

高速公路桥梁桥面铺装层施工质量通病及防治对策

王维军

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 832017

摘要: 高速公路作为国家交通基础设施的重要组成部分,其桥梁结构的安全性、耐久性和行车舒适性直接关系到整个路网的运行效率与公众出行体验。桥面铺装层作为桥梁结构最上层的功能性构造,不仅承担着车辆荷载的直接作用,还起到防水、防滑、抗磨损和保护主梁结构的关键作用。然而,在实际工程中,桥面铺装层常因材料选择不当、设计不合理、施工控制不严或环境因素影响而出现多种质量通病,严重影响桥梁使用寿命和行车安全。本文系统梳理了当前高速公路桥梁桥面铺装层常见的施工质量通病,深入分析其成因,提出针对性的防治对策,旨在为提升桥面铺装工程质量提供理论支撑与技术参考。

关键词: 高速公路;桥梁;桥面铺装;质量通病;成因分析;防治对策

引言

随着我国高速公路网络的持续扩展和交通量的迅猛增长,对桥梁结构性能的要求日益提高。桥面铺装层作为桥梁结构体系中的“皮肤”,虽厚度较薄(通常为6~12cm),但其功能至关重要。一方面,它需具备足够的强度、刚度和耐久性以承受重载、高频次的车辆荷载;另一方面,还需具有良好的平整度、抗滑性、防水性和温度适应性,以保障行车安全与舒适。然而,由于桥面铺装层处于结构最外层,直接暴露于复杂多变的自然环境(如紫外线、雨水、冻融循环、高温等)和动态交通荷载之下,加之施工过程中涉及多道工序、多种材料和多个专业交叉作业,极易产生各类质量缺陷。近年来,国内多条高速公路桥梁在运营初期即出现桥面铺装层开裂、坑槽、推移、脱层等病害,不仅增加了养护成本,更对行车安全构成威胁。因此,系统研究桥面铺装层施工质量通病的类型、成因及防治措施,对于提升我国桥梁建设质量、延长结构使用寿命、保障交通安全具有重要的现实意义。

1 桥面铺装层的功能与技术要求

桥面铺装层功能多样。一是传递分散车辆荷载至主梁,是桥梁受力重要部分;二是防水,阻止雨水渗入梁体,避免钢筋锈蚀等耐久问题;三是抗滑耐磨,保障雨天行车安全,防止过早磨损;四是提供平整表面,减少冲击,提升驾乘舒适性;五是隔离侵蚀介质,保护主梁混凝土和预应力筋。依相关标准,铺装层力学性能上要有足够抗压、抗弯拉强度;层间性能上与下承层粘结牢固;环境适应性上防水、耐温。材料施工和易性要好,形成均匀密实结构。我国高速公路桥梁铺装主要有沥青混凝土和水泥混凝土两种,沥青混凝土因舒适、便捷应用

更广。

2 桥面铺装层常见施工质量通病及成因分析

2.1 层间粘结不良与脱层

层间粘结不良与脱层是桥面铺装中最常见且危害较大的质量通病之一。其典型表现为铺装层与桥面板或防水层之间出现空鼓、剥离,严重时在车辆荷载反复碾压下产生“唧泥”现象,甚至局部隆起,影响行车安全。造成此类问题的根本原因在于界面处理不到位或粘结体系失效。例如,桥面板表面若存在浮浆、油污或灰尘未彻底清除,或凿毛深度不足,将显著削弱机械嵌合力;粘层油洒布量不足、不均匀,或在乳化沥青尚未破乳前未能及时摊铺混合料,也会导致粘结强度不足。此外,防水层施工若存在针孔、裂缝或搭接不牢等问题,会形成薄弱界面,成为脱层的起始点。值得注意的是,桥面板浇筑后若长时间暴露于空气中,表面可能发生碳化或二次污染,进一步降低粘结效果;而在雨天或高湿环境下施工,界面含水率过高同样会严重影响粘结性能。

2.2 裂缝类病害

2.2.1 反射裂缝

反射裂缝通常沿桥面板的施工缝、伸缩缝或既有收缩裂缝位置向上延伸至铺装层表面,呈现规则线状分布。这类裂缝的产生主要源于桥面板自身的结构特性。当桥面板因温度变化、收缩徐变或荷载作用产生微裂缝后,若铺装层厚度不足或刚度过大,无法有效吸收和分散应力,则裂缝极易向上反射。尤其在未设置应力吸收中间层(如SAMIs)或土工格栅等防裂措施的情况下,反射裂缝的发生概率显著增加。因此,铺装结构设计中若忽视对下部结构变形的协调性考虑,极易导致此类病害提前出现。

2.2.2 温缩裂缝与疲劳裂缝

温缩裂缝与疲劳裂缝多表现为铺装层表面不规则的网状或横向开裂,常见于低温季节或重载交通频繁路段。其成因主要与材料性能和荷载累积效应有关。一方面,若所用沥青混合料低温抗裂性能较差,如沥青老化严重、胶结料含量偏低或级配中细料比例过高,会导致混合料脆性增大,在低温收缩应力作用下开裂;另一方面,若施工过程中压实不足,导致空隙率过大,不仅加速沥青氧化老化,也削弱了材料的整体性^[1]。此外,在长期重载车辆反复碾压下,铺装层内部逐渐积累疲劳损伤,最终引发结构性裂缝。这类裂缝一旦形成,往往伴随水损害风险,进一步加剧病害发展。

2.3 推移、拥包与车辙

推移、拥包与车辙多发生在重载车道、长大纵坡或弯道区域,表现为铺装层在水平力作用下发生横向或纵向位移,形成波浪状隆起或凹陷。其根本原因在于铺装层高温稳定性不足与层间抗剪能力薄弱。当沥青软化点偏低或混合料高温抗剪强度不足时,在夏季高温和重载车辆制动、启动等水平力作用下,铺装层易发生塑性流动。若粘结层失效或防水层表面过于光滑,层间摩擦阻力降低,将进一步加剧铺装层的滑移趋势。此外,摊铺或碾压过程中若局部压实不均,形成薄弱区域,在高温下更易变形。交通渠化现象严重的路段,由于重载车辆长期集中行驶于固定轨迹,也会加速局部车辙的形成与发展。

2.4 坑槽与松散

坑槽与松散是典型的水损害表现形式,通常出现在裂缝周边或排水不畅区域。其发展过程始于水分通过铺装层空隙或裂缝渗入内部,在车辆动荷载产生的动水压力作用下,沥青膜从集料表面剥落,导致集料失去粘结而松散,最终在车轮作用下被带出,形成凹坑。造成此类病害的直接原因是混合料空隙率过大或压实不足,使得水分易于侵入并滞留。同时,摊铺过程中若发生材料离析,导致局部区域沥青含量偏低,也会削弱粘结力。此外,若桥面板本身存在局部破损或强度不均,铺装层在该处缺乏有效支撑,同样容易发生结构性破坏,进而演变为坑槽。

2.5 平整度差

平整度差直接影响行车舒适性与安全性,其表现形式为桥面纵、横方向存在明显起伏或波浪。该问题的根源往往可追溯至多个施工环节。首先,桥面板在混凝土浇筑阶段若标高控制不严,或预拱度设置不合理,将为后续铺装层平整度埋下隐患。其次,沥青混合料摊铺过

程中,若摊铺机行进速度不稳定、熨平板仰角调整错误,或因供料中断频繁停机,极易在接缝处形成高差^[2]。采用钢丝绳引导摊铺时,若张力不足或传感器故障,也会导致基准失准。此外,碾压工艺若安排不当,如压路机碾压遍数不足、路径混乱或初压温度过低,均可能造成表面不平整,难以达到规范要求的平整度指标。

2.6 防水层失效

尽管铺设了防水层,但雨水仍渗入梁体导致钢筋锈蚀和混凝土剥落的现象屡见不鲜,这表明防水层实际并未发挥应有作用。防水层失效的原因是多方面的。首先,若所选防水材料本身质量不合格,如延伸率低、耐热性差或抗老化性能弱,则难以适应桥面复杂的变形与环境条件。其次,施工操作不规范也是重要原因,例如涂刷或喷涂不均匀、局部厚度不足、搭接宽度不够等,均会形成渗漏通道。特别值得注意的是,泄水孔、伸缩缝、护栏基座等细部节点若未进行加强处理,极易成为防水薄弱点。此外,在防水层尚未完全固化前,若摊铺机或运输车辆直接碾压,会造成物理损伤,破坏其整体性,从而丧失防水功能。

3 桥面铺装层施工质量通病防治对策

3.1 优化铺装结构设计

防治桥面铺装质量通病,应从源头抓起,优化结构设计是关键。针对不同桥梁类型与交通荷载特点,应合理选择铺装形式。例如,在大跨径桥梁或重载交通密集路段,优先采用SMA-13或高模量沥青混凝土,以提升高温稳定性和抗疲劳性能。同时,应在铺装层与桥面板之间增设应力吸收中间层(SAMIs)或纤维增强层,有效阻断反射裂缝的传播路径。设计中还应注意层间协同性,避免出现“强-弱-强”的力学不匹配结构,确保各功能层性能协调。此外,对泄水口、伸缩缝周边等易损部位,应进行局部加厚或采用特殊柔性材料处理,提升细部构造的耐久性。

3.2 严格材料质量控制

材料是工程质量的基础。沥青应选用优质SBS改性沥青,并严格控制其针入度、软化点、延度及弹性恢复率等关键指标,确保高温不流淌、低温不开裂。集料宜采用坚硬、洁净、表面粗糙的玄武岩或辉绿岩,严格限制含泥量与压碎值,以增强骨架稳定性和粘附性。粘层油推荐使用快裂型阳离子乳化沥青,洒布量应精确控制在 $0.3 \sim 0.6\text{L}/\text{m}^2$ 之间;防水层则宜采用喷涂型聚脲或反应性树脂类材料,具备无缝、高弹、耐老化等优势^[3]。所有进场材料必须建立严格的检验制度,每批次均须经第三方检测合格后方可用于工程,杜绝不合格材料流入施工现场。

3.3 规范关键施工工艺

3.3.1 桥面板处理

桥面板作为铺装层的直接承托面，其处理质量直接影响层间粘结效果。施工中应确保凿毛深度不小于5mm，露石率不低于80%，以提供足够的机械咬合力。随后采用高压水冲洗或喷砂工艺彻底清除浮浆、油污及粉尘，确保界面洁净。为避免桥面板长期暴露导致表面碳化或污染，建议在混凝土浇筑完成后7天内完成铺装施工，最大限度保持界面活性。

3.3.2 防水层施工

防水层施工应在桥面板完全干燥（含水率低于9%）且平整的基础上进行。推荐采用机械化喷涂设备分层施工，总厚度不应小于2.0mm，以保证连续性和致密性。对于泄水孔、伸缩缝等关键部位，应在常规防水层基础上额外增加一道玻纤布或无纺布加强层，防止应力集中导致开裂。施工完成后，必须严格封闭交通，严禁人员踩踏或机械碾压，直至防水层完全固化，确保其完整性不受破坏。

3.3.3 粘层施工

粘层施工是连接防水层与铺装层的关键环节。应在防水层完全固化后进行，采用智能洒布车均匀喷洒PCR改性乳化沥青，确保无遗漏、无堆积。洒布后需封闭作业面，待乳化沥青充分破乳、表面干爽后再立即组织沥青混合料摊铺，避免二次污染或水分侵入影响粘结效果。粘层施工的时效性与均匀性直接决定了层间粘结强度，必须予以高度重视。

3.3.4 沥青混合料摊铺与压实

摊铺与压实是决定铺装层最终性能的核心工序。应采用双机梯队作业方式，减少纵向冷接缝。严格控制混合料出场与摊铺温度，SBS改性沥青混合料摊铺温度不得低于160℃，摊铺速度保持在2~3m/min，确保连续均匀。碾压应遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则，初压、复压、终压分工明确，压路机组合合理^[4]。最终压实度应不低于93%（马歇尔标准），空隙率控制在3%~5%之间，以兼顾密实性与耐久性。

3.4 强化施工过程管理

有效的过程管理是质量保障的重要手段。应全面推行首件工程认可制，在正式施工前通过试验段验证配合

比、工艺参数及质量控制措施的可行性。施工过程中应引入智能压实系统、红外测温仪、激光平整度仪等先进设备，实现对温度、压实度、平整度等关键指标的实时监控。同时，严格执行工序交接验收制度，桥面板、防水层、粘层、铺装层各工序必须经监理工程师验收签字后方可进入下一道工序。此外，应建立完善的质量追溯体系，对材料来源、施工人员、设备参数及工艺流程进行数字化记录，实现全过程可追溯。

3.5 应用新技术与新材料

面向未来，应积极推动新技术与新材料在桥面铺装中的应用。例如，可在铺装层内预埋光纤传感器，实时监测应力、应变与温度变化，为结构健康评估提供数据支持；研发微胶囊自修复沥青或感应加热沥青，实现微裂缝的自主愈合，延长使用寿命；推广冷拌冷铺技术，适用于应急抢修，减少对正常交通的干扰。同时，BIM技术的应用可实现施工全过程的三维模拟与冲突预判，优化施工组织，提升精细化管理水平。

4 结语

高速公路桥梁桥面铺装层的质量通病是材料、设计、施工与环境等多重因素交织作用的结果，其防治必须坚持系统思维与全过程控制。通过优化铺装结构设计、严控原材料品质、规范关键施工工艺、强化过程管理，并积极引入智能建造与新型功能材料，可显著提升桥面铺装层的整体性能与服役寿命。未来，随着基础设施高质量发展理念的深入，桥面铺装技术将朝着高性能、长寿命、低维护的方向持续演进。建议行业主管部门加快完善相关技术标准体系，推动桥面铺装工程从“满足规范”向“追求卓越”转变，为我国交通强国建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张利民.特大桥桥面铺装施工难点与关键施工技术探究[J].工程建设与设计,2025,(20):158-160.
- [2]赵峰.桥面铺装层病害原因分析及质量控制研究[J].工程建设与设计,2025,(17):199-201.
- [3]江雨琴,李洋.高速公路沥青混凝土桥面铺装层施工技术研究[J].运输经理世界,2025,(26):121-123.
- [4]李志胜,张金宝,陈文峰.高速公路沥青混凝土桥面铺装层施工技术研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(03):241-244.