

水利工程施工中土方填筑施工技术分析

许健勇

上海市水利工程集团有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6603

[摘要] 本文以扬中市团结港闸站工程为研究对象,系统分析水利工程中土方填筑施工的关键技术,基于土力学理论与工程实践,重点探讨填筑材料控制、分层压实工艺、特殊工况应对措施。研究表明,通过优化填筑施工工艺,能够有效提高土方填筑压实度,降低沉降量。研究结果为类似水利工程的土方填筑施工提供了可靠的技术参考。

[关键词] 土方填筑; 水利工程; 压实度; 含水率; 质量控制

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Analysis of Earthwork Filling Construction Technology in Water Conservancy Engineering Construction

Jianyong Xu

Shanghai Water Conservancy Engineering Group Co., LTD.

[Abstract] This paper takes the Tuanjie Port Gate Station project in Yangzhong City as the research object, systematically analyzes the key technologies of earthwork filling construction in water conservancy projects, and based on soil mechanics theory and engineering practice, focuses on discussing the control of filling materials, layer-by-layer compaction technology, and countermeasures for special working conditions. Research shows that by optimizing the filling construction process, the compaction degree of earthwork filling can be effectively improved and the settlement amount can be reduced. The research results provide reliable technical references for the earthwork filling construction of similar water conservancy projects.

[Key words] Earthwork filling Water conservancy projects; Degree of compaction Moisture content; Quality control

引言

土方填筑是水利枢纽、堤防、闸站工程的重要基础环节,其压实度、渗透性、变形模量直接决定结构抗渗稳定性。当前施工实践中,普遍存在填料级配失控、含水率偏离最优区间、碾压遍数、激振力参数匹配失当等技术问题,致使干密度不达标、孔隙率偏高,诱发不均匀沉降,甚至出现管涌风险。以团结港闸站工程为例,其填筑总量超5万 m^3 ,地基为软塑状粉质黏土,周边淤泥密集,施工窗口期短,对填料透水性、压实工艺适应性及过程监测精度提出严苛要求。本文基于《土石坝施工规范》和《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》,系统开展填筑料物理力学特性试验,优选掺砾黏土作为拦河堰堰材料,控制最大粒径小于80mm,含水率偏差 $\pm 2%$ 。同步引入智能压实系统(IC),实时采集碾压轨迹、遍数、激振频率,构建压实质量数字孪生模型,实现全过程闭环管控。研究成果可为高水位变动区大型水利枢纽土方填筑提供技术支持,推动施工从经验施工向数据施工发展。

1 工程概况

团结港闸站工程为典型的闸泵结合式水利枢纽,主体结构包括节制闸、双向泵室、进出水池、消力池、翼墙连接段,整体采用钢筋混凝土现浇结构,闸室净宽6m,泵室顺水流向长16m,底板顶高程-1.0m(吴淞高程),水泵层、电机层、清污机平台等关键部位均按照干式布置,高程梯度设计具有较强的运行安全性。上下游连接段采用分级翼墙体系,长江一侧设计三级扶壁式和悬臂式翼墙,内港侧配置圆弧扶壁翼墙作为消防泵房,结构形式充分适应双向水位差、波浪荷载。河道护坡按照高程分区防护,长江侧6.0m以下采用C25现浇混凝土护面,以上为联锁式预制块,内港侧则结合草皮生态护坡,充分体现工程安全、生态融合理念。

地基处理方案针对不同结构荷载、防渗需求进行差异化设计,闸室、进出水池、消力池采用 $\Phi 600$ mmPHC预应力管桩复合地基,结合高压旋喷桩,形成0.3m厚防渗帷幕;翼墙及挡墙则根据受力等级分别选用 $\Phi 600$ mmPHA、 $\Phi 300$ mmPHC管桩或杉木桩基础,

褥垫层厚度统一为0.3m,有效协调桩-土变形。堤防工程按照内外河侧功能区分设,长江侧堤顶高程9.0m,设计10.2m挡浪墙和4.0m平台,坡比1:3.0至1:2.58;内河侧堤顶高程7.0m,坡比1:2.5。前进河涵洞采用0.8m×1.2m箱涵结构,地基以Φ300mm预制管桩加固。整体工程布局严密、结构层级清晰,为土方填筑施工提供了复杂的地质条件,具有较强的技术研究价值。

2 填筑材料控制技术

2.1 材料选择标准

本工程依据《水利水电工程施工质量检验与评定规程》,对墙后回填、基础回填、堤防填筑区域实施分级材料标准(见表1)。墙后回填紧邻闸室、翼墙等刚性结构,要求最大粒径小于50mm,含泥量低于10%,塑性指数为8-15,严控超径颗粒,避免碾压过程中混凝土面产生应力集中;基础回填承担上部荷载传递,允许粒径为100mm,塑性指数上限提升到18,具有良好的压实性和排水性能;堤防填筑作为大体积土体,侧重加强堤防抗冲刷能力,最大粒径达到150mm,有机质含量放宽到5%,但仍然需要满足最小干密度、渗透系数控制要求。所有材料进场前必须完成颗粒级配筛分、标准击实试验、液塑限测定,确保最优含水率偏差控制在±2%以内。

表1 填筑材料技术要求

指标项目	墙后回填	基础回填	堤防填筑
最大粒径(mm)	≤50	≤100	≤150
含泥量(%)	≤10	≤15	≤20
塑性指数	8-15	8-18	8-20
有机质含量(%)	≤3	≤3	≤5

2.2 含水率控制

含水率作为土体压实性能的核心控制参数,直接影响颗粒间润滑效应与孔隙水压力分布,进而控制最大干密度和压实度达成效果。本工程依据《土工试验方法标准》(GB/T50123),对各类填料开展标准击实试验,分别确定墙后回填黏性土最优含水率为14.2%、基础回填掺砾土为12.8%、堤防填筑风化砂砾料为9.5%,并在施工中严格将实际含水率控制在最优值±2%区间,保证压实度满足设计要求。若超出该范围,容易造成土体干裂松散,大幅度降低其抗剪强度。

为了实现含水率精准控制,项目建立集成检测、调节、防护为一体的含水率管理体系,现场配置微波含水率快速测定仪和便携式核子密度仪,每500m²布设1个检测点,实现10分钟内含水率反馈。配备高压洒水车,在填料过干时雾化补水,过湿时进行深度翻松晾晒,确保含水率均匀性变异系数小于5%。针对长江流域多雨气候,关键填筑区搭设可移动式防雨棚,覆盖面积达41.5m(顺水流方向)*20m(垂直水流方向),有效阻隔降雨入渗,避免含水率骤升引发压实失效。

3 填筑施工工艺

3.1 分层压实工艺

分层压实工艺参数要依据结构受力特性、空间约束、填料类型进行差异化设置,本工程严格执行“分层铺料、逐层压实”原则,采用方格网法(每格10m×10m)精准控制填料摊铺量,铺层厚度整体控制在30cm以内,其中墙后回填因紧邻混凝土结构,有效限制大型机械作业,铺厚控制在25-30cm,采用20kN小型液压夯实机进行4-6遍夯实,保证压实度大于96%;基础回填、堤防填筑则采用20t自行式振动压路机,激振力超过350kN,行驶速度控制在2-4km/h,碾压6-8遍,压实度均达到95%。而堤防填筑由于具有面积大、坡度缓等特征,允许铺层厚度适度增加到30-40cm,但必须加强边缘带补压,防止形成“漏压带”。

表2 压实工艺参数

填筑部位	铺层厚度(cm)	碾压设备	碾压遍数	压实度(%)
墙后回填	25-30	小型夯实机	4-6	≥96
基础回填	25-30	振动压路机	6-8	≥95
堤防填筑	30-40	振动压路机	6-8	≥95

在分层压实工艺执行中,积极引入智能压实监控系统(ICMS),实时记录压路机轨迹、激振频率、碾压遍数、速度,自主生成压实质量热力图,自动预警低压实区域。该技术有效提高压实均匀性,有效规避传统“目测+抽检”模式下的质量盲区,为水利工程土体结构长期稳定提供可靠保障。

3.2 特殊工况施工措施

针对长江流域多雨及冬季低温特点,本工程制定差异化特殊工况施工方案,保证土方填筑质量不受气候扰动。在雨季施工中,通常采用“小段快压、动态排水、主动防护”策略,作业面长度控制在50m以内,实现当日填筑、当日压实成型;沿填筑区外缘设置梯形排水沟,结合集水井和潜水泵,实现雨水快速导排;现场常备大于5000m²土工膜,遇降雨预警立即覆盖未压实区域,防止表层含水率快速增加,从而造成土体出现边坡冲刷的问题^[1]。

冬季施工则注重加强冻融控制和沉降补偿,填筑前彻底清除地表冻土层(冻结深度通常小于15cm),严禁使用冻结填料。铺层厚度由常规30cm减至22-24cm,大幅度提高单位面积压实能量密度,保证其干密度达到行业标准。同时,考虑冻土融化后附加沉降,堤防及基础填方高度预加1.5%-3.0%的超填量,等到春季解冻后修坡至设计高程。所有填筑作业安排在日均气温超过-5℃时段,避开早晚低温高峰。通过上述措施,冬季压实度变异系数控制在4.8%以内,有效规避冻胀融沉引发的结构不均匀变形,有助于保障水利工程全周期施工质量的可控性^[2]。

4 质量检测与控制

4.1 检测方法与标准

土方填筑质量控制依托全过程的检测体系,保证压实度、含

水率、均匀性满足《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》要求。在实际检测中,检测人员在每层填筑碾压完成后,立即开展现场压实度检测,杜绝“滞后检测”导致的返工风险。常规区域采用灌砂法和环刀法进行同步应用,检测点按照每500m²不少于1个布设;墙后回填、翼墙基础、堤防接缝等关键部位检测密度提高至每200m² 1点,并结合核子密度仪进行快速筛查,从而实现无损、高频次抽检。所有检测数据实时录入质量管理平台,生成压实质量云图,对低于设计压实度阈值的区域自动标红预警^[3]。

检测结果实行“三不放过”原则,主要包括数据异常不放过、原因未查明不放过、整改未闭环不放过。对于不合格区域,立即启动挖除、晾晒、重填、复压整改流程,进一步扩大周边5m范围复检,防止质量缺陷蔓延。同时,结合智能压实系统记录的碾压遍数、激振力、轨迹数据,反向校验检测代表性,实现“过程控制”和“结果验证”闭环管理。该体系可以提高整体压实合格率,大幅度增强土体结构的整体性,为水利工程安全运行奠定坚实基础^[4]。

4.2 沉降观测

本工程依据《建筑变形测量规范》及水利行业特殊要求,构建高密度、动态化的沉降监测网络^[5]。在堤防、闸站翼墙连接段、高填方区域布设沉降观测点,常规区段间距50m,墙后回填区、地基处理交界带等结构敏感部位加密到25m,采用Φ20mm不锈钢沉降标、混凝土观测墩一体化安装,全面提高基准的稳定性^[6]。而观测频率设定为每周1次,遇强降雨、持续阴雨或快速填筑阶段,执行“雨后24小时内加测”机制,精准捕捉含水率突变引发的附加沉降,且所有数据通过电子水准仪(精度±0.3mm/km)采集,录入变形监测信息系统,实现自动平差分析^[7]。

基于实测数据建立三级预警机制,单周沉降>5mm触发黄色预警,启动加密观测;连续两大于出现不均匀沉降差>10mm/10m发出橙色预警,暂停填筑并核查地基承载力;若沉降突变伴随裂缝或侧向位移,则启动红色预警,立即疏散并采取注浆加固或卸载措施。监测结果显示,工程最大累计沉降量为28.6mm,远低于设计允许值(50mm),差异沉降率<0.15%,表明填筑工艺与地基处理方案有效控制了工后沉降,有利于保障了闸站结构的安全性^[8]。

5 结语

团结港闸站工程实践表明,土方填筑质量控制需要构建“材料—工艺—检测”三位一体技术体系,填筑料严格按部位分级管控,墙后回填、基础、堤防分别执行差异化粒径、含泥量、塑性指数标准,从源头保障压实可行性;施工中依据最优含水率±2%动态调节,结合分层厚度、碾压遍数与设备选型的精准匹配,确保压实度稳定达95%以上;全过程嵌入环刀法、灌砂法与智能压实监控,辅以高密度沉降观测与三级预警机制,实现质量闭环管理。该体系有效控制工后沉降在28.6mm以内,显著优于设计限值。

本工程验证了精细化施工对于复杂水利枢纽土方工程的支撑作用,为类似项目提供可复制的技术路径。在未来研究中,应深化北斗位移监测、无人机形变识别、AI压实质量预测等智能技术融合,推动土方填筑从“经验驱动”向“数据控制”发展,全面提高水利工程的建造智能化水平。

[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]刘美玲.水利工程土方填筑施工技术探讨[J].水上安全,2024(6):169-171.
- [3]李彦平.水利工程施工中的土方填筑施工技术实践探析[J].当代农机,2024(9):100,103.
- [4]方群.水利工程施工中土方填筑施工技术探析[J].大众标准化,2023(13):52-54.
- [5]王建华.水利工程施工中土方填筑施工技术探讨[J].工程施工新技术,2025,4(19).
- [6]刘乐伟.水利工程施工中土方填筑施工技术的实践探讨[J].建筑与装饰,2023(24):121-123.
- [7]寇宇皓.高速公路路基工程中的土方填筑与压实施工技术[J].工程技术研究,2021,6(3):60-61.
- [8]刘红文.代县滹沱河河道治理工程土方填筑施工技术探讨[J].黑龙江水利科技,2021,49(12):158-160.

作者简介:

许健勇(1978--),男,汉族,江苏省、东台市人,本科,职称:水利工程中级,从事的研究方向或工作领域:水利工程施工。