

# 小型水闸岩土地基承载力检测技术应用与改进

李阳 姜佳

江苏禹衡工程质量检测有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i6.4786

**[摘要]** 小型水闸作为灌溉、防洪与水资源调控的重要基础设施,运行安全很大程度依赖岩土地基的承载能力,小型水闸多处于地质条件复杂、水流冲刷影响突出的环境,传统承载力检测方法在精度、适用性和现场可操作性上存在不足,提升检测结果可靠性,本研究围绕小型水闸岩土地基承载力检测技术开展分析与应用研究,聚焦适配小型水工建筑物的勘察手段、原位测试方法及数据反演评价技术。对比常用检测手段,提出复杂地基条件下提高检测精度的技术改进方向,测试参数灵敏度优化、数据处理方法改良及多技术联合使用模式均在其中,研究结果为小型水闸设计、养护及加固提供技术支撑,对水利工程运行安全提升具有重要工程价值。

**[关键词]** 小型水闸; 岩土地基; 承载力检测; 原位测试; 技术改进

**中图分类号:** TV66 **文献标识码:** A

## Application and Improvement of Bearing Capacity Detection Technology for Rock-Soil Foundations in Small Sluices

Yang Li Jia Jiang

Jiangsu Yuheng Engineering Quality Testing Co., Ltd.

**[Abstract]** Small sluices, as critical infrastructure for irrigation, flood control, and water resource regulation, rely heavily on the bearing capacity of their rock-soil foundations for safe operation. These sluices are often located in environments with complex geological conditions and significant water flow scouring effects. Traditional bearing capacity detection methods have limitations in accuracy, applicability, and on-site operability. To enhance the reliability of detection results, this study conducts analysis and application research on the bearing capacity detection technology for rock-soil foundations in small sluices. The focus is on investigation methods, in-situ testing techniques, and data inversion evaluation technologies tailored for small hydraulic structures. By comparing common detection methods, the study proposes technical improvement directions for enhancing detection accuracy under complex foundation conditions, including optimization of test parameter sensitivity, refinement of data processing methods, and the adoption of multi-technology integration models. The research results provide technical support for the design, maintenance, and reinforcement of small sluices, holding significant engineering value for improving the operational safety of hydraulic engineering projects.

**[Key words]** Small Sluice; Rock-Soil Foundation; Bearing Capacity Detection; In-Situ Testing; Technical Improvement

### 引言

小型水闸在区域水资源配置与防洪排涝体系中作用不可替代,稳定性直接关联工程运行安全,岩土地基承载力是水闸基础可靠性的关键指标,需通过检测技术评估,小型水闸多分布在水文、地质条件变化显著区域,常规检测手段在精度、环境适应性和结果判定方面存在不足,难以满足工程安全性实际需求。需系统分析现有检测技术,探索复杂地基条件下的优化方案,提升承载力评估准确性,本研究为小型水闸地基检测提供更适配的技

术路径,助力水工建筑检测方法发展。

### 1 小型水闸地基承载特性的工程认识

小型水闸作为区域水利体系重要控制设施,结构稳定性与运行可靠性大幅依赖岩土地基承载特性,荷载作用下地基响应体现土体应力传递机制、结构性特征及渗流条件变化规律,受水位差、冲刷力及周期性水力荷载影响,小型水闸地基承载表现具明显时变性与空间差异性<sup>[1]</sup>。小型水闸多处于覆盖层厚度不均、土质组成复杂、地下水位波动显著地段,承载力评价需考虑土体

强度参数、压缩性,关注结构面发育状况、临近水体对有效应力的影响及地基变形模量区域性差异,承载特性认知核心是把握地基土体力学参数、地质结构与水文条件的相互耦合关系,单一指标判断无法支撑承载性能的准确评估。

小型水闸工程中地基常表现出非线性与各向异性行为,黏性土不同含水量下抗剪强度变化幅度较大,砂类土渗流作用下更易形成局部松散区,均影响基础承载稳定性,长期水力作用下地基可能产生固结变形、软化、结构破坏,使承载力呈衰减趋势。工程界逐渐意识到依赖经验公式或常规静力学分析难以全面反映地基真实工作状态,需从力学机制、地质环境和施工扰动多角度综合分析,小型水闸地基承载特性认知正从经验型判断向数据驱动的定量分析过渡,原位测试、力学参数反演、沉降监测和渗流场分析等手段成为工程认知重要支撑。

小型水闸的工作环境使地基承载特性呈现显著的动态变化,启闭操作导致水位不断波动,地基受力路径随之调整,土体应力状态在不同水头差下持续变化,高水位阶段孔压升高会削弱有效应力,而低水位可能造成附加荷载集中,引发沉降或剪切变形,若工程分析未充分纳入这些动态因素,承载力评价易与实际状态偏离,水闸周边水流速度较大局部冲刷会重塑地基边界条件,形成扰动带或削弱土体约束,使承载表现更加不稳定。因此,地基承载特性应被视为受时间、荷载与水文条件共同影响的综合属性,承载特性的准确理解不仅关系到基础安全系数,也直接影响闸室、翼墙、底板等结构的受力体系,地基刚度、变形模量与强度参数的变化会传递至上部结构,影响整体受力协调,承载能力评估需同时关注极限承载与正常变形控制,因沉降差异可能干扰闸门启闭乃至运行功能,因此建立兼顾强度与变形、覆盖极限状态与正常使用状态的工程化认知框架,对施工设计、检测应用与运行管理具有重要意义。

## 2 岩土地基检测实践中表现出的关键矛盾

岩土地基承载力检测在小型水闸工程中应用已具一定体系,实际操作中暴露出一系列无法回避的矛盾,地基条件复杂性与检测手段局限性的矛盾较为突出,小型水闸分布于地质结构多变、水文条件敏感区域,土体成分由粉质黏土、砂类土及含碎石层交替组成,结构性差异显著。检测技术依赖局部取样或有限点位原位试验,土体空间变异性难以完整体现,测试结果用于整体地基性能判断时,不同测试点差异易致承载力推定偏差,检测结论与真实工程状况出现偏离,局部信息与整体评估需求的矛盾,是当前检测实践的核心难点。

试验操作层面的地基扰动问题与检测结果的可靠性之间长期存在矛盾,钻探、开挖及各类入土试验不可避免破坏原状土结构,尤其在软土与饱和粉土中,扰动会引起孔隙结构变化、强度削弱及应力重分布,使测试参数偏离真实状态,动力触探、十字板剪切和标准贯入试验中,这类偏差更为明显,工程人员常在保持原状真实性与完成测试任务之间受到限制,在敏感性地基条件下难以获取高可信度数据。检测精度不断提升的需求与传统方法能力有限之间的矛盾同样突出<sup>[2]</sup>。承载力评价需要较高分

辨率的强度、变形和渗流指标,而单点测试多为离散信息,难以展现地基整体特征。测试结果还受操作者经验、仪器性能和环境条件影响,导致数值波动显著,重复性不足。水文动力作用显著的小型水闸区域,检测时段条件与地基长期状态的矛盾尤为突出,地基承载力受地下水位、渗流压力和水力冲刷长期作用,多数检测仅在短时、静态条件开展,低水位或枯水期测试往往无法反映高水位运行阶段应力状态,检测结果偏向安全;涨水或汛期测试受环境干扰大,数据稳定性欠佳。地基不同阶段承载能力差异明显,检测结果通常仅代表特定时段土体状况,承载力评价与实际服役条件出现偏离,工程应用中检测成本与检测深度、检测密度的矛盾仍较普遍,高密度测试可显著提升承载力评价准确性,小型水闸项目受资金限制、施工周期紧张和场地狭窄条件约束,通常仅能采用有限测试点位,难以构建完整地基参数场,承载力分布规律需通过推断得出,此类简化处理提升检测效率,却降低参数可靠度。

## 3 检测技术体系的优化途径探索

小型水闸岩土地基承载力检测技术优化需依托测试信息获取方式、数据处理方法及多源手段协同能力的协同优化,提高原位试验有效性是优化体系的核心环节。传统测试方法常依托单指标反映承载性能,信息覆盖不足。强化试验装置灵敏度与稳定性,完善参数反演模型构建,原位测试可精准呈现地基强度、变形与渗流影响,静力触探、旁压试验等常用方法校准参数,适配含水量波动、结构面发育及土层非均质性条件,降低测试偏差,扰动敏感的软弱地基,通过低扰动取样与微扰动测试方式夯实真实数据基础,为后续承载力评价提供可靠支撑。

检测体系引入多技术融合模式可提升整体判别能力,不同检测方法侧重各异,组合静力触探、十字板剪切、波速测试、地基沉降监测等手段,可从强度指标、刚度指标、结构性参数和动力响应角度交叉验证地基状况,多源数据在空间分布、测试深度和参数类型上相互补充,有效弥补单项试验局限性<sup>[3]</sup>。小型水闸地基复杂的环境下,多技术融合能提升承载特性反映的全面性,减少土体空间变异性引发的误判风险,运用地质雷达、浅层波动法等无损探测手段,辅助辨识松散带、隐伏软弱夹层和局部冲刷影响区域,为承载力计算提供完整地基信息框架。

检测技术优化聚焦数据处理环节改进,传统方法多依托经验公式或单点参数,难以呈现地基应力与变形的复杂机制,引入参数反演技术、统计分析方法与概率模型,可将测试结果转化为分布规律清晰、适用于工程分析的承载力评价指标,测试参数按土层分段建立区间统计特征,有效识别局部异常值,提升评价结果稳健性。借助力学模型与监测数据耦合,构建基于真实土体响应的承载力推定方式,评价过程更具工程适用性,定量修正水位变化、渗流场演变等环境因素,使检测结果契合小型水闸运行工况,提升动态条件下承载力评价可靠性。

## 4 技术改进条件下的工程应用表现

检测技术体系改进后,为小型水闸岩土地基承载力评价带来更可靠的工程应用表现,依托更高精度的原位试验设备与优

化后的参数反演技术,工程人员在复杂土层结构中提取更具代表性的力学信息,承载力计算依据更接近实际地基状态。高灵敏度静力触探装置捕捉细微阻力变化,土体结构性弱化、夹层分布及松散区域清晰显现,有效减少承载力评估中的参数缺失问题,含水量变化显著的地基,低扰动测试方式获取的原状土参数,使承载力计算更具稳定性与一致性,工程应用中测试扰动引发的偏差显著降低。

多技术融合应用的工程效果较传统单项检测更准确,组合静力触探、波速测试、十字板剪切和沉降监测,全方位分析强度、刚度、结构性及变形特征,地基状态呈现立体化综合信息体系,这类综合评价方法有效揭示地基土体不同深度及位置的空间差异,为承载力分区提供可靠支撑<sup>[4]</sup>。水闸地基存在软弱夹层或砂土松散带时,融合检测手段迅速识别异常区域,工程技术人员可对潜在风险采取针对性处理措施,形成的参数体系在承载力计算、基础稳定性校核及后续加固方案制定中具备显著优势,技术改进后的检测成果在水闸实际运行的动态水文环境中保持较高适应性,渗流场分析与监测数据耦合,工程人员可量化不同水位阶段地基应力变化,承载力评价更贴近实际工况。高水位阶段地基孔压升高降低有效应力,改进后的参数反演方法及时补偿这种变化,承载力评价结果反映真实安全裕度,低水位运行期间地基附加荷载增大,部分区域可能出现沉降趋势,监测与反演结果结合实现承载能力变化的动态判断,提升工程运行管理科学性。

技术改进显著提升承载力评价在工程决策中的指导价值,施工阶段优化后的检测成果提供基础处理必要性判断依据,地基处理范围更精细、施工措施更合理,运行维护阶段,周期性检测与反演分析识别承载性能下降趋势,为水闸加固、维护周期调整及运行工况优化提供科学支撑。部分工程案例中新的检测体系准确定位此前难以识别的局部承载弱区,针对性实施基础加固措施,水闸整体安全性与使用寿命同步提升。

### 5 小型水闸地基检测技术的发展方向

小型水闸地基检测技术发展将迈向更高精度、更强适应性与更智能化的综合体系升级,水利工程运行环境更趋复杂,地基承载力评价需突破传统单点测试与静态分析模式,检测结果全面呈现地基在水文变化、冲刷作用及长期荷载影响下的动态特征。未来检测技术聚焦地基非均质性、结构性及渗流耦合作用的识别能力,搭建完善参数反演模型,地基强度、变形模量和有效应力状态可在多工况条件下实时呈现,地基工作机制的深度

认知助力检测方法向精细化发展,承载力评价完成从经验推定向机理分析的跨越。

智能化技术渗透是未来发展的重要方向,部署高灵敏度传感器、微型孔压计、土压力监测装置等多类型实时采集设备,实现地基沉降、孔隙水压力和变形行为的持续监测,承载性能变化趋势及时把控。数据处理环节,多源数据融合技术与模式识别方法对复杂监测信息开展深层解析,识别潜在弱化趋势和局部异常响应,提升承载风险预判效能,智能分析模型持续丰富,地基检测突破静态测试局限,形成“数据采集—参数识别—承载力分析—风险预警”完整体系,水闸基础安全管理更具主动性与前瞻性。

无损探测技术将成为小型水闸地基检测的重要发展方向,传统方法易对土体造成扰动,地质雷达、浅层波法、电阻率成像等技术可在保持土体原状前提下提升探测效率,识别软弱夹层、空洞、松散带及局部冲刷风险区。成像精度持续提升,无损手段将在快速诊断中发挥更大作用,与原位试验形成有效互补使承载力评价在空间上更完整,面对复杂水文条件检测技术需更关注地基的动态响应,研究水位变化、渗流场及周期性水力荷载对土体结构的作用,构建更适配的动态承载分析体系,为水闸运行调度与基础加固提供更可靠的技术依据。

### 6 结语

地基承载力检测技术完善,为小型水闸基础安全提供坚实技术支撑,承载机制认知、检测矛盾把握与技术体系优化,推动地基评价能力显著提升,多技术融合、智能监测和动态分析呈现系统化发展,检测结果更贴合实际工况。未来发展将在精准化与智能化间持续推进,为水闸运行管理与加固决策提供可靠依据,助力水利工程安全水平提升。

### [参考文献]

- [1]张忠义,徐文强,黄鸿洲.小型水闸地基处理及闸室稳定复核分析[J].云南水力发电,2024,40(09):97-101.
- [2]张东生,李洪涛.农田水利灌溉中小型水闸工程的施工技术与管理[J].南方农机,2025,56(14):187-190.
- [3]李华卢.小型水闸加固技术及有限元分析[J].中国新技术新产品,2024,(21):105-107.
- [4]朱升.模块化检修门在小型水闸专业维修中的应用和经济效益分析[J].治淮,2024,(05):42-43.