

南水北调中线干线工程防汛风险及对策研究

呼义乐 张世东

中国南水北调集团中线有限公司渠首分公司

摘要: 南水北调中线工程作为中国跨区域调水工程的重要组成部分,其安全运行对保障北方地区水资源供应具有重大意义。然而,该工程沿线经过多个气候区和地理环境,面临诸多防汛风险。本论文旨在系统分析南水北调中线工程在汛期可能遭遇的风险问题,并提出相应的对策建议,旨在为相关工作人员提供借鉴参考。

关键词: 南水北调; 防汛; 风险评估; 对策

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.10.051

引言:在“十四五”期间,国家明确提出要加快推进南水北调工程建设。2021年12月,水利部印发的《“十四五”现代水利发展规划》进一步明确,要加快推进南水北调工程后续工程建设,提高供水保障能力。可以看出,中央对南水北调工程的重视程度在持续增加。作为我国水利史上最长的人工分水岭,南水北调中线工程对优化配置水资源、促进区域协调发展具有重要战略意义。但是,中线一期和二期工程运营以来,多次出现汛期水质问题,部分河段存在不同程度淤积,一定程度影响了调水功能的发挥。工程防洪事关千亿级投资项目安全和数亿人口的生产生活用水。

一、南水北调中线干线工程防汛风险

(一) 工程概况

南水北调工程是一项将中国长江流域的水资源调配到水资源匮乏的华北和西北地区的重大水利工程。南水北调工程是为了缓解中国南方水多地少、北方地多水少的矛盾,促进区域经济、社会与人口、资源、环境的协调发展而规划建设。该工程自20世纪50年代开始勘测和规划,经过长期的研究比较,最终确定了东线、中线和西线三条调水线路。具体如下:

东线工程:利用京杭大运河等现有河道,从长江下游抽水,主要解决黄淮海平原东部地区的水资源问题。

中线工程:以丹江口水库为主要水源,通过管道和暗渠输水,主要供应河南、河北、北京、天津等地的用水需求。近期调水规模为95亿立方米,远期将达到130亿立方米每年。

西线工程:计划从长江上游调水至黄河上游,目前仍处于规划阶段,面临较多的工程技术和环境挑战。

2023年南水北调集团将着力推进南水北调后续工程规划建设,加快畅通国家水网大动脉,完善“四横三纵”规划布局。围绕工程布局、实施安排、建设运营体制、水价和投融资机制、数字孪生等,深度参与南水北调工程总体规划修编;高标准、高质量建设引江补汉工程,统筹推进初步设计报批、关键技术攻关、临时工程先期建设、主体工程招标等相关工作,加快工程建设进

程,推进施工建设尽快进入高峰。

总的来说,南水北调工程的实施对中国的水资源配置、生态环境改善以及区域经济发展具有重要意义。它不仅提高了受水区域的供水保障能力,还促进了节水型社会的建设,同时在工程实施过程中也积累了丰富的科技创新和文物保护经验。

(二) 防汛面临的主要风险

1. 汛期水质恶化风险

中线工程水源地包括长江中下游和珠江上游的多个流域,这些地区同时也是中国南方经济最发达的区域。流域内有武汉、长沙、南昌等特大城市,以及珠三角、长三角等多个工业区。这些城市和工业区的生活污水和工业废水量巨大。汛期表层径流急剧增加,大量未经处理的污水直排至江河,严重恶化了中线工程的水源水质。水质污染物主要包括长江流域特有的氨氮、总磷,以及常规污染指标的化学需氧量、生化需氧量等。水质问题直接威胁着调水过程中的水环境安全。

2. 河道淤积风险

中线工程流域范围广大,水土流失面积达到37万平方公里。大量泥沙随洪水冲刷入河,在中线入湖口和枢纽工程下游河段沉积,导致不同程度淤积。这些淤积含泥量高、结构松散,极易形成临时性的堰塞,阻碍洪峰通过,增加了下游洪水风险。此外,淤积还会缩小河道断面,加剧河流向堤防方向的侵蚀。这些都直接威胁着中线及入湖河道的防洪安全。

3. 降雨量持续增大的趋势

近30年来,中线工程中下游地区平均降雨呈显著增大趋势,江汉、湘江等干流洪峰流量增大,洪水期延长。气候变化导致极端天气事件增加,中小型洪水增加,部分河段出现洪水“前期小后期大”的特征,增大了防御压力。如果该趋势持续,2030年后中线面临的防洪压力将进一步加大,防汛风险持续堆积。

(三) 风险评估

本研究依据现阶段实施的《水利水电工程施工通用安全技术规程》,采取定性与定量相结合的方法,评估

南水北调中线存在的防汛风险。定性评估通过现场调查、历史资料分析等手段，确定中线防洪体系的薄弱环节。重点识别枢纽工程、入湖河段、跨流域引水涵洞等的防洪风险类型及风险源。定量评估则运用风险矩阵法，依据发生概率及后果严重性将风险等级划分为低、中、高。其中，发生概率参考流域多年极端气候分析，后果严重性依据水利部门关于防洪损失的预估结果。评估认为，上述三大类型的防汛风险在中线工程多处河段存在，预计到2030年风险等级均达到中级。建议依托中线防洪策略性规划，因地制宜研究针对性风险管控对策。此外，评估还发现部分地质敏感区的水利工程存在一定防洪隐患，建议开展全面安全检查，加快治理进度，以控制地质灾害风险。

二、南水北调中线干线工程防汛风险对策

（一）科学预报与预警

1. 提高预报的准确性和时效

建立气象水文高度耦合的联合预报机制，整合中线所辖区域内的地面自动站、气象雷达、卫星遥感等多源站点监测资料，统一构建高精度的气象和水文过程数值预报系统，从数据融合层面提升模型的边界条件，实现不同部门监测信息的有效共享和预测结果的科学互补，大幅提高预报的空间分辨率和准确率。针对中线流域的跨区域特点，需要扩大原有的数值气象模式预报范围，增加时间延长预报，将重要枢纽控制的定量洪水预报由24小时提高到48—72小时，争取更长的防汛准备时间窗口。此外，应加快推进天地一体化预报调度技术研究，构建高效快速的气象水文预报与汛情分析体系，充分利用多源异构数据，辅助防汛部门开展科学的汛情研判，提升抗汛救灾决策的针对性、有效性，实现防大汛、抢大灾的工作目标。

2. 识别和预判极端洪水情景

依托高性能计算平台，开发建立一个多模式、多要素、多情景的洪水预报和风险评估的组合预测系统。充分收集和整理过去60年中下游地区不同特性的历史极端洪水事件样本，模拟并评估未来可能出现不同超过防洪标准的极端洪水的发生概率分布情况。识别出最有可能发生的几类极端洪水过程，根据气象要素预测提前预判和预警不同情景下河道的水位时空过程和对应的防汛应急准备级别。利用大数据和AI技术，实现对重特大洪水的动态风险分级评估和可视化展示，对不同地区、不同情景下的损失后果进行科学合理预估，为流域防汛减灾决策提供重要参考。该预报与评估系统的建立，可以科学应对极端气候事件，有效防范极端洪水灾害，保障流域生命财产安全。

3. 充分发挥预警在减灾中的关键作用

需要进一步完善中线防汛预警信息发布机制，通过统一的信息平台实现流域内气象、水文、防汛部门的信息数据融合，实现资源共享。然后通过电视、手机短信、微信等多种方式、多渠道向防汛一线人员和社会公众全方位、分层次推送预警信息，覆盖流域内所有防汛参与人员。这可以大幅提升防汛预警的覆盖率和准确率。另外，充分发挥好防汛预警在后期减灾中的关键性作用，通过预警消息推动流域内水库提前泄洪，组织当地群众疏散转移，启动应急资源调度，做好抢险救灾各项准备工作。建立上下联动的防汛减灾协作机制，在中央、省、市、县四个层级之间形成信息共享和资源协调体系，防大汛，抢大灾，最大可能减少生命财产损失。

（二）加强中线、东线联合调度运营

1. 健全联合调度机制，提升系统联防能力

需要进一步加强中线和东线的联合调度协调机制建设，充分发挥两个超大型水利工程体系的防洪协同作用。一是建立一个统一的中东线防汛指挥机构，直属于水利部，在防汛期统一指挥调度两大系统的水源调度、工程运行与防汛应急处置。二是专门制定中东线防汛联合应对预案，未雨绸缪，细化溺水期、不同级别洪水期以及重特大洪水等情况下的联合操作技术方案、应急处置程序，明确各级责任主体，形成防洪合力。三是每年汛前组织开展联合防汛演练，模拟不同情景，检验联动机制、预案措施效能，推动两大系统提升防洪协同能力。四是进一步健全物资、技术支持体系，建立东西双线相互救援机制，提高系统防洪应急保障能力。

2. 东线承担中下游防汛任务，保障中线安全

南水北调东线工程作为中线重要的后援力量，需承担起中下游地区的关键防洪任务，发挥东线水库群强大的防洪调蓄功能，减小中线入汉江、长江等河段的洪峰流量，提高下游通洪能力。东线可采取提前蓄水、提前泄洪、减小入河流量等操作措施，确保巢湖、高邮湖等中线水源库洪峰通过，增强中下游河道防洪能力。必要时，可启动东线向中线紧急补水的应急机制，通过运河提前加大调水量，进一步增加汉江等河道的引洪能力，保证中线安全运营。此外，面对重特大洪水等极端情况，还需建立“一方有难、八方支援”的两线工程相互救援机制，完善抢险救灾物资储备体系，必要时可通过东线的输水管网反向运输抢险物资，全力支援中线进行抗洪救灾。

（三）严防汛期非法排污

1. 严查超标排污行为，依法惩处

结合中线流域环境监测和水质评价结果，环境、水利部门联合开展重点排污企业的拉网式排查，重点检查长沙、九江、武汉等城市的化工、制革、电镀、食品加

工等行业, 严查其汛前责任落实情况、超标排放行为以及秘密直排等环境违法行为。要充分利用环境执法先进设备和水质在线监控站点数据, 固定证据, 从严查处各类超标排放。对于查证属实的水污染等环境违法行为, 公安及环保、水利等部门要依法给予重罚, 对重大环境污染事故依法追究刑事责任, 绝不姑息。此外, 要健全跨部门、跨区域的联合执法机制, 建立工作联动机制, 对突发的重大环境污染类事件开展联合调查处理, 从严从快。

2. 加强水环境联合监测, 科学预警

充分利用中线沿线的水质自动监测站点, 建立部门间信息互通机制, 开展汛前和汛中不同时段的水质快速监测与评估。重点监测水体中的氨氮、高锰酸盐指数等关键污染因子, 预测其浓度变化趋势。同时建立快速的水质预警发布机制, 一旦监测数据显示水质指标异常或超标, 立即对水源地政府及水利防汛部门发布水质预警, 提示采取应急措施, 科学有序应对水质污染风险, 避免造成输水调度中断等重大影响。

三、南水北调中线干线工程防汛工作未来发展趋势

(一) 气候变化适应是重点

根据气候科学预测, 未来中国气候整体呈显著变暖趋势, 极端天气气候事件增多增强。中线所处的中下游地区, 降水模式发生变化, 极端强降雨的频率和强度很可能持续增加, 这将直接加大工程防洪标准化建设的难度。因此, 适应气候变化是未来防汛工作的重中之重。一要加强气候变化监测预警体系建设, 关注未来可能出现的各类极端降雨洪水模式, 评估其对中线防洪标准的潜在影响。二要在规划编制和标准制定中充分考虑气候变化不确定性, 加大工程设防标准, 提高重要水利枢纽的防洪安全度。三要完善极端气候条件下的应急预案体系, 做好最坏情况的应对准备。

(二) 智能化水利的发展方向

数字化、信息化、智能化、绿色化是当代和未来水利发展的必由之路。中线防汛工作应充分借助新一代信息技术实现智慧化转型。一是充分融合物联网、移动互联网等技术, 打通工程监测预警系统与流域气象水文监测系统间数据壁垒, 构建面向防汛的多源异构大数据平台, 提供决策支撑。二是充分运用云计算和AI深度学习技术, 基于海量历史数据, 模拟复杂洪水演变规律, 建立新型的多情景智能洪水预报系统, 实现主动、精准的水旱灾害预警。三是利用VR、AR和数字孪生等技术, 构建虚拟仿真的指挥调度环境, 联合应用无人机和卫星遥感, 实现对防汛抗旱救灾全过程的精细化指挥与决策,

全面提升防洪抗旱救灾水平。

(三) 系统化治理为关键

中线流域范围跨长江、珠江等流域, 涉及广东、广西、湖南、江西、湖北、河南、山东等多个省区, 流域面积近30万平方公里, 防汛任务和难度可以说是极其艰巨。因此, 必须整体推进流域系统治理, 统筹区域内的水资源开发格局, 加强各省区之间的上下游防洪安全协调配合。要进一步完善水资源配置方案, 强化中线与东线的联合调度, 发挥系统防洪综合效能。还需推进流域山地、水源、中下游“三区联动”生态安全屏障建设, 不断增强流域水环境承载能力和自然调节功能。只有系统思维, 统筹兼顾, 才能有效应对中线流域的严峻防汛形势, 保障中线和入湖河道的防洪安全。

结束语

随着南水北调中线干线工程的全面运行, 其防汛工作显得尤为重要。面对汛期水质恶化风险、河道淤积风险以及降雨量持续增大的趋势等多重挑战, 通过提高预报的准确性和时效性、加强中东线联合调度运营、严查非法排污行为等措施, 旨在提升中线工程的防洪能力, 确保工程安全、高效运行。南水北调中线工程防汛工作将面临气候变化适应、智能化水利发展以及系统化治理的新趋势。这要求相关工作不仅要强化技术创新, 还要注重跨区域、跨部门的协调合作, 构建一个更加灵活、智能、高效的防汛体系。只有这样, 才能在不断变化的环境中保持南水北调中线工程的生命力, 为北方地区的水资源供应提供坚实的保障, 同时也为我国水利工程的可持续发展提供有益的实践和经验。

参考文献

- [1]董孝霞. 南水北调中线干线工程冰坝风险评估与保险应对策略研究[D]. 武汉科技大学, 2022.
- [2]余海艳, 刘杰, 高森. 某尾矿库对南水北调中线干线工程安全度汛风险分析[C]//中国水利学会. 中国水利学会2019学术年会论文集第五分册. 南水北调中线干线工程建设管理局北京分局; 南水北调中线干线工程建设管理局安全生产部, 2019: 3.
- [3]陈晓璐, 槐先锋. 南水北调中线干线工程防汛物资储备管理对策研究[C]//中国水利学会. 中国水利学会2019学术年会论文集第四分册. 南水北调中线干线工程建设管理局, 2019: 3.
- [4]张锐, 李硕, 汪强. 南水北调中线干线工程质量风险管理分析及防控实践[C]//中国水利学会. 中国水利学会2019学术年会论文集第四分册. 南水北调中线干线工程建设管理局, 2019: 8.