

南水北调工程输水渠道运行安全风险评价

张新政¹ 刘艺鹏²

1. 南水北调中线工程保安服务有限公司 河南 郑州 450000

2. 南水北调工程服务有限公司 河南 郑州 450000

摘要：南水北调工程输水渠道的安全运行是保障跨流域水资源调配成效的核心前提。本文以渠道运行安全为研究目标，通过系统识别自然环境、工程结构、运行管理三类风险源，构建多层次风险评价指标体系，采用多方法融合的组合模型开展量化评价，最终提出工程技术、运行管理及差异化防控的综合对策。研究明确了渠道运行关键风险点与防控重点，构建的评价体系与模型具备良好适配性，可为南水北调工程输水渠道安全管控提供科学技术支撑，提升风险防控的精准性与有效性。

关键词：南水北调；渠道运行；安全风险；识别；评价；防控对策

引言：南水北调工程作为我国重大战略性基础设施，承担着缓解北方缺水、优化水资源配置的关键使命，输水渠道作为核心输水载体，其运行安全直接关系工程功能发挥与区域供水保障。当前，渠道运行面临自然环境扰动、工程结构老化、管理操作疏漏等多重风险挑战，风险防控压力突出。因此，开展输水渠道运行安全风险评价研究具有重要现实意义。本文围绕风险识别、评价体系构建、模型建立及防控对策展开系统研究，旨在分析风险传导规律，为工程安全运行提供理论与技术支撑。

1 南水北调工程输水渠道概况与运行特征

1.1 工程总体布局与输水渠道分类

南水北调工程通过东、中、西三条线路构建起跨流域水资源调配体系，总体布局紧扣北方缺水区域供水需求，实现长江流域与黄淮海流域的水资源互补。输水渠道作为工程核心输水载体，依据所处地理位置、地形条件及功能定位可分为不同类型。按线路归属可分为东线渠道、中线渠道；按结构形式可分为明渠、暗涵、隧洞等；按输水规模可分为主干渠、支干渠等，不同类型渠道在工程衔接、输水能力等方面形成互补，共同保障整体输水任务的推进。

1.2 输水渠道核心构筑物结构特性

输水渠道核心构筑物涵盖渠身、衬砌层、防渗系统、边坡防护结构等，其结构特性直接关联输水安全性与稳定性。渠身多依托地形开挖或填筑而成，需满足抗冲刷、抗沉降要求；衬砌层采用混凝土、土工膜等材料，核心作用是减少输水渗漏、保护渠身；防渗系统通过复合防渗材料铺设与结构优化，构建多层次防渗体系；边坡防护结构则根据地形坡度、岩土性质设计，保障边坡在输水及自然环境作用下的稳定。

1.3 渠道运行安全的核心管控要求

南水北调输水渠道运行安全核心管控围绕输水稳定性、工程完整性及供水可靠性展开。在输水参数管控方面，要严格控制流量、水位在设计允许范围，避免因流量骤变、水位超限引发渠道冲刷、渗漏等风险；在工程状态管控方面，建立常态化巡查与监测机制，实时掌握构筑物结构完好性、防渗性能等关键指标；在应急管控方面，明确风险预警阈值，完善应急处置流程，保障突发状况下能快速响应、有效处置；同时强化水资源调度的科学性与协调性，确保渠道运行与上下游工程衔接顺畅，兼顾供水保障与工程安全^[1]。

2 南水北调输水渠道运行安全风险识别

2.1 风险识别原则与方法选择

南水北调输水渠道运行安全风险识别需遵循系统性、全面性、针对性及动态性原则，确保覆盖渠道运行全流程、全要素风险点，同时兼顾不同区域渠道的差异化特征。在方法选择上，结合工程实际采用多种方法协同应用，通过文献研究法梳理同类工程风险规律，依托现场勘查法掌握渠道实际运行状态，运用德尔非法整合行业专家经验，借助故障树分析法梳理风险传导逻辑，形成科学高效的风险识别体系，为后续风险源精准定位提供支撑。

2.2 自然环境类风险源识别

自然环境类风险源是影响输水渠道运行安全的重要外部因素，其识别需聚焦自然环境变化对渠道工程的直接与间接影响。重点识别气象水文相关风险，关注极端降水引发的流域水量异常变化对渠道输水压力的影响；识别地质构造相关风险，考量区域地质活动对渠道构筑物稳定性的扰动；识别生态环境相关风险，关注气候变化

引发的冻融循环、风化侵蚀等现象对渠道结构的长期损耗,同时兼顾极端温度、强风等恶劣天气对渠道附属设施的破坏作用。

2.3 工程结构类风险源识别

工程结构类风险源识别聚焦渠道核心构筑物及附属设施的结构完整性与功能有效性。围绕渠身结构,重点识别因受力失衡、材料老化等导致的结构损伤风险;针对防渗系统,识别防渗材料性能衰减、防渗体系破损引发的风险;关注衬砌结构,识别因结构强度不足、施工缺陷等导致的完整性破坏风险;同时涵盖边坡、闸坝等附属构筑物的结构稳定性风险,全面排查工程结构层面可能影响运行安全的隐患源头。

2.4 运行管理类风险源识别

运行管理类风险源识别围绕渠道运行全流程的管理环节展开,聚焦人为操作、制度执行及设备运维等关键维度。重点识别水资源调度环节的参数控制偏差风险,关注设备运维环节的养护不到位、检修不及时风险;识别安全管理制度执行过程中的流程疏漏、责任落实不到位风险;同时排查人为活动干预引发的风险,涵盖日常管理中的操作失误、外部人员违规进入等可能威胁渠道运行安全的管理类隐患。

2.5 风险源清单构建与分类汇总

在各类风险源识别基础上,开展风险源清单构建与分类汇总工作。首先对识别出的各类风险源进行编码登记,明确风险源名称、所处位置、影响范围及潜在危害程度等核心信息;随后依据风险源属性进行科学分类,形成自然环境类、工程结构类、运行管理类三大核心风险类别;最后通过风险源优先级排序,梳理出关键风险源与一般风险源,构建层级清晰、信息完整的风险源清单,为后续风险评价与防控提供精准靶向^[2]。

3 输水渠道运行安全风险评价体系与模型构建

3.1 输水渠道运行安全风险评价指标体系构建

输水渠道运行安全风险评价指标体系构建要结合南水北调工程输水渠道的工程特性、运行规律及风险管控需求,按科学流程系统搭建。(1)明确指标体系构建原则,严格遵循科学性、系统性、可操作性、针对性及动态性原则,确保指标能客观反映风险本质,全面覆盖影响渠道运行安全的关键维度,同时兼顾数据获取的可行性与工程实际管控需求。(2)开展指标筛选与维度划分,基于前文风险识别结果,从自然环境、工程结构、运行管理三大核心维度切入,筛选核心关联指标,剔除冗余、相关性过高的指标,形成层级清晰的指标框架,其中自然环境维度聚焦气象、地质等外部影响因素,工程结构维

度侧重构筑物完整性与稳定性相关要素,运行管理维度围绕调度、运维、应急等管理环节关键控制点。(3)确定指标量化标准,结合南水北调工程相关设计规范、运行管理规程及行业技术标准,对各层级指标制定明确的量化方法与分级标准,针对定性指标制定标准化评分规则,针对定量指标明确数据采集范围、计算方法及阈值区间,确保指标数据可量化、可对比。(4)完成指标体系校验,通过专家论证、一致性检验等方式,对指标体系的合理性、全面性进行校验优化,修正指标权重分配偏差,完善指标间的逻辑关联,最终形成适配南水北调输水渠道运行安全风险评价的指标体系。

3.2 输水渠道运行安全风险评价模型构建

输水渠道运行安全风险评价模型构建要立足工程实际风险特征,结合指标体系属性选择适配的建模方法,实现风险的精准量化评估。(1)开展模型选型分析,结合南水北调输水渠道风险评价的多因素、多层次、部分指标模糊性的特点,对比分析层次分析法、模糊综合评价法、BP神经网络、熵权法等常用评价模型的适用场景与优缺点,明确各模型在指标权重确定、模糊因素处理、数据依赖性等方面的适配性,最终确定多方法融合的组合评价模型方案,兼顾主观经验与客观数据的双重优势。(2)完成模型核心参数设定,基于构建的评价指标体系,明确模型的输入层、隐藏层、输出层结构,输入层对应各评价指标量化数据,输出层为风险等级评价结果;通过专家打分法与熵权法组合确定各层级指标权重,平衡专家经验对工程实际的契合度与数据客观规律的科学性;设定风险等级划分标准,结合工程安全管控要求,将风险等级划分为高、中、低三个等级,明确各等级对应的指标阈值范围。(3)进行模型构建与优化,依据选定的模型框架,整合指标数据处理流程、权重计算方法、风险等级判定规则,完成评价模型的整体构建;采用历史监测数据、模拟试验数据对模型进行训练与校准,修正模型参数偏差,提升模型评价结果的准确性与可靠性。(4)开展模型验证,选取南水北调工程典型输水渠段的实际运行数据,将模型评价结果与实际风险状况进行对比分析,验证模型的适用性与有效性;针对模型存在的偏差,进一步优化模型结构与参数,确保模型能精准适配南水北调输水渠道运行安全风险评价的实际需求,为风险防控提供可靠的技术支撑^[3]。

4 输水渠道运行安全风险防控对策

4.1 工程技术防控措施

工程技术防控要需针对渠道工程薄弱环节与潜在风险点,实施精准化技术改造与加固。(1)渗漏治理技术

优化,采用复合防渗材料铺设、裂缝灌浆封堵、防渗层完整性修复等技术,强化渠身、衬砌层及附属构筑物的防渗性能,同时建立防渗系统渗漏监测联动机制,实现渗漏隐患的早发现、早处置。(2)结构加固升级,针对渠身边坡、闸坝等关键构筑物,结合结构受力分析结果,实施边坡锚固加固、坝体防渗加固、衬砌层强度提升等工程措施,增强构筑物抗冲刷、抗沉降、抗变形能力,保障结构长期稳定性。(3)监测系统智能化建设,构建覆盖流量、水位、水质、结构变形、渗漏量等关键指标的全域监测网络,整合物联网、传感器、卫星遥感等技术,实现监测数据的实时采集、传输与分析,提升风险预警的及时性与精准性;同时优化监测设备运维机制,保障监测系统持续稳定运行。(4)配套设施完善,升级渠道沿线排水、防护等配套设施,提升极端天气、突发水文变化下的应急处置能力,减少外部环境对渠道工程的不利影响。

4.2 运行管理防控措施

运行管理防控需依托标准化流程与精细化管理,规范渠道运行全流程操作,降低人为因素与管理疏漏引发的风险。(1)调度优化管理,建立基于水文情势、供水需求与工程安全的动态调度机制,严格控制流量、水位变化速率,避免因调度参数突变引发渠道冲刷、淤积或结构受力失衡;强化上下游工程调度协同,确保输水过程平稳有序。(2)隐患排查常态化推进,制定全覆盖、分频次的隐患排查方案,明确排查范围、内容与标准,重点排查工程结构缺陷、设备运行异常、周边环境风险等隐患,建立隐患排查台账,实施“发现-登记-整改-销号”闭环管理,确保隐患整改到位。(3)应急机制完善,修订完善输水渠道运行安全应急预案,明确不同风险类型的应急处置流程、责任分工与响应等级;定期开展应急演练,提升应急队伍处置突发风险的实战能力;储备充足的应急物资与设备,保障应急处置工作快速开展。(4)设备运维规范化,建立设备全生命周期管理体系,明确各类运行设备的养护标准、检修周期与操作规程,加强设备运行状态监测,及时开展故障维修与老化设备更新,保障设备运行可靠性。

4.3 不同风险等级的差异化防控方案

差异化防控需基于风险评价结果,针对不同风险等级区域与环节实施精准管控,提升防控资源利用效率。(1)高风险区域防控,对高风险渠段实施重点管控,加密监测频次与隐患排查力度,配置专职管控人员,制定专项防控方案;优先安排工程技术改造与加固项目,强化应急值守与快速响应机制,确保高风险隐患处于可控状态。(2)中风险区域防控,实施常态化管控与动态监测相结合的防控策略,依据风险变化趋势调整防控措施强度;加强日常运维管理,定期开展风险评估复核,及时处置新增隐患,防止风险升级。(3)低风险区域防控,以常态化巡查与基础监测为主,简化防控流程的同时保障管控全覆盖;重点强化风险预防宣传与日常管护,提升周边区域人员的安全意识,减少人为破坏等风险因素;定期开展风险排查梳理,确保低风险隐患不积累、不升级。(4)风险等级动态调整,建立风险等级动态评估机制,结合监测数据、隐患整改情况、外部环境变化等因素,实时更新风险等级,同步优化防控方案,实现防控措施与风险状况的精准匹配^[4]。

结束语:本文系统完成了南水北调工程输水渠道运行安全风险评价的全流程研究,介绍了不同类型风险源的特征与影响机制,构建的评价体系与模型实现了风险的精准量化,提出的综合防控对策具有较强的实践适用性。研究成果有效弥补了渠道安全风险管控的技术短板,为工程运维管理提供了科学依据。未来可进一步结合智慧监测技术,深化动态风险评价研究,提升风险预判与应急处置的智能化水平,持续保障南水北调工程长期稳定安全运行。

参考文献:

- [1]练继建,杨德明,赵新.南水北调中线工程冬季输水冰情风险研究[J].水利水电科技进展,2023,43(1):63-70.
- [2]王济干,和梦思.基于共识模型和前景理论的输水工程运行安全风险评价[J].水利经济,2022,40(1):71-78+84,88.
- [3]马力,刘汉东.南水北调工程输水渠道运行安全风险评价[J].人民黄河,2022,44(3):138-143.
- [4]董玉增.南水北调工程输水渠道运行安全风险评价[J].文渊(小学版),2021(12):325-326.