

湖泊生态环境与治理 08

# 湖泊营养物标准方法学 及案例研究

席北斗 陈艳卿 苏 婧 霍守亮 主编



科学出版社

湖泊生态环境与治理 8

# 湖泊营养物标准方法学 及案例研究

席北斗 陈艳卿 苏 婧 霍守亮 主编



科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

我国湖泊数量众多,并且存在区域差异性,本书在近几年的研究成果基础上,整理了大量国内外相关文献资料,结合该领域的最新研究成果,从水体营养物标准的概念出发,介绍了我国湖泊环境管理的现状,在分析研究美国、欧盟、日本等国家和地区的水质标准发展历程的基础上,建立了湖泊营养物标准的制定框架,以湖泊营养物基准向标准转化的思路为依据,构建了基于结构方程模型的湖泊营养物标准制定技术方法。本书提出的湖泊营养物制定技术方法主要包括湖泊营养物基准向标准转化技术和湖泊营养物标准的经济评估技术。本书以云贵湖区和东部湖区为例,讨论了湖泊营养物标准制定技术方法的应用,提出了两个湖区的营养物标准值,并对建议值进行了技术经济可行性的分析和评估。本书是对当前水体营养物标准制定理论与方法的系统总结,反映了国内外水体营养物标准制定方法的最新研究动向,是湖泊营养物标准相关学科及环境保护部门进行水体富营养化控制、制定营养物标准的参考资料。

本书可供从事湖泊科学、水质标准、水质基准、环境科学与工程等多个学科的科研和管理人员阅读,也可作为环境科学与工程、生态学等专业研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

湖泊生态环境与治理/中国环境科学研究院等编著. —北京:科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046714-0

I. ①湖… II. ①中… III. ①湖泊-生态环境-环境管理-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 302493 号

责任编辑:杨 震 刘 冉 / 责任校对:桂伟利

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 4 月第三次印刷 印张:17 1/4

字数:330 000

定价:3200.00 元(全 24 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《湖泊营养物标准方法学及案例研究》  
编辑委员会

主 编 席北斗 陈艳卿 苏 婧 霍守亮

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

陈艳卿 高如泰 何连生 霍守亮 纪丹凤

李鸣晓 李小平 吕宁馨 牛 蒙 苏 婧

孙从军 唐阵武 吴献花 席北斗 许其功

姚 波 朱建超 祝超伟

## 序

湖泊是大自然赐予人类的“天然宝库”，作为自然生态系统的重要组成部分，与人类生存和发展息息相关，是维系人与自然和谐发展的重要纽带，在支撑区域生态安全和流域经济社会可持续发展等方面发挥着重要作用。强化湖泊保护，合理开发利用湖泊资源，维护其生态系统健康，让湖泊休养生息、恢复生机，已经成为世界各国的共识。

我国湖泊数量众多、分布广泛、类型多样，区域差异性显著，是流域经济社会可持续发展和人们赖以生存的基础，在国民经济的可持续发展中具有重要的价值。过去的三十年来，随着湖泊流域人口增长，工业化、城镇化进程快速推进，大量氮磷进入湖泊，超过其环境承载力，湖泊环境保护与流域经济社会发展之间存在诸多矛盾，缺乏基于区域差异性的分区控制策略，流域经济社会发展模式相对粗放，对湖泊水环境造成极大威胁，致使我国湖泊富营养化趋势日益严重，范围不断扩大、频率不断加快、危害不断加重，严重威胁着湖泊生态系统健康和饮用水安全。我国政府高度重视湖泊环境保护与富营养化的控制，提出了“让江河湖泊休养生息、恢复生机”的战略思想。

做好湖泊富营养化防治的顶层设计和防治策略，必须依靠环境科技的进步。目前，美国、欧盟、澳大利亚等基于营养物生态分区，科学确定营养物基准，已出台和正在出台的湖泊、水库营养物基准和富营养化控制标准，对控制湖泊富营养化、恢复湖泊水生态系统健康发挥了巨大作用。虽然我国的水质标准已有很大进步，而我国在湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究方面几乎空白，在湖泊富营养化管理方面主要依据《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)，缺乏针对不同区域特点的营养物基准和富营养化控制标准，无法体现分区控制和分类指导，与国外先进的水质标准体系相比，仍存在诸多不足之处，还难以达到我国的水生态安全保障的基本目标。基于我国湖泊地理自然、气候、经济社会等区域差异性显著的特点，急需在我国湖泊区域差异性调查和营养物生态分区的基础上，制定不同分区湖泊营养物基准和富营养化控制标准，按照“分区、分类、分期、分级”的总体思路，实施基准标准战略是我国湖泊富营养化防治的全新理念，也是解决我国湖泊富营养化问题的必由之路。本丛书在国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项“我国湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究”(2009ZX07106—001)的大力资助下，在系统开展我国湖泊富营养化区域差异性调查与分析的基础上，阐明了我国湖泊富营养化区域差异规律与驱动机制，建立了能反映区域差异的全国

湖泊营养物生态分区理论和技术方法体系,完成全国8个一级分区和37个二级分区,统筹运用多元统计、模型推断、历史反演等科学方法,提出适合我国国情的不同分区湖泊营养物基准制定的方法学,并在典型湖区进行应用,确定了典型湖区的参照状态和营养物基准,综合考虑湖泊功能、经济社会发展水平等,实现了湖泊营养物基准向标准的科学转化,构建了湖泊富营养化控制分级标准及其评估技术体系,并在五个典型湖泊进行标准应用示范,提高标准的可操作性,基于湖泊水环境承载力构建绿色流域管理体系,并提出了国家湖泊流域营养物分区分类削减策略。本丛书的部分内容填补了我国在湖泊水质基准方面的空白,将完善我国水质标准体系,提高我国湖泊综合管理水平,规范营养物削减和富营养化综合防治体系,引导并集成适用于不同区域不同富营养化程度湖泊污染控制技术体系,推动我国湖泊富营养化的控制和生态恢复工作。本丛书的出版将对我国湖泊保护、综合治理及管理制度的创新产生重要而深远的影响。

为科学开展湖泊富营养化防治并保障其水生态系统健康,需要综合运用科技、法律法规、经济政策等手段,在相当长的时期内统筹解决。在技术上,希望相关的环境科研工作者继续发挥刻苦钻研的工作精神,在已取得成绩的基础上,持续突破创新,为建立基于不同分区营养物基准标准的我国湖泊富营养化防控和绿色流域管理体系做出应有的贡献,同时,期待更多的好书不断面世。

刘鸣亮

2012年7月

## 前 言

地表水水质标准是以保护水生态环境和人体健康为目的,以水质基准为依据,并考虑自然条件和社会、经济、技术等条件,经过一定的综合分析后对水环境中的有害物质和因素所做的限制性规定。地表水水质标准是一定时期内国家环境管理战略目标的核心,是国家环境保护工作的出发点和归结点。水体营养物标准是地表水水质标准体系的一个重要组成部分,是对水体富营养化进行预防、评估、控制 and 管理的科学依据。

营养物标准制定的基础依据是营养物水质基准。美国环境保护局于 1998 年发布了“制定区域营养物基准的国家战略”,针对湖泊水库、河流、河口海湾和湿地四种类型水域,先后编制了湖泊水库、河流、河口海湾和湿地的营养物基准技术指南,提出了营养物基准制定步骤和技术方法,在此基础上,美国环境保护局颁布了 14 个生态区的营养物基准,而美国各州则以这些营养物基准为依据,研究制订各州的营养物标准。由于有关营养物基准标准的研究时间较短,国际上尚未建立起系统的营养物基准标准理论与方法学体系,近年来各国都在加紧开展相关研究和应用工作。

我国湖泊数量众多,水体富营养化严重,不同区域湖泊的富营养化成因、类型、演变过程以及物理、化学、生物学特征等方面存在显著差异,致使我国湖泊的营养物水平和富营养化效应具有很大的区域差异,因此建立具有我国区域特点的营养物标准体系具有重要的现实意义。

在国家水体污染控制与治理科技重大专项课题“我国湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究”和国家重点基础研究发展计划(“973”计划)课题“湖泊水环境基准理论与方法体系”资助下,我们于 2008 年开始在我国率先开展了营养物基准标准研究工作,在充分借鉴国外最新研究成果的基础上,结合我国水环境特征及污染现状,在我国水体营养物标准理论与方法学方面开展了探索性研究工作。

本书以近几年的研究成果为主体,整理了大量国内外资料和文献,结合近十年来该领域最新研究进展和成果,对营养物标准理论与方法学进行了系统总结。本书重点从科学制定不同生态分区的湖泊营养物基准和标准的方法出发,以我国不同地区湖泊特征为依据,提出了营养物标准的制定方法和标准实施的技术经济评估体系,阐述了湖泊营养物标准制定的基本理论、技术和方法,并提供了湖泊营养物标准制定的案例研究成果。

本书力求反映湖泊营养物标准制定技术的最新成果,使之不仅适合作为相关

科研人员和技术管理人员的重要基础读本,也适合作为环境管理部门的决策参考用书,同时也为湖泊保护工作和社会经济发展提供有力的科学支撑。本书可供从事湖泊环境研究、湖泊富营养化控制和管理的专家、学者、管理人员及相关领域的高等院校师生阅读参考。

本书编写工作由席北斗、陈艳卿、苏婧和霍守亮策划和负责。全书共分六章,其中第1章由席北斗、苏婧、高如泰编写;第2章由陈艳卿、苏婧、纪丹凤编写;第3章由席北斗、陈艳卿、霍守亮、唐阵武编写;第4章由苏婧、陈艳卿、霍守亮、纪丹凤、祝超伟编写;第5章由苏婧、许其功、李小平、李鸣晓编写;第6章由何连生、席北斗、姚波、吴献花编写。同时,参加本书有关科研的研究人员还有张蕊、吕宁馨、牛蒙、丁京涛、朱建超等。

由于作者水平和时间有限,书中难免有错漏之处,希望广大读者和同行批评指正,以利于我们进一步提高。

编 者

2013年9月15日

# 目 录

序

前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 我国湖泊环境管理            | 1  |
| 1.1 我国湖泊富营养化现状            | 1  |
| 1.1.1 我国湖泊富营养化的特征         | 1  |
| 1.1.2 我国富营养化湖泊的差异性比较      | 4  |
| 1.2 我国富营养化湖泊管理现状          | 7  |
| 1.3 我国地表水环境质量标准           | 7  |
| 1.3.1 我国地表水环境质量标准发展历程     | 8  |
| 1.3.2 我国地表水环境质量标准存在的主要问题  | 15 |
| 1.3.3 我国地表水环境质量标准框架建议     | 17 |
| 参考文献                      | 20 |
| 第 2 章 国外湖泊水质标准现状分析        | 21 |
| 2.1 美国                    | 23 |
| 2.1.1 水质基准与水质标准的关系        | 23 |
| 2.1.2 水质标准体系              | 23 |
| 2.1.3 美国各州水质标准修订过程        | 27 |
| 2.1.4 美国各州水质基准制定方法        | 31 |
| 2.1.5 美国各州水质标准分析          | 32 |
| 2.1.6 地表水水质标准概述:以路易斯安那州为例 | 32 |
| 2.2 欧盟                    | 38 |
| 2.2.1 欧盟水环境质量标准体系         | 38 |
| 2.2.2 欧盟水环境标准指令的实施        | 52 |
| 2.3 英国                    | 53 |
| 2.3.1 环境质量标准的推导           | 53 |
| 2.3.2 环境质量标准的表述及其内涵       | 58 |
| 2.4 对我国水质标准研究的启示          | 59 |
| 参考文献                      | 61 |
| 第 3 章 湖泊营养物标准制定技术方法       | 63 |
| 3.1 湖泊营养物标准制定框架           | 64 |

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 3.2   | 湖泊营养物基准向标准转化的思路        | 65  |
| 3.2.1 | 水质基准                   | 65  |
| 3.2.2 | 水体用途                   | 65  |
| 3.2.3 | 湖泊营养物基准向标准转化的关键问题      | 70  |
| 3.3   | 湖泊营养物标准指标的选取           | 71  |
| 3.4   | 湖泊富营养物标准功能分级           | 76  |
| 3.5   | 湖泊营养物标准值确定技术方法         | 77  |
| 3.5.1 | 数据的收集                  | 77  |
| 3.5.2 | 阈值的确定                  | 77  |
| 3.5.3 | 标准定值方法                 | 78  |
| 3.6   | 以云贵湖区为例制定营养物标准         | 83  |
| 3.6.1 | 云贵湖区概况                 | 83  |
| 3.6.2 | 重点流域筛选                 | 84  |
| 3.6.3 | 标准值的确定                 | 85  |
|       | 参考文献                   | 98  |
| 第4章   | 湖泊营养物标准经济评估方法          | 101 |
| 4.1   | 营养物标准经济评估框架            | 101 |
| 4.2   | 营养物标准经济评估指标体系          | 101 |
| 4.2.1 | 湖泊营养物标准的经济评估选取指标       | 102 |
| 4.2.2 | 湖泊营养物标准的经济评估的指标选取原则    | 106 |
| 4.2.3 | 湖泊营养物标准经济评估指标数据来源和质量控制 | 106 |
| 4.3   | 营养物标准经济评估方法            | 108 |
| 4.3.1 | 湖泊削减量计算                | 108 |
| 4.3.2 | 湖泊富营养化控制年度成本计算         | 108 |
| 4.3.3 | 湖泊营养物标准经济评估            | 111 |
| 4.4   | 云贵湖区营养物标准的技术经济评估       | 115 |
| 4.4.1 | 环境容量计算                 | 115 |
| 4.4.2 | 社会经济计算                 | 116 |
| 4.4.3 | 经济评估                   | 118 |
| 4.5   | 洱海案例分析                 | 120 |
| 4.5.1 | 洱海流域水环境现状              | 120 |
| 4.5.2 | 洱海流域经济社会情况及排污情况        | 125 |
| 4.5.3 | 洱海水环境容量分析              | 127 |
| 4.5.4 | 系统动力学运行中数据来源与估算        | 128 |
| 4.5.5 | 模拟结果分析                 | 129 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 4.6 经济分析结论及对控制标准的建议 .....         | 137        |
| 参考文献 .....                        | 137        |
| <b>第5章 东部湖区湖泊营养物标准制定 .....</b>    | <b>139</b> |
| 5.1 东部湖区概况 .....                  | 139        |
| 5.1.1 湖区湖泊特征 .....                | 139        |
| 5.1.2 湖泊水质状况 .....                | 141        |
| 5.1.3 湖区经济发展状况 .....              | 143        |
| 5.1.4 湖区人口状况 .....                | 144        |
| 5.1.5 湖区营养物排放状况 .....             | 145        |
| 5.1.6 主要湖泊水库概述 .....              | 145        |
| 5.2 东部湖区富营养化指标分析 .....            | 151        |
| 5.2.1 数据来源与筛选 .....               | 151        |
| 5.2.2 富营养化特征 .....                | 152        |
| 5.2.3 营养物指标与富营养化指标之间的关系 .....     | 157        |
| 5.3 东部湖区营养物标准定值 .....             | 170        |
| 5.3.1 营养物标准指标定值 .....             | 170        |
| 5.3.2 标准值的社会经济可行性分析 .....         | 179        |
| 5.3.3 小结 .....                    | 195        |
| 参考文献 .....                        | 195        |
| <b>第6章 抚仙湖营养物标准制定及其应用研究 .....</b> | <b>196</b> |
| 6.1 抚仙湖湖泊概况 .....                 | 196        |
| 6.1.1 湖泊的地理位置 .....               | 196        |
| 6.1.2 水文水动力学条件 .....              | 201        |
| 6.1.3 湖泊水质 .....                  | 203        |
| 6.1.4 抚仙湖水质参数垂向分布特征 .....         | 207        |
| 6.2 湖泊流域的社会经济发展与环境管理现状 .....      | 208        |
| 6.2.1 湖泊流域的社会经济发展情况 .....         | 208        |
| 6.2.2 产业发展 .....                  | 211        |
| 6.2.3 流域人口与社会经济发展预测 .....         | 212        |
| 6.2.4 流域污染源清单及负荷计算 .....          | 214        |
| 6.3 湖泊的生态分区、营养物基准和营养物标准 .....     | 239        |
| 6.3.1 生态分区 .....                  | 239        |
| 6.3.2 云贵湖区营养物基准与标准 .....          | 240        |
| 6.3.3 抚仙湖水质动态数值模拟 .....           | 240        |
| 6.3.4 抚仙湖湖泊营养物标准的制定 .....         | 252        |

---

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 6.4 基于优化模型的标准技术经济分析 .....       | 257 |
| 6.4.1 湖泊营养物控制标准技术经济评估方法概述 ..... | 257 |
| 6.4.2 湖泊富营养化控制成本模型 .....        | 259 |
| 6.4.3 案例研究 .....                | 260 |
| 6.4.4 营养盐控制研究 .....             | 262 |
| 6.5 国家营养盐控制战略 .....             | 262 |
| 参考文献 .....                      | 264 |

# 第 1 章 我国湖泊环境管理

## 1.1 我国湖泊富营养化现状

我国湖泊的富营养化问题主要源于氮、磷等营养物质的大量输入,造成水生生物或浮游植物过度生长,以致破坏水生生态系统平衡。究其成因,主要是由农村面源污染、未经处理的工业及城镇居民生活污水引起。近年来我国湖泊的富营养化发展迅速。据调查,富营养化湖泊数量占全国湖泊数量的比重不断加大。20 世纪 70 年代末仅有 41%,80 年代后期发展到 61%,90 年代后期达到 77%,我国湖泊富营养化趋势十分严峻(刘鸿亮,2011)。

### 1.1.1 我国湖泊富营养化的特征

#### 1. 主要富营养物质含量特征

##### 1) 氮

近年来,很多科研工作者致力于淡水中氮浓度对藻类生产力制约重要性的研究,得出了无机氮和有机氮浓度与藻类生产力之间的正相关关系,如表 1-1 所示。

表 1-1 湖泊生产力与湖水氮浓度间的相关关系

| 湖泊生产力 | 无机氮/( $\mu\text{g/L}$ ) | 有机氮/( $\mu\text{g/L}$ ) |
|-------|-------------------------|-------------------------|
| 极贫营养  | <200                    | <200                    |
| 中-贫营养 | 200~400                 | 200~400                 |
| 中-富营养 | 300~650                 | 400~700                 |
| 富营养   | 500~1500                | 700~1200                |
| 超富营养  | >1500                   | >1200                   |

有研究表明,我国大中型湖泊和水库的氨氮含量集中在 0.029~1.508 mg/L,南四湖和巢湖氨氮含量接近 1 mg/L,其余湖泊的氨氮含量在 0.2~0.6 mg/L 以内。亚硝酸根的含量较低,范围在 0.002~0.059 mg/L,有半数湖泊值低于 0.01 mg/L。亚硝酸根含量范围在 0.011~1.291 mg/L,含量最小的湖泊为滇池和博斯腾湖,分别只有 0.027 mg/L 和 0.011 mg/L,这与湖泊的地域特征有直接关系。另外,地处新疆、内蒙古、四川、云南高原地区的几个湖泊,含量小于

0.1 mg/L,其余大部分湖泊处于 0.1~1.0 mg/L 之间(刘鸿亮,2011)。

综合近年来的研究来看,湖泊富营养化的不同形式氮的比例,呈以下几个特征:①大中型湖泊无机氮与总氮的比例一般小于 50%,水库的无机氮占总氮的 70%左右,城郊小湖一般为 40%~70%。②湖泊的亚硝酸根与无机氮的比例一般小于 5%。③亚硝酸根与无机氮的比例差异很大,城郊小湖泊一般小于 50%。大中型湖泊基本可分成两类,一类小于 20%,其他大于 50%。④硝氮与氨氮的比值除少数硝氮大于氨氮外,大部分湖泊都是氨氮大于硝氮,污染越是严重的湖泊,表现得越明显。

## 2) 磷

天然水体中的磷的物理状态分为溶解态、悬浮态、胶体态三种。悬浮态与溶解态的磷又可分为正磷酸盐、聚合磷酸盐、有机磷三种化学形态。溶解的正磷酸盐易被植物吸收。非污染状态下的水体总磷浓度一般为 10~50  $\mu\text{g/L}$ 。我国大中型湖泊的总磷含量一般集中在 0.018~0.388 mg/L(金相灿等,1990),湖泊之间也存在一定差距,主要可归结为以下几点:①部分湖泊处于山区,受城市污水影响较小,且该湖泊的初级生产力水平处于中营养状态(叶绿素 a 年均值 3.88  $\mu\text{g/L}$ ),该类湖泊磷来源可能与地质、土壤条件及地表径流输入有关。②区域水体交换能力较弱的湖泊与水库,因特殊的水利条件,如停留时间短、冲刷率高等会导致积累率呈明显差异。③受到城市生活污水输入严重的湖泊,其磷酸盐积累异常,控制城镇污水输入成为控制磷总量的关键。

## 2. 主要富营养化指标特征

湖泊营养物的主要指标可用于衡量水质、评价或预测水体的营养状态或富营养化程度。这些指标包括营养物浓度(如氮和磷的浓度)、植物(大型植物或藻类)生物量(如有机碳、Chl a、透明度)及水质和流域特征(如土地利用)等。

### 1) 营养盐浓度高

与国际上一般发生富营养化的总氮浓度(0.2 mg/L)、总磷浓度(0.02 mg/L)比较,中国 25 个湖泊、水库中氮、磷浓度异常高,总氮浓度全部高于 0.2 mg/L,大多数湖泊为 1.0~5.0 mg/L,有 1/5 的湖泊总氮浓度达到 5 mg/L 以上(图 1-1)。总磷的情况也很类似,92%以上的湖泊总磷浓度超过 0.02 mg/L(图 1-2),国内多年调查资料表明,主要的氮、磷来源为面源。

### 2) 叶绿素 a 含量高

从对我国主要湖泊、水库多年的调查资料来看,湖泊中浮游植物的总数比较高,叶绿素 a 的浓度也比较大。在城市湖泊中,叶绿素 a 指标皆已达到富营养化程度。总体看,水生植物丰富。

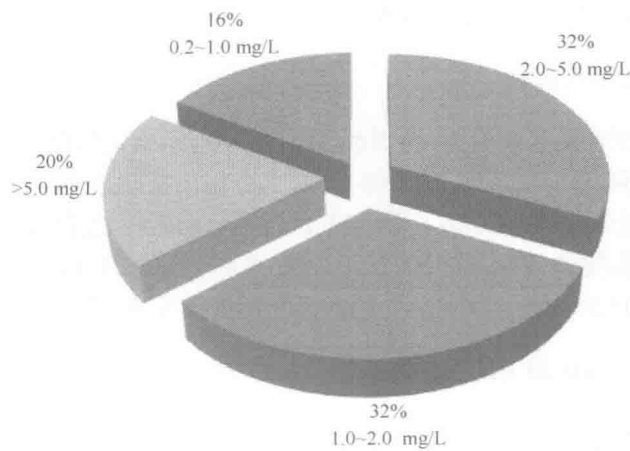


图 1-1 总氮分布浓度比例

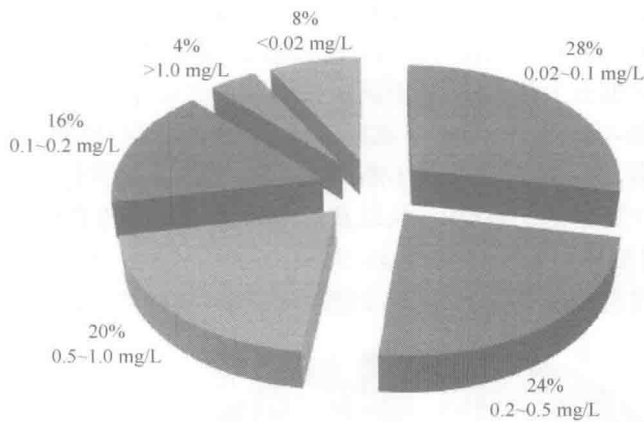


图 1-2 总磷分布浓度比例

3) 透明度低

透明度是湖泊富营养化评价的重要指标,其随水体中浮游植物数量的增加,呈下降趋势。表 1-2 为我国湖泊、水库的透明度数据,湖泊、水库中一半以上的湖泊透明度在 0.6 m 以内,76%的湖泊透明度在 1 m 以内。

表 1-2 中国湖泊、水库透明度分布

| 透明度/m | 0.19~0.30 | 0.31~0.60 | 0.61~1.0 | >1.0 |
|-------|-----------|-----------|----------|------|
| 湖泊个数  | 6         | 9         | 4        | 6    |
| 百分比/% | 24        | 36        | 16       | 24   |

综合来看,我国湖泊、水库透明度较低,城市湖泊尤其严重。究其原因,多是湖

泊富营养化和局部流域水土流失所致。

### 3. 富营养化水质特征

在 20 多个国家重点湖泊中,湖泊水质普遍较差,水质指标低于《地面水环境质量标准》Ⅴ类标准,营养物质氮、磷含量较高,部分湖泊甚至还发生了水华灾害。最新研究表明,截止到 2009 年,26 个国控重点湖泊、水库中,达到Ⅱ类水质的 1 个,占 3.8%;Ⅲ类水质的 5 个,占 19.2%;Ⅳ类的 6 个,占 23.1%;Ⅴ类的 5 个,占 19.2%;劣Ⅴ类的 9 个,占 34.6%;主要污染物质为 TN 和 TP(刘鸿亮,2011)。

## 1.1.2 我国富营养化湖泊的差异性比较

### 1. 富营养化类型的差异性

我国幅员辽阔,湖泊数量众多,类型多样,分布广泛而又相对集中。按湖泊地理分布特点,全国可划分为五个主要湖区,分别是青藏高原湖区、东北平原-山地湖区、蒙新高原湖区、云贵高原湖区、东部平原湖区。鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖及巢湖是我国著名的五大淡水湖,青海湖是我国第一大咸水湖。随着湖泊周边现代经济的迅速发展,农业技术的进步,城镇排污量和人口的不断增加,污染湖泊水体的因素日益增多,大量的营养物质不断流入湖泊,湖泊富营养化日益严重。根据我国对 130 余个主要湖泊的调查资料,以及国内外评价湖泊营养化的经验制定的指标,130 余个湖泊中,富营养型占 45.24%,中营养型占 33.33%,贫营养型占 14.29%,其他富营养类型占 7.14%,如图 1-3 所示(金相灿等,1995)。

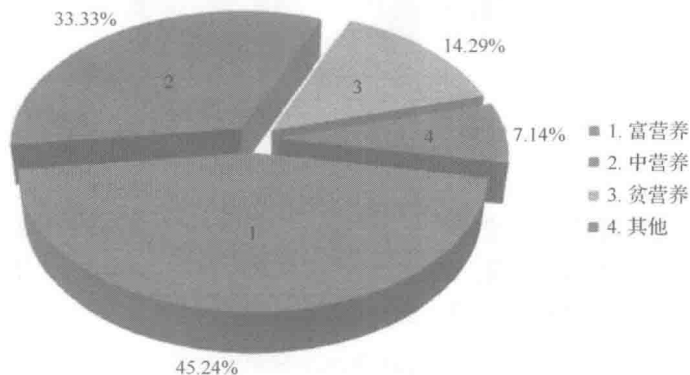


图 1-3 我国主要湖泊营养化状况分类结果

### 2. 自然地理特征的差异性

湖泊的营养状态受多种因素的影响,其中,湖泊所处地理位置是影响湖泊富营

养化状态的最基本因素,地理位置决定湖泊的水温、光照和降水等影响藻类繁殖生长的气候要素,湖泊所在区域的气候要素对湖泊的营养状态起到重要作用。光照和适宜的温度是藻类生长必需的条件。降水除了对湖水具有一定的稀释作用外,同时也会携带营养物质进入湖泊,为藻类的繁殖提供条件。无霜期是指一地春天最后一次霜至秋季最早一次霜之间的天数,一年中无霜期越长,对藻类的生长越有利。同时湖泊所处地理位置还决定湖泊的形态特征,以及湖水与外界进行物质和能量交换的方式和频率,即营养物质的输入和输出。因此,处于不同地理位置的湖泊,其富营养化水平效应存在差异。

### 1) 青藏高原湖区

青藏高原气候严寒而干旱,冬季湖泊冰封期较长,降水稀少,夏季的冰雪融水是湖泊补给的主要形式,湖泊水位变幅一般普遍较小,年内变幅一般不超过 50 cm。湖泊成因类型复杂多样,但其大多是发育在一些和山脉平行的山间盆地或巨型谷地之中,湖盆陡峭,湖水较深,且湖泊的分布与纬向、经向构造带相吻合,只有一些中、小型湖泊分布在崇山峻岭的峡谷区,属冰川湖或堰塞湖类型。湖水矿化度高,具有自南向北增加的趋势。

以青海湖为例,其受所处地域的偏僻性和气候环境等的限制,青海湖水质较国内其他湖泊而言要好很多,如在《中国湖泊环境》第二册中,通过对评价指标和测定结果的分析,运用 Carlson 营养状态指数(TSI),将青海湖定义为贫营养型湖泊。《青海湖流域生态环境保护与修复》一书中根据湖泊营养化状态评定与分类方法,计算出青海湖总评分值为 47 分,营养状态为中营养,但水中氯离子含量高,水质苦涩,不能饮用。杨建新等的文章“青海湖夏季水生生物调查”指出,由于青海湖地处青藏高原东北部,地域偏僻,人口稀少,工业欠发达,故青海湖营养物质较为缺乏,加之湖水水温较低,所以青海湖浮游植物初级生产力较低,当属贫营养型湖泊。青海湖总氮含量的变化为春末夏初最高,夏秋季最低,秋冬季至来年春季逐渐恢复;氨氮含量的变化则为夏秋季大于秋冬季,秋冬季大于春末夏初,有很明显的季节差异性。

### 2) 东北平原-山地湖区

东北平原-山地湖区,由于气温比较低,常年水温难以达到水华藻类生长的适宜温度,富营养化程度不明显。但是近年来,东北平原山地湖区的大部分湖泊都受到了富营养问题的威胁。东北典型湖库无贫营养湖库,以中营养为主,其中松花湖在 2011 年冬季呈现轻度富营养状态。兴凯湖、五大连池和桃山水库水体为轻度富营养化状态,其他湖库为中营养状态。综合近年来的调查看,东北典型湖库处于轻度富营养状态(刘鸿亮,2011)。

东北平原-山地湖区的湖泊富营养化形成主要是两方面的原因:一方面周边有大量的耕地,化肥及农药施用量都很大,农药主要以有机磷农药为主。当地耕地