

长江经济带水安全保障与水生态修复策略研究

胡春宏^{1,2*}, 张双虎^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: “共抓大保护、不搞大开发”是推动长江经济带高质量发展的战略导向, 长江大保护要抓主要问题、采取针对性的措施策略。本文系统分析了长江经济带面临的主要水安全与水生态保护修复问题: 防洪安全形势依然严峻、水生动物适宜生境萎缩严重且多样性降低、长江与通江湖泊关系失调。研究提出了针对性的水安全保障措施与水生态修复策略: 一是加快重要蓄滞洪区的安全工程建设, 修订《长江流域防洪规划》, 提高防洪保安能力; 二是在长江上游支流替代生境建设, 在长江中下游实施部分原通江湖泊的恢复连通并扩大水库生态调度范围, 修复受损生态系统; 三是实施洞庭湖北部四口水系综合整治, 在鄱阳湖出口建闸并进行调控, 科学改善江湖关系。

关键词: 长江经济带; 水安全保障; 水生态修复; 防洪安全; 生境重建; 江湖关系

中图分类号: TV882.2 **文献标识码:** A

Strategies for Water Security and Aquatic Ecosystem Restoration in the Yangtze River Economic Belt

Hu Chunhong^{1,2*}, Zhang Shuanghu^{1,2}

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China)

Abstract: Working together on protection instead of excessive development is the key strategy for promoting the high-quality development of the Yangtze River Economic Belt. It is necessary to tackle principal contradictions with targeted measures in the process of Yangtze River protection. In this paper, we analyze the major issues regarding water security and aquatic ecosystem protection in the Yangtze River Economic Belt, including the severe flood control safety situation, the serious shrinkage of suitable habitats for aquatic animals and biodiversity reduction, and the dysfunctional relationship between the Yangtze River and its connected lakes. Additionally, we propose several targeted measures and strategies. The measures for improving the flood control capability are to accelerate the construction of safety projects in critical flood storage and detention areas and revise the *Yangtze River Basin Flood Control Planning*. The strategies for restoring the damaged aquatic ecosystem are to construct substitute habitats in the tributaries in the upper reaches of the Yangtze River, restore the connection between the Yangtze River and some former connected lakes in the middle and lower reaches, and expand the ecological operation of reservoirs. The strategies for regulating the river-lake relationship are to improve the four water systems in the north of the Dongting Lake and build floodgates at the outlet of the Poyang Lake.

收稿日期: 2021-11-10; **修回日期:** 2022-01-12

作者简介: *胡春宏, 中国水利水电科学研究院教授级高级工程师, 中国工程院院士, 研究方向为泥沙运动力学、河床演变与河道整治等领域的理论与应用; E-mail: huch@iwhr.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“长江经济带生态文明建设若干战略问题研究”(2019-ZD-08)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

Keywords: Yangtze River Economic Belt; water security; aquatic ecosystem restoration; flood control safety; habitat reconstruction; river-lake relationship

一、前言

长江经济带以长江干支流为依托,覆盖滇、川、渝、贵、湘、鄂、赣、皖、苏、浙、沪 11 个省份,总面积约为 $2.052 \times 10^6 \text{ km}^2$,人口数量、国内生产总值(GDP)占比均超过全国的 40%;横跨我国东、中、西三大区域,水、土、光、热等自然条件较好,经济基础雄厚、发展优势独特。依托黄金水道,推动长江经济带发展,是关系国家发展全局的重大安排。

长江在支撑长江经济带乃至我国经济社会发展方面发挥了极其重要的作用,除水害、兴水利贯穿于长江的治理开发历史。然而,长期高强度开发的累积效应逐渐显现,加之缺乏系统科学的生态保护理念与措施,长江的治理开发又带来了一系列生态环境问题。2016 年以来,国家管理部门、长江经济带各省份以及学术界在长江生态环境保护修复方面开展了大量工作。《长江经济带生态环境保护规划》(2017 年)从水资源优化调配、生态保护红线划定等 6 个方面提出了长江经济带生态环境保护的目标任务和重点工作,《长江保护修复攻坚战行动计划》(2018 年)从生态环境空间管控、排污口整治等 8 个方面进一步明确了生态环境保护的主要任务、牵头单位等。沿江各省份开展了以水环境综合治理、河湖岸线整治、重点水域十年禁捕、河湖“四乱”清理、小水电整顿等为重点内容的生态环境保护修复工作。目前,长江流域水环境质量显著改善,生态持续恶化态势得到初步遏制,鱼类资源呈现恢复趋势 [1~4]。

整体来看,长江大保护成效显著,但也存在明显不足。一是目标任务明确,但针对性的措施策略有所不足,如《长江经济带生态环境保护规划》等文件明确提出要协调江湖关系,但如何调控江湖关系才能实现江湖两利以及保护修复洞庭湖、鄱阳湖(“两湖”)湿地生态系统,目前还没有明确的措施和策略。二是涉水方面的工作还集中在水环境治理方面,水生态系统保护修复工作明显滞后。三是长江防洪安全考虑不足。长江流域特别是长江中下游

是我国洪涝灾害最为严重的地区,洪涝灾害在造成生命财产损失的同时也带来严重的生态环境问题。确保长江防洪安全是最重要的生态环境保护,但目前的相关规划、研究成果 [5,6] 均未涉及长江流域的防洪安全。

长江经济带生态环境问题成因复杂,区域联动性强,治理开发与保护修复矛盾突出。长江大保护既要坚持整体推进,增强各项措施的关联性和耦合性,又要实施重点突破,采取有针对性的具体措施,从而实现整体推进与重点突破相统一 [7]。本文重点开展长江经济带水安全、水生态环境问题分析,针对性提出水安全保障与水生态修复的措施和策略,以期为长江大保护深化研究提供基础参考。

二、长江经济带主要涉水问题之一:防洪形势依然严峻

确保防洪安全是长江大保护的前提、生态文明建设的基础。长江经济带面积广、降水量大、暴雨集中,长江中下游形成的洪水峰高量大、持续时间长。长江中下游河道安全宣泄能力与洪水峰高量大的矛盾十分突出,是造成历史上长江中下游洪涝灾害频发的主要原因。以三峡水库为核心的长江上游控制性水库陆续建成后,长江中下游防洪形势有所缓解,但防洪安全仍面临一系列问题,与保障区域高质量发展要求还存在一定差距。

(一) 遇大洪水长江中下游超额洪量仍然巨大

三峡及长江上游控制性水库的防洪库容较大,但相对于长江中下游巨大的超额洪量仍显不足。遇历史上曾经发生过的 1870 年型特大洪水,即使三峡等控制性水库发挥拦蓄作用,水库下泄的流量与水量仍大大超过荆江河段河道的安全宣泄能力。遇 1954 年型洪水(长江中下游防御目标洪水),三峡等控制性水库拦洪后的超额洪量大幅减少,但要确保长江干流水位不超设防水位,仍需妥善安排巨大的超额洪量。三峡水库建成前,遇 1954 年型

洪水, 长江中下游超额洪量为 $4.92 \times 10^{10} \text{ m}^3$; 三峡水库建成后, 遇 1954 年型洪水, 长江中下游地区超额洪量仍有 $3.36 \times 10^{10} \sim 3.98 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。根据相关分析 [8,9], 现状长江上游 21 座控制性水库联合防洪调度, 遇 1954 年型洪水, 长江中下游的超额洪量仍有 $3 \times 10^{10} \sim 3.45 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

(二) 蓄滞洪区建设严重滞后, 按计划、有控制分蓄洪水难度大

蓄滞洪区是长江中下游防洪体系的重要组成部分, 除水库拦蓄之外, 长江中下游大部分的超额洪量需要通过蓄滞洪区分蓄。长江中下游规划了 40 处、总容积约 $5.9 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 蓄滞洪区。在蓄滞洪区建设过程中面临着安全工程建设取土与征地困难, 移民补偿标准偏低、居民搬迁意愿不强等问题, 实施难度较大。目前, 仅荆江分洪区、围堤湖垸、澧南垸、西官垸 4 处蓄滞洪区已建分洪闸进行控制, 基本完成了安全工程建设并具备分蓄洪水的条件; 其余的重要蓄滞洪区建设严重滞后, 按计划、有控制分蓄洪水困难, 一旦启用淹没损失极大 [10]。三峡水库建成后, 实测最大入库洪峰流量为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$, 洪水持续时间较短、洪量较小。近年来, 长江中下游蓄滞洪区未启用, 主要是未出现类似 1954 年或 1998 年型的全流域大洪水。2020 年 7 月, 长江中下游出现大洪水, 洞庭湖城陵矶站实测最高水位 34.73 m, 超保证水位最长连续 40 h, 如果水位继续上涨就要启用蓄滞洪区; 鄱阳湖湖口最高水位 22.49 m, 距蓄滞区分蓄洪水控制水位只差 0.01 m。

(三) 连江支堤、湖区圩堤以及洲滩民垸的防洪标准偏低

从 2016 年、2017 年、2020 年等长江中下游洪涝灾害来看, 长江中下游的防洪险情主要以湖区、支流堤防发生的险情为主, 长江干流险情不大。长江中下游的两湖地区大部分堤垸防洪标准不足 10~20 年一遇, 标准偏低; 洞庭湖区的 11 个重点垸堤防虽然堤身形象已达标, 但其实施时间早、建设标准低, 目前堤身堤基存在较大安全隐患, 亟待实施全面达标加固建设; 鄱阳湖区的 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 亩 (1 亩 $\approx 666.7 \text{ m}^2$) 圩堤多数未进行系统加固, 遇高洪水位极易出现溃垸险情 [11]。洲滩是河道行蓄洪水的重要场所, 在防御 2020 年大洪水过程中, 通

过适时运用部分洲滩民垸行蓄洪水有效降低了洪峰水位。当前, 长江中下游干流河道内有洲滩民垸 406 个, 总面积约 $2.5 \times 10^3 \text{ km}^2$, 洲上有居民约 130 万人; 大部分洲滩堤防堤身单薄、堤基质量差, 遇大洪水极易自然溃决, 居民安全得不到保障 [12]。

(四) 频发的极端降水事件加大了区域性防洪安全风险

近年来, 长江经济带极端强降水事件频繁出现、多次刷新历史记录, 表明气候变化对暴雨洪水的影响已经逐渐显现。2016 年梅雨季, 武汉市出现了 6 轮强降水过程, 平均降水量达到 814.8 mm, 为有实测资料以来的最高值 [13]。2017 年 6 月, 湖南全省平均降水量达 397.4 mm, 为 1951 年有气象记录以来历史同期第一高位。2021 年 7 月, 郑州气象站最大小时降雨量达 201.9 mm, 突破中国大陆小时降雨量的历史极值。极端强降水事件的频繁发生, 加大了长江经济带区域性防洪安全风险。

三、长江经济带主要涉水问题之二: 适宜生境萎缩严重, 水生物多样性降低

长江干支流蜿蜒贯穿我国三级阶梯, 从源头到河口地形地貌多样、气候水文差异显著, 形成了适宜不同水生生物繁衍、生长的生境条件, 水生生物多样性极其丰富。长江流域分布有鱼类 400 余种(亚种), 其中仅分布于长江流域的特有物种多达 156 种(约占长江鱼类物种总数的 39%) [14]。特有鱼类的分布与当地特有的生境条件密不可分, 如水文情势、地形地貌、河湖水系连通、适宜生物生存的水体物理化学特性、食物网结构等。过去数十年, 人类活动对长江流域河湖生态系统造成了严重的干扰破坏, 特有物种的适宜生境急剧萎缩, 水生生物多样性显著降低, 如白鳍豚功能性灭绝, 达氏鲟、胭脂鱼等珍稀鱼种以及江豚等特有物种种群规模大幅减少。从长江上、中、下游来看, 各江段面临的主要生物多样性保护问题和应对策略各不相同。

(一) 上游的水库建设造成鱼类适宜生态环境萎缩

在自然情况下, 长江上游为滩潭交替、水流缓急相间的峡谷河流生境, 是长江众多珍稀特有鱼类的栖息地, 曾有特有鱼类 126 种(如达氏鲟、胭脂

鱼、川陕哲罗鲑等国家级保护动物), 占长江特有鱼类总数的 80%。同时, 长江上游是我国水能资源最为集中的区域, 各大支流已建、在建数十座大型水库电站, 显著改变了河流的自然生境。①河流从自然涨落的流水环境变为近湖泊缓流环境。水库建成后, 库区水位变化缓慢、河流的流速显著变缓、水深与透明度增加, 适宜流水环境鱼类(如裂腹鱼、高原鳅类等)的栖息环境几乎消失 [15]。金沙江下游的乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝 4 座梯级水电站库区长度占规划河段总长的 93.6%; 三峡水库库区约 600 km 江段也从流水环境变成缓流环境。②水文情势时空变异性降低。受水库调蓄影响, 坝下水流自然涨落频次与幅度均明显变缓, 水文情势的时空变异性降低, 影响到产漂流性卵鱼类产卵。1980—1989 年、1990—1999 年、2000—2009 年、2010—2019 年, 宜昌站年均水位涨落次数(日流量变幅大于 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$) 分别为 103 次、92 次、87 次和 70 次。③水库滞温影响。鱼是变温动物, 产卵需要适宜的水温。梯级工程建成后, 下泄水流的升温降温明显滞后, 造成鱼类繁殖期延迟。三峡水库建成后, 宜昌站春季“四大家鱼”产卵适宜水温 ($18 \text{ }^\circ\text{C}$) 出现时间推迟了 1 个月, 秋季中华鲟产卵适宜水温 ($18 \text{ }^\circ\text{C}$) 出现时间推迟了近 20 天(见图 1)。④大坝造成河流阻隔, 影响鱼类洄游。中华鲟是典型的河海洄游型鱼类, 亲鱼成熟后进入长江产卵繁殖。历史上中华鲟的产卵场主要位于金沙江下游、长江

上游, 产卵场范围长达 800 km。1981 年葛洲坝水利枢纽截流以后, 中华鲟的上溯繁殖洄游通道被迫阻断, 中华鲟在坝下形成了新的产卵场, 但产卵场范围已不足 10 km。中华鲟自然繁殖群体数量逐渐减少, 从 2017 年开始连续 4 年未监测到中华鲟的自然繁殖 [16]。

(二) 中游的江湖连通性减弱

长江中游为东亚季风气候下形成的洪泛平原区, 水系纵横交织、湖泊星罗棋布, 与江河自然连通(称为通江湖泊), 形成了独特的江湖复合生态系统。在江湖复合生态系统中, 河流水流较急, 为适宜流水环境繁殖的鱼类提供了繁殖场所和必要的水文条件; 通江湖泊保持了缓流或者静止水流环境, 湖泊中的浮游动植物、底栖动物、水生高等植物丰富, 鱼苗孵出后需要由江入湖索饵育肥。这种静动复合的生态环境条件, 孕育了长江中下游特有的生物多样性。长江中游是长江江豚等珍稀水生动物、“四大家鱼”等重要经济鱼类的栖息地与繁育场所。

长江中游原有通江湖泊近 100 个, 20 世纪 50 年代以来, 人类围湖造田、防洪筑堤、建闸养殖, 使得多数自由通江湖泊变为江湖阻隔湖泊。目前, 仅剩洞庭湖、鄱阳湖与长江保持自然连通。江湖水体交流是江湖之间生物与物质交流的基础, 江湖水位周期性涨落是鱼类及湿地生态环境保持健康状态的

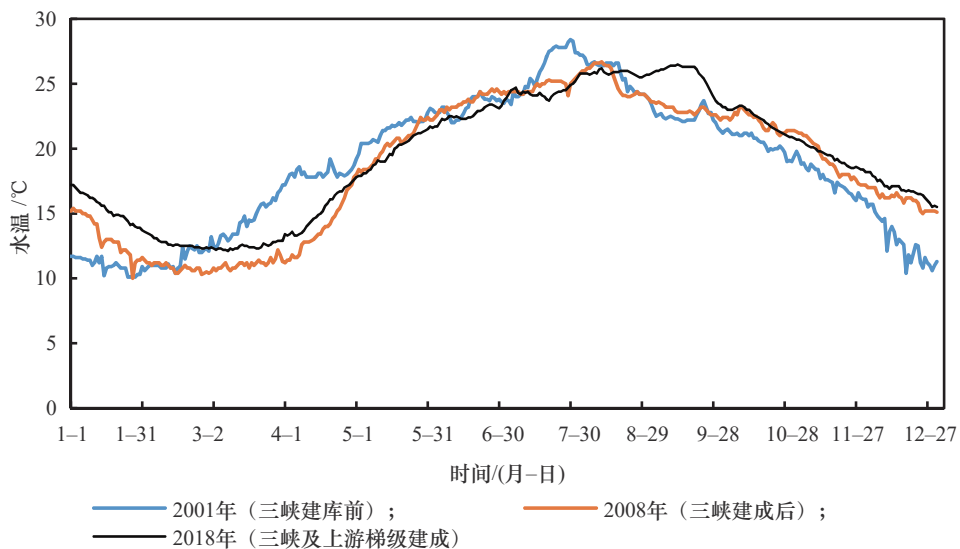


图 1 不同工况下宜昌水文站实测水温对比

重要条件。江湖阻隔之后，江湖洄游型鱼类的洄游通道阻断，鱼类索饵育肥场所面积萎缩，导致鱼类的多样性与资源量锐减，如历史上长江中游有鱼类230余种，而2000年来仅调查到74种。

（三）下游的水域岸线过度开发

水域岸线是河湖生态系统的重要载体，作为一种独特、有价值、不可替代的资源在维持生态安全和地球稳定性方面起着基础性作用。根据遥感影像解译 [17]，长江干流（宜宾市以下）岸线长约7909 km，2017年长江干流岸线开发利用率为35.9%、自然岸线保有率为64.1%；长江上、中、下游的岸线开发利用极不均衡，下游最高，如上海市岸线开发利用率为50%、江苏省岸线开发利用接近60%（常州市、苏州市超过80%，无锡市几无自然岸线）。自然岸线中生态价值最高的是自然洲滩岸线，长江干流占比已不足20%，处于下游地区的江苏省相关资源几乎开发殆尽。自然岸线过度开发、滩涂充分利用，使得湿地生态环境大量丧失，导致丰枯带生物多样性、栖息密度及生物量明显下降，河湖生态系统更显脆弱。

四、长江经济带主要涉水问题之三：长江与洞庭湖、鄱阳湖关系失衡

洞庭湖、鄱阳湖是长江中下游仅存的两大通江湖泊（见图2）。长江干流通过荆江南岸四口（松滋

口、太平口、藕池口、调弦口（1958年封堵）分流分沙进入洞庭湖；长江对洞庭湖、鄱阳湖出流有明显的顶托作用，间或倒灌入鄱阳湖；洞庭湖、鄱阳湖出流又对长江干流水位有一定雍高。长江与洞庭湖、鄱阳湖相互作用和相互影响的关系简称为江湖关系。江湖关系演变受长江上游水沙过程、长江干流的冲淤变化、两湖的水沙过程、湖泊的淤积围垦等综合影响，江湖关系演变又影响到长江干流堤防安全与河势稳定、湖泊湿地生态系统、滨湖区水资源开发利用等 [18]。江湖关系失衡是长江大保护面临的最重要、最复杂问题之一 [19]。

（一）江湖关系历史演变过程与趋势

受自然演变、人类活动的影响，历史上江湖关系一直在变。1860年和1870年长江大水，藕池、松滋先后决口成河，形成了以荆南四口分流入湖为标志的近代江湖格局 [18,20]。20世纪70—80年代下荆江裁弯、湖区围垦等强人类活动结束后，至2003年三峡水库蓄水运用前，江湖关系相对稳定；长江干流冲淤基本平衡，长江分流入洞庭湖水量略有减少，两湖水文情势无趋势性变化。

2003年三峡水库蓄水运用，之后长江上游又建成了多座控制性水库。三峡及长江上游控制性水库的联合运用，显著改变了长江中下游干流河道的水沙过程，导致江湖关系发生突变。一方面，长江上游来沙量锐减（三峡水库蓄水以来入库沙量减少了70%），加之三峡水库拦沙（三峡水库又将入库

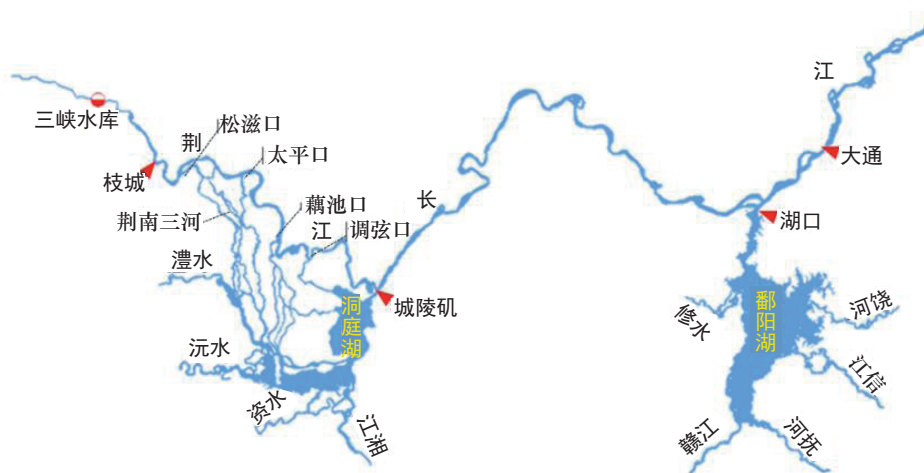


图2 长江与两湖位置关系示意图

沙量的76%拦在库区), 出库水流含沙量极低、接近清水, 长江中下游干流全线发生不饱和水流引起的冲刷 [21], 枯水流量对应水位显著降低; 另一方面, 三峡及上游控制性水库在9—10月份集中兴利蓄水, 长江中下游干流流量锐减。两方面因素的共同作用, 使得9—10月份长江干流水位显著降低, 对湖泊出流顶托作用减弱, 湖泊水位消落速率加快、水位降低, 提前进入枯水期。2008—2020年的8月下旬至10月下旬(三峡水库在2008年开始汛后175 m蓄水), 洞庭湖城陵矶站平均水位消落4.7 m, 比1981—2002年同期平均值增加了1.23 m,

10月下旬城陵矶站平均水位降低了2.13 m; 鄱阳湖星子站平均水位消落4.49 m, 比1981—2002年同期平均值增加了1.69 m, 10月下旬星子站平均水位降低2.68 m。三峡水库蓄水运用前后两湖水位过程的对比见图3和图4。伴随着9—10月份两湖水位消落幅度加快, 两湖提前进入枯水期。2008—2018年, 洞庭湖汛后开始进入枯水期的平均时间为10月19日, 比1981—2002年提前了27天; 鄱阳湖汛后开始进入枯水期的平均时间为11月3日, 比1981—2002年提前了39天。洞庭湖、鄱阳湖频频干旱见底, 其实质是江湖关系发生了突变, 两湖进

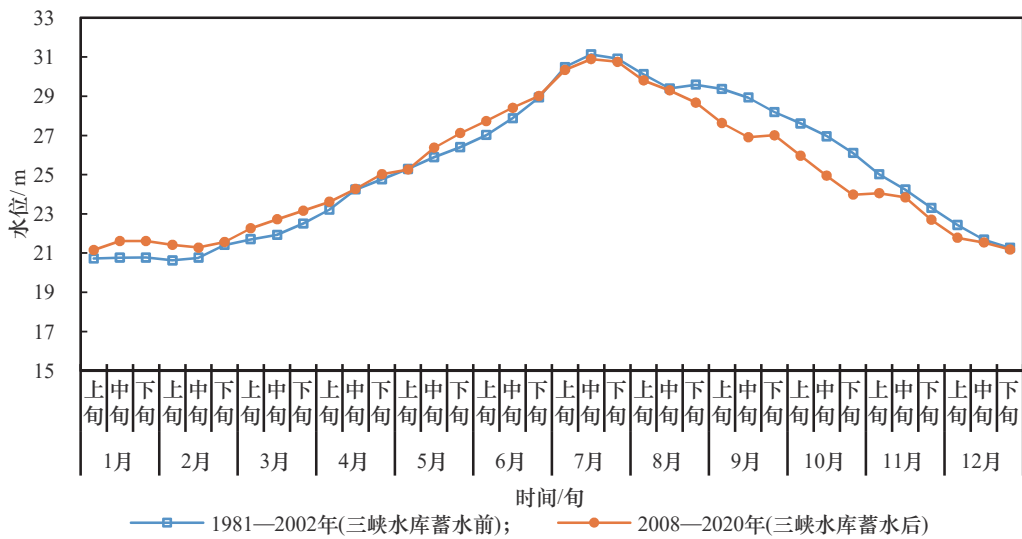


图3 不同阶段洞庭湖城陵矶站水位对比

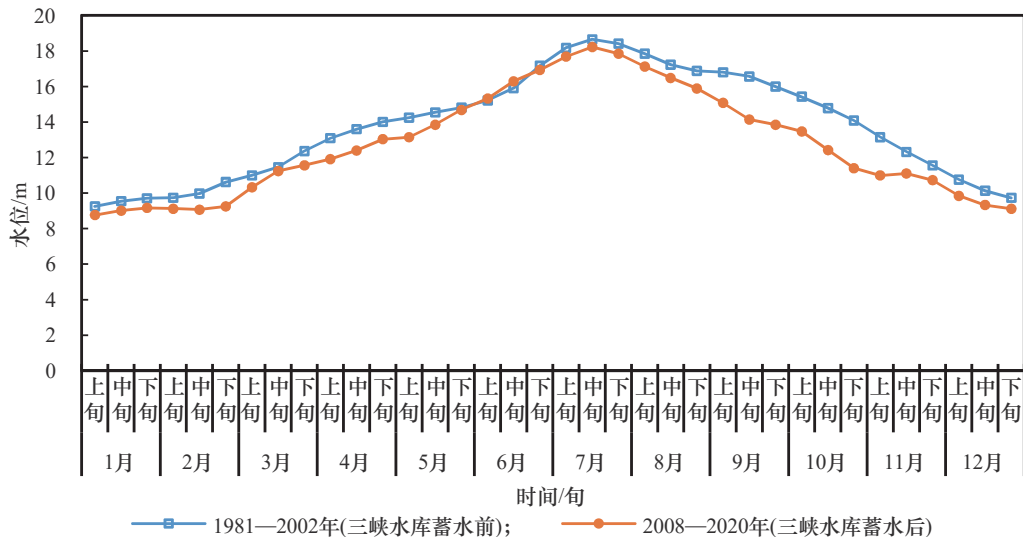


图4 不同阶段鄱阳湖星子站水位对比

入枯水期的时间提前以及枯水期延长。

洞庭湖北部地区的荆南四河为分流型河道，分流量与江湖关系演变密切相关。江湖关系的突变，还导致长江分流进入洞庭湖的水量锐减、荆南三口断流时间延长等。现状江湖关系下，藕池河西支只在汛期7—8月份长江大水时分流，其余大部分时间断流，年平均断流天数约280天；藕池东支、松滋河西支在10月中下旬开始断流，年平均断流天数约180天；虎渡河在11月中旬开始断流，年平均断流天数约130天。

长江上游正在建设乌东德、白鹤滩、双江口、两河口等控制性水利枢纽，这些水库建成后与已建控制性水库影响叠加，预计未来百年内长江中下游干流仍将持续冲刷，汛后9—10月份长江中下游干流流量进一步降低，江湖关系仍将长期发生变化。两湖9—10月份水位消落加快、提前进入枯水期，长江分流入洞庭湖水量减少、断流时间延长，将是长期且趋势性的，不可逆转。

（二）江湖关系变化对两湖的影响

两湖与长江相互作用、相互影响，塑造了两湖季节性涨落的水文节律，加之“浅碟型”湖盆地形特点，使得两湖具有“丰水一片、枯水一线”“水落草出、水涨草淹”等独特且丰富的湿地景观格局，确立了在长江乃至全球生态系统与生物多样性维系方面的独特价值。在天然情况下，9—10月份湖泊水位缓慢降低，草洲逐渐出露，水域、浅水、泥滩、草洲维持了相对合理的比例，为不同越冬候鸟提供适宜的生态环境。三峡水库运用后，9—10月份两湖水水位消落加快、水面急剧萎缩，草洲提前出露疯长；当大批越冬候鸟到达时，部分草洲已经变老、泥滩板结、水域面积萎缩，越冬候鸟的食物源与栖息环境受到严重影响[22]。两湖也是江豚活动的主要场所，9—10月份水位降低、水域面积萎缩，限制了江豚的活动范围；江豚被迫到湖中水深较深的航道中活动，航船螺旋桨致江豚死伤事件频发。此外，两湖是滨湖地区生产生活、农业灌溉的重要水源，9—10月份的较低水位造成了滨湖区季节性、区域性水资源供需矛盾，如洞庭湖受影响灌溉面积为 2.19×10^6 亩、鄱阳湖受影响灌溉面积为 3.1×10^6 亩。

洞庭湖北部荆南四河地处平原区，四口分流量

是当地的主要水源；荆江四河断流，造成湘鄂两省4地市、12县区、420万人、 5.54×10^6 亩耕地季节性水资源短缺，还导致荆南四河各支汉生态基流得不到保障，各支汉水力条件变差，断流期大部分河汉变成“死水”，水体自净能力降低，部分断面水质超标，部分河段发生“水华”[23]。

五、对策建议

（一）加快重要蓄滞洪区达标建设，修订《长江流域防洪规划》

1998年以来，长江上游陆续建成21座、总库容约 $1 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 的控制性水库，预计到2025年达到 $1.4 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。控制性水库运用在一定程度上降低长江中下游防洪压力，为防洪体系的调整完善创造条件。长江经济带的快速发展也对防洪保安提出了新的更高的要求。

1. 加快重要蓄滞洪区安全达标建设

蓄滞洪区是长江中下游防洪体系的重要组成部分，但受限于移民补偿标准偏低、占地取土等现实问题，导致蓄滞洪区安全建设严重滞后，多数重要蓄滞洪区不具备按计划、有控制的分蓄洪水条件。建议在国家层面协调发展改革、水利、自然资源等部门，优先加快洞庭湖区钱粮湖、共双茶、大通湖东以及鄱阳湖区康山等启用频率高和分蓄洪水能力大的重要蓄滞洪区的安全达标建设。

2. 修订《长江流域防洪规划》

《长江流域防洪规划》（2008年）旨在解决1998年大洪水暴露出的长江流域防洪问题，对一段时期内长江流域防洪减灾建设起到了指导作用。随着三峡及长江上游控制性水库的陆续建成，长江防洪形势出现了深刻变化：中下游干流河道发生长时间、大范围的冲刷下切，影响河势稳定和堤防安全；中下游超额洪量减少，蓄滞洪区运用几率降低，调整蓄滞洪区布局、优化防洪控制水位的诉求强烈；近年来长江中下游的洪涝灾害暴露出连江支堤、湖区圩堤等防洪标准明显偏低。建议组织相关单位和专家学者，统筹考虑长江中下游新的水沙条件、近年来暴露出来的主要防洪问题，对长江中下游防洪标准、荆江河段及洞庭湖城陵矶等重点区域的防洪控制水位、重要防洪工程等进行再论证、再布局，据此修订完善《长

江流域防洪规划》，精准指导未来长江中下游的防洪治理 [24]。

3. 三峡水库相机实施下泄流量不小于 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水调度

2003年三峡水库运用以来，最大下泄流量不超过 $4.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，平均每年只有4.5天时间下泄流量大于 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，坝下中小洪水过程显著减少，洪水出槽上滩几率几乎丧失；滩地杂草和树木迅速生长、糙率增加，将导致下游河道行洪能力降低；荆江大堤也未经受原设计的河道安全泄量洪水的检验。建议三峡水库每隔几年相机实施下泄流量不小于 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水调度，防止河道萎缩，检验河道的安全泄量，发现堤防潜在的安全隐患，以应对未来可能出现的大洪水 [25]。

（二）加强水库生态调度和生态环境修复重建

长江江豚等旗舰物种、特有鱼类的生长繁殖需要特定的水文过程和生态环境条件。人工繁育和增殖放流，虽然能在一定程度上降低部分水生动物灭绝的风险，但距离恢复生物自然种群这一生态保护终极目标仍有差距。为此，长江流域需要修复重建自然生境 [26]。

1. 加强长江流域大中型水库生态调度并纳入流域管理机构调度职责范围

三峡水库连续10年开展了以促进“四大家鱼”产卵繁殖为目标的生态调度，取得了一定的效果。长江上游鱼类种数、特有鱼类种数占长江流域的70%~80%，同时长江上游也是梯级水库分布最为集中的区域。建议按照“先重要、后一般，先易后难”原则，逐渐将水库生态调度范围扩大到长江上游各大流域梯级，塑造鱼类产卵繁殖所需的生态水文过程；将生态调度纳入流域管理机构的调度职责范围，加强生态调度的执行与监督力度。在近期，加快开展三峡及长江上游控制性水库的联合生态调度研究与实践，减缓三峡水库滞温效应，促进中华鲟的自然繁殖。

2. 开展支流替代生境建设和原通江湖泊的恢复连通

“顺应自然”开展生态保护，恢复河流的连通性和自然的水文、水温等生态要素。鉴于实际，长江上游生境的恢复重建不可能在梯级开发河段内实施，但可从与干流相连的一些支流着手。建议选择

与长江上游特有鱼类丰富且与梯级开发河段相连通的支流，将该支流的拦河建筑物（有重要供水任务的水库除外）全部拆除，恢复河流自然连通，重建特有鱼类栖息地；优先设立赤水河水生态保护示范区，选择青衣江、安宁河、水洛河等重要支流优先开展栖息地的修复重建试点。在长江中下游，选择生态地位重要、工程量相对小的湖泊，试点开展原通江湖泊的恢复连通，修复江湖洄游性鱼类洄游通道、促进江湖交流。

（三）统筹治理与保护，科学调控江湖关系

重大生态修复工程应从生态系统整体性特别是从江湖关系的角度出发，在源头查找原因，据此系统设计方案、实施治理措施。三峡及长江上游控制性蓄水运用是现状江湖关系演变的主要驱动力，也是两湖频频“干旱见底”的根源。随着长江上游控制性水库的建设运用，未来百年或更长时间，两湖“干旱见底”态势只会加重而不可逆转。通过适当的工程措施，可有效调控江湖关系，恢复湖泊的自然水文节律，增加湖泊的综合服务功能。

1. 在鄱阳湖出口建闸，合理调控湖泊水文节律

关于在鄱阳湖出口建闸，社会各界存在争议。部分生态专家学者持反对态度，主要是担心建闸后湖泊长期维持高水位，湖泊丰涨枯落的自然水文节律丧失，影响湿地植被的渐次出露。根据本课题组的长期研究，鄱阳湖出口建闸并合理调控，可有效应对江湖关系变化对鄱阳湖的影响，又不会带来新的生态环境问题，整体来看建比不建强、早建比晚建强。在鄱阳湖出口建闸，应秉持“建闸不建坝、调枯不控洪”原则，4—8月份闸门全开敞泄、江湖连通；9—11月份通过闸控保持湖泊水位缓慢消落，恢复到三峡水库运行前多年平均水文节律；12—3月份适当提高湖泊的最低水位。相关举措有利于塑造与越冬候鸟栖息环境相适应的湿地生态环境格局，扩大水生生物生存空间，增加湖泊综合服务功能。

2. 实施洞庭湖北部水系综合整治，增加枯水期分流入湖水量

就洞庭湖来说，实施洞庭湖北部水系综合整治比洞庭湖出口建闸更为迫切，潜在效益也更显著。洞庭湖北部水系综合整治以荆南三河疏浚为重点，以改善江湖连通关系、恢复枯水期长江分流入洞庭

湖能力为目标。相关举措可显著提高洞庭湖北部地区供水保障程度,改善河湖水环境质量,增强长江与洞庭湖鱼类交流。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 10, 2021; **Revised date:** January 12, 2022

Corresponding author: Hu Chunhong is a professor-level senior engineer from the China Institute of Water Resources and Hydropower Research. His major research field is theory and application in the fields of sediment movement mechanics, riverbed evolution and river course improvement. E-mail: huch@iwhr.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on several strategic issues in the construction of ecological civilization in the Yangtze River Economic Belt” (2019-ZD-08)

参考文献

- [1] 陈善荣, 何立环, 张凤英, 等. 2016—2019年长江流域水质时空分布特征 [J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1100—1108.
Chen S R, He L H, Zhang F Y, et al. Spatiotemporal characteristics of surface water quality of the Yangtze River Basin during 2016—2019 [J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5): 1100—1108.
- [2] 姜亦华. 江苏省实施长江大保护的成效与建议 [J]. 长江技术经济, 2021 (8): 215—217.
Jiang Y H. Effect and suggestions on the implementation of Yangtze River protection in Jiangsu Province [J]. Technology and Economy of Changjiang, 2021 (8): 215—217.
- [3] 黄润秋. 国务院关于长江流域生态环境保护工作情况的报告 [EB/OL]. (2021-06-07)[2021-12-10]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202106/459bf9e588354a669c9742fec4b29057.shtml>.
Huang R Q. Report of the State Council on the work of ecological environment protection in the Yangtze River Basin [EB/OL]. (2021-06-07)[2021-12-10]. <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202106/459bf9e588354a669c9742fec4b29057.shtml>.
- [4] 冯建伟. 十年禁渔多方发力 共护长江成效初显 [N]. 农民日报, 2021-12-18(01).
Feng J W. Yangtze River protection has achieved remarkable results with 10 year fishing ban [N]. Farmers' Daily, 2021-12-18(01).
- [5] 张慧, 高吉喜, 乔亚军. 长江经济带生态环境形势和问题及建议 [J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(5): 28—32.
Zhang H, Gao J X, Qiao Y J. Current situation, problems and suggestions on ecology and environment in the Yangtze River Economic Belt [J]. Environment and Sustainable Development, 2019, 44(5): 28—32.
- [6] 杨桂山, 徐昔保. 长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的基础与策略 [J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8): 940—950.
Yang G S, Xu X B. Foundation and strategy of well-coordinated environmental conservation and avoiding excessive development in the Yangtze River Economic Belt [J]. Bulletin of Chinese Academy of Science, 2020, 35(8): 940—950.
- [7] 习近平. 在深入推动长江经济带发展座谈会上的讲话 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2018 (20): 6—12.
Xi J P. Speech at the symposium on further promoting the development of the Yangtze River Economic Belt [J]. The Bulletin of the State Council of the People's Republic of China, 2018 (20): 6—12.
- [8] 宁磊. 长江中下游防洪形势变化历程分析 [J]. 长江科学院院报, 2018, 35(6): 1—5.
Ning L. History of flood control situation in the midstream and downstream of Yangtze River [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2018, 35(6): 1—5.
- [9] 喻杉, 游中琼, 李安强. 长江上游防洪体系对1954年洪水的防洪作用研究 [J]. 人民长江, 2018, 49(13): 9—14.
Yu S, You Z Q, Li A Q. Study on effects of present upstream flood control system in Changjiang River against 1954 flood [J]. Yangtze River, 2018, 49(13): 9—14.
- [10] 要威. 新形势下长江蓄滞洪区建设与管理思考 [J]. 长江技术经济, 2019 (2): 99—103.
Yao W. Thoughts on the construction and management of the Yangtze River flood detention areas under the new situation [J]. Technology and Economy of Changjiang, 2019 (2): 99—103.
- [11] 郑守仁. 从2016年长江洪水看三峡工程防洪作用 [J]. 长江技术经济, 2017 (1): 38—42.
Zhen S R. On effect of TGP reservoir on Yangtze flood control in the light of 2016 flood [J]. Technology and Economy of Changjiang, 2017 (1): 38—42.
- [12] 马建华. 2020年长江流域防洪减灾工作实践及思考 [J]. 人民长江, 2020, 51(12): 1—7.
Ma J H. Practice and reflection on flood control and disaster mitigation in Changjiang River Basin in 2020 [J]. Yangtze River, 2020, 51(12): 1—7.
- [13] 刘志文, 周平, 王一峰. 武汉市“2016年梅雨期”暴雨洪水浅析 [J]. 市政工程, 2017, 32(5): 94—95.
Liu Z W, Zhou P, Wang Y F. Analysis of rainstorm flood in 2016 plum rain period in Wuhan City [J]. Municipal Engineering, 2017, 32(5): 94—95.
- [14] 刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策 [J]. 长江流域资源与环境, 1992 (1): 17—23.
Liu J K, Cao W X. Fish resources of the Yangtze River Basin and the tactics for their conservation [J]. Resources and Environment in The Yangtze Basin, 1992 (1): 17—23.
- [15] 曹文宣. 长江上游水电开发的生态修复刻不容缓 [N]. 中国科学报, 2019-05-21(02).
Cao W X. The ecological restoration of hydropower development in the upper Reaches of the Yangtze River is urgent [N]. Chinese Journal of Science, 2019-05-21(02).
- [16] 刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策 [J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 144—156.
Liu F, Lin P C, Li M Z, et al. Current situation and protection countermeasures of fish resources in the Yangtze River Basin [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(S1): 144—156.
- [17] 段学军, 王晓龙, 徐昔保, 等. 长江岸线生态保护的重大问题及对策建议 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2641—2648.
Duan X J, Wang X L, Xu X B, et al. Major problems and countermeasures of ecological protection on the waterfront resources along the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11): 2641—2648.

- [18] 胡春宏, 阮本清, 张双虎. 长江与洞庭湖鄱阳湖关系演变及其调控 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
Hu C H, Ruan B Q, Zhang S H. Evolution and regulation of the relationship between The Yangtze River and Dongting Lake and Poyang Lake [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [19] 张云昌. 长江大保护中的五个水生态热点问题剖析 [J]. 环境保护, 2019, 47(21): 44–47.
Zhang Y C. Analysis of five hot issues of water ecology in Yangtze River Protection [J]. Environmental Protection, 2019, 47(21): 44–47.
- [20] 张云昌, 张业刚, 宋秋龄, 等. 江湖关系的历史和未来 [J]. 水利学报, 2021, 52(10): 1183–1192.
Zhang Y C, Zhang Y G, Song Q L. The history and future of the relationship between the Yangtze River and connected lakes [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2021, 52(10): 1183–1192.
- [21] 许全喜, 袁晶, 董炳江. 长江泥沙变化及河床冲淤研究 [J]. 长江技术经济, 2019 (3): 58–68.
Xu Q X, Yuan J, Dong B J. Sediment change and river bed erosion and deposition in the Yangtze River [J]. Technology and Economy of Changjiang, 2019 (3): 58–68.
- [22] 纪伟涛. 鄱阳湖——地形、水文、植被 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
Ji W T. Poyang Lake: Topography, hydrology and vegetation [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [23] 甘明辉, 刘卡波, 杨大文, 等. 洞庭湖四口河系防洪、水资源与水环境研究 [J]. 水力发电学报, 2011, 30(5): 5–9.
Gan M H, Liu K B, Yang D W, et al. Analysis on the flood control, water supply and water environment protection in the region of Dongting Lake along the Yangtze River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(5): 5–9.
- [24] 胡春宏, 张双虎. 论长江开发与保护策略 [J]. 人民长江, 2020, 51(1): 1–5.
Hu C H, Zhang S H. Discussion on development and protection strategy of Yangtze River [J]. Yangtze River, 2020, 51(1): 1–5.
- [25] Zhen S R. Reflections on the three gorges project since its operation [J]. Engineering, 2016, 2(4): 389–397.
- [26] Chen Y S, Zhang S H, Huang D S, et al. The development of China's Yangtze River Economic Belt: How to make it in a green way? [J]. Science Bulletin, 2017, 62: 648–651.