

公路桥梁沥青路面的病害防治

李云

云南航安工程检测有限公司 云南 昆明 650501

摘要:随着我国交通基础设施建设的快速发展,公路桥梁作为连接区域交通网络的重要节点,其服役性能直接关系到道路运输的安全性及效率。沥青路面因其良好的行车舒适性、施工便捷性和维修便利性,在桥梁工程中被广泛采用。然而,受桥梁结构特性、环境荷载及材料性能等多重因素影响,桥梁沥青铺装层易出现裂缝、车辙、坑槽、推移、水损害等多种病害,严重影响桥梁的使用功能和耐久性。本文系统分析了公路桥梁沥青路面常见病害的类型、成因及其发展机理,重点探讨了桥面铺装结构特殊性对病害形成的影响,并在此基础上提出了针对性的预防与治理措施。研究认为,应从材料优选、结构优化、施工控制及养护管理等多维度构建全生命周期病害防控体系,以提升桥梁沥青路面的整体性能与服役寿命。

关键词:公路桥梁;沥青路面;桥面铺装;病害机理;防治技术

引言

近年来,我国高速公路网持续扩展,跨江跨海特大桥梁不断建成,对桥面铺装提出了更高要求。相较于普通路段,桥梁沥青路面具有结构约束性强、散热快、变形协调难、排水条件复杂等特点,使其在服役过程中更容易产生早期病害。据统计,部分运营5年内的桥梁已出现不同程度的铺装层损坏,不仅增加了养护成本,更对行车安全构成潜在威胁。传统沥青路面病害研究多集中于路基路段,而对桥梁特殊工况下的铺装行为关注不足。桥梁结构刚度大、无基层支撑、温度梯度显著,加之频繁的车辆荷载与环境侵蚀,导致其病害形式与演化规律具有独特性。因此,深入研究桥梁沥青路面病害的成因机制,并提出科学有效的防治策略,对于保障桥梁结构安全、延长使用寿命、降低全寿命周期成本具有重要意义。

1 公路桥梁沥青路面的结构特点与服役环境

1.1 结构组成与力学特性

桥梁沥青铺装层通常由防水粘结层、粘层、沥青混合料面层(单层或多层)构成,直接铺设于水泥混凝土或钢桥面板之上。与普通路段相比,其结构具有若干显著差异。首先,桥梁铺装缺乏柔性基层支撑,普通沥青路面下设级配碎石或无机结合料稳定层,可有效分散荷载并提供一定变形能力,而桥梁铺装层直接作用于刚性桥面板,缺乏缓冲,导致应力集中现象明显。其次,桥面铺装各结构层之间需承受车辆制动、启动产生的水平剪应力,若层间粘结不良,极易引发推移、拥包等病害,表现出较强的层间剪切敏感性。此外,钢桥面板导热快,昼夜温差大,易导致沥青混合料反复热胀冷缩,

加速老化与开裂;混凝土桥面板虽热稳定性较好,但仍存在较大温度梯度,使得温度效应在桥梁铺装中尤为突出。最后,桥面纵坡、横坡设计受限于桥梁线形,局部易积水,且桥面下方为封闭空间,水分难以自然蒸发,排水条件受限进一步加剧了水损害风险。

1.2 主要服役荷载与环境因素

桥梁沥青路面长期处于复杂多变的服役环境中。交通荷载是其最直接的作用力,重载、超载车辆频繁通行,尤其在长大纵坡、弯道及收费站附近,轮载反复作用易诱发疲劳开裂与永久变形。与此同时,温度循环带来的影响不可忽视,日温差与季节温差导致沥青材料反复膨胀收缩,产生显著的温度应力,成为反射裂缝与低温开裂的主要诱因。雨水侵蚀亦是关键因素之一,降水通过裂缝或空隙渗入铺装层内部,在动水压力作用下剥离沥青膜,造成集料松散、剥落^[1]。此外,长期暴露于阳光下的沥青材料会经历紫外线老化,组分氧化、硬化,黏结性能随之下降,抗裂性减弱。在寒冷地区,冬季撒布融雪剂引入的除冰盐还会带来氯离子渗透问题,可能腐蚀钢筋或削弱铺装层与桥面板之间的粘结性能。上述因素并非孤立存在,而是相互耦合、共同作用,加速了桥梁沥青路面的性能衰减。

2 公路桥梁沥青路面常见病害类型及成因分析

2.1 裂缝类病害

(1) 横向裂缝:主要由温度收缩引起,尤其在钢桥面板上更为突出。低温时桥面板收缩受阻,产生拉应力,当超过沥青混合料抗拉强度时即开裂。此外,桥台与梁体伸缩缝处的不均匀位移也可能引发反射裂缝。
(2) 纵向裂缝:多出现在轮迹带或铺装层接缝处,成因

包括：摊铺宽度不足导致冷接缝处理不当；基层（桥面板）存在施工缝或结构裂缝；重载车辆偏载作用下产生剪切开裂。（3）网状裂缝（龟裂）：初期表现为细小裂纹，随荷载反复作用扩展连通成网。主要由沥青老化、混合料设计不合理（如沥青用量不足、空隙率过大）、基层强度不足或水损害引起。

2.2 车辙与永久变形

车辙是桥梁沥青路面最具代表性的结构性病害之一，表现为轮迹带区域的明显凹陷，严重影响行车平顺性与安全性。其形成机理可分为压密型、失稳型与磨耗型三类。压密型车辙多因施工阶段压实不足，开放交通后在车辆荷载作用下继续密实所致；失稳型车辙则发生在高温季节，此时沥青软化，混合料抗剪强度显著降低，在车辆水平力作用下发生侧向流动，形成永久变形；磨耗型车辙则是表层集料被轮胎反复磨耗剥落的结果，多见于抗滑表层。值得注意的是，由于桥梁铺装缺乏柔性基层支撑，荷载传递路径短、应力集中程度高，车辙的发展速度往往快于普通路段，且修复难度更大。

2.3 坑槽与松散

坑槽通常由水损害引发，其发展过程具有渐进性。雨水首先通过表面裂缝或高孔隙区域渗入铺装层内部，在车辆动水压力的反复冲刷下，沥青与集料之间的粘附界面逐渐被破坏，细集料被水流带走，最终形成局部凹陷甚至空洞。松散则表现为铺装层表面集料脱落、裸露，多因沥青老化导致粘结力下降，或施工过程中拌和不均、沥青裹覆不充分所致^[2]。在桥梁环境中，由于排水不畅与冷凝水积聚，水损害的发生概率显著提高，使得坑槽与松散成为高频病害。

2.4 推移与拥包

此类病害源于层间抗剪能力不足。当车辆急刹或爬坡时，水平力超过铺装层与桥面板之间的粘结强度，导致沥青层整体滑移，形成波浪状隆起（拥包）或局部撕裂（推移）。防水粘结层选型不当、施工污染或温度过高是主要原因。

2.5 水损害

水损害是桥梁沥青路面的“隐形杀手”。由于桥面排水不畅或密封失效，水分长期滞留于铺装层底部，在冻融循环或动水压力下，破坏沥青-集料粘附性，导致剥落、唧浆、基层软化等连锁反应。钢桥面因冷凝水问题尤为严重。

3 病害形成的关键影响因素

3.1 材料因素

材料性能是决定桥梁沥青路面耐久性的基础。普通

基质沥青在高温下易软化、低温下易脆裂，难以兼顾高低温性能，且抗老化能力有限。集料质量同样关键，若压碎值高、针片状颗粒含量大，或与沥青的粘附性差，将直接削弱混合料的整体强度与稳定性。混合料设计若控制不当，例如空隙率过高导致渗水风险增加，过低则易泛油；级配不合理或沥青用量偏差，均会影响其高温抗车辙与低温抗裂性能。此外，防水粘结材料的选择至关重要，传统乳化沥青或热沥青往往粘结力弱、耐水性差，无法满足桥梁高剪切、高耐久的要求，成为层间失效的薄弱环节。

3.2 结构设计缺陷

结构设计不合理是病害频发的深层次原因。铺装层厚度过薄（如小于5厘米）难以有效分散轮载应力，尤其在重载交通下极易产生疲劳损伤。部分桥梁未设置有效的排水系统，或虽有泄水孔但缺乏维护导致堵塞，使水分长期滞留。在伸缩缝、桥台等结构变形敏感区域，若未采取加强措施（如增设应力吸收层或加厚铺装），则易因不均匀位移引发反射裂缝。此外，刚性桥面板与柔性沥青层之间的变形协调问题若未妥善处理，例如未设置过渡层或功能层，也会加剧界面应力集中，加速病害形成。

3.3 施工质量控制不足

再优的设计与材料也需依赖高质量的施工来实现。实践中，桥面板处理不到位是常见问题，残留的浮浆、油污或锈迹会严重削弱层间粘结。防水层施工若采用人工涂刷，易出现厚度不均、漏涂或气泡，影响其密封与粘结效果。混合料在拌和与运输过程中若温度控制不当或覆盖不严，会导致离析或降温过快，影响摊铺质量。碾压环节若初压不及时、复压遍数不足或终压过度，均会造成压实度不达标或表面纹理破坏。此外，横向或纵向接缝处理粗糙，未充分涂刷粘层油或压实，会形成结构性薄弱带，成为裂缝与水损害的起点。

3.4 养护管理滞后

养护管理的缺失往往使小病害演变为大问题。许多桥梁在运营初期出现微裂缝时未及时封缝，导致雨水持续侵入，加速内部结构破坏。排水系统长期缺乏清理，泄水孔堵塞，使桥面积水无法及时排出。超载车辆监管不力，使得实际荷载远超设计标准，大幅缩短铺装寿命。更普遍的问题是缺乏系统的定期检测与性能评估机制，无法实现“早发现、早干预”的预防性养护理念，导致养护决策滞后，维修成本倍增。

4 公路桥梁沥青路面病害防治技术体系

4.1 优化铺装结构设计

针对桥梁铺装的特殊性，结构设计应以功能需求为导向。首先，合理确定铺装厚度至关重要，建议钢桥面铺装厚度不低于7厘米，混凝土桥面不少于6厘米，重载交通路段可增至8至10厘米，以增强结构承载能力。其次，推广复合式铺装结构，如“浇注式沥青+高弹改性SMA”或“双层SMA”组合，前者利用浇注式沥青的密水性与追随性，后者发挥SMA的抗车辙与抗滑优势，实现性能互补^[3]。此外，应根据桥型特点设置功能层：在混凝土桥面设置应力吸收层（SAM）以缓解反射裂缝；选用环氧沥青、橡胶沥青等高性能材料作为防水粘结层，确保其剪切强度大于1.0兆帕且透水性极低；在铺装底部增设开级配沥青层或专用排水板，并与桥面泄水系统联动，实现快速排水，从根本上抑制水损害。

4.2 优选高性能材料

材料升级是提升耐久性的核心路径。应大力推广聚合物改性沥青，如SBS、SBR或热塑性弹性体（TPS）改性沥青，显著改善高温稳定性、低温延展性与抗老化能力。对于钢桥面，宜采用高黏沥青，其60℃动力黏度应不低于20000帕·秒，以增强抗流动与抗水剥离性能。集料应优先选用玄武岩、辉绿岩等坚硬耐磨的碱性岩石，确保洛杉矶磨耗值不超过25%，并与沥青的粘附等级达到4级以上^[4]。此外，可在混合料中掺加聚酯纤维或木质素纤维，通过三维加筋效应提高抗裂性与高温稳定性，延缓病害发生。

4.3 强化施工过程控制

施工是设计意图落地的关键环节。桥面板必须经过严格处理，推荐采用喷砂或抛丸工艺，达到Sa2.5级清洁度，确保表面粗糙、洁净、干燥。防水粘结层应采用机械化喷涂设备，保证厚度均匀（0.5-1.0毫米），无漏涂、无气泡。混合料拌和温度应控制在160-170℃，运输过程中全程覆盖保温，防止温度离析与材料离析。摊铺应使用大功率摊铺机连续作业，避免停机造成冷接缝；碾压须遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”原则，初压紧随摊铺，复压采用重型胶轮与钢轮组合，终压消除轮迹，确保压实度不低于93%（马歇尔标准）。所有接缝，尤其是冷接缝，必须涂刷足量粘层油并充分压实，杜绝薄弱界面。

4.4 实施科学养护管理

养护应贯穿桥梁全生命周期。在病害早期，应及时采用高性能密封胶或改性乳化沥青进行灌缝，阻止水分侵入；定期实施雾封层或微表处，可有效封闭微裂缝、延缓沥青老化。对于已形成的坑槽或车辙，应根据损坏程度选择冷补料应急修补或热再生铣刨重铺，重铺时可采用高模量沥青混合料以提升抗变形能力。同时，应建立智能监测体系，利用无人机巡检、红外热成像识别脱空、探地雷达探测内部结构状态，结合BIM平台构建铺装性能数据库，实施基于性能的养护决策（PMS）。此外，加强交通管理，严控超载车辆通行，设置合理限速标志，减少急刹与急转行为，从源头降低铺装层损伤速率。

5 结语

公路桥梁沥青路面病害的产生是材料、结构、施工与环境多因素耦合作用的结果。其防治不能依赖单一技术手段，而需建立覆盖“设计—材料—施工—养护”全生命周期的系统化防控体系。未来研究应重点关注智能材料开发，如自愈合沥青、温拌再生技术、纳米改性沥青，以提升材料耐久性与环保性；推动数字化建养平台建设，融合BIM、物联网与大数据，实现病害智能识别与养护精准决策；推广绿色低碳铺装技术，如厂拌热再生、泡沫沥青冷再生在桥梁维修中的应用，降低碳排放；同时加强极端气候适应性研究，针对高温、高湿、冻融等特殊环境，优化铺装结构与材料配比。唯有通过技术创新与管理升级双轮驱动，方能实现桥梁沥青路面“长寿命、低维护、高安全”的发展目标，为我国交通强国建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]吴红娇.公路工程沥青路面病害及防治措施[J].汽车画刊,2025,(09):245-247.
- [2]石磊.公路桥梁沥青路面的病害防治[J].城市建设理论(电子版),2020,(05):37.
- [3]王林,王毅.浅析公路沥青路面的病害成因及防治养护措施[J].新型工业化,2022,12(08):126-129.
- [4]张慧军.沥青路面裂缝病害的发展机理、预防及处治策略[J].科技创新与应用,2025,15(33):133-136.