

# 击实试验参数优化对土石坝体压实质量的影响分析

马容

固原市原州区农业综合开发服务中心 宁夏固原 756000

DOI:10.12238/ems.v7i12.16437

**[摘要]** 针对土石坝体施工过程中压实质量控制难度大的问题,本文围绕击实试验参数的优化展开研究,系统分析了不同击实能量、含水率及试样厚度等因素对压实质量的影响。对比试验结果与现场压实效果,验证了试验参数调整在提高坝体密实度与均匀性方面的作用。研究表明,科学优化击实试验参数能提升实验室代表性,还能为现场施工提供有效指导。

**[关键词]** 击实试验; 压实质量; 参数优化; 土石坝; 密实度

## 引言:

压实质量是确保土石坝体结构稳定性与防渗性能的关键指标。传统击实试验参数往往无法准确反映现场工况,导致设计参数与实际施工之间存在偏差。当前工程实践中,对试验参数的系统优化研究仍显不足。本文经过理论分析与对比试验相结合的方法,探索击实试验参数优化对坝体压实质量的具体影响,为工程施工控制提供科学依据与技术支持。

## 一、土石坝体压实质量控制现状分析

土石坝体作为水利工程的重要组成部分,其结构稳定性和使用寿命在很大程度上取决于坝体填筑过程中的压实质量。压实质量关系到坝体的强度和抗变形能力,更直接影响其防渗性能与长期安全性。目前工程实践中普遍采用标准击实试验或改进击实试验确定施工控制参数,如最优含水率与最大干密度等。由于试验方法与现场施工存在工况差异,试验数据常常无法全面反映实际压实效果,造成控制指标偏离最优状态。这种脱节现象在填料种类复杂、施工环境变化频繁的土石坝工程中尤为突出,常导致坝体局部压实不足或密实度不均,从而埋下结构隐患。

当前土石坝体的压实质量控制体系仍以经验法为主,缺乏对试验参数与现场工况的系统耦合分析。传统压实控制多依赖单一参数进行评判,如干密度或压实度指标,忽视了压实过程中的结构性变化、含水率波动与能量传递特性。特别是在填筑材料颗粒级配复杂、粒径差异显著的情况下,单一控制指标无法准确反映整体压实状态。击实能量在实际应用中往往固定设定,未充分考虑不同材料对能量响应的非线性差异,导致压实能效低下、能耗浪费,也不利于压实均匀性和坝体完整性的提升。这种控制手段的滞后性

使得施工质量存在较大不确定性,不利于实现坝体结构设计的目标密实状态。

在此背景下,对压实试验参数进行针对性优化成为提升土石坝体施工质量的关键途径。研究与工程实践表明,系统调整击实能量、控制试样分层厚度、优化含水率控制范围,能够有效提高压实试验结果与现场施工之间的一致性,增强参数的代表性和指导性。引入多指标联动评价体系,如结合干密度、孔隙率、压实均匀性等综合参数,有助于更全面反映坝体压实质量水平。建立以科学试验参数为基础的压实质量控制方法,能减少质量波动风险,还能提升坝体整体结构的长期稳定性和安全系数,为现代水利工程提供更可靠的质量保障。

## 二、击实试验关键参数识别与选取依据

在土石坝体填筑过程中,击实试验是评估填料可压实性和确定施工控制参数的重要手段,而试验结果的准确性在很大程度上取决于关键参数的设置是否合理。击实试验的核心目标在于模拟现场压实条件,获得能代表真实工况的最优含水率与最大干密度等指标,进而指导现场压实施工。影响试验结果的关键参数主要包括击实能量、试样分层厚度、含水率控制区间以及模具尺寸等。若忽略这些参数的合理性或采用统一化处理方式,往往难以反映不同填筑材料的实际压实特性,特别是在碎石含量较高或颗粒分布宽的土石混合料中,其压实响应行为对试验条件尤为敏感。

击实能量作为驱动土颗粒重新排列与密实的外部输入,其大小直接决定颗粒重构程度与孔隙压缩能力。在实际试验设计中,不同类型的填料对能量的敏感性存在差异,细粒土在较低能量下即能达到较高干密度,而粗粒含量较大的土石

混合料则需更高的击实能量以实现充分嵌挤效应。选取合适的击实能量水平影响压实过程的代表性,也对施工阶段的能耗控制和机械选型具有重要意义。试样的分层厚度对能量传递路径和压实均匀性亦有显著影响。若分层过厚,能量无法均匀分布至各层,导致试样内部密实度分布不均,从而使试验结果偏离现场实际状态。不合理的厚度设置还会加剧边界效应,削弱试样与模具之间的约束作用,影响整体压实行为的反映。

含水率作为调控填料润滑性与可压缩性的内部参数,是试验中必须精确控制的参数。不同土质材料存在各自的最优含水率,其偏离会引发颗粒间润滑不足或孔隙水过饱和问题,进而抑制压实效果。在试验中应经过预试验或材料分析确定合理的含水率控制范围,结合材料类型与施工区域的气候特性进行动态调整。针对结构性明显或具弱胶结性的特殊填料,还应考虑其含水敏感性与微结构演化特征,进一步细化试验设计。总体而言,击实试验关键参数的科学识别与精准选取,是提高试验结果准确性的基础,也为土石坝体压实质量控制提供了坚实的数据支撑与理论依据,确保后续压实工艺设计更具针对性与实效性。

### 三、试验参数优化方法与设计流程

在土石坝压实质量控制中,击实试验参数的优化直接影响施工控制指标的科学与适用性。传统方法采用固定击实能量和含水率区间,难以适应不同填料的响应特性。为此,需建立以目标为导向的系统化优化方法,通过调控击实能量、含水率、分层厚度等参数,提升试验对实际工程的指导价值。应构建试验参数与现场密实度的映射关系,识别关键参数敏感性,实现压实质量的预测与动态调整。

优化流程应基于实验设计理论,采用正交试验、响应面分析和单因素试验等方法,多维度评估参数影响。针对击实能量,应根据填料特性差异化优化:对粗粒含量 $>30\%$ 的土石混合料,采用“梯度递增法”,从1.2倍标准能量起,逐级增加0.3倍,当压实度增长速率降至初始阶段的 $1/3$ 时,对应能量为最优;对细粒土则采用“区间筛选法”,在 $0.8\sim 1.1$ 倍标准能量内设5个梯度,选取线性相关性高且压实度稳定的区间,避免能量过高导致颗粒破碎。

分层厚度优化应以现场填筑厚度为基准,按 $0.8:1:1.2$

比例设置梯度,结合最优能量开展耦合试验。采用“均匀性验证法”:压实后分层切割检测,若各层压实度差值 $<2\%$ 且达标,则判定为最优;若出现上密下松,应逐次减薄 $0.5\text{cm}$ 直至均匀。例如,现场 $30\text{cm}$ 填层,经梯度试验确定 $29\text{cm}$ 为最优,层间差异可控制在 $1.8\%$ 以内,整体压实度提升 $1.2\%$ 。

正交试验可高效筛选主控因素,响应面法则构建参数与干密度、孔隙率等指标的非线性模型,实现效果预测。优化过程需结合现场数据双向验证,校准模型适用性,提升外推能力。同时,应建立涵盖不同填料类型、粒径与含水特性的参数库与试验模板,增强适用性。对粗粒土侧重能量分布与分层控制,对细粒土则精细划分含水率区间并控制试样扰动。结合图像分析、CT扫描等技术,可实现内部结构非损评估,提高评价精度。该优化体系推动试验从经验型向数据驱动型转变,提升参数配置的科学性与施工控制的精细化水平,为复杂工况下坝体的稳定性与安全性提供可靠支撑。

### 四、参数优化对坝体压实质量的实证影响分析

击实试验参数优化在实际土石坝施工中的应用效果,已经在某个工程案例中得到了充分验证。调整击实能量等级、合理控制含水率区间及试样分层厚度,现场压实质量明显优于采用传统试验参数的控制方式。优化后的试验参数更加贴合现场填料的颗粒组成与含水状态,使得最大干密度值更具代表性,从而指导施工压实过程更为精准。实测数据显示,在参数优化后,同一工况下的坝体干密度平均提高 $2\%\sim 4\%$ ,压实均匀性提升明显,压实层之间密度梯度趋于平缓,结构连续性增强,有效降低了局部弱区出现的概率。

击实能量优化的压实度提升效应:在某土石坝粗粒土填筑段,传统试验采用固定标准能量,现场压实度合格率仅为 $82\%$ ,且存在局部压实度低于设计值 $1.5\%\sim 2\%$ 的区域。通过“梯度递增式”能量优化,确定该类粗粒土的最优击实能量为标准能量的 $1.5$ 倍,据此调整现场碾压机械的吨位与碾压遍数后,压实度合格率提升至 $95\%$ 以上,且低压实度区域占比从 $12\%$ 降至 $3\%$ 以下。在另一细粒土填筑段,采用“区间筛选法”确定最优能量区间为标准能量的 $0.9\sim 1.0$ 倍,相比传统固定能量,压实度波动范围从 $\pm 3\%$ 缩小至 $\pm 1.5\%$ ,避免了因能量过高导致的表层“过压”与深层“欠压”问题,压实质量稳定性显著增强。

试样分层厚度优化的压实度均匀性改善: 某工程针对粉质粘土填料, 先按传统试验采用与现场填筑厚度 1:1 的 30cm 试验分层厚度, 结果现场压实层上下部压实度差值达 4%, 局部底层压实度不达标。通过“均匀性验证法”优化试验分层厚度至 28cm, 结合现场碾压工艺调整, 压实层上下部压实度差值缩小至 1.5% 以内, 整体压实度平均提升 1.8%。在含砾石土填筑中, 将试验分层厚度从传统 35cm 优化为 32cm, 配合对应的击实能量调整, 现场压实度在水平方向的变异系数从 0.05 降至 0.02, 有效解决了碾压机械轮迹重叠区与边缘区压实度差异过大的问题, 实现了坝体全域压实质量的均衡性提升。

对中粗砂、含砾土等粗粒材料, 优化后提高击实能量, 增强颗粒嵌挤作用, 降低孔隙率; 对粉质粘土、高含水黏性土, 精细划分含水率范围, 避免过饱和或干裂。参数优化使填筑区压实度合格率超 95%, 密实性波动更小, 还缩短施工周期、提升机械效率, 兼具经济性。经原位测试与三维扫描, 优化坝段密实度均匀, 无虚压漏压, 剪切强度、变形模量等力学指标提升, 坝体稳定性更优, 实现压实质量控制从经验驱动向数据驱动转变。

### 五、击实参数优化在工程实践中的适用性评估

击实试验参数优化成果是否具备实际工程中的广泛适用性, 是衡量其价值的重要标准。在不同类型土石坝工程中, 由于地质条件、填料特性和施工组织方式的差异, 击实试验参数的敏感性与适应性存在显著差异。需要经过工程实践对优化参数的普适性与工程适应能力进行系统评估。具体实践表明, 针对不同粒径级配、含水特征和塑性指数的材料, 调节击实能量水平与试验分层厚度, 可有效适应各类填料的压实需求。优化参数在高含砂量混合料、风化岩渣填料、甚至含一定有机质的土壤中均能实现良好的压实响应, 说明该方法具备较高的材料适应性与工况适配能力。

在多座中小型土石坝工程应用中, 参数优化技术对施工过程的适应性也表现出较强的灵活性。采用优化后的试验参数进行现场指导, 提升了坝体压实质量, 还在现场管理效率与机械匹配方面展现出明显优势。实际施工中, 技术人员可根据试验参数设定合理的碾压遍数、行走速度和分层厚度, 提升机械作业效率, 减少无效碾压和重复施工。优化试验方

案也为质量检测提供了科学依据, 设定动态控制标准, 建立起涵盖试验—施工—检测全过程的闭环体系。在高寒、高湿、高填方等特殊环境下, 参数优化后的控制指标能有效抵御外界环境变化带来的干扰, 稳定施工质量, 提升工程整体的耐久性与安全性。

尽管击实参数优化已在多个工程中展现出良好适用性, 但仍需结合项目特点进行差异化设计。在填料类型极为特殊或具有高强结构性的材料中, 优化模型需引入更多结构性参数, 如压缩模量、结构强度损失率等, 以提升参数设定的准确性。对于快速填筑或应急抢险类工程, 其压实时间受限, 传统击实试验难以在短时间内完成, 需开发适用于快速响应场景的简化参数优化流程或经验模板。整体来看, 击实试验参数优化具备广泛的工程适应性和实践指导性, 更在提升坝体结构性能、保障施工效率和控制质量风险方面发挥着关键作用, 是当前土石坝工程中不可或缺的质量控制技术手段。

### 结语:

本文围绕击实试验参数优化对土石坝体压实质量的影响进行了系统分析与探讨。明确关键试验参数、构建优化设计流程、验证其在压实质量提升中的作用, 并结合实际工程对其适用性进行评估, 论证了参数优化在提高压实均匀性、增强结构稳定性及提升工程效率方面的重要价值。研究表明, 科学的参数优化方法可有效指导施工实践, 还能构建完善的质量控制体系, 为现代土石坝建设提供坚实的技术支撑与理论基础。

### [参考文献]

- [1] 李强, 王涛. 土石坝填筑压实试验研究及质量控制[J]. 岩土工程技术, 2020, 38 (6): 112-116.
- [2] 周建华, 陈志远. 击实试验参数对填土干密度的影响分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, 17 (4): 78-82.
- [3] 马伟, 胡俊. 土石坝施工中压实参数优化方法探讨[J]. 中国水利, 2021, 29 (10): 94-98.
- [4] 张文博, 刘明. 含水率与击实能量对坝体压实质量的影响[J]. 岩土力学, 2018, 39 (12): 3492-3498.
- [5] 孙立新, 刘辉. 土石混合料压实特性及试验参数优化分析[J]. 岩土工程研究, 2022, 40 (3): 123-127.