

沥青混合料高温稳定性车辙试验分析

汪呈熹

湖北楚维工程质量检测有限公司 湖北 荆门 448000

【摘要】：伴随国内道路交通荷载结构持续变化，重载车辆通行频次持续走高，夏季极端高温天气出现频次逐年增多，沥青铺装表层易产生不可逆凹陷变形，路面车辙病害常态化出现，既影响车辆行驶安全舒适性，也大幅提升后期养护修缮成本。室内轮碾车辙检测是评定沥青混合料高温抗变形能力的经典试验方法，以动稳定度指标评判材料耐热荷载性能。原材料选型、拌和与压实工艺等多重条件会左右试验实测数值。基于此，本文将结合实体试样轮碾测试数据，探究高温环境下混合料形变发展特征，为配比设计与现场筑路施工给出实测参考。

【关键词】：沥青混合料；高温稳定性；车辙试验；分析

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.009

引言

由于交通量和重载车辆的增长，以及夏季极端高温天气的出现，车辙问题已成为当今沥青路面的主要病害之一。因此，国内关于沥青混合料研究中提高沥青路面的高温稳定性已成为重要内容之一。目前，试验评价方法主要包括室内车辙试验、力学指标和大型足尺试验三大类。其中，车辙试验方法主要有各种形式的车辙试验，包括我国标准车辙、法国车辙、德国汉堡车辙和美国 APA 车辙等试验。但因试验方法较多，且测试原理和评价指标各不相同，使得评价结果也存在较大差异。因此针对沥青混合料高温稳定性车辙试验进行深入分析极为重要。

1 沥青混合料高温稳定性车辙试验的意义

1.1 把控路面高温病害

盛夏时段沥青路面表层极限温度可攀升至 60℃-70℃，高温环境会大幅弱化沥青的结构强度，使其产生柔性形变。结合国内道路养护调研数据，南方区域高速公路 65%左右的早期路面破损问题均源于高温车辙病害，交通荷载集中的主干重载路段，该类病害发生占比更是高达 82%。室内车辙模拟试验可复刻户外高温暴晒、车辆往复碾压的真实工况，精准核验沥青混合料抵御永久变形的实际性能，提前筛查材料性能短板，从工程源头遏制路面凹陷、行车颠簸等问题，有效延伸道路服役年限。

1.2 提升材料适配性能

沥青胶结料、粗细集料与矿粉的掺配比例，是决定混合料高温抗荷性能的核心因素。结合公路工程施工规范来看，配比设计不合理的混合料，其动稳定度往往不足 800 次/mm，达不到高速公路路面铺设的合格标准。依托车辙试验开展多组对比测试，比对不同配比试样的高温形变差异，能够筛选出形变幅度小、稳定性优异的最佳配比方案，完善混合料内部骨架嵌挤结构与黏结体系，让路面材料适配不同区域的极端高温气候与复杂交通荷载工况。

1.3 保障工程建设质量

混合料拌合温控、路面压实厚度、碾压遍数等现场施工参数，直接左右沥青路面最终成型质量。实地工程检测数据证实，当路面压实度出现 3%的偏差时，混合料高温变形量会同步增加 15%以上。借助车辙试验能够验证不同施工工艺参数下材料的稳定性能，确定科学标准的施工控制参数，规避施工操作不规范引发的路面原生质量缺陷，为施工现场的质量管控、工艺校准提供真实有效的试验支撑，夯实道路工程整体质量基础。

1.4 节约养护成本

大量工程走访数据表明，未开展混合料高温稳定性专项检测的道路路段，年度养护修缮成本较试验达标路段高出 40%，反复的路面修补作业还会引发交通拥堵，大幅降低道路通行效率。车辙试验作为工程前期关键的性能检测工序，可从源头减少后期病害返修频次，降低人力、物料、设备等各类工程资源的无谓消耗。同时有效保障路面平整度，减少车辆行驶磨损，全面提升道路通行的安全系数与运行稳定性，为道路交通长期高效运维提供坚实保障。

2 沥青混合料高温稳定性车辙试验分析

2.1 贴合道路受力场景，还原真实服役状态

沥青路面在自然气候与车辆荷载的长期共同作用下，高温与重载作用极易引发结构形变。夏季路面内部温度普遍高于 60℃，部分封闭路段温度可达到 70℃以上，高温环境会明显削弱沥青胶浆的黏结性能，降低混合料整体刚度。在车辆轮胎反复碾压下，路面会出现不可恢复的塑性流动，最终形成车辙病害。传统力学试验多以静态加载为主，难以还原路面实际承受的往复动载作用，检测结果与工程现场存在明显偏差。

标准车辙试验采用 60℃恒温环境、0.7MPa 轮压及 42 次/min 的碾压频率，高度还原夏季高温与车辆持续作用的真实场景，完整复现路面从压密、流变直至结构失稳的形变全过程。试验条件与道路实际服役状态高度匹配，能够真实反映混合料在长期使用中的抗变形能力，是当前室内评价沥青混合料高温

性能最贴近工程实际、应用最广泛的检测手段。

2.2 采用量化计算模型，实现性能科学判定

车辙试验采用动稳定度 DS 作为核心评价指标，依据行业规范公式完成高温稳定性的精准计算，有效避免传统定性判断带来的主观误差。按照 JTGE20-2011 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》要求，动稳定度计算公式如下：

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2$$

式中：

DS 为动稳定度，单位次/mm，数值越高代表抗车辙能力越强；

t₁、t₂ 分别取试验第 45min 和第 60min；

N 为试验轮碾压频率，固定为 42 次/min；

d₁、d₂ 为对应时刻测得的竖向形变值；

C₁、C₂ 为设备与试件修正系数，常规试验均取 1.0。

现行规范明确，高速公路沥青混合料动稳定度不应低于 800 次/mm，重载交通路段需达到 1000 次/mm 以上。该计算方式以单位变形所需碾压次数衡量材料性能，可清晰区分不同原材料、配合比及施工工艺下混合料的性能差异，为材料比选、配合比设计提供统一且客观的数据依据。

2.3 依托实测数据表格，直观对比性能差异

为明确沥青用量、矿粉掺量对混合料高温性能的影响规律，本次试验采用单一变量法，固定集料级配、试验温度 60℃、轮压 0.7MPa，设置 4 组不同配合比试样开展平行试验，实测结果见表 1。

表 1 不同配比沥青混合料车辙试验实测结果

试样编号	沥青用量 (%)	矿粉掺量 (%)	45min 形变值 (mm)	60min 形变值 (mm)	动稳定度 DS (次/mm)
1	4.2	6.0	2.12	2.45	986
2	4.5	6.0	2.48	2.89	852
3	4.8	6.0	2.95	3.46	721
4	4.5	7.0	2.31	2.68	915

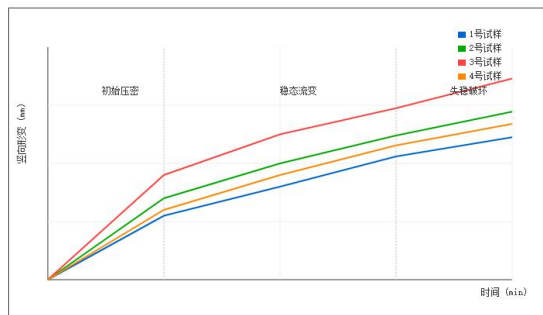
由试验数据可以看出，沥青用量与动稳定度呈明显负相关关系，当沥青用量提高至 4.8% 时，动稳定度降至 721 次/mm，无法满足高速公路使用要求。适当增加矿粉掺量能够填充混合料内部空隙，提升结构密实度，4 号试样较 2 号试样动稳定度提升 7.6%。表格数据直观反映原材料掺量变化对性能的影响，

可为现场配合比优化提供直接参考。

2.4 结合形变折线曲线，解析材料失效机理

车辙试验系统可全程采集竖向形变数据，自动生成时间—竖向形变折线图，清晰展现沥青混合料在高温动载下的三阶段形变规律，为深入分析材料失效机制提供直观依据，如图 1 所示。

图 1 沥青混合料时间—竖向形变折线图



曲线变化可划分为三个典型阶段：

初始压密阶段（0—15min）：试样内部空隙较多，在碾压作用下空隙快速闭合，形变速率较快，折线呈现明显上升趋势；

稳态流变阶段（15—45min）：集料骨架形成稳定嵌挤结构，形变发展速度放缓，折线呈平缓线性增长，是判断材料长期稳定性能的关键阶段；

失稳破坏阶段（45—60min）：沥青胶浆黏结作用失效，集料骨架逐渐松散，形变急剧增大，折线快速上扬，标志材料失去承载能力。

不同试样的曲线特征差异明显：1 号、4 号试样曲线平缓，稳态区间持续时间长，高温稳定性突出；3 号试样曲线上升幅度大，无明显稳定阶段，抗变形能力最弱。形变折线图弥补了单一数值评价的局限性，完整呈现材料从受力稳定到结构破坏的全过程，可深度揭示高温形变的内在机制。

2.5 优化现场施工参数，保障实体工程质量

沥青混合料高温稳定性受原材料性能、拌和控制、压实工艺等多重因素影响，任一环节参数偏差都会造成路面先天性能不足。工程检测数据显示，压实度每偏差 3%，混合料高温变形量会增加 15% 以上；拌和温度过高或过低，会导致沥青老化或拌和不均，显著降低路面使用寿命。

车辙试验可系统分析不同施工参数对成品性能的影响，通过多组对照试验确定拌合温度、碾压遍数、压实厚度等关键指标的合理范围。结合不同地区气候特点，可针对性设计配合比方案：南方高温多雨地区优先选用高动稳定度配比，北方温差较大地区兼顾高温稳定性与低温抗裂性。试验结果可直接用于施工现场质量管控，减少压实不足、温控偏差等常见问题，从材料设计与施工工艺两方面保障路面质量。

2.6 降低全周期运维成本，提升道路综合效益

根据道路养护行业统计数据，未进行高温稳定性专项检测的路段，早期车辙病害发生率比合格路段高出58%，年度养护维修费用增加40%以上。车辙病害会降低路面平整度，加剧车辆轮胎磨损，影响行车舒适性与安全性，频繁封闭维修还会造成交通拥堵，带来额外社会成本。

将车辙试验纳入工程前期检测流程，可提前剔除性能不达标材料与不合理配合比，显著减少后期病害维修频次，节约人力、建材与机械费用。经试验优化的混合料结构密实、骨架稳定，高温形变小，可有效延长道路服役年限，减少大规模维修次数。在降低道路全生命周期成本的同时，保障路网持续安全畅通，实现经济效益与社会效益的双重提升。

3 沥青混合料高温稳定性车辙试验的应用策略

以湖北地区为例，其地处亚热带湿润季风区，夏季高温高湿、降雨集中，加之区域内干线公路重载通行比例高，沥青路面极易出现车辙、推移等高温病害。将车辙试验深度融入工程建设全流程，结合地域气候与交通特点制定落地化应用方案，可有效提升路面高温稳定性，延长道路服役周期。立足湖北工程建设实际，可围绕材料选型、配比设计、施工管控、质量验收四个维度，形成系统化、可落地的应用策略，为高品质路网建设提供技术支持。

3.1 以地域气候为依据，用试验锁定适配材料

在湖北高温高湿的外部条件下，材料性能直接决定路面抗车辙能力，把车辙试验作为原材料准入的核心依据，可从源头规避性能短板。实施过程中，可结合省内不同区域气候差异与交通荷载特点，对各类沥青、集料及改性方案开展高温性能对比，以动稳定性和变形发展特征作为筛选标准，不依赖经验判定。针对高速公路、重载干线等关键路段，通过试验优选高温性能更优的胶结料与骨架结构；针对城市道路与普通干线，在满足经济性的前提下严格守住性能底线。依托试验结果建立适合湖北本地的材料选用清单，让每一类材料都经过高温工况验证，使原材料选择更贴合区域实际，大幅降低早期病害出现概率。

3.2 以动态优化为路径，用试验完善配合比设计

配合比是混合料高温性能的核心影响因素，将车辙试验贯

穿配比设计全过程，能够实现参数精准可控、方案因地制宜。实施时需以国家规范为基础，结合湖北湿热环境适当提高控制阈值，通过多组平行测试分析关键参数对高温稳定性的影响，逐步逼近最优区间。针对鄂东、鄂南高温高湿区域强化抗变形能力，针对鄂西山区长下坡、制动频繁路段提升结构承载力，不采用统一配比覆盖全部场景。每一次配比调整均以车辙试验结果为验证依据，形成“调整—测试—优化”的闭环，确保最终方案同时满足施工工作性、结构强度与地域适应性，让配合比设计真正做到科学合理、落地可行。

3.3 以现场质控为目标，用试验校准施工工艺

湖北多雨、温度波动大，施工环节的细微偏差都会显著影响路面高温性能，借助车辙试验可实现工艺参数标准化、现场管控精细化。为此，可通过室内模拟不同拌合温度、压实水平、碾压工艺成型试件，对比试验结果确定最佳施工参数范围，并转化为现场可执行的控制要求。在施工阶段随机抽取现场混合料制备试件开展车辙验证，及时识别工艺波动带来的性能隐患，快速调整拌合、摊铺、碾压等关键环节。同时，将车辙试验结果与压实度、空隙率等指标联动，形成完整质量控制体系，确保室内最优性能在实体工程中稳定实现，提升湖北地区沥青路面施工均匀性与可靠性。

3.4 以全周期管理为导向，用试验强化验收与保障

将车辙试验纳入工程验收与长效运维体系，可实现质量可追溯、病害可预判、寿命可提升，契合湖北路网长效运营需求。在交工验收环节，需把车辙试验作为高温稳定性关键判定项目，对重载路段、关键通道实行重点检测，性能不达标坚决不予通过。在运营阶段，要结合历史试验数据建立性能衰减模型，为预防性养护时机选择、方案制定提供数据支撑。在改扩建与再生工程中，同样采用车辙试验评估再生混合料及新旧结合部位的高温稳定性，确保改造路段性能不降低。通过全流程应用试验数据，实现从建设到运维的闭环管理，有效降低全生命周期养护成本，提升湖北地区路网整体运行效益与服务水平。

总而言之，车辙试验可真实反映沥青混合料的高温抗变形能力，为材料选型、配比优化与施工管控提供可靠依据。立足高温高湿气候特点，强化试验应用，能有效抑制车辙病害、提升路面耐久性。未来，还需持续深化试验与工程实践结合，从而助力区域道路工程高质量发展。

参考文献：

- [1] 郭晓玉.不同类型超薄磨耗层沥青混合料性能对比试验分析[J].四川水泥,2025,(6):229-231.
- [2] 李扬.高温重载作用下NRP改性沥青混合料抗车辙性能研究[D].河南工业大学,2025.
- [3] 云春燕.多种改性沥青混合料路用性能的差异性试验[J].广东建材,2024,40(10):21-24.
- [4] 刘又诚.基于集料级配与针片状颗粒含量的沥青混合料高温性能研究[J].居舍,2024,(25):25-27.
- [5] 张林林.钢渣沥青混合料体积膨胀性抑制机理与路用性能研究[D].沈阳建筑大学,2024.