

沥青路面施工中激光扫描与智能摊铺碾压技术的应用研究

刘柳岸, 陈铭辉

(广东冠粤路桥有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 围绕肇庆市金利大道沥青混凝土施工, 评估了3D激光扫描技术以及智能摊铺与压实技术的实际应用效果, 旨在提升施工精度、质量和效率, 并降低后期维护成本。结果表明, 3D激光扫描技术在施工规划和质量评估中发挥了重要作用, 但在标高精度方面仍需改进, 不能替代水准仪测量。智能摊铺技术通过实时数据监控和参数调整, 优化了施工流程, 提高了路面的平整度和压实度。

关键词: 道路工程; 3D激光扫描技术; 智能摊铺压实技术; 道路施工; 质量提升

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Application Research of Laser Scanning and Intelligent Paving and Compaction Technology in Asphalt Pavement Construction

LIU Liu'an, CHEN Minghui

(Guangdong Guangyue Road & Bridge Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China)

Abstract: This study focuses on the asphalt concrete construction of Jinli Avenue in Zhaoqing City, evaluating the practical application effects of 3D laser scanning technology and intelligent paving and compaction technology, in order to enhance construction accuracy, quality, and efficiency while reducing post-maintenance costs. The results indicate that 3D laser scanning technology played a crucial role in construction planning and quality assessment; however, it still required improvement in elevation accuracy and cannot replace leveling instruments. Intelligent paving technology optimized the construction process through real-time data monitoring and parameter adjustments, improving the pavement's smoothness and compaction.

Key words: road engineering; 3D laser scanning technology; intelligent paving and compaction technology; road construction; quality improvement

随着城市化进程的加速, 交通基础设施建设的重要性愈加突出。作为连接城市与乡村、推动经济发展的关键纽带, 道路工程的质量直接影响区域经济的繁荣和人们的生活质量。近年来, 沥青混凝土路面凭借其平整度高、强度大、耐久性好, 成为公路建设中的首选材料, 而传统施工工艺往往无法应对复杂地质条件和高标准质量要求。因此, 创新施工工艺以提升沥青混凝土路面的施工质量和效率, 成为当前工程技术人员关注的焦点。

本研究以肇庆市金利大道为案例, 研究3D

激光扫描技术、智能摊铺与压实技术在实际施工中的应用效果, 提升施工质量, 提高施工效率, 降低施工成本, 为沥青混凝土路面施工工艺的创新提供理论和实践支持, 促进道路建设技术进步。

1 工程概况

肇庆市金利大道是连接市区与周边乡镇的关键交通枢纽。项目起点位于肇庆市高要区金利镇, 连接到规划中的工业大道及东延线, 经过金利镇、蚬岗镇、白土镇和金渡镇, 终点设在高要

收稿日期: 2024-05-17

作者简介: 刘柳岸, 工程师, 大专, 研究方向为公路施工

区金渡镇,并通过紫云互通立交与紫云大道相连。金利大道全长 25.645 km,是肇庆市交通网络中的重要一环。此次试验段设置在 K1100+460 至 K1101+460 的左幅路段,铺设 1 000 m 长的 GAC-16C 沥青上面层。试验段设计宽度为 15.00 m,厚度为 45 mm。施工当天,天气多云,气温在 10~30℃,湿度为 40%~70%,为施工提供了良好的环境条件。

2 文献综述

沥青混凝土施工工艺自 20 世纪初期以来经历了显著的技术进步。早期的施工方法主要基于经验,缺乏科学依据,施工质量和效率受到限制。随着科学技术的发展,特别是材料科学和施工机械的发展,现代沥青混凝土施工工艺逐步引入了机械经验法和应力应变预测技术,显著提高了施工质量和效率^[1-2]。

近年来,3D 激光扫描技术在道路工程中的应用逐渐增多。该技术通过激光扫描设备对施工现场进行精确测量,生成高精度的三维点云数据,并通过建模软件对数据进行处理和分析。这种技术在提高测量精度和施工效率方面表现突出。研究表明,3D 激光扫描技术在施工前的精准测量和施工后的质量评估中具有显著优势,可以有效减少施工误差和返工率,从而降低施工成本^[3]。

智能摊铺与压实技术通过集成多种传感器和智能控制系统,实现对摊铺和压实过程的实时监控和自动调节,能够显著提高施工质量和效率。例如,一项研究通过高精度纹理数据采集和实时监控,分析了不同沥青混合料在实验室压实过程中的宏观和微观纹理特性,结果表明该技术能够有效提高路面的密实度和均匀性^[4]。智能摊铺技术通过实时数据反馈和自动调节功能,确保施工参数始终处于最佳状态,从而提高施工的稳定性和可靠性^[5]。

尽管 3D 激光扫描技术和智能摊铺与压实技术在提高施工质量和效率方面表现出色,但 3D 激光扫描技术设备成本较高,且在实际操作中需要专业人员进行操作和数据分析,在一定程度上限制了其广泛应用^[6];智能摊铺与压实技术在设备集成和数据处理方面要求较高,需要配备高精度传感器和先进的控制系统,初期投入较大。此外,这些技术在极端环境下的稳定性和可靠性仍需进一步验证和改进^[7]。

3 施工工艺创新研究

3.1 3D 激光扫描技术的应用

3D 激光扫描技术在金利大道项目中得到了应用,利用激光测距仪获取目标物体表面的三维坐标数据,通过处理这些数据生成详细的三维点云模型,不仅提高了测量的精度,还极大地缩短了数据采集和处理的时间。

3.1.1 技术原理

3D 激光扫描技术通过激光发射、反射接收和时间测量来获取目标表面的三维数据。激光束在遇到物体表面后反射回接收器,通过测量激光束发射和接收的时间差,可以计算出每个点的距离,从而生成三维点云数据。这些点云数据经过处理后,形成精确的数字高程模型(DEM)和数字表面模型(DSM),为施工提供详细的地形信息。

3.1.2 操作步骤

(1) 设备准备:选择适当的扫描设备。项目采用大疆 M300 无人机搭载禅思 L2 进行空中扫描,并使用 RIEGL VMX-2HA 车载激光扫描仪进行地面扫描。对设备进行全面检查和调试,确保所有传感器和控制系统工作正常。扫描设备如图 1 所示。



图1 3D 激光扫描设备

(2) 设备校准:在每次扫描前进行校准,以确保测量的精度。校准包括检查激光器的对准、GPS 系统的同步以及传感器的灵敏度调整。

(3) 扫描设置:根据现场情况设置扫描参数,包括分辨率、扫描范围和扫描模式。无人机扫描的分辨率和飞行高度需根据施工区域的大小和复杂程度进行调整,而车载扫描仪的扫描速度和角度也需相应设置。

(4) 扫描实施:在施工现场进行扫描作业。大疆 M300 无人机搭载禅思 L2 从空中对施工区域进行扫描,获取高精度的三维点云数据。同时,RIEGL VMX-2HA 车载激光扫描仪安装在施工车辆上,沿道路进行移动扫描,获取地面的详细数据。这两种设备的结合使用,确保了数据的全面

性和精确性。

(5) 数据采集: 实时采集点云数据并传输到计算机进行初步处理。无人机和车载扫描仪的数据通过无线网络传输到数据处理中心, 进行初步的拼接和过滤。

(6) 数据处理: 使用专业软件对点云数据进行处理, 生成数字高程模型 (DEM) 和数字表面模型 (DSM)。数据处理包括噪声过滤、点云拼接、坐标转换和模型生成等步骤。

(7) 建模分析: 根据处理后的数据建立三维模型, 并进行进一步的分析和应用。模型用于施工规划、进度监控和质量评估, 帮助施工团队实时了解现场情况, 进行必要的调整。

3.2 智能摊铺与压实技术的应用

智能摊铺与压实技术在金利大道项目中的应用, 显著提升了施工过程的自动化水平和精度控制。通过整合数字化控制系统和传感器网络, 实现了对摊铺和压实过程的实时监控和动态调整, 保证了施工质量和效率。

3.2.1 技术原理

智能摊铺与压实技术依托智能控制系统、传感器网络和物联网, 实现了设备的自动化操作和精准控制。

(1) 智能控制系统: 系统根据预设参数和实时监测数据自动调整摊铺和压实设备的操作, 减少人工干预, 提高施工效率。通过自动处理和分析实时数据, 优化设备操作, 确保施工的连续性和稳定性。

(2) 传感器网络与实时监测: 传感器网络实时采集温度、湿度、材料厚度和密度等数据, 提供施工现场的精确状态信息。系统根据采集的数据自动反馈并调整设备参数, 确保每个环节都在最佳状态下运行。

(3) 设备协同与互联: 通过物联网技术, 实现摊铺机和压路机等设备之间的协同工作, 优化施工流程, 提高设备利用率。多个设备之间能够自动协调和分配任务, 减少人工协调的复杂性。

(4) 导航与定位技术: 结合 3D 激光扫描技术, 利用 GPS 和激光引导, 确保设备的精确定位和导航, 减少操作误差。自动化系统根据实时数据进行路径规划, 确保施工的直线度和均匀性。

3.2.2 操作步骤

(1) 设备准备: 在施工前, 对智能摊铺和压实设备进行全面检查和校准, 确保所有传感器和控制系统工作正常。

(2) 数据采集与传输: 施工过程中, 传感器实时采集数据, 并通过无线网络传输至控制中心进行分析。

(3) 实时监控与调整: 控制系统对实时数据进行处理和分析, 根据施工需求动态调整设备参数, 如摊铺速度、压实力度和温度控制, 确保施工质量达到设计标准, 避免因人为因素导致的施工质量问题。操作人员通过监控界面可以实时查看施工状态, 并进行必要的手动调整。实时监控界面如图 2 所示。



图2 智能摊铺碾压数据监控系统

(4) 数据记录与分析: 施工完成后, 所有数据会被记录并存储, 用于质量评估和分析。

3.2.3 路面施工中的应用

(1) 精确厚度控制: 系统根据实时监测的厚度数据自动调整摊铺机的操作, 确保摊铺层厚度的均匀性和精确性。通过智能技术, 将厚度误差控制在 $\pm 2 \text{ mm}$ 以内, 大大提高了施工精度。

(2) 压实度控制: 高精度的压力传感器和位移传感器能够实时监测压实度。控制系统对传感器数据进行分析, 生成压实度报告。系统根据报告自动调整压实参数, 确保每一遍压实都达到设计密度。系统根据实时密度数据自动调整压路机的振动频率和压力, 优化压实效果, 压实度的检测数据显示平均值达到 99.7%, 超过设计要求的 98%。施工完成后, 所有压实数据会被记录并存储, 用于质量评估和分析。通过数据分析, 可以发现施工中的潜在问题, 并为后续施工提供改进建议。

(3) 表面平整度: 利用高精度传感器和激光扫描技术, 实时监控路面平整度, 并及时进行调整。通过实时反馈, 系统能快速调整设备操作, 确保路面平整度达到预期标准。

(4) 温度与材料控制: 系统实时监控沥青混合料的温度, 确保在最佳温度范围内进行摊铺和压实。根据实时监测数据, 自动调整材料配比,

确保施工质量。

(5) 施工过程的可追溯性: 自动化系统记录施工过程中的所有数据, 提供详细的质量追溯信息。通过分析施工数据, 优化未来施工策略, 提高整体施工质量。

施工完成后, 对已完成的路面进行全面扫描, 获取详细的三维点云数据。将扫描数据与设计模型对比, 分析实际施工结果与设计要求的差异, 进行质量评估并生成详细的质量检测报告。施工团队可以根据报告中的建议进行问题整改, 确保施工质量符合设计要求。

4 案例分析

4.1 创新施工工艺应用效果

在金利大道项目中, 应用了多项创新施工工艺, 包括 3D 激光扫描技术和智能摊铺与压实技术。这些技术的应用显著提升了施工质量和效率, 并为项目的顺利完工提供了保障。

4.1.1 3D 激光扫描技术的应用效果

为了验证激光扫描技术的适用性, 对于试验段厚度数据测量, 采用传统的施工测量技术进行对比分析, 并用钻芯法进行校核, 随机截取部分对比数据如表 1 所示。

表 1 激光扫描技术与传统测量技术厚度测量数据偏差对比

单位: mm				
测量点	设计厚度	钻芯法 校核	3D 激光扫描 技术偏差	传统测量 偏差
ZK1100 + 460	45	46	-2	+1
ZK1100 + 470	45	47	+10	-2
ZK1100 + 480	45	44	0	+2
ZK1100 + 490	45	46	+4	-1
ZK1100 + 500	45	45	+3	+1
ZK1100 + 510	45	44	+1	0
ZK1100 + 520	45	45	+5	0
ZK1100 + 530	45	46	-1	-1
ZK1100 + 540	45	45	+3	-1
ZK1100 + 550	45	46	-4	4

3D 激光扫描技术: 测量偏差范围为 -4 ~ 10 mm, 表明该技术在快速测量大面积时存在一定的偏差。特别是在 ZK1100 + 470 点, 测量结果比设计厚度高出 10 mm, 说明在某些地形条件下, 激光扫描可能受到影响, 导致数据偏差过大。

传统测量放样技术: 测量偏差范围为 -2 ~ 4 mm, 整体偏差较小, 测量结果较为稳定。ZK1100 + 550 点的测量结果偏差最大, 为 4 mm, 这可能与放样过程中的细节控制有关。为了全面评估激光扫描与传统测量技术的优劣, 进行了如下综合对比分析, 如表 2 所示。

表 2 激光扫描与传统测量技术综合对比分析表

项目	3D 激光扫描技术	传统测量技术
设备及技术	大疆 M300 无人机搭载禅思 L2 (空中扫描) RIEGL VMX-2HA 车载激光扫描仪 (地面扫描)	RTK 接收机 (放样) 水准仪 (标高测量)
每公里测量总时间/h	4 ~ 5	5 ~ 8 (10 m 一个断面, 一个断面 3 个点)
准备工作时间/h	1	1
实际测量时间/h	1 (空中扫描, 定点放样) 1 (地面扫描, 定点放样)	1 ~ 2 (RTK 放样) 1 ~ 2 (水准仪标高测量)
数据处理时间/h	1 ~ 2	2 ~ 3
精度	水平 0.5 ~ 1 cm, 垂直 1 ~ 2 cm	RTK: 水平 ±1 cm + 1 ppm, 垂直 ±1.5 cm + 1 ppm 水准仪: 1 ~ 2 mm (水准仪标高测量)
测量效率/(km/h)	1 ~ 2 (空中扫描) 0.5 ~ 1 (地面扫描)	0.2 ~ 0.5 (RTK 放样) 0.1 ~ 0.3 (水准仪标高测量)
数据密度	每 5 cm 一个断面	每 10 m 一个断面, 每个断面放出半幅的边线和中线
每公里测量成本/元	0 ~ 1 000 (空中扫描) 1 000 ~ 2 000 (地面扫描)	300 ~ 600 (RTK 放样) 200 ~ 400 (水准仪标高测量)
优点	高效率, 测量速度快 高精度, 提供详细的三维模型 自动化程度高, 减少人工干预 适应性强, 在复杂地形中表现优异	设备成本较低 操作相对简单, 人员容易上手 高精度标高测量 (水准仪) 适合小面积和简单地形的测量
缺点	设备成本高 数据处理复杂, 需专业软件和高计算能力 操作复杂, 需专业培训	效率较低, 测量速度慢 人工干预多, 数据处理耗时 受环境影响大, 精度易受视距、光照等因素影响
适用场景	大面积、复杂地形、高精度需求的项目, 如城市道路、桥梁、隧道等大型工程测量和建模	小规模、预算有限、地形较简单的项目, 特别是在标高测量精度要求较高的情况下

注: 在 GNSS 定位中, ppm 用于表示定位误差。例如: RTK 定位精度为“水平 ±1 cm + 1 ppm”表示在水平方向上的定位误差为 2 cm 加实际测量距离的百万分之一。

通过上述对比分析,可以看出3D激光扫描技术在效率、精度和数据密度方面具有显著优势,特别适用于大面积和复杂地形的测量任务。然而,其设备成本和操作复杂度较高,每公里的测量成本也较高。尽管常规测量技术在效率和数据密度上不及激光扫描技术,但其设备成本较低,操作相对简单,每公里的测量成本也较低,特别是在高精度垂直测量中具有明显优势,适用于小规模和简单地形的测量任务。3D激光扫描技术的优势主要体现在以下三个方面:

(1) 通过大疆 M300 无人机搭载禅思 L2 进行空中扫描,以及 RIEGL VMX-2HA 车载激光扫描仪进行地面扫描,获取了详细的三维点云数据,用于施工组织与管理的校核,提高管理效率。

(2) 实时监控与调整:在施工过程中,利用实时扫描技术对施工区域进行监控,及时获取最新的地形和施工进度信息。3D 激光扫描技术通过对比实时采集的三维点云数据 and 设计模型,能够快速识别并调整施工中的偏差。项目部的质检员每天大约需要 8 h 进行质量检查,而结合 3D 激

光扫描技术后,质检员每天只需要对数据异常和特殊的部位进行排查即可,4 h 就能完成同样的检查任务。

(3) 提高效率与安全性:3D 激光扫描技术缩短了测量和数据处理时间,提高了施工效率。同时,无人机和车载扫描仪的结合使用减少了人工操作,提高了施工安全性。由表 2 可知,使用该技术后,整体施工测量效率提升了约 30%。

4.1.2 智能摊铺与压实技术的应用效果

为了科学评估传统施工技术和智能摊铺与压实技术在道路施工中的性能差异,在项目中设计了两个试验段,总长度为 1 km。试验段 A (ZK1100+460~ZK1100+960) 采用传统施工技术,包括传统的摊铺机和压路机,以及依赖人工操作和测量的方法。试验段 B (ZK1100+960~ZK1101+460) 采用智能摊铺与压实技术,配备了智能摊铺机、自动压路机(重量与传统压路机一致)、传感器网络、GPS 和实时监控系统。两个试验段的设置在材料、设计参数和环境条件上保持一致,以确保结果的可比性。具体数据对比如表 3、表 4 所示。

表 3 试验段 A 与试验段 B 施工质量检测数据对比

测量点	施工段	实测厚度/mm	设计厚度/mm	厚度偏差/mm	压实度/%	平整度标准差/mm
ZK1100+465	传统技术(段A)	46	45	1	98.0	0.8
ZK1100+470		44	45	-1	98.5	0.9
ZK1100+480		45	45	0	98.2	1.2
ZK1100+490		47	45	+2	98.7	0.9
ZK1100+500		43	45	-2	98.3	1.1
ZK1100+510		46	45	+1	98.9	0.9
ZK1100+960	智能摊铺与压实技术(段B)	45	45	0	99.5	0.7
ZK1100+970		46	45	+1	99.8	0.8
ZK1100+980		44	45	-1	99.6	0.7
ZK1100+990		45	45	0	99.7	0.6
ZK1101+000		46	45	+1	99.9	0.8
ZK1101+010		45	45	0	99.5	0.7

表 4 试验段 A 与试验段 B 综合对比

指标	传统技术 (段A)	智能摊铺与压 实技术(段B)	对比分析
施工时间/h	7	5	智能技术通过自动化显著缩短了施工时间,效率提高约 28.6%
平均厚度偏差/mm	±2	±1	智能技术厚度控制精确,偏差更小
平均压实度/%	98.30	99.70	传统压实技术可能存在漏压的情况,智能技术的压实度更高,提高了 1.4 个百分点,路面更为密实
平整度标准差/mm	1.13	0.73	智能技术在平整度方面表现更佳,平整度改善约 35.4%,提供更平滑的路面质量
设备利用率/%	75	90	智能技术提高了设备的利用率,利用率增加了 20%
摊铺与压实辅助工人/人	18	6	智能技术降低了人工需求,大大减少了人工干预
安全事故发生数/次	2	0	智能技术的实时监控减少了安全事故,安全事故减少 100%
初期施工成本/万元	50	70	智能技术初期投资较高,增加 20%,但在减少长期维护和返工成本上具有优势

(1) 精准控制:通过传感器网络和数字化控制系统,实时采集摊铺温度、压实遍数和行驶速度等数据,确保每一层摊铺和压实都达到设计标准。施工中,智能摊铺设备将温度控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内,压实度控制在 $\pm 1\%$,且不会存在超压、漏压的情况。摊铺及碾压完成效果如图3所示。



图3 摊铺及碾压完成效果

(2) 高效施工:智能设备的自动化操作减少了人工干预,提高了施工效率。实时监控和动态调整功能确保了施工过程的连续性和稳定性,缩短了施工周期。数据表明,使用智能摊铺技术后,施工周期缩短了约28.6%。

(3) 数据记录与分析:施工完成后,所有施工数据被记录并存储,用于后续的质量评估和分析。施工数据分析显示,使用智能摊铺技术的路面平整度提高了约35%。路面波浪纹和凹凸不平的现象显著减少,不仅提升了行车舒适度,也延长了路面的使用寿命。

4.2 质量评估与改进

4.2.1 数据分析与对比

施工完成后,采用规范规定的检测方法对ZK1100+960~ZK1101+460进行验收,根据数据分析结果进行全面质量评估,总结如下。

(1) 压实度与厚度采用钻芯法进行校核:压实度平均值为99.7%,最大值为99.9%,最小值为99.5%,代表值99.7%,满足设计98%要求;厚度平均值为45.1 mm,最大值为46 mm,最小值为44 mm,代表值为45 mm,满足设计及规范允许偏差要求。

(2) 平整度检测:采用连续式平整度仪检测,共检测15个区间,标准差 σ 最大值0.84 mm,最小值0.62 mm,标准差0.73,合格率100%,满足规范值1.8 mm要求。

(3) 宽度、高程、横坡采用RTK和水准仪检测,各检测25个断面,合格率均为100%。

(4) 混合料施工温度采用接触式温度计检测:试验段沥青混合料出厂、摊铺、压实温度相对稳定,能够满足施工要求;现场摊铺、碾压各

道工序衔接紧密,符合沥青路面施工技术规范要求。

(5) 弯沉采用贝克曼梁弯沉仪检测:共检测74个点,弯沉代表值为12.6 (0.01 mm),均符合设计弯沉值21.7 (0.01 mm)的要求。

通过实验数据验证,施工过程中各项指标均达到或超过设计和规范要求,进一步证明了采用3D激光扫描和智能摊铺与压实技术能够提升施工质量和效率。

4.2.2 问题整改与优化建议

尽管金利大道项目取得了显著成果,但在施工过程中,存在问题:夜间施工光线不足,影响激光扫描和传感器精度;低温天气影响沥青混合料性能,导致温度控制偏差和压实度不均。此外,设备成本较高,需要专业人员操作和数据分析,增加了施工成本和复杂性;大量数据需要高效处理和管理,否则会影响实时性和决策准确性;基准面有水时会产生反射和折射,导致数据噪声和测量误差。为解决这些问题,提出以下优化建议,以提高施工质量和效率,确保3D激光扫描和智能摊铺与压实技术的有效应用,解决潜在问题,提升施工稳定性和可靠性。

(1) 夜间施工:增加现场照明设备,使用夜视功能的激光扫描仪,加强夜间施工管理,确保操作人员安全和设备正常运行。

(2) 低温天气施工:在低温条件下施工时,加强混合料预热处理,确保其在适宜温度范围内施工。采用温度控制功能的智能设备,实时监控和调整施工参数。强化低温施工监控,及时发现和调整温度控制偏差。

(3) 设备成本与操作问题:通过多项目共享设备资源,降低单个项目成本。加强施工团队的技术培训,培养具备操作和数据分析能力的专业人员。选择性引入性价比高的设备,逐步推广先进施工技术。

(4) 数据处理与管理问题:引入高效的数据处理软件和系统,确保大数据量快速处理和分析。建立完善的数据管理和存储系统,确保数据安全和可追溯性。通过数据实时共享和可视化技术,提高施工管理决策效率和准确性。

(5) 基准面有积水:扫描前清除基准面积水,确保扫描区域干燥。选择适合潮湿环境的防水激光扫描仪。采用多角度扫描,通过综合处理减少水面反射影响。使用专业数据处理软件,进

(下转第128页)

产教融合共同体和市域产教融合联盟,形成优势互补、资源共享、协同育人的合作机制,共同推动产教融合深入发展。

4 结语

深化校企合作,推动产教融合稳步发展,是培养高职院校高素质技术技能人才的重要途径。通过精准匹配产业需求、优化课程体系和师资结构、深化校企合作、加强产教融合人才评价体系建设、构建产教融合人才培养生态系统等措施,在政府部门和行业组织的共同推动下,培养符合产业需求、具有适应力强、创新能力高的高素质技术技能人才,助力产业发展。

参考文献:

- [1]李政.基于产教深度融合的现代产业学院建设实践探索[J].科技风,2023(14):96-98.
- [2]王文龙,蔺唤.对当前中国高校院系调整热的冷思考[J].西南交通大学学报(社会科学版),2013,14(4):58-62.
- [3]闫世伟.水利枢纽实训中心建设对提升学生就业竞争

力作用研究[J].时代教育,2016(22):53.

- [4]彭红科.产业转型升级背景下我国职业教育发展的问题与路径[J].广东轻工职业技术学院学报,2018,17(3):22-25,30.
- [5]邓木生.校企双向双主体“订单式”人才培养模式的探索与实践[J].黑龙江教育学院学报,2014(5):24-25.
- [6]徐星,鄢睿丞,闫晓玲,等.“电路”课程知识图谱构建及其教学模式应用[J].教育教学论坛,2024(6):1-4.
- [7]中华人民共和国教育部.职业学校兼职教师管理办法[EB/OL].(2023-08-29)[2024-04-20].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202311/content_6914090.htm.
- [8]陈娟.导师团队建设与研究生创新能力培养的思考[J].教育教学论坛,2019(51):116-117.
- [9]朱倩谊.高质量发展背景下现代职业教育产教深度融合新生态构建[J].河北职业教育,2023,7(2):18-23.
- [10]万轶,沙鑫美,徐伟.新形势下产教融合的实施途径探究[J].创新创业理论与实践,2020,3(12):147-148.
- [11]宋婷.企业参与职业教育产教融合保障机制研究——基于德国、澳大利亚、加拿大三国比较[J].武汉工程职业技术学院学报,2018,30(4):49-52.

(上接第35页)

行噪声过滤和校正,去除因水面反射导致的错误数据。

5 结论

以肇庆市金利大道的沥青混凝土上面层试验段施工为例,探索了3D激光扫描技术以及智能摊铺与压实技术的应用效果。研究结果显示,3D激光扫描技术在施工前规划和施工后质量评估中发挥了重要作用。虽然在标高精度方面尚有提升空间,无法替代水准仪的标高测量,但它在施工管理中提供了有力的数据支持,帮助施工团队快速识别并调整偏差。其次,智能摊铺与压实技术通过实时监控和调整功能,提高了施工的自动化程度。传感器网络确保了施工参数的最佳状态,显著提升了路面的平整度和压实度,并减少了人为因素带来的质量波动。3D激光扫描技术以及智能摊铺与压实技术为沥青混凝土施工提供了创新的技术支持,提升了施工质量和效率。未来应继续探索这些技术在不同施工环境中的应用,并与其他新兴技术结合,以推动道路施工技术的进一步发展。

参考文献:

- [1]三一路机无人智能摊铺压实技术再攀新高峰[J].建筑机械,2020(8):36.
- [2]李学东,张建华.沥青混凝土施工技术的发展与应用研究[J].交通运输工程学报,2019,19(3):87-92.
- [3]ZHANG D, ZOU Q, LIN H, et al. Automatic pavement defect detection using 3D laser profiling technology[J]. Automation in Construction, 2018:96350-96365.
- [4]ZHANG X, LIU T, LIU C, et al. Research on skid resistance of asphalt pavement based on three-dimensional laser-scanning technology and pressure-sensitive film[J]. Construction and Building Materials, 2014:6949-6959.
- [5]SUTHAKARAN S, AROORAN S, JAVAD G, et al. A state-of-the-art review of compaction control test methods and intelligent compaction technology for asphalt pavements[J]. Road Materials and Pavement Design, 2023,24(1):1-30.
- [6]ERYK M, PIOTR M. Asphalt Mixtures and Flexible Pavement Construction Degradation Considering Different Environmental Factors[J]. Applied Sciences, 2022, 12(23):12068-12068.
- [7]王宏,刘强.智能摊铺与压实技术在沥青路面施工中的应用[J].公路交通科技,2021,38(2):123-130.