

丹江口水库现代化运行管理矩阵构建实践

付建军

(南水北调中线水源有限责任公司, 442799, 丹江口)

摘要:丹江口水库是南水北调中线工程重要水源地,为切实保障水库工程安全、供水安全和水质安全,依据水利部关于构建现代化水库运行管理矩阵有关技术要求,总结了丹江口水库运行管理现状,分析了新发展阶段丹江口水库支撑南水北调后续工程高质量发展仍然存在的问题与不足,在此基础上提出充分利用标准化管理和数字孪生汉江流域、数字孪生丹江口工程建设成果,推进监管全覆盖、掌握全要素、管控全天候、管理全周期“四全”管理,完善体制、健全机制、强化法治、落实责任制“四制(治)体系”,预报精准化、预警提前化、预演数字化、预案科学化“四预”措施,及时除险、定期体检、强化维护、保障安全“四管”工作等,提出全面构建丹江口水库现代化运行管理矩阵主要建设内容,并结合工程运行管理实践明确了矩阵建设主要工作。

关键词:丹江口水库;运行管理矩阵;数字孪生;南水北调后续工程;大坝安全;水库雨水情监测预报“三道防线”

Construction of a modernized operation and management matrix for the Danjiangkou Reservoir//Fu Jianjun

Abstract: The Danjiangkou Reservoir is the primary water source for the South-to-North Water Diversion Project. In order to ensure safety of the reservoir, water supply and water quality, current situation of its operation and management are reviewed by analyzing issues and deficiencies that may affect high-quality development of the follow-up projects of the South-to-North Water Diversion Project, with consideration to the technical requirements of the Ministry of Water Resources to build a modern reservoir operation and management matrix. On this basis, it proposes to maximize the role of standardized management and create digital twin Hanjiang River Basin and digital twin Danjiangkou; introduce “four coverage” approach of supervision, all elements, all-weather and full circle management; strengthen institutional system and mechanism, law-based governance and accountability; implement measures for accurate forecasting, early warning, digital rehearsal and scientific planning; and take four measures of timely risk removal, regular inspection, better operation and maintenance, and safety management. Main contents of a modernized operation and management matrix of the Danjiangkou Reservoir are proposed. Key elements of matrix construction are specified in combination with practices of project operation and management.

Keywords: the Danjiangkou Reservoir; operation and management matrix; digital twin; follow-up projects of the South-to-North Water Diversion Project; dam safety; “three defense lines” for reservoir rainwater monitoring and forecasting

中图分类号: TV61 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2024)20-0025-09

收稿日期: 2024-10-10

作者简介: 付建军, 副总经理, 高级工程师。

丹江口水库是开发治理汉江的关键控制性工程，是南水北调中线水源工程。为贯彻落实习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路以及推进南水北调后续工程高质量发展座谈会讲话精神、有关水库大坝安全的重要指示批示精神，扎实推进南水北调后续工程高质量发展，切实保障丹江口水库工程安全、供水安全、水质安全，紧密围绕“确保一泓清水永续北上”工作目标，依据水利部关于构建现代化水库运行管理矩阵相关指导意见、工作方案和技术要求，结合丹江口水库工程管理实际，水库管理单位——南水北调中线水源有限责任公司（以下简称“中线水源公司”）全面推进开展现代化水库运行管理矩阵先行先试建设实践工作。

一、矩阵建设工作基础

丹江口水库位于湖北省十堰市丹江口市，坝址地处汉江与其支流丹江汇合口下游800 m处，控制流域面积95 200 km²，工程具有防洪、供水、发电、航运等功能。水库总库容339.1亿m³，为Ⅰ等大（1）型工程，主要建筑物级别为1级。水库正常蓄水位170.00 m，死水位150.00 m，设计洪水位172.20 m，校核洪水位174.35 m。水库管理单位高度重视工程标准化管理体系建设和数字孪生项目建设。已建立工程标准化管理体系，编制了标准化管理工作手册，逐步将标准化管理向工程管理的各环节延伸，推进标准化管理全覆盖；持续推进数字孪生汉江流域、数字孪生丹江口工程建设工作，为现代化水库运行管理矩阵先行先试建设创造良好基础。

1. “四全”管理

利用卫星遥感、北斗、无人机、无人船、测量机器人、白蚁智能监控等先进技术，综合人工巡查、智能巡检、视频监控、仪器监测等手段，初步构建了丹江口大坝及水库全天候动态监控体系。建成了丹江口大坝安全监测自动化系统并投入运行，该系统具备监测数据的即时采集、分析、传输、展示和应用功能，通过自动化监测与人工巡视检查比对复核相结合的方式，能够及时掌握分析研判大坝运行性态。谋划开展丹江口大坝全息物理影像“一张图”建设，利用全息建模与可视化技术，构建大坝内部结构、大坝基础地质构造、多源感知信息、三维仿真数据等要素全息可视的丹江口“透明大坝”，实现丹江口大坝运行状态“可看、可查、可算、可测、可演”的大坝安全管理功能。在已有32个人工监测断面基础上，建成白河、堵河、丹江、老灌河4

条主要入库河流水文水质同步自动监测站，升级改造7个现有水质自动监测站，初步实现丹江口水库入库、出库水质监测全覆盖。初步建成丹江口库区1050 km²三维实景图，运用库区巡查App、卫星遥感解译、无人机辅助、奥维地图等手段提升库区巡查数字化、智能化水平，动态掌握库区正常蓄水位以上、校核洪水位以下存在临时洪水淹没区域基本情况。初步完成丹江口库区及汉江上游河流水系、尾矿库、水质监测断面、污水处理厂、入河湖库排污口、水污染防治及水土流失信息等多时空水利数据收集和上图，开展综合管理与分析，实现信息汇总、分析、统计与展示等功能。推进水利全生命周期数字档案建设，建成省级示范数字档案馆。

2. “四制（治）”体系

按照水库工程标准化管理要求，科学制定、不断完善并严格落实各项规章制度，建立了以综合管理、计划经营管理、人事（党建）管理、技术管理、质量管理、安全管理、应急管理、信息化管理、标准体系改进提升管理为核心的管理制度。在此基础上编制了标准化管理工作手册，按安全管理、运行管护、管理保障、信息化管理等类别梳理各阶段工作任务并进行管理事项划分，涵盖丹江口水库的日常运行管理各事项，明确工作内容、工作流程、工作要求、记录表单等，能够有效指导和规范具体工作。强化水库依法管理，推动丹江口枢纽和水库立法工作。《丹江口水利枢纽安全保卫规定》自2024年4月1日起施行，为开展丹江口水利枢纽安保工作提供了有力的法制支撑。持续配合推动丹江口水库及其上游流域保护立法研究、丹江口水库岸线保护与利用规划审批工作。创新探索出丹江口库区“政企合作”协同管理新模式，已与库区6县（市、区）签订协同管理协议，形成了库区市、县、乡、村4级网格化管理体系。在此基础上，收集录入库周6县（市、区）41个乡镇380个行政村的600余名责任人信息，建立了库区政企协同、齐抓共管的良性管理工作机制。

3. “四预”措施

加强与气象、水文等部门合作，能用尽用气象卫星、测雨雷达、雨量站、水文站等信息，基本建成雨水情监测预报“三道防线”现代化水文监测预报体系。建设水库调度自动化系统，系统集成产汇流模型和洪水演进模型。完成了数字孪生丹江口工程和数字孪生汉江流域先行先试建设任务，相关技术成果入选数字孪生流域建设先行先试优秀应用案例和数字孪生水利建设典型案例名录，数字孪生丹江口工程入选2023年数字孪生水

利建设十大样板名单,为现代化水库运行管理矩阵先行先试建设创造了良好基础。数字孪生丹江口工程实现水-库-坝全息实时映射与“四预”业务智能应用,充分利用丹江口大坝安全监测信息管理系统、丹江口库区水质监测管理系统以及丹江口水库综合管理平台已建成果,实现了工程安全、水质安全、库区安全的智慧化管理。构建了土石坝、混凝土坝安全监测数据智能预测模型,开发了大坝监测、水质监测、库区滑坡位移监测数据智能预报功能,初步实现了丹江口水库大坝“测点—断面—整体”运行性态智能诊断。基本建立工情预警、水质监测指标体系,根据大坝安全、水质监测等信息,以及洪水预报、工程性态研判情况,初步实现大坝工情、库区水污染事件预警功能。依据雨水情监测预报、水库调度方案、防洪任务目标等信息,构建了大坝安全诊断模型,实现了水库大坝变形、应力、渗流等安全状态分析功能,初步实现了大坝限制运用条件与限泄要求功能逆向推演以及库区突发水污染扩散影响数字化推演。数字孪生汉江流域可以根据雨水情监测预报、大坝安全监测分析、水库调度方案及预报预警等信息,开展区域或流域重要水库及水库群超标洪水调度预演,掌握洪水影响范围与危害程度。具备正向预演洪水淹没范围及洪水到达重要防洪保护对象时间、淹没深度与损失,逆向推演重要水库大坝限制运用条件与限泄要求的能力,为防洪调度指挥决策提供技术支撑。流域防洪模块可基于汉江流域防洪形势,智能推荐堤防、水库、蓄滞洪区等不同水工程组合调度策略,同时也具备按照设定控制目标反向演算安排水库调度过程,实现不同量级洪水在各类调蓄空间的最优安排。水资源管理与调配模块可根据中长期来水预测成果和流域内用水需求,采用结合工程调度的水资源配置模型,实现流域不同时间尺度水量调度计划的编制及滚动分析。

4. “四管”工作

规范开展水库巡视检查、安全隐患排查和危险源辨识,加强风险管控,发现问题及时处置。开展坝下冲刷区水下地形测量,分析大坝加高后泄洪对坝下河床冲刷的影响以及冲坑对大坝安全的影响。积极开展丹江口工程白蚁排查防治工作,结合工程日常巡查,规范推进常态化白蚁防治工作。为提高白蚁防治能力,在结合人工巡查防治的基础上,积极探索运用新技术、新装备,在电厂开关站区域及左右岸坝区安装白蚁自动监测预警装置,建设白蚁自动监测预警系统并投入试运行。完成丹江口水库管理和保护范围划界工作,以及界桩、标

志牌、公告牌的设置。常态化开展库区巡查,配合水利部长江水利委员会(以下简称“长江委”)及地方行政主管部门开展违法违规行为查处;按照水利部和长江委统一部署,落实“守好一库碧水”专项行动要求,协助地方有效遏制各类涉库涉水违法违规行为,充分发挥地方网格化协同管理作用;开发应用监督举报信息收集平台,鼓励更多社会力量参与水源地保护工作;库区环境面貌明显改善,库区水生态环境持续向好。根据数字孪生业务应用需要,在已有算力资源基础上,数字孪生项目新购的硬件及操作系统全部实现国产化,并基于国产化虚拟化软件实现了计算、存储资源的池化。持续推动丹江口水库工程管理标准化工作,进一步厘清管理事项,明确管理要求,规范管理流程,加强现场环境整治、设备设施升级改造和白蚁专业化防治等工作。

二、面临形势及存在差距分析

2021年5月14日,习近平总书记主持召开推进南水北调后续工程高质量发展座谈会并发表重要讲话时强调,南水北调工程事关战略全局、事关长远发展、事关人民福祉。丹江口水库在南水北调后续工程高质量发展中具有不可替代的重要地位。2023年,习近平总书记先后6次对南水北调中线水源地保护工作作出重要指示批示,强调要强化南水北调中线工程水源地保护,确保一泓清水永续北上;亲自审定《进一步加强丹江口库区及其上游流域水质安全保障工作方案》,为全力做好丹江口库区及其上游流域水质安全保障工作提供了根本遵循。李国英部长在全国水利工作会议上强调,要建构现代化水库运行管理矩阵,强化丹江口库区及其上游流域水质安全保障,实施“天空地水工”一体化监测感知夯基提能行动,迭代优化数字孪生丹江口工程成果等,为扎实做好丹江口工程运行管理工作明确了行动指南。

面对新形势、新任务,确保南水北调中线水源工程安全、供水安全、水质安全“三个安全”,扎实推动南水北调后续工程高质量发展,切实保障库区及其上游流域水质安全,更好发挥丹江口水库作为“大国重器”的战略定位,丹江口水库运行管理工作需要在支撑南水北调后续工程高质量发展水平上进一步提升,在保障库区及其上游流域水质安全的能力上进一步加强,在风险防控能力上进一步提高,在管理体制机制上进一步健全,在科技支撑保障能力上进一步加强。

对标对表《水利部关于加快构建现代化水库运行管理矩阵的指导意见》《构建现代化水库运行管理矩

阵试点水库建设技术要求》等文件,针对“四全”“四制(治)”“四预”“四管”各方面对丹江口水库现代化水库运行管理矩阵建设存在差距进行深入分析。

1. “四全”管理

“监管全覆盖”方面,工程管理沟通协调工作机制需进一步优化完善,数字孪生丹江口工程和数字孪生汉江流域的信息共享互馈还需进一步提升;“掌握全要素”方面,库、坝区范围广,且涉及管理事项多,对工程、库区、下游等相关信息的获取和掌握有待进一步加强;“管控全天候”方面,未采用无人机结合现代化技术实现坝区智能巡检,库区信息化建设水平仍需提高,视频监控布设范围不全,不能实现对库区全覆盖监管,且地方管理信息的共享力度较弱,卫星遥感解译成果时效性不够,不能保证及时发现最新违法违规行为;“管理全周期”方面,丹江口水库工程的全生命周期数字信息档案尚需进一步完善。

2. “四制(治)”体系

“完善体制”方面。理顺管理体制,细划水库管理相关方权责,稳定工程运行管理经费投入渠道,常态化完善管理设施设备,强化汛期应急抢险队伍及物资,完善水库预警发布机制,提升水旱灾害防御能力。

“健全机制”方面。在“十四五”发展规划、人才队伍建设、安全发展、库区管理和保护、枢纽坝区提升、创新发展、企业文化建设等体系框架基础上,加快构建务实管用的制度体系,出台与丹江口水库现代化运行管理矩阵“四全”管理、“四预”措施、“四管”工作相协调的制度办法,进一步完善协调工作机制;在现有考核机制基础上进一步健全监督考核评估机制;加强与库区地方政府的沟通联系,完善数据信息共享机制。枢纽全周期动态风险管控机制有待加强;现代化安全管理体系与安全生产工作体制机制有待健全完善,风险隐患防范化解和治理能力有待增强。

“强化法治”方面。常态化有序做好水库大坝运行管理制度修订完善,加快推进与国家、行业法律法规衔接的配套文件、规章、细则的制修订工作;根据丹江口水库工程实际情况,积极配合推进水库巡查、库区保护、智慧运维、坝区安全保卫、水行政执法与司法衔接等方面的法规出台。

“落实责任制”方面。责任人是全面完善“四制(治)”体系的核心,有必要进一步健全大坝安全监管责任体系,强化落实以地方行政领导负责制为核心的大坝安全责任制,推进大坝安全管理及防汛责任人履职能力建设。

3. “四预”措施

“预报精准化”方面。需进一步加强与长江委水文局雨水情信息共享,强化水库雨水情监测预报“三道防线”,优化调整丹江口水库库区雨水情监测站网;短期降雨预报、中长期来水预报作业需要结合委托服务产品进行,基本以人工为主,业务应用尚未系统化,尚需要逐步推进水库流域降雨预报、中长期等核心预报业务应用系统化。随着数字孪生工程建设的推进,对于安全监测系统感知和分析的要求也在不断提高,部分监测设施测量精度等未能达到预期效果,大坝表面变形、渗压渗流、库水温等监测感知能力还需进一步提升。数字孪生丹江口工程中的模型需要进一步率定,以提高模型的计算效率和计算精度。

“预警提前化”方面。水库雨水情、水质监测和大坝安全预警指标体系有待进一步完善;雨水情预警与水库大坝相关应急预案衔接不够,雨水情预警目前只面向丹江口市防办以及相关管理单位及部门,预警范围不全面。目前丹江口水库只有泄洪预警系统管理办法,用于内部泄洪预警,需结合水库大坝相关应急预案,形成分工明确、运转有序、保障有效的水库预警机制,保障水库预警信息及时有效直达一线。

“预演数字化”方面。数字孪生项目建设和应用都处于起步阶段,需要不断优化和改进。当前数字孪生汉江流域与数字孪生丹江口工程集成工作还有待完善,流域与工程互馈功能还需进一步开发。

“预案科学化”方面。丹江口水库坝区涉及范围较广,现有应急预案局限于坝区安全生产范畴,无法覆盖区域、流域方面的应急演练,需要不断完善应急预案覆盖范围。

4. “四管”工作

“及时除险”方面。在隐患险情巡查过程中发现地质灾害情况,通报地方政府进行处理后,相关治理工作存在不及时或整治不到位现象,需安装完善自动监测系统装置。

“强化维护”方面。丹江口大坝加高工程是在初期工程基础上的改扩建工程,应加强安全监测和巡查,尤其要重视新老混凝土结合面、土石坝与混凝土坝结合部位、已处理裂缝和渗水部位的工作性态。白蚁防治方面,白蚁自动化监测控制预警装置正处于试运行阶段,系统实效性尚待检验。

“保障安全”方面。库区已完成划界,但库区占用岸线、侵占水域和消落区的行为仍有发生,库周居民及

涉库工程建设单位水法律法规意识不强。部分项目经过现场叫停后短时间停工,但复查发现该项目未得到及时整改。“六项机制”构建工作已全面开展,需进一步研究与日常安全生产管理工作相结合。库区安全投入力度仍需加大。国产化替代工作在数据治理、供应链管理方面的工作尚处于起步阶段。

三、矩阵主要建设内容

1. 推进“四全”管理

(1) 监管全覆盖

落实以行政首长负责制为核心的大坝安全和防汛责任人,明确水库工程的运行管护主体职责及分工。强化数字孪生汉江流域与数字孪生丹江口工程信息共享应用,实现数字孪生汉江与数字孪生丹江口有关大坝安全监测信息的共享。雨水情测报及时汇集至工程管理平台信息平台并共享到长江委平台;大坝安全监测信息及时汇集至数字孪生丹江口工程,共享到全国大型水库安全监测监督平台;库区水质监测信息报送上级主管部门并与中线水源公司共享。完善信息传输、应用流程和信息安全管理办法,明确责任部门和人员,加强信息共享应用和安全管理。

(2) 掌握全要素

加强无人机、隐患探测、水下机器人等先进技术手段应用,全面精准掌握工程特性、运行管理情况、工程安全状况等。整合各类数据资源,充分利用先进技术手段进行库区(含淤积及水质变化)全覆盖测量与监控,全面动态掌握库区要素信息。推进主要入库河流水文站水质自动监测站建设,以及库区原有水质监测站网固定式自动站的更新改造、提档升级,开展库区水质监测断面桩布设;推进遥感水质监测系统建设。定期收集下游河道行洪能力与堤防安全信息;动态掌握水库下游防洪重点保护对象的防洪标准、安全泄量、警戒水位;对存在河道侵占的河段、行洪控制断面、不满足防洪标准或容易出险的堤防段,及时掌握变化情况及其对行洪能力与安全的影响。

(3) 管控全天候

充分利用先进技术,综合人工巡查、智能巡检、视频监控、仪器监测等手段,构建丹江口水库大坝全天候动态监控体系,具备对枢纽区、库区、下

游河道的动态监测和风险监控能力。开展库周遥感监测体系建设,基于国产亚米级卫星遥感影像搭建丹江口水库遥感监测平台,定期进行库区河湖库“四乱”、水面设施、水面漂浮物、水华等监测,定期进行库区消落区土地利用监测及水域、消落区、孤岛监测;定期利用无人船进行淤积测量;探索基于高光谱遥感的库区水质监测技术,建立“天空地”一体化水质监测体系;结合实际应用效果总结先进技术应用经验,并持续完善技术融合及协同监控能力,丹江口水库遥感监测平台见图1。

(4) 管理全周期

在现有档案管理系统基础上,完善水库大坝全生命周期数字信息档案,对工程设计施工、注册登记、调度运用、维修养护、检查监测、安全鉴定、应急管理 etc 全过程重要资料实现电子档案完整管理。规范开展水库注册登记、调度运用、维修养护、巡查监测、安全鉴定、应急管理等重要过程管理,逐步实现丹江口水库管理过程数字化、信息化。

2. 完善“四制(治)”体系

(1) 完善体制

按照《水库大坝安全管理条例》等国家、行业法规,全面落实以地方人民政府行政首长负责制为核心的水库大坝安全责任制,明确各类责任人的具体职责,强化责任人履职尽责。强化目标协同、部门协同、区域协同、措施协同“四个协同”,强化组织领导、统筹协调、政策保障。进一步加强库区保护和污染排查,增强突发水污染事件应对能力,确保丹江口水库水质安全。完善水库突发事件应急协调联动机制,加强与地方政府、有关部门、水库上下游与相关企事业单位的协调联动,保障水库突发事件高效处置。持续深化水库管理体制变革,强化现有联络协调机制。加强水库专业化管护,明确水工建筑物、金属结构和机电设备的检修维

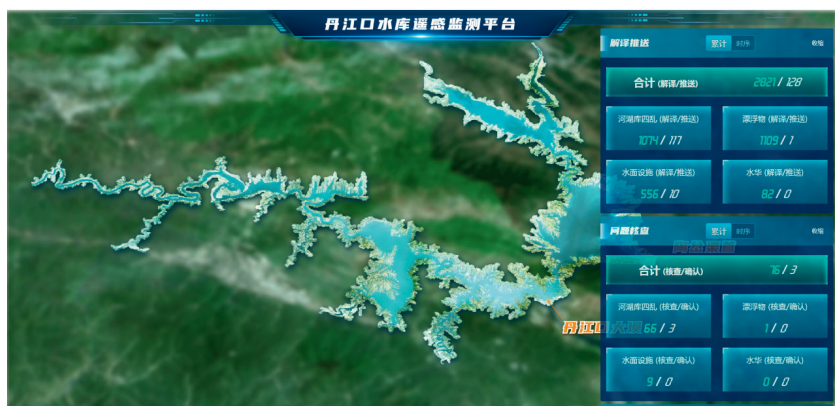


图1 丹江口水库遥感监测平台

护标准,强化专业化管理,提升运行管护水平。

(2) 健全机制

按照工程标准化管理相关要求,梳理完善水库运行管理各项工作事项和岗位职责,确保工程运行管理机构和人员满足工程运行管理需要,各项工作细化落实到人。加大人才引进力度,规范内设部门岗位设置,推进科技人才创新团队建设工作。加强人才教育培育工作,优化人才管理与培养机制,建成一支规模适度、结构合理、素质较高的水利人才队伍,为丹江口水库高质量发展提供智力支撑。对标一流水利工程管理单位标准找差距、补短板,全方位提升软硬件水平,在管理用房、道路、通信、电力设施等方面进一步检视薄弱环节,例如,开展极端条件下的电力保障能力专项研究,并择机组织实施。强化安全生产预报预警设备设施能力建设,提升危险源监测、隐患排查、风险管控、应急处置等预警能力;加大设备设施安全评估、更新改造力度,探索安全生产智能装备、在线监测、监控、预警等设备在工程运行管理工作中的应用,提高设备科学管理和故障诊断水平。

(3) 强化法治

继续深化工程标准化管理体系建设,不断完善工程标准化管理相关办法制度,强化雨水情测报、维修养护、调度运用、应急管理、库区管理保护等工作制度保障。配合地方政府和有关部门积极推进中线水源地保护法立法以及丹江口水利枢纽安全保卫规定宣贯、施行。持续完善安全生产监督、责任和保障体系,深入开展工程隐患排查,主动防范库区安全风险。进一步增强制度执行意识,强化制度刚性约束,加大制度贯彻执行力度,按规范要求开展工程运行维护、隐患排查和检查、大坝安全鉴定及安全评估等工作,掌握工程安全状况,发现问题及时处理,不断提高工程运行管理水平。提升制度落地成效,加强压力传导,激发工作活力,利用信息化辅助、绩效考核激励等手段,推动各项工作部署、任务目标真正落到实处。持续强化过程管理,优化与年度重点工作任务督办考核贯通运用,密切关注考核效果,及时进行考核评估、结果反馈,不断调整和改进考核措施,确保各项规章制度执行到位。依托库区联席会议制度和河湖长制,落实库区长效监管机制,加强库区联合巡查、水法律法规宣贯和信息共享等,配合做好水政监察和水事秩序维护相关工作。

(4) 落实责任制

落实水库大坝安全政府、水库主管部门和水库管理单位责任人,通过网络、报纸等媒体公示公告,现场

布设责任人公示牌。通过编制口袋书、参加线上培训等多途径强化业务培训,提升大坝安全责任人、防汛责任人履职能力。通过与库区地方政府签订协同管理协议落实政企双方责任,建立并完善库周市、县、乡、村4级网格化管理体系,适时对各级责任人开展库区管理业务培训,提升库区管理一线人员的履职能力。压实安全生产党政领导责任、部门监管责任和企业主体责任,落实全员安全生产责任制、全过程安全责任追溯制度。构建安全生产防控体系,强化双重预防机制建设,形成超前预防、超前治理的格局。

3. 强化“四预”措施

(1) 预报精准化

加快构建“三道防线”。一是结合工程实际,加强水库雨水情监测预报“三道防线”建设。第一道防线构建方面,与气象部门合作,收集流域气象卫星降雨预报产品,并按照基建项目程序和先行先试实施方案内容有序推进丹江口水利枢纽水利测雨雷达先行先试建设工作。第二道防线、第三道防线构建方面,一是按照《水文站网规划技术导则》,加强与流域内水文气象部门合作,优化调整、加密布设丹江口水库控制的流域雨水情监测站网,加快推进水利测雨雷达先行先试建设;二是枢纽区建设精密降水量测量仪,实现强降雨精准监测;三是提升水库流域降雨预报、中长期等核心预报业务应用系统化、信息化、智能化水平;四是进一步加大与长江委水文局雨水情信息共享力度。

强化洪水精准预报。充分应用“三道防线”雨水情信息不断优化预报模型,开展不同预见期洪水预报,对洪水预报成果进行滚动更新,提高预报精准度;对洪水预报模型相关参数进一步率定,提高模型计算精度。

加强工程性态研判。整合现有大坝视频监控系統,补充高清摄像头,对大坝泄洪系统、重点廊道及坝面重点部位全监控;利用无人机设备实现坝区(含下游管理区)自动巡检;实施大坝安全监测设施升级改造(推进大坝表面变形InSAR监测研究),提升大坝运行工况数据支撑水平;加强对坝体横缝、老坝裂缝、新老混凝土结合面、土石坝和混凝土坝结合部等关键重点部位监测资料分析;定期对大坝监测系统进行了鉴定,根据鉴定结果及时增补相关监测仪器设备,确保大坝安全监测仪器完好率满足规范要求;借助机器学习和智能计算方法,适时开展丹江口土石坝、混凝土坝结构行为单测点和多测点预测模式研究,构建数据驱动大坝运行性态智能预报方法。研究调用气象水文预报和大坝安全

巡检数据,持续完善丹江口水库大坝“测点一断面一整体”运行性态智能诊断模型。

加强水质监测预报。一是开展剩余12条入库河流水质自动监测站建设;二是推进遥感水质“天空地”一体化监测系统建设。

(2) 预警提前化

加强汛情险情预警。根据雨水情信息以及洪水预报情况,开展水库汛情分级预警;建立完善工情预警、水质监测指标体系,根据大坝安全、水质监测等信息,以及洪水预报、工程性态研判情况,开展大坝工情、库区水污染事件预警。

强化预警信息发布。完善与长江委、地方政府的联系机制,及时报告水库雨水情、工情预警信息;利用自建的防汛预警系统,加强向丹江口水库坝下公众发布预警信息;完善与长江委、地方政府的联系机制,及时报告水质预警信息;加强与丹江口市防汛抗旱指挥部成员单位的沟通联系,汛期加密开展地质灾害巡查监测,及时报告地质灾害监测预警信息。

(3) 预演数字化

加强预演。结合数字孪生丹江口工程,一是通过模拟仿真技术,预设历史典型洪水、超标准洪水、溃坝洪水等不同场景,开展梯级水库调度方案、洪水演进、洪水淹没风险分析等正向推演,进行模拟结果逐时展示;二是依据雨水情监测预报、水库调度方案、防洪任务目标等信息,运用大坝安全逐级融合评价模型,分析水库大坝变形、应力、渗流等安全状态,逆向推演大坝限制运用条件;三是运用水质安全模块,根据突发水污染事件实测数据,开展库区突发水污染输移扩散影响动态推演;四是采用北斗GNSS监测设备和导航定位技术,根据环境量和监测数据,运用地质灾害预测预警模型,开展地质灾害演进过程推演。

优化调度。充分利用数字孪生汉江流域的功能模块,统筹考虑水库上下游、左右岸影响,结合汉江流域秋汛和汛末蓄水的实际运用,开展水库调度方案预演;加强数字孪生汉江流域与数字孪生丹江口工程信息集成共享工作,进一步完善互馈功能。

(4) 预案科学化

优化应急预案。统筹上下游、干支流、左右岸关系,全方位分析识别丹江口水库遭遇突发事件的风险、分级,对可能的后果进行分析整理,预判灾情和范围,结合数字孪生丹江口工程的推演结果,优化丹江口水库防汛抢险应急预案、丹江口库区水质异常监测应急预案、

丹江口蓄水诱发地质灾害应急预案和丹江口水库突发水污染事件应急预案等;结合工程运行实际情况和国家政策法规规范的更新,每年对丹江口水库需修订的相关应急预案及时开展修订工作,特别是针对遭遇超标准洪水、工程重大险情以及突发水污染事件的突发情况,从应急组织体系、响应机制、应急保障、培训与演练等方面加以完善,切实提高预案的可操作性和针对性。

完善应急措施。进一步摸底排查丹江口水库防汛道路、通信、电力等应急设施,根据推演结果、预案演练成果完善应急设施,落实抢险力量。

强化实战演练。制定年度应急演练工作计划,加强应急预案培训,按计划组织开展应急演练工作,做好应急预案演练评估工作。丹江口水库现代化运行管理矩阵“四预”功能体系见图2。

4. 加强“四管”工作

(1) 及时除险

持续落实常态化风险管控和隐患治理制度,及时消除发现的工程安全隐患与险情。形成库区监管的工作合力,积极联合相关库区管理部门,会同地方水行政主管部门开展库区联巡联检联控,形成库区保护工作合力,及时配合处理安全隐患与险情,对库周新发现的地质灾害现象,必要时安装自动监测装置。

(2) 定期体检

规范开展安全体检。在水库水位达到正常蓄水位170.00 m后及时开展高水位大坝工作性态评估。规范开展巡视检查、监测检测、隐患排查等工作。强化淤积测量、水下检测、隐患探测、库容曲线复核等基础工作。

(3) 强化维护

加强专业管护方面。制定落实年度维修养护计划,按照工程标准化管理要求落实维修养护工作,加强对大坝坝面、廊道等部位的整治力度,确保工程形象面貌完好,工程和设备设施运行正常。加强水质监测站网、库区地震、地质灾害监测系统运行维护;加强界桩及标识牌日常维护。

强化病害处置。加强新老混凝土结合面、土石坝与混凝土坝接合部、裂缝和渗水等部位安全监测和巡查;常态化开展白蚁防治工作,开展坝区白蚁自动化监控。

推进淤积治理。持续推进采用先进手段,适时开展坝下冲刷区水下地形测量。

保障效益发挥。完成南水北调中线一期工程供水计划,充分发挥防洪调度和兴利调度功能,保证防洪安全、供水安全,保障综合效益发挥。

(4) 保障安全

完成水库划界。开展库区管理和保护范围界桩、标志牌的增补复核及维护工作,加强库区永久界桩等管护设施保护相关宣传工作。严格按照《丹江口水利枢纽安全保卫规定》,对进入封闭区域的车辆、人员、船只严格管理,强化坝区管理范围安全保卫和反恐怖工作。充分利用丹江口水库水行政执法联席会议平台,依托河湖长制,配合开展对违法违规项目的后续监督,配合完善库区监管长效机制。

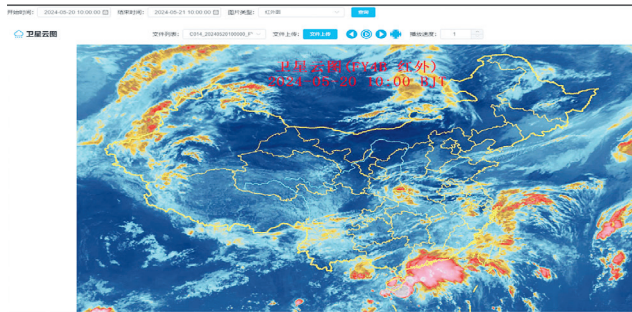
落实度汛措施。汛期丹江口水库水位按照水库调度规程和批复的优化调度方案控制,及时将强降雨、地质灾害风险等预警信息传达至有关单位,必要时及时启动相关应急预案,强化启闭机、门机、泄洪闸门系统、防汛供电系统等重点设施设备的维护,确保设施设备运行可靠;完善水库防汛抢险应急预案,特别是超标准洪水相关防御应对措施,按照应急演练计划开展防汛预案培训和演练;汛期加强值班值守和水库工程巡查,重点关注大坝关键坝段、关键部位、库区地质灾害点等,确保水库度汛安全。

加强应急保障。按照批复的《丹江口水库大坝安全管理应急预案》和《丹江口水库防汛抢险应急预案》,结合预案推演结果,备齐备足应急物资,强化通信保障,加强防汛道路、电力、应急照明等配套设备设施管理与维护保养。严格执行险情、工情信息报送程序和要求,确保重大险情1 h上报要求落实到位。

强化安全防范。开展南水北调中线水源工程安全风险评估,夯实工程运行安全风险隐患处置和供水保障工作基础。推进水利安全生产风险管控“六项机制”构建,加强对各单位“六项机制”的监督检查和考核,推动各单位不断强化宣贯培训,制定完善本单位实施方案或细则,实现“六项机制”建设全覆盖。完善网络安全管理制度,加强责任落实和组织体系建设,通过完善安全管理制度、安全组织架构和安全防护架构,构建一体化安全体系和运维运营体系;推进软硬件国产化工作及应用系统的国产化替代改造;建设基于国产化平台的安全体系,满足等级保护和密评等相关政策合规要求。

5. 矩阵建设“亮点”

在数字孪生汉江流域、数字孪生丹江口工程以及水库工程标准化管理建设基础上,全面开展丹江口水库现代化运行管理矩阵先行先试建设实践,并在体制机制、库区管理与水质保护、高新技术应用与数字赋能等方面形成具有特色的可复制、可推广的经验做法及



(a) 数据共享



(b) 监测预警



(c) 正向推演



(d) 科学调度

图2 丹江口水库现代化运行管理矩阵“四预”功能体系

数字化应用成果,为全国现代化水库运行管理矩阵建设树立“丹江口样板”。按照矩阵建设精准化、信息化、现代化的目标要求,丹江口水库现代化运行管理矩阵建设实践的主要亮点工作如图3所示。

(1) 协同“两个主体”

按照“一库统管”原则,严格落实汉江集团公司与

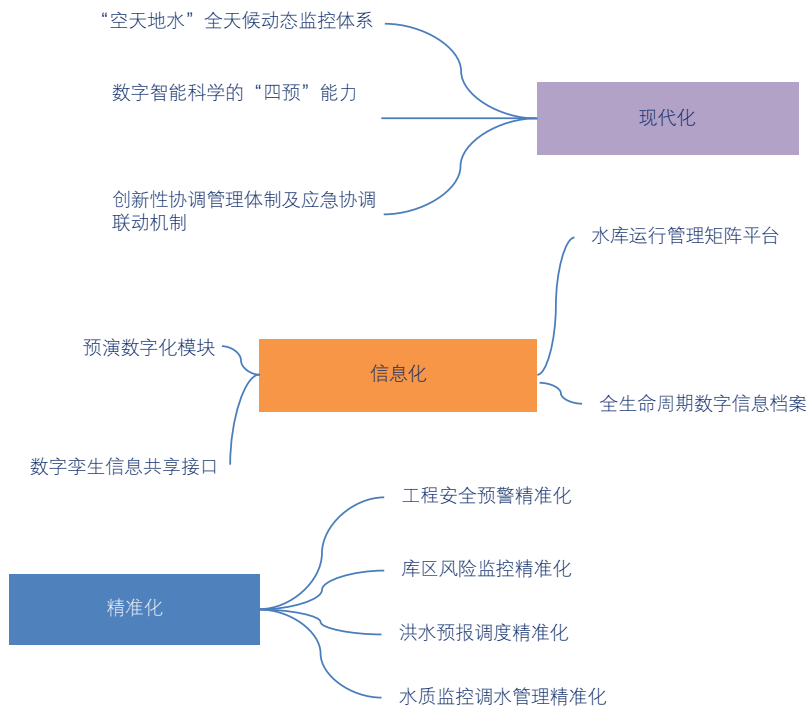


图3 丹江口水库现代化运行管理矩阵建设实践主要亮点

中线水源公司工程管理工作主体责任,建立切实有效的联动机制,整合两司资源优势和技术优势,分工负责、协同推进、各司其职、密切配合,共同推进丹江口水库运行管理工作不断提升。

(2) 共享“两个孪生”

共享使用数字孪生丹江口工程、数字孪生汉江流域已有系统的建设成果,进一步优化迭代,持续完善数据底板建设,优化系统业务功能,提高预报调度模型准确度和精度,提升孪生系统易用性及实用性。

(3) 汇聚“三大安全”

确保“一泓清水永续北上”必须维护好南水北调中线水源工程“三个安全”。工程安全是水源工程运行管理的工作核心,也是必须坚守的底线;供水安全首要目标是保证水量,要在确保防洪安全前提下多措并举,充分利用好汛末洪水资源,全力保障丹江口水库多蓄满蓄;千里调水,成败在水质,需要精心抓好供水水质管理,完成水质安全保障重点工作。

四、结语

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引,全面贯彻党的二十大精神和习近平总书记关于水库安全、南水北调后续工程高质量发展、丹江口库区及其上游流域水质安全保障的重要指示批示精神,坚持“节水

优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路,统筹发展和安全,坚持问题导向与系统观念,充分发挥水库工程标准化管理及数字孪生项目建设的基础优势,强化数字赋能与创新引领,推进“四全”管理,完善“四制(治)”体系,强化“四预”措施,加强“四管”工作,构建现代化水库运行管理矩阵。为全国现代化水库运行管理矩阵建设树立样板,为扎实推进南水北调后续工程高质量发展,切实保障库区及其上游流域水质安全,进一步提升水旱灾害防御能力、水资源集约安全利用能力、水资源优化配置能力、生态保护治理能力提供坚强支撑。

参考文献:

- [1] 李国英. 扎实推动水利高质量发展[J]. 求是, 2023(8).
- [2] 水利部办公厅. 水利部办公厅关于印发《构建现代化水库运行管理矩阵先行先试工作方案》的通知[Z]. 2023.
- [3] 林祚顶, 刘志雨. 加快构建雨情监测预报“三道防线”工作思考[J]. 中国水利, 2023(12): 5-10.
- [4] 张文洁. 现代化水库运行管理矩阵构建与重点问题解析[J]. 中国水利, 2023(22): 11-15.
- [5] 李子阳, 戴济群, 黄对, 等. 水利工程卫星遥感监测技术应用与展望[J]. 水科学进展. 2023, 34(5): 798-811.
- [6] 刘六宴. 构建现代化水库运行管理矩阵与发展水利新质生产力[J]. 中国水利, 2024(9): 5-8.
- [7] 刘六宴, 张士辰. 加强水库安全管理的对策建议[J]. 中国水利, 2024(14): 1-4.
- [8] 尹江珊, 侯文昂, 张士辰, 等. 我国水库库区管理现状和建议[J]. 中国水利, 2023(16): 30-34.
- [9] 陈泽涛, 许斌, 付昕. 河长制背景下丹江口水库库区管理协同策略分析[J]. 水利水电快报, 2020, 41(12): 34-38.
- [10] 张文洁. 夯实水利工程安全管理基础提升现代化运行管理水平[J]. 中国水利, 2023(24): 15-16.
- [11] 贺挺, 李凤生, 成建国, 等. 水利部数字孪生流域模型管理云平台设计及应用研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(2): 1-15. (下转第44页)

汉江流域协同管理体制机制、建立丹江口水源区保护补偿与投入长效机制、开展覆盖库区和上游的数字孪生水利建设、提升水源地保护与利用科技支撑能力等方式提升库区管理保护能力。

参考文献:

- [1] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 丹江口水利枢纽大坝加高工程初步设计报告(修订本)[R].2004.
- [2] 仲志余. 南水北调中线工程水资源调配面临四大新形势[EB/OL]. (2019-3-14). <http://www.cjw.gov.cn/xwzx/zjyw/37445.html>.
- [3] 南水北调中线水源有限责任公司, 长江水利委员会长江科学院. 河湖长制背景下丹江口水库库区管理专题研究(审定稿)[Z].2019.
- [4] 贾茜, 蒲双, 刘霄, 等. 天池“6+1”共护南水“蓝”[N]. 人民长江报, 2022-10-29(5).
- [5] 施雪, 马宁, 东方坤, 等. 丹江口水库流域水资源管理主要问题辨析[J]. 上海理工大学学报, 2010, 32(5): 493-498.
- [6] 刘占朝, 王团荣, 马喜明. 河南省丹江口库区湿地自然保护区现状与管理对策[J]. 水土保持通报, 2003(4):66-68.
- [7] 陈献, 余艳欢, 张献锋, 等. 大型跨区域水库管理问题的思考[J]. 中国水利, 2011(2):39-40.
- [8] 裴中平, 尹炜, 辛小康, 等. 南水北调中线水源工程水资源保护现状及主要对策分析[C]//2018中国环境科学学会科学技术年会. 2018中国环境科学学会科学技术年会论文集(第二卷), 2018:1137-1145.
- [9] 孔小莉, 张华钢, 杨德丽. “十三五”丹江口库区生态环境现状及治理对策研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2017, 27(2):26-28.
- [10] 水利部长江水利委员会. 丹江口水库水域岸线保护管理方案[Z].2018.
- [11] 陈泽涛, 许斌, 付昕. 河长制背景下丹江口水库库区管理协同策略分析[J]. 水利水电快报, 2020, 41(12): 34-38.
- [12] 余明星, 涂建峰, 黄波, 等. 丹江口库区及上游水生态环境安全保障对策研究[C]//2022中国水利学术大会(中国水利学会2022学术年会). 2022中国水利学术大会论文集(第二分册). 郑州:黄河水利出版社, 2022:77-80.
- [13] 林莉, 李全宏, 曹慧群, 等. 数字孪生丹江口水质安全建设挑战与举措[J]. 中国水利, 2023(11):32-36.
- [14] 刘六宴, 张士辰. 加强水库安全管理的对策建议[J]. 中国水利, 2024(14):1-4.
- [15] 焦建平. 水利新质生产力在丹江口水库保护中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2024, 53(9):2-3.
- [16] 徐志仿, 徐铜, 浦前超. 丹江口库区及上游水资源保护与管理[J]. 人民长江, 2011, 42(2):16-20.
- [17] 夏凡, 胡圣, 龚治娟, 等. 不同水质评价方法的应用比较研究——以丹江口水库入库河流为例[J]. 人民长江, 2017, 48(17):11-15+24.
- [18] 尹炜, 王超, 辛小康, 等. 水库型饮用水水源地保护理论与技术:以丹江口水库为例[M]. 北京:科学出版社, 2021.
- [19] 张乐群, 吴敏, 万育生. 南水北调中线水源地丹江口水库水质安全保障对策研究[J]. 中国水利, 2018(1): 44-47.
- [20] 王新才, 吴敏. 关于加强南水北调中线水源地保护和管理的思考[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(9): 1-5.

责任编辑 董林玥

(上接第33页)

- [12] 王忠静, 沈文欣, 石羽佳, 等. 数字孪生催动水利新质生产力与数字水利经济发展研究[J]. 中国水利, 2024(15):7-12.
- [13] 钱峰, 夏润亮. 数字孪生水利赋能水利新质生产力发展框架研究[J]. 中国水利, 2024(8): 6-10+5.
- [14] 周荣. 丹江口大坝加高工程混凝土坝安全评价研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2022.
- [15] 张莉萍, 吴海兵, 吕伟娜, 等. 空地融合技术在数字水库运行管理矩阵平台中的应用[J]. 自动化应用, 2024, 65(2):188-189+192.
- [16] 牛广利, 胡雨新, 胡蕾, 等. 工程安全综合评价模型研究及数字孪生应用[J]. 人民长江, 2024, 55(4): 239-243+261.

责任编辑 李博远