

水利工程土体压实质量检测优化方法

谷存坤

鄄城县水库管理处 山东 菏泽 274600

摘要：水利工程中，土体压实质量关乎工程安全、耐久及功能实现。本文先阐述水利工程土体压实质量检测的重要性，包括保障工程安全、确保耐久性、满足功能要求等方面。接着分析影响压实质量的因素，如土体材料特性、施工工艺参数、环境条件及施工管理水平。重点提出优化检测的方法，涵盖高精度现场检测技术优化、新型无损检测技术应用、智能化分析系统构建、多方法协同检测策略以及检测流程标准化与人员培训，旨在为水利工程土体压实质量检测提供科学有效的优化途径。

关键词：水利工程；土体压实质量；检测优化方法

引言：水利工程作为国家基础设施建设的关键部分，对保障水资源合理利用、防洪减灾等意义重大。在水利工程建设中，土体压实质量是影响工程整体质量的核心要素之一。土体压实质量不佳，可能引发工程结构失稳、渗漏等严重问题，威胁工程安全运行，缩短工程使用寿命，无法满足设计功能需求。然而，当前水利工程土体压实质量检测面临诸多挑战，传统检测方法存在精度不足、效率低下等问题。因此，深入探究水利工程土体压实质量检测优化方法，成为提升水利工程建设质量、保障工程长期稳定运行的迫切需求。

1 水利工程土体压实质量检测的重要性

1.1 保障工程安全性

水利工程往往承担着防洪、灌溉、发电等重要使命，其安全性关乎人民生命财产安全与社会稳定。土体压实质量直接影响工程结构的稳定性。若压实度不足，土体内部孔隙率大，在水的侵蚀和冲刷下，易发生渗透变形，导致地基沉降、边坡失稳等问题。例如堤防工程，压实不良可能使堤身在洪水冲击下出现裂缝、滑坡，引发决堤危险。而通过严格检测压实质量，确保土体达到设计压实标准，能有效增强工程结构的整体性和稳定性，为水利工程的安全运行筑牢根基^[1]。

1.2 确保工程耐久性

水利工程通常设计使用年限较长，需长期承受自然环境与水流作用的考验。土体压实质量对工程耐久性起着关键作用。压实良好的土体，其结构紧密，能有效抵抗风化、冻融等自然因素的侵蚀。在寒冷地区，压实度高的土体可减少冻胀融沉对工程的破坏；在潮湿环境中，能降低土体因水分变化产生的收缩膨胀变形。通过精准检测压实质量，保证土体压实达标，可延长水利工

程的使用寿命，减少后期维修加固成本，使工程长期稳定发挥效益。

1.3 满足工程功能要求

不同类型的水利工程具有特定的功能，如水库用于蓄水调洪，渠道用于输水灌溉等。土体压实质量是保障这些功能正常实现的重要条件。对于水库工程，压实良好的坝体土体能有效防止渗漏，保证水库的蓄水能力；若压实不足，渗漏严重会导致水库水位下降，影响其调洪能力。在渠道工程中，合适的压实度可减少输水过程中的渗漏损失，提高水资源利用效率。通过检测压实质量，确保土体压实满足工程功能需求，使水利工程能按设计要求正常运行，发挥应有的作用。

2 水利工程土体压实质量影响因素分析

2.1 土体材料特性影响

土体材料特性是影响压实质量的内在关键因素。不同土体的颗粒组成差异显著，粗粒土颗粒较大、孔隙多，压实时颗粒间嵌挤作用强，压实特性与细粒土截然不同。土体的含水量也至关重要，存在最佳含水量，在此状态下压实，土颗粒间的摩擦力和粘聚力能较好平衡，易达到最大干密度。若含水量过低，土体松散，难以压实；含水量过高，则会出现“弹簧土”现象，同样影响压实效果。

2.2 施工工艺参数影响

施工工艺参数直接影响土体压实过程与效果。压实机械的类型、规格和性能是重要因素，不同机械产生的压实能量和作用方式不同，如振动压路机适用于粗粒土，而静碾压路机对细粒土压实效果较好。压实遍数也是关键参数，遍数不足，土体无法达到规定压实度；遍数过多，不仅浪费资源，还可能破坏土体结构。压实速

度同样不可忽视,速度过快,压实能量传递不充分,压实不均匀;速度过慢,则影响施工效率。合理选择和调整这些工艺参数,对保证压实质量意义重大^[2]。

2.3 环境条件影响

环境条件对水利工程土体压实质量有着不可忽视的作用。气温会影响土体的含水量和压实性能,在高温环境下,土体水分蒸发快,含水量降低,若不及时调整,会影响压实效果;低温时,土体中的水分可能结冰,导致土体体积膨胀,压实困难。降雨会使土体含水量急剧增加,超出最佳含水量范围,形成泥浆,无法正常压实。风力也会加速土体表面水分蒸发,造成含水量不均匀。此外,施工现场的地形地貌、地质条件等环境因素,也会给压实作业带来不同难度,进而影响压实质量。

2.4 施工管理水平影响

施工管理水平贯穿于水利工程土体压实施工的全过程,对压实质量起着保障作用。科学合理的施工组织设计能够合理安排施工顺序、资源配置和进度计划,确保压实作业有序进行。严格的质量管理体系可以明确质量标准 and 检验流程,对压实过程进行实时监控和检测,及时发现并纠正质量问题。施工人员的专业素质和责任心也至关重要,熟练的操作人员能准确执行施工工艺,保证压实参数符合要求。

3 水利工程土体压实质量检测优化方法

3.1 高精度现场检测技术优化

(1) 环刀法优化。优化可从多方面入手,选用高精度、轻便且密封性好的环刀,减少取样过程中土样水分散失。改进取样流程,规范取样位置与深度,保证所取土样代表性。同时,引入自动化称量与数据处理设备,快速准确获取土样质量与体积,结合先进算法自动计算干密度等指标。此外,定期校准环刀及相关设备,确保测量精度,通过这些优化措施提升环刀法检测水利工程土体压实质量的准确性与效率。(2) 灌砂法优化。选用粒径均匀、密度稳定的标准砂,使用前进行烘干处理,保证其含水量符合要求。改进灌砂筒设计,使其出砂流畅、均匀,减少砂量误差。在现场检测时,严格按标准挖坑,保证坑壁垂直、尺寸准确。利用电子天平精确称量砂的质量,结合数据处理软件快速计算压实度。还可采用多次检测取平均值的方法,降低偶然误差,提高灌砂法检测水利工程土体压实质量的可靠性。(3) 灌水法优化。设计更精准的储水容器与量测设备,采用透明材质并标注清晰刻度,便于准确读取水量。优化注水方式,使用细长注水管,使水能均匀缓慢充满试坑,减少气泡产生。在检测过程中,详细记录注水前后的水位变

化,利用高精度传感器实时获取数据。同时,建立完善的误差修正模型,根据土体性质、试坑形状等因素对检测结果进行校正,消除系统误差,提升灌水法检测水利工程土体压实质量的精度^[3]。

3.2 新型无损检测技术应用

(1) 核子密度仪法。核子密度仪法利用放射性同位素(如铯-137、钴-60)发射的伽马射线穿透土体,通过测量射线衰减程度计算压实密度,同时利用中子源检测含水量。其优势在于检测速度快(单点测量仅需1-3分钟)、精度高,且无需破坏土体结构,适用于大面积快速检测。但需注意放射性源的安全管理,操作人员需专业培训并严格遵守防护规范。该技术广泛应用于水利工程堤防、渠道填筑及道路路基压实度检测,可显著提升施工效率与数据准确性。(2) 瞬态瑞雷波法。瞬态瑞雷波法通过重锤冲击地面激发瑞雷波,利用其频散特性(不同频率波速对应不同深度地层)反演土体压实度。该方法通过多道检波器采集振动信号,经频谱分析生成波速-深度剖面,结合抽样点压实系数建立统计关系,最终输出三维压实度分布图。其优势在于非破坏性、检测效率高,尤其适用于复杂地质条件下的填方工程。在水利工程中,该方法可快速评估地基处理效果,为堤防、大坝填筑质量提供可靠依据。(3) 便携式落锤弯沉仪法。便携式落锤弯沉仪(FWD)通过液压系统提升落锤至设定高度自由下落,模拟行车荷载冲击,利用传感器组同步记录各测点弯沉值,形成弯沉盆曲线。其优势在于动态模拟真实交通荷载,检测结果更贴近实际工况,且测试速度快、精度高。通过反算路面结构层模量,可评估层间粘结状态及承载能力,及时发现脱空、松散等隐患。该技术广泛应用于水利工程道路、堤顶结构检测,为养护方案制定与寿命预测提供数据支持。

3.3 智能化分析系统构建

(1) 数据采集与传输系统。数据采集与传输系统依托物联网技术,通过部署在检测现场的智能传感器(如压实度传感器、含水量传感器、位移传感器等),实时采集土体压实过程中的多维度数据。数据通过无线通信模块(如LoRa、4G/5G)传输至云端服务器,支持多节点并发传输与断点续传功能,确保数据完整性和实时性。系统具备自诊断与校准功能,可自动识别异常数据并触发预警,为后续分析提供可靠数据基础。(2) 数据分析与处理系统。数据分析与处理系统采用机器学习算法与工程经验模型相结合的方式,对采集数据进行深度挖掘。通过构建压实质量预测模型,实现压实度、含水量等指标的实时反演与趋势预测。系统支持多参数关联

分析,可自动识别影响压实质量的关键因素(如碾压速度、遍数、土料含水率等),并生成优化建议。数据处理结果通过加密通道反馈至现场终端,指导施工参数动态调整。(3)可视化展示系统。可视化展示系统基于三维GIS与BIM技术,将检测数据与工程模型动态关联,生成压实质量热力图、等值线图及三维剖面图。支持多尺度展示(从全局工程到局部细节),并可通过VR/AR设备实现沉浸式巡检。系统集成智能报警功能,当压实质量不达标时,自动定位问题区域并推送处理方案。操作界面采用拖拽式设计,支持自定义报表生成与多终端(PC/平板/手机)同步访问。

3.4 多方法协同检测策略

(1)直接检测与间接检测结合。直接检测法(如环刀法、灌砂法)通过直接取样测定土体压实度,结果精准但效率低、具破坏性;间接检测法(如核子密度仪、瞬态瑞雷波法)通过物理参数反演压实质量,速度快、无损但精度受环境影响。协同策略中,先用间接法对大面积土体快速筛查,生成压实质量分布图,锁定疑似不达标区域;再针对这些区域采用直接法复核,确保结果可靠性。例如,在堤防填筑中,先用核子密度仪每50米检测一点,对压实度偏低段用灌砂法加密至10米一点。两种方法互补,既提升检测效率30%以上,又通过交叉验证将误差率控制在 $\pm 2\%$ 以内,实现质量与进度的平衡。

(2)分层检测与重点区域加密检测。分层检测需按设计层厚(如每20cm一层)逐层检测,确保每层达标。重点区域(如地基、结构物周边、边坡)因应力集中或功能关键,需加密检测:地基区域检测点间距缩小至5米,结构物周边采用三维激光扫描结合钻孔取样,边坡按不同坡度分区检测。例如,在大坝填筑中,对心墙区每层检测点数增加50%,对坝壳区采用动态圆锥贯入仪(DCP)连续检测。通过分层控制保证结构整体性,加密检测防范局部隐患,形成“全面覆盖+精准聚焦”的检测网络。

3.5 检测流程标准化与人员培训

(1)检测流程标准化。首先,制定统一的操作手册,明确检测前准备(如设备校准、场地清理)、检测中操作(如取样位置选取、数据记录方式)、检测后处理(如结果复核、报告编制)的具体步骤与质量要求。例如,环刀法检测需规定环刀切入土体的角度、速度及土

样保存条件;核子密度仪法需明确测量时间、测点间距及辐射防护措施。其次,建立流程监督机制,通过现场巡查、视频监控或数据溯源等方式,确保每一步操作符合标准。最后,定期评估流程执行效果,根据新技术应用或工程需求动态优化标准,形成“制定-执行-监督-改进”的闭环管理,保障检测结果的一致性与可靠性。

(2)人员培训与考核。理论培训涵盖土力学基础、检测方法原理、设备操作规范及安全防护知识,通过案例分析强化质量意识;实操培训在模拟场景或真实工程中开展,重点训练设备使用、数据采集与异常处理能力,如灌砂法称量精度控制、瑞雷波法波形解读。考核分为理论考试与实操评估两部分:理论考试采用闭卷形式,检验知识掌握程度;实操评估设置标准化任务(如完成指定区域的压实度检测),由专家根据操作规范性、数据准确性及问题解决能力评分^[4]。

结束语

水利工程土体压实质量检测的优化,是保障工程安全与耐久性的关键环节。通过高精度现场检测技术的改进、新型无损检测技术的引入,以及智能化分析系统的构建,检测效率与精准度得以大幅提升;多方法协同检测策略与标准化流程的实施,进一步确保了检测结果的全面性与可靠性;而专业化人员培训则为检测质量提供了坚实的人才支撑。这些优化方法相互融合、协同发力,不仅推动了水利工程检测技术的现代化转型,更为行业高质量发展筑牢了根基。未来,随着技术持续创新,检测方法将更加智能、高效,为水利工程建设保驾护航。

参考文献

- [1]严伟.水利工程土体压实质量检测优化方法[J].科技创新与生产力,2025,46(3):107-110.
- [2]张欣欣,任晓磊,王永亮,等.水利工程建设中压实质量高效检测方法对比[J].南水北调与水利科技(中英文),2024,22(1):166-174.
- [3]许丽杰.复阻抗法在水利工程土方压实质量快速检测中的适用性分析[J].水利技术监督,2025(4):217-220.
- [4]薛峰,赵盼,任泽俭.水利工程堤防质量控制与施工技术研究[J].建设监理,2021,(12):391-393.