

中国湖泊学研究进展*

濮培民 屠清瑛 王苏民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所)

提要 本文从六个方面概述了中国湖泊资源利用与湖泊学研究进展: 1. 湖泊考察与综合调查; 2. 物理湖泊学研究; 3. 湖泊沉积与古湖泊学研究; 4. 水生生物与生态学研究; 5. 湖泊水化学与环境保护研究; 6. 湖泊资源开发利用研究。

一、湖泊考察与综合调查研究

中国位于欧亚大陆东南部, 东南面临着世界最广阔的海洋——太平洋, 地势西高东低, 季风气候非常明显。年降雨量由东南沿海的 2000mm 左右向西北内陆递减至 200mm 左右。这样, 形成了我国的湖泊分布以一条沿岗底斯山、念青唐古拉山、巴颜喀拉山、祁连山向大兴安岭延伸线为界, 西北部为以咸水和盐湖为主的内陆湖区, 东南部是以淡水湖为主的外流湖区的基本格局。两个区的湖泊面积分别约为 41137 和 29851km²。中国湖泊面积在 1km² 以上的有 2300 余个, 占国土总面积的 0.8%。主要分布在东部平原、青藏高原、蒙新高原、东北地区 and 云贵高原等五个湖区, 总蓄水量约 708km³, 其中淡水蓄水量约 226km³。此外, 全国还有水库近 87000 座, 蓄水量约 430km³。

复杂的自然地理条件使中国湖泊的类型多样。就成因而言有构造湖、火山口湖、冰川湖、堰塞湖、岩溶湖、风蚀湖、河成湖和泻湖等类型。

中国最大的湖泊是青海湖 (4350km²), 最大淡水湖是鄱阳湖 (3210km²), 最深的湖泊是白头山天池, (深 373m); 最北的湖泊是内蒙古呼伦湖 (48° 57' N), 最南的是云南大屯海 (23° 25' N), 最东的湖泊是东北兴凯湖 (132° 30' E), 最西的湖泊是西藏班公错, (78° 25' E); 最高的湖泊是藏北喀顺错 (海拔 5556m), 最低的湖泊是吐鲁番盆地的艾丁湖 (海拔-154m)。

中国古代就有关于各大湖的位置、面积、变迁、水位、沙情、围垦和渔业等情况的记载^[1, 2]。19 世纪的初叶开展了若干重要湖泊的水文观测和形态测量, 本世纪初, 开始进行湖泊成因演变、水化学和水生生物种类分布的调查研究^[3-5], 并对西藏个别湖泊作了实地考察^[6]。但现代湖泊学研究主要是从解放后发展起来的。建国初期, 中国科学院水生生物研究所和动物研究所对一些中小型湖泊进行了以水生生物为主并结合水文气象、水化学和沉积等内容的调查研究^[7, 8]。不久成立了中国科学院盐湖研究所和南京地理研究所湖泊室, 以加强对湖泊学的研究。从 50 年代后期起, 他们与其他有关研究所、大学和地方水利、水产部门协作, 开展了对青海湖、茶卡、大柴旦等 30 多个盐湖和太湖、鄱阳湖、洪泽湖、巢湖、洞庭湖等五大淡水湖及以江苏为主的全国几十个中小型湖泊的大规模

* 本文承颜京松、周万平、窦鸿身、顾丁锡、陈伟民等同志提出宝贵意见, 特此致谢。

综合调查研究^[9-11]。1977-78年又对青海、东北、内蒙、云贵、新疆、河北、山东等地的典型湖泊进行了综合调查。中国科学院于1951-53年、1960-62年、1973-76年、1979年和1987-88年等,数次组织了包括湖泊学在内的青藏高原和横断山脉综合科学考察^[12, 13]。在全国重要湖泊的综合调查考察的基础上,对中国湖泊的基本特点作了总结^[14, 15, 56, 55]。

70年代后期以来,研究更加深入,许多湖泊资源综合性资料的积累是结合专题研究进行的。例如开展了1978-83年对云南抚仙湖、滇池、洱海三个湖泊以水文物理和沉积为主要研究的综合调查^[17, 18],1980-81年以太湖水质和水产为主的综合调查^[19],1985-87年中日太湖-琵琶湖物理湖泊学合作研究^①、中日东湖生态学合作研究^[19, 68],以及以湖区综合开发利用为主要目标组织的许多综合调查:如1981-83年湖北省对梁子湖、武湖等江汉湖群,1982-86年江西省对鄱阳湖,1983-87年山东省对南四湖,1984-85年湖南省对洞庭湖,1984-85年江苏省对洪泽湖,安徽省对巢湖,河北省对白洋淀等都进行了较大规模的综合调查,其中鄱阳湖组织了79个专题的调查研究,写出了百余万字的报告和专著^[20],成果尤为突出。

通过这些调查研究,使我们对我国重点湖泊的资源和本底、变化、存在问题、合理利用与保护的措施等都有了更深入的了解。

二、物理湖泊学研究

关于湖泊水位、流量、沙量、降水和水温的观测资料主要是解放后随着水利建设事业的发展而逐步开展起来的,同时也开展了湖泊、水库水量平衡的计算。例如1960年前后曾分别对官厅水库、太湖、洪泽湖、三门峡水库、鄱阳湖等提出了水量平衡报告。太湖有200多条进出水道,难以在每条河上设站,通常用巡测办法完成汛期进出水量的测定。近几年来对许多主要湖泊进行了沙量平衡和污染物输入量的计算。

水面蒸发量是湖泊水量平衡和热量平衡中的重要分量。结合水利建设,我国自五十年代后期开始,先后在三门峡、上铨、丰满、桓仁、大浦、芦桐埠、重庆、古田、哈地坡、广州、宜兴、官厅、武昌等地分别建设了有100m²、20m²或10m²大型蒸发池的蒸发实验站,配合E₆₀₁、ГГИ-3000,套盆式80cm和漂浮蒸发器等进行了蒸发和其他水文气象要素的观测。在此基础上总结了各地蒸发经验公式和蒸发器折算系数^[16]。1959年中国科学院南京地理研究所在宜兴团沱湖滨建立湖泊实验站,开展以水面蒸发为重点的多学科研究。站上设有100m²、20m²蒸发池各一个,漂浮蒸发器及其他水文气象观测仪器。对这些观测资料的分析表明,陆上观测的蒸发量与实际湖面蒸发量并不一致,需要进行必要的修正^[21, 22]。在分析影响水面蒸发诸因素的基础上,对漂浮蒸发器E₆₀₁的蒸发量乘以0.89后,得出逼近实际湖面蒸发量的简便方法^[22]。

在热电厂和核电厂冷却水设计中,需要正确计算出热水水面的散热系数,以确定给定水域条件下的最大装机容量。为探求更好地符合我国情况的计算公式,自1976年起组织了全国协作组,在安徽淮南,江西景德镇,新疆红雁池,杭州良山门,太原晋阳湖,山东

①南京地理与湖泊研究所,太湖-琵琶湖中日合作研究科学讨论会论文摘要,1987。

微山湖, 东北汗嘎利水库和广州、北京等地开展了热水水面蒸发散热的野外和室内实验研究, 并研制了绝热壁蒸发器等实验设施。通过研究, 取得了包括水—气虚温差达 $\Delta T_v = 36^\circ\text{C}$ 的极端不稳定层结的大量实验资料^[23]。实验中揭示了极端不稳定时蒸发风速函数与 $\Delta T_v^{1/2}$ 成正比的规律^[24], 并得到了从中性到极端不稳定状态的通用函数^[25]。作者进一步从水面蒸发湍流过程的微结构分析出发, 得到了包括气温、空气粘滞系数、相对湿度、鲍恩比等参数在内的几个新的无量纲量和半经验修正系数, 使所得公式能适用于全国自然水面及热水水面的蒸发散热计算, 其所得误差小于原有各地方性经验公式^①。

60 年代初期曾开展土壤和水面抑制蒸发的研究, 应用单分子薄膜物质在蒸发器中可减少蒸发量 29%。近年来又进行了有水生植物水域蒸发量的研究^②^[26]。

中国南方湿润区, 特别是种植水稻的区域, 陆面总蒸发量往往不低于湖面的蒸发量, 绝对湿度的水—陆差异很小。由于水—陆反射率相差 20—25%, 即水面要比陆面多吸收 1/5—1/4 的太阳辐射能。而两者蒸发潜热损失又差异很小, 从而造成这些地区的湖泊、水库平均上为一热源^[17, 18], 即平均水温大于气温近 1°C , 使水面感热通量平均向上, 对冷空气的加热作用更为明显, 如太湖、抚仙湖可加热冷空气 2—4 $^\circ\text{C}$ 。湖泊这种增加平均气温和最低气温, 降低最高气温和温度变幅的气候效应在尺度为 L 的湖泊(水库)周围的 L/10 内表现得特别明显^[17]。这种气候效应对湖周的柑橘等经济作物的生长有利^[17, 18, 27]^③。

大型浅水湖泊的水温垂直差异很小, 只在晴日静风条件下才有短暂的逆温分布, 而深水湖泊中夏季温跃层明显。对其垂直温度分布的数学模式和内波振动的特征、成因作了探讨, 揭示了温度分布与湖水运动、水温与气温的相关关系^[17, 18]。关于我国若干湖泊的冰情特点, 及其与平衡温度的关系, 以及水库冰冻预报、冰层的膨胀压力等也作了分析研究^[29, 28, 16]。另外, 夏季水库下泄水对下游环境的影响, 工厂冷却水的温度分布和热污染均做了大量的物理与数学模型和现场观测的研究^[30]。

发现由于水—陆辐射、热容量和粗糙度等特性的差异, 除可引起通常以风散度日变化为特征的湖陆风外, 还可引起平均的风辐散和气旋式涡度和风场的 24、12 小时变化。这对于北半球大湖中普遍存在的气旋式环流的形成起着主要作用^④。用梯度观测法在抚仙湖确定了水面曳力系数, 并由此推论出了风涌水高度。还分析了该湖湖流与温度场相互作用和湖流对湖水理化和生物学特性的影响, 从而揭示了深水湖夏季双层环流^[17]。在云南三个大湖和太湖中观测到气旋式环流为主体^[18, 11], 并对风成环流作了数值模拟^⑤。在鄱阳湖湖流中观测到风成流、重力流和长江倒灌顶托流^[20, 37]。太湖工作中, 观测到 64cm/s 的平均流速及 32cm/s/0.5m 的流速切变^⑥, 以及强烈的垂直交换和底泥在日平均风速 10—20m/s 时沉降—再悬浮量可达 2—4cm 的资料。根据双层自动采水器和逐日沉积物捕获器的资料, 计算了悬沙垂直扩散系数和泥沙再悬浮量, 与风速的关系^⑦。另外, 用一组漂流板测定和计算了水平扩散系数^⑧。研制了测波仪^[36]对洪泽湖、鄱阳湖、

①濮培民, 用整层空气动力学法计算我国各地的水面蒸发, 1989。

②毛锐, 东太湖水生植物腾发量的测定积分分析, 1982。

③南京地理与湖泊研究所, 太湖—琵琶湖中日合作研究科学讨论会论文摘要, 1987。

云南的三大湖和太湖等湖泊进行了风浪观测, 并且得到了相应的波浪公式^① [18, 37, 20]。1980年在抚仙湖记录到典型的表面定振波(在其他大湖中也观测到类似现象), 计算了定振波的振幅、周期、流速和衰减系数, 进行了数值模拟^② [17-18]。

三、湖泊沉积与古湖泊学研究

湖泊, 特别是内陆湖泊是湖区气候变化、环境变异的指示器。通过对湖泊的成因、演变及沉积学、古湖泊学的研究可深刻揭示湖区现代和古代环境的演变特点, 并为油气田等沉积矿床的勘探和开发提供科学依据。我国石油工业的急剧崛起促进了湖泊沉积学的研究。早在60年代, 为了深入了解湖泊沉积生油的能力, 围绕“陆相生油理论”, 对我国第一大湖——青海湖进行了多学科综合研究, 着重论述了沉积物中有机质向石油的转化, 微生物在转化中的作用, 以及早期成岩作用^[38]。70年代和80年代初着重研究湖泊沉积环境和建立相模式, 选择云南滇池、洱海、抚仙湖三个不同水深的断陷湖泊, 分别代表不同的演化阶段。在深入研究环境的基础上, 论述了扇三角洲、三角洲、滨岸带沉积及深水湖浊流沉积等模式的动力条件、生物特点和演化过程^[19]。对长江中下游大型浅水湖泊如鄱阳湖、太湖、洞庭湖等的沉积特点也进行了比较研究, 重点分析了三角洲的生长模式以及在波浪和湖流作用下, 沉积物再悬浮一再搬运一再沉积的机制和过程^[29, 35]。结合这些研究, 关于五大淡水湖等的成因、时代和演变发现了一些新的依据, 并且提出了一些新观点^[39-43]。

近十年来随着环境科学的兴起, 湖泊沉积物作为污染物的储存库和释放源, 引起环境科学家和沉积学家的极大兴趣。湖泊水—沉积物界面的物质平衡与交换的化学过程研究已成为一个新兴的领域。目前在巢湖、太湖、岱海、滇池等湖正从沉积物的化学成分、矿物形态、微生物和细菌作用、孔隙水成份以及上覆水体的特点等方面着手去探讨这一问题。这为建立不同湖泊的生态模型提供了有价值的参数。

由于我国大多数油田都分布在中新生代古湖盆之中, 因此, 古湖泊沉积研究具有突出的地位。研究成果集中表现在三个方面: 不同尺度盆地构造沉积旋回的划分和演化的规律; 不同演化阶段盆地沉积体系和勘探沉积相模式; 不同沉积类型储层的孔渗特点和注水开发过程中地下油水运动的规律^[44-46]。自80年代以来, 与油气勘探和开发有关的湖泊沉积研究进入更高的层次, 强调了推复挤压盆地和断裂拉张盆地沉积演化规律的比较研究, 以及成岩作用与油气生成、次生孔隙储层的特点研究。

近年来地球科学的迅速发展, 更多地强调全球变化的研究。湖泊沉积忠实地记录了各种气候和环境变化的信息。应用湖泊沉积具有高分辨率的特点, 通过稳定同位素、孢粉、元素含量、矿物成份和测年资料, 获得气候变化的各种周期。以便掌握气候的过去并且预测其未来, 为全球性的比较研究提供依据。通过对青藏高原^[47], 云南高原^[18], 华北平原^[48], 新疆^[50, 49], 内蒙^②, 长江中下游^[51], 东北^[52]等地区的湖泊研究, 分别建立了上述地区气候变化的序列和湖泊相应的变化。综合起来看, 末次冰期时绝大多数的湖

① 濮培民等, 洪泽湖三河闸前波高波周分布函数的数点, 1978。

② 王苏民, 内蒙岱海全新世环境变迁, 1989。

泊是低湖面, 东部地区在低海面的背景下几乎所有的湖泊完全被冲积层复盖, 湖泊消失。而新疆北部的艾比湖和云南的滇池却表现为高湖面的特点。全新世早期的湖泊扩大以内蒙、新疆、青海、柴达木和西藏南部的湖泊最为明显, 而云南湖泊却表现为湖泊退缩, 我国东部几乎无湖泊分布, 仅在陆架地区见有该时期的泥炭层。全新世中期的气候最宜期, 湖泊大都具扩张趋势, 长江中下游地区也有大面积不连续的沼泽沉积, 但是柴达木和新疆南部, 由于气候干热却开始沉积了厚层的蒸发岩。全新世晚期, 大约 3500~4000a B.P., 几乎所有的湖泊都停止了扩张, 并表现出明显的退缩趋势, 在干旱半干旱地区大量湖泊急剧退缩成为盐湖, 甚至干盐湖。青藏高原上湖泊自第四纪以来经历 3-10 次大退缩, 最高湖岸线比今日湖面高出数十米, 甚至 100-200m^[53, 12]。根据历史记载和沉积物分析, 湖泊水位变化还存在着若干较短的周期, 例如秦汉时期 (大约 2000a B.P.) 为明显的高湖面时期, 小冰期以来还存在 200 年和 50 年的波动周期。

盐湖的研究在我国也具有重要地位。着重研究了各类蒸发岩析出的顺序, 总结了硼酸盐和钾盐矿的形成规律^[54], 主要成盐时期和成盐阶段以及不同时期盐类矿床的空间分布。

四、水生生物与生态学研究

我国湖泊生物资源的利用和水产养殖业有着悠久的历史。但以现代科学研究湖泊生物则是从本世纪二十年代开始, 且主要是在建国以后才得到进一步的发展。通过大量湖泊的综合调查, 逐步弄清了我不同地区湖泊内生物资源的种群、数量和生物量等特点, 发现了许多新属、新种。编著了我国鱼类志、藻类志、轮虫志、桡足类志、枝角类检索, 环节动物、甲壳动物和软体动物的图谱, 高等植物图鉴, 中国植被以及水生维管束植物等一系列专著^[55]。

我国湖泊中现存的藻类约 500 多种。分布上以东部平原一些湖泊中的种类较多, 如太湖有 134 属, 洪泽湖有 128 属; 而其他湖泊中, 一般仅 40-80 属。各湖藻类种群及数量多少不但与湖水理化性质密切相关, 而且也与水生植物生长情况有关。如在水草茂盛的东太湖以硅藻等占优势, 而在无水草的西太湖则以蓝藻为多。在藻类的开发利用方面, 发现云南程海盛产天然藻类——蛋白丰富的拟项圈藻; 进行了螺旋藻的大规模培养和藻类光合作用与环境条件关系及用藻类做饵料和肥料等方面的实验研究^[55-58]。

我国湖泊常见的水生维管束植物有 70 多种。它们是初级生产者, 有的直接可做饲料、肥料、食物、药物或工业原料, 并为湖中的鱼、虾、蟹等多种经济水生动物提供良好的产卵育肥场所。对水生高等植物进行了改良品种和引种试验以及利用它们净化水质和用喜旱莲子草作大水面防浪、消浪设施的研究。同时还在消浪区做种植经济植物及水面无土栽培的试验。

我国湖泊中的浮游动物种类以原生动物为最多, 约 340 种, 轮虫 250 多种, 枝角类 100 多种, 桡足类 200 余种。对各湖区浮游动物的种类组成、数量、分布与变化及其资源利用作了分析研究^[55, 56]。

底栖动物中的虾、螺、蚬、蚌、蟹等有很高的经济价值。近年来已发展了河蚌育珠, 蚌鱼混养, 人工养虾、蟹等增产技术。三角帆蚌、皱纹帆蚌和中华绒螯蟹的人工繁殖试验

已获成功。虾、蟹的放养已向全国各地湖泊逐渐推开^[61, 62]。对于无脊椎动物的个体、种群和群落生态学的调查研究为评价与监测湖泊水质污染提供了依据。

我国淡水鱼类资源丰富, 已发现 800 余种。50 年代初期很多学者研究了一些经济鱼类的生物个体生态(生物学特征)和繁殖生理学, 并将成果用于生产实践。在国际上首创鲢、鳙、青、草等鱼类的人工繁殖, 解决了这些鱼类在湖泊放流和池塘养殖对种苗的大量需要。随后又进一步开展了一些重要水生生物种群生态学的研究。如 60 到 70 年代对青海湖裸鲤种群动态的研究, 对鄱阳湖、太湖、洪泽湖等许多湖泊中鲤鱼、银鱼等主要经济鱼类产卵场及性成熟时间的调查研究和太湖短吻银鱼人工授精实验研究等。在此基础上, 发展了经济鱼类的人工繁殖、养殖、放流、引种、资源繁保与捕捞管理等大水面的增产的技术^[61]。例如太湖短吻银鱼的适时开捕^[60]和引种滇池试验, 在青藏高原可鲁克湖、达连海等放养鲤、鲫、草、鲢家鱼试验, 内蒙黄旗海移殖青海湖湟鱼, 新疆赛里木湖移殖贝加尔湖冷水性鱼类等试验均已获得重大经济效益。此外, 湖中局部网拦精养, 网箱养殖, 鱼鸭混养, 水体农业试验^①, 种植养殖结合多层次综合经营等模式得到了迅速发展。全国淡水渔业总产量在 1985 年已达 3.4817×10^6 t, 比 1978 年增长 2.3 倍。全国可养殖内陆水面约 1.73×10^5 km², 现已利用养殖的仅 3.72×10^3 km²; 其中 7.4×10^4 km² 的湖泊面积只利用 8.9%, 2.0×10^3 km² 的水库约利用 68%^[62]。

80 年代以来, 从优化湖泊生态系统角度出发, 研究合理开发利用湖泊生物资源和保护水质环境的工作得到迅速开展。如包括池塘养殖水产在内的农、林、果、畜、禽、副、渔相结合的多种形式农业生态工程实验研究, 用生物控制法净化水质和污水资源化工程研究^[63-65], 武汉东湖生态系统研究, 以及关于湖泊生态系统类型、结构、功能、物质循环、能量转换各环节诸参数确定的实验和建立数值模式的研究^[65, 66, 19, 32, 33, 34, 68]。最近完成的根据湖泊水化学指标、自然地理指标、生物群落中占优势的初级生产者、营养盐物流途径及鱼产潜力的指标来划分湖泊生态类型的方案已在国内近 60 个湖泊内应用, 为合理利用和保护湖泊资源提供了科学依据^[34]。

五、湖泊水化学与环境保护研究

我国湖泊分布广泛, 所处自然地理条件各异, 因此, 湖水化学类型比较齐全。结合湖泊综合调查和某些专题研究, 已对淡水、咸水和盐湖的水化学特征作了总结^[55]。

反映湖水基本特征的我国湖水矿化度以长江中、下游淡水湖区为最低, 向北、向西增高并逐步转化为内陆咸水和盐湖。鄱阳湖矿化度年均均为 47.62 mg/L, 为全国最低, 协作湖则高达 5.2646×10^5 mg/L, 二者相差 1 万倍。气候变化和人类活动的影响使我国西、北部湖泊矿化度有逐年增加的趋势, 有的淡水湖已演化为咸水湖。

就水化学基本组成而言, 我国淡水湖泊中, 阴离子以重碳酸根为主, 氯根和硫酸根离子含量较低, 碳酸根离子含量最低。它们分别占阴离子平均毫克当量总数的 70.51、12.36、12.41 和 5.08%。淡水湖中的阳离子以钙离子为主, 其平均含量占阳离子毫克当量总数的 41.53%, 钾、钠离子和镁离子则分别为 29.39 和 28.75%。咸水湖中以氯根离子较

^① 区裕雄等, 试论江苏浅水湖泊综合利用的新途径——水体农业, 1982。

高, 其它依次为硫酸根、重碳酸根和碳酸根离子; 它们分别占阴离子平均毫克当量总数的 34.49、27.63、19.90 和 17.26%。咸水湖的阳离子以钠钾占首位, 镁次之, 钙最少; 它们分别各占毫克当量总数的 78、20 和 2%。盐湖的卤水化学与咸水湖情况类似, 阴离子也以氯根居首位, 阳离子也以钠钾占首位。

我国湖水中生物营养物质的分布特点为无机氮, 以硝态氮为主 (0.01–1.01mg/L), 铵态氮次之 (0.01–0.02mg/L) 亚硝态氮最低 (0.01–0.12mg/L); 磷酸根离子含量不高, 绝大多数湖泊在 0.02–0.06mg/L 之间; 铁离子含量也普遍较低, 淡水湖一般在 0.1mg/L 左右, 咸水湖在 0.01mg/L 左右; 而二氧化硅含量则普遍丰富, 绝大多数在 3–10mg/L 之间; 淡水湖的有机物耗氧量一般在 2–10mg/L 之间, 其中滇池和五大连池达 10mg/L 以上。

我国绝大多数湖泊的湖水溶解氧状况是好的, 有些湖泊的局部水域含量偏低, 已遭有机物污染。游离二氧化碳普遍偏低, 湖水 pH 值以东北及长江中下游湖泊较低, 一般在 6.5–8.3 之间, 云贵及黄淮海地区略高, 为 8.4–9.0 之间, 而蒙新、青藏地区绝大多数湖泊在 9.0 以上, 呈碱性或强碱性。总的看, 我国除个别湖泊的局部水域遭酸性废水严重污染外, 一般湖泊尚未呈现酸化现象。

从湖泊生物营养物质分布而言, 我国东北及长江中下游湖泊属富营养型, 蒙新和青藏地区的湖泊属贫营养型或贫营养向营养型过渡, 其余地区的湖泊属营养型。

随着湖区社会、经济的发展, 我国湖泊污染的因素不断增多, 为了保护我国的湖泊环境, 70 年代以来, 国家环保局、中国科学院、国家教委和水利部门先后成立了许多包括水环境保护研究的中央和地方研究机构。广泛开展了对我国湖泊污染状况的调查研究工作, 并制定了适合我国情况的水质评价方法, 地面水环境质量和污水允许排放标准。结合需要还开展了 2000 年我国主要湖泊水质预测和防治规划等研究。目前正全面开展湖泊富营养化、有机污染物和毒物以及重金属污染的致害浓度、毒理学、毒物分解、积累和防治对策实验研究^[35, 42, 59]。这些研究和调查结果表明: 我国湖泊的水质基本上是好的和比较好的, 但局部污染却很严重。据全国 34 个湖泊的统计, 污染主要来自入湖河流 (占 89.6%), 非点源的其他来源次之。当前我国湖水中酚、氰化物、汞、铬、砷的检出率和超标率分别达 50.0%、4.1%; 35.0%、1.3%; 17.0%、3.85%; 25.9%、0.9%; 49.3%、1.2%^[55]。一些污染严重的局部水域和湖泊已造成了明显的危害。如巢湖靠近南淝河河口的水域已无鱼可捕, 滇池的海菜花已骤减, 金线鱼等名贵鱼种已近绝迹。个别承接选矿水的湖泊, 如湖北大冶湖重金属污染已导致鱼体萎缩和歧变。

为防治湖泊污染, 目前除根据湖泊环保法规, 全面制定保护规划, 以加强对工厂工业废水和城市污水的排污管理外, 还开展了合理施肥和使用农药、减少肥料流失, 采用截污, 污水集中处理, 清除湖底淤泥, 利用水生生物净化, 调水冲污等一系列方法的实验研究^[56]。

六、湖泊资源开发利用研究

湖泊是地表储水域中滞水时间较长的一种自然综合体, 对国民经济的发展有其特殊的作用。首先它是人们生活 and 工农业生产的供水水源。此外, 它还具有调节江河径流、减轻

旱涝灾害和发展水利、水电、水产、航运、矿产和旅游等事业的多种功能。各地在湖泊资源的开发利用方面有一个从单一到综合,从局部到整体,从比较盲目到科学规划的逐步发展过程。

大规模的水利建设使许多湖泊在水情上受到人工控制,使其供水、调洪等许多功能得到了很好发挥,但往往产生了水利与水产的矛盾。如由于调控水位与水生植物和鱼类生态习性不一致,闸坝阻断洄游性鱼、蟹类的通道等原因,破坏了原有湖泊生态平衡,使湖泊生物资源衰退。针对这种情况,开展了促进湖泊生物资源增殖的对策及技术措施的研究,提出设置鱼道,灌江纳苗,繁殖保护,放流种苗,加强捕捞的科学管理等措施。近年来开展了三峡工程和南水北调工程对湖泊生态环境影响的评价及对策研究^[67]。

湖泊滩地具有特殊的生态环境,它对于发展水生生物、候鸟、珍禽有特殊功能。据全国 15 个湖泊的调查统计,有滩地 8.572km²,占统计湖泊面积的 44%,主要集中在长江、淮河中下游湖区。滩地围垦曾是 50—70 年代开发湖泊资源的一种重要方式,全国共围湖泊面积 13000km²以上,超过五大淡水湖总面积。因围垦而消亡或基本消亡的大小湖泊达 200 余个。围垦扩大了耕地面积,但削弱了蓄洪能力,增加防洪排涝负担并影响水产资源的自然增殖。针对这种情况,开展了合理开发滩地资源和围区资源的对策研究。提出了制止盲目围垦,退田还湖,退耕还渔,低洼围区蓄洪垦殖以及耕渔结合综合经营等一系列对策^[36, 55]。

我国长江中下游,特别是东部平原地区,湖荡星罗棋布,港汊交织,通过长江及其支流,淮河和京杭大运河等,彼此互相沟通,形成四通八达的水系网。在航运干线上的湖泊普遍建立了船闸,水上交通极为便利。云贵高原和东北地区的湖泊也有航运之利。内流区域的湖泊主要是湖泊内部的渔业和运输航运。

我国水力资源极其丰富,理论蕴藏量为 $6.76 \times 10^8 \text{kW}$,可供开发量达 $3.78 \times 10^8 \text{kW}$,居世界之首。但主要蕴藏于江河内,需修筑水库开发。湖泊水力资源主要分布于边远山区或高原,如洱海、滇池、抚仙湖、日月潭、镜泊湖、博斯腾湖、新疆天池、羊卓雍湖等。东部平原地区湖泊筑坝后也有低水头发电能力。如洪泽湖、洪湖、骆马湖等都已建成了小型水电站。

我国有丰富的盐湖资源,主要分布在青藏高原和蒙新高原,盐湖中已发现的盐类矿物有 100 余种。不但赋存大量的石盐 (NaCl)、天然碱、芒硝、石膏等常见盐类和丰富的硼、钾、溴元素,而且还富有锂、铯、锶、钡、铷、铀、钍、等多种稀有元素。我国盐湖矿床的品位高,储量丰富。如察尔汗盐湖的盐层最大厚度超过 50m,蕴藏着以氯化物为主的盐类 $6 \times 10^{10} \text{t}$,是我国最大的,也是世界上罕见的内陆干盐湖。湖中以产光卤石 ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 著称,氯化钾 (KCl) 储量为 $1.5 \times 10^8 \text{t}$,石盐储量为 $4 \times 10^{10} \text{t}$ 。西藏地区有的盐湖的卤水平均含氯化锂 340mg/L 以上。以石盐为主的吉兰泰盐池和茶卡盐池经洗涤后平均含氯化钠 96% 以上。与海盐和井盐相比,普遍具有成本低、投资少、生产率高、生产稳定等优点。

我国丰富的湖泊旅游资源也已得到了逐步开发。如太湖、滇池、鄱阳湖和杭州西湖、武汉东湖、南京玄武湖等许多湖泊均已成为世界著名的旅游地区。

近年来湖泊资源开发研究着重于制定全面提高经济、社会、生态效益的综合开发规划。首先要全面分析湖区自然资源优势和社会经济人文条件,预测其演变趋势,探讨资源

利用上存在的问题及其成因。在此基础上确定资源开发中的指导思想、开发方向与主要措施, 并制定以多层次合理开发利用和保护湖泊资源为主要依托的全面发展湖区经济、文化、环境建设的综合开发规划。如今许多大湖, 如洪泽湖、南四湖、鄱阳湖等均已制定了综合开发规划。此外, 结合综合调查、专题研究和遥感应用, 正在完善中国湖泊信息数据库和湖泊综合开发规划与管理决策系统。

参 考 文 献

- 【1】施成熙, 湖泊水文学的发展及趋势, 海洋与湖沼, 6 (2), 219-223, 1964 年。
- 【2】施成熙, 湖泊科学研究三十年与展望, 地理学报, 34 (3), 213-223, 1979 年。
- 【3】竺可桢, 杭州西湖的成因, 科学, 4, 1921 年。
- 【4】汪胡楨, 太湖之构成与退化, 水利, 6, 1936 年。
- 【5】施雅风等, 青海湖及其附近地区自然地理的初步考察, 地理学报, 24 (1), 1958。
- 【6】徐近之, 青藏自然地理资料, 科学出版社, 1960 年。
- 【7】饶钦止, 湖北省湖泊调查, 海洋与湖沼, 5 (2), 1963 年。
- 【8】黎尚豪等, 云南高原湖泊调查, 海洋与湖沼, 5 (2), 1963 年。
- 【9】施成熙等, 江苏南部湖泊综合调查研究, 全国地理学术会议论文选集, 自然地理, 1960 年。
- 【10】施成熙等, 巢湖资源调查研究, 华东水利学院学报, 1961 年。
- 【11】中国科学院南京地理研究所, 太湖综合调查初步报告, 科学出版社, 1965 年。
- 【12】中国科学院青藏高原综合科学考察队, 西藏河流与湖泊, 科学出版社, 1984 年。
- 【13】中国科学院青藏高原综合科学考察队, 横断山考察专集 (一), 云南人民出版社, 1983 年。
- 【14】中国科学院南京地理研究所湖泊室, 江苏湖泊志, 江苏科技出版社, 1982 年。
- 【15】王拱道等, 中国湖泊水资源, 农业出版社, 1987 年。
- 【16】施成熙, 湖泊与水文文选, 河海大学出版社, 1989 年。
- 【17】祁延年等, 抚仙湖, 海洋出版社, 1989 年。
- 【18】朱海虹等, 云南断陷湖泊环境与沉积, 科学出版社, 1989 年。
- 【19】三浦泰藏, 朱志荣, 武汉东湖中浮游植物与鲢鱼相互作用的评价, 水生生物学报, (3) 201-207, 1986 年。
- 【20】鄱阳湖研究编委会, 鄱阳湖研究, 上海科技出版社, 1988 年。
- 【21】毛锐, 太湖、团沱湖水面蒸发初步研究, 海洋与湖沼, 9 (1), 1978 年。
- 【22】濮培民, 影响水面蒸发诸因素与蒸发折算系数, 中国科学院南京地理研究所集刊, 第2号, 科学出版社, 1984 年。
- 【23】濮培民等, 晋阳湖水面散热系数公式初步探讨, 第二次中国海洋湖沼科学会议文集, 科学出版社, 1981 年。
- 【24】濮培民等, 极端不稳定温度层结下的水面蒸发, 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议 (1980) 论文集, 科学出版社, 1982 年。
- 【25】濮培民等, 热水水面的蒸发与散热, 海洋湖沼研究文集, 江苏科技出版社, 1982 年。
- 【26】毛锐, 湖泊水域环境蒸发, 中国地理学会陆地水文学学术会议论文集 (1978 年), 科学出版社, 1980 年。
- 【27】陆鸿宾等, 太湖气温效应的分析, 海洋与湖沼, (待发表)。

- 【28】袁静秀等, 骆马湖冬季的热学状况, 海洋湖沼通报, 3, 1981年。
- 【29】新井正、濮培民, 諏访湖与中国东部浅水湖泊的水温与冰冻初步研究, 陆水学杂志, (The Japanese Journal of Limnology), 48 (3), 225-230, 1987年。
- 【30】陈惠泉, 冷却水运动模型相似性的研究, 水利学报, 11, 1-9, 1988年。
- 【31】濮培民等, 湖陆风的个例分析, 海洋与湖沼, 17 (5), 399-411, 1986年。
- 【32】岩田胜哉, 陈少莲等, 鲢和鳙的氮平衡研究, 水生生物学报, (4), 297-310, 1986年。
- 【33】Ma Shijun et al. Ecological Engineering, 185-218, WILEY, 1989.
- 【34】颜京松, 湖泊生态类型分类的一个方案, 环境监测管理与技术, 1 (1), 16-24, 1989年。
- 【35】太湖环境质量调查研究, 上海师范学院学报“环境保护专辑”, 1983年。
- 【36】濮培民, MDCB 脉冲式电接测波仪, 海洋与湖沼, 11 (1), 65-72, 1980年。
- 【37】尹宗贤等, 鄱阳湖水文特征 (I), (II), 海洋与湖沼, 18 (1, 2), 22-27, 208-214, 1987年。
- 【38】中国科学院兰州地质研究所等, 青海湖综合考察报告, 科学出版社, 1979年。
- 【39】朱海虹等, 鄱阳湖的成因、演变及三角洲沉积, 中国科学院南京地理研究所集刊, 第1号, 1983年。
- 【40】陈月秋, 太湖成因的新认识, 地理学报, 41 (1), 23-31, 1986年。
- 【41】孙顺才等, 太湖形成演变与现代沉积作用, 中国科学, (12), 1987年。
- 【42】中国科学院南京地理与湖泊研究所等, 我国主要湖泊水污染现状与趋势预测, 环境污染与防治, 1987年。
- 【43】郑长苏等, 滇池的成因、构造与演化, 中国科学院南京地理研究所集刊, 第3号, 1986年。
- 【44】王苏民等, 裂谷盆地构造沉积演化与油气, 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第5号, 1988年。
- 【45】袁亦楠, 碎屑岩储层沉积基础, 石油出版社, 1987年。
- 【46】吴崇筠, 浊流沉积的主要类型及特点, 沉积学报, (4) 1986年。
- 【47】Wang Fubao, Climatic Change in Qinghai-Xizang(Tibetan)Region of China During the Holocene. Quaternary Research, 28, 1987.
- 【48】孔昭宸, 北京地区距今 30000-10000 年的植物群发展和气候变迁, 植物学报, 22 (4), 1980年。
- 【49】文启忠等, 北疆干旱半干旱区晚更新世以来的气候变迁, 地球科学信息, (6) 1987年。
- 【50】夏训成主编, 罗布泊科学考察与研究, 科学出版社, 1987年。
- 【51】蔡述明等, 三峡工程对荆江南北湖区环境和土壤潜育化的影响, 长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集, 277-300, 科学出版社, 1987年。
- 【52】陈承忠等, 辽宁省南部一万年来自然环境的演变, 中国科学 B 辑, (6) 1977年。
- 【53】陈志明, 青藏高原湖泊退缩及其气候意义, 海洋与湖沼, 17 (3), 207-216, 1986年。
- 【54】孙大鹏, 柴达木盆地钾盐沉积的形成问题, 中国科学 B 辑, (12), 1988年。
- 【55】中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国湖泊概论, 科学出版社, 1989年。
- 【56】中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国湖泊资源, 科学出版社, 1989年。
- 【57】周万平等, 蓝藻湖旋对水稻肥效的研究, 海洋与湖沼, 19 (2), 125-132, 1988年。
- 【58】曾昭祺等, 甲藻的生态学研究及其对水体环境变迁的意义, 河海大学学报, 第15卷, 增刊 (2), 54-64, 1987年。
- 【59】华中师范学院地理系等, 武昌东湖环境质量评价研究, 华中师范学院学报增刊, 1980年。
- 【60】张开翔等, 洪泽湖所产太湖短吻银鱼的初步研究, 水产学报, 6 (1), 1982年。

- 【61】中国淡水养殖经验总结委员会编，中国淡水鱼类养殖学，科学出版社，1973年。
- 【62】黄祥祺，发展湖泊渔业，增强水产后劲，湖泊渔业，(1) 1-6，1987年。
- 【63】颜京松，污水资源化生态工程原理及类型，农村生态环境，(4)，1986年。
- 【64】张雁秋，凤眼莲的容量对净化利用的影响，农村生态环境，(1)，40-43，1989年。
- 【65】王秋华等，南京古泉农村生态工程设计和建设的研究(Ⅲ)，农村生态环境，(1) 5-10，1989年。
- 【66】王骥、王建，浮游植物的叶绿素含量、生物量、生产量相互换算中若干问题，武汉植物学报，(2)：249-258，1984年。
- 【67】中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编，长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集，科学出版社，1987年。
- 【68】Miura, T. Ed., East Lake—A Phytoplanktonic Rous Fishes Dominated Lake Ecosystem, Kyoto University, 1989.

RESEARCH PROGRESS OF LIMNOLOGY IN CHINA

Pu Peimin Tu Qingying Wang Sumin

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica)

Abstract

The utilization of lake resources and research progress of limnology in China are described with following six respects: 1. Expedition and comprehensive investigation of lakes; 2. Physical limnology; 3. Sedimentology and paleolimnology; 4. Hydrobiology and ecology; 5. Hydrochemistry and environmental protection; 6. Development and utilization of lake resources.