

路面施工无人化研究综述

屈上智

四川智通路桥工程技术有限责任公司

摘要：传统路面施工的特点是多机型协作施工，需要大量机手和协调人员，造成了大量的人工开支，施工效率低，容易带来漏压、超压等问题，而且机器排放的污染和噪音对施工人员和环境也带来了危害。随着人工智能、大数据等技术的开发应用，智能、平安、绿色交通的发展理念深入人心，通过智能化、无人化解决道路施工中效率、安全等问题逐渐成为发展创新的主流。本文通过对国内外路面施工无人化的调查研究，分析了不足之处，提出了未来发展的方向，为路面无人化施工提供了指导作用。

关键词：路面施工无人化；智能压实；快速检测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.11.059

前言

我国的道路面层施工具有工期紧张、施工组织协调难度大等特点，并且压实质量依靠操作员的经验水平，质量检测颇为滞后，正在被国内外的专家所诟病。而随着卫星定位、物联网、5G通信等技术手段的不断发展，基于多技术协同作业的路面施工无人化机群成了目前路面施工研究的主流方向。路面施工无人化解决了目前施工人员水平不一导致的压实质量不稳定的问题，通过物联网技术对作业现场进行实时感知、基于雷达测厚摊铺系统与智能压实技术对压实质量进行控制，通过北斗高精度定位与传感器融合实施智能避障，最大程度保证了施工组织的流畅运行与安全生产工作，并且压实质量得到了保证。

一、国内现状

我国的路面无人施工化正处于探索优化阶段，如图1所示，通过5G无线通讯技术保障信号传输，而在山区等信号较弱的地区，一般通过建立局部的基站保障通讯系统，避免无法施工。通过智能摊铺机上的高精度定位系统、3D找平、传感等技术实施路面智能摊铺，实时修正摊铺路线。压路机通过传感器采集施工过程中的路面温度、碾压速度与激振力反馈等数据，实时对沥青路面压实质量进行监测，而定位系统可以对行进轨迹进行控制，以保证路面足够的压实度。车载高清摄像头与电

子安全围栏可以让施工机械提前感知到施工轨迹上的障碍物，结合定位系统进行及时避障，提高了施工安全系数^[1]。

表1 国内路面无人化施工项目^[1]

序号	时间	省份	项目名称
1	2019.03	山西	G105京澳线平阴绕城段改建工程
2	2019.12	上海	朱建路道路改建
3	2020.01	陕西	平镇高速
4	2020.05	四川	攀大高速
5	2020.07	广西	新柳南高速
6	2020.08	河北	京雄高速
7	2020.12	云南	昌宁至保山高速公路
8	2021.04	上海	北横通道西段工程
9	2021.04	河北	荣乌高速
10	2021.06	河南	郑西高速
11	2021.06	四川	镇广高速
12	2021.07	黑龙江	哈尔滨至肇源高速
13	2021.07	新疆	S21阿乌高速
14	2021.07	黑龙江	国道213线
15	2022.05	四川	泸永高速

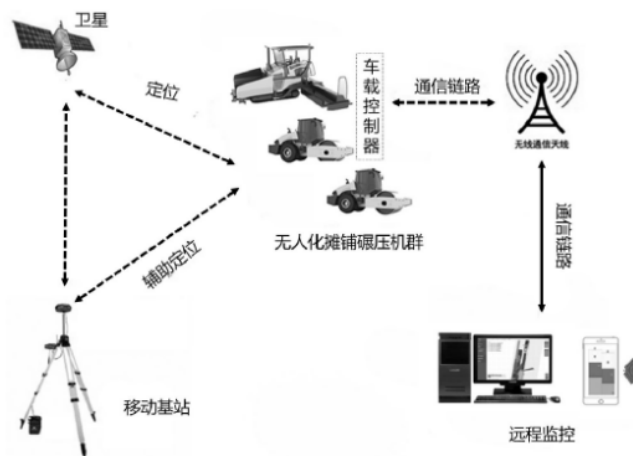


图1 路面施工无人化技术原理^[1]

路面施工无人化技术主要依赖施工设备的改造升级，目前国内主要以三一重工和徐工集团为主进行了施工机械的无人化改进，并且联合各省在建公路项目进行了无人化施工的试验段铺筑，如表1所示。应用效果显著，也为后续进一步的改进提供了宝贵的数据支撑。

二、国外现状

美国联邦公路管理局于2018年发布了一系列公路工

程领域自动化实现过程的研究成果，系统的阐述了以解决在高速公路建设项目开发中实施自动化技术而所需要开展的技术研究^[2]，主要集中在以下五个技术领域：遥感、地面定位、3D设计、机械控制与自动化和现场检测技术，如图2所示。



图2 国外智能施工流程图^[2]

通过三维扫描、激光雷达等技术进行现场勘察，通

过采集的数据进行三维道路设计，通过自动化施工机械对路基进行整平，通过智能摊铺碾压技术对路面进行施工，最后通过现场检测技术进行质量检测和后期病害观测。

国外的压实技术主要采用IC振动压路机，在滚筒轴上安装了加速度计、GPS设备、红外温度传感器和车载计算机，可以实时显示彩色编码地图，以跟踪压路机通过、表面温度和压实材料的刚度进而计算路面压实度；地质雷达（GPR）进行厚度检测，红外热剖面仪（IR）进行温度扫描，混凝土温度计进行温度检测，实时平整度检测仪进行平整度监测，如图3所示。

三、目前存在的不足之处

- (1) 信号问题。目前的定位系统无法做到在任何地点保持高精度的定位，比如在隧道施工时
- (2) 施工精度。根据调研发现，目前的无人化施工技术在直线路段的效果良好，但是在复杂线性路段的效果有待改善
- (3) 找平精度不足。路面平整度时好时坏，部分



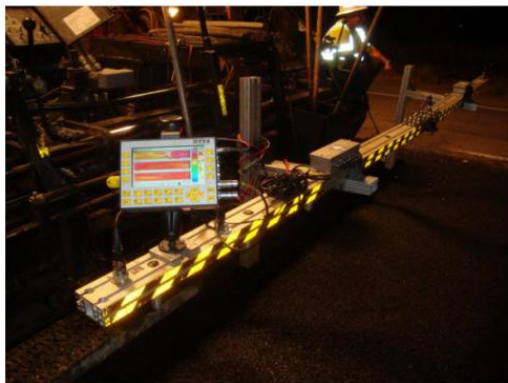
Source: FHWA.

Figure 26. Photo. An example of IC for asphalt.



Source: FHWA.

Figure 27. Photo. An example of GPR.



Source: FHWA.

Figure 28. Photo. An example of a paver-mounted thermal profile system



Source: FHWA.

Figure 29. Photo. An example of a PCC real-time profiler.

图3 国外智能施工采用的主要技术^[2]

路段不如传统施工方式路段

四、建议

我国持续增加对于交通建设的投入，自2019年《交通建设强国纲要》颁布以来，道路建设快速发展。

《2021年交通运输行业发展统计公报》中指出全国公路总里程528.07万公里，公路养护里程525.16万公里，占公路总里程比重为99.4%^[3]。公路里程逐年增加导致新建公路的质量检测需求及既有公路的养护任务也在不断增加，而目前的道路检测技术存在人工成本高、效率低等弊端，对于道路检测技术自动化、实时化、准确化的要求逐渐提高。

但是目前的实时化、无损化检测技术在精度方面有待进一步提高，而且《公路工程质量检验评定标准》《公路工程质量检验评定标准》等规范并未进行相关技术手段的更新，所以在路面无人化施工的质量检验上依然以规范内的手段和评价指标为主。

但是针对路面无人化施工，检测方面依然存在以下建议及想法：

(1) 原材料检测

①沥青红外光谱仪：沥青质量是保障路面质量的关键之一，红外光谱仪具有快速检测沥青原材料性质的特点，可与沥青厂家的产品进行对比，从源头上保证了沥青质量的可靠性。

②集料加工及扫描评定：集料的规格粒径和性质对沥青混合料的影响很大，目前沪永高速的集料加工装置可以对集料进行加工处理，效果对比处理前的集料提升明显；而三维扫描技术可以对集料的表面粗糙度、针片状等进行扫描，还能对集料的级配组成进行分析，但是目前仅处于实验室开发中

③沥青、集料数据库：通过红外光谱仪可以对省内外的沥青进行标准图库的建立，从而为以后的应用分析留下基础。而集料方面也能进行相似的处理，国外的部分实验室正在进行此项试验，其目的是为了搜集集料信息，一是方便施工的料源调查，二是预测沥青混合料的使用性能。

(2) 施工过程控制

①智能压实技术：压实是沥青混合料寿命的关键影响因素，目前的智能压实技术大概分为两类：一是CMV技术，主要通过加速度传感器（安装在振动轮上）按一定的频率实时采集振动轮加速度信号，再经过信号处理

及算法得出CMV值来反映材料压实情况。二是VCV技术，主要通过振动轮产生的激振力进行反算压实情况。除开这两种主流情况外，还存在一些其他方式进行压实度实时感知，但是还需更多的工程实践进行对比与改进^[4]。

②红外热成像技术（IR）：通过将高精度红外扫描仪装在摊铺机或者无人机上，可以实时对正在施工的混合料进行全面的温度监测，预防温度导致的离析情况产生，但是不论激光雷达和红外扫描均存在距离、遮挡、环境感染等影响，且数据量大，处理需要熟练人员。

(3) 施工质量检测

①厚度、压实度：除钻芯法外，地质雷达（GPR）和无核密度仪均能实现厚度与压实度的检测，且具有速度快、覆盖面广的优势，但是需要与钻芯试样进行标定。

②平整度：除八轮仪和三米直尺外，多功能检测车是目前的最佳选择

③无人化施工改变的是作业方式，并未改变材料与结构，对于混合料的性能并没有巨大的提升，在检测规范未更新的情况下，保留传统检测方法，可适当增加部分快速无损检测方法

参考文献

[1]胡根生, 陈剑锋, 王俊喆. 营运高速公路路面专项养护无人化施工技术应用研究[C]//中国公路学会养护与管理分会. 中国公路学会养护与管理分会第十二届学术年会论文集. [出版者不详], 2022: 149-156.

[2]Torres H N, Ruiz J M, Chang G K, et al. Automation in highway construction part I: Implementation challenges at state transportation departments and success stories[R]. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 2018.

[3]殷岳, 梅深. 交通运输部发布《2021年交通运输行业发展统计公报》[J]. 水道港口, 2022, 43(03): 346.

[4]何禹, 高新民, 杨永强, 郭宏军. 沥青路面压实度无损检测技术与应用研究[J]. 建筑机械, 2021(04): 39-44+6.

作者简介：屈上智（1996.09-），男，汉族，四川省成都市，四川智通路桥工程技术有限责任公司，助理工程师，路面材料及施工。