

长江中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 保护——反思、改革和创新*

黄真理**, 王鲁海

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 长江水生生物保护面临巨大挑战, 加强长江水生生物保护是当前国家的战略需求. 中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 是长江的旗舰物种, 也是 1980s 葛洲坝救鱼的唯一物种. 经过近 40 年努力和数以亿计的投入, 中华鲟的种群数量持续衰退, 走到濒临灭绝的边缘. 如果不能很好汲取中华鲟保护的教训, 长江水生生物保护将难以走出困境. 本文回顾了葛洲坝救鱼以来中华鲟保护的历程并进行评价, 我们认为: 回避或轻视长江梯级水坝的影响, 就难以准确认识中华鲟种群衰退的定量影响机制, 也不可能采取针对性措施. 因此, 要避免重蹈中华鲟的覆辙, 对中华鲟保护工作进行全面反思、改革和创新, 是长江水生生物保护面临的重大战略问题.

关键词: 中华鲟; 葛洲坝; 救鱼; 改革

The Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) conservation—Introspection, reform and innovation*

HUANG Zhenli** & WANG Luhai

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, P.R.China)

Abstract: The conservation protection of aquatic life in the Yangtze River is facing a great challenge, and strengthening their protection is the national strategic demand of China. The Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) is a flagship species of the Yangtze River, and the sole one for the fish rescue program of the Gezhouba Dam in the 1980s. After a great deal of scientific research and implementing conservation measures over the past four decades, the Chinese sturgeon population has been on the verge of extinction. If lessons of Chinese sturgeon protection could not be well learned, the protection of aquatic life in the Yangtze River will be difficult to get out of the current predicament. This paper reviews the history of scientific research and protection of Chinese sturgeon since implementation of the fish rescue program. It shows that dodging or overlooking the influence of Yangtze cascade dams will be unable to reveal the quantitative mechanism of the population decline, and is impossible to take targeted measures. Therefore, to avoid repeating the same mistakes that the protection of Chinese sturgeon has arisen in the past four decades, launching introspection, reform and innovation for the lessons of the Chinese sturgeon conservation is an urgent strategic issue of conserving the aquatic life in the Yangtze River.

Keywords: Chinese sturgeon; Gezhouba Dam; fish rescue; reform

2018 年 10 月, 国务院办公厅发布《关于加强长江水生生物保护工作的意见》^[1]. 一方面说明党中央、国务院高度重视长江水生生物保护工作, 另一方面, 也说明长江水生生物保护面临十分严峻的形势, 中华鲟 (*Acipenser sinensis*)、白鲟 (*Psephurus gladius*)、长江鲟 (*Acipenser dabryanus*, 又称达氏鲟) 和圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti*) 等长江珍稀鱼类濒危灭绝. 2020 年 1 月, 长江实施“十年禁渔”开始之际, 张辉等报道了白鲟功能性灭绝, 但具体原因不明^[2], 引发国内外对长江珍稀鱼类的广泛关注和讨论. 从 1970s 葛洲坝工程建设开始, 长江鱼类保护引起全社会的关注和讨论, 到 1981 年葛洲坝截流前后达到高潮, 开启了中国水电工程鱼类保护的先河——葛洲坝救鱼项目, 其策略和措施曾经被认为是鱼类学家支撑科学决策的范例, 成为“我国

* 2020-02-25 收稿; 2020-03-11 收修改稿.

国家自然科学基金项目 (51379218) 和青海省科技计划项目 (2019-SF-147) 联合资助.

** 通信作者; E-mail: zhluang@263.net.

水电开发中对珍稀鱼类保护的一种定式”^[3],直接影响了当时直至今日长江鱼类的保护.葛洲坝救鱼近40年来,长江鱼类保护继承了“葛洲坝救鱼”的思路、思维和策略,培养了一批鱼类保护的研究团队,取得了一批重要获奖成果.但是,这些科研成果和保护措施并没有挽救长江珍稀鱼类面临种群衰退甚至灭绝的命运.特别是,经过近40年的努力和数以亿计的投入,中华鲟的野生种群已经走到濒临灭绝的边缘.

1989年曹文宣等^[4]最早进行了葛洲坝救鱼的历史和回顾,比较全面地介绍了中国科学院水生生物研究所(以下简称中科院水生所)开展的大量研究工作,认为中科院水生所“为有关部门作出正确决策提供了可靠的科学依据”,取得有关中华鲟的研究结论:(1)被葛洲坝阻拦在坝下江段的中华鲟性腺正常发育成熟;(2)中华鲟繁殖群体主要是初次参加繁殖的个体;(3)坝下江段已形成稳定的中华鲟产卵场;(4)实施禁捕后,中华鲟幼鱼资源逐渐恢复到建坝前的水平;(5)人工繁殖技术日臻完善,达到了设计规模.1998年常剑波、黄真理和曹文宣^[5]对葛洲坝救鱼的争论进行了历史回顾,肯定了葛洲坝救鱼是成功的,提出若干启示.1999年常剑波和曹文宣^[6]综述了中华鲟物种保护的历史与前景,承认1990s以后雌雄比例变化,繁殖种群逐年减少,认为中华鲟人工放流的规模尚不足以弥补自然繁殖的损失,预测三峡水库的影响是产卵季节下泄流量减少带来产卵场面积缩小(注:实际上水温才是难点),提出了严格控制捕捞、增加人工放流数量等6项措施.2011年肖慧^[7]对中华鲟保护30年进行了回顾,主要介绍了中华鲟研究所在人工繁殖体系建设方面取得的成绩;认为“尽管采取了综合性措施,中华鲟种群仍然逐渐衰退”,原因归结为“产卵场面积小、人类活动多”、“偷捕、电捕屡禁不绝”、“水质污染”等.2011年危起伟团队^[8]对中华鲟救鱼30年进行了回顾评价,把中华鲟种群持续衰退的原因归结为人类活动影响增强、管理上的协调机制缺失、综合保护措施缺乏、人工繁殖放流效果不清楚等一系列因素.在人类活动影响中,指出了葛洲坝建设对中华鲟种群衰退带来显著影响,也强调了污染、航运和非法捕捞的影响.2017年危起伟团队^[9]对葛洲坝的生态影响进行了回顾评价,他们认为在1970s关于葛洲坝对长江鱼类的影响评价是恰当的.但是,他们指出了葛洲坝救鱼的关键措施——网捕过坝没有意义^[10];人工繁殖放流收效甚微^[11-12].他们认为,与人类活动和生态环境巨大变化相比,葛洲坝的影响意义不大.

中华鲟被列为葛洲坝救鱼的唯一对象,是因为鱼类专家们达成共识:葛洲坝对中华鲟的影响最大.葛洲坝救鱼措施实施多年以后,发现中华鲟种群数量显著下降.主流专家们并没有找到减免葛洲坝不利影响的针对性措施,即使有些专家针对水坝影响提出警告和措施也未能形成共识,更没有引起相关部门和水坝业主的重视.因此,主流专家转而提出过度捕捞、污染、航运、气候变化等非水坝因素影响及其相关对策措施,把中华鲟保护的重心和视线引导到非水坝因素,回避葛洲坝救鱼论证的误判和保护措施的失败,葛洲坝救鱼的责任主体由单一和清晰变得宽泛和模糊,导致葛洲坝救鱼策略和措施无法得到根本性改革、改变或改善,缺乏针对性措施.中华鲟作为长江的旗舰物种,为国家一级保护动物,是长江上最受重视、研究措施最多、保护力度最大的“明星”鱼类,在长江水生生物保护中具有典型性和代表性.然而野生种群衰退可见,未来灭绝的前景可期.因此,我们认为,葛洲坝救鱼的科技支撑和主流专家意见,可能存在严重误判和错误,有必要重新认识和评价.

1 葛洲坝“救鱼”——不能忘却的纪念

1970s,长江第一坝——葛洲坝修建引发长江“救鱼问题”大争论,救鱼对象和措施成为焦点,引起了广泛关注.争论表面上发生在行业部门之间,关于是否修建过鱼设施(鱼道)以及是否只需要救护中华鲟等,背后的科学问题是,如何预测和评价葛洲坝以及三峡水坝对长江洄游性鱼类的影响,比如水坝的影响是否危及中华鲟的生存,因而需要修建鱼道;或者水坝的影响不大,不需要修建鱼道,只需要辅助人工繁殖放流.在解答葛洲坝要不要救鱼、救什么鱼和怎样救鱼等问题中,专业机构(专家)发挥着关键性作用.

1.1 改革开放前

葛洲坝救鱼的争论,伴随着长江流域规划和葛洲坝的修建,跨越“文革”到改革开放初期.毛泽东主席1964年指示:“兴建水利要三救,即救鱼、救船、救木”.这也是为什么把水利工程的鱼类保护称为“救鱼”的原因.1949年长江洪水以后,长江流域规划成为新中国的一项重要工作,1950年成立了长江流域规划办公室(简称“长办”,现为长江水利委员会),专门负责此事.中科院水生所在1958年针对长江流域规划中的三

峡枢纽对于鱼类繁殖的影响和措施提出意见,认为要考虑洄游性鱼类(主要是四大家鱼和鲟鱼)的繁殖问题;针对渠化梯级(注:为改善三峡下游航运而修的葛洲坝),提出不仅要修建“鱼电梯”,还要考虑“鱼涵洞”,并提出初步设想,解决亲鱼的上溯和亲鱼与鱼苗的降河问题^[13]. 1960年,在长办的支持下,中科院水生所牵头组织5家高校开展“四大家鱼”产卵场调查,发现产卵场的分布范围十分广泛,宜昌产卵场的规模只占长江中下游的20%,提出葛洲坝不必修建过鱼设施^[14]. 到了1964年,易伯鲁和梁秩荣以中科院水生所名义发表论文,提出大坝工程不必修建任何过鱼设施(修建过鱼设施是徒劳无益的),不影响家鱼的繁殖和资源^[15]. 1970年11月和12月,中科院水生所和长江水产研究所几乎同时提出葛洲坝不必修建过鱼设备的报告^[16],分析了水坝对鱼类资源的影响,重点关注四大家鱼,认为水坝影响不大,修建过鱼设备不可行;报告提到了圆口铜鱼、中华鲟、达氏鲟、白鲟等,但认为只有鳗鲡受影响,在长江上游渔业意义不大,不值得修建过鱼设备.

1970年12月,葛洲坝工程正式开工,又称三三〇工程. 面对中科院水生所和长江水产所等鱼类或水产专业机构反对鱼道建设,三三〇设计团鱼道组在1971年8月25日提出报告^[17],分析长江渔业资源下降是多方面的,把闸坝建设阻断某些鱼类洄游通道排在第一位,坚持认为“修建过鱼建筑物是必要的”,“一致建议两个过鱼建筑物”. 1971年12月,负责葛洲坝工程建设的三三〇指挥部提出过鱼建筑物的初步设计报告^[18],针对鱼类专业机构的反对意见,强调了“我们对长江鱼类生活规律了解得很少,修建过鱼设施还是第一次”,主张修建过鱼设施.

1972年葛洲坝工程暂时停工,修改设计,成立葛洲坝工程技术委员会,明确渔业规划和过鱼设备由农林部负责. 1973年农林部召开渔业座谈会,提出“葛洲坝渔业规划的意见”报技术委员会,并把渔业补充规划和过鱼设备的设计任务下达给长办和湖北省水电局负责. 此后一段时间,直到1981年1月葛洲坝工程截流,长办和水产部门的意见出现对立和分歧,特别是围绕救鱼对象和过鱼设施,双方的意见针锋相对. 长办采纳了反鱼道派专家^①的意见^[19],主张:(1)葛洲坝是一个低水头径流式电站,对鱼类资源和生态环境影响不大;(2)救鱼对象主要考虑中华鲟,其他鱼类毋须专门救护;(3)救护中华鲟的措施采用人工繁殖放流是合理的;(4)过鱼设施很难达到救护中华鲟的目的,意见未统一前,预留适当位置. 水产部门和鱼道派专家主张:(1)水利工程对渔业资源影响很大;(2)鲟鱼(中华鲟、白鲟、达氏鲟)、四大家鱼、铜鱼都要列为救护对象;(3)过鱼设施设置在大江船闸和厂房之间的位置. 可以看出,争论的关键之处在于葛洲坝或长江水坝对渔业资源影响程度的判断,也是葛洲坝救鱼的核心科学问题.

1.2 改革开放后

1978年改革开放后,科学的春天到来,珍重知识、珍重人才成了时代风尚,重大工程实行科学化和民主化的决策方式,给了科研机构和专家更大的发言权. 围绕葛洲坝救鱼的争论一直僵持不下,双方谁也说服不了谁. 1981年1月4日,葛洲坝截流引爆了葛洲坝救鱼争论. 1月12日,马锡栋等水产部门8名专家批评葛洲坝工程忽视生态平衡,片面认为对水产“影响很小”^[20],取消了鱼道建设项目. 媒体介入,国内有些学者和学会纷纷发表意见^[21-22]. 随后,原国家农委、水利电力部、农牧渔业部杜润生、李瑞山、钱正英、何康、肖鹏、林一山6人参与组织论证,为期约两年,1982年12月28日向国务院提出报告^[23]:(1)1981年2月18日—23日,国家农委召开第1次论证会,内容围绕“要不要救鱼”(影响大小)、“救鱼对象”、“救鱼措施”等问题. 除了“要救鱼”达成一致外,救鱼对象和救鱼措施等存在严重分歧.(2)针对严重分歧的问题,组织联合调查组和设计研究组无法统一认识.(3)1982年2月8—20日召开第2次论证会议,一致的意见是:只救中华鲟. 救护方法包括人工繁殖放流、网捕过坝和禁捕. 不一致的意见是过鱼建筑物.(4)组织技术考察组赴苏联和美国,借鉴国外经验:人工繁殖是当前救护方向;鱼道对过鲟鱼不成功;苏联的经验为只有升鱼机可以考虑;美国没有鲟鱼的过鱼设施.(5)1981年10—11月间,中科院水生所在宜昌至石首江段发现性腺成熟中华鲟;

^① 为了讨论方便,我们把专业机构(专家)分为反鱼道派和鱼道派. 反鱼道派是以中科院水生所为代表的鱼类学家,认为鱼道技术上不成熟、经济上不合理,主张缓建或不建. 鱼道派是以水产部门的官员、水产专家和生态专家为代表的人士,主张修建鱼道. 这种分类不完全准确,比如,并不是鱼类学家都反对修建鱼道,上海水产学院院长、东海水产所所长、著名鱼类学家朱元鼎赞成修建鱼道. 鱼类专业机构或专家的态度也会因时而异或因人而异. 这里的鱼道是个广义概念,代表鱼道、鱼梯等过鱼设施.

1982年3月在沙市采集幼苗10尾;6—7月在崇明岛附近采集幼鲟120尾;1982年11月通过食卵鱼铜鱼解剖发现中华鲟鱼卵和现场捕捞30尾幼苗,证实中华鲟能够在葛洲坝下产卵。长江水产所也通过解剖铜鱼发现中华鲟鱼卵。主流专家们认为,中华鲟产卵和正常孵化是事实,在葛洲坝下形成新的产卵场。因此,明确了葛洲坝救鱼的主要内容:只救中华鲟;不修建过鱼建筑物;采取人工繁殖放流;网捕过坝作为补充措施;严格实行禁捕;继续做好产卵场调查。

此后,长办和反鱼道派的意见得到采纳,水产部门和鱼道派的意见被否定,各项措施逐步落实到位(图1a)。我们发现,在葛洲坝救鱼的争论中,长办的意见之所以得到采纳,原因在于:(1)委托相关权威科研机构,如中科院水生所、长江水产研究所、华中农学院水产系、武汉大学等开展了相关研究工作,提出了论证报告;(2)得到了以中科院水生所为代表的鱼类学家的支持;(3)中华鲟在葛洲坝下发现自然繁殖的证据,支持了中科院水生所的乐观意见,也否定了水产部门部分专家对这一问题的悲观估计。反观水产部门,作为长江鱼类资源的主管部门,对鱼类资源保护重视不够,没有组织相关的科研攻关开展针对性研究,也没有扎实的研究报告来支持其观点。尽管他们提出的对中华鲟、白鲟、铜鱼、鳊鲃等物种的预测,后来证明“不幸而言中”,这些物种的野生种群现在都面临严重的生存危机。

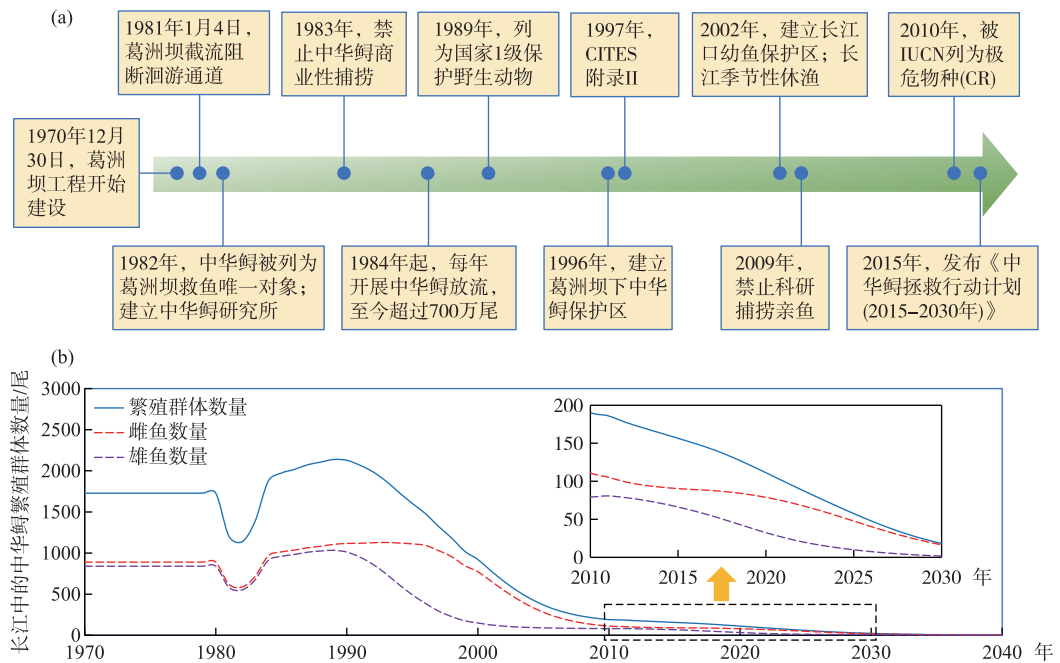


图1 中华鲟保护历程^[24](a)与长江中繁殖群体(亲鱼)数量变化^[25](b)

Fig.1 History of the Chinese sturgeon protection (a) and the population size variation of adult Chinese sturgeon in the Yangtze River (b)

1.3 经验和教训

(1) 低估或轻视水坝的影响

我们认为,关于葛洲坝救鱼,当年的决策是慎重的,重视调查研究和吸取国外经验,充分听取鱼类学家、水产学家和管理部门的意见,体现科学化和民主化的原则。葛洲坝救鱼的目的是什么?正如中科院水生所1981年4月9日《关于长江葛洲坝救鱼对象和措施的意见》中所说^[26]：“救护的目的是使其繁殖后代,提供补充群体,以保持相对稳定的种群量。必须从这个目的着眼,来考虑对于中华鲟保护应该采取的措施。”然而,葛洲坝救鱼措施实施后,并没有实现这个美好的愿望,十年以后中华鲟种群数量持续衰退直至面临生存危机。我们认为,以中科院水生所为代表的反鱼道派主流专家为葛洲坝救鱼提供科技支撑时,低估或轻视了

葛洲坝对中华鲟和其他洄游性鱼类的影响,做出了过于乐观的估计。

1982年12月24日,以中科院水生所名义上报了《葛洲坝枢纽下游中华鲟自然繁殖的调查报告》^[27],提出保护中华鲟的4条措施:中华鲟能够依靠天然繁殖保持该物种;人工繁殖放流措施增加中华鲟资源技术可行;必须禁捕;不应为中华鲟建设无效费钱的鱼道。报告中有这样的结论性的判断:“迄今尚未见到世界上任何一种洄游的鲟鱼类因江河修筑水利枢纽而灭绝的事实,中华鲟也不会是例外”。报告最后是这样的结论:“我们认为,要切实保护好中华鲟,坚决制止盲目滥捕亲鲟和幼鲟,充分发挥坝下江段中华鲟产卵场的效能,加强中华鲟人工繁殖放流工作。采取了这些综合措施,今后中华鲟的资源量不但不会减少,而且有可能增加”。这个带有“背书”性质的权威报告,对12月28日后续决策无疑具有重要支撑作用和影响力。

1983年1月31日,中国水产科学研究院对中科院水生所的报告提出不同意见,坚持认为四大家鱼、中华鲟、白鲟都应该列为救鱼对象^[28]。针对中华鲟,中国水产科学研究院认为:在葛洲坝下调查研究的深度不够,不能断定依靠自然繁殖能维持种群繁衍,葛洲坝建成后的水文条件发生变化,或三峡大坝修建会带来低温水(注:原文如此,应该是秋季高温水),那时将不再具备中华鲟产卵繁殖条件。因此,中华鲟的命运很难乐观。其核心意见认为,中科院水生所的报告不能否定鱼道,救鱼要采取综合措施(鱼道和人工繁殖放流)。1983年7月11日,长办否定性地答复了水产科学研究院的意见^[29],特别是否定了三峡大坝的水温对繁殖的影响问题。

1982—1985年,中国水产科学研究院长江水产研究所的柯福恩等人调查发现,葛洲坝导致中华鲟的性腺退化十分严重,产卵规模相当有限,若干年后资源量将进一步衰竭^[30]。然而,中科院水生所调查认为:中华鲟在葛洲坝下性腺能够发育成熟,个别性腺发育不正常被认为是病态^[31]或鱼体受伤所致^[4]。1990年,陈金生等针对中华鲟性腺退化进行复核调查^[32],否定了柯福恩等关于葛洲坝导致中华鲟性腺退化的严重问题。我们的研究表明:对葛洲坝带来的性腺退化问题的长期忽视或轻视,给中华鲟保护带来了严重影响^[33]。

(2) 鱼道之争

应该说,鱼道之争成为葛洲坝救鱼的焦点,其核心科学问题是,如果不修建过鱼设施,中华鲟是否能在葛洲坝下正常繁育后代。从葛洲坝救鱼论证直至三峡工程上马之前,否定鱼道并依靠人工繁殖放流和自然繁殖可以保护中华鲟野生种群,反鱼道派的主流专家意见成为决策依据,进而产生长远影响——长期忽视或低估葛洲坝以及随之而来的长江梯级水坝对中华鲟繁殖的影响。我们也注意到,对葛洲坝影响的预测,不是基于可靠的理论模型的定量分析,而是基于短期野外观测资料和权威机构及其专家的经验判断作出的外推定性结论。传统的鱼类生态学理论,无法揭示环境变化与中华鲟种群时空分布、发育变化、数量变动的关系,所以,无法揭示水坝对中华鲟影响的定量机制。由于葛洲坝下中华鲟存在自然繁殖的事实,加上新出生中华鲟返回长江需要10年左右时间(雌雄略有差异),反鱼道派相关专家对葛洲坝影响的经验预测或判断长期以来被认为是科学的和可靠的。然而,从1990s中华鲟种群数量开始持续下降,2013年以后中华鲟在长江的产卵繁殖已经十分困难,说明权威机构或主流专家关于葛洲坝下中华鲟能够正常繁殖的结论过于乐观,特别是葛洲坝下中华鲟存在性腺退化的问题被轻易否定,是一个严重误判^[33]。那么,如果修建鱼道或过鱼设施,是否能够成功呢?即使到今天,我们由于缺乏相关研究也无法做出肯定的回答。但我们想起至今仍然恰当、不过时的一段话,1971年12月,三三〇指挥部关于过鱼建筑物的初步设计报告中指出^[18]:“如果不修建过鱼设施,对长江鱼类的自然生活条件有所改变,会对长江鱼类资源有影响。至于修建了过鱼建筑物以后能够获得多大效益,没有实践之前是难以搞清楚的,应在今后的实践中总结经验”。

环保部门陈凯麒、常仲农等^[34]把我国的鱼道的研究发展分为3个时期:初步发展时期(1960s—1970s)、停滞期(1980s—1990s)和二次发展期(2000年以后),认为鱼道发展的停滞主要是受葛洲坝救鱼争论的影响。我国台湾鱼类生态学家曾晴贤和杨正雄^[35]认为,过去,许多鱼类学家或生态学家都不太相信鱼道能够真正发挥功效,导致水利工程师以此为借口不积极修建鱼道。根据在台湾二十多年的经验和青海湖裸鲤洄游鱼道的成功实践,他们认为只要用心去做,认真研究鱼道设计技术,鱼道成功不是难事。

(3) 人工繁殖放流

中华鲟研究所、长江水产研究所等机构采取人工繁殖放流作为主要救鱼措施,30多年来共放流700万尾以上^[24],但资源增殖收效甚微。人工繁殖放流出现科研方向走偏和支撑严重不足的问题,表现为:重人工

繁殖技术,轻放流效果评估。相关机构把子二代人工繁殖的突破作为重点科研方向,但对放流效果的研究重视不够,对提高幼鱼放流的存活率研究不够,相关基础研究成果严重缺乏,与1990s中期以后国际上对人工繁殖放流的反思和改革形成鲜明的对比,差距较大^[36-37]。比如:实施“硬放流”(hard release),直接把幼鱼放入长江中,没有经过一周左右的环境适应的放流地点现场驯养过程,即所谓的“软放流”(soft release)。国际经验表明^[36]:“软放流”比“硬放流”更有利于提高幼鱼的成活率。人工养殖中华鲟与野生中华鲟在摄食和避敌害方面有什么差异?放流个体是否越大越好?放流个体年龄和数量与返回长江的亲鱼成活率之间的关系如何?放流经济性和成活率之间如何平衡?这些问题长期以来一直缺乏相关研究和数据,导致放流具有盲目性,这是人工繁殖放流收效甚微的根本原因,也是全国水坝搞人工增殖放流存在的普遍性问题。因此,建议加强对人工养殖的亲鱼质量、遗传多样性以及幼鱼放流效果的相关研究,以提高放流质量和效果为目标重新制定人工繁殖放流规划。

2 三峡“救鱼”——花开花落谁人知

1990s中期以前的鱼类生态学研究主要依靠标记—捕捞—测量—解剖等传统的技术手段。柯福恩等做了至今单次集中标记数量最多的中华鲟标记放流—重捕试验,1983—1984年共标记放流中华鲟57尾,共捕获中华鲟229尾(含标记中华鲟6尾)。据此估算1984年中华鲟的资源量为2176尾,95%的置信区间为996~5933尾^[38]。1990s中期,美国专家Boyd Kynard与长江水产研究所危起伟和柯福恩合作,率先引入超声遥测技术跟踪监测繁殖群体的行为^[39]。此后,中科院水生所、中华鲟研究所等把遥测技术、超声波探鱼仪等技术手段应用于中华鲟研究,对中华鲟的资源量、产卵繁殖行为和洄游习性有了更多的认识,发现中华鲟繁殖群体数量逐年衰退的事实。

1992年,三峡工程上马。作为三峡工程的日常组织协调机构,国务院三峡工程建设委员会办公室的相关部门也受到“葛洲坝救鱼”中乐观派主流专家的影响。1990s中期以后,中华鲟繁殖群体数量减少,雌雄性比发生了显著变化,预示着种群的衰退。中华鲟种群演变趋势,越来越偏离乐观派当初做出的“科学”预测。从1984年开始的人工繁殖放流,在繁殖技术方面取得进展,然而增殖效果缺乏有效评估。从1990s后期开始,在国务院三峡建设委员会办公室的推动下,开始着手中华鲟人工繁殖放流效果有效性评估,包括各种标记放流—重捕技术的应用。至2000s初期,多年的持续标记放流效果评估表明:与自然繁殖相比,人工繁殖放流的幼鱼在河口的比例在3%~7%,这意味着人工增殖放流的贡献小于10%,人工繁殖放流根本无法起到弥补自然繁殖不足的作用。

由于认识的局限性,在三峡工程论证过程中,忽视了水坝带来的秋季水温升高对中华鲟产卵繁殖的影响,这不能不说是三峡工程环境影响评价的一个缺憾^[40]。三峡工程以及上游梯级水坝,会改变长江水温结构和过程:春季水温降低,秋季水温升高^[41-43]。四大家鱼在春季产卵繁殖,需要18℃以上水温,受水坝影响水温降低。这个问题在三峡工程论证中明确提出并受到重视,开展了大量研究。2011年以来开展生态调度改善四大家鱼的产卵环境,收到了较好的效果^[44]。国外最新研究也表明,只要找准原因,就能够找到针对性措施减轻水坝的影响^[45]。

在葛洲坝救鱼的论证过程中,预测中华鲟生存危机的主因是水坝,当年形成共识,并无任何分歧。1981年1月葛洲坝截流后,1981年和1982年葛洲坝下的捕捞量分别为1002和642尾,资源利用率分别为86%和57%^[46]。因此,在1982年葛洲坝救鱼措施的论证中,过度捕捞被广泛批评。1983年商业禁捕政策出台后,曹文宣等认为1984年禁捕使得中华鲟资源得到有效恢复^[4]。常剑波和曹文宣^[6]指出过度科研捕捞和河口幼鱼捕捞的不利影响。2002年上海幼鱼保护区建立和季节性休渔措施实施,2009年科研捕捞也全面被禁止(图1)。有一个值得思考和注意的现象,1992年以后,三峡工程建设过程中,中华鲟种群数量减少,人工繁殖放流作为葛洲坝救鱼的主要措施,也被多种标记放流的评估确认“成效甚微”,中华鲟生存危机的主因悄悄发生变化,葛洲坝救鱼的责任主体反而变得越来越不清晰了。主流专家开始把种群衰退的主因归咎于水坝、捕捞、航运、污染、全球气候变化等人类活动影响,没有任何对比定量分析报告,全凭主流专家个人经验和主观意愿^[47]。水坝的影响看不见也摸不着,捕捞、航运、污染的影响容易得到理解认同。此时的中华鲟正是需要采取针对性措施挽救其生存危机的时候,关于自然种群生存危机的主因出现各种各样说法,主流专家们

各取所需,客观上误导了拯救中华鲟的主攻方向.

3 中华鲟现状——无可奈何花落去

在葛洲坝论证阶段轻视了大坝对中华鲟繁殖种群性腺退化和产卵场容量的影响,在三峡工程论证阶段又忽视了秋季水温增加对繁殖的不利影响等,依靠传统鱼类生态学理论,对中华鲟野生种群衰退机制及其主因认识不清. 长期监测研究表明,葛洲坝建设以来采取的人工繁殖放流、网捕过坝、设立自然保护区、禁捕等诸多措施,并未从根本上遏制中华鲟野生种群数量持续衰退的趋势. 长江水生生物保护,影响因素错综复杂,但水坝是影响中华鲟种群衰退的主要原因^[47]. 葛洲坝阻隔了中华鲟的洄游通道,中华鲟被迫在葛洲坝下产卵繁殖. 三峡(2008年)、向家坝(2012年)和溪洛渡(2013年)工程投入运行以来,中华鲟的有效繁殖基本丧失,野生种群面临灭绝风险,形势十分严峻.

2015年,农业部发布《中华鲟拯救行动计划(2015—2030年)》^[48]. 该计划的目的是挽救濒临灭绝的中华鲟,把中华鲟生存危机的原因归咎于筑坝、航道建设及航运、水污染等各种人类活动. 在没有搞清中华鲟的衰退机制及其主因的前提下,该计划制定的行动方案缺乏针对性和有效性,特别是在2013年以后自然繁殖出现困难的背景下,该计划提出的近期目标(2020年)是“查明中华鲟可能存在的新产卵场范围,产卵规模,繁殖群体现存量,以及繁殖后备亲体在海区分布范围等,形成较完善的中华鲟监测、评估与预警体系,关键栖息地得到有效保护,初步实现人工群体资源的整合,探索人工完成中华鲟‘陆—海—陆’生活史的养殖模式.”我们认为,该计划的近期目标和行动计划,没有抓住中华鲟面临的主要矛盾和威胁. 显然,由于长江中野生种群十分稀少,繁殖行为基本停止,提出的一系列全面计划实际上无法实施,也没有实际效果. 因此,该计划宜抓紧修改或调整,突出问题导向、目标导向和结果导向. 首先要抓住中华鲟生存危机的主要矛盾(显然不是去查明新的产卵场等)——自然繁殖基本停止,采取各种可能的针对性措施,改善中华鲟繁殖的环境条件,恢复中华鲟自然繁殖行为;其次,提高保种亲鱼质量,改善人工放流措施,增加中华鲟繁殖群体数量.

水坝对洄游性鱼类的影响是一个全球性的难题. 黄真理和王鲁海^[25]通过对长江水坝及其生态环境的长期研究,深入分析了中华鲟野生种群衰退的诱因,提出了水坝对洄游性鱼类影响的理论模型,包括历史种群模型(HPM)、洄游动力学模型(MDM)、有效繁殖模型(EBM)和基于容量和性腺制约的种群模型(CGPM),揭示了梯级水坝对中华鲟的定量影响机制(图2),并提出了针对性的减缓措施. 研究表明,长江梯级水坝导致中华鲟有效繁殖群体和产卵场容量减少,是中华鲟种群衰退的根本原因.

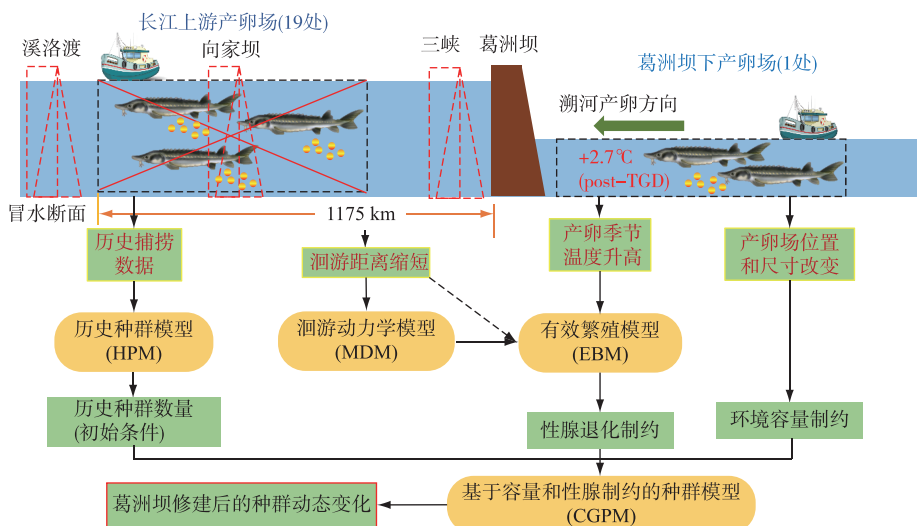


图2 长江梯级水坝对中华鲟影响的创新理论模型框架^[25]

Fig.2 The novel theoretical model framework to reveal the effects of Yangtze cascade dams on the Chinese sturgeon^[25]

4 抢救中华鲟——反思、改革和创新

实事求是地说,葛洲坝救鱼以及后来三峡工程的生态保护,国家层面一直采取“高度重视、慎重决策”的态度,充分听取专家和各方意见。长江水坝特别是三峡工程,具有防洪、发电、航运等巨大综合效益,这是毋庸置疑的。同样,水坝对生态环境带来不利影响,也是不容回避的。改革开放40年来,全民环保意识有了明显提高,“共抓大保护、不搞大开发”的战略决策对水电企业提出了更高的要求。

反思什么?在葛洲坝救鱼论证中,主流专家对水坝的影响出现严重误判,做出了过于乐观的估计。如果说葛洲坝救鱼论证时期,因为认识的局限性,主流专家做出过于乐观的判断尚情有可原,不该苛求。面对1990s中期以后,通过多家机构应用各种先进探测和遥测手段的研究表明,葛洲坝下的产卵规模持续减少与水坝密切相关。主流专家把中华鲟的生存危机主因归咎于各种非水坝因素,回避或轻视长江水坝的影响,误导了抢救中华鲟的主攻方向和措施,使得救鱼策略和措施没有及时进行根本性改革、改变或改善,难道不值得反思吗?我们认为,葛洲坝救鱼给我们留下的最大教训,不是专业机构(专家)一时一地出现误判,而是我们缺乏直面误判的学术争鸣氛围和未及时纠正误判带来的长期影响。无论是行业管理部门、水电企业,还是主流鱼类学家,都应该对葛洲坝救鱼进行认真、全面地反思:葛洲坝救鱼为什么没能挽救中华鲟野生种群?如何及时纠正或调整科学研究中出现的误判?如何改进保护策略?只有这样,我们今后在长江大保护中才能避免“重蹈覆辙”。

改革什么?一是明确主体责任。我们认为,中华鲟保护的主体责任应该是长江梯级水坝(葛洲坝、三峡、向家坝、溪洛渡)及其业主——三峡集团公司,因为中华鲟是葛洲坝救鱼的唯一对象;长江梯级水坝对中华鲟的产卵繁殖造成了直接的、重大的影响。如果选择一个物种作为中国水电生态保护的标志,中华鲟当之无愧。如果野生种群灭绝,这面旗帜倒下,将让中国水电蒙羞,也会损害三峡集团的良好社会形象,背负中华鲟灭绝的历史责任。二是增强水电企业的环保自觉性和主动性,实现从被动型向主动型的根本转变。生态问题是制约中国水电可持续发展的关键之一,然而,水电企业中把“生态”当做“包袱”或“负担”的观念,长期以来占据主导地位,缺乏主动性和自觉性。中华鲟走到今天濒临灭绝,与水电企业这种被动型的生态理念占据主导地位有着密切关系。我们设想,假如葛洲坝或三峡的发电效益受到影响显著降低,无论影响因素如何错综复杂,我们相信,水电企业早就查明原因,妥善解决。三是实施适应性管理(adaptive management)制度。国内外经验表明,对于复杂的生态修复项目或工程,人类的认识往往具有很大的局限性,对策措施不一定具有针对性。因此,要通过适应性管理制度,也就是“实施→监测→评估→改进”不断修正完善对策措施,才能实现预定的目标。指望权威机构或主流专家“一锤定音”来实现保护目标是不现实的,葛洲坝救鱼就是活生生的例子。

另一方面,长期以来,三峡集团和相关部门在中华鲟保护上投入不少,但是没有达到预定目标。为什么?首先,水电企业资助环境影响评价的相关研究,天生具有弱化水坝影响的倾向,让研究机构为水坝撇清责任,而不是解决问题,导致“投其所好”的科研风气和低水平重复研究。其次,科研方向布局和项目规划受某些专业机构和权威专家的误导,面对中华鲟持续衰退,拿不出针对性的有效措施。第三,实际投入所占比例不足。因此,需要总结葛洲坝救鱼和三峡建设以来生态保护的教训,创新科研管理体制,设立专项基金,以需求为核心,以效果为目标,为中华鲟保护提供科学支撑。

创新什么?首先,创新中华鲟保护理论,包括梯级水坝影响中华鲟和其他洄游性鱼类的机制,中华鲟的洄游机制和遗传多样性问题,幼鱼放流过程中的动力学机制及其死亡率影响因素等。其次,创新中华鲟保护措施。要敢于面对葛洲坝救鱼失败这一残酷现实,研究各种可能的工程或非工程措施,包括梯级水库综合调度和局部生态修复工程措施等,借鉴国际上1990s以来人工繁殖放流的评估经验,对人工繁殖放流进行全面评估和改革,加大放流力度,改善放流效果。

5 中华鲟未来——拿什么奉献给你?

中华鲟的未来对长江水生态保护和修复具有标志性意义和广泛的社会影响。党中央、国务院提出了长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”和“把长江生态修复摆到压倒性的位置”的战略方针,给抢救中华鲟带

来了新希望。2018年9月,国务院办公厅发布《关于加强长江水生生物保护工作的意见》,为中华鲟保护指明了方向。

至今,还有部分水电行业人员和鱼类学家认为,葛洲坝救鱼是中国水电工程生态保护的“标杆”或“样板”^[3,7]。围绕葛洲坝救鱼,长江水产研究所和中华鲟研究所等相关科研机构开展了大量工作,包括建立了人工繁殖机构,放流数量700万以上;全人工繁殖取得成功,保留了一批中华鲟亲鱼;建立了自然保护区;加强渔政管理;取得了一批获奖研究成果,造就了一批人才;凡此等等,成绩斐然,可以说葛洲坝救鱼是有成效的。我们认为,葛洲坝救鱼的“初心”和目标,应该是维持中华鲟的野生种群。从这个意义上来说,葛洲坝救鱼无疑是失败的。

1982年1月5日,葛洲坝截流后的第2年,朱祖武和潘荣和给原水产总局的报告中讲述了一个故事^[49]:葛洲坝截流后,除人为捕杀外,中华鲟因上溯产卵繁殖的本能,撞于大坝造成死伤数量很多,被渔民捞起22尾之多,有的已经腐臭,有的死后沉入江中又被挖泥船挖出来,有的吻部撞裂,有的鳃盖翻起,腹中怀有大量卵粒。一位在宜昌蹲点的“一机部”人士对他们说:真是遭罪呀,得想想办法抢救中华鲟。

人总会犯错误,没有人会例外。但是,像葛洲坝救鱼这样,经过近40年努力和数以亿计的投入,救鱼对象濒临灭绝,这是中华鲟的悲剧。曾经有哲人这样说过,“忘记历史就意味着背叛”,“如果丧失对历史的记忆,我们的灵魂就会在黑暗中迷失”。因此,相关机构和主流专家能不能正视中华鲟保护的历史和现实,包括葛洲坝救鱼在科学上出现的误判和管理上的缺陷,直接关系到中华鲟的未来,也会影响长江水生生物保护的前景。

致谢:水利电力部驻葛洲坝代表处和水利部长江水利委员会1989年编撰《葛洲坝工程重大技术问题第四册救鱼》(上、下两册),为我们回顾和研究葛洲坝救鱼提供了十分难得的资料。

潜在利益冲突声明:本文作者不存在相关利益冲突,包括但不限于从利益相关方获得可能会影响本文公正性和客观性的经费资助;本文作者之一黄真理,1993—2012年在原国务院三峡工程建设委员会办公室工作,参与组织协调三峡工程相关的生态与环境保护工作。

6 参考文献

- [1] General Office of the State Council, the People's Republic of China. Opinions on strengthening the protection of aquatic animals in the Yangtze River[2018-10-15]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-10/15/content_5330882.htm. [国务院办公厅.《关于加强长江水生生物保护工作的意见》(国办发[2018]95号)[2018-10-15].]
- [2] Zhang H, Jarić I, Roberts DL *et al*. Extinction of one of the world's largest freshwater fishes: Lessons for conserving the endangered Yangtze fauna. *Science of the Total Environment*, 2020, **710**: 136242. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136242.
- [3] Zhang BT. Scientific development of hydropower is effective in protecting rare fish[2020-01-09]. <http://www.cec.org.cn/xinwenpingxi/2020-01-09/196823.html>. [张博庭. 科学的开发水电,才是真正有效的保护珍稀鱼类[2020-01-09].]
- [4] Cao WX, Deng, ZL, Yu ZT. The fish rescue of the GD. *Resource Development and Protection*, 1989, **5**(3): 8-12. [曹文宣, 邓中舜, 余志堂等. 葛洲坝水利枢纽工程的救鱼问题. 资源开发与保护, 1989, **5**(3): 8-12. 亦见(增加葛洲坝救鱼过程和研究工作的描述):曹文宣, 邓中舜, 余志堂等. 葛洲坝水利枢纽工程救鱼问题研究、决策和实践//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989: 214-227.]
- [5] Chang JB, Huang ZL, Cao WX. Controversy and enlightenment on fish rescue in Gezhouba Project //Huang ZL, Fu BJ, Yang ZF eds. *Ecological and environmental protection in large-scale water conservancy projects in the Yangtze River in the 21st century*. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 186-198. [常剑波, 黄真理, 曹文宣. 葛洲坝工程救鱼问题的争论及启示//黄真理, 傅伯杰, 杨志峰. 21世纪长江大型水利工程中的生态与环境保护. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 186-198.]
- [6] Chang JB, Cao WX. History and prospect of conservation on Chinese sturgeon in the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(6): 712-720. [常剑波, 曹文宣. 中华鲟物种保护的历史与前景. 水生生物学报, 1999, **23**(6): 712-720.]
- [7] Xiao H. Chinese sturgeon conservation for thirty years//China Society for Hydropower Engineering ed. *Proceedings of the*

- Forum on Hydropower Development and Eco-social Sustainable Development. Yichang, 2011: 48-54. [肖慧. 中华鲟保护30年//中国水力发电工程学会. 水电开发与经济社会可持续发展论坛论文集. 宜昌, 2011: 48-54.]
- [8] Wang JH, Wei QW, Zou YC. Conservation strategies for the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: An overview on 30 years of practices and future needs. *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, **27**(2): 176-180. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2011.01716.x.
- [9] Zhang H. Ecological effects of the first dam on Yangtze main stream and future conservation recommendations: A review of the past 60 years. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2017, **15**(4): 2081-2097. DOI: 10.15666/aer/1504_20812097.
- [10] Liu Y, Xiao H. Construction of the Gezhouba Project and conservation of Chinese sturgeon //Chinese Hydraulic Engineering Society, Chinese Society for Electrical Engineering, China Society for Hydropower Engineering eds. Proceedings of the Gezhouba Water Conservancy Project. Beijing: China Water Power Press, 1993: 87-94. [刘勇, 肖慧. 葛洲坝工程建设与中华鲟的资源保护//中国水利学会, 中国电力工程学会, 中国水力发电工程学会. 葛洲坝工程文集. 北京: 水电出版社, 1993: 87-94.]
- [11] Zhu B, Zhou F, Cao H *et al.* Analysis of genetic variation in the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: Estimating the contribution of artificially produced larvae in a wild population. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, **18**(4/5/6): 301-306. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2002.00379.x.
- [12] Wei QW. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) with its stock assessment [Dissertation]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2003. [危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估[学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2003.]
- [13] Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Effects of Three Gorges Dam on breeding of major freshwater fish and its countermeasures, 1985: 26-37 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part one of fourth volume), 1989. [中国科学院水生生物研究所. 三峡枢纽对于主要淡水鱼类繁殖的影响和需要采取的措施, 1958: 26-37 //水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(上册), 1989.]
- [14] Institute of Hydrobiology (Chinese Academy of Sciences), Department of Biology (Nanjing University), Department of Aquaculture (Shanghai Fisheries University) *et al.* General investigation report on the spawning grounds of *Mylopharyngodon piceus*, *Ctenopharyngodon idoius*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis* in the Yangtze River, 1960: 26-37 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [中科院水生所, 南京大学生物系, 上海水产大学养殖系等. 长江草、青、鲢、鳙产卵场调查总报告, 1960: 26-37 //水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [15] Yi BL, Liang ZX. The natural conditions and the main external triggering spawning factors of spawning grounds of the four major Chinese carps in the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1964, **5**(1): 1-15. [易伯鲁, 梁秩荣. 长江家鱼产卵场的自然条件和促使产卵的主要外界因素. 水生生物学集刊, 1964, **5**(1): 1-15.]
- [16] Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Report on no fishway needed to be built for the Gezhouba Dam. Nov. 1970: 72-88; Yangtze River Fisheries Research Institute. Preliminary suggestions on the unnecessary construction of fishway for the Gezhouba Dam in the Yangtze River, 1970: 89-93 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [中国科学院水生生物研究所. 关于三三〇工程葛洲坝不必修建过鱼设备的报告, 1970: 72-88; 长江水产研究所. 关于长江葛洲坝水电枢纽不必要修建过鱼设备的初步意见, 1970: 89-93 //水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [17] Fishway Group of the Gezhouba Dam Design Team. Preliminary comments on the construction of fishway for the Gezhouba Dam, 1971: 94-97 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [三三〇设计团鱼道组. 关于修建葛洲坝过鱼建筑物的初步意见, 1971: 94-97]

- //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [18] Gezhouba Dam Construction Headquarters. Preliminary design report on the fishway of Gezhouba Dam in the Yangtze River, 1971: 98-107 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [三三〇指挥部. 长江葛洲坝水利枢纽过鱼建筑物初步设计报告, 1971: 98-107 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [19] Hu XX. Summary of fish rescue for the Gezhouba Dam, 1989: 1-11 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part one of fourth volume), 1989. [胡兴祥. 综述, 1989: 1-11 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(上册), 1989.]
- [20] Ma XD, Cong CQ, Wang MS *et al.* Urgent appeal to save the Yangtze fish, 1981: 238-243 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [马锡栋, 丛春泉, 王民生等. 关于拯救长江鱼类的紧急呼吁, 1981: 238-243 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [21] Wu XW. Careful deliberation over the construction of fishway for the Gezhouba Dam, 1981: 245; Ni DS. Does the Gezhouba Dam need to build fish facilities?, 1981: 246-247 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [伍献文. 葛洲坝水利枢纽修建鱼道问题应慎重考虑, 1981: 245; 倪达书. 葛洲坝是否需要兴建过鱼设施问题, 1981: 246-247 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [22] Zhu YD. Opinions on the construction of fish facilities for the Gezhouba Dam, 1981: 247; Ma SJ, Hou XY, Yang HX *et al.* Urgent proposal for the protection of the Yangtze aquatic resources and the construction of the Gezhouba fishway, 1981: 244-245; Ecological Society of China. Proposal on the construction of fish facilities for the Gezhouba Dam, 1981: 248 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [朱元鼎. 关于葛洲坝水利枢纽必须建设过鱼设施的意见, 1981: 247; 马世骏, 侯学煜, 阳含熙等. 关于保护长江水产资源建设葛洲坝过鱼道的紧急建议, 1981: 244-245; 中国生态学会. 关于葛洲坝应设立过鱼设施的信, 1981: 248 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [23] Du RS, Li RS, Qian ZY *et al.* Report on the fish rescue of Gezhouba Dam, 1982: 1-2 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [杜润生, 李瑞山, 钱正英等. 关于葛洲坝工程救鱼问题的报告, 1982: 1-2 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [24] Wei QW *et al.* eds. Conservation biology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). Beijing: Science Press, 2019. [危起伟等. 中华鲟保护生物学. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [25] Huang ZL, Wang LH. Yangtze dams increasingly threaten the survival of the Chinese sturgeon. *Current Biology*, 2018, **28** (22): 3640-3647. DOI: 10.1016/j.cub.2018.09.032.
- [26] Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Opinions on the fish rescue objects and measures of the Gezhouba Apri, 1981: 9-13 //Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [中国科学院水生生物研究所. 关于长江葛洲坝救鱼对象和措施的意见, 1981: 9-13 //水利电力部驻葛洲坝代表处,水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]

- [27] Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Investigation report on natural reproduction of the Chinese sturgeon below the Gezhouba Dam, 1982; 4-8//Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [中国科学院水生生物研究所. 葛洲坝枢纽下游中华鲟自然繁殖的调查报告, 1982; 4-8//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [28] Chinese Academy of Fishery Sciences. Comprehensive measures should be taken to save fish in Gezhouba project, 1983; 118//Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [中国水产科学院. 葛洲坝工程应该采取综合措施救鱼, 1983; 118//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [29] Yangtze Valley Planning Office. A formal reply on the report of the Chinese Academy of Fishery Sciences to Vice Premier Wan Li, 1983; 115-117//Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [长江流域规划办公室. 关于水产科学院给万里副总理报告答复意见, 1983; 115-117//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [30] Ke FE, Hu DG, Zhang GL *et al.* An observation of gonadal degeneration of the spawning population of Chinese sturgeon below GD. *Freshwater Fisheries*, 1985, (4): 38-41. [柯福恩, 胡德高, 张国良等. 葛洲坝下中华鲟产卵群体性腺退化观察. 淡水渔业, 1985, (4): 38-41. 亦见(增加了1985年的调查数据); 柯福恩, 胡德高, 张国良等. 葛洲坝下中华鲟产卵群体性腺退化的观察//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989: 290-298.]
- [31] Zhou CS, Xu YG, Deng ZL *et al.* Observation on the reproductive gonads of adult *Acipenser sinensis* Gray in Changjiang River below GD. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1985, 9(2): 164-170. [周春生, 许蕴珩, 邓中彝等. 长江葛洲坝枢纽坝下江段中华鲟成鱼性腺的观察. 水生生物学报, 1985, 9(2): 164-170.]
- [32] Chen JS, Yu ZT, Liu JS. Investigation on the gonadal development of Chinese sturgeon below the Gezhouba Dam, 1990; 187-189//Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [陈金生, 余志堂, 刘家寿. 葛洲坝下游中华鲟性腺发育状况调查, 1990; 187-189//水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题讨论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]
- [33] Huang ZL, Wang LH. Did the gonads of the Chinese sturgeon below the Gezhouba Dam degenerate seriously? *J Lake Sci*, 32(4): 915-923. DOI: 10.18307/2020.0402. [黄真理, 王鲁海. 葛洲坝下中华鲟(*Acipenser sinensis*)性腺退化严重吗? 湖泊科学, 2020, 32(4): 915-923.]
- [34] Chen KQ, Chang ZN, Cao XH *et al.* Status and prospection of fish pass construction in China. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 43(2): 182-188, 197. [陈凯麒, 常仲农, 曹晓红等. 我国鱼道的建设现状与展望. 水利学报, 2012, 43(2): 182-188, 197.]
- [35] Tzeng CS, Yang ZX. Fishway—Conservation project of migratory freshwater fish. Summary of 2008 Symposium Papers of Chinese Ichthyological Society, 2008; 153. [曾晴贤, 杨正雄. 鱼道——洄游性淡水鱼道保育工程. 中国鱼类学会2008学术研讨会论文摘要汇编, 2008; 153.]
- [36] Brown C, Day RL. The future of stock enhancements; Lessons for hatchery practice from conservation biology. *Fish and Fisheries*, 2002, 3(2): 79-94. DOI: 10.1046/j.1467-2979.2002.00077.x.
- [37] Hatchery Scientific Review Group. Hatchery reform in Washington State: Principles and emerging issues. *Fisheries*, 2005, 30(6): 11-23 90.
- [38] Ke FE, Wei QW, Zhang GL *et al.* Investigations on the structure of spawning population of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) and the estimate of its stock. *Freshwater Fisheries*, 1992, 22(4): 7-11. [柯福恩, 危起伟, 张国良等. 中华鲟产卵洄游群体结构和资源量估算的研究. 淡水渔业, 1992, 22(4): 7-11.]
- [39] Kynard B, Wei QW, Ke FE. Using ultrasonic telemetry to locate spawning area of the Chinese sturgeon. *Chinese Science*

- Bulletin*, 1995, **40**(2): 172-174. [Kynard Boyd, 危起伟, 柯福恩. 应用超声波遥测技术定位中华鲟产卵区. 科学通报, 1995, **40**(2): 172-174.]
- [40] Environment Assessment Department of the Chinese Academy of Sciences, Changjiang Water Resources Protection Institute (EAD-CAS and CWRPI) eds. TGP environmental impact statement (Abridged). Beijing: Science Press, 1996. [中国科学院环境评价部, 长江流域水资源保护研究所. 长江三峡水利枢纽环境影响报告书(简写本). 北京: 科学出版社, 1996.]
- [41] Yu WG, Xia ZQ, Yu GR *et al.* Water temperature variation in Three-Gorges Reservoir and its influences on procreation of Chinese sturgeons. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2007, **35**(1): 92-95. [余文公, 夏自强, 于国荣等. 三峡水库水温变化及其对中华鲟繁殖的影响. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, **35**(1): 92-95.]
- [42] Guo WX, Wang HX, Xia ZQ *et al.* Effects of Three Gorges and Gezhouba reservoirs on river water temperature regimes. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2009, **28**(6): 182-187. [郭文献, 王鸿翔, 夏自强等. 三峡-葛洲坝梯级水库水温影响研究. 水力发电学报, 2009, **28**(6): 182-187.]
- [43] Deng Y, Xiao Y, Tuo YC *et al.* Influence of Three Gorges reservoir on water temperature between Yichang and Jianli. *Advances in Water Science*, 2016, **27**(4): 551-560. [邓云, 肖尧, 脱友才等. 三峡工程对宜昌——监利河段水温情势的影响分析. 水科学进展, 2016, **27**(4): 551-560.]
- [44] Chen M. Effectiveness and suggestions of reservoir ecological regulation in the Yangtze River basin. *Technology and Economy of Changjiang*, 2018, (2): 36-40. [陈敏. 长江流域水库生态调度成效与建议. 长江技术经济, 2018, (2): 36-40.]
- [45] Chen W, Olden JD. Designing flows to resolve human and environmental water needs in a dam-regulated river. *Nature Communications*, 2017, (8): 2158. DOI: 10.1038/s41467-017-02226-4.
- [46] Huang ZL, Wang LH, Ren JY. Study on the spawning population fluctuation of Chinese sturgeons around the closure of Gezhouba Dam. *Scientia Sinica: Technologica*, 2017, **47**(8): 871-881. [黄真理, 王鲁海, 任家盈. 葛洲坝截流前后长江中华鲟繁殖群体数量变动研究. 中国科学: 技术科学, 2017, **47**(8): 871-881.]
- [47] Wang LH, Huang ZL. What is actually the main cause for the survival crisis of Chinese sturgeon? *J Lake Sci*, **32**(4): 924-940. DOI: 10.18307/2020.0403. [王鲁海, 黄真理, 中华鲟(*Acipenser sinensis*)生存危机的主因到底是什么? 湖泊科学, 2020, **32**(4): 924-940.]
- [48] Ministry of Agriculture of PRC. The action plan for conservation of the Chinese sturgeon (2015-2030). 2015. [农业部, 中华鲟拯救行动计划(2015-2030年), 2015.]
- [49] Zhu ZW, Pan RH. Report on the fish rescue of the Gezhouba Dam in the Yangtze River, 1981: 106-114 // Gezhouba Representative Office of Ministry of Water Conservancy and Electric Power, Yangtze River Water Conservancy Committee Fish Rescue eds. Selected works of colloquium on major technical issues of Gezhouba Dam (part two of fourth volume), 1989. [朱祖武, 潘荣和. 参加联合工作组调查关于拯救长江鱼类问题的情况汇报, 1982: 106-114 // 水利电力部驻葛洲坝代表处, 水利部长江水利委员会. 葛洲坝工程重大技术问题论文集(第四分册——救鱼)(下册), 1989.]