

水泥稳定碎石路面智能施工系统应用

曹洋, 宁德好

(中交一航局第三工程有限公司)

摘要: 路面传统施工工艺中, 机械行走速度、碾压遍数、组合顺序等均受人为因素影响较大, 致使路面高程、平整度、厚度等技术指标无法得到有效保障。为解决高等级公路水泥稳定碎石路面施工中遇到的问题, 引进一套路面智能施工系统, 可使水稳摊铺机与压路机配合作业时, 自动控制路面高程、平整度及厚度, 行走时不需依靠两侧钢线及设备纵坡感应器。行走速度、碾压遍数、车辆定位等信息可实时反馈。路面智能施工系统已在农安至九台、双阳至长春经济圈绕城高速双阳至伊通段工程项目中应用, 并于施工质量、成本控制、安全管理、信息化普及等方面取得较大优势, 可为类似高速公路的水稳路面建设提供参考。

关键词: 路面工程; 水泥稳定碎石基层; 3D 数字化智能控制; 信息化管理

0 引言

近年来, 我国高速公路建设速度不断提高, 但路面施工质量参差不齐, 受人为因素影响较大的关键工序, 如厚度控制、平整度校核、施工过程监管等都存在一定的问题。始终没有建立统一的标准化建设制度。通过采用路面智能施工系统, 结合 3D 数字摊铺技术和信息监管技术, 达到工程标准化、信息化建设目标, 并提高水稳路面施工质量, 降低资源消耗, 减少人为干扰。

1 工程概况

长春经济圈绕城高速农安至九台段、双阳至伊通段 GQ03 工区位于吉林省长春市九台区北部, 主线起点桩号为: K59+800—K94+720(短链 0.529

km), 路线全长 34.491 km。工程主线设计时速 120 km/h, 路线采用 27 m 整体式路基宽度双向四车道高速公路设计标准。其中主线路面基层设计为水泥稳定碎石, 厚度 36 cm, 碎石:水泥=94:6(质量比), 压实度 $\geq 98\%$, 7 d 无侧限抗压强度 ≥ 5.0 MPa。抗压强度测定采用静压法, 确定最大干密度采用振动压实法, 压实度检测采用整层灌砂试验方法。

2 主要施工工艺

本套系统安装以摊铺机及压路机为载体, 通过安装传感器的方式进行信息收集、反馈、处理, 实现从施工工艺监管到技术指标控制的综合信息化管理。路面智能系统应用工艺流程见图 1。

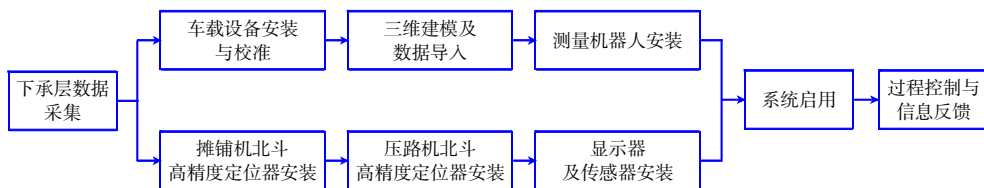


图 1 路面智能系统应用工艺流程图

2.1 系统工作原理

本系统由 3D 数字化智能控制系统、摊铺机信息监控系统、压路机信息监控系统组成, 工作时互不影响, 实现路面施工同步监控。

3D 数字化智能控制系统包含多项智能控制系统, 如测量机器人、自动铺装控制系统、车身姿态铺装控制系统等。测量机器人通过摊铺机大臂

两侧桅杆上的棱镜获得 3D 坐标数据, 再利用 3D 摊铺机系统数传电台, 实时向摊铺自动控制系统控制箱传输测得的三维坐标数据。控制箱将接收到的坐标信息与工程设计三维数据进行计算, 生成坡度和高程校正数据, 并向边控箱内的摊铺机传输数据。在此过程中, 边控箱产生比例驱动信号, 然后通过摊铺机的液压阀对拖曳臂式液压缸

进行操作, 使摊铺路面产生坡度和高程的变化, 从而对熨平的方向进行调整和校正^[1]。

摊铺机信息监控与压路机信息监控系统采用北斗高精度定位技术实现厘米级的定位, 通过传感器对施工指标参数进行采集, 主要功能有: 监管摊铺速度、摊铺轨迹、摊铺里程桩号、碾压遍数、碾压速度、记录作业时间、里程桩号; 同时, 结合施工工艺引导操作人员进行碾压作业, 避免出现过压、漏压、欠压、超速、怠速等, 并对施工异常状况进行信息反馈。

2.2 下承层数据采集

施工前需由 3 名测量人员组建测量小组对水

稳结构层下承层数据进行测量, 首先 1 名测量人员手持 GPS 按照每 10 m 进行 1 个断面桩号及偏位的定位, 再由 1 名测量人员采用水准仪进行对应断面中线横偏 2 m、5 m、8 m、11 m 四个点位的测量, 最后由另 1 名测量人员统一记录。

2.3 3D 车载设备、信息监控设备的安装与校准

安装 3D 摊铺机系统车载设备(1 台摊铺机)包括: 桅杆 2 根, 360°棱镜 2 根, 主控制器 1 个, 控制柄 2 个, 横坡传感器 1 个, 桅杆传感器 2 个, 车载电台 2 个, 接线盒以及连接线缆 2 个, 共 9 部分。

3D 摊铺机系统车载设备安装见图 2。



图 2 3D 摊铺机系统车载设备安装示意图

安装信息监控系统车载设备包括: MC100 高精度接收机、AT311GNSS 天线、CB9107 主控箱、RollBox 转换盒、LED 显示屏、RFID 智能识别终端、TS203 温度传感器、AP 智能组网终端。信息监控系统车载设备安装见图 3。

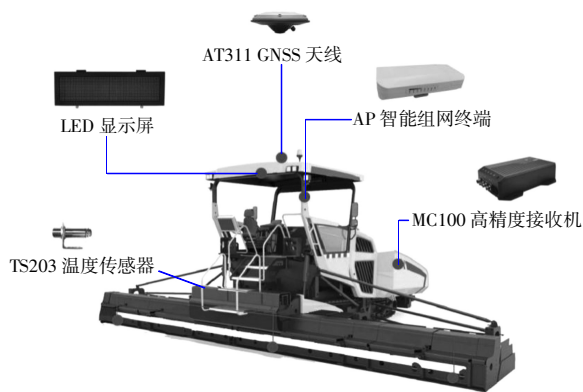


图 3 信息监控系统车载设备安装示意图

2.4 三维建模及数据导入

将采集的下承层三维数据和设计三维数据导入 ICONOFICE 软件进行三维建模, 系统将单点数据从“点、线、面”整合, 形成一个平滑的施工面, 使 3D 数字智能控制施工技术在施工过程中改变传统工艺对“点”的控制, 从而达到对“面”的控制, 使其控制精度和广度都有了很大的提高。建模完成后将数据转化为主控可识别文件进入存储卡, 并将储存卡插入控制器, 完成 3D 建模数据导入。

2.5 测量机器人安装

一般在摊铺区侧后方架设全站仪, 以减轻压路机的遮挡性。全站仪距离控制在 100~120 m 范围内, 从而保证仪器准确无误。若在摊铺区侧前方架设机械控制全站仪, 如与棱镜同侧, 需相对架设约 70 m; 若与棱镜对侧, 一般在起动位置前 10~15 m 左右, 因运料车起斗后的遮挡问题, 可

在施工区域两侧架设。对于现场铺装路面摊距大于 200 m 的情况,需考虑启用备用的全站仪,用于车站的更换工作。

2.6 系统的启用

测量机器人安装完成后,开启主控制器,导入数据项目,将测量机器人切换到机械控制模式,这时测量机器人就会自动追踪棱镜,实现自动控制。同时可通过监控系统数据建模技术,还原摊铺机摊铺宽度、速度及碾压位置、速度、遍数、初压、复压、终压。真实反映现场施工工艺,并通过不同颜色间接显示施工质量。现场施工建模见图 4。

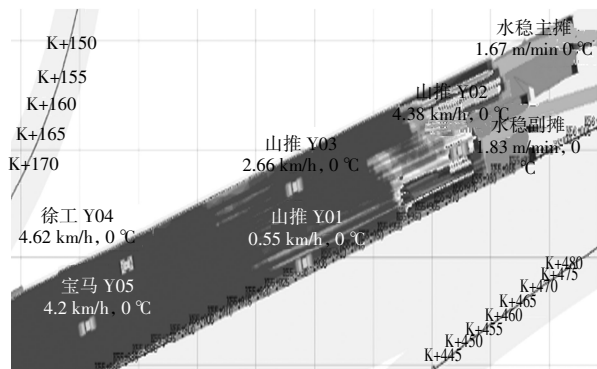


图 4 现场施工建模图

2.7 过程控制校准

摊铺开始后,可实时检测摊铺标高并调整。刚开始摊铺时,为达到设计要求,应增加检测频率及时调整。通过施工现场的行驶轨迹绘图数据,可直观了解到摊铺、压实的轨迹、速度、遍数等

信息,行驶速度超标时可实时报警修正。

3 控制要点

3.1 测量设备

全站仪控制点的选择不能和整个站位成一条直线,操作时应尽量远离设站地点,如压路机等大型机械。为了避免料车或压路机挡住信号,尽量不在摊铺机的前后设置架设位置。需要将整站仪表的准确度调至中等偏下(高精度全站仪表的设站精度有可能不能通过 GPS 控制)。

3.2 摊铺设备

摊铺机起步前,将枕木垫好后,将羊角尺调到合适的位置,由于摊铺机的初装系统不清楚平衡位置,需在开始后的前 10 m 内及时调整设备,修正误差,并做好复测工作。摊铺厚度超过摊铺机作业厚度时,应关闭自动控制功能,避免超负荷运转。

4 效果分析

4.1 施工质量分析

将平整度、标高、坡度数据及误差因素对比记录,路面智能系统应用实体检测对比见表 1,误差影响因素对比见表 2。

表 1 路面智能系统应用实体验收对比表

检查项目	允许偏差	路面智能系统		传统摊铺	
		实测 点数/个	合格率/ %	实测 点数/个	合格率/ %
平整度	$\leq 8 \text{ mm}$	300	100	300	84
纵断高程	$(-10, +5) \text{ mm}$	453	95	453	88
横坡	$\pm 0.3\%$	151	100	151	100

表 2 路面智能系统应用误差影响因素对比表

误差因素类型	传统施工方法	路面智能系统	对比及结果
人员	塔尺人工读数	自动化控制	路面智能系统通过自动化控制减少操作人员投入,降低误差产生,优于传统施工方法
机器	水准仪	测量机器人	路面智能系统使用测量机器人,优于传统施工方法使用水准仪
物料	钢导梁、基线、钢钎标高不准	根据拟合模型自动控制	路面智能系统根据拟合模型自动控制钢导梁、基线、钢钎标高,优于传统施工方法钢导梁、基线、钢钎标高不准的情况
方法	导线标高、悬空标高错误	根据拟合模型自动控制	路面智能系统根据拟合模型自动控制,避免导线标高、悬空标高错误,优于传统施工方法
环境	雾天能见度差,晚上光线微弱	夜间也可以正常作业,24 h 不间断工作	路面智能系统可在夜间正常作业,24 h 不间断地工作,克服雾天能见度差、晚上光线微弱的问题,优于传统施工方法

从现场实测数据反馈分析,路面智能系统应用后路面摊铺效果在平整度、高程、横坡等方面均优于传统工艺。且智能系统能够对当时特定位置的施工状态进行一定程度的还原,追溯分析问题出现的原因,及时发现摊铺、碾压不到位的地段^[2],对于过压或欠压的现象能够做到防患于未然;

过程连续控制摊铺压实质量,实时上报输出情况;及时有效地在现场发现摊铺、碾压不到位的地段^[2],确保施工质量,可辅助控制路面施工质量。减少了实体检测频次,避免了重复检测造成施工进度

受影响的情况发生。管理者可以通过网络端远程查看现场施工的最新动态。通过直观地操作界面引导驾驶员进行碾压作业，在防止漏压、压工不足或压实过度造成返工问题的同时，有效提高施工单位摊铺压实作业效率。

4.2 资源投入分析

相对于传统摊铺测量路面智能系统在测量人员及施工人员投入数量上存在明显优势。路面智能系统人员使用情况对比见表 3。

表 3 路面智能系统人员使用情况对比表

投入资源	路面智能系统测量人员	传统摊铺测量人员
测量技术人员	1	2
辅助工	30	39
合计	31	41

4.3 成本控制分析

路面智能系统可以实现 24 h 不间断施工，大幅度减少工人数量，在提高机械使用效率的同时降低工程等待时间，无需人工测量打桩放样。同时可实现远程施工管理，对摊铺、碾压、速度、遍数等信息全程监控，减少了技术人员与质量监管人员投入，降低项目管理成本。对摊铺机、压路机的信号、碾压范围、碾压次数、碾压日期、作业时间等参数，智能系统都能实时显示和记录。适时向施工人员提供作业资料，修正不符合规定的作业方式，在试验检测的指导下，通过防止漏压、过压、提高一次性报检合格率等措施，节约施工资源。通过验收流程的优化，降低了重复检验，提高了工作效率，在机械、燃油、人力等方面节省了费用。

4.4 安全管理分析

路面智能系统的应用大大降低了施工人员投入，减少各道工序间交叉作业产生的安全隐患，且伴随摊铺机两侧高程钢线的取消，也避免了操作工人常因进出摊铺现场而被钢线割伤绊倒事故的发生。传统的施工工艺采用双机梯次摊铺作业时，在 2 台摊铺机中间的狭小空间内，需要设置 3~5 人进行钢导梁架设，以确定路面中间位置的高程，而路面智能系统的应用可自动实现全断面高程、横坡及平整度的确定，消除此工序的人员投入，也避免常因导梁架设与运输车倒车卸料过程中产生机械伤害。同时路面智能系统通过对现

场实施监控，可严肃作业工艺纪律，对摊铺机及压路机行走速度进行监控预警，避免现场野蛮施工前提下，降低了因机械设备操作不当带来安全隐患。

4.5 信息监管分析

路面智能系统的应用，不仅使管理工作由事后管控升级为全程管控，还使路面质量管控由施工后取点抽测向实时监控全覆盖转变，使过程管控流程化、精细化程度更高，工程质量管控工作更加完善。同时通过手机移动终端及时获取现场摊铺压实等相关报表，对水稳路面作业现场实时动态信息的远程信息化管理，在此基础上建立路面质量问题溯源机制，建立施工大数据平台，为科研、质量管控、后期维护水泥稳定路面提供数据支撑。通过对作业现场动态信息的实时掌握，使监管单位的管理效能得到了很大的提升。对施工人员、设备、场地等进行远程系统监控，不留一点空隙；对发现的质量问题进行督查，及时下达工作指令，切实做到不漏一处空隙；对施工路段信息可疑部位及时定点检测布置，做到现场施工质量心中有数^[9]。

本系统可作为规范化、精细化施工管理的新方法，实现对现场施工人员、设备、工地的全面无间隙管理。在施工过程中，对多个摊铺点面、压路机的协同碾压作业实时监控，定点动态检测，缩短施工周期，降低能耗，提高了质量验收合格率；并且实时连续控制施工过程，降低了对机械人员的技术等级要求，从而确保了施工质量的连贯。在夜间施工时，实时到位的控制过程，有效地杜绝了因工作人员劳累而影响施工质量的现象；对下属施工班组的路面施工质量进行动态控制，降低了返工损失，使施工单位提供施工成本的同时，也将大大方便施工作业单位^[10]。

4.6 智能化应用分析

本系统在传统技术基础上加入了先进计算技术，与物联网技术相互融合，改变传统的以人和经验为主导，转向科学技术与人相互结合，降低人为干扰，通过大数据分析技术预警，对数据规律进行分析，对整个生产过程实时监控，发现问题第一时间反馈，并及时解决，降低二次修正项目，避免经济亏损。

平台建成后系统记录施工过程动态数据，实现历史数据追溯，为以后运营养护及研究提供施

工期间一手的数据资源，做到了质量的即知即控。实现信息化技术与生产工艺的深度融合，使施工质量可知可控，围绕施工现场一线开展生产活动。使其建筑过程可视化、智能化。对施工过程的监管做到看得见、摸得着，保证了施工质量和进度。

本系统实现了协同高效的项目管理。各参建单位实现了项目管理的互联互通、协同合作，通过统一标准的智能化技术，提高管理效能。同时大数据的实时分享，深度挖掘剖析，提高了工程施工决策能力和预警能力。智能系统建设可复制、可分享、可持续，即创建成果能深层次推广，持续使用。

5 结语

本文总结了路面智能系统应用方法，并分析记录应用后的成果，从质量控制、成本节约、安全管理、动态监管、信息化普及等多方面研究分析，阐明其优势与现场控制要点。

当前社会已进入了数字时代的高速发展期，各行各业都向智能化方向快速发展。路面智能系统施工技术将是工程行业的未来，实现智能联合作业控制的施工机械和可视化的现场工程管理。对项目建设中出现的问题，做到信息资源利用最大化，调度实时准确，快速解决。消除人力、设备、材料等在传统施工管理中的潜在消耗，实现建筑工地智能化、社会成本降低、施工绩效整体提升。

参考文献：

- [1] 赵秀娟. 3D 数字化智能控制技术在沥青路面下面层摊铺施工中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2021(2): 139-140.
- [2] 宋宏伟, 刘永祥. 路基智能碾压在实际施工中的运用[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(7): 64-67.
- [3] 曾庆成. 公路路面智能压实监控系统在云湛高速公路沥青路面施工中的应用[J]. 公路交通技术, 2018, 34(4): 21-25.
- [4] 魏贵珍. 路面 3D 智能摊铺施工技术[J]. 四川建材, 2024, 50(2): 39-41.