

高速公路沥青路面高温稳定性提升研究

张顺坤

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆乌鲁木齐 830021

摘要: 在高温环境下, 高速公路沥青路面易出现车辙、推移、拥包等病害, 严重影响路面使用寿命与行车安全。本文结合沥青路面高温病害的表现形式与形成机理, 从材料特性、结构设计、施工质量管控及养护技术四个维度, 系统分析影响沥青路面高温稳定性的关键因素, 提出针对性的提升策略, 包括优化沥青胶结料性能、改良集料级配、改进路面结构层设计、强化施工过程监管及推广预防性养护技术等, 为高速公路沥青路面在高温地区的建设与运维提供理论支撑和实践指导。

关键词: 高速公路; 沥青路面; 高温稳定性; 病害防治; 材料改良; 结构优化

引言

随着我国高速公路网的不断完善, 沥青路面因行车舒适、施工便捷、噪声低等优势, 成为高速公路的主要路面类型。然而, 在夏季高温地区, 尤其是南方多雨高温省份及西北干旱酷热区域, 沥青路面受持续高温与车辆荷载反复作用, 沥青材料易软化, 路面抗变形能力下降, 进而产生车辙、推移等永久性变形病害。这些病害不仅降低路面平整度, 增加行车颠簸感, 还可能引发车辆打滑、制动距离延长等安全隐患, 同时大幅缩短路面使用寿命, 提高养护成本。

一、高速公路沥青路面高温病害表现及形成机理

(一) 主要高温病害表现

高温环境下, 高速公路沥青路面的病害集中表现为永久性变形, 具体可分为三类: 一是车辙, 多出现于车道轮迹带处, 表现为沿行车方向的带状凹陷, 深度从几毫米到几十毫米不等, 严重时甚至会形成明显的沟槽, 影响车轮正常行驶轨迹; 二是推移, 常发生在路面基层强度不足或路面与基层粘结不良的路段, 表现为路面材料沿行车方向发生剪切变形, 出现局部隆起或错台, 尤其在交叉口、坡道等车辆启停频繁的区域更为突出; 三是拥包, 多因沥青混合料高温稳定性差, 在车辆荷载反复碾压下, 路面材料向低温区域或路面边缘聚集, 形成局部鼓包, 常见于路面接缝、井盖周边及弯道处^[1]。

(二) 高温病害形成机理

沥青路面高温病害的本质是沥青混合料在高温下抗剪切变形能力不足, 无法承受车辆荷载的反复作用。从材料特性来看, 沥青是典型的粘弹塑性材料, 其粘度随

温度升高而显著降低, 当温度超过一定阈值后, 沥青的弹性恢复能力减弱, 塑性变形加剧; 同时, 高温会导致沥青与集料之间的粘结力下降, 集料颗粒易发生相对滑动, 进而引发混合料整体变形。从荷载作用来看, 高速公路上重型货车比例较高, 车辆荷载产生的竖向压力与水平剪切力, 会使沥青路面结构层内部产生应力集中, 尤其在轮迹带处, 长期反复的荷载作用会使塑性变形不断累积, 最终形成车辙。此外, 路面结构设计不合理(如基层刚度不足、面层厚度过薄)、施工质量缺陷(如混合料压实度不够、级配偏差)等因素, 会进一步削弱沥青路面的高温抗变形能力, 加速病害的发生与发展。

二、影响高速公路沥青路面高温稳定性的关键因素

(一) 材料因素

材料特性是决定沥青路面高温稳定性的核心因素, 主要包括沥青胶结料与集料两方面:

沥青胶结料性能: 沥青的高温粘度、针入度、软化点及弹性恢复率直接影响混合料的高温稳定性。若沥青软化点过低, 高温下易软化流淌; 针入度偏大, 表明沥青稠度小, 抗变形能力弱; 而弹性恢复率低, 则意味着沥青在荷载作用下产生的塑性变形难以恢复, 易形成永久性车辙。此外, 沥青的老化性能也会间接影响高温稳定性, 长期使用过程中, 沥青受光、热、氧气作用发生老化, 变硬变脆, 虽短期可能提高强度, 但会降低混合料的柔韧性, 易引发开裂, 同时也会影响与集料的粘结效果。

集料性能与级配: 集料的强度、硬度、形状及级配组成对混合料骨架结构的稳定性至关重要。若集料强度不足, 高温下受荷载挤压易破碎, 破坏混合料骨架; 针

片状集料含量过高,会降低集料间的嵌挤作用,导致混合料抗剪切能力下降。而集料级配不合理,如细集料过多、粗集料偏少,会使混合料骨架支撑作用减弱,沥青用量相对增加,高温下易出现流动变形;反之,若级配间断过大,易导致混合料空隙率过高,影响密实度与稳定性。

(二) 结构因素

路面结构层的设计参数与组合方式,对沥青路面整体高温抗变形能力影响显著:

面层厚度与类型:沥青面层是直接承受车辆荷载与环境作用的结构层,厚度过薄会导致荷载应力集中,高温下易产生局部变形;而面层类型选择不当,如采用密级配沥青混凝土时,若未充分考虑高温适应性,易出现车辙。此外,表面层与中下面层的材料匹配性也很关键,若各层材料高温稳定性差异过大,易导致应力在层间传递不均,引发层间剪切破坏。

基层与底基层刚度:基层作为面层的支撑结构,其刚度直接影响面层的受力状态。若基层采用柔性材料(如级配碎石),刚度不足,高温下受面层传递的荷载作用易发生变形,进而导致面层随之下沉,形成车辙;底基层若存在强度不足或压实度不够的问题,会进一步加剧路面整体变形,降低路面结构的长期稳定性。

层间粘结状态:沥青路面各结构层之间的粘结力不足,会导致层间出现滑动面,高温下受水平剪切力作用,易发生推移、拥包等病害。层间粘结不良多因施工时界面清理不彻底(如残留浮尘、油污)、粘结层喷洒不均匀或用量不足所致。

(三) 施工因素

施工质量是确保沥青路面设计性能得以实现的关键,施工过程中的诸多环节均会影响高温稳定性:

混合料拌和质量:混合料拌和温度过高或过低,均会影响沥青与集料的裹覆效果。温度过高会导致沥青老化,降低粘结性能;温度过低则会使沥青无法充分融化,裹覆不均匀,形成“花白料”,影响混合料强度与稳定性。此外,拌和时间不足会导致混合料级配偏差,拌和过度则可能破坏集料颗粒,降低骨架支撑作用^[2]。

摊铺与压实质量:摊铺速度不均匀、摊铺温度下降过快,会导致路面平整度差,局部区域密实度不足;而压实度不够是影响高温稳定性的重要隐患,密实度偏低会使混合料空隙率过大,高温下易受荷载作用发生压缩变形。同时,压路机选型不当(如吨位不足)、压实顺序混乱或碾压次数不够,也会导致混合料无法达到设计密

实度,影响抗变形能力。

施工环境控制:夏季高温施工时,若未采取有效的降温措施,路面摊铺后温度下降缓慢,会延长沥青的软化时间,此时若过早开放交通或承受重型荷载,易导致路面产生早期变形;而雨天或高湿度环境施工,会使集料含水率增加,影响沥青与集料的粘结力,降低混合料稳定性。

(四) 环境与荷载因素

环境温度:持续高温是诱发沥青路面高温病害的直接诱因。夏季地表温度可高达60~70℃,远高于沥青的软化点,导致沥青混合料处于塑性状态,抗剪切能力大幅下降。同时,昼夜温差过大也会影响路面稳定性,温度反复变化会使路面材料产生热胀冷缩,长期作用下易破坏混合料内部结构,削弱高温抗变形能力。

交通荷载:高速公路交通量大、重型货车比例高,车辆荷载的大小、作用次数及行驶速度均会影响路面高温稳定性。重型货车产生的高荷载会使路面结构层内部产生较大的剪切应力,加速塑性变形累积;车辆启停频繁或低速行驶时,水平剪切力增大,易引发推移、拥包;而超载车辆的通行,会远超路面设计荷载,短时间内即可造成严重的车辙病害。

三、高速公路沥青路面高温稳定性提升策略

(一) 材料改良:优化混合料高温性能

选用高性能沥青胶结料:根据路面所在区域的高温气候特点,选择高软化点、高粘度、高弹性恢复率的沥青,如改性沥青(SBS改性沥青、橡胶改性沥青等)。SBS改性沥青通过聚合物改性,可显著提高沥青的高温稳定性与低温抗裂性,其软化点可提升至60℃以上,能有效抵抗高温软化;橡胶改性沥青则利用废旧橡胶颗粒的弹性,增强沥青的弹性恢复能力,减少塑性变形^[1]。此外,可在沥青中添加抗老化剂,延缓沥青老化进程,长期维持其高温性能。

优化集料级配与性能:优先选用强度高、硬度大、耐磨性能好的集料,如玄武岩、花岗岩等,减少针片状集料含量(控制在15%以内),确保集料颗粒的嵌挤作用。采用骨架密实型级配,增加粗集料比例(4.75mm以上集料含量不低于50%),形成稳定的骨架结构,同时通过细集料与填料填充空隙,提高混合料密实度。对集料进行预处理,如水洗去除含泥量(控制在3%以下)、预热集料以保证拌和温度,提升沥青与集料的粘结效果。

掺加功能性添加剂:在沥青混合料中掺加纤维稳定剂(如木质素纤维、聚酯纤维),纤维可均匀分散在混合

料中，形成三维网状结构，限制沥青的流动与集料的相对滑动，提高混合料的抗剪切能力；掺加抗车辙剂（如聚乙烯蜡、聚烯烃类抗车辙剂），抗车辙剂在高温下可融化并与沥青融合，增加沥青粘度，同时在混合料中形成刚性支撑点，减少车辙产生。

（二）结构优化：增强路面整体抗变形能力

合理设计面层结构：根据高温地区荷载特点，适当增加沥青面层厚度，一般中下面层总厚度不低于18cm，表面层采用抗滑耐磨的细粒式沥青混凝土（AC-13），中下面层采用粗粒式或中粒式沥青混凝土（AC-20、AC-25），并选用高温稳定性好的混合料类型，如SMA（沥青玛蹄脂碎石混合料）、OGFC（开级配排水式沥青磨耗层）。SMA混合料以粗集料为骨架，沥青玛蹄脂填充空隙，具有优良的高温稳定性与抗车辙能力，适合作为高温地区高速公路的面层材料。

提升基层与底基层刚度：采用半刚性基层（如水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石）替代柔性基层，半刚性基层具有较高的抗压强度与刚度，能为面层提供稳定的支撑，减少面层变形。控制基层材料的水泥用量与压实度，确保基层强度达标，同时设置基层上封层（如乳化沥青封层），增强基层与面层的粘结力，防止层间滑动。底基层可采用级配碎石或水泥稳定土，确保其承载能力满足设计要求，避免因底基层变形导致路面整体下沉。

强化层间粘结与防水：在面层与基层、基层与底基层之间喷洒粘结层（如热沥青、乳化沥青），粘结层用量控制在0.8-1.2kg/m²，确保喷洒均匀，无漏喷、流淌现象；对基层表面进行拉毛或铣刨处理，去除浮浆与松散颗粒，增加界面粗糙度，提高层间摩擦力。

（三）施工管控：确保设计性能落地

严格控制混合料拌和质量：根据沥青类型与集料特性，确定合理的拌和温度（改性沥青混合料拌和温度一般为170-180℃），采用间歇式拌和机，确保拌和时间充足（干拌10-15s，湿拌30-45s），使沥青与集料充分裹覆，无花白料、离析现象。建立拌和质量检测制度，每台班检测混合料的级配、马歇尔稳定度、流值等指标，确保符合设计要求。

优化摊铺与压实工艺：选用大型沥青摊铺机，保持匀速摊铺（2-6m/min），避免停机待料导致的摊铺温度下降；采用非接触式平衡梁控制摊铺厚度与平整度，确

保路面高程符合设计。根据混合料类型与气温条件，确定合理的压实温度（改性沥青混合料初压温度不低于150℃，终压温度不低于80℃），选用重型压路机（如12-15t双钢轮压路机、20-25t胶轮压路机），采用“初压稳压、复压密实、终压成型”的压实顺序，初压采用静压，复压采用振动压实（频率25-30Hz），终压采用静压，确保压实度达到96%以上（高速公路沥青面层压实度标准）。

加强施工环境与过程监测：夏季高温施工时，避开正午高温时段（11:00-15:00），选择早晚时段摊铺，或对集料进行洒水降温、对摊铺机料斗进行保温；雨天严禁施工，施工过程中若遇降雨，需立即停止摊铺，并对已摊铺未压实的混合料进行铲除。建立施工过程监测体系，采用红外测温仪实时监测拌和、摊铺、压实温度，采用核子密度仪或钻芯法检测压实度，发现问题及时调整施工参数。

结语

高速公路沥青路面高温稳定性提升是一项系统工程，需从材料、结构、施工、养护全流程入手，结合区域气候与交通荷载特点，采取针对性措施。通过选用高性能沥青材料、优化集料级配、改良混合料性能，可从源头提升路面高温抗变形能力；通过合理设计路面结构、增强层间粘结，可强化路面整体支撑作用；通过严格的施工管控，可确保设计性能有效落地；通过科学的养护管理，可延缓病害发展，延长路面使用寿命。未来，随着新材料、新技术的不断发展，如新型改性沥青、智能压实监测技术、大数据路面养护决策系统的应用，将为高速公路沥青路面高温稳定性提升提供更多创新解决方案，推动我国高速公路建设与运维水平迈向更高台阶。

参考文献

- [1]唐雁冰. 沥青混凝土路面高温稳定性的影响因素[J]. 汽车周刊, 2024(8): 0118-0120.
- [2]姚云生. 高速公路沥青路面材料路用性能试验研究[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(1): 70-72.
- [3]黄群, 刘恒材, 蒋龙松, 等. 基于MMLS3加速加载试验的高速公路路面高温稳定性研究[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(3): 5-8.