

路桥工程沥青路面水损害问题防治技术探析

陈 晶

湖北交通工程检测中心有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：本文针对路桥工程中沥青路面因水损害引发的松散、坑槽、唧浆等典型病害问题，系统分析了水-荷载耦合作用下沥青剥落的机理及关键工程诱因。围绕材料、结构与施工三大环节，提出以抗水损混合料优化设计、内部排水系统设置及黏层与压实工艺改进为核心的综合防治技术体系。通过采用碱性集料与抗剥落剂提升界面黏附性，设置级配排水基层实现水分主动导排，并强化施工过程中的层间洁净控制与温度-密度协同管理。实践表明，该技术路径能有效阻断水分侵入通道，增强结构整体密实性与耐久性，显著降低水损害发生概率，为湿热多雨地区沥青路面长效服役提供可靠技术支撑。

【关键词】：沥青路面；水损害；抗剥落技术；排水系统；压实工艺

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.092

引言

随着我国交通基础设施建设的持续推进，沥青路面在路桥工程中广泛应用，但其在复杂水文与重载交通耦合作用下面临严峻的水损害挑战。水损害不仅加速路面结构性能衰减，还显著缩短使用寿命，增加养护成本。尤其在降雨频繁、温差变化大或排水条件受限的区域，水分侵入引发的沥青剥落、层间脱空及基层软化等问题日益突出。深入剖析水损害的发生机制，系统构建涵盖材料、结构与施工环节的综合防治体系，已成为提升沥青路面耐久性与服役可靠性的关键课题。本文围绕水损害特征、成因及防控技术展开探讨，旨在为工程实践提供理论支撑与技术参考。

1 沥青路面水损害问题特征与成因机理分析

1.1 沥青路面水损害典型表现形式

沥青路面水损害典型表现形式主要体现为松散、坑槽、唧浆、网裂及局部沉陷等病害。在降雨或融雪条件下，水分通过路面空隙或裂缝渗入结构层内部，滞留在沥青混合料与集料界面，在车辆荷载反复作用下形成动水压力，削弱沥青与集料之间的黏附力，导致沥青膜剥离，进而引发集料颗粒松动脱落^[1]。松散区域多出现在表面层，尤其在交通密集或重载车辆频繁通行路段更为显著；坑槽则通常由局部松散进一步发展而成，呈现边缘陡直、底部裸露基层的特征；唧浆现象表现为裂缝处或接缝位置在行车碾压下挤出灰白色泥浆，反映出基层材料已被水浸泡软化；网裂呈龟甲状分布，是水损害扩散后结构整体强度下降的表现；局部沉陷则常伴随基层承载力丧失，反映水损害已深入至路面结构深层。这些病害往往相互关联、逐步演化，严重影响路面使用性能与行车安全。

1.2 水-荷载耦合作用下沥青剥落机理

在水-荷载耦合作用下，沥青剥落机理主要表现为水分侵入沥青与集料界面后，在交通动荷载反复碾压过程中形成高频次的动水压力与负压抽吸效应。当车辆驶过含水路面结构时，

孔隙水被压缩产生瞬时高压，促使水分子沿沥青膜薄弱区域渗透；荷载卸除后，局部形成真空负压，进一步将水分吸入界面深处。这种循环作用不断削弱沥青与集料之间的物理吸附与化学键合力，尤其在酸性集料或老化沥青体系中更为显著。随着黏附性能退化，沥青膜逐渐从集料表面剥离，形成微空隙，进而扩展为宏观脱粘区域。剥离后的沥青在水流冲刷与剪切应力共同作用下发生迁移或流失，导致混合料内部骨架失稳、空隙率增大，加速水分进一步侵入，形成恶性循环。该过程不仅受材料亲水性、沥青老化程度影响，还与荷载频率、轴重及环境温度密切相关，体现出典型的多场耦合损伤特征。

1.3 导致水损害的关键工程因素

导致水损害的关键工程因素涵盖材料选择、结构设计及施工控制等多个环节。沥青混合料空隙率偏高或连通空隙发育，为水分侵入与滞留提供了通道和空间；集料与沥青黏附性不足，尤其在使用酸性石料而未采取抗剥落措施时，界面易受水侵蚀^[2]。路面横坡设计不合理或排水系统不完善，如边沟堵塞、排水盲沟缺失或透水基层设置不当，造成路表水长时间滞留并渗入结构层。施工过程中压实度不足形成局部松散区域，或摊铺温度控制不当导致沥青老化加速，均会降低混合料抗水损能力。此外，层间污染、粘层油喷洒不均或施工接缝处理粗糙，也会削弱层间结合，使水分沿层间界面横向迁移，诱发层间剥离。这些工程因素相互叠加，在降雨频繁或重载交通条件下，显著加剧沥青路面水损害的发生与发展。

2 沥青路面水损害防治技术体系与工程应用对策

2.1 基于抗水损的沥青混合料优化设计

抗水损沥青混合料的优化设计以提升沥青与集料界面黏附性为核心。应采用石灰岩等碱性集料，其表面富含钙、镁离子，能与沥青中羧酸成分发生化学吸附。抗剥落剂掺配需经《沥青混合料改性添加剂第4部分：抗剥落剂》（JT/T 860.4-2025）中的室内试验确定，液态抗剥落剂（LAS）常用掺量约为沥青

质量的0.3%~0.5%。沥青混合料通过抗剥落措施优化后可显著提升沥青混合料水稳定性,例如浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比均可提升至80%以上,但过多掺入会软化沥青胶结料并降低高温抗车辙能力。

2.2 路面结构内部排水系统设置技术

路面结构内部排水系统通过构建连续排水路径,主动疏导渗入面层下方的自由水,避免水分在基层与底基层界面积聚(见图1)。该系统通常采用设计空隙率大于18%的级配沥青碎石(OGFC)或大孔隙水泥稳定碎石作为排水基层,其相互连通的孔隙结构为水流提供横向迁移通道。沿道路横断面方向,结合设计横坡将水导向路肩或中央分隔带侧,再通过纵向布置的透水软管、打孔PVC管或碎石盲沟实现集中导排。在挖方段、凹形竖曲线底部及超高过渡段等易积水区域,加密横向排水管间距,并与边沟或地下排水系统有效衔接。为防止下渗水侵蚀路基,在排水层底部设置改性乳化沥青封层或复合土工膜作为隔水屏障。施工中注重排水层材料的均匀摊铺、充分压实及边缘密封处理,确保排水功能层与上下面层之间无脱空、无堵塞,维持服役期内排水能力的稳定性与可靠性。

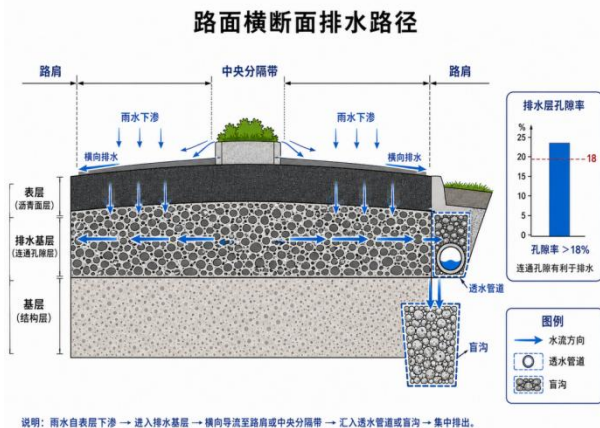


图1 路面横断面排水路径示意图

参考文献:

- [1] 杨康.路桥工程中 SBS 改性沥青路面铺设施工技术研究[J].工程机械与维修,2024,(11):155-157.
- [2] 巩宪金.路桥工程沥青路面面层施工技术探究[J].居业,2021,(07):67-68.
- [3] 黄松阳.沥青路面面层在路桥工程中的施工技术分析[J].四川水泥,2021,(03):97-98.

2.3 施工过程粘层控制与压实工艺改进

施工过程粘层控制与压实工艺改进核心是提升层间结合效能与混合料密实品质,从源头切断水分侵入路径^[3]。粘层油可选用改性乳化沥青,喷洒前需彻底清除下承层浮尘、油污及松散颗粒,保障界面洁净干燥;智能洒布设备精准调控喷洒量与均匀度,形成连续薄匀的沥青膜,规避局部漏洒或流淌堆积问题。摊铺作业维持连续稳定状态,减少停机接缝产生,熨平板充分预热可防止混合料温度骤降影响摊铺质量。压实环节采用高频低幅振动压路机组合,初压紧随摊铺机推进,复压合理把控碾压遍数与行驶速度,终压消除轮迹并封闭表面空隙。粗粒式或 SMA 类混合料需适当提升压实温度区间,延长有效压实时间窗口;桥面、陡坡等特殊路段增设胶轮压路机揉搓作业,强化嵌挤密实效果。施工全过程同步开展温度监控与密度检测,保障压实度达标且层间无滑移、无脱空,降低水损害隐患。

3 结语

路桥工程沥青路面水损害的防治需贯穿材料选型、结构设计与施工管控全过程,是一项系统性工程。实践表明,通过优选碱性集料、掺配合理比例抗剥落剂优化混合料性能,设置级配排水基层构建高效内部排水体系,同时严格把控粘层施工洁净度与压实工艺,可有效阻断水分侵入迁移路径,提升路面结构密实性与耐久性。针对多雨、重载等严苛服役环境,强化各环节协同管控,能显著降低水损害病害发生率,延长路面服役寿命。未来需进一步结合智能监测技术,推动防治技术向主动防护升级,为路桥工程沥青路面长效稳定服役提供更可靠的技术保障。