

范成新 王春霞 主编



长江中下游湖泊 环境地球化学与富营养化



科学出版社

www.sciencep.com

长江中下游湖泊 环境地球化学与富营养化

范成新 王春霞 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“十五”期间中国科学院知识创新工程“长江中下游湖泊生源要素生物地球化学循环与富营养化过程”等课题研究成果的系统总结。研究工作涉及长江中下游地区 30 多个湖泊,重点研究了太湖、巢湖和龙感湖的氮、磷等营养物在湖泊中的环境地球化学循环过程和机制。主要包括:湖泊历史时期营养本底的定量重建及人类作用下的湖泊环境响应;湖泊沉积物中营养元素生物可利用性及其界面环境化学行为和释放风险;湖泊动力再悬浮发生过程、悬浮质垂向分布和氮、磷等营养物在颗粒物上的行为;湖泊沉积物中微生物、酶作用下的生源要素生物地球化学循环过程及机制;湖泊沉积物生源要素内源负荷估算、定量贡献及与水体富营养化的关系。

本书可供湖泊环境化学、环境生物、水文物理、古湖沼学、沉积学、环境保护、水利、水产和流域管理等领域的科研技术人员、政府部门有关人员和高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化/范成新,王春霞主编. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-017828-2

I. 长… II. ①范…②王… III. ①长江流域—淡水湖—环境地球化学—研究 ②长江流域—淡水湖—富营养化—研究 IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 094220 号

责任编辑:朱 丽 袁 琦 吴伶伶 王国华 / 责任校对:张小霞

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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

*

2007 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张: 30

印数: 1—1 500 字数: 583 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

项目主持单位：中国科学院南京地理与湖泊研究所

主 编：范成新 王春霞

副 主 编：周易勇 胡维平 羊向东

编写人员：（以姓氏汉语拼音为序）

包先明	曹秀云	陈 芳	戴 欣	董旭辉
范成新	高 光	胡春华	胡维平	黄清辉
李 军	李 涛	李建秋	李清曼	刘兵钦
刘丛强	刘会娟	刘双江	史红星	宋春雷
孙小杭	万国江	王保军	王春霞	王东红
王东升	王建军	王仕禄	夏卓英	羊向东
张 路	张 昱	张斌亮	郑超海	周爱民
周易勇				

序 言

长江中下游平原是我国东部平原的重要组成部分,长江干流横贯其中,从西向东联串洞庭—江汉湖群、鄱阳—华阳湖群和太湖—三角洲湖群。在我国,大于 1km^2 的淡水湖泊的总面积为 $27\,727\text{km}^2$,其中约40%分布在长江中下游地区,面积大于 10km^2 的淡水湖泊(包括鄱阳湖、洞庭湖、太湖和巢湖)有63%分布在该地区。长江中下游三大湖群的形成多与洪泛洼地蓄水、长江干流河床的摆动和海岸线的变迁等水系演化有关。长江广袤的洪泛平原以及其上发育的星罗棋布的河湖洼地,千百年来深刻地影响着生态系统的形成和人类的经济、社会活动。在该地区湖泊周围,人口相对稠密,经济发达,加之不适宜的人类活动方式,极大地改变了湖泊天然生态系统的物质循环和能量流动,以至于多数湖泊都面临着水质恶化、生态系统退化和富营养化等生态与环境问题。早在“九五”期间,党中央、国务院及地方政府就高度重视湖泊富营养化问题,对位于长江流域的三个大型水源性富营养化湖泊太湖、滇池和巢湖开展了工业废水达标排放外源控制的“零点行动”,此后一直将湖泊水环境治理作为国家水污染重点治理内容,并且在“十五”期间实施了一系列的工程性治理措施。由于对湖泊水污染和富营养化的发生机制研究时间较短、缺乏足够的理论和技术储备,多年来,所采用的外源控制和底泥疏浚等措施对控制湖泊富营养化进程并不总是有效,使得各级政府大量的人力和物力投入往往不能得到预期的回报。

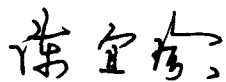
目前国际上对具有洪泛特征的浅水湖富营养化现象的研究尚缺乏成熟的理论。浅水湖泊其垂直空间上边界层界限模糊,水平空间上与陆地环境系统具有剧烈的物质和能量交换等特点,外部动力的干扰使得浅水湖泊中的营养物质跨介质交换和生物利用等环境和生物地球化学过程变得极为复杂,因而完全有别于国际上以深水湖泊和以水生生物为主要对象发展起来的湖泊科学理论。再加上国内外对浅水湖泊中物质的迁移、转化及动态变化和生态与环境效应的研究鲜有报道,较多地关注外源污染的发生和影响,而相对忽视湖内的污染负荷产生过程及疏浚界面的活化机制研究等,使得人们对浅水湖泊内源污染机制及与湖泊富营养化的关系,以及治理效果不佳原因等认识不足,在湖泊富营养化治理方法和措施中缺乏科学理论的指导。因此,对长江中下游地区典型湖泊生源要素环境和生物地球化学的研究,对加深我国浅水湖富营养化发生机制的认识和开展污染治理有着重要的理论意义和实用价值。

该专著包括长江中下游地区湖泊营养本底与湖泊富营养化、生源要素的动力

过程和界面环境化学、生源要素生物地球化学与物质循环,以及内源负荷发生机制及对富营养化贡献等主要研究内容,展示了中国科学院主要相关研究单位在长江中下游地区湖泊环境地球化学等领域近年来的系统性研究成果,将加深对浅水湖生源要素循环机制及湖泊富营养化发生机制的认识。一方面,为国际上尚属空白的浅水湖泊生态与环境演化的基础理论研究服务,推动学科发展;另一方面,为这一地区日趋严重的湖泊富营养化问题及大规模的治理提供科学的决策指导和技术解决方案。

湖泊富营养化问题因其自身的复杂性,还有很多机制尚未被人们认识,它仍将是我国湖泊科学工作者今后一段时间要共同攻克的难题。该书从环境地球化学角度对湖泊富营养化问题的初步揭示,为我们就这一问题进行更深入的探讨推开了一扇门,我们期望有更多更新的相关研究成果出版问世。

国家自然科学基金委员会 主任
中 国 科 学 院 院 士



2006年7月于北京

前 言

在亚热带气候的背景下,长江中下游平原构成河网交错、湖泊湿地密布的生态与环境系统,这在世界级大河中是最具自然特色的景观面貌。根据史书记载和已有的研究结果,在晚近地质时期,与洞庭—江汉湖群、鄱阳—华阳湖群和太湖—三角洲湖群相对应的有云梦泽、彭蠡泽和震泽,但是它们现今的地理位置和自然环境面貌已发生很大的变化,这无疑与全球气候的变化、长江干流的摆动变迁及相应的物质输移路径和沉积中心的改变密切相关。长江广袤的洪泛平原以及其上发育的星罗棋布的河湖洼地千百年来深刻地影响着生态系统的形成和人类的经济、社会活动。平坦的地形和密如蛛网的水系造成了复杂的河湖水力关系,频繁泛滥的洪水通过冲淤变化不断地塑造着这一地区的地貌形态,同时改变江湖之间的水力联系。大量的有机质、悬浮物和泥沙被携带到这一平原上,并在低洼地带沉积下来,为这些湖泊与洼地带来了丰富的营养物质。加上温和的气候与丰沛的降水,使长江中下游地区成为物产富饶、植被茂盛、生物种类多样的富庶之地。

在人-地矛盾越来越突出的今天,长江中下游地区生态与环境问题也越来越突出。如越来越频繁的洪涝灾害及其日趋严重的湖泊富营养化与江河水环境恶化,都说明了人类在开发与利用资源方面存在着严重的认识上的偏差。人类一方面在减少湖泊污染物输出的途径与数量,另一方面却在源源不断地向湖泊中排放污染物。大量未经任何处理的工业、农业与生活污水排入江河,最终都流入湖泊,导致湖泊水质全面下降,普遍趋于富营养化。据我国 1991 年对 121 个大型湖泊的调查,有 51% 的湖泊趋于富营养化,1996 年对 26 个国控湖泊的调查显示,有 86% 的湖泊趋于富营养化,其中绝大多数是地处长江中下游地区的浅水湖泊。

多年来,人们在湖泊污染和富营养化等环境问题的研究上较多地关注外部污染源的发生、向湖内输移过程和机制等,相对忽视湖泊内部的物质(尤其是生源要素 N、P 等)的迁移转化和循环的影响。从当今地球表层系统科学的角度来看,外部的人为活动或自然因素的影响固然重要,但发生于湖泊系统内部的,与水、沉积物和生物等介质相关的能流和物流的生物地球化学循环,对湖泊水环境和生态系统动态演变的诱发或促进作用不容忽视。

在湖泊内部,湖泊沉积物-水界面是最重要的界面之一,对湖泊中物质的循环、转移和储存等有重要作用。在浅水湖泊,风浪和潮流等所产生的扰动作用通常比深水湖泊和海区强烈,界面常处于不稳定状态,表层底泥极易悬浮甚至侵蚀。扰动作用不仅使表层沉积物被分散和搬运,而且明显地增大了沉积物-水接触界面,影

响了水柱的光透能力、水底氧含量、微小生物在底泥和水柱中的分布等,这对于营养物在泥-水界面上的交换、形态转化、生物利用和界面的活化等都极其重要。因此动力作用下湖泊沉积物-水的界面过程是研究湖泊中物质循环的关键因子之一。

对于影响内源营养盐转化的生物地球化学过程,特别是化学环境与微生物的作用,目前依然缺乏研究。颗粒有机物在蓝藻水华暴发中的作用则研究更少。尽管国际上利用同位素方法,开展营养盐循环的研究取得了大量方法与理论上的创新,但是在浅水湖泊营养盐循环方面,依然少有涉及。对于氮、磷等营养元素形态转化的动力机制,同样也缺少研究。这方面,知识积累的缺乏、分析技术的限制(如野外原位测定氮、磷的通量,硝化与反硝化过程等)以及多学科交叉研究的限制(如动力学、微生物学与地球化学过程等),影响了对该领域的深入研究。

在我国大多数湖泊中,藻类生长的限制性营养因子是磷,但可直接进入细胞而被浮游植物直接利用的正磷酸盐磷($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)通常少于总磷的5%。虽然理论研究认为,当水体中有较高含量的溶解性活性磷(约大于0.02mg/L)时,水体才有可能形成较明显的水华,但实际在藻类水华易暴发的夏秋季节,湖水中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的浓度很低,仅用底泥营养盐释放的补偿量来维持藻类水华连续暴发过程,不能获得满意的解释。其主要原因是忽视了生源要素在微生物和酶等作用下可出现短时间尺度内的再生循环现象。湖泊水体中各种形态生源要素之间的转化是非常快的,高等水生植物生长期可大量吸收水体中生源要素,若死亡后未取出湖体,则沉积于湖底,在微生物等作用下分解,对湖体营养负荷产生影响。其他生物类群(如浮游动物、鱼类等)也影响着湖体内生源要素的有效利用形式、转化和循环,是湖泊生态系统能流、物流中具有特殊意义的环节。这种生物作用引起的湖泊生源要素含量和形态的周期性动态变化规律及其与湖泊富营养化过程的关系一直未得到系统的研究。

湖泊沉积物-水界面的微生物化学、地质和生物等特性截然不同于海洋的是其理化性质的突变。在此区域内,化学物质的产生、循环、转移过程异常活跃,且行为特殊。此外,还有界面区,它属于化学元素变化的灵敏区,在湖水和沉积物中变化不显著的行为,在界面区则可表现得非常明显。湖泊生源要素通过界面与上覆水体间发生的、生物积极参与的物理和化学反应,包括氧化和还原、溶解和沉淀、吸附和解吸、悬浮和埋藏、水动力和生物扰动、生物矿化和分解等,这些作用对界面上或水体中生源要素的活性时时刻刻产生着影响。目前我国东部湖泊以及绝大多数城郊湖泊,都面临着水体和沉积物污染问题。为了控制富含底泥的湖泊水体内部源污染,人们往往选用疏挖底泥作为解决其污染方法之一。但是,在工程结束后比较发现,一些湖泊的疏浚效果往往与人们的期望相差很远。这种现象提示:除有技术问题外,可能还缺乏了解不同类型湖泊是否适宜疏浚的科学理论问题(如新生底泥表层的活化)。长江中下游湖泊通常营养本底较高,底泥表层活化现象尤应引起

关注。

我国是浅水湖大国,大部分浅水湖泊集中于长江中下游地区。目前我国还是湖泊富营养化发展进程较快的国家,其中大部分营养程度较高的湖泊也集中于长江中下游地区。因此,进行生源要素生物地球化学过程与富营养化关系的研究,将是国家在基础研究领域亟待解决的重大科学问题之一。“十五”期间中国科学院启动了知识创新工程重大项目“长江中下游地区湖泊富营养化的发生机制与控制对策研究”(KZCX1-SW-12),本书是其研究成果的部分总结。参加研究的单位主要有:中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院水生生物研究所、中国科学院微生物研究所和中国科学院地球化学研究所。课题研究历时4年。本书以长江中下游地区湖泊营养背景—生源要素的动力过程和界面环境化学—物质的生物地球化学循环转化—内源负荷发生机制、贡献与湖泊富营养化为写作主线,系统总结了中国科学院主要相关研究单位近年来针对长江中下游湖泊在该领域获得的最新研究成果,旨在为我国湖泊富营养化发生机制和富营养化治理提供重要的科学理论依据。

本书能顺利出版首先要感谢中国科学院资源环境科学与技术局的大力支持,另外,特别要感谢王苏民先生对本书各章进行了认真修改和补充、王子健先生对部分章节提出了宝贵的修改意见、丁士明博士对全书进行了认真校对。

由于作者水平有限,对诸多问题的研究和认识还欠深刻,存在的缺点和不妥之处恳请读者批评指正和赐教。

编 者

2006年6月

目 录

序言

前言

第一章 长江中下游地区湖泊概论	1
第一节 湖泊形成演变和湖区社会经济	2
一、形成及演变	2
二、历史洪泛及环境影响	5
三、社会经济概况	7
第二节 湖泊富营养化状况及外部原因	8
一、湖泊富营养化状况	8
二、湖泊富营养化的外部原因	9
三、湖泊富营养化灾害	11
第三节 生物地球化学循环在湖泊富营养化研究中的意义	12
一、物理、化学和生物过程对湖泊生态系统营养物质循环的作用	12
二、界面过程对湖泊生物地球化学循环的影响	13
三、国内外湖泊富营养化相关研究成果和特点	15
第四节 典型湖泊的环境特征及研究背景	18
一、典型湖泊的环境特征	18
二、主要野外工作及总结内容	21
参考文献	23
第二章 湖泊生源要素本底及历史时期人与自然相互作用响应	26
第一节 长江中下游湖泊水环境背景与富营养化特征	27
一、长江中下游湖泊富营养化现状	27
二、湖泊营养类型的分布特征和趋势分析	31
第二节 湖泊水质指标与表层沉积硅藻关系	34
一、古湖沼学技术在湖泊环境治理中的应用	34
二、水环境化学指标与硅藻数据库	36
第三节 典型湖泊历史时期营养水平的定量重建	43
一、硅藻定量研究的基本思路	43
二、长江中下游湖泊硅藻-总磷转换函数的建立	46
三、典型湖泊历史水体总磷浓度的定量重建	48

第四节 流域历史时期人与自然相互作用的湖泊环境响应	56
一、指标的环境指示意义	56
二、湖泊钻孔综合环境指标特征	58
三、湖泊历史时期人与自然相互作用的湖泊和流域生态与环境响应	60
四、湖泊历史时期营养本底水平与富营养化进程	62
参考文献	65
第三章 湖泊现代沉积生源要素形态特征及生物可利用性	71
第一节 湖泊沉积物磷形态分布及来源	71
一、湖泊水体和沉积物物化特征	71
二、湖泊表层沉积物中磷的形态分布特征	74
三、湖泊沉积物磷形态与沉积物属性之间的关系	77
四、湖泊沉积物中不同形态磷的来源	78
五、湖泊沉积物中不同形态磷的迁移转化	79
六、湖泊沉积物中酸可提取有机磷的环境意义	79
七、重污染湖区沉积物磷形态的垂向分布特征	81
第二节 湖泊沉积物氮形态的时空分布特征	84
一、湖泊沉积物总氮的时空分布	84
二、湖泊沉积物形态氮的时空分布	86
第三节 湖泊现代沉积物中生物可利用磷的赋存特征	88
一、湖泊沉积物中 BAP 含量的测定	88
二、湖泊现代沉积物中 BAP 的赋存特征	91
三、湖泊沉积物中 BAP 含量的影响因素	95
第四节 梅梁湾水体磷的生物有效性及其与现代沉积物的联系	96
一、梅梁湾水体及颗粒物 BAP 含量测定	97
二、夏季梅梁湾水体 BAP 浓度和 Chla 含量的分布	99
三、湖泊 Chla 含量与 BAP 浓度之间的关系	102
四、夏季梅梁湾水体 BAP 变化及与现代沉积物的联系	103
第五节 湖泊沉积物氮、磷形态与潜在释放	104
一、湖群沉积物环境地球化学性质与释放风险聚类	105
二、潜在释放与沉积物、间隙水和上覆水氮、磷含量	108
三、沉积物氮、磷潜在释放与环境地球化学参数相关性	109
参考文献	113
第四章 浅水湖泊水动力及其作用下生源要素行为	118
第一节 浅水湖泊风浪特征	118
一、观测点位与观测时间	118

二、风浪要素的统计方法	121
三、风浪要素的统计特征	122
第二节 浅水湖泊湖流特征	133
一、龙感湖湖流特征	134
二、巢湖湖流特征	136
三、太湖湖流特征	139
四、浅水湖泊湖流与风场的关系	155
五、太湖长时间尺度流场	160
第三节 风浪作用下沉积物再悬浮与悬浮物垂向分布	167
一、悬浮物原位观测	167
二、悬浮物和沉积物测定	168
三、悬浮物量计算	169
四、风浪作用下悬浮物含量变动及湖底沉积物再悬浮量	170
五、再悬浮沉积物的当量厚度	173
第四节 波浪作用下湖泊水体营养盐分布特征	175
一、龙感湖水体营养盐含量与垂向分布对波浪变化的响应	175
二、巢湖水体营养盐含量与分布随波浪变化	178
三、太湖水体营养盐含量与垂向分布随波浪变化的响应	180
第五节 再悬浮沉积物对湖泊磷的吸附和解吸机制	194
一、沉积物对磷的吸附解吸过程	195
二、沉降颗粒物特征及对磷的吸附解吸过程的影响	197
三、环境因子对磷的沉积物吸附解吸影响	200
第六节 悬浮物颗粒对湖泊水体氨氮的吸附特性	201
一、悬浮物颗粒的 NH_4^+ -N 吸附实验	202
二、 NH_4^+ -N 吸附的动力学过程	203
第七节 磷在沉积物-水界面上的吸附与分配	209
一、磷吸附量计算模型	209
二、湖泊沉积物磷吸附动力学	212
三、磷在沉积物界面上的吸附行为	214
四、介质和环境因子对磷吸附影响	218
第八节 动力作用对悬浮物结构及生源要素转化的影响	224
一、浅水湖泊的动力扰动与界面环境	224
二、湖泊悬浮颗粒物形态学	225
三、模拟扰动条件下湖泊悬浮物结构特性	230
参考文献	236

第五章 湖泊沉积物生源要素界面环境化学	243
第一节 湖泊水体和沉积物间磷形态的相关性	243
一、影响湖泊水体磷形态分布差异的原因	243
二、湖体溶解性氮、磷和硅季节性变化的控制因素	246
三、表层沉积物中不同形态磷的分布特征	252
第二节 浅水湖泊沉积物磷释放模式与释放风险预测	257
一、湖泊沉积物磷吸附理论与实验方法	257
二、不同类型沉积物磷释放对酸碱性变化的响应	259
三、沉积物磷的吸附特性及磷释放风险评估	263
第三节 湖泊沉积物厌氧条件下的氮形态转化	268
第四节 湖泊氮氧化物产生过程及界面动力学影响	274
一、湖泊溶解 N_2O 与 CH_4 的空间分布	276
二、湖泊溶解 N_2O 、 CH_4 和 DO 的夏季昼夜变化	278
三、湖泊中 NH_4^+ 、 NO_3^- 和 NO_2^- 变化	280
四、湖泊 N_2O 与总溶解性固体的关系	280
第五节 疏浚湖泊界面过程生源要素释放机制	282
一、疏浚对沉积物氮、磷释放的短效影响	283
二、疏浚对沉积物内源控制的长效影响	286
三、造成疏浚效果差异的界面活化效应	287
参考文献	290
第六章 湖泊生源要素的生物地球化学循环过程	300
第一节 细菌在典型湖泊沉积物中的分布特征	300
一、细菌在太湖水体和沉积物中的垂直分布	301
二、细菌在巢湖沉积物中的分布特征	309
三、细菌在龙感湖沉积物中的分布特征	313
第二节 湖泊沉积物细菌多样性及细菌解磷作用	316
一、不依赖分离培养获得的沉积物细菌多样性	318
二、培养基富集获得的沉积物细菌多样性	322
三、不同培养基分离获得的细菌 16S rDNA 多样性	325
四、沉积物中解磷细菌的解磷作用	330
五、沉积物中不溶性磷酸盐的生物转化及磷的生物释放	331
第三节 湖泊溶解态磷酸酶的活性及其稳定性	335
第四节 胞外磷酸酶在营养盐转化过程中的作用	345
第五节 生物驱动下湖泊磷的代谢过程	352
第六节 浮游植物的繁盛与磷营养的关系	360

第七节 湖体中碱性磷酸酶的活性及磷的矿化速率·····	371
一、湖泊不同区域主要理化因子及磷形态分布·····	372
二、微囊藻与碱性磷酸酶活性及动力学参数·····	375
三、湖泊磷的分解速率及磷循环·····	377
参考文献·····	379
第七章 生源要素内源负荷与湖泊富营养化关系·····	386
第一节 沉积物-水界面生源要素迁移机制及内源负荷估算·····	388
一、浅水湖泊内源静态负荷研究方法·····	388
二、内源氮释放量及对湖体污染负荷贡献·····	393
三、内源磷释放量及对湖体污染负荷贡献·····	400
第二节 湖泊沉积物-水界面磷的动态负荷估算·····	404
一、湖区风情与沉积物悬浮·····	405
二、模拟风浪条件下的磷释放·····	407
三、风浪作用下的颗粒磷转化·····	411
四、动态释放对湖泊内源负荷的贡献·····	414
第三节 有机质在湖泊富营养化过程中的作用·····	416
一、湖泊沉积物和颗粒物中有机质与其他生源要素关系·····	417
二、初级有机物质降解对湖泊富营养化影响·····	422
第四节 长江中下游湖群内源负荷与富营养化关系·····	430
一、江湖水体生源要素输送及其含量水平·····	431
二、沉积物间隙水中生源要素含量的湖群差异·····	438
三、不同湖群的内源释放差异及原因分析·····	446
四、湖泊沉积物内源负荷对富营养化贡献·····	453
参考文献·····	460

第一章 长江中下游地区湖泊概论^①

长江古名江,又称大江,六朝以后,通称长江,是我国第一、世界第三大河流。长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰各拉丹东雪山西南侧,全长 6300 余千米,总落差 5400m 左右,横跨我国西南、华中、华东三大经济区。干流流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海 11 个省、自治区、直辖市,注入东海。支流还布及甘肃、陕西、贵州、河南、广西、广东、福建、浙江八个省、自治区。长江流域西以芒康山、宁静山与澜沧江水系为界;北以巴颜喀拉山、秦岭、大别山与黄河、淮河水系相接;东临大海;南以南岭、武夷山、天目山与珠江和闽浙诸水系相邻,流域面积 180 万 km^2 ,约占全国总面积的 18.8%,多年平均入海水量约 9600 亿 m^3 ,相当于黄河、淮河、海滦河河川径流总量的 5.5 倍。

流域内的地貌类型众多,有山地、丘陵、盆地、高原和平原,高山、高原主要分布于西部地区,中部地区以中山为主,低山多见于淮阳山地及江南丘陵地区,丘陵主要分布于川中、陕西、湘西、湘东、赣西、赣东、皖南等地,平原主要以长江中下游平原、肥东平原和南阳盆地为主。山地、高原和丘陵约占 84.7%,平原占 11.3%,河流、湖泊等水面占 4%。

长江流域具有优越的自然地理条件,丰富的资源条件,较高的经济发展水平,是我国重要的经济区,长江流域经济是全国经济的主要支柱之一。流域内森林资源丰富,淡水面积广阔,有可供发展水产养殖的淡水面积 206.7 万 hm^2 ,流域内矿产资源丰富,种类繁多,钒、钛、汞、磷储量占全国 80%以上,铜、锑、钨、钴、锰、铁、铅、锌、铝、锡、镍、云母、石棉等储量在全国均占有重要地位。长江干、支流水能资源丰富,蕴藏量为 2.68 亿 kW ,可开发量为 1.97 亿 kW ,年发电量 10 270 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,占全国可能开发量的 53.4%。长江水运条件优越,干支流通航里程 7 万多千米,占全国内河通航里程的 70%。

长江流域不仅以其不可替代的自然资源优势和其他江河无法比拟的区位优势,在我国国民经济和社会发展中扮演着举足轻重的角色,而且在世界级大河流域中也具有显著的特色。长江流域及其以南地区的国土面积只占全国的 36.5%,但其水资源量占全国的 81%,特别是其拥有年径流近 1 万亿 m^3 的淡水资源,不仅对发挥长江流域资源优势和缓解我国北方地区日趋严重的水资源短缺问题至关重要,而且对全国的可持续发展也将产生深远影响。

^① 本章由范成新、王春霞共同撰写和定稿。

流域内上海、南京、武汉、重庆四大城市交通运输条件方便,工业种类齐全,科学技术力量比较集中,经济基础雄厚,是流域的四大经济中心。流域内还有一批大中城市,主要分布在中下游沿江地区。长江流域在占全国不足 18% 的国土面积上,集中了约占全国 40% 的人口和国内生产总值(GDP)。自 20 世纪 90 年代以来,随着三峡工程的兴建、浦东开发区的开放和沿江地区改革开放步伐的加快,始终以高出全国平均约 2 个百分点的速度快速增长,并且在国家西部大开发战略中扮演着主通道的重要作用。GDP 占全国的比重,已由 90 年代初期的 37% 上升到 2000 年的 42.7%,预计 21 世纪其战略地位将会进一步提高。

然而,在流域大规模开发及经济快速发展的同时,长江流域的生态与环境问题越来越突出。人类活动的干扰大大超过自然调节能力,出现了流域环境的生态调节和自我恢复功能大幅降低的问题,特别是长江中下游地区已出现了日趋严重的水环境恶化问题,这严重制约了我国社会经济可持续发展的能力。

第一节 湖泊形成演变和湖区社会经济

一、形成及演变

长江各段名称和别名总计不下 30 种。一般常用的分段名称有:从江源至当曲口,长 358km,称沱沱河,为长江正源;当曲口至青海省玉树县巴塘河口,长 813km,称通天河;巴塘河口至四川省宜宾市岷江口,长 2308km,称金沙江;岷江口至长江入海口,长 2800 余千米,通称长江(图 1-1)。其中,宜宾至湖北省宜昌市,因长江大部分流经四川省境内,俗称川江,长 1030km。湖北省枝城至湖南省岳阳市城陵矶,因长江流经古荆州地区,俗称荆江;江苏省扬州、镇江附近及以下江段,因古有扬子津渡口,得名扬子江。

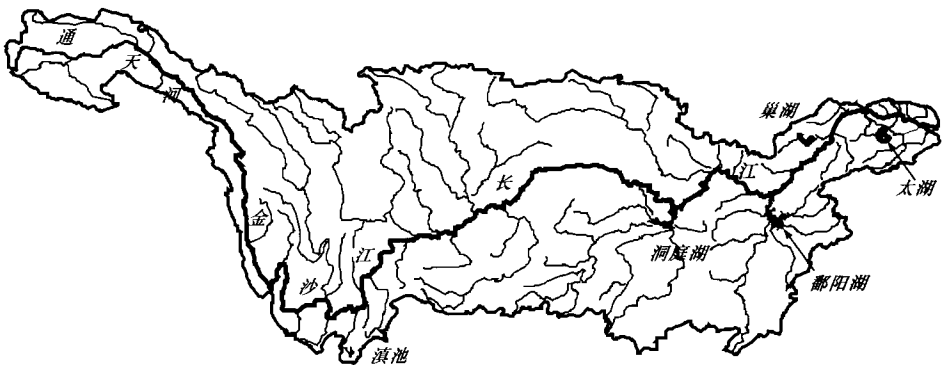


图 1-1 长江干流及主要河流和湖泊分布示意图

长江干流自长江源的青藏高原到湖北宜昌属上游段,长约 4500km,流域面积达 100 万 km^2 ,垂直落差达 5400m(姜加虎等,2004)。其中直门达以上为源头地区,主干河流叫通天河;从直门达到玉树叫金沙江,长江自湖北宜昌至江西湖口为中游江段,长 948km,流域面积 68 万 km^2 ,湖口以下为下游,长 830km,流域面积 12 万 km^2 。长江出三峡进入中下游平原后,在南岸汇合洞庭湖水系的湘、资、沅和澧四水,自武汉纳入汉水,向东自湖口又接纳鄱阳湖水系的赣、抚、信、饶、修。下游江段入注支流有青弋江、水阳江水系、太湖水系、巢湖水系,此外,淮河的部分水量经大运河入江。在长江中下游广袤平原之上分布着三大湖群,分别称为洞庭—江汉湖群、鄱阳—华阳湖群和太湖—三角洲湖群,从而构成河网交错、湖泊湿地密布的生态与环境系统,这在世界级大河中极其罕见。

从长江中下游水系发育而言,早在第三纪,由于喜马拉雅运动的影响,断陷作用增强,在今长江中下游地区形成了若干盆地,如洞庭—江汉盆地、鄱阳盆地和东台盆地等(朱海虹等,1997),在盆地内并发育了向心状水系(窦鸿身和姜加虎,2000)。由于降水稀少,蒸发作用强烈,注入盆地内的河流来水量不大,向源侵蚀作用不强,以致盐湖遍布。进入第四纪,在新构造块断差异运动作用下,间隔洞庭—江汉盆地与鄱阳盆地的黄石—武穴及湖口两道分水岭发生断陷,加之流域转入冷热相间潮湿气候环境,流水侵蚀等切割作用活跃,盆地之间分水岭随之消失,水系贯通,长江中下游水系始形成。这一构造—气候—地貌事件,标志着我国西高东低巨地貌阶梯和巨水系格局的最终奠定,盆地水系贯通形成统一的长江水系,大量的物质携带进入中下游地区,随着物质空间分布的变化,开始了江湖关系演变、长江三角洲建造、陆架堆积扩展的历史。

长江中下游平原是我国淡水湖泊分布最为密集的核心区,沿江湖泊星罗棋布,状若长藤结瓜(图 1-1)。我国目前面积大于 10 km^2 的淡水湖泊约 210 个,分布在长江中下游的就有 132 个,占 63%。著名的五大淡水湖中的四个,即鄱阳湖、洞庭湖、太湖和巢湖均位居本区,总面积达 10 323 km^2 ,约占我国淡水湖泊总面积的 37.2%(王苏民和窦鸿身,1998)。

从成因来看,长江中下游湖泊的形成多与洼地蓄水及长江水系的演变有关(王苏民和窦鸿身,1998)。地处长江中游的洞庭—江汉湖群,主要由长江两岸的江汉湖群和洞庭湖组成(图 1-2),系由长江及其支流汉江、湘、资、沅、澧等河流共同作用而形成;地处长江中下游的龙感湖、黄大湖、泊湖、武昌湖属华阳湖群,系由长江干流河床的南迁摆动而形成。位于长江下游的长江三角洲湖泊,如太湖、淀山湖等,其形成与发展除与河流水系演变有密切关系外,还与海岸线的变迁有直接联系(杨达源等,2000)。在晚近地质时期,与上述三大湖群相对应的有云梦泽、彭蠡泽和震泽,但是它们现今的地理位置和自然环境面貌已发生很大的变化,这无疑与全球气候的变化、长江干流的摆动变迁及相应的水力冲淤密切相关。冰期时气候干