

浅谈路面预防性养护技术在高等级公路养护施工中的应用

朱芳芳

慈利县公路建设养护中心

摘要：预防性养护，作为一种主动的养护方法，旨在通过早期介入减缓路面老化过程，避免损害的扩散。本文基于对高等级公路预防性养护实践的深入分析，阐述各类养护技术的应用原理及效果，总结提出现代监测手段对提升养护效率的作用，以供参考。

关键词：路面预防性养护；高等级公路养护；施工应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.041

引言

路面养护可分成三种类型：预防性养护、反应性养护和应急性养护。我国目前的公路养护事业以后两种方式居多，但大量的理论与实践表明，预防性养护为效益最高的养护方式。预防性养护在没有提高路面结构能力的情况下，延迟路面的损坏，维持或改善路面现有的行车条件，通过延长原有路面的寿命来推迟昂贵的大修和重建活动。

一、预防性养护技术概览

预防性养护技术的应用可有效提升行车安全性，且可延长道路使用寿命，在此通过定期的检查和维护干预，避免或减少路面的损害、老化，此技术主要包括裂缝填充、表面处理、密封覆盖、沥青混凝土薄层覆盖、路面再生等方法。

首先，裂缝填充为最基本的预防性养护措施之一，通过填补路面裂缝来阻止水分渗透，减少裂缝扩展。表面处理包括喷洒乳化沥青和铺设细粒料，以改善路面抗滑性能和延缓老化过程。密封覆盖技术则通过在旧路面上施加一层保护性材料，减少水分、氧气的侵入，从而延长路面使用寿命。其次，通过使用预防性养护技术，还可在一定程度上修复已经出现的轻微损害，避免其发展为严重的结构性问题。而预防性养护的核心在于“早做小修，避免大修”，这意味着通过及时的维护干预，可以大幅降低整体的养护成本，同时保持公路网络的高效运行。最后，随着我国科学技术的进步，新材料、新方法也为预防养护提供了一些可能，如高性能的沥青混合料和改性沥青技术可提供更好的耐久性、抗裂性。此外，数字技术、数据分析的应用可提升了管理效率，通过大数据分析和机器学习模型，可以实现对路面状况的实时监控和预测，从而优化养护计划、资源分配，在技术的持续发展与应用中，其是实现可持续道路网络管理的关键，可进一步提升道路的性能安全，也为环境保护和经济效益带来积极影响。

二、预防性养护技术在高等级公路养护中的应用

（一）路面状况评估与监测

1. 初始路面评估

在初始路面评估中，其是为后续制定养护计划的关键一步，此过程涉及对路面的平整度、裂缝、车辙、结构强度以及沥青表面的老化程度等多个方面的检查。具体来说，平整度可通过平整度指数（IRI）来量化，其中IRI的值以米/千米（m/km）为单位，高等级公路的IRI标准一般要求低于2m/km，以确保驾驶舒适性。而裂缝宽度、长度以毫米（mm）为单位，有助于评估路面的破损程度以及可能的水损伤风险；车辙深度以毫米表示，标准要求不超过10mm。

在实际评估中，所进行的结构强度需要使用落锤偏转仪等设备来测量路面的承载能力，结果以微米（ μm ）的偏转值表示。针对沥青路面的老化程度，可通过提取并分析沥青样品，评估其黏度和弹性模量等性质变化，以确定养护类型及其紧张程度。

2. 定期监测

在定期监测中，首先需考虑监测频率，对我国高等级公路建议每半年或每季度执行一次，需突出关注春末和秋初，此时期由于温差变化，路面所出现较大损害风险概率较大，在极端天气事件后，如暴雨或严寒后，需立即进行额外监测。

监测内容包括但不限于：平整度（IRI值需低于2m/km）、裂缝宽度（关注超过5mm的裂缝）、车辙深度（不应超过10mm）和沥青表面的老化程度。此外，通过地面穿透雷达（GPR）检测，还可评估路基厚度和结构完整性，厚度需满足设计标准的 $\pm 10\%$ 范围内。其次，需合理采用高精度设备，如移动激光扫描（MLS）设备和自动裂缝检测系统，进行数据采集。

在此过程中，移动激光扫描可以实时提供精确至毫米级别的平整度、车辙深度数据。自动裂缝检测系统则利用图像识别技术，自动识别和量化路面裂缝的宽度、长度。最后，针对所收集的数据还需通过专业软件进行合理分析，以生成详细的路面状况报告，包括各项监测指标的统计数据、变化趋势图。

（二）养护需求分析与计划制定

1. 需求分析

在我国高等级公路的预防性养护体系中，需求分析主要通过综合分析定期监测数据，确定养护活动的优先级和范围，此过程需关注当前路面状况，也考虑路面未来的性能预测，以及交通流量和路面使用情况的变化。

首先，需求分析主要依据以下指标：平整度（IRI值）、裂缝宽度和深度（尤其是宽度超过5 mm的裂缝）、车辙深度（超过10mm视为严重），以及路面材料的老化程度。这些指标直接关联到路面的安全性、舒适性及寿命。

其次，基于路面状况的严重程度，养护需求被分为

紧急、高优先级和常规三个等级。例如，IRI值超过4 m/km的路段，或车辙深度超过15mm的路段，通常被归类为紧急养护需求；裂缝宽度在5mm到10mm之间，且分布广泛的路段，可视为高优先级养护需求。

此外还需考虑到养护活动对交通流量的影响，在此通过分析交通流量数据（车辆/小时），评估不同养护方案执行时对交通的潜在影响，以及需要实施交通管理措施。

最后，需根据养护需求的优先级和范围，初步估算养护工程的预算，在此预算估算会考虑到材料成本、人工费用、设备使用费和交通管理费用等，确保养护计划的财务可行性^[1]。

2. 计划制定

在计划制定阶段，第一需基于需求分析，明确各项养护活动的具体内容，包括但不限于裂缝修补（宽度≥5mm的裂缝）、车辙修复（深度≥10mm）、沥青覆盖层的更新（对IRI值超过4m/km的路段）等，此外每项活动均需指定执行路段长度和宽度，以及预计使用的材料量（如沥青混凝土吨数、填缝材料千克数等）。

第二，养护计划还需根据交通流量和气候条件等因素，为每项养护活动安排最佳的执行时间。例如，避免在雨季或高峰时段进行养护作业，以减少对交通的影响。养护活动的具体日期和时间段（如夜间11:00至次日凌晨5:00）将被明确指出。

第三，在实际养护中对于资源的配置，需包括人力（如工程师、技术员和施工人员的人数）、材料（如沥青、填缝材料的具体量）、设备（如铣刨机、压路机的数量和型号）以及预算（总体预算和各项活动的预算分配）^[2]。

（三）技术选择与材料准备

1. 技术选择

在技术选择中，需结合我国高等公路预防性养护的基本诉求，以此基于需求分析结果，合理选择适合的技术以达到解决路面问题的养护目标。

第一，对于宽度在5mm至10mm的裂缝，通常选用高弹性沥青材料进行填充，以保证填缝材料可适应温度变化引起的裂缝伸缩。对于宽度超过10mm的裂缝，则需采用裂缝扩展和填充技术，使用特制的聚合物改性沥青，

确保更好的黏结力、持久性^[3]。

第二，若车辙深度超过10mm时，需采用热再生或冷再生技术进行修复。前者可涉及加热并移除损坏的沥青层，铺设新的沥青混合料；后者则是在现场直接添加再生剂和新的沥青混合料，进行混合、压实，其适用于较浅的车辙或面积较大的低影响修复^[4]。

第三，为合理提升路面防滑性与防水性，在延缓老化的过程中，需选择雾封层（薄层沥青覆盖）或微表处（微量粒料混合沥青覆盖）技术。而雾封层使用的沥青乳化剂在0.3至0.5升/m²的范围内，而微表处粒料大小、沥青用量则根据具体路况、预期效果进行调整。

第四，针对IRI值显著超标或表面老化严重路段，则需合理进行沥青混凝土覆盖层施工。其要求精确计算所需的沥青混凝土量（吨），并根据路面宽度和预定的覆盖厚度（如50mm至100mm）来决定^[5]。

2. 材料准备

首先，对于裂缝填充、车辙修复或沥青覆盖层施工，需准备相应类型的沥青材料。例如，裂缝填充使用高弹性或聚合物改性沥青，其数量根据裂缝总长度、平均宽度计算，假设每米裂缝需要沥青材料0.5至1升。对于沥青混凝土覆盖层，则根据覆盖面积、设计厚度计算所需的沥青混凝土量，一般以吨为单位。

其次，在进行冷再生或热再生车辙修复时，建议添加再生剂和其他化学添加剂以此合理改善老化沥青性能，需注意的材料用量需根据再生区域的大小、具体的施工工艺要求来确定。

最后，针对需要增加路面防水性的实际养护过程，如雾封层施工，则需准备沥青乳化剂或其他专用防水涂层材料，其用量需根据施工长度和宽度，按照0.3至0.5升/m²的标准进行计算^[6]。

（四）施工准备与交通管理

1. 施工准备

首先，在施工准备中，需对工程师、技术员和操作工做好人员培训工作，在此需接受关于最新养护技术和安全操作规程的培训。例如，对于使用高弹性沥青材料填充裂缝的技术，操作工需要熟悉材料的加热温度（150℃至180℃之间）和填充技巧，以保证材料最佳性能。

表1 不同养护技术的适用条件、材料类型、用量计算基准以及相关的注意事项

养护技术	适用条件	材料类型	用量计算基准	注意事项
裂缝填充	裂缝宽度 5-10mm	高弹性 / 聚合物改性沥青	每米裂缝 0.5—1 升	温度变化适应性
车辙修复	车辙深度 >10mm	再生剂和新沥青混合料	根据区域大小和施工要求	选择热再生或冷再生
雾封层 / 微表处	提升防滑性与防水性	沥青乳化剂或粒料	0.3—0.5 升 / m ²	粒料大小、沥青用量调整
沥青混凝土覆盖层	IRI 值超标 / 老化严重	沥青混凝土	根据面积和厚度，以吨计	精确计算所需量
路面清扫	去除松散物质	清扫设备	根据路面情况	确保干净
裂缝扩展	宽度 >10mm 裂缝准备	特殊切割工具	根据裂缝长度	避免过度切割
密封层	提升密封性能	密封材料	根据施工面积	选择合适密封材料

其次，根据养护技术的选择，准备相应的施工设备。例如，裂缝填充可能需要使用专用的裂缝填充机，其工作宽度为10至15cm，压实设备如压路机，其压实宽度一般为1.5至3米，确保能够覆盖预定的施工区域。此外，对于大面积的沥青混凝土覆盖层施工，需要准备摊铺机和大型压路机，以确保达到良好的沥青加热效果。

此外，在施工前，需对施工区域进行仔细布置，包括设置临时交通标志、施工警告牌和必要的安全隔离设施。此过程需考虑的是，为减少对交通影响，施工区域长度不得超过1公里，宽度应确保至少保留一条车道供车辆通行，以避免交通拥堵。

最后，考虑到施工对环境的潜在影响，需准备相应的环保措施，如防尘、噪音控制和废料处理方案。同时，制定紧急应对计划，包括急救措施、火灾应对以及环境事故处理，以此保障施工过程中的人员和环境安全。

2. 交通管理

在进行交通管理时，需要根据施工规模、地点和预计持续时间等因素，制定详细的交通管理计划。该计划包括施工期间的交通流线路改动、交通标志和信号的设置，以及紧急情况下的疏散路线。

此外，还需在施工区域内设置明显的警示标志、指示标牌，以提醒过往车辆减速慢行。标志应距离施工区域起始点一定距离（不少于100米），确保驾驶员有足够的时间做出反应。

（五）高等级公路应急工程处理措施

首先，需要加强对高等级公路可能出现的问题及其潜在危险的预测与分析。利用现代技术，如传感器技术和数据分析，持续监测道路的使用状态，及时发现并处理潜在的问题。其次，针对应急工程的处理步骤，养护团队应明确人的生命安全始终是第一位的。任何应急措施的制定与执行都应该以此为最高原则，同时需要对道路空间进行科学管理，结合实况选取关闭或开放性车道，必须要保证管理好事件影响区域内的车道控制标志、交通信号灯、匝道调节器，或者在必要的时候还需要采取和实施路线替换方案。

（六）做好巡视工作，并设立安全警示标志

首先，按照已经规定好的养护规范，需要于警告区、缓冲区、施工区布设相应的安全标志、导向标志、安全标志等，保证高等级公路施工现场的安全性、有序性。其次，避免将堆放在工程区内的材料堆放在行驶道上，并确保材料的摆放整齐，并在车道和工程区之间设置隔板，起到隔断作用。最后，高等级公路养护施工现场要求对应的安全管理人员必须要全方位做好施工现场的安全巡查工作，保证相关警示标志与安全标志摆放的正确性，及时更换或维修出现损坏的交通标志，确保施工过程设施的完整性。另外，一定要严格做好高等级公路养护施工过程中有关工作人员的安全监督管理工作，对于出现违法或者违规操作的工作技术人员应该予以严厉的惩处或者警告。

（七）质量控制

首先，需加大对材料的控制力度，对于所用的养护材料，其中包括沥青、聚合物改性沥青、沥青乳化剂、再生剂和填充材料等，必须符合我国标准。在施工前，对此类材料进行抽样检测，包括但不限于黏度、软化点、延伸性等指标，以确保其性能满足养护要求。

其次，在施工过程中，需严格按照养护技术规范执行，例如裂缝填充沥青加热温度、车辙修复的混合料压实度、雾封层的乳化剂喷洒量等。同时，对施工设备进行定期检查和维修，确保其正常运行。

再次，还需完成对环境条件的监控，施工团队在实际施工前，需合理检查好气象条件，确保在适宜的温度和湿度条件下进行施工，避免雨天或极端气候条件影响养护效果。例如，沥青材料的铺设应在气温高于5℃的条件下进行，以防材料过早冷却导致无法充分压实。

最后，在施工完成后，对养护区域进行质量检验，包括平整度测试、压实度检测、裂缝填充质量评估等，以验证施工质量是否达到预定标准。必要时，采用无损检测技术如地面穿透雷达（GPR）进行深入评估。

表2 监测指标、监测频次、采用技术以及数据特点

监测指标	监测频次 / 年	技术应用	精度要求
IRI ≤ 2m/km	1	3D 激光扫描	±0.1m/km
宽度 ≤ 5mm	1-2	无人机航拍 + 图像分析	±1mm
深度 ≤ 10mm	1-2	GPR1	±5mm

结束语

综上所述，在我国公路基础建设的快速发展下，为合理延长公路使用寿命，建议采取如上措施进行预防性养护，通过预防性养护可推迟反应性养护的时间，获得更长的使用寿命，节省投资，减少整个生命周期的费用，且可产生良好的养护效果，这对大交通量的高等级道路尤为重要。

参考文献

[1] 文强, 罗志龙. 沥青路面SPRR技术在高等级公路预防性养护中的应用[J]. 交通世界(上旬刊), 2021(1): 132-133.

[2] 罗波, 朱乘, 葛松. 公路路面养护中新型开普封层技术的应用[J]. 交通世界(下旬刊), 2021(8): 98-99.

[3] 杨姝. 微表处技术在高速公路沥青路面养护施工中的应用[J]. 智能城市, 2021, 7(14): 105-106.

[4] 马振宇. 沥青路面SPRR技术在高等级公路预防性养护中的应用[J]. 商品与质量, 2021(37): 245.

[5] 刘勇峰. 高等级公路沥青路面预防性养护决策探析[J]. 商品与质量, 2021(23): 376, 378.

[6] 贾延军. 微表处技术在高速公路预防养护中的应用[J]. 工程质量, 2022, 40(7): 85-88.

作者简介: 朱芳芳(1984-10-), 湖南省, 女, 土家族, 本科, 中级, 现主要从事的工作: 养护工程。