

水利工程施工中的土方填筑施工技术

王聪¹, 董元华², 杨靖¹, 徐狄¹, 程健涛¹

1.扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225007

2.常熟市水利工程质量监督站, 江苏 常熟 215500

DOI:10.61369/ETQM.2026010018

摘要：为有效提升水利工程土方填筑施工的总质效，降低技术应有的盲目性与低效性，推动土方开挖、填筑、压实等任务有序开展。文章运用系统性思维，借助文献资料研究等方法，总结施工经验，归纳技术规律，及时调整技术思路，确立施工原则，从基底平整、测量放线、土方开挖、土料摊铺、填筑压实等维度出发，建立完善全流程施工技术体系，旨在规范施工流程，提升土方填筑施工质量。

关键词：水利工程；土方填筑；施工技术；应用路径

Earthwork Filling and Construction Techniques in Water Conservancy Project Construction

Wang Cong¹, Dong Yuanhua², Yang Jing¹, Xu Di¹, Cheng Jiantao¹

1.Yangzhou Survey and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225007

2.Changshu Water Conservancy Project Quality Supervision Station, Changshu, Jiangsu 215500

Abstract：To effectively enhance the overall quality and efficiency of earthwork filling construction in water conservancy projects, reduce the blindness and inefficiency inherent in the technology, and promote the orderly execution of tasks such as earth excavation, filling, and compaction, this article employs a systematic thinking approach and utilizes methods such as literature review to summarize construction experiences, deduce technical patterns, promptly adjust technical strategies, and establish construction principles. Starting from dimensions such as base leveling, surveying and staking out, earth excavation, soil spreading, and filling compaction, a comprehensive full-process construction technology system is established. The aim is to standardize the construction process and improve the quality of earthwork filling construction.

Keywords：water conservancy projects; earthwork filling; construction technology; application path

前言

土方填筑作为水利工程施工体系的重要组成，是形成工程主体轮廓、保障结构承载能力与防渗性能的关键工序。施工企业应当发挥主观能动性，立足土方填筑施工的功能定位，坚持技术导向，借鉴过往有益经验，创新技术应用路径，完善技术应用体系，有效解决填筑体沉降、防渗性能不足等常见问题，旨在延长水利工程使用寿命，降低后期运维成本，保障堤坝、围堰等作用的充分发挥。

一、水利工程施工中土方填筑施工的主要原则

(一) 遵循“挖填结合”的处理思路

“挖填结合”原则的核心在于打破土方开挖与填筑的割裂状态，构建工程内部土方资源的循环利用体系，实现施工效率与资源利用率的双重提升。在具体实践中，以工程地质勘察报告为依据，结合BIM技术建立土方量可视化模型，精准计算开挖区域的土方总量、土料类型分布，以及填筑区域的土方需求总量与分

层需求。通过模型模拟优化开挖与填筑的施工时序，优先将开挖区域的合格土料直接转运至填筑作业面，减少土方的临时堆放场地占用与二次转运成本^[1]。例如，在平原区水库堤坝施工中，可同步开展堤坝基础开挖与坝体下部填筑作业，将基础开挖出的合格黏性土直接用于坝体防渗层填筑，既缩短土料运输距离，又避免开挖土料长期堆放导致的含水率变化。同时，建立“开挖-检测-填筑”的闭环管控机制，对开挖土料的含水率、颗粒级配等指标进行实时检测，确保其与填筑区域的技术要求匹配，避免因

作者简介：王聪（1987.05-），男，江苏扬州人，大专，工程师，研究方向：水利工程造价。

土料性质不符引发填筑体质量缺陷。

(二) 遵循“就近取料”的处理方式

“就近取料”原则并非单纯追求运输距离最短,而是在综合考量土料质量、开采成本、生态影响的基础上,实现技术经济性与环境友好性的平衡。施工前期,需采用无人机航拍结合实地勘察的方式,对工程周边5-10公里范围内的潜在取料场进行全面排查,重点评估取料场的土料储量、物理力学性能、开采难度及生态恢复可行性。通过建立多目标决策模型,对不同取料场的运输成本、土料处理成本、生态补偿成本进行量化分析,筛选最优取料方案。制定取料场生态保护方案,明确开采边界与开采深度,采用分层开采、及时复绿的方式,减少对周边植被与土壤的破坏,符合水利工程绿色施工的要求。

(三) 遵循“分类分层”的处理要求

“分类分层”原则是保障填筑体结构稳定性与功能可靠性的核心,需从“土料分类使用”与“分层有序填筑”两个维度协同推进。在土料分类方面,根据土料的工程特性进行精准分类,将渗透系数小于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 的黏性土用于堤坝防渗体,确保防渗性能^[2]。将级配连续、压实后孔隙率低的砂性土用于坝壳,提升坝体整体稳定性。将强度高、透水性好的碎石土用于填筑体底部或边坡护坡,增强承载能力。同时,建立土料分类存放区,设置隔离设施与标识牌,避免不同类型土料混杂。在分层填筑方面,根据土料类型与压实机械性能确定合理的分层厚度,例如,采用20吨振动压路机压实砂性土时,分层厚度控制在30-40cm。采用18吨静压压路机压实黏性土时,分层厚度控制在25-35cm。每层填筑前需进行高程复核,填筑过程中对土料含水率进行动态调整,通过洒水或晾晒使其处于最优压实含水率区间。

二、水利工程施工中土方填筑施工技术的应用路径

(一) 做好基底平整

基底平整需要以“提升基底承载能力、保障填筑体与基底结合紧密”为目标,遵循“检测-处理-平整-压实-验收”的闭环流程开展施工。首先进行基底清理与初检,采用液压反铲挖掘机配合人工清表,清除地表杂草、树根、腐殖土及建筑垃圾,清理深度根据土层性质确定:耕植土区域不小于30cm,杂填土区域延伸至原土层顶面,清表后采用动力触探法检测基底承载力,如果实测值低于设计值10%以上需要启动专项处理方案。对基底软土、淤泥层实施差异化处置,软土厚度0.5-1m时,采用“挖除-换填-压实”工艺,换填材料选用级配碎石与中砂混合料,其中低级配碎石的粒径保持5-40mm,含泥量 $\leq 5\%$ 。与中砂混合料中碎石占比40%-50%,换填深度需要超出软土边缘50cm,且垫层底面宽度按公式 $b' \geq b + 2z \tan \theta$ 计算,其中b为基础宽度,z为垫层厚度, θ 为压力扩散角,中砂垫层 θ 取 30° ,分层虚铺厚度35-40cm,采用22t振动压路机碾压6-8遍,压实度需要达到重型击实标准的94%以上^[9]。软土厚度1-3m时,采用深层搅拌桩加固,桩径500mm,桩间距按正三角形布置,桩长需要穿透软土层进入稳定土层 $\geq 1\text{m}$,固化剂选用32.5级普通硅酸盐水泥,掺量

为土重的15%-20%,28天无侧限抗压强度不低于1.2MPa,加固后基底承载力特征值需要 $\geq 150\text{kPa}$ 。基底处理完成后进行平整作业,采用PY180平地机按“由低向高、循序渐进”原则刮平,结合DSZ2水准仪实时监测高程,使基底形成2‰-5‰的排水坡度,坡向临时排水明沟。平整后采用12-15t光面压路机碾压,碾压速度2-3km/h,碾压轨迹重叠1/3轮宽,共碾压3-4遍,碾压完成后检测,压实度 $\geq 90\%$,压实度检测过程中,工作人员使用环刀法检测,为保障检测结果的准确性,应当每100m²设1个检测点,利用专业软件做好检测数据的获取、分析以及共享。如果表面平整度偏差 $\leq 50\text{mm}$,且基底无积水、无弹簧土现象方可以组织验收。

(二) 做好测量放线

测量放线需要构建“基准控制-动态监测-多级复核”的高精度体系,实现设计参数的精准传递。施工前依据《水利工程测量规范》(SL197-2013)建立控制网:平面控制网采用GNSS静态测量,选用TrimbleR12i接收机,按E级网精度布设,相邻控制点间距500-1000m,点位中误差 $\leq 20\text{mm}$,基线解算闭合差 $\leq 3\sqrt{n}\text{mm}$ 。高程控制网采用二等水准测量,使用DS05水准仪,水准路线闭合差 $\leq \pm 4\sqrt{L}\text{mm}$,水准点间距300-500m,且与平面控制点联测形成三维控制体系。测量放线实施阶段,采用全站仪结合RTK技术(定位精度 $\pm 10\text{mm} + 1\text{ppm}$)进行现场放样。填筑区域边界线采用5cm \times 5cm \times 50cm木桩标记,桩间距20-30m,桩顶钉设钢钉作为点位标志,并用红漆标注设计高程与桩号。分层高程线采用石灰粉撒设,直线段每20m设一处高程校核点,曲线段加密至10m。对于堤坝、围堰等曲面结构,采用“三维建模-加密放样-曲面拟合”技术:先通过BIM软件构建填筑体三维模型,提取曲面特征点坐标,再在现场每隔10-15m布设曲面控制点,采用全站仪采集实际坐标与设计坐标对比,偏差超出30mm时采用二次曲线插值法调整放样点位。施工过程中建立“三级复核”制度,施工班组采用5m塔尺进行初核,重点检查边界线偏差。技术部门采用水准仪与钢尺进行复核,复核频率为每填筑层不少于3次。监理单位采用GNSSRTK进行终核,对关键部位进行100%点位复测。同时引入BIM技术进行测量数据管理,将每次复核数据导入模型生成偏差分析报告,对连续3处偏差超15mm的区域,追溯测量仪器精度与操作流程,确保放线精度满足施工要求。

(三) 做好土方开挖

土方开挖需要基于“挖填匹配、质量可控、效率最优”原则,实施“分区段、分层次、分类别”开挖。开挖前结合BIM土方模型进行开挖规划,根据“挖填结合”原则划分3-5个开挖-填筑匹配单元,每个单元面积控制在5000-10000m²,通过模型计算各单元开挖量与填筑需要量,确保土方平衡偏差 $\leq 5\%$ 。同时开展土料试验,采用重型击实试验确定各土料的最大干密度与最优含水率,如砂性土最优含水率8%-12%,黏性土19%-23%,作为开挖过程质量控制依据。开挖方式按土层性质分级选择,表层松散土采用SD22推土机直接开挖,开挖深度1-2m,推运距离控制在50m以内^[14]。中层密实土采用PC200挖掘机配

合 ZL50 装载机开挖, 挖掘机斗容按土料硬度调整, 硬塑黏土选用 1.5m^3 斗, 中砂选用 2.5m^3 斗, 开挖时预留 20cm 保护层采用人工清理, 避免扰动下卧层。岩石地层采用“控制爆破-机械清渣”工艺, 浅孔爆破炮孔直径 42mm, 孔距 1.5-2m, 排距 1.2-1.5m, 孔深 2-3m, 采用 2# 岩石乳化炸药, 装药量按公式 $Q=qabH$ 计算, 其中 q 为单位炸药消耗量, 取 $0.3-0.5\text{kg}/\text{m}^3$; a 、 b 为孔距与排距; H 为孔深。爆破后采用液压锤破碎大块岩石, 确保粒径 $\leq 100\text{mm}$ 。开挖过程中实施“双控”管理, 在开挖面每 500m^2 设 1 个含水率检测点, 采用酒精燃烧法实时检测, 砂性土含水率低于 8% 时采用雾状洒水补湿, 黏性土高于 23% 时采用铧犁翻松晾晒, 晾晒深度 $\geq 30\text{cm}$, 翻松频率每 2 小时 1 次。沿开挖坡脚设置 $30\text{cm} \times 40\text{cm}$ 临时明沟, 每隔 50m 设 1 个 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1.5\text{m}$ 集水井, 采用 $100\text{m}^3/\text{h}$ 潜水泵排水, 确保地下水位低于开挖面 50cm 以上。开挖土料按“合格区-待检区-弃料区”分区堆放, 合格土料直接采用 15t 自卸车转运至填筑作业面, 转运时间控制在 2 小时以内, 避免含水率损失。不合格土料集中堆放至弃料场, 采用浆砌石挡墙防护, 并规划外运至指定填埋点。

(四) 做好土料摊铺

土料摊铺需要以“厚度均匀、含水率适配、接缝密实”为核心, 构建“预控-过程-验收”三级质控体系。摊铺前工作人员要进行参数预控, 根据压实机械性能与土料类型确定摊铺厚度, 振动压路机碾压砂性土时虚铺厚度 35-40cm, 静压压路机碾压黏性土时虚铺厚度 25-30cm, 采用白灰线划分 $500-1000\text{m}^2$ 的摊铺单元, 每个单元设置 4 个厚度控制桩, 桩顶挂设钢丝绳作为高程基准线。同时开展土料含水率调整, 采用烘干法测定进场土料含水率, 与最优含水率偏差 $\pm 2\%$ 以内方可摊铺, 偏差超出时采用“精准补水”或“翻松晾晒”处理, 补水采用洒水车匀速喷洒, 洒水量按公式 $W=\rho V(w_0-w_1)$ 计算, 其中 ρ 为土料密度, V 为摊铺体积, w_0 为最优含水率, w_1 为实测含水率。洒水后静置 2-4 小时确保水分渗透均匀。晾晒采用推土机翻松, 翻松深度 \geq 摊铺厚度, 晾晒时间根据气温调整。摊铺过程采用“梅花形布料+分层刮平”工艺, 自卸车按预设点位卸料, 卸料间距 3-4m 形成梅花形料堆, 采用 SD22 推土机推平, 推土刀倾斜角度调整为 30° , 行走速度 3-4km/h, 避免土料离析^[6]。推平后采用 PY180 平地机精平, 平整顺序为先中间后边缘, 每次刮平重叠宽度 $\geq 50\text{cm}$, 精平后采用 2m 靠尺检测平整度, 偏差 $\leq 50\text{mm}$ 。接缝处理采用“阶梯

式搭接”技术: 横向接缝处预留 1:3 坡度的阶梯, 阶梯高度等于摊铺厚度, 搭接宽度 $\geq 50\text{cm}$ 。纵向接缝采用两台推土机同步摊铺, 搭接宽度 $\geq 30\text{cm}$, 搭接区域土料含水率需要提高 1%-2%, 确保压实后接缝密实。

(五) 做好填筑压实

填筑压实需要基于“机械适配、参数优化、智能监控”原则, 实现压实质量的精准控制。压实机械选型遵循“土料适配”原则: 砂性土、碎石土选用 20-25t 振动压路机, 振动频率 30-45Hz, 振幅 1.5-2mm, 利用振动能量使土颗粒重新排列密实。黏性土选用 18-20t 静压压路机, 压实压力 200-300kPa, 通过静压力挤出土中孔隙水。软弱土料选用羊足碾, 羊足面积比 15%-20%, 利用揉搓作用增强压实效果。压实作业遵循“三先三后”流程, 先静压后振动、先慢后快、先边缘后中间。初压采用轻型压路机静压 1-2 遍, 速度 2km/h, 稳定土料表面。复压采用重型压路机振动碾压 3-4 遍, 振动压路机速度 3km/h, 轮迹重叠 1/3-1/2 轮宽。终压采用轻型压路机静压 1 遍, 速度 4km/h, 消除轮迹。压实过程引入智能监测系统: 在压路机上安装压实度传感器与 GNSS 定位模块, 实时采集压实度、振动频率、行驶轨迹数据, 通过无线传输至监控平台生成压实质量云图, 当某区域压实度低于设计值时, 系统自动报警并标记补压区域, 补压采用增加 1-2 遍振动碾压的方式处理。压实后质量检测采用“分层检测+重点抽查”模式: 常规检测采用灌砂法, 每 1000m^2 设 3 个检测点, 取样深度为压实层厚度的 2/3 处, 计算干密度与最大干密度的比值即为压实度。关键部位采用核子密度仪法进行抽查, 每 500m^2 设 1 个检测点, 与灌砂法结果对比偏差 $\leq 1\%$ 。检测合格后填写《填筑压实质量检验记录》, 不合格区域需要分析原因, 整改后重新检测, 直至达标方可进行下一层填筑。

三、结语

水利工程土方填筑施工技术的优化与应用, 是提升工程质量、保障工程安全的关键所在。文章通过梳理挖填结合、就近取料、分类分层的基本原则, 从基底平整、测量放线、土方开挖、土料摊铺、填筑压实五个环节构建技术应用路径, 细化了各环节的技术要点与质量管控措施, 形成了全流程、标准化的施工技术体系。

参考文献

- [1] 韩延春. 水利工程施工中土方填筑施工技术分析 [J]. 水上安全, 2025(11): 191-193.
- [2] 武晓毅. 水利工程施工中土方填筑施工技术要点探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(4): 30-33.
- [3] 范广超, 许占军, 郝青青. 水利工程施工中土方填筑施工技术研究 [J]. 微型计算机, 2024(7): 157-159.
- [4] 曹水秀. 水利工程施工中土方填筑技术的应用分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(17): 39-42.
- [5] 陈亮. 水利工程施工中土方填筑施工技术研究 [J]. 工程研究与实用, 2024(10): 96-98.