



中国水库环境面临的主要问题及其对策

Main Problems and Countermeasures to the Environment of Reservoirs in China

张振克/ZHANG Zhen-ke, 孟红明/MENG Hong-ming, 殷勇/YIN Yong

南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093

School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

[摘要] 讨论了水库环境的定义、空间结构特征;对水库环境的组成要素及其与流域系统的关系进行了分析,指出我国水库环境面临严重淤积、富营养化和水污染威胁,现阶段必须有效地实施若干水库环境整治的对策。

[关键词] 水库环境;淤积;富营养化;污染;对策

[中图分类号] X524

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)12-0082-03

Abstract: The definition of reservoir environment and its spatial structure have been discussed. The components of the reservoir environment and its relationship with the catchment have been analyzed. The siltation, eutrophication and pollution are the main problems to the environment of the reservoirs in China. Some measures for improving the reservoir environment at present time should be carried out effectively.

Key Words: reservoir environment; siltation; eutrophication; pollution; measures

CLC Numbers: X524

Document Code: A

Article ID:1000-7857(2006)12-0082-03

1 引言

水库是陆地生态系统水环境要素的重要组成部分。水库具有提供城乡生产生活用水、开展淡水养殖、旅游观光、水利发电、水上运输和调节区域气候等综合功能,在区域社会经济发展和生态环境建设中发挥着举足轻重的作用。

中国是世界上水库最多的国家。据水利部 2003 年水利统计公报,我国目前已建成各类水库 85 153 座,总库容 $5\,658 \times 10^8 \text{ m}^3$ (不包括港、澳、台湾省);水库贮水量占我国天然湖泊贮水量的 59%,接近淡水湖泊贮水量的 2 倍^[1]。由于水库地域分布面广,水环境总体优于天然湖泊,惠及众多人口和城镇、乡村,因此,水库资源与环境的重要性决不亚于天然湖泊。伴随库区人口快速增长和工农业发展,我国水库环境面临日益严峻的挑战,特别是水库淤积和富营养化问题相当突出,一些水库发生严重的水污染事件。在当前重视湖泊环境研究和湖泊治理的同时,关注水库的环境问题,开展相关的科学研究具有重要的现实意义。

2 水库环境及其与流域系统的关系

2.1 水库环境

水库是人类在陆地河流上筑坝而形成

的面积、蓄水量各异的集水区域。人工坝堤拦截大量上游来水和泥沙,在坝前形成以水体为主的景观是水库环境的重要特征。我们称处于水库坝堤上游平均洪水期淹没范围内的自然综合体为水库环境。

水体与底质是水库环境的重要组成部分,是水库生态系统赖以生存的物质基础,并与水库环境下的气候、入库河流、生物、土壤(水库涨落带)、地质与地貌以及人类活动等要素息息相关。其中,入库河流是水库水沙的主要来源(大气降水和尘降为次要来源),水库的淤积又影响河谷地貌形态和过程;库区的气候影响水库水体的温度、蒸发等物理过程,而水库水体对库区小气候产生重要影响;水库的土壤(涨落带)和生物受水库水体和底质环境的营养状态制约,在人类活动干预下涨落带土壤侵蚀和营养元素流失、水库生态系统种群的变化对水库环境也产生极其重要的影响;水库的地质、地貌对水体、底质的空间格局、原始状态以及水库建成之后的淤积起控制作用,而水库因蓄水引起的地质、地貌问题也相当突出,如水库地震、岸坡滑坡与崩塌等。

水库环境变化主要表现为水库建成后一定时间段或特定时间、不同空间范围内

的水体和底质变化。当前,我国水库环境面临的主要问题是水库淤积、水库富营养化、水污染及其持续的环境效应。

从空间上看,水库环境包括枯水库容区、库区季节性水位涨落带和入库河道回水变动带,其主要特征如表 1 所示。在入库河流的河口处,往往形成三角洲形态的淤积体,是河流携带泥沙进入水库之后快速堆积的结果。

2.2 水库环境与流域系统的关系

水库环境的变化主要受流域系统的控制,流域人类活动和气候是水库环境变化的主要驱动力。我国水库环境问题十分严峻,无论是经济发达的东部沿海地区,还是经济相对落后的西部地区,均存在日趋严重的环境问题。流域工业废水向水库排放,常引起严重的水污染事件;流域生活污水和面源土壤侵蚀向水库输送了大量的碳、氮、磷等营养元素,是造成水库富营养化日趋加重的根本原因,并在一些水库局部范围内出现严重的水华现象。在流域人类活动影响下,特别是植被破坏和耕作农业的发展,加大了水库流域丘陵山地区的水土流失强度,入库河流携带的大量泥沙,会造成严峻的水库淤积问题。我国西北干旱气候区的水库,在人类活动大量用水和降水

收稿日期: 2006-10-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.40471128)和江苏省自然科学基金项目(No.BK2002089)

作者简介: 张振克,男,南京大学地理与海洋科学学院,教授,主要从事自然地理学地貌过程与环境变化领域的研究;

E-mail:zhangzk@nju.edu.cn



表 1 水库环境的空间结构差异特征
Tbl. 1 Spatial differences of reservoir environment

	环境特征	沉积动力	环境动态
枯水库容区	常年淤积,底质细颗粒沉积,鱼类和浮游生物为主,人类活动如网箱养殖、水库采砂对水库环境影响较大。	静水沉降为主,洪水期泄洪加速泥沙沉积。	稳定,长期的水库淤积对水库环境的功能等影响强烈。
水位涨落带	季节性接受细颗粒沉积,植被发育,人类涨落带土地季节性开发,对水库环境产生影响。	高水位期泥沙与营养盐沉降。	稳定,受河流输水量变化影响较大。
回水变动带	表现为粗、细混杂堆积,淤积强烈,河道采砂和水污染严重。	回水与河流相互作用。	最不稳定,地貌冲淤变化很大,污染较严重。
三角洲淤积体	从顶部向下三角洲前缘粒度变细,受流域人类活动和气候水文过程影响强烈,三角洲淤积体形态变化很大。	入库河流携带泥沙在河口因动力减弱而沉积。	地貌呈加积扩张趋势,水体和底质污染严重。

减少的共同作用下,水库上游来水减少、出现季节性的干涸现象。

水库环境的变化对流域系统有强烈的影响,对水库的持续利用、流域社会经济发展和人民生活构成巨大的威胁。水库修建后,库区泥沙淤积不断发展,使得水库有效库容损失。水库回水变动带的强烈淤积,将地方性侵蚀基准面抬高,造成入库一些河流下游洪涝灾害风险增大。水库作为工农业和城镇居民重要的水源地之一,由于富营养化和水污染带来的环境问题,严重影响库区流域的人类活动和社会经济发展。

3 水库主要环境问题

3.1 水库淤积

水库修建之后,必然要拦截泥沙。新中国成立前,中国大陆有大中型水库 23 座,其中大型水库 6 座,中型水库 17 座;建国之后,中国水库工程建设进入一个快速发展时期^[2]。在我国大陆目前已建成的 85 000 多座水库中,大型水库 487 座、中型水库 2 955 座、小型水库 82 000 多座,为世界水库数量最多的国家。由于自然环境和人类活动的影响,中国的水土流失十分严重,水库淤积也十分严重。水库淤积的危害是多方面的,不仅造成兴利库容和防洪库容损失,淤积上延引起淹没和洪涝灾害增加,对回水变动区航运也产生大的影响;同时,在坝前淤积对水电设施运行产生威胁,坝下河床也会发生重大调整,水库沉积物污染存在巨大潜在危害^[3]。

中国处于东亚季风气候区,降水的季节分布差异很大,北方河流域水库汛期入库水量在 60% 以上,汛期输沙量则可以占全年入库泥沙量的 90% 以上^[4]。由于汛期降水以暴雨形式出现较多,地表径流侵蚀严重,入库河流含沙量高、输沙量大,水库建成蓄水后,淤积问题异常严重。以黄河流域为例,1990-1992 年黄河流域全流域的水库泥沙淤积调查表明,至 1989 年黄河流域共

有小(I)型以上水库 601 座,总库容 522.5×10⁸ m³,其中干流水库 8 座,已淤损库容 109.0×10⁸ m³,占总库容的 21%。其中,干流水库淤积 79.9 亿 m³,占其总库容的 19%;支流水库淤积 29.1×10⁸ m³,占其总库容的 26%^[5]。反映黄河流域支流拦截的泥沙量更大,水库淤积更严重。三门峡水库是黄河流域控制流域面积最大的水库,最严重的淤积发生在水库建成蓄水的初期。1960 年 5 月到 1964 年 10 月,三门峡水库 335 m 高程库容由 97.5×10⁸ m³ 下降到 57.0×10⁸ m³,库容减少了 40.5×10⁸ m³;从 1960 年 5 月至 2001 年 10 月的 41 年间,三门峡水库共淤积泥沙 70.63×10⁸ m³,其中干流库段淤积 54.14×10⁸ m³,占全部淤积量的 76.7%^[5]。

对中国水库淤积的研究已经受到广泛重视,姜乃森(1997)根据全国 236 座有实测资料的水库统计,截止 1981 年底,总淤积量高达 115×10⁸ m³,占这些水库总库容 804×10⁸ m³ 的 14.2%,平均每年约淤积 8.0×10⁸ m³,平均淤积率 2.3%^[4]。王占礼对中国水土流失造成的水库淤积进行了估算,认为新中国成立以来,全国水库、坝塘的淤积量为 200×10⁸ m³,相当于损失 1×10⁸ m³ 的大型水库 200 座,直接经济损失 100 亿元^[6]。申俊峰等(2001)按水库淤积量占总库容

30% 计,估算全国水库淤积总量超过 1 374×10⁸ m³(不包括塘坝淤积量),按水库淤积物的容重 1.5 t/m³ 计,全国水库内已淤积土壤 2 061×10⁸ t^[7]。国家水利部对外公布的水土流失量为每年 50×10⁸ t,其中长江流域多年平均为 24×10⁸ t,黄河流域多年平均为 16×10⁸ t^[8]。彭柯珊提出中国的土壤流失量为每年高达 80×10⁸~120×10⁸ t^[9],其中,水库拦截的部分未估算。最近,笔者对公开发表的中国大陆主要流域典型水库淤积研究的资料进行了统计分析,在进行初步的误差校正之后,计算出中国水库的淤积每年达到 42.3×10⁸ m³,水库年淤积速率为 0.76%,截至 2003 年,水库淤积造成的总库容损失率占 20%。

由上可见全国范围内水库淤积量和淤积速率的估算尚存在很大的差异,有待进一步地深入调查和分析。中国水库平均淤积率和淤积总量的计算,需要建立在大量的水库淤积调查工作基础之上。

3.2 水库富营养化

就全球而言,地表水生生态系统富营养化问题与超负荷的营养盐的输入有密切的关系^[10]。全球有 30%~40% 的湖泊水库处于不同程度的富营养化威胁之中。中国在 20 世纪 80 年代开始关注水库富营养化问题,有明显加剧发展的趋势^[11]。根据水利部 2004 年中国水资源公报,在调查的不包括台湾、香港和澳门水库在内的 322 座水库中,水库富营养化问题十分严峻。对 238 座水库的营养状态进行评价,2/3 的水库处于中营养状态,1/3 的水库处于富营养状态^[12]。造成水库富营养化的主要原因是农业面污染的日益加剧、城市污水排放量的激增、水土流失造成水库泥沙淤积严重、水库蓄水量减少以及水库网箱养鱼的快速发展等。

表 2 反映了近期中国部分区域水库富营养化的现状。我国北方(辽宁和山东威海)大中型水库富营养化问题不容乐观,调查的水库多属于中、富营养状态,水体氮和高锰酸盐指数超标明显。长江流域和广东省水库富营养化评价显示,由于降水补给量大、水体更新快,富营养化程度略比北方

表 2 中国部分区域水库富营养化现状
Tbl. 2 Present eutrophication conditions in some regions of China

研究区域	水库数目 (座)	富营养 (座/%)	中富营养 (座/%)	中营养 (座/%)	贫营养 (座/%)	资料来源
辽宁省大中型水库	65	6/	23/	36/	0	参考文献[13]
		9.2	35.4	55.4	0	
长江流域大型水库	27	11/	/	15/	1/	参考文献[14]
		40.0	/	56.0	4.0	
广东省各类水库	132	2/	12/	111/	7/	参考文献[15]
		2.0	9.0	84.0	5.0	
威海市大中型水库	15	5/	10/	0	0	参考文献[16]
		25.0	75.0	0	0	

张振克,等:中国水库环境面临的主要问题及其对策

的水库低,大部分水库属于中营养,并有贫营养类型的水库。

中国是一个水库众多、分布广泛的国家,水库的富营养化发展趋势令人担忧。在流域高强度人类活动的影响下,20世纪80年代以来水库水体富营养化加剧的同时,伴随着水库底泥沉积环境的恶化,北京附近官厅水库沉积物农药有机氯残留量集中在岩芯上部50 cm^[17]。笔者近期开展的石梁河水库沉积环境研究对水库岩芯沉积物的分析显示,水库表层沉积物总氮、有机碳含量远远高出下部沉积物的含量,底泥污染对水库上覆水体而言是潜在的污染源,并进一步影响到整个食物链。如何评判水库淡水沉积物的污染状况,涉及到建立淡水沉积物环境质量基准问题,而如何建立我国沉积物环境质量基准,已经引起国内有关学者的重视^[1]。

3.3 水库污染

根据国家环境保护总局发布的环境公报,依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),2005年重点监测的10座大型水库中,石门水库为Ⅱ类水质;千岛湖、丹江口水库、密云水库和董铺水库为Ⅲ类水质;于桥水库为Ⅳ类水质;松花湖为Ⅴ类水质;门楼水库、大伙房水库和崂山水库为劣Ⅴ类水质^[19]。根据水利部2004年中国水资源公报,在评价的322座水库中,水质优良(优于和符合Ⅲ类水)的水库有265座,占评价水库总数的82.3%;水质未达到Ⅲ类水的水库有57座,占评价水库总数的17.7%,其中水质为劣Ⅴ类水的水库有14座^[12]。主要超标项目为总磷、总氮和高锰酸盐指数。

水库上游流域内人类活动越强烈,森林植被覆盖越少,水库的水质会越差。总体而言,中国大陆水库水质比湖泊要好,中小型水库水质要比大型水库差。伴随水库淤积过程和流域营养盐输入、水库养殖造成的污染,水库的有机污染,特别是氮污染十分突出。根据广东省345座水库的水质监测结果^[15],在富营养化水库中氮的含量可达到2.0 mg/L以上,对应地表水Ⅴ类,而少数水库的磷的含量超过0.10 mg/L,对应Ⅳ类。

水库在区域社会经济发展和人民生活 中是主要的自然资源。中国工业化进程加快,带来大量的工业废水,工业废水排入水库,会造成更严重的污染事件。一些跨区域(或省)的污染更是触目惊心,例如,由于水库上游山东临沂境内化工厂污水排放,江苏石梁河水库严重的污染事件给网箱养殖带来灭顶之灾,1999年和2000年的两次严重污染事件造成的直接经济损失达560.4万元^[20];2001年4月,浙江长兴县泗安水库也遭遇类似污染事件,因安徽省广德县有机合成化工厂的废水排入水库,水库养殖户和国家渔业资源损失高达119.2万元^[21]。因

此,在今后制定流域法的过程中,对跨流域重要水库的流域管理和环境整治相关条文的制定要给予特别的重视。

4 解决当前水库环境问题的对策

4.1 制定切实可行的水库流域环境整治规划,树立水库环境整治典范

中国大陆水库环境问题日益突出,对区域未来的可持续发展将产生重要影响。水环境治理的投入往往十分庞大,如太湖和滇池的治理已经投入数十亿元,但效果并不显著。日本琵琶湖的治理从1972年到1992年间,总投入高达152 485 000万日元;巴西圣保罗附近铁特河的环境恢复,10年间花费了40亿美元^[22]。由于水库水资源和水环境在中国可持续发展中占据重要的战略地位,现阶段从流域整体出发,同时将水库环境整治工作纳入地方环境保护工作的重心,树立若干区域性水库环境整治的典范,建立不同区域不同类型水库环境整治的模式,带动整个水库环境治理工作健康发展。

4.2 重视科学研究,探索水库环境的技术难题

中国水库众多、分布广泛,水库环境问题具有多样性和区域差异性等特点,也存在不同于湖泊的自然属性,并深受人类活动的影响。在现阶段,要加强对水库环境问题的科学研究,开展对不同类型水库环境的综合研究,对水库环境在人类活动和气候变化协同驱动下的变化过程和机制、水库污染物类型和来源、环境沉积学和沉积物环境质量基准等方面的科学问题进行深入研究。面对日益增加的环境治理的需要,要加强水库环境工程治理技术的研究,建立系统科学的水库环境整治技术方案,强化方案的效益-成本分析,用最经济的投入获取最佳的环境治理效果。

4.3 加强水库流域的综合管理政策、法律和制度体系的建设

水库流域环境整治规划和水库科学研究成果转化依赖于实施水库流域的综合管理,应建立行之有效的政策、法律和制度体系,从制度上保障水库环境的根本改善。水库管理部门应负责建立协调水库流域地方政府、企业、研究机构和公众参与的信息沟通渠道,及时发现水库环境隐患和环境污染的累积效应,采取必要措施,积极地改善水库环境。

4.4 实施水库环境宣传和科技服务战略

中国水库多分布在偏远山区或远离城镇,公众环境意识薄弱,因而加强水库环境的宣传教育工作显得尤其主要。地方政府和环境管理部门要让水库流域居民认识水库环境的重要性,并自觉地参与维护水库环境的行动,认真履行水库环境相关规划。管理部门要负责对水库及周边经济活动给予必要的科技支撑,让渔民了解正确的防

止富营养化的技术方法,科学地进行水产养殖;让农民了解水土流失的危害,有意识地采取措施减缓农业面源污染。同时,鉴于多数水库存在渔业养殖的事实,加强对养殖户的科学技术服务,科学地减少饵料投入,也可以减少水库营养盐的输入,有利于水库水环境改善。

参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国水利部. 2003年水利统计公报[R]. 2004.
- [2] 刘宝军,张金宏. 新中国的水库工程建设与防洪[J]. 防汛与抗旱,1999,3:20-25,49.
- [3] 韩其为. 水库淤积[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 姜乃森,傅玲燕. 中国的水库泥沙淤积问题[J]. 湖泊科学,1997,9(1):1-8.
- [5] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报(长江、黄河)[R]. 2001.
- [6] 王占礼. 中国水土流失的基本概况及其综合治理[J]. 灾害学,2000,15(3):18-25.
- [7] 申俊峰,孙岱生,李胜荣,等. 解决水土流失与水库淤积的有效途径[J]. 水土保持学报,2001,15(2):96-101.
- [8] 陈雷. 中国的水土保持. 第十二届国际水土保持大会开幕报告[R]. 北京,2002.
- [9] 彭柯珊. 关注中国水土流失[J]. 国土资源,2004(2):22-25.
- [10] SMITH V H, TILMAN G D, NEKOLA J C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems[J]. Environmental Pollution, 1999,100(1-3):179-196.
- [11] 马经安,李红清. 浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(6):575-578.
- [12] 中华人民共和国水利部. 2004年中国水资源公报[R]. 2005.
- [13] 张 峰. 辽宁省大中型水库富营养化现状分析及防治对策[J]. 辽宁城乡环境科技,2005,25(1):41-42.
- [14] 王 孟,郭红娟,马经安. 长江流域大型水库富营养化特征及成因分析[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(4):477-481.
- [15] 江 涛,刘祖发,陈晓宏,等. 广东省水库富营养化评价[J]. 湖泊科学,2005,17(4):378-382.
- [16] 钱玉香,孙乃波,田仙言,等. 威海市大中型水库富营养化调查及对策研究[J]. 山东水利,2004(9):41-43.
- [17] 黄圣彪,王子健,康跃惠,等. 官厅水库沉积物柱状样中有机氯农药的垂直分布特征[J]. 环境科学研究,2004,17(6):19-21.
- [18] 陈云增,杨 浩,张振克,等. 水体沉积物环境质量基准建立方法研究进展[J]. 地球科学进展,2006,21(1):53-61.
- [19] 国家环境保护总局. 2005中国环境状况公报[J]. 环境保护,2006,6B:10-19.
- [20] 李安良. 鸣咽的石梁河水库[J]. 中国水产,2000(9):58-59.
- [21] 崔砺金,金加宝. 一场官司难治根——浙江泗安水库污染引发的思考[N]. 中国环境报,2002-04-25.
- [22] 联合国环境规划署国际环境技术中心. 刘建康译. 湖泊与水库富营养化防治的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2003:49.

(责任编辑 王 芷)