

基于“数字化+”的弃渣场施工工法

陈登登

浙江省围海建设集团股份有限公司 浙江 宁波 315103

摘要：随着水利水电工程建设的快速发展，弃渣场的精细化施工成为确保工程质量和环境保护的关键环节。本文提出了一种基于“数字化+”的弃渣场施工工法，通过数字化施工管理平台对推土机和压路机进行实时监控，结合水土保持措施，实现了弃渣场施工工艺的创新。该工法不仅克服了施工中的质量、安全和环保难题，还保证了弃渣场的长期稳定，提高了复耕率和环境保护效果。

关键词：弃渣场；数字化；施工工法

引言：近年来，水利水电工程建设投资大、项目多，施工中往往产生大量弃渣。弃渣场的填筑和水土保持工作对于防止水土流失、扬尘、塌陷等潜在危害至关重要。特别是在当前全球气候变化和环境保护意识增强的背景下，如何实现弃渣场的精细化施工成为亟待解决的问题。通过引江济淮等工程的实践，我们总结出了基于“数字化+”的弃渣场施工工法。该工法通过建立数字化施工管理平台，对推土机和压路机进行实时监控，实现了高精度、快速的整平和压实作业，并结合水土保持措施，显著提升了施工效率和环境保护效果。

1 “数字化+”的弃渣场施工工法的特点

一是施工机械“数字化+监控”：通过安装数字化监控系统，实现对推土机和压路机的实时监控，确保整平和压实作业的精度和效率，缩短工期。二是“数字化+施工工艺”：在设计表面复杂的情况下，实现昼夜施工，快速、精确作业，避免返工，提高工作效率。三是“数字化+环保”：采用传感技术，对工区旱涝、扬尘等情况进行智慧监管，提前预警，及时响应。四是“数字化+无人机”：利用无人机定时定轨迹巡航拍摄和边坡监测点位实时跟踪，及时掌握渣场数据，保证渣场长期稳定。五是数字化施工管理：提高施工管理效率，实现弃渣场施工管理的“一目了然”。本工法适用于弃渣场等级3级及以上弃渣场。

2 “数字化+”的弃渣场施工工法的工艺原理

“数字化+”弃渣场施工工法通过整合数字技术与环保措施，实现了弃渣过程的高效与环保。该方法首先将弃渣场表土按区域剥离，并采取临时水土保持措施。弃渣作业前，在坡脚设置挡渣土堤，并构建梯形排水沟、沉砂池及梯级跌水系统，确保排水顺畅。施工过程中，采用分层填筑法，并利用数字化监控系统实时监测和调整渣土的平整度和压实度，确保施工精度。完成弃渣后，对马道、边坡和顶部进行表土覆盖，并设置截排

水设施。随后，使用北斗智能农机和无人机进行复耕和草籽播种，同时在关键区域种植植被，以增强生态恢复^[1]。为维持新植植被的生长，沿运输线路安装智能喷灌系统，根据土壤湿度自动调节灌溉，既节水又防尘。最后，通过无人机巡航拍摄和现场实时监控，确保弃渣场的长期稳定与安全。该工法不仅提升了施工效率和质量，还显著增强了环境保护效果，为水利水电工程的可持续发展提供了有效支持。通过数字化与环保技术的融合，实现了弃渣场施工管理的现代化与精细化。

3 “数字化+”的弃渣场施工工艺流程及操作要点

3.1 施工工艺流程

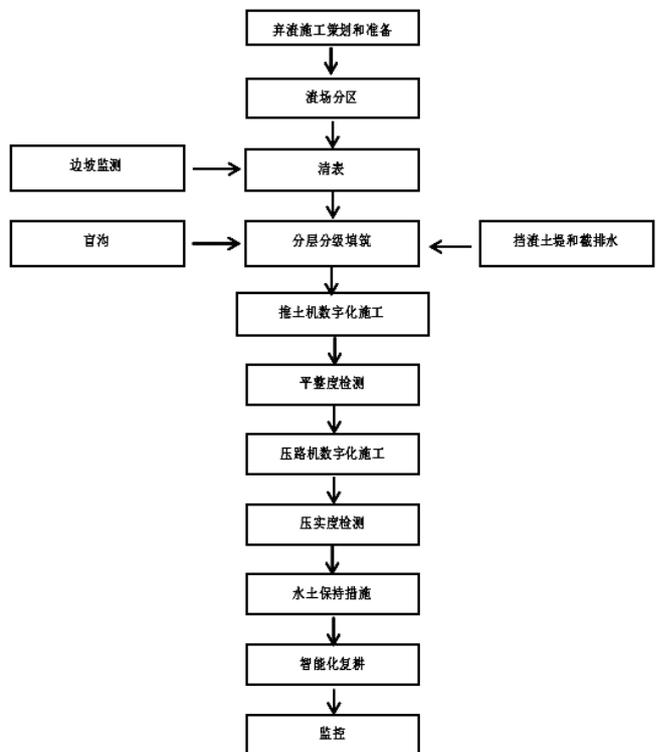


图1 弃渣场弃渣施工工艺流程

3.2 操作要点

3.2.1 施工前期筹划

深入研读弃渣场的施工图纸，清晰界定施工范围与内容，并开展现场勘查，掌握地形地貌特征，评估施工环境。运用无人机航拍技术，全面排查周边水系与潜在积水区域，预先规划排水系统，确保施工区域的有效排水与防渗^[2]。对施工机械操作人员进行数字化监控系统的专业培训，确保他们熟悉并掌握系统操作。

3.2.2 表土剥离与环保处理

鉴于弃渣场范围广阔，表土剥离工作采取区域轮换策略，即先将A区表土移至B区暂存，待A区弃渣完成后，再将B区表土（含暂存土）移至A区顶部堆存，以此类推。此策略旨在减少土方重复搬运，同时辅以临时水土保持措施，旨在实现环保、降尘及水土保持的多重目标，确保后续施工流程顺畅进行。

3.2.3 分层填筑与排水构建

遵循“先防护后弃渣”的原则，利用挡渣土堤拦截坡脚，并沿其外侧构建梯形排水沟、沉砂池及梯级跌水设施，确保边坡稳固。依据设计，铺设盲沟以引导水流，随堆区扩展适时扩展排水系统，构建内部排水网络。填筑作业严格分区进行，底层铺设石渣，中层填充轻粉质壤土与砂壤土，顶层则覆盖重粉质壤土，每层填筑厚度控制在1米以内，经检测合格后方可继续。

3.3 机械数字化施工

3.3.1 推土机数字化施工

推土机智能化整平作业

推土机装备了先进的集成控制系统，该系统融合了GNSS三维定位技术、角度传感、旋转传感、系统控制单元及无线通讯模块。施工过程中，系统通过铲刀上的GNSS接收器精确定位整平作业的高程与三维坐标。操作员在驾驶舱内，通过平板电脑载入设计蓝图，系统即时比对机械当前位置与设计位置，自动调整铲刀角度与高度至预定高程，实现无标记精准整平，确保施工满足设计标准。施工数据实时上传至云端管理平台，便于远程监控与质量追溯。此智能化系统能在无实体标记的环境下作业，即便面对复杂地形，也能昼夜不间断施工，确保整平精度，减少返工，显著提升作业效率。

实时平整度监控

整平作业完成后，采用综合监测手段确保施工质量。除参考机械作业横截面信息及传统靠尺检测外，现场配备测量人员，手持集成PDA与GNSS天线的移动设备，对作业面进行实时平整度检测。通过数据分析，迅速识别并调整作业参数，确保整平效果达到设计预期，

维持施工高标准。

3.3.2 压路机数字化施工

精准碾压

在确认平整度达标后，采用22吨压路机实施分层碾压，每层厚度严格控制在1米以内。压路机配备了先进的智能压实系统，集成GNSS接收机、数据传输电台、滚轮压实度传感器、驾驶室显示器及无线通讯集线器。GNSS接收机精准定位压路机位置，结合车身几何参数，实时计算压实轮下的高程，确保碾压精度。通过GPS卫星与基站差分信号，系统实现厘米级定位，记录压路机运动轨迹，结合滚轮宽度，将线性轨迹转化为平面图形，直观展示碾压遍数与轮迹。驾驶室内控制器实时显示作业参数，如速度、轨迹、搭接、遍数及压实度，辅助驾驶员高效、精准作业，避免漏压或过压，提升压实质量与效率。

压实度实时监测

系统利用滚轮加速度信号分析压实效果，不同压实状态下，振动轮垂直加速度谐波分量呈现特定规律。通过在滚轮轴承安装压实度传感器，实时采集加速度信号，分析加速度幅值与动态响应，间接评估压实层承载力，经算法处理得出CMV（压实计值）。平板电脑直观展示CMV，指引驾驶员判断当前压实质量，确保土方压实度不低于0.88，保障压实作业达标。

3.3.3 水土保持措施

在弃渣作业完成后，随即对边坡、马道及顶部区域进行细致的修整工作。为恢复土壤结构，采用前期剥离并妥善保存的表土进行覆盖，覆盖层厚度确保达到50厘米以上，以促进植被的自然恢复。同时，在马道内侧设计并浇筑矩形现浇混凝土截水沟，有效拦截并引导地表径流^[3]。

3.3.4 智能化在覆土作业完成后

引入配备“北斗导航系统”的旋耕机，依据预先规划的路径进行精准耕作，确保土地得到均匀翻松。随后，利用先进的播种无人机，沿预设技术路线匀速飞行，将草籽精准且均匀地播撒在复耕地表。这种无人机播种方式不仅大幅降低了人力成本，提高了工作效率，而且保证了草籽分布的均匀性，为种子根部提供了良好的通风条件，从而显著提升了草籽的出苗率和成活率。

3.3.5 智能化喷灌系统和喷淋感应

在复耕区域沿运输线路安装了智能喷灌系统和喷淋感应装置，该系统集成了土壤湿度监控模块，能够实时感知土壤水分状况。一旦土壤湿度低于预设阈值或检测到扬尘风险，系统将自动触发报警并启动灌溉或喷淋，实现智能化开关控制。这一创新设计不仅确保了草籽萌

发与苗木生长所需的水分供应,有效促进了水土保持,还通过及时降尘维护了良好的空气质量。此外,该系统还保障了绿化成果的持久性,提高了苗木移植后的成活率。

3.4 综合监测与预警响应机制

弃渣作业期间,需密切关注高边坡稳定性、场地不均匀沉降、排水效能、季节性水情变化及场内道路状况等关键问题,确保问题早发现、早预防、早处理。为此,我们采用无人机定时定航线巡航与地面监控系统相结合的方式,构建全天候、立体化的监测网络。无人机定期按预定轨迹飞行,通过对比历史数据,及时发现潜在风险;地面监控系统则实时捕捉现场动态,实现不间断监控。同时,结合人员定期现场巡护,对监测数据进行综合分析,及时汇总报告,对发现的任何异常立即发出预警,并启动相应整改措施,确保弃渣场处于持续稳定状态。通过这一综合监测与预警响应机制,我们能够有效应对各类潜在问题,保障弃渣作业的安全进行及弃渣场的长期稳定性。

4 “数字化+”的弃渣场施工的质量、安全、环保措施及效益分析

在弃渣场施工中,严格遵循质量控制标准,包括精确控制表土剥离厚度、分级分层填筑、数字化监控施工设备平整度与压实度、确保压实数据符合规范以及实施有效的水土保持措施。为保证施工质量,采取了多项质量保证措施,如技术交底、设备维护、实时数据监控与分析等。推土机与压路机均配备了先进的数字化施工监控系统,实现自动驾驶、实时监控与数据分析,确保施工精度与效率。同时,我们采取逐层排水与分区填筑策略,减少积水影响,并严格执行水土保持措施。在安全措施方面,确保机械操作人员持证上岗,设备状态良好,夜间施工照明充足,并有专人指挥与巡视,确保施工安全^[4]。

5 应用实例

5.1 淠河总干渠(九里沟—青龙堰)东部新城段水利综合治理工程

淠河总干渠(九里沟—青龙堰)东部新城段水利综合治理工程PPP项目一期工程,涵盖了山源河综合整治与淠河总干渠渠系完善两大板块。其中,山源河综合整治工程通过精确复核工程边界,有效排除了小高堰黑臭水体治理区域,对全长约26.949公里的河道进行了拓宽处理,

并优化了部分急弯河段的转弯半径。面对项目范围广、土方回填量大的挑战,我们成功应用了《弃渣场数字化施工工法》,显著缩短了工期,确保了渣场的稳定性,提升了项目整体效益。该工法通过数字化施工手段,实现了施工过程的可视化与现代化管理,有效推动了环保与生态环境的数字化实施,构建了一个跨专业的数字化施工体系,展现了强大的适用性和广阔的推广应用前景。

5.2 引江济淮工程(安徽段)江淮沟通段施工J007-2标

引江济淮工程(安徽段)江淮沟通段施工J007-2标,位于江淮分水岭以南,全长2.4公里,主要涵盖河道土石方开挖、崩解岩边坡防护、新建管护道路、连通渠及控制闸建设、弃渣场水土保持等工程内容。该标段弃渣场地形复杂,地势中间高四周低,高程范围在45.0至65.0米之间,总面积达511万平方米,需处理弃渣土石方总量近1870万立方米,设计平均堆高6.4米,边坡坡比为1:3。面对如此艰巨的任务,我们采用了《弃渣场数字化施工工法》,有效提升了施工速度与质量,实现了资源与能源的节约,显著提高了经济效益。该工法通过数字化的施工监控,使得弃渣、绿化及环境水土保持等施工环节实现了数字化管理的飞跃,为类似大型水利工程的施工管理提供了宝贵的经验与示范。

结语

基于“数字化+”的弃渣场施工工法通过数字化施工管理平台和实时监控系统,实现了弃渣场施工的高精度、高效率 and 环境保护。该工法不仅克服了施工中的质量、安全和环保难题,还提高了施工效率和环境保护效果,具有较强的适用性和推广应用前景。未来,该工法将在更多水利水电工程中得到广泛应用,为工程建设和环境保护作出更大贡献。

参考文献

- [1]李坚.水利工程数字化与智能化发展趋势研究[J].东北水利水电,2024,42(11):64-67.
- [2]周演腾.水利工程建设中数字化管理技术应用探讨[J].水上安全,2024,(13):47-49.
- [3]王良泽南.水利工程数字化与智能化发展趋势研究[J].长江工程职业技术学院学报,2023,40(03):75-78.
- [4]王舒,孟舒舒,夏凤霞,等.计算机与数字化技术在水利工程中的应用[J].电子技术,2023,52(07):145-147.