

智能无人碾压技术在土石坝施工中的应用研究

吉 莉

河南省水利第二工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：本文围绕智能无人碾压技术在土石坝施工中的应用展开深入探讨。首先阐述了智能无人碾压技术的内涵与发展现状。接着详细论述了该技术在土石坝施工中的具体应用，同时，通过实际工程案例分析，进一步验证了智能无人碾压技术在提高施工效率、保证施工质量、降低施工成本和提升施工安全性等方面的显著成效。旨在为推动该技术在土石坝施工领域的广泛应用提供理论参考和实践指导。

关键词：智能无人碾压技术；土石坝施工；施工效率；施工质量

1 引言

土石坝作为水利工程中常见的一种坝型，具有取材方便、适应性强、造价较低等优点，在国内外水利工程中得到了广泛应用。然而，土石坝的施工质量直接关系到工程的安全性和稳定性，而碾压施工是土石坝施工中的关键环节，其施工质量对坝体的密实度、抗渗性和强度等性能指标有着重要影响。传统的土石坝碾压施工主要依靠人工操作碾压设备，存在劳动强度大、施工效率低、质量控制难度大、安全隐患多等问题。随着信息技术的飞速发展，智能无人碾压技术应运而生，该技术融合了自动化控制、传感器技术、卫星定位技术、人工智能等多种先进技术，能够实现碾压设备的自主导航、自动碾压、实时监测和智能决策，为土石坝施工带来了新的变革和发展机遇。因此，深入研究智能无人碾压技术在土石坝施工中的应用具有重要的现实意义。

2 智能无人碾压技术概述

2.1 智能无人碾压技术的内涵

智能无人碾压技术是指利用先进的传感器、控制器、执行器和通信技术，使碾压设备能够在无人干预的情况下，按照预设的施工参数和路径，自动完成土石坝的碾压作业，并实时反馈施工过程中的各种信息，实现施工过程的智能化、自动化和精准化控制。该技术主要由无人碾压设备、智能控制系统、通信网络和施工管理平台等部分组成。

2.2 智能无人碾压技术的发展现状

近年来，智能无人碾压技术在国内外得到了广泛关注和研究。国外一些发达国家在工程机械智能化领域起步较早，已经取得了一系列重要成果，部分智能无人碾压设备已经在一些大型土石坝工程中得到了应用。例如，美国卡特彼勒公司研发的智能无人压路机，具备高精度的定位和导航功能，能够实现复杂地形条件下的自

动碾压作业。国内在智能无人碾压技术方面的研究也取得了显著进展。一些科研机构和企业加大了对该技术的研发投入，开展了大量的试验和工程应用研究。例如，中国水利水电科学研究院等单位在南水北调等重大水利工程中开展了智能无人碾压技术的试点应用，取得了良好的效果。同时，国内的一些工程机械制造企业也积极推出了具有自主知识产权的智能无人碾压设备，推动了该技术的产业化发展。

3 智能无人碾压技术在土石坝施工中的具体应用

3.1 施工前的准备工作

3.1.1 施工场地规划

在施工前，需要对土石坝施工场地进行详细的勘察和规划，确定碾压作业的区域、边界和障碍物位置等信息。利用三维激光扫描、无人机航拍等技术获取施工场地的地形地貌数据，建立高精度的数字高程模型（DEM），为智能无人碾压设备的路径规划和导航提供基础数据支持。

3.1.2 设备选型与调试

根据土石坝的工程规模、填筑料特性、设计要求等因素，选择合适的智能无人碾压设备。目前，常见的智能无人碾压设备主要包括无人压路机、无人振动碾等。在设备进场后，需要对其进行全面的调试和校准，确保设备的各项性能指标符合施工要求^[1]。同时，对智能控制系统进行参数设置和测试，使其能够与碾压设备实现稳定、可靠的通信和控制。

3.1.3 施工参数确定

结合土石坝的设计要求和填筑料的物理力学性质，通过室内试验和现场碾压试验，确定合理的碾压施工参数，如碾压设备的行驶速度、碾压遍数、振动频率、振幅、铺料厚度等。这些参数将作为智能无人碾压设备自动作业的依据，确保施工质量达到设计标准。

3.1.4 人员培训

虽然智能无人碾压技术实现了施工过程的自动化和智能化,但仍然需要专业的技术人员进行设备的操作、维护和管理。因此,在施工前需要对相关人员进行系统的培训,使其熟悉智能无人碾压设备的结构、性能、操作方法和维护要点,掌握智能控制系统的使用方法和数据处理技能,提高人员的业务水平和应急处理能力。

3.2 施工过程中的控制要点

3.2.1 路径规划与导航

智能无人碾压设备通过卫星定位系统(如GPS、北斗等)和惯性导航系统(INS)实现高精度的定位和导航。在施工前,根据施工场地的地形地貌和施工要求,利用路径规划算法为碾压设备规划最优的碾压路径,确保设备能够按照预定的路线进行自动行驶和碾压作业。在施工过程中,智能控制系统实时监测碾压设备的位置和行驶方向,通过与预设路径的对比分析,自动调整设备的行驶轨迹,保证碾压作业的准确性和均匀性。

3.2.2 施工参数实时监测与调整

智能无人碾压设备配备了多种传感器,如压力传感器、加速度传感器、位移传感器等,能够实时监测碾压设备的行驶速度、碾压压力、振动频率、振幅等施工参数。智能控制系统对传感器采集到的数据进行分析处理,并与预设的施工参数进行对比^[2]。当发现实际施工参数与预设参数存在偏差时,系统自动调整碾压设备的工作状态,使其恢复到最佳施工参数范围内,确保施工质量稳定可靠。

3.2.3 施工过程协同控制

在土石坝施工中,往往需要多台智能无人碾压设备同时作业。为了实现各设备之间的协同配合,避免相互干扰和碰撞,需要建立智能协同控制系统。该系统通过无线通信网络实现各设备之间的信息共享和交互,根据施工进度和设备状态,动态调整各设备的作业任务和行驶路径,确保整个施工过程有序、高效地进行。

3.2.4 异常情况处理

在施工过程中,可能会遇到各种异常情况,如设备故障、恶劣天气、地质灾害等。智能无人碾压设备具备故障诊断和预警功能,能够实时监测设备的运行状态,当发现设备出现故障或异常时,及时发出警报信号,并将故障信息传输到施工管理平台。同时,智能控制系统根据预设的应急预案,自动采取相应的措施,如停止设备运行、切换到备用设备等,确保施工安全。对于恶劣天气和地质灾害等不可抗力因素,施工管理平台能够及时获取相关信息,并通知现场人员采取相应的防护措施,

必要时暂停施工。

3.3 质量检测与评估

3.3.1 实时数据监测与分析

智能无人碾压技术在施工过程中能够实时采集大量的施工数据,包括碾压设备的行驶轨迹、施工参数、压实度等。通过施工管理平台对这些数据进行实时监测和分析,可以及时发现施工过程中存在的质量问题,并采取相应的措施进行调整^[3]。例如,通过分析压实度数据,可以绘制压实度分布云图,直观地显示坝体各部位的压实情况,对于压实度不足的区域,及时安排补充碾压。

3.3.2 质量检测方法创新

传统的土石坝压实质量检测方法主要依靠人工取样和室内试验,存在检测频率低、代表性不足等问题。智能无人碾压技术的应用为质量检测方法带来了创新。例如,可以利用基于振动波的压实度检测技术,通过在碾压设备上安装振动波传感器,实时监测碾压过程中振动波的传播特性,根据振动波参数与压实度之间的关系,快速、准确地评估坝体的压实质量。此外,还可以结合无人机航拍、三维激光扫描等技术,对坝体的表面平整度、高程等几何参数进行快速检测,为质量评估提供更全面的数据支持。

3.3.3 质量评估体系建立

建立科学合理的土石坝施工质量评估体系是保证工程质量的重要环节。在智能无人碾压技术应用的基础上,综合考虑施工过程中的实时数据、质量检测结果以及工程的设计要求等因素,制定详细的质量评估指标和标准。通过构建质量评估模型,对土石坝的施工质量进行定量评估,为工程验收和运行管理提供依据。

4 工程案例

4.1 工程概况

某大型土石坝工程,坝高120m,坝顶长度800m,坝体填筑量约为500万m³。该工程地处山区,地形复杂,施工场地狭窄,对施工质量和安全要求较高。为了提高施工效率、保证施工质量、降低施工成本和提升施工安全性,该工程引入了智能无人碾压技术进行坝体填筑碾压施工。

4.2 智能无人碾压技术应用情况

4.2.1 设备选型与配置

根据工程特点和施工要求,选用了6台无人振动碾和4台无人压路机组成碾压作业机组。无人振动碾主要用于坝体主堆石区和过渡区的碾压作业,无人压路机则用于坝顶和边坡等部位的精细碾压。所有设备均配备了高精度的卫星定位系统、惯性导航系统、多种传感器和智能

控制系统,实现了设备的自动化、智能化作业。

4.2.2 施工过程控制

在施工前,利用三维激光扫描和无人机航拍技术对施工场地进行了详细勘察,建立了高精度的数字高程模型,并根据设计要求进行了碾压路径规划。在施工过程中,通过智能控制系统对碾压设备的行驶速度、碾压遍数、振动频率等施工参数进行实时监测和调整,确保每一处填筑料都能得到均匀、充分的碾压。同时,利用智能协同控制系统实现了多台设备之间的协同作业,避免了设备之间的相互干扰和碰撞。

4.2.3 质量检测与评估

施工过程中,利用基于振动波的压实度检测技术对坝体的压实质量进行了实时监测,并结合人工取样和室内试验进行了验证。通过施工管理平台对采集到的数据进行分析处理,及时发现了部分区域压实度不足的问题,并安排了补充碾压。工程完工后,对该土石坝进行了全面的质量检测,结果表明坝体的压实度、抗渗性、强度等性能指标均达到了设计要求,且施工质量均匀性良好。

4.3 应用效果分析

与传统碾压施工相比,智能无人碾压技术的应用使施工效率提高了约30%。由于智能无人碾压设备能够24小时不间断作业,且施工参数控制精确,减少了施工过程中的停顿和等待时间,大大缩短了工期。通过实时监测和智能调整施工参数,智能无人碾压技术确保了坝体填筑料的压实质量均匀、稳定。质量检测结果表明,坝体的压实度合格率达到98%以上,且未出现明显的欠压、过压等质量问题,有效提高了坝体的安全性和稳定性。虽然智能无人碾压设备的购置成本较高,但由于施工效率提高、工期缩短,减少了人工投入和设备租赁时间,同时施工质量保证减少了返工和维修的可能性。智能无人碾压技术的应用使操作人员远离了施工现场的危险区域,避免了与大型机械设备的直接接触,有效降低了安全事故的发生概率。在整个施工过程中,未发生任何人员伤亡和重大设备损坏事故,保障了施工人员的安全和工程的顺利进行。

5 智能无人碾压技术在土石坝施工中的发展趋势

5.1 技术集成化程度不断提高

未来,智能无人碾压技术将进一步与物联网、大数据、云计算、人工智能等新兴技术深度融合,实现技术集成化程度的不断提高。例如,通过物联网技术实现碾压设备与施工管理平台、其他施工设备之间的实时信息交互,构建更加智能化的施工生态系统;利用大数据和云计算技术对施工过程中产生的大量数据进行深度挖掘和分析,为施工决策提供更加科学、准确的依据;借助人工智能技术实现碾压设备的自主决策和智能优化,进一步提高施工效率和质量。

5.2 设备智能化水平持续提升

随着传感器技术、控制技术和材料技术的不断发展,智能无人碾压设备的智能化水平将持续提升^[4]。未来的智能无人碾压设备将具备更强的环境感知能力、自主决策能力和自适应能力,能够根据不同的施工条件和任务要求,自动调整工作状态和施工参数,实现更加高效、精准的碾压作业。同时,设备的可靠性和稳定性也将得到进一步提高,降低设备故障率,减少维护成本。

结语

智能无人碾压技术是土石坝施工领域的重大创新,可提高效率、保障质量、降低成本、提升安全性。随着信息技术发展,该技术将向集成化、智能化程度更高迈进。未来应积极推广应用,加强研发创新,完善工艺与管理,推动土石坝施工现代化智能化。同时,要关注数据、网络及人机协同等新问题并妥善应对。

参考文献

- [1]薛小伟,董书礼,何玉虎.数字化大坝智能碾压监控系统在抽水蓄能电站的应用[J].云南水力发电,2024,40(01):144-148.
- [2]李生.智能碾压系统在竹寿水库堆石坝填筑中的应用[J].陕西水利,2023,(06):113-115.
- [3]齐英宝,贾万斤.智能碾压监测系统在洼地水库砂砾石坝填筑中的运用[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2022年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).阿克苏地区水利建设发展与质量安全中心;云南建投第一水利水电建设有限公司;2022:474-476.
- [4]王梵鹏.数字化智能碾压系统在抽水蓄能电站中的应用[J].中国战略性新兴产业,2022,(36):107-109.