

水利工程安全运行管理关键问题研究

麦麦提江·柯尤木

新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心, 新疆 喀什 844700

[摘要] 水利工程是水资源调控、防洪抗旱和农业生产的基础性设施, 其安全运行管理水平直接决定着工程效益的发挥和区域水安全保障能力。文中系统分析了水利工程安全运行管理中存在的工程设施老化、输水线路管理难度大、泥沙淤积与渠道损毁、智能监测体系滞后等关键问题, 并从强化重点工程设施巡检维护、推进输水线路分段管理、加强渠道防渗及泥沙治理、建设智慧水利监测调度平台等方面提出了针对性优化措施。结合干旱区大中型灌区的工程实际, 特别是极端干旱荒漠气候区渠道冻胀与盐胀叠加破坏的突出特征, 为提升水利工程安全运行管理水平提供了理论与实践参考。

[关键词] 水利工程; 安全运行管理; 渠道防渗; 泥沙淤积; 智慧水利

DOI: 10. 64635/ja. 2026. 1501

中图分类号: TV698

文献标识码: A

Research on Key Issues in Safe Operation Management of Water Conservancy Projects

Maimaitijiang Keyoumu

Yarkand River Water Conservancy Management Center of the Tarim River Basin, Kashgar, Xinjiang 844700, China

Abstract: Water conservancy projects are basic facilities for water resource regulation, flood control, drought relief, and agricultural production, and their safe operation management level directly determines the realization of project benefits and the regional water security guarantee capacity. This paper systematically analyzes key problems in the safe operation management of water conservancy projects, including aging engineering facilities, difficult management of water conveyance lines, sediment deposition and channel damage, and lagging intelligent monitoring systems. It then proposes targeted optimization measures from the aspects of strengthening inspection and maintenance of key engineering facilities, promoting segmented management of water conveyance lines, improving channel seepage prevention and sediment control, and building smart water conservancy monitoring and dispatching platforms. Combined with the engineering practice of large and medium-sized irrigation districts in arid areas, especially the prominent characteristics of channel damage caused by the superposition of frost heave and salt expansion in extremely arid desert climates, this study provides theoretical and practical reference for improving the safe operation management level of water conservancy projects.

Keywords: water conservancy project; safe operation management; channel seepage prevention; sediment deposition; smart water conservancy

引言

水利工程属于国民经济基础设施体系中的重要组成, 对水资源调配、防洪减灾、农业灌溉以及生态保护起着不可替代的作用。在干旱区, 水利工程是经济社会发展的关键依托, 也是保证农业增产、生态稳定的有力保障, 渠道输水效率以及工程安全状况直接关系到农业增产、生态稳定。但是由于建设年代久远、自然条件恶劣、管理手段落后等原因, 很多水利工程正处在设施老化加快、泥沙淤积严重、渠道损坏频繁的时期。尤其对于干旱区大中型灌区来说, 渠道常年处于高水位、大流量的运行状态, 冻胀、盐胀和泥沙冲刷三者互相影响, 给工程的安全带来了巨大的威胁。到 2024 年底, 我国建有各类

水库大坝 9.5 万多座, 总库容 1 万亿立方米, 工程运行安全牵涉面广、影响深远。对水利工程安全运行管理中存在的主要问题进行分析, 系统提出改善管理措施, 对保证工程的安全、充分发挥水利设施的综合效益有重要的理论和现实意义。

1 加强水利工程安全运行管理的重要意义

水利工程安全运行管理属于国家水安全体系的重要组成部分。保证水利工程安全平稳运行, 直接关系到人民群众生命财产安全和区域经济社会发展稳定。水利工程一旦发生安全事故, 轻者会延误灌溉供水进度, 重者会造成人员伤亡或者工程损坏, 后果极其严重。极端干旱荒漠气候区水利设施属于保障生产生活安全的屏障。同时水旱灾害防御形势仍然严峻

复杂，必须坚持人民至上、生命至上，不断加强安全统筹管理。水利部提出建设安全大坝、生态大坝、智能大坝的总目标，用数字化、网络化、智能化来提升传统水利工程的质效，这是发展水利领域新质生产力的具体实践。从区域发展角度而言，水利工程是抗旱保灌的“生命线”，渠道高效输水、泵站稳定运行直接决定农业生产是否丰收。根据有关研究显示，南疆五地州农业用水比例高达 96%，灌区渠道防渗率只有 42.5%，累计发展田间高效节水面积只占灌溉面积的 39.2%，农业用水粗放问题严重，节水增效潜力大。因此加强水利工程安全运行管理既是保证工程自身长久发挥作用的必然要求，也是守住水安全底线、支撑区域高质量发展的战略举措。

2 水利工程安全运行管理存在的关键问题

2.1 工程设施老化与运行隐患

水利工程服役年限越长，设施老化的问题就越严重。大量的建于 20 世纪的水库、渠道、泵站等混凝土结构、金属构件、机电设备都已进入了加速老化阶段。我国大约 80% 的大坝建成于 1980 年前，受当时技术、经济条件所限，存在设计标准低、配套设施不健全等状况，经过数十年的运行，坝体结构性能退化、设备设施老化失效的问题越来越严重。混凝土碳化、钢筋锈蚀、冻融冻胀、剥蚀等病害时有发生。泵站混凝土结构耐久性不足表现在三个方面，碳化深度超标，运行 5 ~ 10 年泵站碳化深度一般大于 30 mm，钢筋锈蚀严重，潮湿环境下氯离子、硫酸根离子渗透造成钢筋锈蚀率 15% ~ 25%，结构性能退化，碳化和腐蚀共同影响使构件承载力下降 10% ~ 30%。干旱地区强蒸发、大温差等恶劣的环境又加快了混凝土劣化速度，渠道混凝土板出现裂缝、剥蚀现象十分普遍，渗漏损失很大。大多数工程没有定期的耐久性检测制度，不能及时发现早期裂缝、碳化等，防护体系老化后没有及时更新，加快了腐蚀进程。

2.2 输水线路长导致管理难度较大

大中型灌区、跨区域调水工程一般都有输水线路长、渠系复杂、管理单元分散等特点。以干旱区大型灌区为例，骨干渠道总长可达数百甚至上千公里，沿线有众多的节制闸、分水闸、渡槽、涵洞等建筑物，管理半径大。长距离输水时，渠道沿线各个段落水情、工情存在较大差别，上游泄水和下游引水之间协调问题就变得比较繁杂。抗旱期间，渠道长期高水位、大流量运行，工程设施负荷加重，各种安全风险明显增大。甘肃省景泰川电力提灌工程在创建渠站长制之前

也存在着输水线路长、管理责任分散的困境，工程总共有 43 个泵站、1391 条渠道，总长度为 2422 公里，传统的管理模式下巡查频次低、响应速度慢。与此同时，基层管理力量薄弱也是突出的制约因素，大部分管理所存在人员编制少、专业技术人员少、巡查检测设备落后等状况，不能达到精细化巡查和常态化维护的目的。部分灌区渠道预制混凝土板大部分翘起脱落，损坏严重，不能满足下游灌区用水需求，严重制约农业生产的发展。

2.3 泥沙淤积与渠道损毁问题突出

干旱区、多沙河流沿岸的灌区泥沙淤积、衬砌损毁是十分棘手的问题。泥沙大量淤积会直接降低渠道的输水能力，抬高水位，增大渗漏、漫溢的风险，还会加大水流对衬砌结构的冲刷破坏。高含沙水流中推移质对混凝土板、浆砌石等衬砌材料产生持续的冲击，造成表面磨损、接缝开裂，严重的会导致整板脱落。衬砌破坏之后又加重了渠床的冲刷和泥沙淤积，形成了恶性循环。除此之外，干旱区渠道也存在着一些特有的技术难题。冻胀是引起衬砌渠道破坏的主要原因，抗冻胀问题也是渠道工程的重点和难点^[1]。干旱区除了冻胀作用之外还有盐胀对衬砌渠道的破坏作用，怎样正确分析冻胀和盐胀对渠道的破坏作用是保证工程安全使用的关键。盐渍土地基的冻胀、盐胀破坏给渠道边坡稳定性带来很大威胁，渠道防渗率低、效益降低的问题在干旱地区更为突出。表 1 给出了一个大型灌区部分渠段的实测数据，可以清楚地看出各个区段泥沙淤积厚度和渠道衬砌损毁情况的不同。

表 1 某大型灌区渠道泥沙淤积与衬砌损毁状况统计

渠段名称	年均淤积厚度 (cm)	累计淤积厚度 (m)	衬砌损毁长度 (m)	主要损毁类型	输水能力下降率 (%)
干渠上游段	8.5	0.51	245	冲磨磨损、裂缝	12.5
干渠中游段	12.3	0.74	378	剥落、塌陷	18.7
干渠下游段	15.6	0.94	412	剥落、裂缝、渗漏	23.4
东分干渠	10.2	0.61	186	冲磨磨损	10.8
西分干渠	18.4	1.10	523	严重剥落、渗漏、塌陷	28.6

2.4 智能监测与风险预警体系滞后

目前水利工程运行管理中普遍存在着信息采集手段落后、数据分析能力差、预警响应慢等状况。传统的水库大坝安全监测体系存在着空间覆盖不全面、时

间连续性差、智能化程度低等缺点,造成安全预测预警能力弱、防控响应慢,不能很好地应对各种风险冲击。大部分水利工程仍然依靠人工巡查、定期检测,没有实现对工程的实时感知和动态评价。依赖人工巡检、点状监测和静态经验决策的“经验驱动、人工主导”运行管理模式,在面对坝龄老化和极端气候叠加的双重风险的时候,存在感知碎片化、诊断滞后性、决策被动化的不足,已经不能满足新时代的安全管控要求了^[2]。从风险预警的角度来说,传统的管理模式是被动式的,不能对渠道渗漏、堤防变形、闸门故障等潜在的风险进行提前的识别和智能的判断。各个管理单位之间存在着数据共享、业务协同的壁垒,不能形成全域联动的调度应急体系。一旦出现突发性的水情或者工程险情,决策指令的传递速度就慢了下来,应急处置也常常落后于事态的发展。

3 水利工程安全运行管理优化措施

3.1 强化重点工程设施巡检与维护

工程设施老化所引发的安全隐患要创建起常态化的、制度化的巡检保养体系。要集中到渠堤、节制闸、渡槽、涵洞这些主要的建筑物上去,增加对高水位运行渠段、险工险段的巡查监测次数,重点察看渗漏、裂缝、沉降、冲刷等异常情况,一旦发现有异常就立即上报并做出应急处理。水利部明确提出了人员不伤亡、水库不垮坝、重要堤防不决口、重要基础设施不受冲击的“四不”目标,落实水库、堤防、水闸的安全管理责任,落实安全度汛措施,做好隐患排查治理工作。泵站运行必须严格按照操作规程执行,重点保证电气设备绝缘良好、接地可靠、防护到位,操作人员持证上岗、熟知应急预案。对混凝土碳化、钢筋锈蚀等老化病害可以采用低水灰比配合比设计,加入 30% 到 40% 的复合矿物掺合料来形成密实的微观结构,加入 0.2% 到 0.3% 的钢纤维来抑制早期裂缝,抗裂性能提高 40% 以上。检修作业中严格执行有限空间作业、高处作业等危险作业审批制度,防止各种安全事故的发生。同时常态化开展工程安全鉴定工作,持续推进除险加固工作,从根本上消除安全隐患。

3.2 加强输水线路分段管理与队伍建设

对于输水线路长、管理难度大的情况,可以采用责任网格化管理模式,把长距离渠道分成若干个相对独立的管理区段,确定各个区段的管理责任主体。甘肃省景泰川电力提灌工程借鉴河湖长制,在全国水利工程中率先创建了渠站长制,用身份坐标划分责任田块,实行一渠一长、一牌一码公示制度,冲破了以前

条块分割、权责分散的管理模式,实现了渠有人巡、事有人管、责有人担。在体系建设上创建起由总级、中心级、处级、科级等各个层次所构成的责任链,塑造起“上下贯通、齐抓共管”的治理局面。干旱区灌区的现代化改造正在由骨干工程向田间地头全面扩展,灌区大力推进数字化转型,创建起一体化信息管理平台,把大数据统计、实时预警、水情分析等各方面功能融合起来,依靠智能系统及时掌握水资源量、用水计划和作物长势^[3]。与此同时要加大基层管理队伍的建设力度,充实一线巡查、维修人员,提高一线巡查、维修人员的专业技术水平,建立完善的岗位培训制度、绩效考核制度,使每一个一线人员都能清楚地认识到风险在哪里,掌握防范技能,熟悉应急处置程序。

3.3 加强渠道防渗及泥沙治理工作

渠道防渗、泥沙治理属于保证输水安全、提高水资源利用率的重要环节。干旱区渠道输水损耗大、泥沙淤积严重,需要采取综合治理措施。防渗时应根据当地的气候、地质情况合理选择衬砌材料及结构形式。在北方寒旱区,对于季节性冻土地区的渠道混凝土衬砌严重冻胀破坏状况,可以在渠道混凝土衬砌下面铺设不同厚度的新型保温材料聚氨酯保温板来解决。通过现场试验可知,使用 6cm 厚聚氨酯保温板可以减小冻胀量 12.5cm,减小冻深 35cm,冻胀减小率可达 80%。在满足渠道抗冻胀的要求下,可以有效地阻止衬砌体冻胀损坏。风积沙地区渠道边坡施工时应设置护坡,对湿陷性渠基土进行清除并用细砂回填压实。对于盐渍土地基的冻胀、盐胀问题,应该采取防渗透换防冻胀技术模式,可以有效地防止渠道的渗漏和冻胀,满足渠道工程建设和运行的要求。泥沙治理上,在渠道入口处设置沉沙池或者拦沙设施,减少推移质进入干渠,在关键断面布置清淤设备,定期开展机械清淤工作,降低输水能力下降率,保证渠道通畅。

3.4 推进智慧水利监测与调度应急平台建设

全面提高水利工程安全运行管理智能化水平,这是适应现代水治理要求的必然趋势。应该加快创建以物联网感知、大数据分析、数字孪生模拟为依托的智慧水利监测调度平台。在大坝坝体、渠道关键断面、涵闸等处设置高精度的传感器和监测设备,对变形、渗流、应力应变、水文气象等主要指标进行监测。建立“天空地水工”一体化库坝智能监测感知体系,是推进现代化水库运行管理矩阵、智能大坝建设的重要举措,它把遥感、地面监测、地下探测、水文以及工

程结构监测等许多种感知方式融合起来,对水利设施实施实时监控、智能模拟并加以优化调度。在干旱区灌区,可以依靠灌区 GIS 一张图来汇集水文要素、流量、视频监控、闸泵运行状态等重要信息,掌握工程运行安全状况及水资源分配情况。调度平台要创建包含水库、渠道、闸泵站等工程的全域调度模型,达成水资源的精细调配以及闸泵的远程智能操控^[4]。数字孪生平台可以建立作物需水预报、智慧灌溉决策、渠系配水等模型,反复模拟预演干旱天气下需水调度方案,很好地解决了灌溉调度的科学性、时效性问题。平台还要集成预警预报模块,促使安全管理由被动应对转变为主动防控,依靠算法对历史数据和实时监测数据加以分析,预先察觉潜在的风险并发出分级预警,从而有效地加强工程安全运行的数字化防线。

4 结语

水利工程安全运行管理是长期的、系统的工程工作,关系到防洪安全、供水安全、粮食安全。目前工程设施老化、输水管理难度大、泥沙淤积和渠道损毁、智能监测滞后等都成了制约水利工程安全稳定运行的

瓶颈。本文从加强巡检维护、落实分段管理责任、推进防渗治沙技术研究、建立智慧水利监测调度系统四个方面提出优化建议。对于干旱区以及多沙河流地区的大型灌区来说,尤其要针对渠道防渗、泥沙控制、冻胀盐胀防治等关键问题进行因地制宜的解决,并且要加快数字化转型的步伐,用信息化手段赋能水利工程的运行管理,切实筑牢水安全保障防线。

【参考文献】

- [1] 宋敏. 水利工程运行管理标准化建设实践与思考[J]. 海河水利, 2026(3): 63-66.
- [2] 周子靖. 水利工程运行管理中的安全隐患及预防措施[J]. 价值工程, 2025, 44(18): 24-26.
- [3] 樊志德. 新时期水利工程运行管理标准化建设对策研究[J]. 水上安全, 2024(21): 19-21.
- [4] 徐典保. 灌区水利工程运行管理安全工作分析[J]. 农业开发与装备, 2023(8): 86-88.

作者简介: 麦麦提江·柯尤木(1987.08—), 男, 维吾尔族, 大学本科学历, 职称级别: 中级职称, 研究方向: 水利工程运行管理。