

门的主要部件进行检测。例如,在闸墩和桥面连接部位加装振动线应变仪,对混凝土构件的受力情况进行监控;采用双轴倾斜传感器,实现了对闸门工作状态的实时监测;通过在消能塘底设置渗透压仪阵,研究了坝基扬压力的变化规律。监控装置采用 LoRa 无线通讯技术,将检测到的信息通过网络传送到网络终端,然后由中央的网络传送到中央的信息平台。

要对监控资料进行处理和分析,就必须制定规范化的预警处理程序。在收到系统的实时信息之后,通过对采集到的数据进行品质检验,排除由于传感器失效和信号扰动引起的离群点。在此基础上,利用已有的闸室稳定和渗流稳定等专家计算模式,将实测结果与工程实际情况进行对比。在主要指数三次超出警戒级别的情况下,将会产生三个级别的警报,并通过手机短消息平台将警报消息传递给操作管理者;一旦达到警戒级别,并继续恶化,该系统将立刻进入第二级应急机制,同时将报警信息同时发给有关单位和有关领导,并将相应地点的视频监控图像进行实时检索。按照江苏省水利部门 2021 年《智慧闸门》的编制情况,使用该技术的闸门项目,其风险辨识时间比常规方法提高 75% 左右,误警率低于 5%。构建多元信息融合机制是提高智慧监测网性能的关键。在此基础上,建立了闸门运行过程中的智能监控系统,并结合现场巡检记录和历史养护档案,建立了闸门运行状态的全面评估模型。比如,将渗透压力观测资料与同期上游和下游水位和水温等因素相结合,能够更加精确地判定渗透率异常的原因。同时,根据 SL323-2019《水利工程监测资料整编规程》的规定,构建完善的水文地质环境信息数据库,为以后的运行状况评价、预报维修等工作奠定基础。该研究能够有效提高闸门施工过程中隐患的辨识与预警水平,为大坝的安全运营提供重要的技术保证^[6]。

3.3 创新长效管护机制: 促进专业能力与资金保障强化

建立责任明确、责任明确、保障有力的长期监管制度,是实现规范化管理可持续发展的基本保证。维护和养护机制的创新,一是要确定流域的管理主体,实行“闸长制”,实行流域总闸,实行“一闸一档”的管理责任制。在全省范围内,每年至少要举办 40 个以上的培训课程,侧重于标准化操作和智能设备的使用;在全市范围内,组织实施实际操作训练,

保证各经营机构均配备有专职人才。在资金支持体系方面,应构建一条稳定的投资渠道,把规范化的经营资金列入各级政府的预算中,并在此基础上,探讨以水利项目收益反哺、生态补偿资金注入等多种融资方式。要把考核制度同经费安排相联系,实行季度检查和年度检查,把考核的成绩同经费的拨付和评优等工作联系起来。安徽省首创的“保险+服务”模式,即在对水利工程进行承保的基础上,通过对水利设施进行风险管理,并对其进行专业监理,不仅可以缓解水利建设的经费不足,而且可以提高养护管理的专业化程度。该项目以市场为导向,到 2025 年,将在全国 300 多个闸门中推广应用,使运行费用下降 20%,运行效率提高 40%,为解决养护和养护问题开辟了一条新的途径。预期到 2025 年,该新型养护管理方式将逐步推广至全国。

4 结语

综上所述,通过对我国水利建设项目规范化建设的困境及应对措施的研究,既能破解目前水利工程建设过程中遇到的现实障碍,又能为建设符合新时期需求的水利建设现代管理体制提供理论支持和实践范例。通过促进从零散到系统化的管理规范转变,从粗放到精细的控制方式,可以使闸门工程的整体效益得到进一步的提升,从而为我国的水系网络和整个区域的水资源安全奠定更加扎实的基础。随着物联网、大数据和人工智能等新一代信息技术的深入融合与应用,水闸项目建设的规范化管理将呈现动态化、智能化和协同性,由“人防为主”向“技防优先”,由“经验驱动”向“数据驱动”的根本性转变,向着“全方位感知、智能决策和精确管控”的智能化管理新境界迈进,为国家水治理体系和能力现代化提供强大的动力。

参考文献

- [1] 余祥福.水利工程标准化管理实践与思考[J].水上安全, 2024, (14): 34-36.
- [2] 桂华桥,王安领.安徽省淮河水利工程标准化管理实践与优化措施探讨[J].治淮, 2024, (07): 35-36.
- [3] 涂幸.临淮岗枢纽工程推行水利工程标准化管理实践与分析[J].大众标准化, 2024, (10): 13-15.
- [4] 董超.水利工程标准化管理的具体措施及思考[J].治淮, 2024, (03): 38-39.

Study on dynamic characteristics analysis and seismic optimization design of large pump station structure

Xin Zhao

Xinjiang Water Resources Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Large pumping stations, as critical infrastructure for water resource regulation and irrigation water distribution systems in Xinjiang, play a decisive role in ensuring project safety and regional water supply security. Located in a seismically active zone with complex geological conditions, the station buildings are subjected to combined effects of pump vibrations, seismic actions, and environmental loads during operation, resulting in significant structural responses and demanding high seismic resistance. This study takes a typical large pumping station building in Xinjiang as the research object and, based on finite element numerical simulation and dynamic analysis methods, systematically investigates its modal characteristics and response patterns under seismic excitation, revealing structural vulnerabilities and failure modes. By incorporating regional ground motion parameters, optimization strategies for seismic design are proposed, including structural layout adjustments, the application of base isolation and energy dissipation technologies, and improvements in component and joint detailing. The findings provide theoretical significance and practical guidance for enhancing the seismic resilience and operational safety of large pumping station projects in Xinjiang.

Keywords

large pumping station; building structure; dynamic characteristics; seismic design; Xinjiang region

大型泵站厂房结构动力特性分析与抗震优化设计研究

赵馨

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

大型泵站作为新疆水资源调控与灌区输配水体系的重要基础设施,其厂房结构的动力特性与抗震性能直接关系到工程安全与区域供水保障。新疆地处地震多发区,地质构造复杂,厂房在运行过程中承受水泵振动、地震动及环境荷载的共同作用,存在结构响应显著、抗震需求突出的特点。本文以新疆典型大型泵站厂房为研究对象,基于有限元数值模拟与动力学分析方法,系统探讨结构模态特征与地震作用下的响应规律,揭示结构脆弱性与破坏模式。结合区域地震动参数,提出厂房抗震优化设计路径,包括结构布置调整、减隔震技术应用及节点构造改进等措施。研究结果对于提升新疆大型泵站工程的抗震能力和运行安全性具有重要理论意义与工程应用价值。

关键词

大型泵站; 厂房结构; 动力特性; 抗震设计; 新疆地区

1 引言

新疆地区以干旱与半干旱气候为主, 河川径流时空分布不均, 水资源调控工程成为社会经济发展的关键支撑。大型泵站作为水资源跨流域调配和大规模农业灌溉的重要节点, 其厂房结构安全性和稳定性备受关注。与此同时, 新疆地处欧亚板块结合部, 地震活动频繁, 地震动对大型厂房产生的冲击作用不容忽视。传统厂房设计在满足基本承载要求的同时, 往往存在对动力特性认识不足、抗震措施针对性不强等问题, 容易在强震条件下引发结构损伤甚至功能丧失。

【作者简介】赵馨(1998-), 女, 中国甘肃武威人, 硕士, 工程师, 从事水利设计研究。

近年来, 结构动力学与抗震工程理论不断发展, 为泵站厂房在复杂荷载作用下的响应分析提供了有效手段。通过数值模拟与动力响应评估, 可以揭示关键构件的薄弱环节, 并为优化抗震设计提供依据。本文将结合新疆地区实际工程背景, 对大型泵站厂房的动力特性进行系统分析, 并提出抗震优化设计的技术路径, 以期为区域重大水利工程的安全运行提供理论参考与实践指导。

2 新疆地区大型泵站厂房建设的区域背景

新疆地处典型干旱半干旱区, 人均水资源量不足 2500 立方米, 远低于全国平均水平, 农业灌溉对水资源依赖度超过 90%。伊犁河、塔里木河及天山南北河谷在季节性径流变化下, 水资源调控压力不断增大。为保障棉花、小麦及林

果产业稳定发展,新建与改扩建大型泵站成为提升水资源配置效率的重要工程措施。泵站在跨流域调水、干旱区补水及工业供水中的作用愈加突出。随着新疆城市化进程加快,乌鲁木齐、喀什、库尔勒等地对供水安全提出更高要求,泵站厂房作为核心承载建筑,其设计与运行安全直接决定水利工程整体功能。大型泵站厂房具有体量大、结构刚度复杂、动力敏感性高等特征,易受地震动耦合作用而产生共振。国家现行抗震规范对新疆地区水工建筑物要求的抗震设防烈度普遍不低于8度,这对厂房结构的安全性提出更为严格的要求,必须在设计阶段进行针对性优化^[1]。

3 大型泵站厂房结构动力特性研究方法

3.1 动力特性分析的理论基础与计算模型

动力特性分析以结构动力学理论为基础,主要研究结构在外部荷载作用下的振动规律。泵站厂房在运行中受到水泵振动频率约30Hz至50Hz的作用,同时在地震动峰值加速度0.3g环境下表现出显著的动力响应。计算模型采用单元划分方法,构建梁单元、壳单元和实体单元相结合的有限元体系,节点数可达45000个以上,单元数超过60000个。通过质量矩阵与刚度矩阵耦合建立运动微分方程,利用模态叠加法提取前20阶模态,频率范围控制在0Hz至100Hz内。该方法可有效揭示厂房结构的自振特性及其在复杂荷载条件下的变形规律,为后续抗震性能评估与设计优化提供理论依据和数据支持。

3.2 有限元分析在厂房结构动力研究中的应用

有限元分析能够在复杂结构条件下进行高精度动力学模拟。以新疆某大型泵站厂房为例,模型总长120m,宽40m,高35m,混凝土强度等级为C40,钢筋强度为HRB400。分析过程中采用ANSYS软件进行静力与动力耦合计算,输入地震动记录3组,峰值加速度分别为0.2g、0.3g、0.4g。结果显示,结构在自振频率6.5Hz时发生明显响应,最大位移达到82mm,最大加速度反应达1.2m/s²。有限元计算还表明,厂房横向刚度不足,局部剪切应力集中在柱脚与梁柱节点区域,应力峰值超过45MPa。通过模型分析可直观反映厂房结构的薄弱环节,为优化设计提供可靠的力学依据。

3.3 动力响应试验与实测数据比对方法

动力响应试验通过现场振动台与加速度传感器监测厂房实际响应特性。试验在新疆典型泵站进行,传感器布设于柱顶、梁端及基础处共计36个测点,采样频率100Hz,试验持续时间60s。加载人工激振频率范围为5Hz至20Hz,最大激振力达到50kN。实测数据显示,厂房一阶自振频率为6.8Hz,最大加速度为1.15m/s²,最大位移为79mm,与有限元模拟结果偏差均小于5%。比对结果表明,数值模型能够较好地反映实际动力特性,特别是在地震动峰值加速度0.3g条件下,计算与实测的相对误差仅为4.2%。通过试验

与模拟相结合,不仅验证了模型的可靠性,也为厂房结构动力学研究提供了数据支撑和方法保障^[2]。

4 新疆地区泵站厂房结构动力特性分析结果

4.1 自振特性与模态参数分析结果

分析结果表明,厂房结构的一阶自振频率为6.7Hz,二阶频率为12.3Hz,三阶频率为18.6Hz,前10阶频率均控制在50Hz以内,主要振型表现为梁柱框架整体水平摆动与屋盖局部扭转。振型分析结果显示,纵向刚度明显大于横向刚度,横向柱列位移比纵向增加32%。模态质量参与系数中,一阶模态贡献率为47%,二阶模态为28%,说明厂房动力响应主要集中于前两阶模态。结构阻尼比取0.05时,振动幅值呈指数衰减。数据表明厂房存在横向动力薄弱环节,在地震动作用下可能引发节点开裂及侧移放大,需要通过设计优化加强横向刚度,减少动力响应集中效应。

4.2 地震作用下厂房结构响应规律

在输入地震动峰值加速度0.2g时,厂房最大层间位移比为1/500,结构仍处于弹性状态;当峰值加速度增至0.3g时,层间位移比上升至1/280,部分梁柱节点应力超过40MPa;在0.4g地震动条件下,层间位移比达到1/180,屋盖位移最大值为95mm,节点应力峰值达到52MPa,部分区域接近极限承载状态。分析结果表明,厂房结构在中强度地震下能够保持基本安全,但在大震作用下横向刚度不足的问题愈发突出。纵向位移始终小于横向位移,差异比例达到35%。整体规律说明,厂房动力响应随地震动强度呈非线性增长,必须采取措施避免在大震下发生功能丧失。

4.3 地震动参数与结构破坏模式关系研究

通过输入不同地震动参数进行对比分析发现,当峰值加速度控制在0.2g时,结构主要表现为轻微裂缝,破坏模式以梁端开裂为主。当加速度提高至0.3g时,裂缝范围扩大,柱脚区域出现明显塑性铰,梁柱节点区域应力集中度提高至48MPa,结构表现出局部屈服迹象。在0.4g条件下,破坏模式演化为柱脚剪切破坏与屋盖大跨度梁的弯曲破坏,最大应力超过55MPa,局部位移比达到1/150,已接近失稳边界。分析还表明,破坏演化顺序通常由梁端裂缝向柱脚塑性发展,最终过渡为整体框架失效。数据揭示了地震动强度与破坏模式的对应关系,为抗震设计提供明确的改进方向^[3]。

5 大型泵站厂房抗震优化设计的关键技术

5.1 结构布置优化与抗震承载力提升措施

结构布置的合理性直接决定厂房在地震作用下的整体稳定性和承载能力。大型泵站厂房由于跨度大、荷载集中,若结构布置不均会引起应力集中和动力响应放大。通过在设计中采取对称布置与刚度均衡,可以有效降低扭转效应,使结构在地震动输入下表现出更好的整体协调性。分析结果显示,在横向与纵向布置比保持在1.2以内时,结构层间位移比可降低28%。合理增设剪力墙与加强框架梁柱的配筋配置,