

水利工程施工中土方填筑施工技术的应用分析

涂承阳 郭传斌

长江河湖建设有限公司 湖北 武汉 430021

【摘要】：土方填筑施工是水利工程建设中的关键环节，其施工质量直接关系到工程的结构安全与运行效益。本文以某水利枢纽工程的土方填筑施工为案例，分析了施工中的重难点，详细阐述了施工准备、测量放线、压实基底、摊铺整平、挖掘、碾压、接口处理及误差控制等技术要点，通过效果分析验证了该技术的应用价值，并提出了提高施工质量的具体措施，为类似水利工程的土方填筑施工提供参考。

【关键词】：水利工程；土方填筑；施工技术；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.25.17.020

引言

在水利工程中，土方填筑广泛应用于坝体、堤防、渠道等结构的施工，其主要作用是形成稳定的挡水或防渗结构。土方填筑施工质量的优劣，直接影响工程的抗渗性能、结构稳定性和使用寿命。随着水利工程建设标准的不断提高，对土方填筑施工技术的要求也日益严格。因此，深入研究土方填筑施工技术，优化施工工艺，加强质量控制，对于确保水利工程安全稳定运行具有重要意义。本文结合实际案例，对水利工程土方填筑施工技术的应用进行分析探讨。

1 案例分析

1.1 案例背景

某水利枢纽工程位于黄河流域，是一座以灌溉、防洪为主，兼顾发电的综合性水利工程。该工程主要由均质土坝、溢洪道、输水洞等建筑物组成，其中土坝坝长 1200m，最大坝高 45m，坝顶宽 8m，坝体采用土方填筑施工，填筑总量约 180 万 m^3 。工程区地质条件复杂，坝基土层主要为粉质黏土、砂壤土及砂砾石层，地下水位较高，平均埋深 1.5-2.5m。施工区域气候属于温带季风气候，年平均降水量 650mm，降水集中在 7-9 月，给土方填筑施工带来一定难度。工程于 2022 年 3 月开工，计划 2024 年 10 月完工，其中土方填筑施工工期为 14 个月。

1.2 水利工程土方填筑重难点

1.2.1 土料选择与处理难度大

工程所需土料量庞大，且对土料的物理力学性质要求严格，需满足压实度、渗透系数、含水率等指标。但工程周边土料场的土料性质差异较大，部分土料含水率偏高或含有过多杂质，需进行处理后才能使用。

1.2.2 施工区域条件复杂

坝基存在砂砾石层，透水性强，若处理不当易导致坝体渗漏；且地下水位高，在填筑过程中需采取有效的排水措施，防止地下水对填筑体造成破坏。坝体填筑高度大，分层多，不同层次的压实度要求不同，且受土料含水率、压实机械类型及碾

压参数等因素影响，压实质量难以均匀控制，易出现局部压实度不足的情况。

1.2.3 接缝处理要求高

坝体分段、分层填筑会产生大量接缝，若接缝处理不当，易形成渗漏通道或产生不均匀沉降，影响坝体的整体性和稳定性。

2 水利工程施工中土方填筑施工技术应用

2.1 施工准备

对工程周边的土料场进行详细勘察，确定土料的储量、分布及物理力学性质。本工程共规划 3 个土料场，其中 1#土料场主要提供砂壤土，2#土料场提供粉质黏土，3#土料场作为备用土料场。对各土料场修建运输道路，道路宽度为 6-8m，坡度不大于 8%，并设置必要的排水设施。清除坝基及填筑范围内的树木、杂草、石块、腐殖土等杂物，清理深度为 30-50cm。对清理后的场地进行平整，并用振动碾进行初步压实，压实度不小于 90%。同时，在坝基周边设置截水沟和排水沟，将地下水和地表汇水排至施工区域外。

2.2 测量放线

根据工程设计图纸和现场地形条件，布设平面和高程控制网。平面控制网采用 GPS 定位技术布设，共设置 12 个控制点；高程控制网采用水准测量布设，按二等水准测量精度要求施测，设置 8 个水准点。根据平面控制网，精确测设坝轴线的位置，并在坝轴线两端设置永久性标志。在坝轴线两侧按设计尺寸测设坝体的上下游边线，每隔 50m 设置一个边线桩，并在桩上标明填筑高程。

2.3 压实基底

清除坝基表面的浮土、杂物及软弱土层，对局部坑洼地段进行回填处理，回填材料采用砂砾石，并用振动碾压实。通过现场碾压试验，确定压实机械的类型、碾压遍数、碾压速度及铺土厚度等参数。试验结果表明，采用 18t 振动碾，碾压遍数为 6-8 遍，碾压速度为 2-3km/h，铺土厚度为 50cm 时，基底压

实度可达到95%以上，满足设计要求。碾压施工采用进退错距法，碾压方向平行于坝轴线，碾压带重叠宽度为10-20cm。碾压过程中，振动碾的行驶速度保持均匀，不得在碾压区域内急停、急转。对坝基的边角部位，振动碾无法碾压到位的地方，采用蛙式打夯机进行夯实，夯实遍数为3-4遍。碾压完成后，采用环刀法或灌砂法对基底压实度进行检测，每1000m²检测1点，检测点均匀分布。本工程基底压实度检测结果均在95%以上，符合设计要求。

2.4 摊铺整平与土料覆盖

土料运输至填筑现场后，采用推土机进行摊铺，摊铺厚度按设计要求控制，本工程每层摊铺厚度为30cm。摊铺过程中，推土机应均匀行驶，避免出现局部堆积或漏铺现象。摊铺完成后，采用平地机进行整平，使土料表面平整，坡度符合设计要求，平整度偏差不大于5cm。对于当天未碾压的土料，或在雨天停工时，需对土料进行覆盖，防止土料含水率发生过大变化。覆盖材料采用塑料薄膜或防水帆布，覆盖时应将薄膜或帆布拉紧、铺平，边缘用土压实，确保覆盖严密。

2.5 挖掘技术应用

2.5.1 砂壤土挖掘

1#土料场的砂壤土采用挖掘机配合自卸汽车进行挖掘运输。挖掘机采用反铲挖掘机，斗容为1.5m³，挖掘时按分层开挖的方式进行，每层开挖高度为2-3m。挖掘后的土料应及时运输至填筑现场，避免在料场长时间堆放。

2.5.2 粉质黏土挖掘

2#土料场的粉质黏土由于含水率较高，采用挖掘机结合爆破法进行挖掘。对于较硬的粉质黏土层，先进行爆破松动，然后用挖掘机挖掘。爆破采用浅孔爆破，炮孔深度为2-3m，孔径为50mm，装药密度为0.3-0.5kg/m。挖掘后的土料经筛分处理后，运输至填筑现场。

2.6 碾压施工

对于砂壤土填筑层，采用18t振动碾进行碾压，碾压参数为：碾压遍数6遍，碾压速度2.5km/h，振动频率28-30Hz。碾压方式采用进退错距法，碾压带重叠宽度20cm。粉质黏土填筑层采用20t振动碾进行碾压，碾压遍数为8遍，碾压速度2km/h，振动频率25-28Hz。由于粉质黏土的含水率对压实质量影响较大，碾压前需对土料含水率进行检测，若含水率高于最优含水率2%以上，需进行翻晒处理；若含水率低于最优含水率2%以下，需进行洒水湿润。碾压应从低处向高处进行，先碾压边缘，后碾压中间，确保填筑体边缘的压实质量。对于坝体与岸坡的结合部位，应增加碾压遍数1-2遍。每层碾压完成后，及时对压实度进行检测，砂壤土压实度要求不小于96%，粉质黏土压实度要求不小于97%。采用环刀法取样，每500m²检测1点，检测结果如表1所示。

表1 土料压实度检测结果表

土料类型	检测点数	设计压实度	检测结果范围	合格率
砂壤土	45	≥96%	96.2%-98.5%	100%
粉质黏土	52	≥97%	97.1%-99.0%	100%

2.7 接口处理

横向接缝采用斜坡搭接的方式，搭接长度不小于1m。在接缝处，前一层土料应挖成台阶状，台阶高度为30cm，宽度为50cm。铺土时，应将接缝处的土料压实，压实度不低于相邻部位的压实度。纵向接缝应避免在坝体中部设置，尽量设置在坝体边坡附近。接缝处采用交替填筑的方式，即先填筑一侧，待碾压密实后再填筑另一侧，两侧搭接宽度不小于0.5m。碾压时，应在接缝处增加碾压遍数1-2遍，确保接缝处压实度符合要求。

2.8 误差控制

在土方填筑施工中，误差控制是保证工程质量的重要措施，主要包括高程误差控制、平整度误差控制及压实度误差控制。每层填筑前，精确测设填筑高程控制线，并在施工过程中随时进行复核。采用水准仪对填筑高程进行实时监测，高程误差控制在±5cm以内。摊铺整平后，采用2m靠尺对土料表面平整度进行检测，平整度误差控制在5cm以内。对于超出允许误差的部位，及时进行处理。严格按照确定的碾压参数进行施工，加强对碾压过程的监督检查。压实度检测不合格的部位，应进行补压处理，直至检测合格。补压时，应适当增加碾压遍数，并分析不合格原因，采取相应的改进措施。

3 效果分析

3.1 施工质量效果

本工程土方填筑施工完成后，对填筑体的质量进行了全面检测，共检测压实度样本286个，其中砂壤土样本120个，压实度平均值为97.3%；粉质黏土样本166个，压实度平均值为98.1%，均满足设计要求，合格率为100%。对坝体进行注水试验，测得坝体的渗透系数为1.2×10⁻⁶cm/s，满足设计要求的1×10⁻⁵cm/s以下。通过设置沉降观测点，对坝体沉降量进行监测，施工完成后6个月内，最大沉降量为35mm，沉降速率逐渐减小，趋于稳定，符合设计要求。

表1 具体检测结果

检测项目	压实度		渗透系数	沉降量
检测内容	砂壤土填筑层	粉质黏土填筑层	坝体整体	坝体表面
检测数量	120个样本	166个样本	15个检测点	30个观测点

设计要求	≥96%	≥97%	≤ 1×10^{-5} cm/s	施工完成后6 个月内最大沉 降量≤50mm
实际检测 结果	平均值 97.3%，范 围 96.2%-98.5 %	平均值 98.1%，范围 97.1%-99.0 %	1.2×10^{-6} cm/ s	最大35mm，沉 降速率逐渐减 小并趋于稳定
合格率	100%	100%	100%	100%

3.2 施工进度效果

本工程土方填筑施工计划工期为14个月，实际施工工期为13个月，提前1个月完成施工任务。施工进度加快的主要原因是：合理规划施工流程，采用先进的施工设备和技术，提高了施工效率；加强各工序之间的协调配合，减少了工序衔接时间；制定了科学的进度计划，并根据实际情况及时调整。

3.3 经济效益分析

与传统土方填筑施工技术相比，本工程采用的施工技术具有显著的经济效益。通过精确的土料计算和合理的摊铺整平技术，土料利用率提高了5%，节约土料约9万m³，减少土料采购成本约45万元。采用先进的压实设备和技术，提高了压实效率，减少了碾压遍数，降低了设备能耗和维修费用，共计节约施工成本约60万元。提前1个月完成施工任务，减少了施工期间的管理费用和设备租赁费用，节约费用约30万元。综上，本工程采用的土方填筑施工技术共节约成本约135万元，具有良好的经济效益。

4 提高水利工程施工中土方填筑施工质量的具体措施

4.1 做好土方填筑施工方案的优化处理

施工方案是指导土方填筑施工的重要文件，应根据工程的实际情况进行优化。在编制施工方案时，应充分考虑工程的地质条件、土料性质、施工设备及工期要求等因素，合理确定施工流程、施工参数及质量控制标准。对关键工序和重难点部位，应制定详细的施工专项方案，并进行技术交底和培训，确保施工人员熟悉施工方案和技术要求。同时，在施工过程中，应根据实际情况对施工方案进行动态调整和优化，不断提高施工质量和效率。

参考文献：

- [1] 曹水秀.水利工程施工中土方填筑施工技术的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(17):217-219.
- [2] 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,(09):100+103.
- [3] 刘燕.水利工程施工中土方填筑施工技术分析[J].中国住宅设施,2024,(09):124-126.
- [4] 张黄兵.水利工程施工中土方填筑施工技术[J].中国住宅设施,2024,(06):160-162.
- [5] 姚晓丽,于明江.农村小型水利工程施工中土方填筑施工技术探析[J].农村科学实验,2024,(07):73-75.

4.2 分段式土方压实优化

采用分段式土方压实优化技术，将坝体划分为若干个施工段，每个施工段长度为50-100m。每个施工段内按照“摊铺-整平-碾压-检测”的流程进行施工，上一施工段完成后再进行下一施工段的施工。分段式压实可以减少不同施工段之间的相互干扰，便于集中管理和质量控制。在压实过程中，应根据各施工段的土料性质和压实情况，调整压实参数，确保各施工段的压实质量均匀一致。同时，做好施工段之间的接缝处理，确保坝体的整体性。

4.3 控制土料含水量

土料含水量是影响土方填筑压实质量的关键因素，应严格控制土料的含水量在最优含水量范围内。在土料开采、运输、摊铺过程中，应及时对土料含水量进行检测，若含水量过高，可采用翻晒、掺加干土等方法降低含水量；若含水量过低，可采用洒水湿润的方法提高含水量。洒水时应均匀喷洒，避免局部含水量过高。在碾压前，必须确保土料含水量在允许范围内，否则不得进行碾压施工。

4.4 流水化土方填筑施工作业模式

采用流水化土方填筑施工作业模式，将土方填筑施工划分为土料开采、运输、摊铺、碾压、检测等工序，各工序之间采用流水作业方式进行，形成连续的施工流程。通过合理安排各工序的施工时间和资源配置，提高施工效率，减少工序衔接时间。

5 结语

土方填筑施工技术作为水利工程建设的核心技术之一，其应用水平直接关乎工程的安全性能与综合效益。本文通过对某流域水利枢纽工程土方填筑施工的案例分析，系统梳理了施工准备、测量放线、基底压实、摊铺碾压等关键环节的技术要点，验证了科学规范的施工技术在保障压实度、控制沉降量及提升防渗性能等方面的显著成效。案例实践表明，通过优化施工方案、精准控制土料含水率、采用分段压实与流水作业模式，可实现土方填筑施工质量与效率的双重提升。未来需进一步推动智能化技术与传统施工工艺的融合，利用BIM技术构建填筑全过程数字模型等，通过技术创新突破传统施工的瓶颈。为水利工程土方填筑施工的高质量发展提供持续动力，助力水利事业在防洪减灾、水资源调配等方面发挥更重要的作用。