

·学科进展与展望·

# 湖泊及流域科学重点发展领域与方向

冷疏影\* 杨桂山† 刘正文† 吴瑞金† 宋长青\*

(\* 国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085;

† 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**[摘要]** 本文分析了湖泊及流域科学在满足国家需求和学科发展自身方面存在的问题与面临的挑战,以围绕国家重大需求,侧重发展学科理论,强调解决实际问题为原则,提出了湖泊演化过程及人文影响因素的定量区分、湖泊营养盐循环与生物地球化学过程、湖泊-流域物质输移过程与机理、数字流域与湖泊-流域地表过程模拟、湖泊-流域健康与管理等学科前沿与优先研究领域。

**[关键词]** 湖泊及流域科学,面临的挑战,优先研究领域

湖泊是内陆水体的重要组成部分,具有供水、旅游、渔业、水利、航运、污染净化和调节生态等多种利用价值和功能。河湖流域作为人类最重要的聚居和活动场所,随着人类活动的加剧,各种资源与环境问题日渐突出,并且由于所处地域自然环境条件的不同和人类活动强度的差异,呈现明显的区域分异,使得湖泊及流域面临的问题十分庞杂,已经危及流域社会经济可持续发展和人们生活安定。因此,湖泊及流域科学的发展不仅面临着来自学科自身的挑战,而且也面临着如何解决生产实际紧迫问题的压力。

## 1 国家可持续发展战略需求对湖泊及流域科学提出的挑战

### 1.1 湖泊过度开发

湖泊作为地球表面陆地水圈的重要组成部分,在长期的发育和演化过程中,形成了具有完整结构的生态系统,在维系自身生态平衡的同时,也维系了区域的生态平衡,从而显现了其特有的生态服务功能和价值。但由于受认识水平的制约,人类在开发、利用湖泊过程中,往往仅注重其是资源的载体,而忽视其作为功能载体的生态价值。如我国东部平原湖泊湿地的过度围垦,不仅丧失了约 14 000 km<sup>2</sup> 的湖泊面积,造成洪涝灾害频发,而且导致了湖泊湿地系统结构和生态稳定机制的严重破坏,加速水环境恶

化等生态失衡的严重后果或环境灾难。

由于局部、短期利益的驱动,湖泊网围养殖过度发展,一方面阻塞航道造成水上交通不畅,影响泄洪和供水;另一方面,导致有害水草大量生长,加速湖泊沼泽化。同时由于过量投饵,使湖泊营养盐增加、富营养化加剧,严重破坏了原有湖泊生态系统。

### 1.2 湖泊环境恶化

我国东部地区湖泊受快速经济发展和人口密集的影响,水环境问题不仅有西方国家水污染出现的以 COD、重金属为主的有机污染和重金属污染特征,更有主要由氮、磷引发水体富营养化的第二阶段污染的特点,且后者发展趋势相当迅猛。1991 年仅有约 51% 的湖泊趋于富营养化,1996 年 26 个国控湖泊中 85% 总体处于富营养化状态,城郊和城市湖泊 100% 呈富营养或重富营养,一些湖泊在夏秋季经常发生藻类水华暴发,严重影响饮用水供给,给社会、经济和人民身体健康造成极大危害。

中部地区湖泊(主要集中分布在长江中游的沿江地区)湖泊萎缩、沼泽化过程越来越趋明显,不但削弱了湖泊调节洪水径流的能力,加剧洪水威胁程度,而且诱发了湖泊湿地大规模垦殖活动的发生,破坏了湖泊湿地系统的生态结构,导致区域水环境恶化。

西部干旱半干旱地区迫于水资源短缺的压力,大量将进入湖泊的水量通过上游建库或河流筑坝的

本文于 2002 年 11 月 11 日收到。

形式拦截用于农灌等,与暖干化的气候背景相叠加,从而加剧了湖泊退缩、咸化,甚至消亡,诱发了诸如绿洲消失、生物多样性消亡、滨湖植被退化或荒漠化等现象,对区域生态安全构成了严重威胁。

### 1.3 缺乏有效的流域综合管理,地区与行业间的矛盾突出

流域系统是个不可分割的有机整体,其中任一自然与社会经济要素的变化或某一区段的局部性调整均将不可避免对整个流域产生重要影响。经济生存空间的相互挤压和竞争的矛盾,导致流域内部地区之间以及行业之间的冲突不断。流域内各地区为了地区或部门自身的局部利益,使多数地区在博弈中出现逆向选择,忽略本身的资源优势和环境条件,盲目发展小而全的产业结构,造成不同地区之间产业结构的雷同和相互竞争,从而不利于整个流域可持续发展和湖泊资源环境问题的解决。

## 2 湖泊及流域科学自身发展面临的问题

### 2.1 研究对象的复杂性

湖泊作为地球表面陆地水圈的重要组成部分,不仅自身水、气、生物、底泥相互作用、相互影响,构成完整复杂的生态系统,而且由于水的连通性,还深受流域物质流、能量流和信息流的影响。加之湖泊-流域大多人口稠密、经济发达,深受人类活动的强烈干扰,造成自然和人为的各种过程交织,不确定性大,极为复杂,因此难以把握其发生发展的客观规律,进而科学、定量地加以表述和刻划。另外,湖泊-流域区域性强,不同区域间自然与人文背景的巨大差异,造成演变规律各异、面临问题不同。所有这些特点都在一定程度上影响了湖泊-流域科学的迅速发展。

### 2.2 基础性工作薄弱和基础数据积累不足

与海洋、土壤、森林等研究对象相比,湖泊空间尺度相对较小,基础数据积累工作一直未受到应有的重视。有关湖泊野外调查和监测台站很少,缺乏湖泊水体生态环境监测网。而且由于部门利益和条块分割等原因,一些层次不同、目标不同的单位参与了湖泊监测,造成湖泊基础资料分散,缺乏统一规范,数据可比性差,科学价值低。

### 2.3 研究思路与方法急需创新

长期以来,湖泊及流域研究深受地理等相关学科的影响,一直沿袭以经验描述和宏观分析为主要的传统研究思路与方法。研究中野外调查与宏观分析多、微观机理和过程研究少;对各种现象的定性分析

多、定量表述和实验研究少;由于缺乏系统的数据库,对湖泊及流域格局变化与过程模拟的通用模型开发研究更少、且模型参数准确性与适用性差。与此同时,系统、综合的湖泊及流域研究较少,往往只考虑单一因子的作用,而忽视湖泊及流域作为一个相互联系、相互影响的整体,受多因子综合影响。湖泊及流域科学学科的发展急需在研究理论与方法上的创新。

### 2.4 基础理论研究相对滞后

中国是一个多湖泊大国,湖泊的自然特征与地理分布深受地貌阶梯和季风气候的影响,形成了青藏高原、蒙新、云贵高原、东部平原和东北山地平原等五大湖群。20世纪50年代以前仅有少数湖泊的路线考察记录,资料极其零散;60年代至80年代,重点是对全国湖泊进行资源普查,而缺少对典型湖泊的物理、化学和生物过程的机理研究,也缺乏定位观察资料,造成湖泊基础理论研究薄弱;目前,我国湖泊及流域科学又面临着湖泊环境污染与富营养化、长江中下游湖区洪灾频发、西部湖周绿洲消亡与土地荒漠化、湖泊湿地生物多样性急剧减少等严重生态环境问题的挑战。由于以上湖泊及流域各种要素在区域和时间上差异很大,研究更应侧重于揭示湖泊-流域系统操纵与调控机理等方面的普遍规律,完善湖泊及流域科学体系,为资源环境方面的应用研究提供理论基础。

## 3 湖泊及流域科学学科前沿与优先领域

### 3.1 湖泊演化过程及人文影响因素的定量区分

#### (1) 湖泊生命周期与演化

研究湖泊在维系区域生态平衡方面的生态服务功能、揭示不同自然地理区域、不同类型湖泊演化阶段、未来趋势及其与全球气候变化的关系,定量确定维持湖泊良性生态的生态水位与水量,寻求全球变化背景下延长湖泊生命对策,是湖泊及流域科学研究急需解决的重大科学问题。

#### (2) 人与自然相互作用的湖泊响应

研究湖泊流域在人与自然相互作用下的物质(水、营养盐、泥沙、元素)迁移规律及湖泊环境响应过程是当前国际全球变化和流域可持续发展研究的基础科学问题。研究流域土地利用变化、城市化、工业化过程,定量模拟人类活动强烈干扰下湖泊水量变化与物质迁移、累积和生态退化过程与机理,提出有效的调控技术与途径是当前湖泊-流域科学研究的国际前沿。

### 3.2 湖泊营养盐循环与生物地球化学过程

#### (1) 湖泊自然营养本底序列定量重建

围绕湖泊富营养化治理的国家目标和国际古湖沼学研究的热点,开展高分辨率湖泊沉积物营养代用指标的提取与分析,通过现代生物和生物地化指标与湖水主要营养盐指标(总磷、总氮等)函数关系研究,达到对过去湖水古营养水平定量重建的目的。为湖泊环境治理提供营养本底数据和生态修复参考目标。

#### (2) 湖泊水动力对营养盐循环的影响

湖泊水动力对营养盐循环和生物生长影响是浅水湖泊现代过程研究的核心内容之一。湖泊波浪可提高水体复氧的能力、加速底泥营养盐的释放、导致泥沙再悬浮影响水体透明度,并增强湖泊垂直混合。湖流直接影响水体中营养盐、热量等的水平垂直转移过程及其时空分布特征。除此之外,湖泊水动力还可直接影响浮游植物、浮游动物及鱼的生长及优势种群的演替与种群动力学。研究湖泊波浪、湖流垂直与水平微细结构特征及形成机制以及对湖泊内源负荷释放、污染物输移和湖泊生物生长及种群的影响成为揭示湖泊富营养化机理的前提。

#### (3) 营养盐循环的生化动力学机制

在生态系统水平上,重点研究湖泊中各主要水生生物群落的结构组成、功能关系及其对湖泊营养盐循环、转化过程的作用,耦合物理、化学的过程,揭示湖泊生态系统中生物(尤其是微生物、酶)作用驱动下营养盐迁移、转化的途径、模式、动力学机制、调控途径及其潜在的环境效应,确定生物驱动下生源要素再循环的有效负荷量及其对湖泊水环境演化的影响。

#### (4) 湖泊沉积物-水界面地球化学过程与环境效应

湖泊沉积物-水界面是湖泊中最重要的界面之一,包括湖泊近表层湖底沉积物及其间隙水和近界面上覆水体,是其理化性质的突变区。重点研究湖泊营养元素的跨介质迁移与形态转化规律;物质在湖泊沉积物-水界面迁移转化的热力学机制;再悬浮对湖泊生源要素界面过程的影响及环境响应;有机毒物在沉积物-水界面上的降解与生态效应等。

### 3.3 湖泊-流域物质输移过程与机理

#### (1) 营养元素迁移的同位素示踪

随着湖泊及流域资源环境问题的突出,环境同位素地球化学在解决流域侵蚀、营养盐迁移、湖泊水环境污染和生态功能失调等环境问题中发挥着越来越重要的作用。

从湖泊-流域系统的整体性和相互依存性的观点出发,通过湖泊-流域系统同位素循环过程分析,建立流域自然与人为驱动下湖泊营养演化过程的湖泊环境同位素模型,识别不同人类活动方式与强度对湖泊营养状况的影响程度,可为湖泊-流域综合管理决策提供科学依据。

#### (2) 湖泊-流域物质输移、平衡与入湖通量

湖泊-流域物质输移过程研究是湖泊及流域科学最具潜力与应用前景的创新研究方向,涉及沉积地貌学、湖泊物理学、环境化学、土壤学、生物生态学、经济学和流域管理学等众多学科。研究重点包括流域主要污染物产生机制与来源定量识别;污染物在流域河网中的输移、降解过程与模拟;湖泊主要污染物的源汇与收支平衡与水、沙、营养盐耦合模型;复杂平原水网流域物质平衡与通量等,揭示流域内自然和人类活动对物质产生的影响、物质的界面环境行为以及河道与湖滨湿地的污染物净化机制。

### 3.4 湖泊及流域资源可持续利用与生态环境效应调控

#### (1) 湖泊湿地演变、生态功能与调控机理

生态系统的生态服务功能是由生态系统的结构所决定的,湖泊湿地是湖泊生态系统的重要组成部分,长期以来由于认识不够,湿地遭到了严重的破坏,加速了湖泊富营养化等灾变过程。研究湖泊湿地生态系统结构特征、营养盐循环过程和湿地的生态服务价值评估,可为湖泊湿地保护和恢复提供科学依据。

#### (2) 河湖关系演变与洪水灾害响应

湖泊是流域物质和能量的“汇”,河流是湖泊与流域生态环境联结的主要纽带和通道。江河湖泊是不可分割的完整体系,尤其是在水力联系方面,湖泊具有调节江河洪水径流的巨大生态服务功能,湖泊变化将直接影响江河的洪水形势,研究洪水及其灾害对河湖关系演变的响应机理,是湖泊及流域科学研究的重要内容。重点研究湖泊演变的人文作用机制及对洪水过程和水情组合的影响;水利工程对河湖关系自调节机制的影响及水沙过程模拟;水利工程体系对水生态环境影响与调控;河湖关系优化调整与减灾效果评估等。

#### (3) 流域土地利用/覆被变化及其水环境灾害效应与调控

土地利用/覆被变化是研究人类活动对生态环境影响最佳研究途径之一,成为流域科学研究的突破点。土地利用变化将改变流域水文过程和污染物

排放,进而对流域洪涝灾害与河湖水环境污染造成危害。研究重点包括流域土地利用/覆被变化的过程,构建土地利用/覆被变化驱动模型,揭示流域土地利用/覆被变化对产、蓄、排水以及营养盐与污染物产生与输移过程的影响,探讨洪涝与水质恶化机理,提出土地利用优化与水环境灾害影响调控的对策等。

#### (4) 大型浅水湖泊蓝藻异常增殖的生物学机制与控制

蓝藻异常增殖是湖泊生态系统变化的表征之一,导致湖泊蓝藻异常增殖的因素很多,且这些因子之间相互依赖、相互影响,各因子之间的关系是多维的和非线性的。这些因素包括水滞留作用、水体扰动与对流、光合作用有效辐射的垂直变化、溶解氧、营养盐浓度、比例及其形态特征转化与生物可利用性、食物网结构、乃至异常增殖蓝藻的生理学与生态学特征等。研究重点包括蓝藻异常增殖与氮磷形态、浓度、比值的的关系;水体扰动、对流、水温 and 太阳辐射对藻类群落演替影响;鱼类、浮游动物、水生高等植物群落演替对异常增殖蓝藻的影响;蓝藻异常增殖对湖泊生态系统结构、功能演变的影响;生物调控在控制蓝藻异常增殖与湖泊生态恢复中的作用等。

#### (5) 湖泊生态渔业与可持续发展

渔业资源是湖泊的重要资源之一,不合理的捕

捞和网围养殖对湖泊生态与环境的影响已经受到越来越多的关注。在摸清湖泊鱼类群落结构和主要种类的生态特征和生境的基础上,重点研究鱼类群落结构变化和渔业开发对湖泊生态系统的影响和鱼类保护措施,确定不同功能湖泊养殖负荷和环境容量,优化渔业资源开发模式,以实现湖泊资源的持续利用和生态系统健康。

#### 3.5 数字流域与湖泊-流域地表过程模拟

数字流域是以地理空间数据为基础,具有多分辨率、多维显示的、用以表达流域状况的专业化数字系统。它采用数字模型,对采集的数据进行分析、过滤、重组、运算,并利用系统的模型库、知识库、逻辑库、方法库为用户提供各层次的服务,以达到对流域管理、决策的支持。研究重点包括数字流域框架结构,流域基础数据库建立,流域地表过程模拟与模型集成,流域仿真与虚拟等。

#### 3.6 湖泊-流域健康与管理

湖泊-流域健康评价与综合管理是相关学科领域研究和关注的热点。重点研究建立湖泊-流域健康标准与评价指标体系,评估湖泊-流域生态服务价值,划分不同生态功能区,研究退化生态系统修复原理与技术,发展湖泊-流域综合管理的理论与方法,为湖泊-流域生态环境建设和可持续发展提供依据和指导。

## THE CHALLENGING TOPICS AND FUTURE DIRECTIONS OF THE RESEARCH IN LIMNOLOGY AND WATERSHED SCIENCES

Leng Shuying\* Yang Guishan† Liu Zhengwen† Wu Ruijin† Song Changqing\*

(\* Department of Earth Sciences, NSFC, Beijing 100085; † Nanjing Institute of Geography Limnology, CAS, Nanjing 210008)

**Abstract** Based on reviewing the problems in limnology and watershed sciences in meeting the national demands and the development of theories and methodology, this paper proposed some challenging topics to the scientists, covering the process of lake evolution and the quantitative analysis of human impacts, in-lake nutrient cycling and biogeochemical process, the process and mechanisms of material flow in lake-watershed system, digital watershed and the modeling of the surface process of lake-watershed, and ecosystem health and scientific management of lake-watershed.

**Key words** limnology and watershed sciences, challenging topics, future development directions