

美国湖泊调查评价技术及对我国湖泊生态环境管理的启示

郜志云¹, 陈晓娟², 文 一¹, 续衍雪¹, 孙宏亮^{1,*}

(1. 生态环境部环境规划院 长江经济带生态环境联合研究中心, 北京 100012;

2. 长江水资源保护科学研究所, 湖北武汉 430051)

【摘要】 自2006年起, 美国环保署(EPA)在美国本土开展了两次湖泊生态状况调查和评估, 从营养状态、生物健康和休闲娱乐的关键指标开展评估, 旨在摸清美国湖泊生态环境现状和影响湖泊生态健康的关键胁迫因子。EPA逐步形成了涵盖水文、水质、水生生物等多重指标在内的湖泊调查评估体系, 该体系已成为美国湖泊环境管理系统的重要组成部分, 为湖泊环境保护和水生态系统恢复提供了有力支持。本文从清单建立、重点调查湖泊清单筛选、采样布点、监测指标、评估方法等方面系统研究总结美国湖泊调查评估的关键技术方法体系, 以期为我国湖泊生态环境保护和环境管理工作提供借鉴。

【关键词】 美国; 湖泊调查; 生物健康; 胁迫因子; 启示

【中图分类号】 X820.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252(2020)01-0018-06

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.01.018

引言

我国幅员辽阔, 湖泊数量多、分布广泛。据《中国湖泊志》记载, 我国共有面积大于1.0km²的湖泊2759个, 总面积91 019km²[1], 湖泊的生态状况对于湖区的水产养殖、工农业供水、生活饮用、观光游览等领域中的开发利用均具有十分重要的作用。2018年我国监测营养状态的107个国控湖泊(水库)中, 富营养、中营养和贫营养状态的湖泊(水库)比例分别为29.0%、61.7%和9.3%[2]。与湖泊富营养化伴生的环境问题是蓝藻水华现象, 其对水源地的供水安全影响最为深刻, 滇池、太湖、巢湖、洱海、武汉东湖等湖泊的蓝藻暴发已成为湖泊保护面临的新型生态问题。由于自然环境受到人类活动干扰, 近几十年来我国湖泊数量、分布、面积出现了较为显著的变化, 同时面临水质恶化、富营养化加剧、生物多样性减少、生态退化等各种生态环境问题[3,4]。

1972年, 美国针对海湾性湖泊开展了富营养化调查; 20世纪80~90年代, 为弄清地表水酸化范围、湖泊的水质状况、区域性富营养化状况和湖泊中重金属浓度, 芬兰、瑞典、挪威、英国、加拿大、意大利等国家均开展过广泛的湖泊调查; 1995年, 芬兰、挪

威和瑞典又联合开展了北欧湖泊的调查, 该项目后扩大到丹麦、俄罗斯部分地区、苏格兰和威尔士, 调查面积达到130万km²; 自2006年起, 美国采用物理、化学、生物等手段对湖泊开展了两次调查评估。国际上几十年的环境保护和治理的实践表明, 传统的单一水质目标评价和水质管理方法已经不能解决现实中遇到的复杂环境问题, 亟需统筹物理、化学、生物等手段进行全面生态分析, 在生态的基础上开展保护和治理[5,6]。

本文结合美国开展的全美湖泊调查项目, 研究了美国湖泊调查技术方法体系、评价方法及标准, 以期为我国湖泊水环境管理向水生态管理转变提供借鉴, 为科学推进我国湖泊生态保护和治理提供基础支撑。

1 美国湖泊调查评估介绍

美国1972年通过《清洁水法》提出了“恢复和保持全国水体的化学、物理和生物完整性”的目标, 其中该法律305(b)条款规定美国地方政府(州、保留地、海外领地)环保部门定期对本州河流、湖泊、海湾、湿地等水体进行水质和功能评价, 并向国会报告本区水质状况, 形成国家水质清单[7]。由各州负责对管辖区域内的水体开展监测工作, 但各州收集和提

作者简介: 郜志云(1986—), 女, 助理研究员, 主要从事饮用水水源环境保护、水环境规划与政策研究, Email: gaozy@caep.org.cn。

*** 责任作者:** 孙宏亮(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事饮用水水源环境保护、流域水污染防治规划与管理研究, Email: sunhl@caep.org.cn。

供的水体评估数据各不相同。由于数据的缺乏,美国 EPA 和各州无法对全美湖库水体开展具有统计意义的水质评估,湖泊水质评估数据无法支撑管理决策。

因此,为了掌握美国湖泊生态环境现状和影响湖泊生态健康的关键胁迫因子,2006—2010年,EPA从营养状态、生态健康和休闲娱乐等关键方面开展了全美第一次湖泊调查评估。为了进一步掌握湖泊最新的生物、化学、物理和娱乐适应性状况等各方面的变化趋势以及生态退化类湖泊的关键胁迫因子,在2007年湖泊调查的基础上,2011—2015年EPA开展了第二次调查。湖泊调查评估属于美国水生资源调查项目下的四大统计性调查之一,湖泊调查评价项目为评价全美湖泊水库的生态健康状况提供了统一的、无偏差的基准线,通过调查评价改善提升了各州湖泊环境监测技术能力。

2 美国湖泊调查评估技术

2.1 调查范围

美国湖泊生态调查对象包括除夏威夷外的美国大陆内私有、州政府、部落和联邦政府所有的湖泊、池塘和水库。

2.2 清单建立及重点调查对象筛选

由于没有完备的湖泊清单,调查清单基于美国环保署/美国地质调查局的国家水文数据库提取建立。清单建立的筛选条件为美国本土内面积大于 4hm^2 (2012年的湖泊调查将面积为 $1\sim 4\text{hm}^2$ 的小型湖泊亦纳入调查范围)、深度大于 1m 的淡水湖、水库及池塘,具备至少 0.1hm^2 的开放水域,此外还要求纳入调查范围的湖泊水力停留时间不小于1周。五大湖区以及其他人工景观池塘、污水处置塘、半咸水湖泊、季节性湖泊以及其他无法开展野外取样的湖泊、水库和池塘不纳入调查范围^[8]。

基于湖泊清单数据库,EPA采用广义随机分层抽

样调查的统计学抽样方法确定重点调查对象。按照清单确定原则和重点对象筛选办法,2007年,建立了含49 546个湖泊的清单,随机分层抽样调查确定909个重点调查湖泊^[9];2012年建立含159 652个湖泊水体的清单,在2007年的基础上,确定了1038个重点调查湖泊。

2.3 调查指标

美国重点湖泊调查指标体系的设计原则是必须反映湖泊的生态状况、营养状态以及休闲娱乐服务功能。尽管有许多指标或胁迫因子影响湖泊生态健康状况,但美国湖泊调查采用以下关键指标进行表征(表1)。

化学状况。基于湖泊的营养盐浓度、溶解氧、酸碱度和湖泊的营养状况表征湖泊的化学状况。美国湖泊调查项目中采用叶绿素a作为衡量湖泊中藻类生物量的替代指标,采用该指标评价湖泊的营养状态。

湖岸带生境状况。调查通过湖岸带植被覆盖状况、浅水区生境状况、湖泊水位下降情况、湖岸带人为干扰状况(人类活动的范围和强度)和栖息地生境多样性反映湖岸带的生境状况。其中,湖岸带植被覆盖状况从下层草本植物、中层非木质和木质灌木以及上层树木的覆盖度开展调查。通过悬浮植物、水生植物、灌木等生物群落分布和生物栖息地的环境特征来反映浅水区的生境状况。湖泊水位显著降低会对湖内和湖周围的自然生境产生不利影响,进而对生物群落产生影响,因此采用湖泊水位下降情况衡量水位是否低于全湖正常水位。湖岸带干扰状况指标反映了人类对湖岸带的改造开发程度。湖岸带生境多样性指标是反映水陆交互地带生境状况的综合指标,综合了湖岸带和浅水区所有类型生境的数量和变化状况。

休闲娱乐状况。为了解水体娱乐功能和人体健康相关问题,调查采用水体中藻毒素以及阿特拉津浓度、沉积物中的汞含量作为评价湖泊休闲娱乐状况的

表1 美国湖泊调查指标体系

指标分类	具体指标
化学状况	营养盐(TN、TP); 水理化指标: 溶解氧、温度、pH、浊度、盐度
生物指标	沉积物硅藻; 浮游植物; 浮游动物; 大型无脊椎动物; 生物入侵物种*; 鱼体组织污染*
休闲娱乐状况	病原菌*; 农药(阿特拉津)、沉积物中总汞和甲基汞; 藻毒素(微囊藻毒素); 藻细胞数量(蓝藻计); 藻密度(叶绿素a计)
湖岸带生境状况	湖岸带植被覆盖状况; 浅水区生境状况; 湖泊水位下降情况; 湖岸带人为干扰状况(人类活动的范围和强度); 湖岸带生境多样性

注: 1. 标*的指标作为研究性和调查性指标设计在调查指标体系中, 不参与评估; 2. 农药(阿特拉津)和湖泊水位下降情况为2012年美国湖泊调查新增指标

关键指标，采用蓝藻细胞数和叶绿素 a 浓度作为指示藻毒素存在的辅助评价指标。

生物指标。大型无脊椎动物、藻类、维管植物和其他浮游生物的存在、数量和多样性反映了湖泊的生物学特征，因此采用浅水区的大型无脊椎动物和开放水域的浮游生物来指示湖泊生物健康状况。为了评估生物健康，将硅藻、浮游动物、浮游植物、大型无脊椎动物等指标通过生物完整性评价指数的形式表征。

2.4 采样布点

重点调查湖泊野外采样时，每个湖泊至少布设 11 个采样点，其中湖心最深处布设 1 个点，湖周均匀布设 10 个点。湖周均匀布设的 10 个点分为湖泊栖息生境和水样采样点，采样点位于湖泊浅水区，距离湖岸线 10 米，10 个采样点随机选取起始采样点，最后 1 个采样点同时检测病原菌指标。湖心采样点分别采集水样、水生生物样品和底泥样品，分别检测水化学指标（温度、pH、溶解氧、透明度、营养盐、叶绿素 a 等）、浮游动物、浮游植物、沉积物微囊藻素等。

通过湖心采样点的温度和溶解氧垂直剖面分布来确定水生生物生存的基本条件；对湖泊底泥取沉积物泥芯，测定硅藻沉积物和沉积物汞的含量。通过对底泥沉积物泥芯顶层和底层关键指标分析，来确定底泥沉积物硅藻随时间的沉积变化情况。

2.5 确定评估参照标准

湖泊评价的标准按来源分为两类：一类是大量科技文献或相关标准中广泛接受的固定值标准，如被用于湖泊营养状态分类的叶绿素 a 指标等；另一类指标是基于湖泊调查项目确定的参照湖泊的参照状态进行比较，如生物指标、物理生境指标等。

参照状态是指受人为影响最小的状态或认为可达到的最佳状态。参照湖泊被定义为未受人类影响或受人类影响非常小，且能够维持湖泊最佳用途，代表美国不同生态分区在自然生物学、物理学和化学的完整性。

通过分析美国各个生态分区内湖泊受外界影响的水平，挑选出该分区中的参照湖泊。当参照湖泊确定后，根据参照湖泊指标分布的百分比来确定，评价湖泊状态的“好”“中”“差”。当湖泊指标数值高于同生态分区的参照湖泊分布中最好的 75% 的湖泊时，认为湖泊状态为好，受人为干扰程度最低；当湖泊指标数值低于参照湖泊分布中最差的 5% 时，认为湖泊状态为差，受人为干扰程度最高；中度干扰分布于参照

湖泊的“好”与“差”两者之间。

3 重点调查湖泊评估方法

评估工作中，依据湖泊评估标准，针对表 1 中指标的调查数据进行评估，将样本湖泊不同指标的受人为干扰状况分成“好”“中”“差”三级。

基于调查指标可对湖泊的营养状态、生物健康和休闲娱乐等关键方面进行评估：①评估湖泊生态状况是否能支撑水生植物及水生动物种群；②评估湖泊的娱乐适用性及藻类毒性的暴露风险；③基于叶绿素 a 的营养态评价。

3.1 生物健康评估

湖泊生物健康状态采用浮游生物种群损失指数和生物完整性指数两个模型进行评价，基于评估浮游植物、浮游动物和大型无脊椎底栖动物群落相关特征开展。

浮游生物种群损失是评估生物健康性的重要方法，EPA 用“浮游生物种群损失指数”模型评价作为湖泊总体状况评价的最主要方法。种群损失指数（Index of Taxa Loss）评价方法也叫观测 / 预期（O/E）模型，分类种群对比值就是分类种群的实际数量与天然情况下预期的种群数量的本底值的一个比值。如 O/E 的比为 0.9，分类种群损失就是 10%。

其次是用生物完整性指数（Index of Biological Integrity, IBI）对硅藻沉积物进行评价，这是一种可以直接反映浮游植物群落的方法。生物完整性指数评价方法也叫湖泊硅藻状态指数（Lake Diatom Condition Index, LDCI）。硅藻是一种非常独特的藻类，淡水水体中数量丰富。硅藻细胞壁由硅基化合物构成，这种特性使得硅藻很容易被识别；硅藻死亡后其细胞壁可以很好地保留在沉积物中，沉积物中的硅藻可以很好地指示硅藻存活时湖泊的状态。美国许多学者对湖泊硅藻种类的丰富度、习性和营养结构、对人类干扰的敏感性以及硅藻对自然状态的反应等方面开展了大量研究，在此基础上探索构建各有特色的湖泊硅藻状态指数。在已有研究基础上，湖泊硅藻状态指数最终确定由硅藻种类丰富度、群落结构、群落多样性、习性特征和污染耐受度等五方面特征指标构成。

3.2 休闲娱乐适应性

休闲娱乐适应性及安全性是评估湖泊的另一个指标。湖泊可以进行游泳、滑水、冲浪、钓鱼、划船以及其他休闲活动，但湖泊中存在的微生物、藻毒素及

其他污染物会使人群面临较高的健康风险。

美国湖泊调查项目针对湖泊休闲娱乐时的健康暴露风险提出了三个评估指标：①微囊藻素；②蓝藻；③叶绿素 a。同时，对湖泊中的鱼体组织污染、水域中病菌进行取样评价，从不同方面反映湖泊的休闲适应性。

虽然 EPA 目前没有微囊藻素或其他藻类毒素的水质标准，但世界卫生组织（WHO）已经针对休闲娱乐水体建立了基于叶绿素 a、蓝藻细胞数和微囊藻素暴露健康风险的标准值，详见表 2。

表 2 WHO 对于暴露蓝藻毒素的阈值

指标 (单位)	低风险	中风险	高风险
叶绿素 a ($\mu\text{g/L}$)	< 10	10~50	> 50
蓝藻细胞数 (个/L)	< 20000	20000~100000	≥ 100000
微囊藻素 ($\mu\text{g/L}$)	< 10	10~20	> 20

鱼体组织污染。鱼可以通过生物富集作用，累积高达超过水体浓度 100 万倍的污染物，通过人群食用可对人体产生重大健康风险。EPA 的科学和技术部针对湖泊鱼组织中污染物的调查，识别鱼肉组织中污染物的浓度和特性。

病原菌。使用周围环境肠球菌 (*Enterococcin*) 的浓度方法测定评估病原菌。通过定量聚合酶链反应 (qPCR) 的方法定量 DNA，进而确定肠球菌的菌属。流行病学研究报告表明用 qPCR 方法测定的肠球菌和疾病之间有显著的相关性。目前 EPA 的研究仍集中在确定基于健康的阈值，用来解释 qPCR 的结果。

3.3 营养状态评价

美国湖泊调查项目采用的第三种评估湖泊状态的方法是湖泊富营养化评价，通过湖泊的营养状态评价反映湖泊中的生物生产力。

由于叶绿素 a 是直接测定水体中的初级植物生物量，虽然氮磷营养盐、透明度等其他指标也可以用于评价湖泊营养状态，但叶绿素 a 为最相关、可最直接评估湖泊水体营养状态的指标。因此，调查项目中，湖泊的富营养化状态通过采用全国统一的叶绿素 a 浓度值评价，评价标准见表 3。

表 3 基于叶绿素 a 的美国湖泊营养状态评价分级标准

指标	贫营养	中营养	富营养	重度营养
叶绿素 a ($\mu\text{g/L}$)	≤ 2	2~7	7~30	> 30

湖泊调查项目中各个湖泊的评估结论不能取代各州和部落在《清洁水法》规定下，根据特定水质标准对湖泊水质的评价结果。

3.4 美国湖泊调查评估主要结果

美国湖泊的总体状况根据重点调查湖泊样本调查的结果和随机分层筛选时得到的样本湖泊的权重（反映每个样本湖泊所代表的湖泊数量），采用统计学方法进行估算。数据分析时采用 95% 置信区间的点估计法对全美湖泊总体状况进行统计，湖泊调查的结论误差幅度为 $\pm 5\%$ 。

2012 年湖泊调查关键结论：氮磷污染在美国湖泊中普遍存在；40% 的湖泊有极高浓度水平的总磷，35% 的湖泊有极高浓度水平的总氮。湖泊调查的压力因子中，氮污染是最广泛存在的压力因子，可造成藻类暴发，影响公共健康和湖泊中的休闲娱乐活动。39% 的湖泊水体中检测到藻毒素、微囊藻素，但极少的湖泊（不足 1%）微囊藻素浓度达到世界卫生组织确定的中等或高浓度水平。30% 的湖库水体中检测到农药阿特拉津，超过 99% 的湖泊水体中阿特拉津的浓度可满足淡水水体对该农药指标的浓度要求。31% 的湖泊中大型底栖动物种群已经发生退化，与此同时 21% 的湖泊浮游动物种群退化。

对比 2007 年和 2012 年的湖泊调查数据，2007—2012 年，大多数生态状况退化的湖泊，物理和化学状况没有发生明显改变。蓝藻细胞密度分析显示，2012 年蓝藻生长失衡的湖泊所占比例出现统计意义的显著增加，比 2007 年增加了 8.3%；2012 年湖泊中微囊藻素含量同样出现显著增加，微囊藻素含量比 2007 年增加 9.5%；但是在两次评估中，湖泊中的藻毒素浓度都较低，极少（小于 1%）有超过世界卫生组织规定的浓度风险阈值。

分析同时发现，贫营养湖泊（总磷浓度小于 $10\mu\text{g/L}$ ）在全美湖泊中的比例下降了 18.2%，在所有的湖泊中，每个湖泊总磷平均浓度都有所升高。

4 我国湖泊调查实践

我国 20 世纪 50~60 年代初期已开始关注湖泊富营养化问题，对湖泊营养类型、浮游藻类群落生态学的主要变化等进行了相关研究；20 世纪 90 年代中后期以来，国内学者对武汉东湖、巢湖、洞庭湖、滇池、白洋淀等主要湖泊的富营养化控制方面进行了大量研究；20 世纪 80 年代中期，我国开展了第一次全国湖泊调查，先后对全国主要湖泊的水文气象、地质地貌、水化学特征、水生生物及湖泊资源进行了系统的调查和研究；20 世纪中后期以来，我国针对日益严重的富营养化和有机污染问题，又开展了主要湖泊的

富营养化和湖沼专项调查研究^[1,10-12]；从“九五”时期开始，太湖、巢湖、滇池、丹江口水库及其上游地区等重点湖库先后被纳入我国重点流域开展水污染防治工作^[13]；2007—2008年，由原环境保护部牵头，会同国家发展改革委、水利部、地方政府共同组成领导小组，针对影响我国水环境安全和对社会经济发展有决定性作用的九大湖泊水库开展全国重点湖泊水库生态系统调查、评价，制定水环境监控、预警、风险管理和综合治理方案等工作，统称湖泊生态安全评估项目。

2011年6月，财政部会同原环境保护部联合印发《湖泊生态环境保护试点管理办法》（财建〔2011〕464号），决定开展湖泊生态环境保护试点工作，对面积在50 km²以上、有饮用水水源地功能或重要生态功能、现状总体水质或试点目标水质好于三类、流域土壤或沉积物天然背景值较低的湖泊，适当安排资金引导建立湖泊生态环境保护长效机制，鼓励探索“一湖一策”的湖泊生态环境保护方式。2014年，《水质较好湖泊生态环境保护总体规划（2013—2020年）》印发^[14]，为推进规划实施，原环境保护部制定了《湖泊生态安全调查与评估技术指南（试行）》，为各地开展水质较好湖泊生态环境保护工作提供支撑。2017年，中办、国办印发《关于在湖泊实施湖长制的指导意见》，要求到2018年底前在湖泊全面建立湖长制，这是我国湖泊管理制度和运行机制的重大创新，湖泊环境管理进入新时代。

5 美国湖泊调查项目经验启示

5.1 动态更新我国湖泊清单，研究建立重点湖泊分级管理体系

借鉴美国湖泊清单的建立经验，研究论证湖泊清单的准入条件。充分利用水利普查、卫星遥感数据、生态环境保护信息化工程等资源，将完善湖泊清单纳入地方申报江河湖泊生态环境保护专项资金的前置条件。动态更新常年水面面积1 km²及以上的2865个湖泊（其中，淡水湖1594个，咸水湖945个，盐湖166个，其他160个）的基本情况。

在湖泊清单基础上，综合考虑行政跨界、湖面面积、水深、使用功能、生境等因素，研究筛选我国重点环境监管湖泊名录，实施我国湖泊的国控、省控、市控等分级管理，明确我国重点湖泊监管对象。

5.2 完善我国湖泊调查技术指南，定期分区开展湖泊调查工作

美国湖泊调查与评价最大的特点就是基于美国不同生态分区开展，不同水生态区内的湖泊生态系统特点不同，这是美国湖泊调查最为成功的特点之一。我国《湖泊生态安全调查与评估技术指南（试行）》，侧重生态安全、生态价值评估，且评估方法复杂，无法反映我国湖泊总体生态健康状况。借鉴美国经验，应考虑我国湖泊的特点，明确湖泊生态分区及不同分区内湖泊水生态基准，优化并完善我国湖泊调查技术指南，侧重筛选反映湖泊的生态状况、营养状态的调查内容，筛选最具科学性和代表性的调查内容。湖泊生态状况变化趋势应从大时间尺度长时间序列来反映，建议以五年为周期，定期开展湖泊生态状况调查，全面掌握我国湖泊生态状况演变趋势。

5.3 优化湖泊水生态环境监测指标，依托“十四五”重点流域生态环境保护规划推动水生态监测发展

我国湖泊保护和管理的标准支撑体系主要由湖泊水质采样标准、水质评价标准等方面标准构成，涉及湖泊水生生物、沉积物、湖泊生态健康及安全等方面的标准尚属空白^[12]。我国湖泊环境监测侧重于水环境的理化指标，不能完全反映湖泊的水生态健康及安全状况。考虑到当前我国湖泊保护面临传统的水污染问题和蓝藻暴发等新型生态问题，应借鉴国内外湖泊调查的指标设置，除了水质理化指标外，应考虑将沉积物理化指标、水生生物（浮游生物、蓝藻等）指标纳入湖泊生态环境监测体系。结合“十四五”重点流域规划编制工作，将河流、湖泊等地表水体的水生态监测基础和作为重要任务纳入“十四五”重点流域规划，推动我国水生态环境监测工作向前发展。

5.4 建立湖泊评价的方法体系，科学诊断我国湖泊生态环境状况

考虑到我国湖泊分区特征，应尽快建立我国包括湖泊生态、休闲娱乐、富营养化评价的方法体系。重点评价湖泊是否能支撑水生态植物及动物的种群、湖泊的娱乐适用性及藻类毒性的暴露风险、基于叶绿素的营养态评价。研究种群损失指标、生物完整性指数的适宜性，建立我国的浮游植物及浮游动物的种群评价方法，为全面评估我国湖泊生态状况提供借鉴。

以湖泊评价方法为基础，采用随机抽样和重点调查相结合的方法，评估我国重点湖泊的生物多样性、

休闲娱乐、富营养化的主要环境问题，为湖泊水生态环境管理提供决策支撑，实现湖泊环境监管向湖泊生态环境状况监管转变。

参考文献

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 生态环境部. 2018 年中国环境状况公报 [R]. 北京: 生态环境部, 2018.
- [3] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 799-810.
- [4] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布 [J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(03): 394-401.
- [5] US EPA. The Watershed Protection Approach: Annual Report 1992(EPA 840-S-93-001)[R]. Washington, DC: US EPA, 1993.
- [6] 王圣瑞, 郑炳辉, 金相灿, 等. 全国重点湖泊生态安全状况及其保障对策 [J]. 环境保护, 2014, 42(4): 39-42.
- [7] National Research Council. Assessing the TMDL Approach to Water Quality Management[M]. Washington, DC: National Academy Press, 2001.
- [8] USEPA. National lakes assessment 2012: a collaborative survey of lakes in the United States (EPA 841-R-16-113)[R]. Washington, DC: US EPA, 2016.
- [9] US EPA. National Lakes Assessment: A Collaborative Survey of the Nation's Lakes (EPA 841-R-09-001)[R]. Washington, DC: US EPA, 2009.
- [10] 施成熙, 汪宪臣, 窦鸿身, 等. 中国湖泊概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [11] 王洪道, 顾丁锡, 刘雪芬, 等. 中国湖泊水资源 [M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [12] 窦鸿身, 姜加虎. 中国五大淡水湖 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003.
- [13] 徐敏, 张涛, 王东, 等. 中国水污染防治 40 年回顾与展望 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(3): 65-71.
- [14] 《水质较好湖泊生态环境保护总体规划 (2013—2020 年)》通过国务院常务会议 [J]. 环境工程技术学报, 2014, 4(1): 84-84.

Survey and Assessment Technology of Lake in US and Its Revelation for China Lake Environmental Management

GAO Zhiyun¹, CHEN Xiaojuan², WEN Yi¹, XU Yanxue¹, SUN Hongliang^{1,*}

(1.Chinese Academy of Environmental Planning United Center for Eco-Environment in Yangtze River Economic Belt, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China; 2. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China)

Abstract: Since 2006, US EPA has carried out the national lake survey and assessment in the mainland for twice. US national lake assessment used three approaches to assess lake condition, which were biological condition, suitability for recreation and trophic state of lake, and aimed to figure out the biological condition of national lake and the rank of key stressors affecting biological condition. US EPA has developed comprehensive lake survey and assessment system, which includes a large set of hydrological, chemical and biological indicators. The system has become an essential part of US lake environmental management system and provides strong support for the lake environment protection and the restoration of aquatic system. In this paper the key technical methods of US lake survey and assessment are overviewed from the inventory establishment, field sampling and assessment method, so as to provide reference for China lake environmental protection and management.

Keywords: US; lakes survey; biological health; stress factor; revelation