171
7.3.2 活性磷酸盐基准值的确定	171
7.4 营养盐基准在标准制定中的应用	172
7.4.1 基准向标准的转化方式	172
7.4.2 无机氮分级评价标准	172
7.4.3 活性磷酸盐分级评价标准	174
7.5 小结	175
参考文献	176
8 河口营养盐基准研究与应用展望	178
8.1 突出分区在河口环境管理中的基础性地位	178
8.2 进一步完善河口营养盐指标体系	179
8.3 实现基于流域尺度的营养盐综合管理	179
8.4 实施河口科技基础性工作专项、开展综合性河口研究	180
附录1 长江口浮游植物种名录及出现季节	183
附录2 长江口浮游动物种名录及出现季节	195
附录3 长江口大型底栖动物名录	201
附录4 基于本研究的主要论著	211

1.1 河口的定义与特征

河口是流域和海洋的枢纽，既是流域物质的归宿，又是海洋的开始。经典的河口定义由 Pritchard (1967) 提出：“可与外海自由连通的半封闭沿海水体，海水在这里被由陆地流入的淡水所冲淡。”然而该定义聚焦于所选择的物理特性，却忽略了沿海海域的生态系统多样性以及生物的作用，例如，河口区珊瑚礁生物与湿地对近岸海域生态结构与功能的影响。在美国，大多数州将河口及近岸海域的法定管理权限设置为 3 海里之内，然而在此界限之外的沿海海洋过程也会影响 3 海里之内的营养盐负荷与系统脆弱性。因此，美国环境保护署 (U. S. Environmental Protection Agency, EPA) 将河口及近岸海域所包括的范围定义为“位于沿岸平均高水位基线与陆架坡折之间的海洋系统，当存在开放性的大陆架时则指离岸 20 海里以内的海洋系统”。目前，一般根据动力条件和地貌形态将河口分为河流近口段、河口段和口外海滨三部分：河流近口段以河流特性为主；河口段的河流因素和海洋因素强弱交替地相互作用，有独特的性质；口外海滨以海洋特性为主。

河口区由于受淡水径流及海洋潮汐两种主要动力作用的影响，存在环流现象（图 1-1），致使这里咸淡水及海陆交汇作用频繁，环境因子变化剧烈，各种物理、化学和生物过程耦合多变，生态环境错综复杂，生态系统敏感脆弱。河口海岸地带通常又是经济发达、人口聚居之地，大约有世界 60% 的人口和 2/3 的大中城市集中在沿海地区。高强度经济活动如流域周边森林的破坏、高坝的建设、跨流域的调水、化肥的大量使用等赋予流域环境的压力最终向河口转移、汇聚，通过改变物质和能量通量对河口及其邻近海域的环境产生深刻的影响。此外，来自海洋系统的自然和人类活动如海洋的潮汐、环流、赤潮以及人类在海洋上的开发活动等也强烈影响着河口区环境。河口的一些重要的特征包括：

1) 河口位于淡水生态系统（湖泊、河流、溪流，淡水和沿岸湿地，地下水系统）和沿岸陆架系统之间，生态边界状态形成了淡水和外海这两种不同生态系统之间的过渡体。

2) 河口相对较浅，常常仅几米至几十米深。这一区域底栖-浮游系统的耦合影响了营养盐循环，发达的底栖生物群落参与到营养盐循环中。

3) 受河流影响的河口与其他系统显著不同。一般来说，垂直混合主要受热量输入的季节循环和水温分层调节。然而河口区的垂直混合则受一种更大、变化性更强的浮力源

(source of buoyancy) 调节，即河流冲淡水使得水体在垂向上更加稳定。此外，冲淡水导致了纵向和垂直方向的盐度梯度，并驱动非潮汐重力循环，该重力循环也是冲刷过程的主要来源。

4) 相对海洋系统，河口颗粒丰富，且具有保留这种颗粒的物理机制。这些悬浮颗粒调和了许多活动（如对光的吸收和散射或对深水物质的吸收如磷和有毒污染物）。河川径流带来新的颗粒，而潮汐流和风浪使底层颗粒重新浮起。

5) 由于陆源的输入以及理化和充当“过滤器”功能的生物过程将营养盐阻留在河口，许多河口在自然状态下就呈现出营养盐富足的状况。

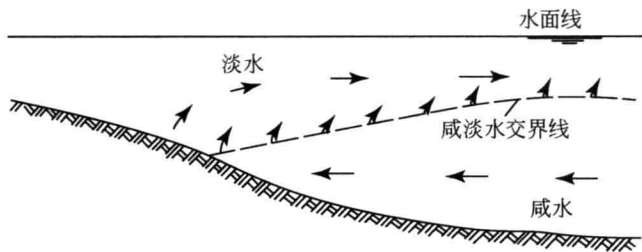


图 1-1 河口区环流现象示意图

1.2 河口富营养化现象

富营养化是一种自然现象，但近几十年来各种人类活动显著增加，致使大量富含氮、磷的工业废水和城市生活污水被排入海湾、河口等近岸水域，导致藻类及其他浮游生物在适宜的光照、水温等物理条件下恶性繁殖，对生态系统造成了一系列的危害和影响。

河口区一直是人口稠密、经济富足的区域。通过入海河流输送、流域城市以及农村等排放的大量污染物不断进入河口海湾等海域，使得该海域普遍存在营养盐过量问题，表现为过量的营养物质使原有的水生生态失去平衡，导致一系列物理、化学和生物过程发生变化。在沿海水域，富营养化与一系列沿海环境问题密切相关，例如赤潮、鱼类死亡、海洋哺乳动物死亡、贝类暴发性中毒、海草与底栖生物栖息地丧失、珊瑚礁毁坏以及如墨西哥湾“死亡带”一样的缺氧与无氧现象等（NRC，2000；Rabalais et al.，1991）。此外，富营养化还能够加剧人类健康效应（Colwell，1996）。富营养化的征兆通常包括初级征兆（如有机质供给率的增加、藻类优势度的改变以及水体透明度下降）与上面所述的一项或多项次级征兆（图 1-2）。人类活动引起的河口与沿海海域富营养化问题被认为是一个国家的主要问题之一（EPA，2001）。在美国，美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA）启动的国家河口超营养评估 1991 显示，在 138 个调查河口，约 60% 存在从适度到严重等不同程度的富营养化状况。总之，富营养化问题由来已久，各国及其相关组织均致力于该问题的解决。

以长江口为例。长江三角洲地区是我国工农业最发达的地区之一，经济高速发展的同时也带来了严重的环境污染问题，影响着长江口及其邻近海域的生态环境。污染特别是富营养化使长江口及毗邻海域生态环境严重恶化。长江的无机氮通量自 20 世纪 60 年代以来

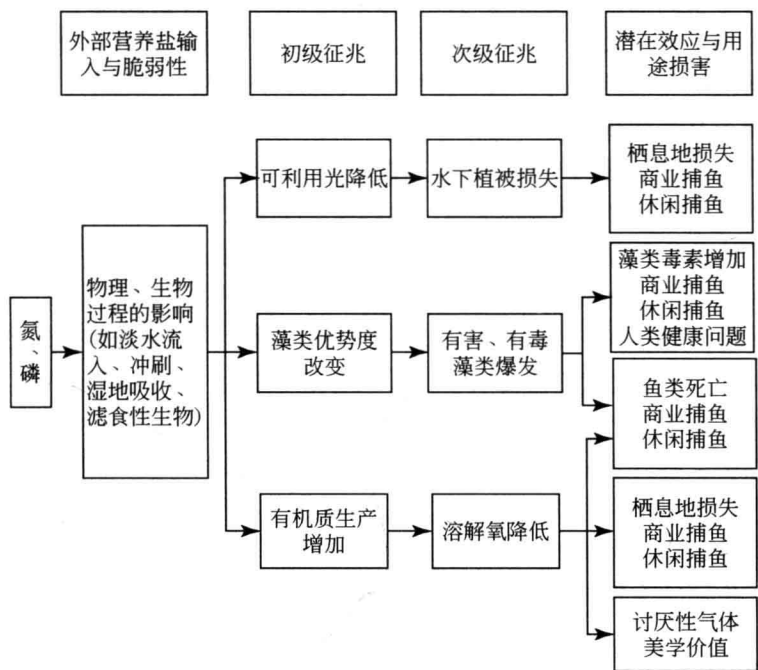


图 1-2 富营养化模型

资料来源：Bricker et al. , 1999

增加了 7~8 倍，而硅酸盐通量呈显著减少趋势。由于富营养化的加剧，原有生态系统失去平衡，引起大面积赤潮的暴发。一方面，某些赤潮生物体内分泌有毒物质对生态系统、渔业资源、海产养殖及人体健康等造成损害；另一方面，因赤潮生物的大量增殖导致海域耗氧过度，影响海洋生物生存环境，进而破坏海域生态系统结构。目前，长江口及毗邻海域已经成为我国有害赤潮高发区之一，有记录的赤潮事件约有 1/4 发生于该海域。因此急需从环境管理的角度出发，提高河口区营养盐监测、评估和管理水平。

1.3 河口营养盐基准的概念

河口区营养盐基准 (nutrient criteria in estuarine waters) 可定义为环境中营养状态参数对河口区不产生不良或有害影响的最大剂量 (无作用剂量) 或浓度。近几十年来，国内外学者们围绕河口区营养盐循环分布、理化因子与初级生产力关系、营养盐生态动力学过程等方面开展了大量研究，为了解富营养化的发生过程提供了重要基础 (孟伟等, 2006)。然而，如何吸收利用相关研究成果，从营养盐基准制定的角度分析相关的科学基础问题，提出有效的操作方式和方法，学术界的关注和系统研究显然不够。同时，学术方面尚存的争议、复杂的河口富营养化机制、地理区域和自然特征的差异、定位 (学术或管理) 各异的研究需求和手段，亦使得河口营养盐基准制定的难度变大。

河口与其他生态系统相比，最基本的生境特征在于受淡水径流及海洋潮汐两种主要动力作用的影响，海陆物质在此交汇，咸淡水体在此混合，理化过程、生物过程复杂多样。

因此，随着经济社会的高速发展，在河口生态系统中，维持浮游植物生长并能调节系统物质循环与能量流动的氮、磷等营养物质引发的河口生态环境问题越来越受到人们的关注。由于河口生态系统的特殊性，河口营养盐控制管理尤为重要，需要通过对河口生态系统特殊性的详细研究与其变化规律的掌握，制定出一套有别于淡水营养盐基准和海水营养盐基准的体系，以有利于相关部门开展河口营养盐监测、评估和管理工作。

从国内外营养盐基准制定的进展来看，河口以及河流、湖泊与湖库等水体的营养盐基准制定普遍滞后于其他水质指标基准的制定，目前仍处于探索阶段。美国早在 1976 年就发布了第一部国家水质基准，1998 年制定了《区域营养盐基准的国家战略》，2000 年前后才分别发布了湖泊与水库、河流、河口及近岸水域、湿地营养盐基准技术指南，以推动各州和各郡制定区域性营养盐基准。欧盟于 2002 年制定了《水框架指令实施战略》，针对过渡水体及海岸水体的参照状态问题提出了指导意见和方法。然而，其主要立足水生态保护角度，虽涵盖了部分生物指标，却并未从营养盐控制角度系统地考虑营养盐管理相关指标。

氮、磷等营养盐对水生生物的毒理作用相对较小，其危害主要在于促进藻类的生长而暴发水华，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盐基准是基于生态学原理和方法来制定的，而不能采用生物毒理学方法来制定。

1.4 典型案例研究

美国和欧盟的营养盐基准研究工作起步较早，近年来取得了不少成效，对我国的河口营养盐基准制定具有借鉴意义。美国 EPA 于 2001 发布了《营养盐基准技术指导手册——河口与近岸水域》，随后沿海各州的环保部门也分别制定了营养盐基准发展计划。虽然截至 2011 年底仍没有哪个州的营养盐基准通过 EPA 的审核而正式生效，但在某些特定水域，其营养盐基准工作已经就绪，并开始按照基准进行有效管理，如切萨皮克湾等（Virginia DEQ, 2004）。美国各州的营养盐基准制定进展见表 1-1。欧盟于 2000 年制定了《水框架指令》（Water Framework Directive, WFD），规定成员国以及准备加入的国家都必须使本国的水资源管理体系符合 WFD 的要求，并共同参与流域管理。欧盟各国的近岸水域营养盐基准也都是在 WFD 的指导下建立的。以下以具体案例来探讨美国和欧盟的营养盐基准研究及管理的经验。

表 1-1 美国各州河口营养盐基准研究进展（截至 2011 年年底）

州	基准制定				敏感指标	基准应用时间
	N	P	Chl-a	浊度		
缅因州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a	未定
马萨诸塞州	W	—	—	—	TP, TN, 可溶性磷, Chl-a, 丝状藻类覆盖度, 漂浮植物, 透明度, DO	未定
罗德岛州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a, 电导率, 透明度	未定

续表

州	基准制定				敏感指标	基准应用时间
	N	P	Chl-a	浊度		
康涅狄格州	—	—	—	—	TP, Chl-a, 透明度	未定
纽约州	—	—	—	—	TP, DO, pH, Chl-a, 浊度, 透明度	未定
新泽西州	—	—	—	W	P	未定
德拉维尔州	W	W	—	W	TP, TN, Chl-a, 浊度	2007
马里兰州	—	—	—	S	TP, Chl-a, 透明度	切萨皮克湾 2004
哥伦比亚特区	—	—	S	S	TP, TN, Chl-a, 浊度	N/A
弗吉尼亚州			W	W	TP, TN, Chl-a, 电导率, DO	Tidal James 2005; York River, 2006
北卡罗来纳州	—	—	S	W	Chl-a	2010
南卡罗来纳州	—	—	—	W	TP, TN, Chl-a, 电导率	2011
佐治亚州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a, 透明度	2014
佛罗里达州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a	2012
阿拉巴马州	—	—	—	—	Chl-a, TP, TN, 透明度	2013
密西西比州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a, 电导率	2011
路易斯安那州	—	—	—	—	TP, TN	未定
得克萨斯州	—	—	—	—	TP, TN, Chl-a, DO, 电导率, 透明度	2011
加利福尼亚州	W	W	—	W	N/A	
俄勒冈州	—	—	S	—	N/A	暂无计划
华盛顿州	—	—	—	—	TP, Chl-a, 透明度	未定

注：N，氮；P，磷；Chl-a，叶绿素 a；TP，总磷；TN，总氮；S，全州；W，特定水域；—，未完成；N/A，不具执行性。

1.4.1 切萨皮克湾

切萨皮克湾是美国东部大西洋沿岸最大的海湾。由于陆地淡水注入，湾内水体分层明显，加上地形特征造成的营养盐滞留和水文循环，在水温较高的季节（5~9月）特别容易导致底层水体严重缺氧。早在1987年，切萨皮克湾计划的合作者就制定了氮、磷减少

40%的目标，以改善海湾的低溶氧状况，参与的州有马里兰州、弗吉尼亚州、宾夕法尼亚州和哥伦比亚特区。2000年达成的《切萨皮克2000协议》制定了到2010年恢复海湾水质的一系列合作行动办法。协议提出到2010年，确定保护水生生物资源所必需的水质状况。这种水质状况由切萨皮克湾的水质基准，包括溶解氧、浊度和叶绿素a含量来定义，这3个指标提供了对生物资源造成影响的营养盐过剩和沉积物污染的最直接参考（EPA，2001）。溶解氧基准是其中最重要的指标。对切萨皮克湾溶解氧修复的目标是：制定和采纳能够维持湾内生物资源的水质以及保护栖息环境的规范。弗吉尼亚州的近岸海域溶解氧标准为5mg/L，其目标有三个：保证海洋生物幼体与成体存活，保证生物正常生长，保证种群个体补充（Virginia DEQ，2004）。但专家认为，在切萨皮克湾，特别是较深的水道，是无法保证溶解氧达标的。而在其他一些地方，比如重要洄游鱼类产卵地，需要更高的溶解氧水平以保证晚冬至初夏之间的鱼类生存。因此，弗吉尼亚州环境质量管理处根据切萨皮克湾的水深、水动力条件和生物群落特征，把水域划分成不同用途的区域，采用不同的营养盐基准进行管理。表1-2显示切萨皮克湾不同水域采纳的溶解氧基准。至2006年，弗吉尼亚州水控制委员会制定的James河Chl-a基准、Mattaponi河和Pamunkey河的溶解氧基准开始生效，标志着切萨皮克湾相关的营养盐基准全部完成。

表 1-2 切萨皮克湾保护水体特殊用途的溶解氧基准

指定用途水体	基准浓度	时间
洄游性鱼类产卵和发育场所	7 日平均值>6mg/L (盐度 0 ~0.5 ppt ^① 的潮滩栖息地)	2 月 1 日 ~5 月 31 日
	瞬时最低值>5mg/L	
	30 天平均值>5.5mg/L (盐度 0 ~0.5 ppt 的潮滩栖息地)	
开阔水域	30 天平均值>5mg/L (盐度>0.5 ppt 的潮滩栖息地)	全年
	7 日平均值>4mg/L	
	瞬时最低值>3.2mg/L (气温<29℃)	
	瞬时最低值>4.3mg/L (气温>29℃)	
	30 天平均值>3mg/L	
深水	1 天平均值>2.3mg/L	1 月 1 日 ~9 月 30 日
	瞬时最低值>1.7mg/L	
深水航道	瞬时最低值>1mg/L	1 月 1 日 ~9 月 30 日

①1ppt=1×10⁻¹²