

公路路面结构层耐久性提升的施工技术研究

金嵘兴

库尔勒公路事业发展中心

DOI:10.32629/etd.v7i6.21038

[摘要] 公路路面结构层的服役稳定性直接决定道路通行质量与使用寿命。为解决常规施工工艺下路面易出现裂缝、车辙、层间脱空、水损害等耐久性病害问题,本文依托公路工程施工实际工况,分析路面结构层耐久性失效的核心诱因,从材料优化、施工工艺升级、层间处置、压实管控等维度开展技术研究。结合现阶段路桥施工新技术、新工艺,总结适配不同路况的耐久性提升施工方案,通过工艺精细化管控与技术改良,有效降低路面早期病害发生率,延长道路服役年限,为公路路面长效运维施工提供技术参考。

[关键词] 公路路面; 结构层; 耐久性; 施工技术; 工艺优化

中图分类号: F540.3 **文献标识码:** A

Research on Construction Technology for Enhancing the Durability of Highway Pavement Structural Layers

Rongxing Jin

Korla Highway Development Center

[Abstract] The service stability of pavement structural layers directly determines the quality of road traffic and its service life. To address durability issues such as cracking, rutting, interlayer voids, and water damage under conventional construction techniques, this study analyzes the core causes of pavement durability failure based on actual highway construction conditions. Technical research is conducted from dimensions including material optimization, construction process upgrades, interlayer treatment, and compaction control. By integrating new technologies and processes in current road and bridge construction, this paper summarizes durability-enhancing construction solutions tailored to different road conditions. Through refined process management and technological improvements, it effectively reduces the incidence of early pavement damage, extends road service life, and provides technical references for long-term pavement maintenance and construction.

[Key words] Highway pavement; structural layer; durability; construction technology; process optimization

1 引言

公路路面长期承受车辆荷载和环境侵蚀,结构层易出现性能衰减。通车3至8年后,普遍出现面层开裂、基层松散、层间粘结失效、车辙沉降等问题,使用寿命很难达到设计标准,增加养护成本并影响安全。传统施工的粗放模式、材料适配不足、层间管控薄弱、压实工艺不精准,制约着结构层耐久性。需通过精细化管控、新型材料应用和工艺升级,改善结构层受力性能,延缓衰减,减少病害,为高品质耐久型公路提供技术支撑。

2 公路路面结构层耐久性失效成因分析

2.1 材料性能适配性缺陷

路面基层材料的基本性能直接关系到路面结构的耐久性,而目前在工程实践中,基层材料的选择和配比的不合理是导致基层破坏的主要原因之一。如果沥青面层材料的针入度、软化点和延度这三项主要质量参数没有达到设计要求,则在高温条

件下容易发生软化滑移,从而导致路面的永久车辙;而在低温条件下,由于抗裂性不足,则容易在路面上产生细小的网状裂纹。对于水泥稳定碎石这一类的半硬质基层而言,当其配合比的设计没有考虑到当地的气候和水文状况的时候,对混合料的含水量和灰量的控制误差可能会造成形成的基层的收缩系数太高,这种干缩和温缩的双重效应将会不断地引起反射裂缝的产生,从而损害道路的结构完整性。有些工地为了降低造价,选择的原料中有不合理的骨料级配和含泥量过高等问题,导致集料和水泥的粘结力不充分,容易在结构层中产生孔隙,经雨水渗透,会逐渐侵蚀结构层,导致基层松散,承载力降低。在使用回收料时,若未进行适当的前处理,可能会造成旧料中的杂质残留和颗粒大小不均,从而造成整个混合物的稳定性不足,严重影响结构加固层的长期耐久性。

2.2 施工工艺与现场管控缺陷

公路路面结构层出现耐久性损伤,除材料本身性能问题外,施工现场工艺落实不到位、管控体系不完善也是引发早期病害的核心因素。现阶段公路基层与面层施工仍存在部分工序粗放化、标准化落实不到位的情况,大幅降低了路面结构整体稳定性,加速结构层性能衰减。

在混合料拌和与运输环节,部分施工现场未严格按照试验配比控制拌和温度、拌和时长,沥青混合料易出现拌和不均、局部老化问题。同时,运输过程中保温措施不到位、运输路线颠簸、卸料操作不规范等情况,会造成混合料温度离析、集料分级离析,直接影响后续摊铺压实质量,使路面结构内部出现不均匀空隙,为水损害、裂缝等病害埋下隐患。

摊铺与碾压工序的不规范操作对路面耐久性影响最为显著。部分施工人员未根据当日气温、混合料性能调整摊铺速度,摊铺连续性不足,频繁停顿造成路面纵向、横向接缝处理质量较差,成为结构薄弱区域。压实施工过程中,传统施工多依靠操作人员经验把控压实遍数、压实速度,容易出现局部欠压、漏压或过压现象,压实度分布不均,导致结构层承载力不一致,长期行车荷载作用下易产生不均匀沉降与变形破坏。

此外,施工现场全过程质量管控存在漏洞,工序交接检查、隐蔽工程验收等制度落实流于形式。施工过程中对环境因素把控不足,高温、阴雨、大风天气未及时调整施工方案,未做好成品防护,同时缺乏对施工细节的精细化管控,各类细微施工缺陷不断累积,最终演变为大规模路面耐久性病害,大幅缩短道路实际服役寿命。

2.3 层间结构与环境荷载耦合破坏

公路面层、基层和底基层三者之间的结合是否紧密,关系到整个结构的受力性能,如果处理不好,将会导致结构的整体破坏,严重影响道路的使用寿命。如果在铺筑过程中不均匀地喷洒层间粘层油、不均匀地喷洒透层油,或者粘结材料的性能不好,就会造成沥青混合料与沥青混合料之间的粘结不充分,从而在汽车荷载的重复荷载作用下产生层间滑动和脱空现象,从而使整个沥青混合料路面的承载系统失效。在恶劣的气候条件下,雨水会从路面的细小裂纹中渗透到层间间隙中,经过一段时间的积累,会使基层材料变软,导致承载力下降;在冻融区域,冬天的时候,水的冻结和膨胀会使结构层收缩,形成裂纹;在不断的冻融过程中,病害会不断扩展。高速、重载车辆的频繁通过,将对道路的结构施加远远超过设计水平的瞬态载荷,使得道路的各结构层在较长时间内都处在疲劳载荷下,从而导致内部破坏的不断积累,最后导致疲劳开裂和沉降变形,从而影响道路的使用寿命。

3 基于耐久性提升的路面施工材料优化技术

3.1 改性沥青混合料优化制备技术

改性沥青是提高路面耐久性能的关键,其配方和施工技术的优化对提高路面的抗车辙性能、抗老化性能和抗水损害性能具有重要意义。施工中应优选SBS改性沥青,根据路面结构层次和行车荷载的不同,选择合适的改性剂用量,在高等级重载道路

的面层中,采用4.2%~4.5%的改性剂,可以使沥青的高温性能和低温抗裂性能得到较大的提高。混合料级配为骨架密实配合比,粗、细料的配合比优选为最佳,集料的含泥量控制在1%以下,针片状集料的含泥量控制在8%以下,以保证混凝土的骨架嵌挤构造的整体性。将Sasobit温拌改性技术引入到沥青混合料中,通过添加3%的Sasobit温拌助剂,并将其调和温度控制在150~160℃之间,与常规的热拌沥青混合料相比,可以减少沥青在高温下的氧化和老化,并提高沥青混合料的铺装性。混合料的制作是以分段拌和方式进行的,首先对集料和石粉进行干燥搅拌,然后对改性沥青进行湿式搅拌,以确保混合料的拌和均匀性,防止离析的发生,使形成的表面层的空隙率保持在3%~5%的范围内,从而能够抵抗降雨的冲刷和温度的变形。

3.2 半刚性基层材料配比改良技术

半刚性基层是沥青路面的主要承载构件,由于它容易产生收缩裂缝,因此可以通过级配的改进来提高它的长期稳定性能。传统的水泥稳定碎石基层在使用过程中,通过对水泥用量的优选,使其以骨料的强度和使用条件为依据,在3.0%~3.8%的范围内,既能保证成型后的强度,又能防止因用量太大而引起的收缩开裂。适当掺加粉煤灰、矿粉等矿物掺合料代替部分水泥以减少混凝土的水化热和收缩,并将其掺量控制在8~12 wt%范围内,可以明显提高混凝土的抗裂性。对水泥稳定碎石基层的最佳含水量进行严格控制,并根据施工场地的环境湿度对水泥稳定碎石基层的含水量进行实时调节,使水泥稳定碎石基层的含水量偏差不超过±1%,从而降低了水泥稳定碎石基层成型后的干、湿变形。针对低温和干旱地区的工作条件,还可以加入特殊的防裂剂,以提高基层的抗收缩和抗温差变形性能。结果表明,改性沥青混合料的7 d无侧限抗压强度提高了15%,干收缩率下降了20%,可以有效地抑制沥青混合料的反射裂缝,提高沥青混合料的长期稳定性能。

3.3 再生材料精细化预处理应用技术

通过对废弃沥青混合料的精细加工和合理使用,既能提高沥青混合料结构的耐久性,又能保证施工质量,达到固体废弃物的资源化。通过对铣刨后的沥青混合料和基层碎石料进行精细筛分、破碎和除杂等预处理,去除其中的杂质、石粉和超大尺寸的集料,使其粒度均匀地保持在规定范围之内。本发明涉及一种利用热-冷复合的方法使老化的沥青再生材料活化,并通过加入一定量的再生剂使其恢复到原有的粘结性,所述再生剂的含量基于旧材料的老化程度而定,通常为2%~3%。通过试验研究,提出了采用不同的原料、不同的施工工艺、不同的设计参数、不同的工艺参数,将不同的原料按照一定的配比进行混合,使之达到最佳的使用效果,并提出了相应的施工工艺。研究结果显示,经精密预处理后的沥青混合料在抗疲劳和抗水破坏方面与新拌沥青混合料相当,将其用于沥青路面基层可以有效地改善基层刚性的不足,减轻基层的应力集中,从而提高沥青路面的耐久性。

4 路面结构层耐久性核心施工工艺优化

4.1 智能精准压实施工工艺

而压实技术的应用,可以有效地克服常规压实技术存在的压实精度低的缺点,提高沥青混合料结构层的耐久性,提高沥青混合料的使用寿命。施工机械装备 GPS定位及压实实时监控,对压实过程中的速度、压实次数、压实厚度和振动频率等进行实时监控,对压实过程进行可视化控制。根据路面结构层的类型,选择合适的压实参数,以4~6 km/h的车速进行高频、低幅度的振动压实,以保证底层的压实质量。该系统能够对漏压、欠压和过压区域进行识别,对压实过程中出现的问题进行及时的报警,并引导现场施工人员进行补压,完全避免了常规压实过程中出现的质量问题。压实施工按“先轻后重,先慢后快,先中间,后边缘”的原则进行,为保证压实的均匀性,每个压实段的重叠宽度为15~20 cm。采用该技术的道路结构层压实度合格率在99%以上,且压实度均匀度明显提高,后期渗水和松散等病害明显减少。

4.2 层间粘结强化施工工艺

提高沥青混凝土路面的耐久性,关键技术之一是加强各个构件之间的粘结性,形成一个完整的受力系统。施工前对各层表面的杂物、灰尘和松散粒子进行彻底的清扫,并使用高压清洗装置,确保各层之间的界面清洁,为粘结剂的粘贴打下良好的基础。在透层和粘层的施工中,选择具有良好透水性的改性乳化沥青进行施工,并精确地控制喷洒比例,底层透层的喷洒比例为1.8~2.2公斤/平方米,表层粘层的喷洒比例为0.8~1.2公斤/平方米,以确保喷洒均匀,不会出现堆积和漏洒现象。在粘合剂喷涂之后,对破碎和形成时间进行严格控制,并且在粘合剂层已经充分形成并且没有被杂质玷污的情况下,立即进行上部构造的操作,从而使得上部和下部构造能够被持续地操作,以避免由于层之间的污染和太长的间隔而引起的粘合剂破坏。这种方法提高了超过13%的层之间的粘附力,并且可以有效地消除层间滑动和脱空的问题,并且允许多层结构成为一个共同作用的系统,从而极大地提高了路面的疲劳和变形强度。

4.3 混合料摊铺与养护精细化工艺

采用精细的铺筑和养护技术,可以有效地防止结构层形变不良的发生,保证沥青混凝土路面的长期耐久性。摊铺操作是以均匀且连续的方式进行的,其中,所述沥青混合料的铺放速率被恒定地控制在2~4 m/min之间,并且所述基层混合料的铺放速率与所述压实步骤相匹配,以避免由于在铺放过程中的暂停而导致的混合料离析和接缝缺陷。采用两级精确控制铺层厚度的方

法,根据松铺系数对铺层高度进行实时调节,保证了各铺层的厚度均匀,降低了局部的应力集中;路面各结构层形成后应及时进行规范的养护工作,在半刚性基层铺筑完毕4个小时以内,用土工织物进行保温养护,在正常的环境条件下进行7天以上的养护,在高温、干燥的环境下,应加大洒水的频率,防止基层因水分流失而产生裂缝。沥青路面铺装完成后,严格控制行车时间,必须等到路面的温度降到常温,结构强度达到设计要求之后才能通车,以免过早受力造成损坏。对沥青路面进行精细的铺筑和维护,能有效地降低沥青路面的接缝病害,改善沥青路面的表面裂缝和强度不足,提高沥青路面的结构层的稳定性能,延长沥青路面的寿命。

5 结论

本文系统分析公路路面结构层耐久性失效的核心诱因,从材料优化、施工工艺升级两大维度,研究适配工程实际的耐久性提升施工技术。通过改性沥青混合料、改良半刚性基层、精细化再生材料应用的材料优化技术,可从源头提升结构层基础性能。智能压实、层间粘结强化、摊铺养护精细化等工艺优化手段,能够有效解决传统施工的质量短板,规避路面早期病害。各类技术的协同应用可显著提升路面结构层整体性、稳定性与抗损能力,延长道路服役年限。研究成果可为公路路面耐久性施工提供技术借鉴,对降低道路养护成本、提升公路工程建设品质具有实际应用价值。

[参考文献]

- [1]戴勇,石继芳.公路路面结构层耐久性提升的施工技术要点分析[J].城市建设,2026,(11):30-32.
- [2]潘冲冲.重载地区柔性基层耐久性沥青路面结构与材料设计[J].交通科技与管理,2024(1):131-133.
- [3]宋世双,郑超,李伟军.一种耐久性沥青路面结构:CN20222387478.7[P].CN218203658U[2026-07-06].
- [4]孙勇,纪伦,赵振国,等.一种寒区堤顶道路沥青路面结构层的设计方法:CN110396888B[P].2021[2026-07-06].
- [5]李翠红,叶敏辉,王伟,等.层状双氢氧化物对混凝土力学及耐久性能影响研究进展[J].复合材料学报,2025,43(8):4757.

作者简介:

金嵘兴(1978--),男,汉族,甘肃榆中人,硕士研究生,高级工程师,公路养护工程,交通社会服务,交通职业教育。