

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.03.019

大藤峡水利枢纽库区水资源保护规划布局与策略研究

姜海萍¹, 徐林², 闭小棉², 周雪欣¹

(1. 珠江水资源保护科学研究所, 广东 广州 510635; 2. 广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司, 广西 南宁 530200)

摘要:针对大藤峡水利枢纽工程建成后库区水资源保护的要求,通过调查研究库区环境特征和生态环境功能定位,分析了水资源保护面临的水质污染风险和富营养化趋势等水环境水生态方面的挑战,给出了落实库区水生态保护措施、适时开展跟踪监测和后评价以及划定库区水生态空间全面融入国土空间管控体系等对策。遵循节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力的治水方针提出了水资源保护规划控制指标体系,根据统筹山水林田湖草系统治理应基于流域层面,强化流域综合整治,促进生态系统修复的思路,提出了“一带一圈”水资源保护规划总体布局,并提出了以峡谷水质保护和敏感目标水生态保护为主的“一带”保护策略和以面源控制、生态调度和流域监控管理为主的“一圈”保护策略。

关键词:水资源保护;库区;规划布局;大藤峡水利枢纽

中图分类号:TV212.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)03-0156-06

Overall layout and strategy study of water resources protection planning in reservoir area of Datengxia Gorge Water Conservancy Project //JIANG Haiping¹, XU Lin², BI Xiaomian², ZHOU Xuexin¹ (1. Scientific Institute of Pearl River Water Resource Protection, Guangzhou 510635, China; 2. Guangxi Datengxia Gorge Water Conservancy Development Co., Ltd., Nanning 530200, China)

Abstract: In view of the requirements of water resources protection in the reservoir area after the completion of the Datengxia Gorge Water Conservancy Project, water environment and water ecology challenges in water resources protection, including water quality pollution risks and eutrophication trends, were analyzed based on investigation of the environmental characteristics and ecological function positioning of the reservoir area, and countermeasures, including the implementation of water ecological protection measures, timely implementation of follow-up monitoring and post-evaluation, and integration of the reservoir area water ecological space into the territorial space planning control system, were put forward. Following the water control policy of giving priority to water saving, spatial balance, systematic management, and two-handed efforts, a water resources protection control index system was proposed. According to the idea that systematic governance of mountains, rivers, forests, fields, lakes, and grasslands should strengthen the comprehensive remediation of the watershed and promote ecosystem restoration, an overall layout of the “one belt, one circle” plan for water resources protection was proposed, with the “one belt” protection strategy focusing on canyon water quality protection and sensitive target water ecology protection, and the “one circle” protection strategy focusing on non-point source pollution control, ecological scheduling, and watershed monitoring and management.

Key words: water resources protection; reservoir area; planning and layout; Datengxia Gorge Water Conservancy Project

1972年6月,联合国人类环境组织发布《人类环境宣言》,在中外共同探讨全球环境问题背景下,水资源保护事业应运而生^[1]。20世纪80—90年代,随着改革开放的不断深入,水污染状况日益突出,80年代初水利部组织各流域机构会同各省(市、自治区)水利、环保部门共同编写了第一部流域水

资源保护规划,主要内容是水质、污染源现状评价及预测,提出水质保护措施和污染防治建议^[2]。20世纪90年代至21世纪初,明确了以水功能区为核心、总量控制为基础、水质保护为主的水资源保护规划体系^[3],并应用于三峡水库水质保护研究中^[4-7]。21世纪初至今,我国经济进入了高速稳定发展期,

水资源开发利用程度逐年提高,流域开发及大型水利枢纽工程对生态环境带来的不利影响引起社会各界广泛关注,水资源保护规划得到高度重视,规划体系从水质保护拓展到水质、水量、水生态并重的水资源保护^[3]。2013年8月水利部发布了SL613—2013《水资源保护规划编制规程》,2017年水利部印发了《全国水资源保护规划(2016—2030年)》(水资源[2017]191号),规划以水功能区为单元,提出了水质、水量、水生态并重的保护方案。2018年后,《中共中央国务院关于统一规划体系更好发挥国家发展规划战略导向作用的意见》(中发[2018]44号)中提出,建立以国家发展规划为统领,以空间规划为基础,以专项规划、区域规划为支撑,由国家、省、市、县各级规划共同组成,定位准确、边界清晰、功能互补、统一衔接的国家规划体系,并提出到2020年,基本建立国土空间规划体系,逐步建立“多规合一”的规划编制审批体系、实施监督体系、法规政策体系和技术标准体系。新形势下,对标建立水资源保护和河湖健康保障体系与当前治水矛盾转变、美丽幸福河湖建设等要求,原有规划任务的落实和推进面临河湖水域岸线生态空间保护与管控任务缺失等新形势和新问题^[8]。王浩等^[9]2021年从水资源消耗、污染物排放、水空间挤占、水通道阻隔和水生生物受威胁状况5个方面分析了人类活动对水资源系统的干扰,提出了以水资源保护新内涵“量-质-域-流-生”协同保护修复为核心的流域水资源保护体系框架和主要评价指标。

水资源保护规划历经30余年,规划内容不断跨越与创新,从以水质保护为重点发展到以水质、水量保护,再到以水质、水量、水生态保护为重点,历次规划提出的水资源保护方案都有力地支撑了国民经济的快速发展,体现了人与自然资源 and 环境的和谐共生。到目前,水资源保护规划基于水质、水量、水生态保护并重,但是由于对水生态问题研究不深,规划内容还比较弱。本文选择水生态空间等问题进行研究,划定库区水生态空间,将其融入国土空间管控体系,以填补水资源保护规划中水生态内容的不足。

大藤峡水利枢纽工程是国务院确定的172项节水供水重大水利工程的标志性项目,2014年4月,原国家环境保护部批复了该工程的环境影响报告书,批复中明确要求:“初期蓄水前,完成库区水资源保护规划编制工作;蓄水后,严格落实各项水环境保护措施,确保库区环境安全和饮用水供水安全。”工程于2014年11月顺利开工,2020年3月下闸蓄水,2021年2月首次参与枯水期应急调水,圆满完成了压制珠江河口咸潮上溯^[10]、改善河口水质^[11]、

保障粤港澳大湾区供水安全的任务。作为西江干流中下游最后一个大型水利枢纽工程,建成后西江干流中游千吨级“黄金水道”全面贯通,库区河段约长300 km,是珠江-西江经济带“一轴”轴带的上游,约占经济带长度的35%,也是珠江-西江经济带社会经济发展的重要依托。未来库区社会经济将快速发展,废污水排放量会不断增加,航运交通带来的潜在污染风险和水质保护压力将进一步加大,为更好地保护和促进大藤峡水利枢纽库区水资源、水环境、水生态良性循环发展,根据新形势下对水资源保护的要求,从水质、水量、水生态、水空间保护等多方面研究大藤峡库区水资源保护规划总体布局与策略,对促进库区社会经济健康发展具有重要的意义。

1 库区环境特征及生态环境功能定位

1.1 环境特征

大藤峡水利枢纽是一座综合利用的大型生态水利工程,由黔江主坝、黔江副坝、黔江左岸船闸、黔江右岸鱼道、南木江副坝及全国独一无二的近自然生态双鱼道组成。坝址位于珠江流域西江干流黔江段大藤峡谷出口弩滩处,库区控制流域面积198 612 km²,约占西江水系流域总面积的56.2%。库区从坝址处上溯,先是西江干流黔江段库区,至三江口柳江支流汇入口开始两边分汊,一边是西江干流红水河段,一边是西江支流柳江段,整个库区蜿蜒横卧于陡峭的峡谷中,呈狭长的“Y”形。黔江段库区长约112 km,红水河段库区长约190.14 km,柳江段库区长约213.09 km,水库水面面积可达185.79 km²。大藤峡水利枢纽库区地处我国低纬度地带,属亚热带季风气候区,多年平均气温21.5℃,多年平均降水量为1 400 mm。

大藤峡水利枢纽库区涉及广西贵港市下辖的桂平市,来宾市下辖的武宣县、象州县、兴宾区,柳州市下辖的柳江区、鱼峰区、鹿寨县等3个地级市的7个县(市、区),涉及的行政区域面积18 442.88 km²。2018年总人口472.57万人,2018年地区生产总值1 828.34亿元。

1.2 生态环境功能定位

大藤峡水利枢纽库区狭长,蜿蜒数百公里,穿过山岭、丘陵、平原和大藤峡谷,两岸风光秀丽,婀娜多姿,库区廊道具有丰富的岸线资源、水资源和生态旅游资源,分布有15个水源地、8个产卵场和1个广西红水河来宾自治区级珍稀鱼类自然保护区;库区廊道“峡幽、峰秀、滩险、水美”,有桂平大藤峡谷、武宣百崖大峡谷、红水河峡谷、砂岩峰林景观、“金钉子”蓬莱滩剖面地质景观等丰富多彩的两岸风光景

观带;库区两岸开发布局有重要港口来宾港、石龙—武宣港产城新区、来宾都市群等。此外,大藤峡库区河段是下游国家战略发展区——粤港澳大湾区水资源供给保障极其重要的战略水源地,是保障下游粤港澳大湾区供水安全的“清水龙头”,大藤峡库区在珠江-西江经济带和粤港澳大湾区区域发展总体格局中具有重要的战略地位。

基于以上分析提出大藤峡水利枢纽库区生态环境功能定位:水源地保护区、珍稀鱼类资源保护区、水源涵养与物种生境保护区、景观资源保护区以及山水宜居绿色发展保护区。大藤峡水利枢纽库区主体功能区划、生态功能区划等相关规划及保护类别的定位及要求如表 1 所示。

2 库区水资源保护面临的挑战与对策分析

2.1 面临的挑战

2.1.1 部分支流污染严重,蓄水后局部库湾回水区有富营养化趋势

大藤峡水利枢纽库区是在长峡谷中蓄水成库,库区支流也呈陡峻的“V”或“U”形河,除黔江、红水河、柳江是库区主要干支流外,库区及坝址附近还涉及清水河、北之江、止马河、河敏河、凤凰河、龙洞河及南泗河等 28 条支流,其中,集雨面积大于 1 000 km² 的支流有清水河、北之江、洛清江和运江。库区支流流入库形成库湾回水区,大部分支流水质较好,水质达标率 78.6%,但有 6 条支流不达标,包括:黔江段库区支流新江,红水河段库区支流思畔河、南泗河,柳江段库区支流洛清江、高龙河、北山河。主要原因是有些支流入库前遇拦河坝,坝前水体易集聚养分,导致富营养化趋势明显;有些支流上游有集中的村庄和分散的畜禽养殖,农村生活污水和养殖废水直排入河,导致河流污染;有些支流两岸分布片状相连的农田,农灌小渠与支流相连,雨季农村面源污染随雨水迅速排入支流。这些因素导致库区部分支流污染严重,水质为Ⅳ类、Ⅴ类或劣Ⅴ类,主要超标因子是 COD、氨氮、总磷^[12]。

大藤峡水利枢纽库区蓄水后,水文情势发生了

很大变化,水位抬升,水流变缓,如果上述支流污染得不到有效控制,进入库区的营养物质在支流库湾富集,会导致支流库湾的水体富营养化问题突出。长江三峡水库自 2003 年 6 月蓄水以来,受回水顶托影响的支流(小江、汤溪河、磨刀溪、长滩河、梅溪河、大宁河和香溪河等支流库湾)均出现了不同程度或频次的水华^[13],卫晶^[14]研究表明水库水环境污染主要来自农村各种污染源。前车之鉴不容轻视,大藤峡水利枢纽库区蓄水后,支流农村面源污染问题凸显,支流的污染治理将是库区水资源保护面临的新挑战。

2.1.2 蓄水后潜在污染风险加大

大藤峡水利枢纽库区是西江干流中游河段的重要组成部分,库区多年平均径流量为 1 340 亿 m³,占西江干流多年平均径流量的 59.8%;黔江段库区、红水河段库区和柳江段库区的 5 个一级水功能区和 12 个二级水功能区及 15 个水源地水质全部达标,年均水质优于Ⅲ类,均达到Ⅱ类,水质稳定,达标率 100%^[12],库区水资源得天独厚,量丰质优。但库区潜在污染风险依然存在,蓄水后污染风险增大。大藤峡水利枢纽库区规模以上入河排污口 56 个,废污水入河量为 7 942 万 t/a。现状污染物 COD、氨氮、总磷入河量分别为 7 143 t/a、572 t/a、232 t/a,其中,点源污染占比 33.9%、面源污染占比 65.8%、内源污染占比 0.3%,库区水污染物入河量以红水河段库区最高、柳江段库区次之、黔江段库区最低。目前,库区 23 个乡镇中有 15 个乡镇级污水处理厂,处理规模为 0.94 万 t/d,加上市县级污水处理厂,库区的废污水处理规模达 12.14 万 t/d^[12],污水管网覆盖程度和污水收集处理率偏低,而面源污染占比偏重且不易收集。

大藤峡水利枢纽库区建成后,库区的水环境受到多重因素的影响:①库区水位、流速等水文节律不仅受上游来水影响,还受大藤峡水利枢纽调度运行方式影响。②库区是广西西江经济带的“黄金水道”,也是自治区级农产品主产区和重点开发区域以及未来广西三大城镇群中的“柳-来”城市副中

表 1 相关规划及保护类别定位及要求

规划	保护类别定位及要求
《广西壮族自治区主体功能区规划》	自治区级农产品主产区和自治区级重点开发区域
《广西壮族自治区生态功能区规划》	大瑶山南部水源涵养与生物多样性保护功能区、莲花山水源涵养与林产品提供功能区、红水河流域岩溶山地水土保持功能区、鹿寨—柳江丘陵农林产品提供功能区、来宾中心城市功能区
《珠江水资源保护规划(2016—2030 年)》	珠江流域中下游控制保护区
《大藤峡水利枢纽工程库区水资源保护规划(2018—2035 年)》	水源地保护区、珍稀鱼类资源保护区、水源涵养与物种生境保护区、景观资源保护区、山水宜居绿色发展保护区

心;至2035年,航道等级将提高到Ⅰ级,货物吞吐量达到5000万t,旅游客运量实现100万人次;将建设忻城港区、合山港区、兴宾港区、象州港区和武宣港区等五大港区,规划利用港口岸线长35.214km,全部位于大藤峡水利枢纽库区;来宾市重点加强西江水系“一千七支”沿岸生态农业产业带、三江口生态产业区规划建设。根据初步预测,到2035年,库区废污水入河量约为12230万t/a,污染物COD、氨氮、总磷入河量分别约为10353t/a、1057t/a、293t/a。③库区两岸分布有矿山及尾矿库、化工企业和港口码头等风险源,重金属污染问题和重大污染事故隐患不容忽视。可以预见,随着库区城镇化进程的加快,库区水源地安全将面临很多风险隐患,库区水质保护和风险防控面临新的挑战。

2.2 对策分析

2.2.1 落实库区水生态保护和修复措施,适时开展跟踪监测和后评估

大藤峡水利枢纽库区和坝下位于西江中游干流红水河—黔江—浔江段,其中,红水河段库区涉及广西红水河来宾自治区级珍稀鱼类自然保护区,库区至下游西江封开江段分布有鱼类270多种,库区江段分布有珍稀保护特有鱼类24种,坝址以下江段分布有珍稀保护特有鱼类22种,分别为中华鲟、花鳗鲡、唐鱼、鲟、大眼近红鲌、单纹似鲃、多耙光唇鱼、长鳍光唇鱼、赤鲃、鲃、斑点薄鲃、小似鲃等。库区及坝下主要的鱼类产卵场有11个,其中库区内的老城厢、大步、石龙三江口存在人为采砂活动,其产卵场功能受到一定影响,坝下的东塔产卵场区域生境较好。总体来说,库区及坝下河段生境复杂多样,孕育了丰富多样的水生生物物种^[15]。

库区蓄水后,部分产卵场功能大为减弱,根据《大藤峡水利枢纽工程环境影响报告书》及批复,大藤峡水利枢纽库区水生态保护和修复措施包括:建设红水河珍稀鱼类保育中心、大藤峡主坝鱼道及南木江仿生态鱼道、大藤峡鱼类增殖站及来宾珍稀鱼类保护站等^[15];根据《来宾市环境保护和生态建设“十三五”规划》,至2025年,来宾市将建成珠江-西江来宾段生态走廊,开展鱼类增殖放流,加强红水河来宾段珍稀鱼类自然保护区管理。目前大藤峡主坝鱼道及南木江仿生态鱼道基本建成,红水河珍稀鱼类保育中心也挂牌成立,其他措施正在一一贯彻落实。适时开展跟踪监测,评估水生态保护和修复措施的实际效果,提出调整建议和补救措施是库区水生态保护和修复的主要任务,也是实施库区珍稀鱼类自然保护区管理的重要基础。

2.2.2 划定库区水生态空间,全面融入国土空间管控体系

根据“多规合一”的原则,针对大藤峡水利枢纽库区国土资源分布特点,结合珠江-西江经济带发展规划、广西西江经济带国土规划、珠江-西江经济带岸线保护与利用规划、珠江-西江经济带“两口子”规划、广西生态红线、广西国土资源“三区三线”等规划成果,从保障库区水质和水生态安全,兼顾上下游、左右岸、干支流区域协调发展对水资源的需求出发,确定大藤峡水利枢纽库区水生态空间的管控边界及管控要求,全面融入国土空间管控体系是优化管理库区水资源利用、水污染防治、岸线利用、航运发展等区域发展总体布局和规模的重要基础。

水生态空间是指为库区生态-水文过程提供场所,维持库区水生态系统健康稳定,保障水安全的水域陆域空间。大藤峡水利枢纽库区水生态空间对象包括:大藤峡水库主体工程、库区水域(包括消落带、水源地、珍稀鱼类自然保护区等)、库区岸边带和岛屿、库区鳄蜥等珍稀濒危动物生境。大藤峡水库主体工程生态空间为3.65km²;水域岸线长为603km,岸线生态空间为43.59km²,含消落带、水源地、珍稀鱼类自然保护区等在库区水域生态空间为103.85km²;鳄蜥等珍稀濒危动物生境生态空间为库区黔江右岸海拔40~110m、郁闭度高、人为干扰较小、坡度较平缓的山区阔叶林中的山溪沟冲^[10]。

3 库区水资源保护规划控制指标体系

遵循“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力的治水”方针,从水资源合理开发利用、水环境保护目标、水生态保护目标及水空间管控4个方面构建大藤峡水利枢纽库区水资源保护规划控制指标体系,如表2所示,体现了水量、水质、水生态、水空间系统治理与保护的理念。

4 库区“一带一圈”水资源保护规划总体布局与策略

山水林田湖草生命共同体是一个自然-社会-经济复合生态系统。统筹山水林田湖草系统治理应基于流域层面,强化流域综合整治,促进生态系统修复。

基于库区干支流流域汇水分布河段长、面积大等环境特征,以山水林田湖草系统治理、干支流全流域保护为原则,以保障库区供水安全和生态安全为目标,提出库区黔江、红水河、柳江三江保护带和库区流域控制保护圈(“一带一圈”)规划总体布局(图1)。

表 2 水资源保护规划控制指标体系

Table 2 Water resources protection planning and control index system

目标	控制指标	单位	不同水平年取值		依据
			2025 年	2035 年	
水资源	用水量	亿 m ³	71.55	71.55	
合理开发	万元工业增加值用水量	m ³	较 2015 年降低 28%	达到世界先进水平	《国家节水行动方案(2019)》
利用	农田灌溉水有效利用系数		0.56	0.56	
水环境 保护	水功能区水质达标率	%	100	100	
	入河污染物 COD 排放总量	t/a	23 686	1 584.5	
	入河污染物氨氮排放总量	t/a	23 686	1 584.5	《水污染防治行动计划》
	水源地水质达标率	%	100	100	《珠江水环境承载力方案》
	水源地达标建设合格率	%	100	100	
	水源地监控网络覆盖率	%	100	100	
	鱼类生境修复面积完成率	%	100	100	
水生态 保护	生态流量	m ³ /s	700	700	
	敏感期生态调度		根据来水调度 2 次或 3 次,特枯年份开展 1 次低流量级洪水过程调度	根据来水调度 2 次或 3 次,特枯年份开展 1 次低流量级洪水过程调度	《大藤峡水利枢纽工程环境影响报告书》及批复
	粤港澳大湾区供水安全压减水量		满足流域机构调度要求	满足流域机构调度要求	《珠江枯水期水量调度》
水空间 管控	主体工程生态空间、岸线生态空间、水域生态空间、鳄蜥等珍稀濒危动物生境生态空间		面积 151.11 km ² 、岸线 603 km	面积 151.11 km ² 、岸线 603 km	《大藤峡水利枢纽工程库区水资源保护规划(2018—2035 年)》

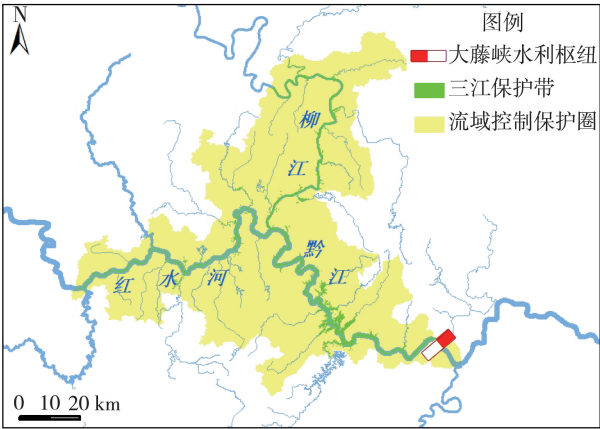


图 1 水资源保护规划总体布局

Fig. 1 Overall layout of water resources protection planning

4.1 “一带”水资源保护布局与保护策略

将纵向从坝址下游 10 km 断面起,向上游过坝体沿库区黔江段、红水河段和柳江段一直到库尾的水域及岸线范围规划为三江保护带,简称“一带”。保护目标是坝址下游的鱼类产卵场、人工鱼礁和坝址上游的珍稀鱼类自然保护区、饮用水水源保护区等。大藤峡水利枢纽是峡谷河道型库区,水资源量丰质优,水资源保护要在管控、重在防治。为此,基于加强大藤峡水利枢纽库区水生态空间管控,保护河流两岸山地、敏感岸线和敏感水域,提出以峡谷保护和敏感目标保护为主的水环境与水生态保护策略,包括:库区禁止坡度 25°以上的山林开垦和矿产

开采,加强尾矿库风险管控,建立风险防范体系和应急响应机制,有效防范并杜绝污染事故的发生;在红水河来宾段、柳江柳州段、黔江武宣段等饮用水水源保护区及红水河来宾段珍稀鱼类自然保护区等河段,划定总长为 130.5 km 的禁止区水域,取缔或迁建入河排污口;严格控制工业园区污染物排放,提高废污水的循环利用率和中水回用水平,有条件的园区远期应实现工业废水“零排放”,生活污水处理覆盖库区全乡镇;重点开展水源地达标建设,加强水源地预警监控、风险防控和联防联控;全面落实“一中心、双鱼道、双增殖站、五产卵生境”生态保护修复措施;三江保护带是库区的核心水域,通过水环境和水生态保护策略,有效控制点源和内源污染,保护一库清水和生态廊道。

4.2 “一圈”水资源保护布局与保护策略

“一圈”,即大藤峡水利枢纽库区流域控制保护圈。从库区流域系统治理与保护出发,构建库区干支流流域控制保护圈,具体指库区集雨范围及坝下黔江段集雨范围涉及的干支流流域。应严格做好入库支流水污染防控,控制库区支流梯级开发强度,确保支流水量水质,红水河、柳江入库断面水量水质,出库河段水量水质稳定达标,为大藤峡水利枢纽库区青山绿水保驾护航。为此,提出面源控制、生态调度和流域监控管理等保护策略,包括:制定大藤峡水利枢纽入库支流水环境保护管理规定,对污染严重的新江、南泗河、思畔河、高龙河、北山河、洛清江等

小流域开展石漠化整治及农村污染源综合整治,控制库区小支流梯级开发强度,防止库尾和库湾水域面源污染和水华的发生;加强库区流域性生态保护措施,开展大藤峡生态调度,保障生态流量,保护和修复库区和下游水生生态;建立水量、水质、水生态监控体系,布设重点监控断面对入库及出库的水量、水质、水生态状况进行有效监控;创新完善库区河湖长制度和协作机制^[16],构建大藤峡水利枢纽库区社会化河湖监管体系,多元共治,实现库区全流域保护。

5 结 语

大藤峡水利枢纽库区水资源量丰质优,环境优美,不仅是保障下游粤港澳大湾区供水安全的战略性淡水资源库,也是珠江-西江经济带和西江亿吨级“黄金水道”基础设施建设的标志性工程。库区地处西江干流中下游,具有三江汇流、生境多样的生态环境特征。作为水源地保护区、珍稀鱼类资源保护区、水源涵养与物种生境保护区、景观资源保护区以及山水宜居绿色发展保护区,库区水资源保护压力持续增加。在流域高质量发展新形势下,科学规划大藤峡水利枢纽库区水资源保护布局和保护策略对促进库区社会经济发展,保障库区“高峡绿湖、三江画廊、碧水深悠、鱼肥草美”的水资源与水生态安全格局,具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 水利部水资源司. 水资源保护实践与探索[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011: 4-5.
- [2] 水利电力部珠江水利委员会. 珠江流域综合利用规划报告[R]. 广州: 水利电力部珠江水利委员会, 1986: 20-26.
- [3] 长江流域水资源保护局. 水资源保护规划理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 38-39.
- [4] 侯国祥, 翁立达, 叶闽, 等. 三峡水库重庆库区水质预测[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(1): 13-16. (HOU Guoxiang, WENG Lida, YE Min, et al. Water quality prediction for Chong-Qing region of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002, 19(1): 13-16. (in Chinese))
- [5] 雒文生, 谈戈. 三峡水库香溪河库湾水质预测[J]. 水电能源科学, 2000, 18(4): 46-48. (LUO Wensheng, TAN Ge. Three Gorges Reservoir Xiangxihe Bay water quality prognosis[J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2000, 18(4): 46-48. (in Chinese))
- [6] 罗小勇. 三峡水库蓄水 156 m 时纳污能力及限排总量分析[J]. 中国三峡建设(科技版), 2008(1): 34-37. (LUO Xiaoyong. Analysis of the pollution capacity and total discharge limit on Three Gorges Reservoir at 156 m

- storage[J]. China Three Gorges Construction, 2008(1): 34-37. (in Chinese))
- [7] 黄锦辉, 连煜, 宋世霞. 中国水资源保护科研发展历程回顾[J]. 水利规划与设计, 2020(10): 58-61. (HUANG Jinhui, LIAN Yu, SONG Shixia. Review on the development of scientific research on water resources protection in China [J]. Water Resources Planning and Design, 2020(10): 58-61. (in Chinese))
- [8] 王晓红, 张建永, 史晓新. 新时期水资源保护规划框架体系研究[J]. 水利规划与设计, 2021(6): 1-3. (WANG Xiaohong, ZHANG Jianyong, SHI Xiaoxin. Research on the framework system of water resources protection in the new era [J]. Water Resources Planning and Design, 2021(6): 1-3. (in Chinese))
- [9] 王浩, 王建华, 胡鹏. 水资源保护的新内涵: “量-质-域-流-生”协同保护和修复[J]. 水资源保护, 2021, 37(2): 1-9. (WANG Hao, WANG Jianhua, HU Peng. New connotation of water resources protection: “quantity-quality-domain-connectivity-biology” coordinated protection and restoration [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(2): 1-9. (in Chinese))
- [10] 林若兰, 卓文珊, 曾珂, 等. 不同风向对珠江东四口门盐水平入的影响[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 66-75. (LIN Ruolan, ZHUO Wenshan, ZENG Ke, et al. Influence of different wind direction on saltwater intrusion in east four portals of Pearl River [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 66-75. (in Chinese))
- [11] 董斯齐, 黄翀, 李贺, 等. 粤港澳大湾区 2015—2019 年入海河口水质变化趋势[J]. 水资源保护, 2021, 37(5): 48-55. (DONG Siqi, HUANG Chong, LI He, et al. Change trend of water quality in estuaries of Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area from 2015 to 2019 [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5): 48-55. (in Chinese))
- [12] 珠江水资源保护科学研究所, 广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司. 大藤峡水利枢纽工程库区水资源保护规划(2018—2035 年)[R]. 广州: 珠江水资源保护科学研究所, 广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司, 2020: 23-24.
- [13] 李迎喜, 王孟. 三峡库区水资源保护规划的编制思路[J]. 人民长江, 2011, 42(2): 48-50. (LI Yingxi, WANG Meng. Thoughts on water resources protection planning of Three Gorges reservoir area [J]. Yangtze River, 2011, 42(2): 48-50. (in Chinese))
- [14] 卫晶. 开展水库水环境保护研究实现水资源可持续利用[J]. 农家参谋, 2018(18): 219. (WEI Jing. Research on reservoir water environmental protection to achieve sustainable water resources utilization [J]. The Farmers Consultant, 2018(18): 219. (in Chinese))

(下转第 221 页)

- 582-587. (HAN Zhiyuan, TIAN Xiangping, OU Suying. Impacts of large-scale human activities on riverbed morphology and tidal dynamics at Modaomen Estuary [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30 (4): 582-587. (in Chinese))
 - [11] 肖洋,王艳,徐辉荣,等.珠江三角洲洪水就近入海防洪治理方案[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(3):257-264. (XIAO Yang, WANG Yan, XU Huirong, et al. Analysis on flood control scheme for flood discharge from nearer route in the Pearl River Delta[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(3): 257-264. (in Chinese))
 - [12] 杨远东,王永红,蔡斯龙,等.1960—2017年珠江流域下游径流年际与年内变化特征[J].水土保持通报,2019,39(5):23-31. (YANG Yuandong, WANG Yonghong, CAI Silong, et al. Interannual and intra-annual variation characteristics of runoff in downstream areas of Pearl River Basin during 1960-2017[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 23-31. (in Chinese))
 - [13] 杭宜铖,范敏韬,刘智勇.基于REOF的珠江三角洲河网区水位时空变异特征分析[J].水资源保护,2022,38(2):139-146. (HANG Yicheng, FAN Mintao, LIU Zhiyong. Spatiotemporal variation of water level in Pearl River Delta network area based on REOF[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(2): 139-146. (in Chinese))
 - [14] 杨昊,欧素英,傅林曦,等.珠江磨刀门河口日均水位变化及影响因子辨识[J].水利学报,2020,51(7):869-881. (YANG Hao, OU Suying, FU Linxi, et al. Quantifying the impacts of external forcing on daily averaged water levels in the Modaomen Estuary of the Pearl River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(7): 869-881. (in Chinese))
 - [15] 张先毅,杨昊,黄竞争,等.强人类活动驱动下珠江磨刀门河口径潮动力的季节性异变特征[J].海洋与湖沼,2020,51(5):1043-1054. (ZHANG Xianyi, YANG Hao, HUANG Jingzheng, et al. Impact of intensive human activity on seasonal variation in river-tide dynamics in the Modaomen Estuary of Zhujiang (Pearl) River[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(5): 1043-1054. (in Chinese))
 - [16] 彭静,王浩.珠江三角洲的水文环境变化与经济可持续发展[J].水资源保护,2004,20(4):11-14. (PENG Jing, WANG Hao. Variation of water environment and sustainable development of economy in Pearl River Delta[J]. Water Resources Protection, 2004, 20(4): 11-14. (in Chinese))
 - [17] 林若兰,卓文珊,曾珂,等.不同风向对珠江东四口门盐水平入的影响[J].水资源保护,2020,36(1):66-75. (LIN Ruolan, ZHUO Wenshan, ZENG Ke, et al. Influence of different wind direction on saltwater intrusion in east four portals of Pearl River[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 66-75. (in Chinese))
 - [18] ZHANG Wei, WANG Weiguang, ZHENG Jinhai, et al. Reconstruction of stage-discharge relationships and analysis of hydraulic geometry variations: the case study of the Pearl River Delta, China[J]. Global and Planetary Change, 2015, 125: 60-70.
 - [19] LIU Feng, YUAN Lirong, YANG Qingshu, et al. Hydrological responses to the combined influence of diverse human activities in the Pearl River Delta, China[J]. CATENA, 2014, 113: 41-55.
 - [20] TORRENCE C, COMPO G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78.
 - [21] FLINCHER E P, JAY D A. An introduction to wavelet transform tidal analysis methods[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 51(2): 177-200.
 - [22] 陈小齐,余明辉,刘长杰,等.珠江三角洲近年地形不均匀变化对洪季水动力特征的影响[J].水科学进展,2020,31(1):81-90. (CHEN Xiaoqi, YU Minghui, LIU Changjie, et al. Impact of recent uneven channel evolution on hydrodynamic characteristics during flood season in the Pearl River Delta[J]. Advances in Water Science, 2020, 31(1): 81-90. (in Chinese))
 - [23] DRONKERS J J. Tidal computations in rivers and coastal waters[M]. Amsterdam: North-Holland, 1964: 219-304.
 - [24] BUSCHMAN F A, HOITINK A J F, VAN DER VEGT M, et al. Subtidal water level variation controlled by river flow and tides[J]. Water Resources Research, 2009, 45(10): W10420.

(收稿日期:2022-04-17 编辑:施业)

+++++

(上接第161页)

- [15] 王丽,朱远生,杨晓灵,等.大藤峡水利枢纽工程设计中的水生态优化措施[J].水资源保护,2016,32(3):74-78. (WANG Li, ZHU Yuansheng, YANG Xiaoling, et al. Measures for aquatic ecological optimization in design of Datengxia Water Project[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(3): 74-78. (in Chinese))
- [16] 陈华鑫,陆沈钧,何建兵,等.长三角一体化示范区水资源保护协作机制创新研究[J].水资源保护,2021,37(5):56-61. (CHEN Huaxin, LU Shenjun, HE Jianbing, et al. Research on innovation of water resources protection cooperation mechanism in Yangtze River Delta integration demonstration area[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5): 56-61. (in Chinese))

(上接第 161 页)

- [16] 陈华鑫,陆沈钧,何建兵,等.长三角一体化示范区水资源保护协作机制创新研究[J].水资源保护,2021,37(5):56-61. (CHEN Huaxin, LU Shenjun, HE Jianbing, et al. Research on innovation of water resources protection cooperation mechanism in Yangtze River Delta integration demonstration area[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5):56-61. (in Chinese))