

# 实施环境—水文—生态—经济协同管理战略，保护和修复长江湖泊群生态环境

王洪铸，王海军，刘学勤，崔永德

(中国科学院水生生物研究所，湖北 武汉 430072)

**摘要：**长江中下游浅水湖泊群具有十分重要的生态服务功能。然而，该湖群正面临江湖阻隔和富营养化等严重威胁。近年来，湖泊生态环境的保护和修复越来越受到重视，但治理效果不甚明显。其根本原因是：对由流域诸多胁迫导致的湖泊问题缺乏系统全面的认识，导致头痛医头、脚痛医脚。为此，本文提出应对长江湖群实施环境—水文—生态—经济协同管理战略，即在湖泊及其流域实施环境工程以控制入湖污染，实施生态水文工程以恢复自然水文体制，实施生态修复工程以增强生物自净能力，制定水环境经济制度以建立湖泊保护修复的激励和约束机制，构建生态健康评价体系以实施适应性管理，前提是责任主体明确。

**关键词：**长江湖泊群；多重胁迫；生态环境；协同管理

**中图分类号：**X21 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-8227(2015)03-0353-05

**DOI:**10.11870/cjlyzyyhj201503001

长江中下游泛滥平原分布着 1 113 个浅水湖泊 ( $>0.066 \text{ km}^2$ )，总面积  $15\,770 \text{ km}^2$ ，占全国湖泊的 20% 以上<sup>[1]</sup>。该湖群具有提供饮用水和工农业用水、净化水质、调蓄洪水、生物质(食物等)生产、生物多样性养护、气候调节、航运、运动休闲、文化景观等生态系统服务功能，历来在人们的生产和生活上占有重要地位。然而，随着经济的快速发展和人类活动的加剧，长江湖泊群面临着多重威胁，众多生态系统严重退化。近年来，湖泊治理受到高度重视，但效果不甚明显。为此，本文首先介绍胁迫因子及其效应，然后分析现行治理措施的不足，最后提出协同管理战略。

## 1 长江泛滥平原湖泊及河流面临的威胁

泛滥平原(floodplain)是因河流泛滥而被周期性淹没的区域<sup>[2,3]</sup>。长江中下游河流—泛滥平原湖泊众多，亦被称江湖复合系统，大约形成于晚第三纪<sup>[4,5]</sup>。末次冰期后的全新世中期(7500~4000年前)，类似于近现代的河流—泛滥平原基本形成<sup>[6]</sup>。

长江泛滥平原湖泊历史上均与干流自由连通，具有春汛、夏洪、秋平、冬枯的自然水文节律，在进化历史上水生生物逐步适应了这一周期性变化，发育

了世界上罕见的淡水物种资源库，形成了健康美丽的河流—泛滥平原生态系统。自西晋始，多次战乱迫使北方人口大量南迁。人们毁林开荒，围湖造田，对长江泛滥平原的干扰逐渐加剧<sup>[6]</sup>。20世纪50年代以后，尤其是近二十年，长江泛滥平原湖泊受到的干扰达到了顶峰。下面简要介绍长江河流—泛滥平原所受的主要威胁及其生态效应。

### 1.1 栖息地丧失

#### 1.1.1 河流渠道化

长江堤防建设始于东晋永和年间，至明清已初具规模，加上各自分散的圩垸逐渐连接起来，构成了庞大的堤防系统<sup>[7]</sup>。1950年以前，由于堤防较弱，河道变化频繁。1950年以后，开展了大规模的河道治理工程，河势得以控制，河道渠道化加剧。治理工程主要包括堤防加高加固以及崩岸河段护岸工程、裁弯取直工程、堵汉工程<sup>[4]</sup>。关于长江中下游干流渠道化的生态效应，至今没有系统研究。极有可能的影响是：河流的栖息地面积减少，水文情势改变，环境异质性降低，生物多样性下降，从而直接或间接影响湖泊生态系统。

#### 1.1.2 湖泊面积和调蓄容积锐减

长江流域湖泊自西晋始经历了多次大规模围

收稿日期：2014-10-13；修回日期：2014-12-04

基金项目：国家重大科技专项课题(2012ZX07103003)；国家 973 计划项目课题(2002CB412309；2003CB415206)；中国科学院知识创新工程重大项目课题(KZCX1-SW-12)；中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-110)；国家自然科学基金项目(31100407)

作者简介：王洪铸(1967~)，男，研究员，博士，主要从事泛滥平原生态学与无脊椎动物学研究。E-mail: wanghz@ihb.ac.cn

垦<sup>[6]</sup>,至清朝中期到达高峰<sup>[8]</sup>。20 世纪 50~70 年代,围湖垦殖规模大幅度增加,围垦总面积超过 13 000 km<sup>2</sup><sup>[9]</sup>,现在湖泊面积仅为 15 770 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。以湖北省为例,围垦导致湖泊面积减少了逾 5 500 km<sup>2</sup>,容积减少了约 6.9×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup><sup>[10]</sup>。近百年来长江流域森林覆盖率大幅下降加剧了水土流失和泥沙淤积,从而加快了围垦的进程。湖泊萎缩是近年来旱涝灾害频繁的重要原因。

### 1.1.3 湖滨带退化

由于围垦、城镇化和道路建设等原因,许多湖泊的湖滨带退化甚至消失,自然岸线被硬质堤岸所取代,如长江下游的巢湖,垒石岸线长 129.0 km,水泥堤岸长 40.7 km,两者约占总岸线(190.6 km)的 90%<sup>[11]</sup>。同时,大面积的陆向湖滨带及滨湖区变为不透水的地面。湖滨带退化导致水生植被和沿岸陆生植被衰退,降低了湖滨带拦截外源污染和消减内源负荷的能力,破坏了湖泊生态系统的完整性。

### 1.1.4 过度采砂

长江采砂起始于 20 世纪 50 年代,到 80 年代长江中下游河道内机械采砂规模逐渐扩大,船只多达上千艘<sup>[12]</sup>。由于滥采乱挖危害严重,2001 年国务院颁布了长江河道采砂管理条例。此后,采砂活动迅速转移到鄱阳湖和洞庭湖及其支流,规模和范围甚大。据报道<sup>[1,13~15]</sup>过度采砂可带来一系列负面影响,包括破坏底部栖息地,大幅度增加悬浮物浓度,船舶的废物和声光污染,威胁鱼类、江豚和水鸟等重要动物的生存,造成堤坝崩塌,减少湖泊和湿地的面积,等等。

## 1.2 水文情势改变

### 1.2.1 干支流梯级水库

截至 2009 年,长江流域已经建成各类水库 4.7 万座,水库总库容和总兴利库容分别占多年平均地表径流量(9.86×10<sup>11</sup> m<sup>3</sup>)的 25%和 12%<sup>[16]</sup>。由于水利工程建设以及工农业用水、气候变化及流域土地利用格局改变等原因,长江中下游干流及其通江湖泊的水文情势已经发生较大的变化<sup>[1]</sup>。水文情势的改变对河流—泛滥平原生态系统有重要影响:(1)夏秋季水位降低阻碍河流与泛滥平原间的物质和能量联系,导致泛滥平原面积和异质性减小、物种多样性下降<sup>[17,18]</sup>;(2)水位波动节律改变影响湿地植被,春季水位上升影响湿生和挺水植物萌发,秋季水位下降导致沉水植物等枯死<sup>[19,20]</sup>;(3)洪峰低平和水温偏低妨碍了鱼类产卵,鱼类资源严重衰退<sup>[21,22]</sup>。

### 1.2.2 江湖阻隔

20 世纪 50 年代中后期至 60 年代,沿江大部分湖泊修建了闸坝,目前仅剩鄱阳湖、洞庭湖及石臼湖等少数通江湖泊。江湖阻隔后,湖泊失去了与干流

的自由水文连通,水位波动型式变为水库型。以中国第五大淡水湖巢湖为例,建闸前水位波动幅度平均超过 2 m,夏季最高,早春最低。建闸后,波幅仅 1 m,汛前降至最低。江湖水文连通度对湖泊生态系统有非常重要的影响:(1)江湖阻隔是湖泊富营养化的重要原因之一,导致营养转换为浮游藻类生物量的效率大幅度上升;(2)大型植物和底栖动物的物种多样性分别在一定程度的江湖水文连通度下达到最大,且生物量和生产量亦同时达到最大;(3)阻隔导致各生态类群的鱼类物种多样性下降 25%~88%;(4)阻隔导致湖泊底层食物网结构简化,且营养基础更加依赖有机碎屑。江湖阻隔扰乱了自然水流体(natural flow regime),导致湖泊物种多样性下降,生物群落结构发生根本改变。自然水流是河流—泛滥平原生态系统物种繁多、物产丰富的主要驱动因子。在长期的进化过程中,不同生物逐步形成了与水文周期相适应的生活史对策,水文过程的改变必然会对生物产生重要影响<sup>[1,23]</sup>。

## 1.3 污染严重

在过去的几十年,长江流域废污水总排放量一直在持续增加,20 世纪 70 年代末仅为 9.5×10<sup>9</sup> t/a,到 80 年代末就达到了 1.5×10<sup>10</sup> t/a,到 90 年代中后期增加到了 2.0×10<sup>10</sup> t/a,至 2012 年已经接近于 3.5×10<sup>10</sup> t/a<sup>[24]</sup>。80%以上废污水排入水网复杂、人口密集和经济发达的中下游地区,导致严重的富营养化问题,超过 40%数量的湖泊已处于富营养—超富营养状态<sup>[25]</sup>。太湖、巢湖等湖泊的蓝藻水华十分严重,已持续了数十年。其他后果包括重金属和持久性有机污染物等污染<sup>[26,27]</sup>。

## 1.4 生物资源过度利用

长江河流—泛滥平原的生物资源过度利用问题十分严重。在干流和通江湖泊,酷渔滥捕盛行,其中电渔船和密眼网簰(迷魂阵)危害最大,渔业资源已处于严重衰退的状态<sup>[28]</sup>。由于过度捕捞,以及水库兴建、江湖阻隔及水污染等干扰,江湖捕捞鱼产量从 20 世纪 50 年代的 4.3×10<sup>5</sup> t/a 降至 2000s 的 1.0×10<sup>5</sup> t/a<sup>[1,29]</sup>。同时,贝类等生物资源亦被过度利用。

在阻隔湖泊,围栏养殖河蟹是近 20 年最普遍的养殖模式。由于占用水面大、放养密度高,围栏养殖常常导致沉水植被和底栖动物资源衰退,并显著降低水体透明度<sup>[1,30]</sup>。化肥养鱼亦较普遍,尤其是在中小型湖泊中,这进一步加重了富营养化问题。

## 2 长江湖泊群生态环境治理存在的问题

由于湖泊的生态环境问题日趋严重,特别是蓝

藻水华频发导致供水危机,近年来湖泊治理开始受到政府和社会的高度重视。采取的主要措施包括:点源和面源污染的末端处理、底泥(内源污染)疏浚、蓝藻水华打捞、调水工程、局部水域的生态修复,等等。根据水利部1998~2011年中国水资源公报,国控重点湖泊水质多年来一直未有改善,太湖和巢湖长期处于V类或劣V类。这表明长江泛滥平原湖泊环境恶化的趋势并没有得到有效遏制。

治理效果有限的根本原因是:对由流域诸多胁迫导致的湖泊问题缺乏系统全面的认识,导致头痛医头、脚痛医脚。当前湖泊治理存在以下问题:

(1)湖泊管理者众多,责任主体不明。湖泊最初多作为渔业生产资料授权给村集体和渔场。跨界湖泊由多个行政区管辖,一般实行分片管理。在政府方面,管理湖泊的部门甚多,包括水利、水产、环保、林业、交通、规划、建设、国土、农业、旅游等。至于湖泊流域,权属和管理更是复杂。不同单位和部门的目标和职能不相同,且多以开发利用为目的,导致湖泊生态环境保护没有明确的责任主体。

(2)缺乏对湖泊流域污染源的实时监控系统,无法实施有效的污染总量控制。污染总量控制是当前国际上最受认可、最为有效的水环境管理技术。在过去几十年里,一些发达国家都在积极推行污染总量控制技术。其中,发展最为完善的当属美国的TMDLs(最大日负荷总量)计划。我国至今仍缺乏对流域污染源尤其是非点源污染的日常监测,不能科学测算水体环境容量,更无法实现有效的入湖污染总量控制。在富营养化治理方面,应当集中控磷、放宽控氮<sup>[25,31]</sup>。

(3)调水工程多以污染稀释为目的,对保持湖泊及其流域自然水文节律的重要性认识不足。自然水文节律是泛滥平原湖泊生态系统进化的驱动力,因而是维持生态健康必不可少的前提条件。研究表明,降低水位可促进湖泊从藻型浊水态向草型清水态转换,增加湖泊流域的水力滞留时间能有效削减面源污染<sup>[32,33]</sup>。因此,修复湖泊及其流域的水文体制十分重要。然而,当前湖泊水文调控以供水、防洪和灌溉为主要目标,忽视了生态环境的需求。少数湖泊虽实施了生态调水工程,但以引水冲污为目的,且调水时间较短,对恢复湖泊的自然水文过程作用甚弱。

(4)忽视生态修复的前提条件,盲目恢复植被、放养食藻鱼类。生态修复只能在外来污染得到有效控制时才能进行。但是,近年来我国的富营养化治理存在一个误区,即无论污染程度如何,一律实施植物栽种等生态工程。浅水湖泊富营养化问题表现为从沉水植物占优的清水稳态向浮游藻类占优的浊水

稳态转换。最新研究发现,从温带至亚热带(或许至热带),中等水深和中等面积的浅水湖泊稳态转换的湖水总磷阈值大致相等,清—浊转换阈值为80~120  $\mu\text{g/L}$ ,浊—清转换的为40~60  $\mu\text{g/L}$ ;水深超过下限(3~4 m)时阈值明显下降,低于上限(1~2 m)时阈值大幅度上升<sup>[33]</sup>。因此,当总磷超过100  $\mu\text{g/L}$ 时,湖泊只能处于浊水态,沉水植被无法恢复。目前,长江中下游30%湖泊的总磷超过100  $\mu\text{g/L}$ ,太湖和巢湖更高达200~400  $\mu\text{g/L}$ <sup>[31]</sup>。在这些重污染湖泊,开展沉水植被修复的效果必然有限。至于食藻鱼类,其主要作用是在营养水平不高时将较大的浮游藻类转化为较小者,但不能减少藻类总量,不能提高水体透明度<sup>[25]</sup>。

(5)湖泊治理侧重于技术和行政手段,尚未建立有效的水环境经济政策体系。除环境与生态技术外,我国主要依据有关法律法规用行政命令的手段对湖泊进行管理。虽然法规标准具有直接刚性等优点,但由于污染和破坏湖泊的违法成本低,行政管理的效果往往十分有限。湖泊面临问题的实质是社会发展与湖泊资源环境保护的矛盾,因此湖泊治理非常需要经济杠杆的调节。欧美经验表明,环境经济手段在湖泊治理中具有重要作用。环境经济学家认为,与传统行政手段的“外部约束”相比,环境经济政策是一种“内在约束”机制,具有促进环保技术创新、增强市场竞争力、降低环境治理成本与行政监控成本等优点<sup>[34]</sup>。因此,亟需建立有中国特色的高效的水环境经济政策体系。

(6)水环境质量评价仍以理化指标为主,尚未建立全面的湖泊生态系统健康评价体系。湖泊治理是复杂的系统工程,需要通过生态系统健康评价检验各项措施的效果,以便及时调整管理对策,即实行适应性管理。然而,我国的《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》的评价仍然主要依据理化指标。理化参数虽具有快速而标准的测定方法,但仅反映非生物环境的瞬时状况,且其分级标准主要依据实验生物的急性毒理实验,故评价结果无法反映生态系统长期的、综合的健康水平。全面的生态系统健康评价应基于生物完整性、水文完整性、物理完整性和化学完整性。欧盟水框架指令(The Water Framework Directive)规定,水体健康评价应首先考虑生物要素,其次是水文要素,最后才是物理化学要素。因此,建立我国湖泊生态系统健康评价体系势在必行。

### 3 长江湖泊群的环境—水文—生态—经济协同管理战略

由于湖泊问题是流域诸多胁迫的集中体现,单

一技术和管理措施往往难以奏效。因此,我们提出应对长江泛滥平原湖泊群实施环境—水文—生态—经济协同管理战略,即在湖泊及其流域实施环境工程以控制入湖污染,实施生态水文工程以恢复自然水体制,实施生态修复工程以增强生物自净能力,制定水环境经济制度以建立湖泊保护修复的激励和约束机制,构建生态健康评价体系以实施适应性管理,前提是责任主体明确。

具体对策如下:

(1)明确湖泊的责任主体,制定科学的管理方案。划定湖泊水域及湖滨带边界,将权属统一到一个或少数单位;建立湖泊流域管理机构,明确责任主体,并赋予充分的管理权限;根据湖泊功能区划,确定切实可行的管理目标,制定保护和恢复湖泊生态系统规划;建立社会公众参与湖泊保护及其成效评价的机制;建立湖泊生态环境管理的绩效考核体系。

(2)建立对湖泊流域污染源的实时监控体系,实施以排污总量动态控制为主的污染控制制度。在流域的不同单元建立对点源和非点源污染种类和通量的日常监测体系(数周至数月一次),科学估算湖泊的环境容量并合理分配至不同季节,制定实施各单元排污量的动态监控制度。

(3)实施江湖连通工程,修复湖泊自然水文节律。根据生态修复目标,评估泛滥平原湖泊的江湖水文连通需求和水位波动需求。综合考虑供水、防洪、灌溉等方面的需要,建立拦湖闸的多目标水文调度机制,修复江湖天然水文联系。建议恢复阻隔湖泊春季低水位,促进植物萌发;控制春夏水位上涨速率,保证水生植物正常生长。如条件许可,应在春夏季适时开闸以恢复江湖洄游鱼类幼鱼的入湖通道,在秋冬季适时开闸以恢复成鱼入江的通道<sup>[1]</sup>。

(4)在有效控制入湖污染的前提下,实现以太阳能主要驱动力的自然生态修复。对富营养湖泊而言,若总磷远高于 $100\ \mu\text{g/L}$ ,唯一的选择就是控源。若总磷接近 $100\ \mu\text{g/L}$ ,则可将水深(特别是春季)降低到 $1\sim 2\ \text{m}$ 或更低,以提高转换的阈值,加速沉水植被恢复。若总磷在 $50\sim 100\ \mu\text{g/L}$ 之间,则可采取生物操纵和水位调控等干预措施以实现浊清跃迁。若总磷小于 $50\ \mu\text{g/L}$ ,则应在消除沉水植被的非营养限制因子如草食性鱼类后任由湖泊自组织恢复。生态修复应以水生植被修复为主,辅以鱼类结构调整,减少底层鱼类和河蟹等对沉积物的扰动。植被修复重在创造基质、水深等临界条件,以实现自然恢复和维持。当然,修复时应当禁止采砂、取缔化肥养鱼、限制围栏养殖、防止生物资源过度利用。

(5)加强经济杠杆的作用,建立高效的水环境经

济政策体系。调整湖泊流域宏观经济政策,促进产业结构转换;建立有效促进污染减排的价格政策、排污权有偿使用和交易制度、生态环境补偿机制等系列环境经济政策;建立完整的湖泊治理资金链。

(6)构建湖泊生态系统健康评价体系,对湖泊及其流域实施适应性管理。构建简单易行的湖泊生态系统健康评价指标体系,制定监测与评估方案,及时检测湖泊治理措施的效果,实现对湖泊及其流域的动态反馈管理。

(7)有的放矢地加强相关应用研究,科学实施湖泊流域协同管理战略。虽然近年来我国在湖泊研究上投入了大量经费,但主要集中在科技示范工程建设上。由于起步较晚且偏重症状治理等因素,我国湖泊流域协同管理的科学基础依然较薄弱,今后应加强污染动态监测、环境容量、生态水文需求、自然生态修复、环境经济管理、生态健康评价等方面的研究。

致谢:李小平、邵东国、周易勇、李恒鹏、陈雄志和李万春等专家曾提宝贵建议,谨致谢忱!

## 参考文献:

- [1] WANG H Z, LIU X Q, WANG H J. The Yangtze River-Floodplain: Threats and rehabilitation[J]. American Fisheries Society Symposium, 2015. (待刊)
- [2] JUNK W J, BAYLEY P B, SPARKS R E. The flood pulse concept in river-floodplain systems[M]// DODGE D P (ed). Proceedings of the international large river symposium (LARS). Ottawa: Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences, 1989: 110-127.
- [3] NANSON G C, CROKE J C. A genetic classification of floodplains[J]. Geomorphology, 1992, 4: 459-486.
- [4] 余文畴, 卢金友. 长江河道演变与治理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] ZHENG H, CLIFT P D, WANG P, et al. Pre-Miocene birth of the Yangtze River[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110: 7556-7561.
- [6] 中国科学院地理研究所, 长江水利水电科学研究院, 长江航道规划设计研究所. 长江中下游河道特性及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [7] 王敬挺. 长江的堤防工程[J]. 人民长江, 1959, 5: 61-64.
- [8] DU Y, XUE H P, WU S J, et al. Lake area changes in the middle Yangtze region of China over the 20<sup>th</sup> century[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92: 1248-1255.
- [9] 姜加虎, 黄群, 孙占东. 长江流域湖泊湿地生态环境状况分析[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 424-429.
- [10] 汪富贵. 建国以来湖北水域变迁情况及其评价[J]. 水利发展研究, 2010, 10: 30-34.
- [11] 王洪铸, 宋春雷, 刘学勤, 等. 巢湖湖滨带概况及环湖岸线和水向湖滨带生态修复方案[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(Z2): 62-68.
- [12] 吴志广, 李峻. 求真务实改革创新开拓长江采砂管理新局面

- [J].人民长江,2010,4:31-36.
- [13] 邹国锋,崔丽娟.基于遥感技术的鄱阳湖采砂对水体透明度的影响[J].生态学报,2008,28(12):6113-6120.
- [14] 张子林,黄立章.浅析鄱阳湖采砂对生态环境的影响[J].江西水利科技,2008,1:7-10.
- [15] 马水山,徐勤勤.长江采砂管理中的若干关键技术问题[J].中国水利,2013,10:15-18.
- [16] 陈进.长江演变与水资源利用[M].武汉:长江出版社,2012.
- [17] POFF N L, HART D D. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal an ecological classification of dams is needed to characterize how the tremendous variation in the size, operational mode, age, and number of dams in a river basin influences the potential for restoring regulated rivers via dam removal[J]. *BioScience*, 2002, 52: 659-668.
- [18] 施勇,杨大文,宁磊,等.三峡工程运用后对长江中下游防洪的影响评价研究[M].武汉:长江出版社,2011.
- [19] 张晓可.长江泛滥平原湖泊植物水位波动需求研究[D].武汉:中国科学院水生生物研究所博士学位论文,2013.
- [20] 许继军,陈进.三峡水库运行对鄱阳湖影响及对策研究[J].水利学报,2013,7:757-763.
- [21] XIE S G, LI Z J, LIU J S, et al. Fisheries of the Yangtze River show immediate impacts of the Three Gorges Dam[J]. *Fisheries*, 2007, 32: 343-344.
- [22] ZHANG G, WU L, LI H T, et al. Preliminary evidence of delayed spawning and suppressed larval growth and condition of the major carps in the Yangtze River below the Three Gorges Dam[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2011, 93: 439-447.
- [23] 王洪铸,王海军.长江中下游江湖阻隔的生态学效应及修复方略[M]//王兆印,邵东国,邵学军,等.长江流域水沙生态综合管理.北京:科学出版社,2009:379-396.
- [24] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报(2003—2012)[M].北京:水利水电出版社,2004—2013.
- [25] WANG H J, LIANG X M, JIANG P H, et al. TN: TP ratio and planktivorous fish do not affect nutrient-chlorophyll relationships in shallow lakes[J]. *Freshwater Biology*, 2008, 53: 935-944.
- [26] 沈珍瑶,牛军峰,齐珺,等.长江中游典型段水体污染特征及生态风险[M].北京:中国环境科学出版社,2008.
- [27] 方敏,祁士华,吴辰熙,等.洪湖沉积物柱芯有机氯农药高分辨率沉积记录[J].地质科技情报,2006,25(3):89-92.
- [28] 曹文宣.长江鱼类资源的现状与保护对策[J].江西水产科技,2011,2:1-4.
- [29] 长江水系渔业资源协作组.长江水系渔业资源[M].北京:海洋出版社,1990.
- [30] 许巧情,王洪铸,张世萍.河蟹过度放养对湖泊底栖动物群落的影响[J].水生生物学报,2003,27(1):41-46.
- [31] WANG H J, WANG H Z. Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement[J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19: 1145-1451.
- [32] ZALEWSKI M. Ecohydrology—the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources[J]. *Ecological Engineering*, 2000, 16: 1-8.
- [33] WANG H J, WANG H Z, LIANG X M, et al. Total phosphorus thresholds for regime shifts are nearly equal in subtropical and temperate shallow lakes with moderate depths and areas[J]. *Freshwater Biology*, 2014, 59: 1659-1671.
- [34] 杨朝飞,王金南,葛察忠,等.环境经济政策:改革与框架[M].北京:中国环境科学出版社,2010.

## HOLISTIC MANAGEMENT STRATEGY: INTEGRATE ENVIRONMENTAL—HYDROLOGICAL—ECOLOGICAL—ECONOMIC MEASURES TO CONSERVE AND REHABILITATE THE YANGTZE LAKE ECOSYSTEMS

WANG Hong-zhu, WANG Hai-jun, LIU Xue-qin, CUI Yong-de

(State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biological Technology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The mid-lower Yangtze shallow lakes have important functions of ecological services. However, these lakes are threatened by multiple stressors such as river-lake isolation and eutrophication. In recent years, conservation and rehabilitation of the ecological environments of lakes have received more and more attentions. However, the strategies of lake management taken are not as effective as expected. The fundamental underlying cause is lack of a systematic understanding on the lake problems which are actually an embodiment of various stresses in the whole catchments. Because of this, stopgap measures have been widely applied to solve the problems of lakes. This paper therefore proposed an environmental—hydrological—ecological—economical synergetic managing strategy to conserve and rehabilitate the ecological environments of Yangtze lakes: to apply environmental engineering in lakes and their catchments to control the pollutant loading to lakes, eco-hydrological engineering to recover the natural hydrological regimes, and ecological rehabilitating engineering to strengthen the self-purification abilities of organisms; to establish an incentive and restraining mechanism for conservation and rehabilitation of lakes based on an economic system of water environment, and establish an assessment system of ecological health for adaptive management. The premise of the synergetic managing strategy is to clarify the subjects of responsibility.

**Key words:** Yangtze lakes; multiple stressors; ecological environments; synergetic management