

# 高温地区沥青混凝土路面车辙形成机理与防治对策

杜磊

新疆金正建设科技有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]**高温地区沥青混凝土路面车辙不仅会对路面平整度以及行车的舒适性造成严重的影响,而且也会缩短路面的使用寿命,甚至也会增加交通安全隐患风险。路面车辙作为长期困扰公路工程领域的典型病害,文中结合高温环境与交通荷载的作用特点,系统分析车辙的形成机理,分析影响沥青混凝土路面车辙的核心影响因素,在此基础上提出针对性的防治措施,为高温地区沥青混凝土路面车辙防治提供理论支撑和工程实践参考。

**[关键词]**高温地区;沥青混凝土路面;车辙;形成机理;防治对策

DOI: 10.33142/ect.v4i3.19397

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

## Mechanism and Prevention Measures of Rutting Formation on Asphalt Concrete Pavement in High-temperature Areas

DU Lei

Xinjiang Jinzheng Construction Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** Asphalt concrete pavement ruts in high-temperature areas not only have a serious impact on road smoothness and driving comfort, but also shorten the service life of the road surface and even increase the risk of traffic safety hazards. Road ruts, as a typical disease that has long plagued the field of highway engineering, are systematically analyzed in this article based on the characteristics of high temperature environment and traffic load. The formation mechanism of ruts is analyzed, and the core influencing factors of asphalt concrete road ruts are analyzed. Based on this, targeted prevention and control measures are proposed, providing theoretical support and engineering practice reference for the prevention and control of ruts on asphalt concrete roads in high temperature areas.

**Keywords:** high temperature areas; asphalt concrete pavement; ruts; formation mechanism; prevention and control measures

### 引言

随着我国公路交通事业的快速发展,沥青混凝土路面以其行车舒适、施工便捷、降噪性好等优势,成为高等级公路、城市主干道的主要路面结构形式。但在南方高温多雨地区、西北干旱酷热地区,夏季极端高温天气频发,沥青混凝土材料的高温稳定性不足问题凸显,车辙病害呈现高发态势。车辙是指沥青混凝土路面在交通荷载的长期重复作用下,在轮迹带上形成的纵向永久凹槽形变形,典型的车辙横断面为“V”形、“U”形或者中间低两边略高的形状。车辙严重地影响了道路的通行质量及安全性能,不但降低了道路的平整度,增加了噪声以及行驶阻力,并且对汽车的安全运行产生很大的威胁。延长制动距离,大大增加事故发生的可能性;同时车辙还会影响路面的排水性能,加大雨水渗透对路基的影响,极大地降低路面的耐久性。本文对高温地区沥青混凝土路面车辙的形成机理进行系统地阐述,并对车辙形成的影响因素进行深入分析,在此基础上构建一系列解决措施,以提高高温地区沥青路面的使用性能、延长使用寿命。

### 1 高温地区沥青混凝土路面车辙形成机理

高温地区沥青混凝土路面车辙的形成是沥青混合料自身黏弹特性、高温环境、交通荷载及其他外部因素协同作用的产物。以车辙产生的具体位置以及机理为依据,主要可以分为四大类,分别是失稳型、结构型、磨损型和压

密型。车辙形成分为三个阶段。初始阶段是压密变形阶段,沥青材料在高温条件下黏度下降,黏结力也会减弱。当车辆荷载首次作用于混合料表面时混合料的空隙也会被快速压缩,沥青胶浆填充,此时会出现轻微的弹性变形,且这类变形大多可以部分恢复,在车辆负载的反复作用下,这种变形也会逐步发展成为不可逆的压密变形,这种变形并未对内部结构造成实质性的破坏。第二阶段为剪切变形阶段,当压密变形积累到一定程度后,沥青胶浆的抗碱度也会随之下降,部分沥青胶浆会被挤出混合料的表面,轮迹也会出现变薄的现象,随着车辆负载作用次数的增加,轮迹凹槽的深度也会不断的加大。第三阶段是稳定阶段。此阶段是塑性累积变形阶段,混合料内部结构严重破坏,集料骨架松散,每次荷载作用凹槽深度增加速率减缓,最终形成永久车辙,对行车的舒适性造成严重的影响,甚至会影响到行车安全。不同类型车辙的形成机理对比见表1。

### 2 高温地区沥青混凝土路面车辙影响因素分析

#### 2.1 材料因素

材料因素是影响车辙形成的核心内因,涵盖沥青、集料、混合料级配等,决定着沥青混合料的高温稳定性与抗变形能力。沥青高温性能由软化点等指标表征,软化点越高、针入度越小等,高温稳定性越好。高温地区用普通基质沥青,软化点低,易软化流淌,且长期高温加速老化,

表 1 不同类型车辙形成机理对比

车辙类型	核心形成机理	典型特征	占比
失稳型车辙	高温下沥青胶浆软化，混合料抗剪强度不足，车辆荷载引发剪切流动变形	轮迹带凹陷，两侧隆起，断面呈“W”型	60%~70%
结构型车辙	基层或路基强度不足、刚度不均，荷载作用下整体塑性变形向上传递	深度大 (>30mm)，纵向分布均匀，常伴随唧浆、裂缝	15%~20%
压密型车辙	施工压实不足，混合料初始空隙率大，通车后持续发生二次压实	深度浅 (<20mm)，随通车时间逐渐稳定	5%~10%
磨损型车辙	轮胎磨损与路面材料表面损耗共同作用，常见于制动、启动频繁路段	深度浅 (<15mm)，横向分布宽，伴随集料磨光	5%~10%

降低抗变形能力。集料是骨架材料，粗集料颗粒形状接近立方体、棱角性好，可增强抗剪切能力，针片状含量建议控制在 15% 以内；细集料洁净度和细度模数要合规。集料强度低容易碎，粗集料能提高抗变形的能力。混合料级配决定其密实程度等，良好的级配能够形成骨架-密实结构；具有骨架密实型的级配可以限制集料之间发生滑动，在悬浮密实型中抵抗车辙性能较差，粉胶比无法控制也会造成高温稳定性迅速降低。

### 2.2 荷载因素

车辙产生的直接动力为交通荷载，荷载大小、作用次数、行驶速度等因素影响较大。其中荷载大小是最主要的因素，在车辙产生过程中，车辆荷载越大，则压力及剪切力越大，对沥青混合料的塑性变形越明显；而重载、超载车辆其轴载远远超过设计标准，大大增加了沥青混合料的剪切变形以及塑性的积累，从而加速了车辙的产生。轴载增加 1 倍，车辙深度可增 2~3 倍，重载车辆对车辙产生造成的影响远高于普通车辆。荷载作用次数越多，塑性变形累积量越大，车辙越深。交通量大的路段，车辆频繁行驶，轮迹带受力集中，变形难扩散，车辙发展快。作用次数达一定值，车辙深度稳定，路面结构严重破坏。行驶速度影响剪切力作用时间，速度越慢，作用时间越长，塑性变形越明显。城市交叉口等低速路段，车辙病害更严重，低速制动区车辙增长率比高速段高 25%~30%，弯道、坡道则因附加侧向力加剧集料滑移。

### 2.3 环境因素

在高温地区，温度是环境因素中最主要的影响因素，直接影响到沥青材料的软化以及沥青混合料的抗变形能力；环境温度越高，则沥青材料的软化越明显，黏度越低，黏结力和抗剪强度越小，车辙产生得越快。夏季，在高温地区的沥青路面温度可以达到 60℃ 以上，沥青混合料容易发生塑性变形，并且车辙的发展过程也与温度密切相关。温度日及年温差的变化会使得混合料热胀冷缩，结构变得松散，加剧了车辙的发展。降水多集中于夏季，会使路面湿度增加，破坏集料嵌挤作用，引发结构型车辙与唧浆，还加速沥青老化。高温地区日照时间长、辐射强度大，路面表面温度快速升高并向内部传递，使混合料软化，抗变形能力下降，日照越强，车辙形成越快。

### 2.4 施工因素

施工质量对沥青混合料性能影响重大，不合理操作会加速车辙形成。拌合温度过高或过低，均会导致沥青老化，黏结力降低、均匀性差、密实度不足。压实度是决定密实程度和抵抗变形能力的重要因素，压实度低，混合料内空隙率大，在行车作用下易产生压密及剪切变形而加剧车辙的发展；压实度过高，则混合料内空隙率小，沥青胶浆不易散热，高温稳定性降低，并容易出现泛油现象而加剧车辙的发展。标准中规定高速公路、一级公路的压实度不得低于 96%，不足容易造成压密型车辙的风险。摊铺不平整，路面起伏大，在车辆的作用下极易产生车辙，而且由于级配不好导致离析也容易加快车辙的形成速度。

## 3 高温地区沥青混凝土路面车辙防治对策

### 3.1 提升混合料高温稳定性

采用合适的材料进行改进也是车辙预防的重要方法之一，主要是从多个方面改善沥青混合料在高温条件下的稳定性和抵抗塑性变形的能力，以减少车辙发生。对于温度较高的地区应首先选用高温性能较好的沥青，例如 SBS、SBR、岩沥青等改性沥青中掺加了高聚物或者天然沥青成分，从而提升了沥青的软化点以及黏稠度等指标，在一定程度上增强了沥青路面的抗车辙性能。此外，严格控制沥青针入度等指标，亦可采用 60℃ 黏度达到 10000Pa·s 以上的大黏度沥青，用于交通量大、重载多的高温地区路面。高温地区沥青混合料采用骨架-密实型级配，增加粗集料含量（60%~70%），提高嵌挤作用；控制粗集料针片状含量为 15% 以内，优先选用立方体、棱角性好的粗集料；降低细集料含泥量 ≤ 3%；调优粉胶比为 1.0~1.6；适量掺加填料，但不宜过多，否则会影响低温性能。加入抗车辙改性剂提高混合料高温稳定度，常用的有木质素纤维、聚酯纤维等，通过填充等作用，改善其结构性能，增强抗剪切能力和抗变形能力，添加量一般为沥青质量的 0.3%~0.5%。不同改性剂性能对比见表 2。

### 3.2 增强路面抗变形能力

合理的路面结构设计对延缓车辙形成至关重要，可通过多种方式增强路面整体抗变形能力，分散车辆荷载，减少轮迹带应力集中。

其一，优化路面结构层厚度。高温地区沥青混凝土面

**表 2 不同抗车辙改性剂性能对比**

改性剂类型	主要作用	高温稳定性提升效果	适用场景
SBS 改性剂	交联增强, 提高沥青弹性和黏结力	动稳定度提升 40%~60%	高温重载路段、高速公路
PE 改性剂	提高沥青黏度和软化点, 抑制流淌	动稳定度提升 30%~50%	高温地区普通公路、城市道路
木质素纤维	填充空隙, 增强混合料整体性	动稳定度提升 20%~30%	各类高温地区沥青路面
岩沥青	改善沥青高温性能, 增强抗老化能力	动稳定度提升 35%~55%	高温干旱、重载交通路段

层厚度按交通量、荷载以及环境等因素决定, 其中高速公路为 12~18cm, 一级公路为 10~15cm, 城市主干道为 8~12cm, 适度加大面层厚度能够提高其抗变形储备, 并且还要对各个层面的厚度进行优化配置, 上层采用细颗粒式的沥青混凝土, 中面层采用中颗粒式的沥青混凝土, 上中面层采用细粒式, 增强其整体抗变形能力。

其二, 选合适的路面结构形式。高温地区优先选刚性或半刚性基层沥青路面, 其强度高、抗变形强, 能减少面层塑性变形, 避免柔性基层。交通量极大、重载多的路段, 可用复合式路面结构增强抗变形能力。

其三, 加强基层和底基层强度。选用强度高、稳定性好的材料, 严格控制压实度和 7d 无侧限抗压强度, 基层不低于 3MPa。基层表面喷洒透层油, 增强与面层黏结力, 减少车辙。

其四, 设置抗车辙层。交通量极大等突出路段, 在面层中设抗车辙层, 用高温稳定性好的混合料, 厚度 3~5cm, 采用骨架-密实型级配并添加改性剂。

### 3.3 保障工程施工质量

车辙防治关键在施工质量, 应严控施工各指标, 提高路面抗变形能力。基质沥青混合料拌合温度宜 140~160℃, 摊铺温度宜 130~150℃; 改性沥青混合料拌合温度宜 160~180℃, 摊铺温度宜 150~170℃。拌合要保证沥青与集料充分混合、均匀, 不出现花白料等; 摊铺速度一般 2~6m/min, 保持连续性, 确保平整度。高速公路、一级公路≥96%, 二级及以下公路≥95%。压实采用初压、复压、终压三个阶段, 并使用不同的压路机, 掌握好碾压速度及次数, 同时控制好碾压温度, 初压不小于 120℃, 复压不小于 100℃, 终压不小于 80℃, 避免压实不够。此外, 注重提升摊铺平整度。选用性能好的摊铺机, 调整熨平板高度和振捣频率, 及时处理离析现象, 摊铺后及时碾压, 避免影响平整度和密实度。建立完善检测体系, 对沥青混合料性能、摊铺温度等指标检测, 高温地区沥青混合料动稳定度不小于 800 次/mm(改性), 压实度、平整度等每段检测, 及时整改问题。

### 3.4 延缓车辙发展, 及时修复病害

沥青混凝土路面高温地区的养护应该以“预防性养护为主、修复性养护为辅”的原则, 根据高温的特点制定相应的养护计划。建立健全巡查检测制度, 定期对路面进行巡查, 并采用专业的激光断面仪、车辙仪等对车辙深度等参数进行测试, 掌握其发展的规律; 检测频次视交通量及高温持续时间而定, 每年 6 月定期开展 1 次检查, 车辙深度大于 5mm 进行预防性养护, 大于 10mm 及时维修。一

般情况下运行 3~5 年高速公路车辙深度基本在 10~30mm, 部分较严重的达到 50mm 以上, 应引起重视。对于轻度车辙(5~10mm)采取预防性养护措施, 例如采用微表处可以修补车辙、提升路面的抗滑性能以及热稳性能; 采用稀浆封层能够提升路面的防水性能及抗车辙变形的能力; 雾封层可以延缓车辙的发展。严重的车辙(>10mm)进行修复性养护, 铣刨重铺可以彻底消除车辙、恢复性能; 局部修补用于车辙分布不均匀的路段, 修复用料应为高温稳定性好的材料。此外, 合理控制交通量, 避免车辆过度拥堵和停留, 减少荷载作用时间影响; 严格限制重载、超载车辆, 设检测站处罚超载车; 高温季节采取交通管制, 如限速、单向通行, 延缓车辙发展。

## 4 结论与展望

综上所述, 在高温地区的沥青混凝土路面上产生车辙是由多方面原因共同造成的, 并且在三个过程中发生转变, 主要原因是沥青被高温融化导致无法恢复形变。其中对车辙产生的影响较大的主要有原材料的影响、车辆负载的影响以及外部温度条件的影响还有施工技术的影响这几个方面。而在应对措施中则应该从以下几个方面入手: 原材料的选择、道路设计及构造、施工工艺控制以及后期维护几大块着手进行处理。对于今后在高温区域减少甚至消除车辙的出现将会提出更高的挑战。深入分析混合料性质及变形机理, 建立准确预测模型; 开发新材料、新添加剂; 推广应用智能施工养护工艺; 改善路面构造组合, 创新路面构造类型, 发展路面预防养护技术措施, 提高路面耐久性能。

### [参考文献]

- [1]赵春红.公路沥青混凝土路面车辙病害成因及防治措施研究[J].工程机械与维修,2024(5):129-131.
  - [2]邓超.公路路基路面病害成因及处治措施[J].交通科技与管理,2023(12):138-140.
  - [3]李春然,王彪.沥青混凝土路面的病害形成原因与防治措施分析[J].运输经理世界,2023(10):148-150.
  - [4]周或.沥青路面典型病害的机理及其防治措施研究[J].价值工程,2023,42(4):124-126.
  - [5]马凡红.沥青路面车辙病害原因分析及防治措施[J].科学技术创新,2022(32):117-120.
  - [6]魏国栋.浅析沥青混凝土路面的高温稳定性[J].内蒙古公路与运输,2021(2):15-18.
- 作者简介:杜磊(1990.2—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:水利水电,当前就职单位:新疆金正建设科技有限公司,职称级别:中级。