智能施工管控下超薄沥青罩面在国省道预防性养护中的应用研究

沈千帆

（连州市公路事务中心，广东 清远 513400）

摘 要：以超薄沥青罩面技术为核心，结合智能施工管控系统，对国省道路面预防性养护开展研究。通过引入物联网监测、无人机巡检及施工设备自动化控制，实现施工过程的实时监控与质量精确管理。案例分析表明，智能施工管控下的超薄沥青罩面可有效延长路面使用寿命、提升施工效率，并显著降低施工成本和环境影响，为国省道预防性养护提供了可行的技术路径。

关键词：智能施工管控；超薄沥青罩面；预防性养护

中图分类号：U418 **文献标识码：**A

Research on application of ultra-thin asphalt overlay in preventive maintenance of national and provincial highways under intelligent construction control

SHEN Qianfan

（Lianzhou Highway Affairs Center，Qingyuan，Guangdong 513400，China）

Abstract：Taking ultra-thin asphalt overlay technology as the core and combining it with an intelligent construction control system，this paper conducts research on preventive maintenance of national and provincial highway pavements. Through the introduction of Internet of Things monitoring，UAV inspection，and automated control of construction equipment，real-time monitoring of the construction process and precise quality management are achieved. Case analysis shows that ultra-thin asphalt overlay under intelligent construction control can effectively extend pavement service life，improve construction efficiency，and significantly reduce construction costs and environmental impact，providing a feasible technical path for preventive maintenance of national and provincial highways.

Key words：intelligent construction control，ultra-thin asphalt overlay，preventive maintenance

1 引言

国省道作为交通网络的重要组成部分，其路面长期承受高强度交通荷载，易出现裂缝、车辙及老化等问题。传统路面养护多依赖人工监测与经验施工，存在养护效率低、施工质量不稳定等弊端。超薄沥青罩面以厚度薄、施工快速、成本低及使用寿命长等特点，成为预防性养护的新型技术。结合智能施工管控手段，可实现施工过程的实时监控和优化管理，为路面养护提供数字化、精细化及智能化解决方案[1]。

2 技术原理与方法

2.1 超薄沥青罩面技术

超薄沥青罩面（Ultra-Thin Asphalt Overlay）是在现有路面基础上铺设一层厚度通常为15~30 mm的高性能改性沥青混合料的技术。与传统养护方法相比，超薄罩面具有明显优势。首先，其厚度薄、施工速度快，可在短时间内完成施工，尤其适用于交通繁忙或路段交通量大的国省道，施工期间对交通干扰最小，有利于保持道路通行能力。其次，采用的改性沥青材料具有优良的低温抗裂性和高温抗车辙能力，能够有效缓解原路面裂缝扩展与车辙加深的问题，从而延长路面使用寿命。此外，超薄罩面不仅材料消耗量少、施工成本低，还减少了施工过程中的能源消耗和环境污染[2]。

2.2 智能施工管控

智能施工管控是利用信息化、数字化及自动化手段，对道路施工全过程进行精细化、可追溯管理的一种先进施工理念。首先，通过部署物联网传感器、无人机

巡检系统及路面应力监测装置，可实时采集温度、湿度、压实度、路面平整度及施工状态等关键数据，确保施工质量可控。其次，智能化摊铺机与压实设备可根据实时数据自动调节摊铺厚度、压实力和行进速度，提高施工精度和一致性，减少人工误差。最后，施工数据可通过建模和分析进行预测性管理，及时发现潜在问题并调整施工参数，实现施工质量的动态优化。智能施工管控不仅能够保证路面施工质量和均匀性，还可显著提高施工效率，缩短施工周期，降低施工成本与劳动力消耗。

2.3　研究方法

本文以“案例分析+数据监测+效果评估”为研究方法，对智能施工管控下的超薄沥青罩面在国省道预防性养护中的应用进行系统研究。

（1）在施工方案设计阶段，确定养护路段范围、路面结构状况及改性沥青混合料配比，同时根据路段交通量和施工时间窗口确定罩面厚度和施工工艺。

（2）在智能施工管控实施阶段，现场布设物联网传感器、无人机巡检系统及自动化施工设备，实时采集路面温度、压实度、平整度和施工进度等数据，通过数据传输和分析平台进行施工动态管理。

（3）在效果评估阶段，通过施工质量检测、路面平整度测试、抗车辙实验及裂缝发展监测，对施工结果进行综合评价，分析智能施工管控对施工质量、施工效率及路面性能提升的实际作用[3]。

3　案例分析

3.1　工程概况

本文选取某省国道约50 km路段作为预防性养护工程对象，该路段车流量中等，交通组成以货运车辆和普通客车为主。路面结构为原有沥青混凝土基层，基层和底基层状况良好，但路面表层出现轻微裂缝、局部车辙及老化现象。

该路段为国道干线，承担着区域物流和日常交通运输的重要任务，因此在不影响通行的情况下开展预防性养护显得尤为重要。该项目的主要施工目标是延长路面使用寿命、改善行车舒适性及降低路面维护成本。在技术选择上，结合道路现状和施工要求，采用超薄沥青罩面技术，并引入智能施工管控体系。根据交通荷载和气候条件，施工厚度设计为20 mm，同时确保改性沥青混合料具有高温抗车辙性、低温抗裂性及耐久性，以满足未来5~7年的使用需求[4]。

在施工方案设计阶段，对路面开展了精细调查，记录裂缝分布、车辙深度及路面平整度。根据路面应力与温度场分布，可计算路面应力分布：

$$\sigma=\frac{P}{\pi a^2}\left[1-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^{1/2} \tag{1}$$

其中，σ为路面最大应力；P为车辆轮荷；a为接触半径；r为从轮荷中心到任意点的距离。通过应力计算，可预测路面在施工及养护期的受力状况，从而合理安排材料配比和施工厚度，保证养护效果。此外，该工程综合考虑施工时间窗口与交通组织方案，采用夜间施工和分段施工方式，确保道路通行能力，同时减少对交通运输的干扰[5]。该路段施工不仅涉及材料技术问题，也需精细化管理和实时监控，为智能施工管控在实际养护工程中的应用提供了实践条件。

3.2　施工过程

施工过程分为路面处理、材料准备、智能施工与数据采集4个关键阶段。

3.2.1　路面处理

施工前，对原有路面进行清扫，去除松散材料、灰尘及杂物，确保罩面材料和原路面良好粘结。对于已出现的裂缝，采用热沥青或冷沥青封闭技术进行填缝处理，以避免裂缝反射至新铺层，保证罩面整体性能。此阶段的施工质量直接影响罩面与基层的粘结力，可采用粘结强度计算公式表示：

$$\tau=\frac{F}{A} \tag{2}$$

其中，τ为粘结剪应力；F为剪切荷载；A为接触面积。通过测定剪应力，可评估基层和罩面之间的结合效果，确保施工质量符合规范要求。

3.2.2　材料准备

材料准备阶段采用高性能改性沥青混合料，经严格温控加热与均匀拌和后备用。材料厚度控制在20 mm，以兼顾施工便捷性和路面耐久性。混合料性能参数包括车辙深度、低温抗裂性及水稳性，均通过实验室试验验证。

3.2.3　智能施工

施工过程中，利用无人机进行路面平整度巡检，实现实时影像采集与数据分析。摊铺机配备自动厚度控制系统，保证罩面铺设均匀；压实机通过智能控制系统调整压实压力和行进速度，确保压实均匀性。施工参数实时调整，使施工过程数据化、可追溯，提高整体施工质量。

3.2.4　数据采集

施工期间采集的关键数据包括路面温度、压实度、平整度等指标。这些数据通过施工管理平台实时传输并分析，为施工决策提供依据。例如，压实度可通过下式计算：

$$\text{压实度}=\frac{\rho_{\text{实测}}}{\rho_{\text{最大干密度}}}\times 100\% \tag{3}$$

其中，$\rho_{\text{实测}}$为现场测得密度；$\rho_{\text{最大干密度}}$为实验室最大干密度。通过对压实度数据的动态监控与调整，施工质量可得到有效保障。

3.3 施工效果

施工完成后，通过科学检测对施工效果进行综合评估，主要涉及平整度、抗车辙能力及裂缝控制3方面。

3.3.1 平整度

采用路面平整度仪测量新铺层的纵向和横向平整度，结果显示全部路段均达到国家规范标准。平整度可通过国际通用的国际平整度指数（IRI）表示：

$$IRI=\frac{1}{L}\sum_{i=1}^{n}\frac{|h_i-h_{i-1}|}{\Delta x} \tag{4}$$

其中，L为路段长度；h_i为测点高度；Δx为测点间距。通过IRI指标，可量化路面行车舒适性与施工质量。

3.3.2 抗车辙能力

在模拟荷载实验中，经对比分析，新施工的超薄罩面车辙深度较施工前减少约30%，表明改性沥青罩面具有良好的高温稳定性和耐久性。可见，该施工工艺有效增强了路面承载能力，减缓了车辙发展速度。

3.3.3 裂缝控制

施工完成后进行为期6个月的裂缝监测，结果显示无新增反射裂缝。通过数据采集与监测，验证了智能施工管控在温控、压实及铺设均匀性方面的有效性，为延长路面使用寿命提供了保障。

综合来看，智能施工管控下的超薄沥青罩面施工不仅提高了施工效率，还保证了路面平整度、抗车辙性及裂缝控制效果，实现了预防性养护目标。该方法可为国省道后续养护工程提供参考和推广价值。

4 结束语

本文以国省道路预防性养护为背景，系统分析智能施工管控下超薄沥青罩面技术的应用效果。研究表明，该技术能够在保障施工质量的同时显著提升施工效率，实现高效、低成本和高可靠性的路面养护目标。通过引入传感器、无人机巡检及自动化施工设备，实现了施工过程的数据采集、实时监控与动态调整，使施工过程更加可控，施工质量和路面性能得到有效保障。同时，数据驱动的管理模式为道路管理部门提供了可靠的决策依据，可用于施工方案优化、养护周期评估及养护资源配置。为在更大范围内推广该技术，建议在国省道养护中逐步完善智能施工体系，优化传感器布设和数据管理流程，强化施工设备自动化与协同控制，推动施工标准化、数字化及信息化建设。

未来，随着智能施工技术和材料科学的不断发展，超薄沥青罩面在道路预防性养护中的应用将更加成熟，为延长道路使用寿命、提高交通服务水平及实现可持续道路养护提供坚实支撑。

参考文献：

[1] 陈冰.细粒式超薄SMA-5在高速公路养护维修工程中的应用研究[D].济南：山东大学，2015.

[2] 王晖.国省道养护项目中高和易性超薄沥青罩面施工技术探讨[J].交通世界，2024(21)：60-62.

[3] 朱俊迪.公路路面预防性养护中沥青超薄磨耗层罩面设计研究[J].现代交通与路桥建设，2025，4(16)：32-35.

[4] 刘佑伟.超薄罩面在甬莞高速厦门段路面预防性养护中的应用研究[J].厦门科技，2025，31(3)：52-57.

[5] 钟志军.排水超薄抗滑型沥青罩面在高速公路养护中的应用[J].交通世界，2024(26)：68-70.

作者简介：

沈千帆（1995—），本科，助理工程师，研究方向：国省道公路养护。