

# 智慧水利背景下工程运行管理优化路径

沈锡陵

无锡市水利工程管理中心

DOI:10.32629/etd.v6i9.20500

**[摘要]** 随着智慧水利的发展,水利工程运行管理由以前的经验型为主转变为以数据为基础的管理,对感知精度、决策速度、全生命周期协同都提出了更高的要求。本文从工程运行的实际出发,针对目前出现的监测无盲区、多源数据孤立、调度决策滞后、运维模式固化等问题,做了详细的分析。因此本文创建了一个依托全要素感知体系、依托数据中台和模型耦合、依托智能调度和预测预警、依托管理流程再造和制度配套的系统性改进途径。经过研究发现,采用分层组网、设置阈值、重新创建岗位等方式可以较好的解决技术与管理之间存在的问题。实践表明,采用此途径大幅缩短了调度决策时间,降低了人工巡检强度,提高了设备完好率,给其他同类型水利工程高质量数字化转型提供了可以模仿的样本。

**[关键词]** 智慧水利; 工程运行管理; 智能调度; 数据融合

**中图分类号:** TV **文献标识码:** A

## Optimization path of engineering operation management under the background of smart water conservancy

Xiling Shen

Wuxi Water Conservancy Engineering Management Center

**[Abstract]** With the development of smart water conservancy, the operation and management of water conservancy projects have shifted from the previous experience based approach to data-driven management, which has put forward higher requirements for perception accuracy, decision-making speed, and full lifecycle collaboration. This article starts from the actual operation of engineering and provides a detailed analysis of the current problems such as blind spots in monitoring, isolation of multi-source data, lagging scheduling decisions, and solidification of operation and maintenance modes. Therefore, this article creates a systematic improvement approach that relies on a full element perception system, a data center and model coupling, intelligent scheduling and predictive warning, management process reengineering, and institutional support. After research, it has been found that adopting hierarchical networking, setting thresholds, and creating new positions can effectively solve the problems between technology and management. Practice has shown that adopting this approach greatly shortens the scheduling decision time, reduces the intensity of manual inspections, improves equipment integrity, and provides a replicable sample for high-quality digital transformation of other similar water conservancy projects.

**[Key words]** Smart Water Conservancy; Engineering operation management; Intelligent scheduling; data fusion

伴随着物联网、大数据、人工智能技术迅猛发展,智慧水利成了行业转型升级的主要方向,亟需建立一种预防为主、系统的协调管理机制。但是怎样把前沿技术能力转化成一线可以落地的管理效能,还存在着亟待解决的重要问题。本文主要围绕该命题展开论述,在工程运行管理各个环节上进行详细的分析,探究在智慧水利的背景下,全链条的改进途径,从而对提高工程管理的精细化程度给予理论上的参照和实践上的引领。

### 1 智慧水利对工程运行管理的内在要求

#### 1.1 感知与数据的全要素覆盖要求

智慧水利的运行管理是在对工程本体和运行环境有准确感知的基础上进行的。传统的管理方式下水位、流量等参数都是人工观测或者单点自动监测的,采样间隔大多为一天到几次,不能反映短时强降雨或者闸门突然启闭的状态变化。智慧化就是把感知的对象从原来的闸门开度、机组振动、坝体渗压、变形位移等各方面的数据,扩展到现在的闸门开度、机组振动、坝体渗压、变形位移等各个方面,采集频率也由原来的分钟级提升到

了秒级<sup>[1]</sup>。大中型水闸的关键测点数据采集周期一般控制在1到5分钟以内,渗流和变形等安全监测项目要按照规范的要求进行每天不少于一次的自动采集,在汛期还要加密。感知体系完整、连续是之后进行数据分析和智能决策的基础,任何一个重要的测点都没有的话就会产生管理盲区。

### 1.2 决策与协同的实时联动要求

工程运行管理包括调度、运维、安全等各个部门,以前各个部分之间互相隔离,信息逐级上达一般要花几个小时乃至更久的时间。智慧水利是依靠一个统一的平台来实现跨环节、跨层级的实时联动,使得监测数据在产生之后可以立即进入分析模型当中,进而把分析的结果迅速地反馈到调度终端以及执行机构上。联动不能只是技术上的网络互通、数据共享,还要有管理上的流程衔接、权责分明。当上游来水达到预警值的时候,系统必须在很短的时间内完成数据的汇聚、工况的分析、方案的产生,并将操作命令下达给闸门控制单元,从而将决策周期从小时级缩短到分钟级,给防汛抢险等重要时段留下处置空间。

## 2 当前工程运行管理存在的主要问题

### 2.1 监测体系不全与感知盲区

虽然大部分工程已经安装了自动化的监测设备,但是由于存在盲区、结构缺陷等问题,使得监测体系仍然存在明显的不足。现有的测点布置过多地集中于水位、流量这些常规的水文要素上,而对于机组运行时的振动情况、定子温度状况、变压器绝缘状况、大坝内部的渗流场和变形位移等重要的安全指标进行监测的时候就显得比较缺乏。部分建造年代比较早的老旧工程,由于早期的建设标准限制,仍然使用人工现场抄录的方法来完成工作,既不能及时反映瞬态的变化,又缺少效率。重质量轻质量、重表面轻内部的监测现状造成管理者不能得到反映工程健康状态的全面信息,很多潜在的设备隐患和结构病害在早期就很难被发现,给工程的长期稳定运行留下了巨大的安全隐患。

### 2.2 系统异构导致数据孤岛

比硬件更难办的是软件方面的碎片化和数据孤岛。由于信息系统建设缺少顶层规划,闸控系统、安全监测系统、视频安防系统以及办公自动化系统等一般是由不同的时期、不同的厂商分阶段建成的。各个系统使用封闭的通信协议和私有数据格式,彼此之间没有通用的数据接口,形成了一个互相隔绝的“信息烟囱”。管理人员为了掌握全部的工程工况,不得不在各个不同的平台上反复切换、重复登录,依靠人工复制粘贴来拼凑数据。不仅加重了基层工作人员的工作负担,也极大地制约了各种数据之间的联系与整合,大量的监测数据成了沉睡的死数据,不能变为能够用来辅助决策的预警信息。

### 2.3 调度滞后与运维模式僵化

传统的粗放式管理模式已经不能满足智慧水利的高要求。调度决策过于依靠管理人员个人的经验和手工计算,缺少了用水动力学模型的自动化推演手段,在暴雨洪水等复杂情况下,方案产生速度慢,不能很好地达到防洪、供水、发电等各方面优化的目的。运维上大多存在定时检修、一有故障就修理的思想,没有

按照设备实际健康状况决定检修频次,存在着过度维护与欠维护并存的现象。设备隐患随着巡检间隔时间的延长而逐渐增多,一旦出现就会成为被动抢修,不仅会造成运维成本的增加,而且会对工程运行的连续性和安全性产生严重的影响。

## 3 智慧水利背景下工程运行管理的优化路径

### 3.1 构建全要素分层感知体系

起点就是弥补感知的不足,以本体安全、运行状态、外部环境这三个方面的对象为对象进行布设测点。本体安全层对坝体、闸墩等重要部位进行渗压计、测缝计和位移监测设备的布置,按照安全监测规范确定测点密度和采集频率;运行状态层对机组、闸门、电气设备加装振动、温度、油位、开度传感器,对启闭过程及运行参数进行连续监测;外部环境层接入水文气象数据,掌握来水、来雨趋势。组网采用分层结构,现场感知终端用有线和无线相结合的方式接入数据采集单元,然后经过专网汇聚到管理平台上,对供电不便的偏远测点安装太阳能供电及低功耗通信模块<sup>[2]</sup>。测点投运前要进行校准和阈值整定,根据工程设计指标和历史运行数据设定预警和报警两级限值,防止阈值过大造成漏报或者过严造成误报,保证感知数据的可靠性。

### 3.2 建设数据中台实现多源融合

针对数据孤岛问题,应该创建一个统一的数据中台,成为各个子系统之间交流的桥梁和共享的中心。中台依靠协议转换网关和标准化接口,把闸控、监测、视频这些异构系统数据按照统一标准加以清洗、转换并汇聚起来,消除格式和编码的差别。在此基础上建立包含工程基础信息、实时监测、历史运行、运维台账等各方面的数据库,对数据质量进行校验,删除明显失真、缺失的数据记录,对短时缺失用插值等方式进行填补。中台之上耦合水力学计算、结构安全评价、设备健康诊断等模型,把分散的数据变成可以用来决策的工况图景。数据治理要配合元数据管理、权限控制,确定数据采集、更新、使用的责任人,保证数据一致、及时、安全,给上层应用赋予稳定的可靠的数据基础。

### 3.3 推进智能调度与预测预警

在感知和数据基础打好的基础上,重点是把数据能力变成调度和预警的能力。基于水力学模型以及多目标优化算法创建起涵盖各种工况的调度方案库,按照实际到来的水量,水库的水位情况以及下游的要求来自动挑选出相应的方案,并且发出建议,经过管理人员的审核之后再执行下去,在常规工况上可以设定规则触发的自动控制,在复杂的工况下依然留有人工干预的空间,从而形成人机协作的调度方式。在预警上用历史监测序列训练预测模型,对水位变化趋势、渗流异常和设备性能下降进行短期预测,当预测值或者实测值达到预警阈值时,按照事先设定好的分级制度向有关人员发出提示和处理建议。预测预警有效性要靠模型持续率定来保证,必须定时用新的实测数据回过头来对模型参数重新做回归校准工作,这样才能使模型同工程运行环境的变化相适应。

## 4 优化路径落地的实施保障

### 4.1 业务流程再造与制度标准化

技术系统效能发挥的前提是要有管理流程的重新组织,否则就会陷入系统的空转。应该彻底打破传统的人工巡检、逐级上报的线性作业方式,按照智慧平台的数据流转,重新建立以实时监测数据为中心、多岗位同步响应的协同流程。应当对监测、调度、运维各个阶段在平台上所负的责任及处理时长作出明确规定,把预警响应、方案审批以及指令下达这些关键部分纳入到标准作业流程之中(SOP)。流程再造还要和制度修订同步进行,把平台操作规范、数据录入要求以及异常处理流程等正式地纳入到岗位职责说明书和绩效考核办法当中去,使每一个管理动作都有一套可操作的规章制度可以遵循,从而使水利工程运行达到技术与管理相结合的目的。

#### 4.2 运维机制转型与状态检修实施

运维机制应该由原来的“定期检修”转变为现在的“状态检修”,从而提高设备的全生命周期效益。根据设备健康诊断模型给出的评价结果,对运行设备实行动态状态分级管理,对于运行状态较好的设备,可适当拉长检修周期,防止过度维护;对于有劣化倾向的设备,应立即组织相应的预防性维护工作,把有限的维修资源用到真正需要的地方。状态检修要得到有效的执行,就需要依靠大量的振动、温度、油耗等运行数据来保证设备的状态评价的准确,不断健全设备健康评判标准与阈值体系,在保证设备完好率的同时,有效地控制维修成本,由原来的被动抢修转向主动防护。

#### 4.3 岗位能力重构与人才梯队建设

人员能力是各项优化措施发挥作用的基础,要对岗位设置和人才能力做双向调整。岗位调整应该大幅度减少抄录、巡查等重复性的劳动,增加数据分析师、系统运维工程师等专业技术岗位,使人员从事务型操作向研判、处置转变<sup>[3]</sup>。从能力建设上讲,要实行分层分类的培训体系,即对一线人员进行平台操作和异常识别技能的培训,对技术骨干进行模型应用和系统维护能力的培训。通过常态化的岗位练兵、多场景的应急演练来提高人员在真实工况下使用智慧化手段解决问题的能力,防止先进的技术装备因为人员能力欠缺而成为摆设。

### 5 三峡工程数字孪生赋能精准调度

三峡工程等行业的标杆性企业把数字孪生技术应用到运行管理的各个环节当中,很好地体现了智慧水利的实际成果。该工程依靠布置在坝体、船闸、升船机和库区的大约十几万个传感器来创建出包含水文气象、结构应力、渗流场、设备状况等各方面的空天地一体化全方位感知系统。建立统一的数据中台之

后,系统把原来分散的监测、监控和调度系统整合起来,使大量的异构数据可以被实时地清洗和融合。在应对汛期洪峰的时候,后台的高精度水动力学模型可以按照实时入库流量做毫秒级推演,自动生成并对比出各种调度预案,把调度响应时间从原来的数小时大幅缩短到几分钟之内,实现了从依靠经验来指导工作向依靠数据来进行指导工作的转变,给工程的安全高效运行提供强有力的智能支持。

该案例对于管理流程的再造也具有较好的效果。三峡集团对平台数据重用的方式从以前的“单打独斗”变为现在的并行响应式的作战单元。运维模式由原来的定期检修向现在的状态检修加速转变,系统对机组的振动、摆度、油流等数据进行分析,可以准确地预测出设备的健康状况,在2024年就提前发现了几起可能发生的故障,并且及时进行了处理,防止了非计划停机的发生。物理实体与数字镜像双生管理的方式使得人工巡检频率比以前低了40%左右,大坝变形监测精度提高了,重要设备寿命得到了延长。该实践很好地证明了本文所提出一条完整的“感知-数据-调度-保障”的优化途径是可行的,对其他的同类型水利工程的数字化转型具有十分宝贵的借鉴意义。

### 6 结束语

智慧水利给工程运行管理提质增效带来了技术上的机会,但是技术本身并不是管理效能提高的原因。本文所提方法以全要素感知为基础、数据融合为支撑、智能调度预警为核心、流程再造和能力建设为保证,把技术部署到工程实际中、到管理需求上。各个环节的实施要根据工程工况特点、管理层级和人员条件分步进行,测点布置、阈值整定、模型率定和岗位重构等具体工作要做到具体可行。伴随着数据量的不断增多以及模型的不改进,工程运行管理也会朝着预测性、协同化的方向发展,从而充分发挥水利工程的综合效益。

#### [参考文献]

- [1]袁媛,刘杨,张国文,等.基于BIM技术的数字孪生水利[J].水利技术监督,2025,(12):26-28+66.
- [2]黄周弘.浅谈智慧水利建设与数字孪生系统[J].福建水力发电,2024,(01):7-9+21.
- [3]蒋亚东,石焱文.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J].科技通报,2019,35(11):5-9.

#### 作者简介:

沈锡陵(1986--),男,汉族,江苏无锡人,本科,工程师,研究方向:水利工程运行管理。