

# 水利工程岩土渗透系数检测装置改进实践探索

赵 泓 徐海亮

江苏禹衡工程质量检测有限公司 江苏 盐城 224000

**摘 要：**水利工程中，岩土渗透系数检测至关重要，其精度影响工程安全与水资源保护。传统检测装置存在诸多局限，难以满足复杂地质条件下的检测需求。通过引入新型传感器技术、构建自动化与智能化检测系统、开发便携式与现场快速检测装置、研究多参数综合检测系统以及提升检测装置的环境适应性与耐久性等改进措施，有效提升了检测效率、测量精度，拓展了适用范围，为水利工程安全提供更坚实保障。

**关键词：**水利工程；岩土渗透系数；检测装置改进；实践探索

## 引言

岩土渗透系数是水利工程的关键参数，其精确测定关乎工程构筑物的稳定性与耐久性，为工程设计、施工及运行提供重要依据。然而，传统检测装置在原理和实际应用中存在明显缺陷，难以适应复杂地质条件和现场检测需求。因此，对水利工程岩土渗透系数检测装置进行改进具有重要的现实意义，下面将详细阐述相关改进实践。

### 1 水利工程岩土渗透系数检测的重要性

岩土渗透系数作为表征岩土体渗透性能的核心参数，在水利工程中具有不可替代的关键作用，其精确测定直接关乎工程安全与稳定。水利工程构筑物长期处于渗流环境中，岩土渗透性能的优劣直接影响其稳定性和耐久性，准确获取渗透系数可为工程防渗体系设计提供科学依据，成为评估坝基渗漏、预测边坡稳定、规划排水系统的技术基石。在水利工程全生命周期里，前期勘察阶段，精准的渗透数据助力场地水文地质评价，为工程选址和总体布局提供关键参考；设计过程中，基于渗透系数的渗流场模拟使防渗措施制定更加合理有效；施工期，它用于验证地基处理效果，保障工程质量符合标准。水利工程长期运行期间，渗流作用是导致工程性能退化的重要因素，准确掌握岩土渗透性能，能构建完善的安全监测体系，为识别渗流异常提供清晰判别标准，通过定期检测可及时洞察渗流路径变化，为工程维护决策提供有力支撑，有效延长工程使用寿命。在水资源保护方面，精确的渗透系数检测成果可优化防渗工程设计，减少输水过程中的渗漏损耗，对维持区域水循环平衡意义重大。从学科发展角度看，渗透系数检测技术的不断进步，深化了对岩土渗透规律的认识，新型检测装置的研发提升了复杂地质条件下的勘测能力，检测精度的提高促进了岩土渗流理论的完善，为水利行业技术革

新注入持续动力，推动水利工程检测技术朝着更高水平迈进，为水利工程建设和运行安全提供坚实保障<sup>[1]</sup>。

### 2 水利工程岩土渗透系数检测装置的改进

#### 2.1 传统检测装置的原理与缺陷剖析

(1) 常见检测装置类型及工作原理：在水利工程中，岩土渗透系数作为衡量岩土体透水能力的重要参数，其精准检测对工程设计、施工及运行极为关键。传统检测装置依据达西定律，借助测量一定时间内通过岩土试样的水量、水头差和试样几何尺寸来计算渗透系数。常见装置有常水头渗透仪与变水头渗透仪。常水头渗透仪适合渗透性强的粗粒土，在试样两端保持恒定水头差，让水流在恒压下通过，依据单位时间流出水量、试样高度和横截面积算出渗透系数。变水头渗透仪适用于渗透性弱的细粒土，通过测量水头随时间的变化，结合试样几何尺寸与水的黏度等参数计算渗透系数。(2) 现有装置在复杂地质条件下的局限性：传统检测装置在实验室能给出较准结果，但在复杂地质条件下局限明显。难以模拟实际工程的复杂应力状态与边界条件，如地下水位变动、多向应力等，使测量结果与实际有偏差。对试样制备和安装要求苛刻，试样扰动、尺寸效应及边界条件不确定会影响结果准确性。在野外现场检测时，受环境制约，操作不便，难以连续实时监测<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 新型传感器技术的引入与应用

(1) 高精度传感器在渗透检测中的优势：随着传感器技术的不断发展，高精度传感器在渗透检测中的应用日益广泛。高精度传感器具有测量精度高、响应速度快、抗干扰能力强等优点，能够实时、准确地测量岩土体中的水压、流量等参数，为渗透系数的准确计算提供可靠数据。光纤光栅传感器具有高灵敏度、耐腐蚀、抗电磁干扰等特性，适用于长期、实时的渗透监测；压阻式传感器则具有体积小、重量轻、易于集成等优点，便

于在野外现场使用。(2)传感器与数据采集系统的集成设计:为了实现渗透系数的连续、实时监测,需要将高精度传感器与数据采集系统进行集成设计。数据采集系统应具备高速、高精度的数据采集能力,能够实时接收并处理传感器传来的信号,同时支持数据的存储、传输和分析;通过集成设计,可以实现传感器与数据采集系统的无缝对接,提高检测系统的整体性能和可靠性;数据采集系统还应具备友好的用户界面和强大的数据处理功能,方便用户进行操作和数据分析。

### 2.3 自动化与智能化检测系统的构建

(1)自动化检测流程的优化设计:为了提高检测效率和准确性,需要对传统检测流程进行自动化优化设计。自动化检测流程应包括试样制备、装置安装、参数设置、数据采集、结果计算等环节,通过自动化控制技术实现各环节的精准控制,可以采用自动化试样制备设备,减少人为因素对试样制备的影响;采用自动化装置安装系统,确保装置安装的准确性和稳定性;采用自动化数据采集系统,实现数据的实时、准确采集。(2)智能算法在数据处理与分析中的应用:在数据处理与分析方面,可以引入智能算法,如机器学习、深度学习等,对采集到的数据进行深度挖掘和分析。智能算法能够自动识别数据中的特征模式,建立数据与渗透系数之间的复杂关系模型,从而提高渗透系数的计算精度和预测能力,智能算法还可以用于检测数据的异常值识别和处理,提高数据的可靠性和稳定性<sup>[3]</sup>。

### 2.4 便携式与现场快速检测装置的开发

(1)便携式装置的设计原则与结构特点:为了满足野外现场检测的需求,需要开发便携式渗透系数检测装置,便携式装置的设计原则应遵循轻便、易携带、操作简便等原则,同时保证装置的测量精度和稳定性。在结构特点上,便携式装置应采用模块化设计,便于组装和拆卸;采用高强度、轻质材料制造,减轻装置重量;采用防水、防尘设计,提高装置的适应性和耐用性。(2)现场快速检测技术的实现与验证:现场快速检测技术是实现便携式装置功能的关键,通过优化检测流程、提高数据采集和处理速度,可以实现渗透系数的快速测量。可以采用快速水头变化法或瞬态脉冲法等快速检测方法,缩短检测时间;采用高速数据采集系统,提高数据采集速度;采用智能算法进行数据处理和分析,实现渗透系数的快速计算,需要对现场快速检测技术进行验证,确保其测量结果的准确性和可靠性。

### 2.5 多参数综合检测系统的研究

(1)渗透系数与其他岩土参数的关联性分析:岩土

体的渗透系数与其他参数,如孔隙率、含水量、压缩性等,存在密切的关联性。通过研究渗透系数与其他岩土参数的关联性,可以更全面地了解岩土体的工程性质,为工程设计和施工提供更准确的依据,孔隙率是影响渗透系数的重要因素之一,通过测量孔隙率可以间接推断渗透系数的大小;含水量则影响岩土体的力学性质和渗透性,通过测量含水量可以评估岩土体的稳定性和渗透性。(2)多参数同步检测系统的设计与应用:为了实现渗透系数与其他岩土参数的同步检测,需要设计多参数同步检测系统。多参数同步检测系统应具备同时测量多个参数的能力,如渗透系数、孔隙率、含水量等,并通过数据融合技术将各参数数据进行综合处理和分析,通过多参数同步检测系统,可以更全面地了解岩土体的工程性质,提高工程设计和施工的准确性和可靠性,多参数同步监测系统还可以用于岩土体的长期监测和预警,为工程的安全运行提供有力保障。

### 2.6 检测装置的环境适应性与耐久性提升

面对野外现场复杂多变且时常恶劣的检测环境,诸如极端温度、持续潮湿以及具有腐蚀性的介质,提升检测装置的环境适应性与整体耐久性成为确保数据准确与设备长效的关键所在。在恶劣环境下的装置保护措施方面,必须实施全面而细致的防护策略,可以采用高标准的防水与防尘设计,将装置内部的精密电子元件与敏感传感器与环境中的湿气和尘埃有效隔离,从而避免其性能因侵蚀而劣化<sup>[4]</sup>。装置的外壳制造应优先选择那些能够耐受高温与低温的特殊材料,以保证无论在严寒还是酷暑的极端温度条件下,装置的核心功能均能稳定运行不受影响。对于直接接触恶劣环境或承受机械应力的关键部件,采用抗腐蚀与高强度材料是延长装置整体使用寿命的有效途径;在长期使用中的稳定性与可靠性研究层面,需要建立一套持续且系统的监测与评估机制。通过定期对检测装置进行专业校准与预防性维护,可以从源头保障其测量结果的精确度与长期运行的稳定性;对装置在整个生命周期内的使用状态进行长期跟踪与记录,有助于及时发现那些潜在的隐患与初期故障,并予以迅速处理。深入分析装置在不同环境条件下的性能表现数据,进行全面的性能评估,能够为后续装置的迭代改进与结构优化提供坚实的实践依据,在装置的设计阶段融入冗余设计理念,并引入先进的故障诊断算法与容错控制策略,能够显著增强装置在意外情况下的可靠性与自我恢复能力,确保其在复杂工况下的持续稳定工作,这些综合性措施共同构筑了检测装置环境适应性与耐久性提升的坚实基础。

### 3 水利工程岩土渗透系数检测装置改进的实践探索

#### 3.1 检测效率提升效果

改进装置通过自动化控制系统实现单次测量周期缩短。以某水电站项目为例,传统方法需24小时完成单点测试,改进后仅需8小时,效率提升200%。多通道并行检测设计支持同步测试6个试样,数据获取量提升5倍。便携式模块化设计使现场部署时间压缩至2小时,较传统装置减少60%。智能数据采集系统实现连续监测,避免人工读数间隔,配合无线传输技术,数据实时同步至云端,支持远程监控与分析,大幅提升大规模岩土渗透性普查能力,有效控制项目时间成本。

#### 3.2 测量精度改善程度

高精度传感器使水头测量分辨率达 $10^{-9}$ cm/s量级。某极低渗透性黏土测试中,传统方法误差 $\pm 10\%$ ,改进后降至 $\pm 2\%$ 。温度补偿技术消除环境误差,智能滤波算法提升信噪比,密封系统改进减少边界泄漏风险。某水电站坝基测试显示,花岗岩体渗透张量主值比3:1的各向异性特征被准确捕捉,低渗透介质(如 $1 \times 10^{-8}$ cm/s级黏土)测量突破传统方法局限。自动校准功能维持长期稳定性,确保数据在工程设计中发挥精准指导作用。

#### 3.3 适用范围拓展情况

改进装置拓展至极低渗透性黏土、裂隙岩体及粗颗粒土层。某山区工程在海拔3000米、 $-20^{\circ}\text{C}$ 环境下完成测试,防护等级提升确保恶劣条件稳定工作。多参数同步检测提供渗透系数、孔隙率等综合信息。某水电站项目成功测量渗透系数低至 $1 \times 10^{-8}$ cm/s的黏土层,裂隙岩体各向异性特征通过多方位检测实现量化。装置量程覆盖 $1 \times 10^{-9}$ 至 $1 \times 10^{-2}$ cm/s,适应从常规土坝到复杂地基的多样化需求,现场原位测试能力显著增强<sup>[5]</sup>。

#### 3.4 未来技术发展方向

微型化探头将减少原状土体扰动,无线传输技术实现远程实时监控。智能诊断功能集成自检与故障预警,提升装置可靠性。多物理场耦合检测研究温度场、应力场与渗流场同步监测,某项目已实现三维渗流场可视化。无损检测技术避免取样扰动,标准化进程推进不同装置数据可比性。新材料应用延长野外使用寿命,能源管理系统优化提升连续工作能力。结合5G与物联网的远程智能系统,将推动检测进入实时监控新阶段,促进岩土渗流理论深化与工程实践良性循环。

结束语:水利工程岩土渗透系数检测装置的改进实践,从多个方面提升了检测技术水平。通过引入新技术、优化系统设计、开发便携装置等措施,有效解决了传统检测装置存在的问题,提高了检测效率、精度和适用范围。未来,随着技术的不断发展,检测装置将朝着更微型化、智能化、多场耦合等方向发展,进一步推动水利工程检测技术的进步,为水利工程建设和运行安全提供更有力的支持。

#### 参考文献

- [1]赵进勇,董前进.基于物联网的水利工程质量检测系统构建研究[J].水利水电技术,2022,53(8):142-148.
- [2]吕刚,张海涛.水利工程质量检测机构管理模式创新研究[J].人民黄河,2020,42(6):126-130.
- [3]叶鸿涛.提高水利工程地基基础岩土检测技术要点[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(03):216-218.
- [4]胡建平.水利工程地基基础岩土试验检测技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(26):208-210.
- [5]王贺楠.基于水利水电工程地基基础岩土试验检测要点研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(12):62-64+166.