

高温天气下沥青路面车辙病害分析与应对措施

姬海军

焦作市公路事业发展中心，河南 焦作 454000

DOI:10.61369/ETQM.2026010004

摘要：随着全球气候变暖，极端高温天气持续频发，沥青路面车辙病害愈发严重和多发，不仅影响驾乘的舒适度，降低沥青路面的使用寿命，更对行车安全造成严重隐患。本文着重从沥青材料的特性、路面的高温来源和车辙的位置特征等方面，分析沥青路面车辙病害产生的原因，有针对性的提出降低沥青路面温度，优化施工各个环节，通过严控原材料质量、采取多种措施降低路面温度和严格控制施工质量等一系列应对措施，减缓和避免沥青路面车辙病害发生，就一些解决高温天气下沥青路面车辙的新材料、新工艺和新技术进行利弊分析和论述，为广大工程技术人员提供一些思路和参考。

关键词：高温天气；车辙病害；分析与应对措施

Analysis and Countermeasures of Asphalt Pavement in High Temperature Weather

Ji Haijun

Jiaozuo City Highway Business Development Center, Jiaozuo, Henan 454000

Abstract : With global climate warming, extreme high-temperature weather occurs frequently and continuously, leading to increasingly severe and prevalent rutting distress on asphalt pavements. This not only affects the comfort of driving and riding, reduces the service life of asphalt pavements, but also poses serious hidden dangers to traffic safety. This paper focuses on analyzing the causes of rutting distress on asphalt pavements from aspects such as the characteristics of asphalt materials, the sources of high temperatures on pavements, and the positional characteristics of ruts. It proposes targeted measures to mitigate and prevent rutting distress on asphalt pavements, including reducing the temperature of asphalt pavements, optimizing various construction processes, strictly controlling the quality of raw materials, implementing multiple measures to lower pavement temperatures, and rigorously monitoring construction quality. Additionally, it analyzes and discusses the pros and cons of new materials, processes, and technologies aimed at addressing rutting distress on asphalt pavements under high-temperature conditions, providing ideas and references for engineering and technical personnel.

Keywords : hot weather; unstable rut; analysis and countermeasures

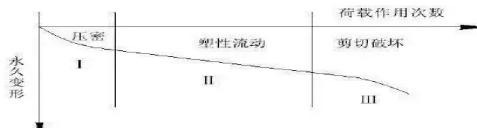
引言

近年来，随着全球气候变暖和极端高温天气的持续频发，因高温天气引起的沥青路面车辙病害问题愈加频繁和严重。车辙的形成使路面产生形变，严重影响路面平整度，造成车辙轮迹部位厚度变薄，路面结构整体强度降低，引发路面其他病害出现。同时，车辙产生的路面积水，造成路面抗滑性能下降，严重的路面车辙也使车辆在变换车道时，影响方向操控，形成严重的行车安全隐患。

一、研究方向

述，供广大工程技术人员参考和研究^[1-3]。

本文主要研究高温天气下的失稳型车辙，重点从沥青材料的特性、路面的高温来源和车辙的位置特征等方面，分析高温天气下沥青路面车辙病害产生的原因，有针对性的提出严控原材料质量、降低路面温度和优化施工工艺等一系列应对措施，并对一些解决高温天气下沥青路面车辙的新材料、新工艺和新技术进行论



作者简介：姬海军 (1980.12-)，男，河南焦作人，本科，高级工程师，研究方向：道路与桥梁工程。

二、产生车辙的原因分析

沥青路面车辙产生的原因较为复杂，但大体来源于内部因素影响和外部因素影响。内部因素主要是路面原材料特性、沥青混合料性质和施工工艺，外部因素主要是气温、荷载、道路线形等。内部因素影响可以进行有效控制，是解决车辙问题的主要措施，但外部影响因素一般难以控制^[4]。

(一) 沥青材料特性

沥青是由不同分子量的碳氢化合物及其非金属衍生物组成的黑褐色复杂混合物，是一种高黏度有机体，表面呈黑色，分为煤焦沥青、石油沥青和天然沥青三种，其中沥青路面主要使用石油沥青。石油沥青是原油蒸馏后的残渣，根据提炼程度不同，在常温下成液体、半固体或固体，黑而有光泽，具有较高的感温性。

石油沥青作为一种黑色材料，具有很强的吸热性，吸热率通常为0.80 ~ 0.95。在持续的太阳热辐射下，热量被沥青路面吸收并积聚。根据调查，夏季沥青路面表面温度比周围气温高约24°C。同时，沥青也是一种隔热材料，有吸热容易，降温慢的特点，致使沥青路面吸热后，长时间处于高温状态，而沥青是粘弹性材料，软化点一般在40°C左右，在连续极端高温条件下，粘弹性急剧降低，塑性急剧增大，造成沥青路面的稳定性和结构强度急剧下降，刚度模量和抗车辙性能越低^[5]。

(二) 路面高温来源及与车辙发展的关系

沥青路面高温来源包括太阳热辐射、车辆发动机散发热量和轮胎与路面摩擦产生的热量。特别是夏季，太阳热辐射强度高，日照时间长，是沥青路面热量的主要来源；二是汽车发动机工作产生的热量和尾气排放的综合作用，在红绿灯、收费站等车辆临时停驻处，热量更加集中。三是在车辆行驶时，轮胎与路面之间产生的摩擦热量，也是沥青路面热量的来源之一^[6]。

根据调查，沥青路面车辙与温度的关系，呈现如下特征：当气温低于30°C，即路表温度低于54°C时，一般不会发生车辙或车辙限制在几毫米以内，可以忽略不计；当气温高于38°C，路表温度大于62°C时，车辙会迅速发展；当气温持续高于40°C时，几天内就会迅速产生严重的车辙。

(三) 车辙位置特征

失稳型车辙多以交叉路口、信号灯停止线附近、收费站、长纵大坡及重载路段等减速或缓行区最为严重。这些位置车辆行驶速度较低或停止不动，交通荷载对路面的作用时间较长，极易引起路面材料失稳、横向位移等永久性变形。特别是当车辆在启动、制动的瞬间，对路面产生极大的水平和竖向应力，尤其是水平应力远高于车辆正常行驶时，是引起车辙和拥包（壅包）的主要外力因素^[7]。

三、降低路面温度应对车辙的措施

(一) 传统措施

1. 遮挡：利用种植高大乔木、一定高度的灌木和边坡植草等遮挡措施，遮挡太阳热辐射。经测试发现，在城市内种植8米高度以上的乔木，降温可达2.8°C，种植5 ~ 8米高度的小乔木降温达2.0°C，灌木类降温只有1.2°C，而草坪的降温效果就只有0.6°C。但是太阳热辐射角度不断变化，造成降温效果一般。

2. 洒水降温：通过向沥青路面洒水，利用水分蒸发达到降温目的。实验表明，洒水后路表温度在5 ~ 10min内迅速下降且可保持1h左右，但温度变化主要发生在路面表层5cm以内，对5cm以下温度影响不大。同时，洒水降温效果很大程度上取决于路面保水量和蒸发速度，需要消耗大量水资源。但洒水虽有利于沥青路面降温，达到减少车辙的目的，但是如果造成路面积水则会降低路面抗滑性能，容易引发交通事故和其他路面病害，频繁洒水作业也增加了养护人员的工作量，需要大量的精力、成本且受区域水资源等各种条件制约^[8]。

3. 保水路面：在大孔隙路面结构基础上，通过填充保水性材料，达到吸收储存各种水分的目的。当温度升高时，水分通过毛细作用蒸发，从而达到减低沥青路面温度的目的，当水分蒸发完时，内部空隙内的空气也较实心结构更利于达到降温目的。这种沥青路面结构的优点是维持较长且明显的降温效果，国外已研发出一次降雨后可持续3天降温效果的保水路面。同时，路面快速吸水与海绵城市的理念非常契合，对城市排水、防止内涝有一定作用。通过试验观察，空隙率大小与降温效果正相关，随着孔隙率的增大，降温效果提高，但会导致路面结构承载力下降，特别是冬季气候条件下，路面结构内部的冻融作用，容易引起路面结构破坏，影响沥青路面耐久性，因此应以保证承载力要求为前提，适当提高空隙率以增加降温效果。

(二) 新技术应用利弊分析

1. 加铺（涂）或直接铺筑反射层：利用反射原理，通过铺设由热反射涂料制备而成的热反射涂层或铺设由浅色集料、热反射胶结料制备而成的热反射罩面层，达到反射太阳光和降低热吸收率，最终达到沥青路面降温目的。目前热反射涂层通常分为白色和深红色两种，国内以白色反射涂层居多，最高反射率可以达到90%以上，但浅色路面会降低标线与路面的对比度，甚至出现眩光。深红色涂层则是利用提高红外反射率，从而降低路面温度，还较白色涂层降低眩光发生和增加路面与标线对比度，从而有效保证行车安全。加铺（涂）或直接铺筑的反射层抗滑性能与普通沥青路面相比较低，容易引发安全问题。通车后灰尘污染也影响反射效果，大幅降低降温效果^[9]。

2. 集料替代法：在沥青混合料中使用膨胀蛭石或煅烧铝矾土等热阻材料代替集料，从而达到一定的阻热、降温作用。煅烧铝矾土混合料具备一定的降温效果，再通过适当增大集料粒径、降低油石比等措施，降温效果和高温性能会明显优于普通混合料，但水稳定性较差。膨胀蛭石具备与沥青较好的粘合力且降温效果良好，但强度较低，不适合路用。

3. 添加外参剂：比如将相变材料加入到沥青混凝土中，尝试实现路面温度的自主调控，相较于现有降低路面温度的技术方法，相变温控沥青混凝土是一种仿生智能材料，但是目前相变材料没有简单有效的添加方法，存在液态渗漏问题，且受到制备方法复杂、对低温性能有着不利影响等原因，还有待进一步研究。其他如在沥青混合料中添加红外粉，吸收热量产生能级跃迁，向外辐射能量。添加钛白粉等光催化剂，消耗太阳能，促进化学反应，从而达到降低路面温度的目的^[10]。

4. 路面热量综合应用设想：通过在路面结构中敷设热管，利用热管的良好导热性，实现路面降温。热管需要埋置在一定深度才能有效降温，但是又需要保证大于一定埋深才能保证热管不被

损坏，二者之间的矛盾和热管的造价，以及热管埋设处形成的应力集中破坏，都是制约该措施应用的主要因素。近年来，设想通过热管连接热转换设备，将吸收的太阳辐射热能进行转换，实现相邻建筑物的采暖、降温，将沥青路面作为一种新型的可再生能源，引以各界关注和思考。

四、优化施工各环节应对车辙的措施

沥青路面的承载能力由集料间嵌挤作用形成的骨架支撑、摩擦力和沥青、细集料、矿粉组成的沥青砂浆填充和粘合作用共同组成。为有效避免车辙产生，可以从原材料、配合比和施工工艺等方面优化，提高沥青路面的承载力，达到抵抗车辙的目的。

(一) 原材料控制

1. 沥青

沥青路面抗剪强度与沥青粘度呈正比例特征，沥青粘度越高，抗剪强度越高。国内通常用粘附性和感温性对沥青抗车辙能力进行评价，以针入度 PI 表征沥青材料的感温性能，针入度和沥青温度敏感性呈现反比例关系。一般采取提高沥青粘度来增加沥青混合料抗剪切能力，减小沥青混合料内部集料相对位移。沥青的软化点、弹性恢复能力较强时，气温较高情况下，沥青路面抵抗变形的能力较强，从而减缓车辙病害发生。同时，沥青用量直接影响沥青混合料结合强度，沥青用量应严格按照马歇尔试验选用，并结合残留稳定度、动稳定度指标，合理确定。沥青用量过多，对车辙产生不利影响，用量过少又严重影响混合料的粘结力，从控制高温车辙考虑，宜适当减低沥青用量。

2. 集料

矿粉是沥青混合料的主要填充料，用于填充孔隙。矿粉和沥青结合形成的沥青胶浆与集料的粘结力更强，可明显增强沥青混合料的稳定性和强度。矿粉应选用无结块的碱性矿粉为优，可以和酸性的沥青更好的形成沥青胶浆。集料是沥青路面的主要组成部分，起主要承载的作用，主要关注：①集料压碎值越低强度越高，抵抗车辙的能力越强；②集料粒径和针片状颗粒含量，粒径越大骨架作用越强，尤其是正多面体集料组成的沥青混合料骨架结构最稳定；针片状颗粒含量越高，不仅影响集料强度，而且集料间容易发生表面滑移，造成失稳破坏；③含泥量较高影响集料与沥青的粘合，对沥青混合料的整体稳定性和强度产生不利影响。

参考文献

- [1]崔志兴.适用于路面控温的定形复合相变材料的制备与性能研究 [D].浙江海洋大学,2019.
- [2]李新.相变调温材料对沥青及沥青混合料高温性能及控温性能的影响探究 [J].化工新型材料,2019.
- [3]袁迎捷.长上坡沥青路面抗车辙影响因素及实用措施.公路交通科技应用,2019.
- [4]彭源富,盘力宁,黄瑞彬,等.关于RCA抵抗高温湿热地区沥青路面病害能力的研究 [J].交通世界,2022,(31):70-72.
- [5]罗苏平.高温多雨地区沥青路面病害环境与多场耦合效应研究 [D].中南大学,2012.
- [6]徐桂阳.新疆高溫地区沥青路面车辙病害处治研究 [D].新疆:新疆农业大学,2014.
- [7]李波,王宇,康爱红,等.沥青混合料高温车辙虚拟仿真实验设计与实现 [J].实验室研究与探索,2024,43(5):10-14,83.
- [8]王文辉.南方高溫地区沥青路面车辙病害处治研究与实践 [D].广东:华南理工大学,2009.
- [9]罗坤,马力,徐琴,等.车辙深度对水利枢纽永久道路沥青路面高溫稳定性的影响 [J].河南科学,2022,40(1):59-65.
- [10]古灯华,张江飞,衣路野,等.高粘剂在沥青路面车辙病害处置中的应用研究 [J].西部交通科技,2023(10):32-35.
- [11]孟庆宇,张家龙.沥青路面失稳型车辙处治技术研究 [J].交通科技,2024(3):43-46.

3. 级配

优选采用“S”型级配和骨架密实结构，杜绝驼峰级配，树立级配范围中值并非最佳级配的理念，注意减少 2.36mm-4.75mm 用量，降低 0.3mm 以下筛孔通过率，通过控制原材料砂当量及粉尘含量来控制 0.075mm 筛孔的通过率。骨架密实结构具有优越的嵌挤力，对抵抗车辙产生具有较好的效果，但存在孔隙率较大，沥青胶结料无法有效填充骨架孔隙，对粘结力产生不利影响。

4. 外参剂和改性沥青

沥青与集料的粘合力是路面结构抵抗剪应力的主要因素，通过向沥青混合料中掺加抗车辙剂、高性能聚酯纤维等外参剂是目前解决车辙病害的主要措施之一。外参剂主要通过提高沥青及混合料的粘结力，达到增强抵抗车辙的作用，直接使用橡胶沥青、高黏沥青也是同样原理。

(二) 施工质量控制

沥青混合料各项指标确定后，加强施工质量控制，减少质量波动，提高机械设备要求，成为延缓沥青路面车辙病害发生的关键因素。

1. 沥青混合料离析

加强沥青混合料拌和温度和拌和时间控制，达到沥青混合料拌和均匀，通过覆盖、缩短运输时间、均匀布料等方式对混合料温度进行严格控制，避免沥青混合料产生离析。

2. 严格控制压实度

摒弃过度关注路面平整度，对压实度要求不严的思想，在良好天气情况下，组织摊铺和压实作业，保障摊铺作业的连续性、均匀性和合适的压实设备、压实遍数，确保压实度满足要求。同时注意严格控制粘层施工质量，杜绝沥青面层层间滑动。

五、结束语

本文着重从沥青的材料特性、路面高溫的来源、车辙发展的特征和容易发生车辙的位置等方面综合分析了沥青路面高溫车辙产生的原因，有针对性的提出了降低路面温度、严控原材料质量和施工工艺等减缓失稳型车辙的产生的措施和方法，并就一些新工艺、新技术的应用进行利弊分析，为广大工程技术人员提供一些应对车辙病害的方法和思路。