

沥青路面水损坏成因分析及基层防水层施工质量控制

吉伟涛

湖北交投建设集团有限公司道路分公司 湖北 武汉 430070

【摘要】：沥青路面水损坏是影响道路使用寿命和行车安全的关键问题，其本质是水分侵入路面结构后引发的材料性能劣化与结构强度衰减。本文结合工程实践，系统分析了沥青路面水损坏的主要成因，包括设计缺陷、材料特性、施工质量及运营维护等方面，并重点探讨了基层防水层施工的质量控制要点，提出了材料选择、施工工艺及检测验收的具体措施，为预防沥青路面水损坏提供技术参考。

【关键词】：沥青路面；水损坏；成因分析；基层防水层；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.036

1 引言

沥青路面因其行车舒适、施工便捷等优势，在我国公路建设中应用广泛。然而，受自然降水、地下水渗透及路面排水不畅等影响，水分易侵入路面结构内部，导致沥青与集料剥离、基层软化、路面出现坑槽、龟裂等病害，即“水损坏”。据统计，我国约60%的沥青路面早期损坏与水损坏直接相关，不仅增加养护成本，还严重威胁行车安全。因此，深入分析水损坏成因并强化基层防水层施工质量控制，对延长路面使用寿命具有重要意义。

2 沥青路面水损坏成因分析

2.1 设计因素

2.1.1 排水系统设计不合理

部分道路设计中未充分考虑地表水排放路径，依据《公路排水设计规范》（JTJ018-97），路拱横坡一般宜采用2%-3%，若设计中路拱横坡不足此范围，会导致雨水在路面表面积聚。边沟排水能力不足，如边沟断面尺寸不符合汇水面积的要求，或中央分隔带排水设施缺失，如未设置纵向排水沟和集水井，都会使雨水通过裂缝或孔隙侵入基层。此外，基层与面层之间未设置有效的防水层，或防水层设计参数不符合规范要求。根据《公路沥青路面设计规范》（JTGD50-2017），防水层厚度应不小于1mm，抗渗性应满足在0.3MPa水压下30min不渗水，若设计未达到这些标准，便无法有效阻挡水分下渗。

2.1.2 路面结构层设计缺陷

基层材料选择不当，如采用级配不良的砂砾土，根据《城镇道路工程施工与质量验收规范》（CJJ1-2008），基层材料的级配应符合相关要求，级配不良会导致基层透水性增大。基层厚度不足，不能满足车辆荷载的扩散要求，会使基层受力过大，易产生变形和裂缝。面层与基层的界面粘结设计不合理，如未设计有效的粘结层，会导致水分在界面处滞留。界面处的积水会在车辆荷载的作用下产生动水压力，加速基层冲刷和面层剥落。

2.2 材料特性因素

2.2.1 沥青混合料性能不足

若沥青混合料空隙率过大（超过8%），根据《沥青路面施工及验收规范》（GB50092-96），沥青混合料空隙率应控制在3%-6%之间，过大的空隙率为水分渗入提供了通道。沥青与集料的粘附性等级偏低（小于4级），按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTGE20-2011）中的T0616-1993试验方法，粘附性等级低于4级时，水分易使沥青膜从集料表面剥离。此外，集料含泥量过高，根据规范要求集料含泥量应不大于1%，过高的含泥量会降低沥青与集料的粘结力。集料级配不均匀，会导致混合料的密实度不足，降低其水稳定性，加剧水损坏。

2.2.2 基层材料水稳定性差

基层采用粉质土、淤泥质土等水敏感性材料时，这些材料的液限和塑限较高，遇水后颗粒间的粘结力迅速降低，易发生软化、崩解。根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTGE51-2009）中的相关试验，这类材料的承载比（CBR）在饱水后会大幅下降，导致路面结构承载力下降，进而引发面层开裂和变形。

2.3 施工质量因素

2.3.1 面层施工缺陷

摊铺过程中混合料离析，会使局部区域集料过多、沥青不足，形成高孔隙区域。压实度不足，根据规范要求沥青路面的压实度应不小于96%，压实度不够会导致混合料空隙率增大，成为水分侵入的通道。接缝处理不当，如纵向接缝未采用梯队摊铺或横向接缝未进行切边处理，会使接缝处压实度不足。沥青混合料碾压温度过低，正常碾压温度应在120-160℃之间，温度过低会导致沥青粘度增大，混合料不易压实，增加空隙率。

2.3.2 基层施工不规范

基层碾压不密实，根据《公路路面基层施工技术细则》（JTJ/TF20-2015），基层的压实度应符合设计要求，一般不小于97%，碾压不密实会使基层内部存在较多孔隙。平整度差，

3m直尺测量偏差大于5mm,会导致面层厚度不均匀,在车辆荷载作用下易产生应力集中。未进行充分养生,如水泥稳定基层养生天数不足7天,会使基层强度未达到设计要求,表面存在裂缝和松散颗粒。水分渗入后,在车辆荷载产生的动水压力作用下,直接冲刷基层,形成唧泥现象。

2.4 运营维护因素

2.4.1 交通荷载影响

重载车辆反复碾压,超过路面设计轴载,如设计轴载为100kN,而实际车辆轴载达到150kN,会加剧路面结构疲劳。根据相关研究,轴载每增加1倍,路面寿命会缩短至原来的1/4左右,使面层出现微裂缝,为水分侵入提供路径。同时,车辆制动和转向产生的剪切力,会破坏沥青与集料之间的粘结力,加速沥青膜与集料的剥离。

2.4.2 养护不及时

路面出现裂缝、坑槽等初期病害后,若在30天内未及时修补,会导致水分大量侵入。研究表明,一条1mm宽的裂缝,每年可渗入数吨水,扩大损坏范围。此外,冬季融雪剂的使用,如氯化钠类融雪剂,会与沥青中的某些成分发生化学反应,加剧沥青混合料的冻融破坏,加速水损坏进程。

3 基层防水层施工质量控制措施

基层防水层是阻止水分侵入基层的关键屏障,其施工质量直接影响路面抗水损坏能力。施工过程需从材料选择、工艺控制和质量检测三个环节严格把关,任何一个环节出现疏漏,都可能导致防水层失效,进而引发沥青路面水损坏问题。

3.1 材料选择

3.1.1 性能要求

基层防水层材料需满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)要求,这些要求是经过大量工程实践和试验研究得出的,能够有效保障防水层的功能。抗渗性方面渗透系数应小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$,这一指标确保了防水层能够有效阻挡水分的渗透。如果渗透系数过大,水分会轻易透过防水层进入基层,无法起到防水作用。粘结力上与基层的粘结强度不低于0.3MPa,足够的粘结力可以保证防水层与基层紧密结合,在车辆荷载和环境因素作用下不会发生剥离,避免出现防水层起鼓、脱落等现象。耐热性要求在60℃条件下无流淌、起泡现象,因为在夏季高温天气下,路面温度可能会升高到较高水平,若防水层耐热性不足,就会出现流淌、起泡,从而失去防水功能。低温抗裂性要求在-10℃低温下无裂纹,在寒冷地区,冬季低温可能导致防水层收缩,若低温抗裂性不佳,防水层会出现裂纹,水分便会从裂纹处渗入。

3.1.2 常用材料

目前工程中常用的基层防水层材料各有其特点和适用场

景,需根据具体工程情况合理选择。乳化沥青类如改性乳化沥青(PC-3型),具有良好的渗透性和粘结性。它能够渗透到基层表面的微小孔隙中,与基层形成牢固的粘结,适用于基层表面较为平整、干净的路段。同时,其施工相对简便,成本也较为适中。聚合物改性沥青防水涂料,适用于多雨地区,抗渗性和耐久性优异。由于多雨地区水分对路面的侵蚀更为严重,这类涂料能够提供更强的防水效果,并且在长期使用过程中性能稳定,能够有效抵抗雨水的冲刷和浸泡。SBS改性沥青卷材适用于基层平整度较差的路段,施工便捷。对于基层表面不太平整的情况,卷材能够更好地适应基层的起伏,通过粘结或焊接等方式形成连续的防水层,施工效率较高。

3.2 施工工艺控制

3.2.1 基层预处理

施工前对基层表面进行清理是确保防水层与基层有效粘结的基础。需要彻底去除浮土、杂物及松散颗粒,这些杂质会影响防水层与基层的接触,降低粘结强度。用高压水枪冲洗干净可以进一步清理基层表面的细小灰尘和污渍,保证基层表面的清洁度。若基层表面存在裂缝,需采用沥青砂或密封胶填充。裂缝的存在会成为水分侵入的通道,若不进行处理,即使铺设了防水层,水分也可能通过裂缝绕过防水层进入基层。对于不同宽度的裂缝,应选择合适的填充材料和方法,确保裂缝被完全密封。当基层平整度较差时,需用找平层修补,确保基层表面平整度偏差不大于5mm。基层平整度太差,会导致防水层厚度不均匀,在平整度低的部位防水层可能过薄,容易被损坏,而在凸起部位可能出现防水层与基层粘结不牢的情况。

3.2.2 防水层涂刷

涂刷前需检测基层含水率(应小于5%),基层潮湿会严重影响防水层与基层的粘结力,因为水分会防水层和基层之间形成隔离层,导致防水层无法与基层紧密结合。可以采用烘干法等检测方法对基层含水率进行检测,确保符合要求后再进行涂刷。采用人工涂刷或机械喷洒时,要根据材料的特性和施工条件选择合适的方式。人工涂刷适用于小面积或复杂部位的施工,能够更好地控制涂刷质量;机械喷洒则适用于大面积施工,效率较高。无论采用哪种方式,都要确保材料均匀覆盖,厚度控制在1.5-2.0mm(乳化沥青类)或1.0-1.2mm(涂料类)。厚度不足会影响防水层的抗渗性和耐久性,厚度过厚则可能导致材料浪费和干燥困难。分两次涂刷,第一层干燥后(通常间隔4-6小时)再涂刷第二层,方向垂直于第一层,这种交叉涂刷的方式可以避免漏涂,使防水层形成一个完整、均匀的整体。若一次涂刷过厚,材料干燥缓慢,容易出现表面干燥而内部未干的情况,影响防水层质量。涂刷范围应超出面层边缘50cm,这是为了确保路肩部位的防水密封。路肩部位是路面与路边的过渡区域,容易受到雨水的冲刷和浸泡,若防水层范围不足,雨水可能从路肩部位侵入基层。

3.2.3 养护与保护

防水层施工完成后，需封闭交通 24 小时以上，待材料完全固化。材料固化需要一定的时间，在未完全固化前，防水层的强度和粘结力都未达到设计要求，此时若有车辆碾压，会损坏防水层，影响其防水效果。固化期间避免雨水冲刷或阳光直射，雨水冲刷可能会冲掉未固化的防水层材料，阳光直射则可能导致防水层表面过快干燥，产生裂纹。采用塑料薄膜覆盖保护可以有效避免这些问题，为防水层固化提供一个稳定的环境。面层摊铺前，需检查防水层完整性，若有破损需及时修补。在养护和后续施工过程中，防水层可能会受到意外损坏，如人员走动、施工工具碰撞等，及时修补破损部位可以保证防水层的连续性和完整性。

3.3 质量检测

基层防水层施工质量检测是确保防水层符合设计要求和性能使用的重要环节，需严格按照相关规范和标准进行。检测点应均匀分布，每 100 m²不少于 3 个点，若发现厚度不足的部位，需进行补涂。粘结力检测采用拉拔试验仪对防水层与基层的粘结力进行检测，每 1000 m²不少于 3 个检测点，粘结强度应不低于 0.3MPa。若粘结力不足，需分析原因并采取相应的处理措施，如重新清理基层表面或更换粘结性能更好的材料。抗渗性检测通过渗水试验检测防水层的抗渗性，在防水层表面设置渗水仪，施加一定的水压，观察一定时间内的渗水量，确

保渗水系数符合要求。外观质量检测目测检查防水层表面是否平整、均匀，有无漏涂、起泡、裂纹、流淌等现象。若发现外观质量问题，需及时进行修补处理。基层防水层施工质量需通过以下指标检测，具体控制要点及方法见表 1。

表 1 质量检测控制要点

控制环节	控制要点	检测方法	标准要求
材料进场	材料性能参数	抽样送检(委托第三方)	符合 JTGF40-2004 规范要求
基层预处理	表面清洁度、平整度	目测、3m 直尺测量	无浮土、杂物，平整度偏差 ≤5mm
防水层施工	厚度、均匀性、粘结力	测厚仪、目测、拉拔试验	厚度符合设计，无漏涂，粘结力 ≥0.3MPa
固化后验收	完整性、抗渗性	目测、渗水试验	无破损、起泡，渗水系数 ≤10mL/min

4 结论

沥青路面水损坏是设计、材料、施工及运营等多因素共同作用的结果，其中基层防水层施工质量不足是水分侵入基层的主要诱因。通过优化材料选择（如采用改性乳化沥青或聚合物防水涂料）、严格控制施工工艺（基层预处理、分层涂刷、养护保护）及强化质量检测（厚度、粘结力、抗渗性），可有效提升防水层的防水效能，减少水损坏病害的发生。未来工程中，还需结合新型防水材料研发和智能化施工技术应用，进一步提高沥青路面的抗水损坏能力。

参考文献:

- [1] 吴雪莲,史小丽,黄玥,等.基于 QFD-AR 的路基-沥青路面损坏状况评价[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2025,44(06):15-25.
- [2] 迟韵博.沥青路面早期损坏原因及对策分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(17):162-164.
- [3] 陈欢.沥青路面损坏类型及其结构力学影响分析[J].科技创新与生产力,2025,46(04):150-152.
- [4] 宋应皋.多孔沥青路面抗水损坏特性研究[J].交通世界,2025,(07):21-23.