

高速公路路面预防性养护施工技术

李玉根 翟书永

河南省大道路业有限公司 河南 郑州 450007

摘要：高速公路路面预防性养护通过前瞻性干预延缓病害发展，本文详细阐述基础理论、技术分类、施工控制及发展趋势。分析裂缝、变形等病害成因，提出前置性、针对性等核心原则。介绍裂缝修复、表面功能恢复、结构强化等关键技术工艺，强调材料质量、施工温度及平整度控制要点。探讨智能化巡查、绿色材料研发及全生命周期养护理念等创新方向，为提升路面耐久性、降低养护成本提供科学依据。

关键词：预防性养护；裂缝修复；表面功能恢复；智能化技术；全生命周期

引言：高速公路作为交通动脉，其路面质量关乎通行安全与效率。随着使用时间增长，路面病害逐渐显现，影响行车体验与安全。传统养护方式多为事后补救，成本高且效果有限。预防性养护作为一种前瞻性策略应运而生，通过提前干预延缓病害发展。了解其基础理论、技术工艺及发展趋势，对科学开展养护工作、保障公路良好运行至关重要。

1 预防性养护技术基础理论

1.1 定义与核心原则

预防性养护是一种前瞻性的路面维护策略，强调在路面性能尚未出现明显衰退迹象时，通过科学合理的干预措施，有效延缓各类病害的发生与发展进程。例如，在路面使用3-5年后，当部分指标开始出现轻微变化但尚未达到病害标准时，就应考虑实施预防性养护。这种养护方式的核心在于主动出击，而非被动应对，旨在将路面病害扼杀在萌芽状态，从而延长路面使用寿命，降低全生命周期内的养护成本^[1]。预防性养护技术的实施遵循四大原则。前置性原则要求养护工作需提前规划，在病害初现端倪时即刻介入，防止病害进一步恶化。一般当路面出现1-2条轻微裂缝或平整度下降2-3mm时，就应启动前置性养护工作。针对性原则强调根据路面实际病害类型及成因，量身定制养护方案，确保养护措施精准有效。经济性原则要求在保证养护效果的前提下，合理控制养护成本，实现资源的最优配置。环保性原则则注重养护过程中的环境保护，减少对周边生态的干扰，推动养护技术的绿色可持续发展。

1.2 病害类型与成因分析

裂缝类病害是路面常见的病害形式之一，包括横向裂缝、纵向裂缝及网裂等。横向裂缝多由温度应力引起，在寒冷季节尤为明显；纵向裂缝则往往与荷载作用及基层反射有关，重载交通路段尤为突出；重载车辆轴

载超过13吨的路段，纵向裂缝出现的概率比普通路段高2-3倍，裂缝长度可达5-10米。网裂则是多种因素共同作用的结果，包括沥青老化、集料磨损及基层强度不足等。变形类病害主要表现为车辙与沉陷。车辙的形成与高温重载交通密切相关，沥青在高温下软化，车辆反复碾压导致路面变形；在夏季高温时段，路面温度可达60-70℃，车辙深度在重载路段可达3-5cm。沉陷则多因基层强度不足或地基沉降引起，导致路面局部下沉。地基沉降量超过2-3cm时，路面就会出现明显的沉陷现象，沉陷面积可达数平方米。表面功能衰减是路面使用过程中不可避免的现象，主要包括抗滑性能下降与平整度劣化。抗滑性能下降源于沥青老化导致的粘附力减弱及集料磨损造成的表面粗糙度降低；平整度劣化则与沥青混合料的不均匀沉降、裂缝扩展及车辆荷载的反复作用有关。

1.3 技术选择依据

预防性养护技术的选择需综合考虑多方面因素。路况检测数据是技术选择的基础，包括平整度、抗滑值及裂缝密度等指标，这些数据能够直观反映路面当前性能状况。当平整度标准差超过2mm、抗滑值低于45、裂缝密度达到0.5条/米时，就需要考虑采取预防性养护措施。交通量与荷载特征对养护技术选择具有重要影响，重载比例高、轴载分布不均的路段需采用更为耐久的养护措施。日交通量超过10000辆，且重载车辆占比超过30%的路段，应选择使用寿命在3-5年以上的养护技术。气候与环境条件同样不容忽视，温差大、降雨量多或紫外线强度高的地区需选择抗老化、防水性能优异的养护材料与技术。年温差超过30℃、年降雨量超过1000mm或紫外线强度达到5级以上的地区，应优先选用具有良好抗老化和防水性能的材料。

2 预防性养护技术分类与工艺

2.1 裂缝修复技术

贴缝技术作为裂缝修复的重要手段,主要依赖高弹性橡胶沥青密封带实现裂缝封闭。施工时,先对裂缝进行彻底清理,去除杂物与松散颗粒,确保密封带与裂缝壁紧密贴合^[2]。裂缝清理深度应达到2至3厘米,宽度应比密封带宽1至2厘米。随后,将密封带沿裂缝走向粘贴,并进行压实处理,以增强密封效果,防止水分侵入导致病害扩展。灌缝技术则适用于宽度较大的裂缝,通过热熔型或常温型密封胶进行填充。施工前需对裂缝进行开槽处理,扩大裂缝宽度,便于密封胶深入裂缝内部。开槽宽度宜为1至2厘米,深度为2至3厘米。清缝工序同样关键,需确保裂缝内无灰尘、水分等杂质。加热灌缝时,需控制密封胶温度,避免过高导致材料老化,过低则影响填充效果。热熔型密封胶加热温度应控制在180至200摄氏度,常温型密封胶施工温度宜在10至30摄氏度。灌缝完成后,进行刮平处理,使路面恢复平整。

2.2 表面功能恢复技术

雾封层技术通过喷洒改性乳化沥青或煤沥青基材料,恢复路面抗滑性能与防水能力。施工前需对路面进行清洁,去除油污、灰尘等污染物。路面清洁度应达到无明显油污、灰尘堆积,每平方米灰尘量不超过5克。喷洒作业时,需控制喷洒量与均匀度,确保材料均匀覆盖路面。改性乳化沥青喷洒量宜为0.8至1.2千克/平方米,煤沥青基材料喷洒量为1.0至1.5千克/平方米。养生固化阶段,需封闭交通,避免车辆碾压影响固化效果。养生固化时间一般为24至48小时。稀浆封层技术采用乳化沥青、集料、填料及添加剂的混合物,形成一层薄而密的封层。摊铺机摊铺时,需控制摊铺速度与厚度,确保封层均匀。摊铺速度宜控制在1.5至2.5米/分钟,摊铺厚度为5至10毫米。碾压成型阶段,需选择合适的压路机进行压实,提高封层密实度。一般采用6至8吨的钢轮压路机碾压2至3遍。初期养护阶段,需保持路面湿润,避免封层开裂。初期养护时间不少于7天,期间每天洒水2至3次。

2.3 结构强化技术

微表处技术利用聚合物改性乳化沥青与高硬度集料,形成一层耐磨、抗滑的薄层。混合料拌和时,需严格控制各组分比例与拌和时间,确保混合料性能稳定。聚合物改性乳化沥青用量宜为10%至15%,高硬度集料用量为80%至85%,拌和时间控制在30至60秒。摊铺与碾压工序需紧密衔接,避免混合料冷却导致压实困难。摊铺后应在10至15分钟内开始碾压。接缝处理时,需确保接缝平整、紧密,防止水分侵入。接缝处应搭接5至10厘米,并进行充分压实。薄层罩面技术采用热拌或温拌沥青混合料,对旧路面进行铣刨后摊铺新混合料。铣刨

深度需根据旧路面病害情况确定,确保新混合料与旧路面良好结合。一般铣刨深度为3至5厘米。摊铺新混合料时,需控制摊铺温度与速度,保证摊铺质量。热拌沥青混合料摊铺温度宜为140至160摄氏度,温拌沥青混合料摊铺温度为110至130摄氏度,摊铺速度控制在2至4米/分钟。压实成型阶段,需选择合适的压路机组合与压实遍数,提高路面平整度与密实度。一般采用钢轮压路机与轮胎压路机组合碾压,钢轮压路机碾压3至4遍,轮胎压路机碾压2至3遍。

2.4 特殊病害专项技术

抗车辙技术通过添加高模量沥青添加剂或纤维稳定剂,提高沥青混合料的高温稳定性。混合料设计时,需进行室内试验确定最佳添加剂用量^[3]。高模量沥青添加剂用量宜为沥青质量的3%至5%,纤维稳定剂用量为混合料质量的0.2%至0.4%。摊铺与压实阶段,需提高压实温度与遍数,确保混合料充分压实,减少车辙产生。压实温度应比普通沥青混合料提高10至20摄氏度,压实遍数增加1至2遍。抗水损害技术采用防水型乳化沥青或排水基层材料,防止水分侵入路面结构。基层处理时,需确保基层平整、坚实,无松散颗粒。基层平整度误差应控制在5毫米以内,压实度不低于95%。喷洒防水层时,需控制喷洒量与均匀度,形成连续的防水膜。防水型乳化沥青喷洒量宜为1.2至1.5千克/平方米。铺设面层时,需选择合适的沥青混合料类型与摊铺工艺,确保路面防水性能与使用性能。

3 预防性养护施工关键控制点

3.1 材料质量控制

沥青作为预防性养护中的核心材料,其性能指标至关重要。针入度反映了沥青的软硬程度,需严格控制在规范范围内,以确保沥青在不同温度下的适用性。软化点则体现了沥青的高温稳定性,需满足设计要求,防止在高温环境下发生流淌变形。延度指标则关乎沥青的塑性,对抵抗裂缝扩展具有重要作用。集料质量同样不容忽视,硬度与耐磨性决定了路面的抗滑性能与耐久性,级配的合理性则影响着混合料的密实度与稳定性。添加剂性能需经过充分验证,确保与沥青具有良好的相容性与稳定性,避免在混合料中产生离析或性能衰减。

3.2 施工工艺控制

温度控制是预防性养护施工中的关键环节。对于加热型材料,如密封胶,施工温度需精确控制在适宜范围内,过高会导致材料老化,过低则影响施工效果。乳化沥青的破乳时间与环境温度密切相关,需根据实际情况调整施工时间,确保破乳充分,形成稳定的防水层。厚

度控制方面,封层类技术如雾封层、稀浆封层,需保证摊铺厚度均匀一致,避免出现厚薄不均现象。罩面类技术如微表处、薄层罩面,则需确保压实厚度达标,提高路面的承载能力与平整度。平整度控制依赖于摊铺机行进速度与振动频率的精准匹配,以及碾压设备组合的合理选择。钢轮压路机与轮胎压路机的碾压顺序需科学安排,确保路面压实均匀,无波浪、起伏等缺陷。

3.3 交通组织与安全管控

施工区域的封闭方式需根据实际情况灵活选择,半幅施工或临时车道封闭均可,但需确保施工区域与行车区域有效隔离,防止车辆误入造成安全事故。警示标志与导向标识的设置需规范、醒目,引导车辆安全通行,减少施工对交通的影响^[4]。施工人员安全防护装备的配备要求严格,反光服、安全帽等必需品需齐全有效,提高施工人员的安全防护能力,降低施工过程中的安全风险。

4 预防性养护技术发展趋势与创新方向

4.1 智能化技术应用

随着科技飞速进步,智能化技术正逐步渗透到预防性养护领域。无人机巡查凭借高效灵活的优势,能够快速获取路面病害的图像及空间分布数据,为养护决策提供全面准确的信息支持。AI图像识别技术则进一步提升了病害识别的自动化水平,通过对大量图像数据的学习训练,可自动对病害类型进行分类,并精准评估病害严重程度,大幅减少人工识别的工作量与误差。智能压实技术通过在压实设备上安装传感器,实时监测压实度等关键参数,并将数据反馈至控制系统,根据实际情况自动调整压实参数,确保压实质量均匀一致,有效提升路面结构的密实度与稳定性。

4.2 绿色养护材料研发

绿色养护材料研发是预防性养护技术发展的重要方向。再生沥青技术致力于将旧路面材料进行回收处理,通过特定工艺使其恢复性能并重新利用,既节约了资源,又减少了废弃物对环境的污染。生物基改性沥青以植物油或微生物产物等可再生资源替代部分石油沥青,降低了对传统化石能源的依赖,同时赋予沥青更好的环

保性能与使用性能。温拌沥青技术通过添加特殊添加剂或采用特殊工艺,降低沥青混合料的施工温度,在保证施工质量的前提下,显著减少能源消耗与有害气体排放,推动预防性养护向绿色低碳方向发展。

4.3 全寿命周期养护理念

全寿命周期养护理念强调从路面设计、建设到运营、养护的全过程管理。路面性能衰变模型通过收集分析大量路面使用数据,建立科学合理的数学模型,预测病害发展趋势,为确定最佳养护时机提供依据,避免过早或过晚养护造成的资源浪费。协同养护策略注重预防性养护与修复性养护的有机结合,根据路面实际状况与养护需求,灵活组合不同养护技术,实现养护效果的最大化。成本效益分析则从经济角度出发,综合考虑短期投入与长期收益,通过科学评估不同养护方案的成本与效益,选择最优方案,提升资金使用效率,确保预防性养护工作的可持续发展。

结束语

预防性养护通过科学规划与精准实施,实现了病害的早发现、早治理,有效提升了路面使用性能与经济效益。材料质量控制、施工工艺优化及交通组织安全管控是保障养护效果的核心环节。智能化巡查、绿色材料研发及全寿命周期养护理念的融合,推动了养护技术向高效化、环保化方向演进。实际应用中需结合区域气候、交通特征及病害类型,灵活选择技术组合,形成系统化解决方案,为高速公路可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张彩文.高速公路路面预防性养护施工技术[J].工程建设与设计,2022(17):220-222.
- [2]桂赵崇.高速公路路面预防性养护施工技术研究[J].模型世界,2022(29):82-84.
- [3]饶美英.高速公路路面预防性养护施工技术[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(8):169-170.
- [4]周凡.高速公路沥青路面病害的成因与预防性养护技术研究[J].交通建设与管理,2025(2):194-197.