

水利工程结构安全评估在水灾害防御中的应用研究

吾尔古丽 吐送尼亚孜

塔里木河流域和田河水利管理中心，新疆 和田 848000

[摘要]水利工程属于防御水灾、保障社会经济以及公共安全的关键基础设施，它的结构安全状况会对社会稳定以及经济发展产生直接影响。随着水利工程规模变得越来越大，复杂性也有所提高，安全管理便面临着全新的技术方面的挑战。结构安全评估借助科学监测、分析以及风险识别等手段，达成对设计、施工还有运行整个过程的动态化管理目的。文章从理论基础、技术体系以及应用方法这几个方面着手，全面且细致地分析它在防洪、运行管理以及预警响应等方面的应用情况，并且还提出了完善标准体系、构建一体化监测预警以及推进智能化融合等相关策略，以此来为水利工程韧性防御能力的提升给予理论层面以及实践层面的参考依据，这既丰富了结构安全评估的相关理论，同时也为水灾防御策略提供了较为科学的支撑。

[关键词]水利工程；结构安全评估；水灾害防御

DOI: 10.33142/aem.v7i9.18033

中图分类号: P426

文献标识码: A

Application Research on Structural Safety Assessment of Water Conservancy Engineering in Water Disaster Prevention

WUERGULI Tusongniyazi

Tarim River Basin Hotan River Water Conservancy Management Center, Hotan, Xinjiang, 848000, China

Abstract: Water conservancy engineering is a key infrastructure for flood prevention, social and economic security, and public safety. Its structural safety status will have a direct impact on social stability and economic development. With the increasing scale and complexity of water conservancy projects, safety management is facing new technological challenges. Structural safety assessment utilizes scientific monitoring, analysis, and risk identification methods to achieve dynamic management of the entire process of design, construction, and operation. The article starts from the theoretical basis, technical system, and application methods, comprehensively and meticulously analyzing its application in flood control, operation management, and early warning response. It also proposes relevant strategies such as improving the standard system, building integrated monitoring and early warning, and promoting intelligent integration, in order to provide theoretical and practical reference for the improvement of resilience defense capabilities in water conservancy engineering, which not only enriches the relevant theories of structural safety assessment, but also provides scientific support for flood prevention strategies.

Keywords: water conservancy engineering; structural safety assessment; water disaster prevention

引言

水利工程在保障水资源利用、防洪减灾以及区域经济发展方面发挥着极为重要的作用，其结构的安全性同公共安全、经济效益以及社会稳定紧密相关。近些年来，随着工程规模变得越来越大、结构形式日益多样、运行环境也变得更加复杂，工程所面临的水压、地质作用以及极端气候等方面的风险呈现出不断增加的态势。传统那种单纯依靠经验并且仅仅依靠单一监测手段的管理模式，已经很难满足现代防灾工作的实际需求了，迫切需要建立起一套科学且系统的结构安全评估体系。这套体系一方面会对材料

强度、承载能力以及稳定性展开量化分析，另一方面还会将施工质量、环境条件以及长期运行状态等都纳入到动态监测的范畴当中。通过把传感器采集、计算机仿真以及人工智能等技术相结合的方式，结构安全评估能够为防洪减灾以及应急决策给予可靠的支撑。本文围绕水利工程结构安全评估在水灾害防御当中的具体应用情况展开探讨，对其实理论基础、技术方法以及应用策略加以分析，从而为提升工程的防灾能力以及完善防洪体系提供依据。

1 水利工程结构安全评估的理论与基础

水利工程项目的结构设计安全性的高低，与国家、社

会、经济和财富密切相关。也就是说，近年来，随着国家经济水平的不断改善，水资源保护建筑结构设计的安全性日趋完善，但也存在一些细节问题。例如在建设过程中，安全问题与项目费用、维护费用及相关投资风险密切相关，三者动态的变化为改善安全性提供了具体参考依据。因此，具体实现水利建设的安全性是衡量上述三个因素的过程，为结构设计的安全性奠定了坚实基础。水资源保护建设出现安全因素，这些问题不仅会给企业自身经济带来影响，也会对国家经济决策产生不利影响。从理论层面来讲，水利工程结构安全评估的关键点在于借助定量和定性相互融合的方式，针对工程在设计阶段、施工阶段以及运行阶段的承载能力、稳定性还有可靠性展开系统的剖析。结构安全一方面依靠工程材料的强度特性以及荷载作用条件，另一方面还会受到地质环境、水文气候以及施工质量等诸多因素的耦合影响。安全评估所依据的基本原理涵盖了极限状态设计理论、可靠度分析理论以及系统安全性分析方法，其主要意图是凭借科学的模型以及参数体系，找出潜在的风险并且给出相应的防控办法。与此信息化监测以及智能感知技术的应用，能够让结构安全状态达成立动态监测以及实时反馈的效果，进而为水灾害防御以及应急响应给予技术方面的有力支撑。

2 水利工程结构安全评估的技术体系与方法

2.1 工程结构监测与数据获取技术

工程结构监测以及数据获取方面的技术，属于水利工程结构安全评估当中的基础环节。其主要目的在于借助高精度且多维度的实时监测方式，去获取结构实际的运行状态相关信息，还有环境参数，进而达成对工程健康状况展开量化分析的目的。现代水利工程一般会采用多种类型的传感器，像应力应变传感器、位移传感器、水位监测器以及振动传感器等等，再配合无线通信网络以及数据采集系统，如此便能够针对大坝、溢洪道还有闸门等这些关键构件展开连续不断的监控活动。与此遥感技术以及无人机监测也在逐步被引入到工程安全管理领域当中来，凭借高分辨率影像以及三维地形数据，可为地质方面出现的变化、沉降的具体情况以及周边环境所发生的改变给予实时的相关信息。在开展数据获取工作的整个过程当中，关于传感器的布设情况、采样频率的设定以及数据精度的把控等问题，都需要依据结构自身所具有的特性、所处环境的条件以及风险等级等情况来科学合理地予以确定，从而切实保障数据具备可靠性以及完整性。凭借着系统化开展的数据采集工作，能够构建起结构运行状态数据库，这无疑为后续要进行的数值分析以及风险评估提供了极为坚实的

数据方面的基础，进而实现对水利工程结构实施动态的监控以及健康管理的目标。

2.2 数值分析与结构稳定性计算模型

数值分析以及结构稳定性计算模型，在把所采集的监测数据转变为可量化的安全信息这属于极为关键的环节。其最为关键之处就在于借助理论模型还有相应的计算方法，来对结构于各种荷载作用之下所呈现出的承载能力以及稳定性加以评估。在现代水利工程建设当中，一般会采用有限元分析、非线性动力分析还有可靠度计算等诸多方法，针对大坝、溢洪道以及水闸等这些极为重要的构件展开建模工作，以此来模拟在水力、地质、温度以及地震等多种复杂因素作用之下的结构响应情况。数值分析不但可以将结构潜在的那些薄弱环节以及风险集中区域给揭示出来，而且还能用来预测在极端条件之下的变形走向以及破坏模式，进而为防灾减灾相关事宜给予科学层面的依据。在构建计算模型的整个过程当中，务必要充分考量材料的非线性特性、结构的几何非线性状况以及边界条件对于稳定性所产生的影响，并且要结合历史运行方面的数据以及实测所获取的信息来对模型进行校正，以此提升分析的精准程度。凭借精细化开展的数值计算，是能够达成对水利工程结构进行定量化安全评估这一目的的，从而为后续的风险分级工作以及防灾策略制定给予可靠的支撑保障。

2.3 风险识别与分级评估方法

风险识别以及分级评估会把结构的状态和潜在的灾害因素关联起来，进而给防灾管理还有科学决策给予一定的依据。通过去综合地分析结构安全方面的数据、环境监测所获取的信息以及历史灾害的相关记录，从中识别出那些有可能致使结构出现失效情况或者使性能有所下降的关键因素，像设计方面存在缺陷、施工过程中有偏差、材料发生了老化以及出现了极端的水文事件等等这类情况。评估的方法往往把定量风险矩阵、可靠度指标以及统计模型结合起来运用，并且还会辅助以专家的判断，以此达成对结构安全较为全面的评估效果。借助分级管理这种方式，能够对资源配置加以优化，让监测的重点变得更为清晰明确，最终形成一个闭环式的结构安全管理体系，从而促使水利工程的韧性以及可靠性得以提升。

3 结构安全评估在水灾害防御中的应用

3.1 防洪与运行阶段的结构安全控制

在防洪设计以及运行这个阶段，结构安全评估给水利工程带来了较为系统的技术支持，使得工程在遭遇洪水、暴雨还有极端水文条件的时候，可维持稳定且可靠的运行状态。借助对水位、流量以及关键构件的应力、位移等状

态参数展开监测的方式,便能够及时知晓结构的运行状况,并且把监测所获取的数据同数值分析模型相互结合起来,以此针对潜在的薄弱环节展开动态评估。评估得出的结果不但能够对溢洪道、闸门以及坝体的操作与调度起到指导作用,而且还可以优化防洪方案,合理地安排行蓄洪与排泄过程,进而降低水灾的风险。与此结构安全控制还涵盖了对关键设施开展周期性的检查以及对运行参数实施连续的监测这些方面,以此来保证工程在不同的工况之下均能保持不错的承载能力以及稳定性,达成设计目标和实际运行安全性二者的有机结合。此阶段的评估能够落实“预防为主、风险可控”的管理理念,为水利工程的稳定运行以及区域防灾体系给予可靠的保障。

3.2 水灾害预警与应急响应评估机制

水灾害预警以及应急响应在结构安全评估应用当中属于极为关键的环节,其最为重要的部分就在于借助监测数据还有评估模型来针对潜在灾害做出提前的预估判断,进而为应急决策给予科学方面的依据。通过针对雨量、水位、流量以及结构受力状况展开实时的分析操作,便能够较为迅速地识别出洪水所存在的风险以及可能出现的结构异常情况,如此一来便能够触发预警的相关机制。再结合分级风险评估的方法,便可以确定出不同等级的应急响应举措,如调整行蓄洪调度、启用溢洪道、对下游的防洪设施进行调度或者启动撤离的相关方案。将信息化以及智能化技术加以运用,比如依托 IoT 所实现的远程监控以及 AI 预测模型,能够在很大程度上提升预警的精准程度以及响应的速度,促使防灾管理从单纯依靠经验来做出判断逐渐转变为依靠科学来进行决策的方式。除此之外,结构安全评估还能够给应急指挥带来可视化的决策方面的支持,凭借多维数据来展示工程的实际状态以及风险的具体分布情况,从而助力管理者在面临紧急状况的时候能够快速且科学地做出相应的响应举措,以此来减小洪水灾害给经济以及社会所带来的影响。

4 水利工程结构安全评估的应用策略与发展方向

4.1 完善评估标准体系与技术规范

完善评估标准体系以及技术规范,这属于提升水利工程结构安全性以及防灾能力的一项基础性举措。当下,不同的工程在设计阶段、施工阶段还有运行阶段所采用的安全评估标准存在着一定的差别,缺少那种统一的、科学的且具备可操作性的技术规范。若能够建立起涵盖结构设计、施工质量、运行监测以及风险管理整个过程的评估标准,那么便能够清晰明确各个环节对应的安全要求以及技术指标,对评估方法以及操作流程加以规范^[1]。与此标准体

系需要结合工程类型、地质条件还有水文环境所具有的差异性,去制定出带有差异化特点以及分级化特性的安全管理规范,以此达成安全评估的科学化、系统化以及可比性。技术规范的不断完善,既能为工程建设以及运行给予操作方面的依据,又能为各级管理部门制定防灾策略以及应急方案提供较为可靠的支撑,进而促使整体防洪减灾能力得以提升。

4.2 构建监测-评估-预警一体化防御体系

构建起监测、评估以及预警融为一体的防御体系,这无疑是达成水利工程在整个周期当中风险管理科学化以及防灾决策科学化的重要核心策略所在。该体系把结构监测、数据分析、风险评估还有预警响应等各个方面的内容紧密且有机地结合起来,进而形成了一条具有动态特性、能够持续发挥作用并且可被追踪到的安全管理链条^[2]。借助于传感器、遥感技术以及信息化平台等相关手段,可实时地去获取结构所处的状态以及环境的各项参数,再把这些参数同数值分析以及风险分级模型相结合起来,如此便能够实现对潜在存在的安全隐患予以快速且精准的识别与评估。与此经过评估所得出的结果还能够直接引发预警以及应急响应机制的启动,从而为防洪调度工作、下游所采取的防御措施以及社会层面的应急举措都提供相应的决策依据。构建这样的一体化体系,一方面使得预警的准确性得以提高,另一方面也让响应的速度加快了,而且还能够促成信息的共享以及跨部门之间的协同配合,以此给水灾害的防御给予科学的、细致的并且高效的全方位技术保障,大幅度地提升工程自身的韧性以及社会整体的防灾能力。

4.3 推进智能化融合与韧性防御体系建设

推动智能化融合以及韧性防御体系建设,这已然成为水利工程结构安全评估未来发展的关键走向^[3]。伴随人工智能、大数据分析、物联网还有 BIM 技术不断向前发展,结构安全评估也逐渐从原本那种静态且周期性的检查模式转变为更为动态且智能化的管理模式,进而达成对工程状态予以实时监测、预测以及做出优化决策的目的。智能化评估不但能够在事前就识别出结构风险,而且还能借助模拟以及优化方案来提升防灾措施所具有的科学性以及可操作性。与此韧性防御体系在建设过程中着重强调的是,当工程遭遇极端水文事件或者突发灾害之时,得具备自适应的能力以及快速恢复的能力,凭借合理的结构设计、预防性的维护以及应急管理策略,进而实现“弹性防御与持续运行”这样的目标。智能化和韧性建设相互深度融合之后,会让水利工程在复杂的环境当中拥有更高的安全性、可靠性以及适应性,从而为未来的防洪减灾以及区域可持

续发展给予稳固有力的支撑。

5 结语

本文针对水利工程结构安全评估于水灾害防御方面的应用展开探讨，从理论根基、技术体系、实际运用以及发展策略这四个层面展开了系统的剖析，经研究发现，借助工程监测、数值分析以及风险分级等手段，可达成对结构承载能力、稳定性以及运行状态的动态把控，进而为防洪设计、运行管理、预警响应以及灾后复评给予科学的助力，有效提升水利工程的安全性以及防灾韧性，在应用策略方面，完善评估标准、构建监测-评估-预警一体化体系以及推动智能化与韧性防御建设，能为工程在复杂水文条件之下实现可靠运行提供可行的途径，结构安全评估的理论与实践相结合，既保障了工程自身的稳

定，又为区域防洪体系优化以及社会经济安全提供了数据支撑与决策依据。

[参考文献]

- [1]王义锐,孟祥达.水利建筑结构设计及结构安全分析[J].居舍,2020(24):128-129.
- [2]魏俊勇,葛红花.水利工程结构设计及结构安全分析[J].水上安全,2023(11):129-131.
- [3]张浩.水利工程结构设计及安全性提升策略研究[J].水上安全,2024(22):187-189.

作者简介：吾尔古丽 吐送尼亚孜（1972.4—），毕业院校：新疆农业大学水利水电建筑工程，所学专业：水利管理，当前就职单位名称：塔里木河流域和田河水利管理中心，职称级别：高级工程师。