高温环境下沥青路面抗车辙性能改进研究

张大龙
甘肃朴信建筑安装工程有限公司，甘肃 定西 743000

[摘要]高温环境下，沥青路面易出现车辙现象，影响道路使用寿命及安全性。针对这一问题，通过改进沥青配合料、添加高性能改性剂等手段，提升沥青的高温稳定性。研究表明，改性沥青能够有效改善路面的抗车辙性能，延长其使用年限。利用车辙试验及温度场模拟分析，进一步验证了不同改性方法对沥青路面性能的提升效果，为高温地区的道路工程提供了有效的技术支持与改进措施。

[关键词]高温环境；沥青路面；抗车辙性能；改性沥青；路面稳定性
DOI：10.33142/sca.v8i4.15930 中图分类号：U418.6 文献标识码：A

Research on the Improvement of Anti Rutting Performance of Asphalt Pavement under High Temperature Environment

ZHANG Dalong
Gansu Puxin Construction and Installation Engineering Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

Abstract: Under high temperature conditions, asphalt pavement is prone to rutting, which affects the service life and safety of the road. In order to address this issue, measures such as improving asphalt mix materials and adding high-performance modifiers can be taken to enhance the high-temperature stability of asphalt. Research has shown that modified asphalt can effectively improve the anti rutting performance of road surfaces and extend their service life. By using rutting tests and temperature field simulation analysis, the improvement effect of different modification methods on asphalt pavement performance was further verified, providing effective technical support and improvement measures for road engineering in high-temperature areas.

Keywords: high temperature environment; asphalt pavement; anti rutting performance; modified asphalt; road stability

引言

随着交通量的增加及气候变化的影响，沥青路面在高温环境下容易出现车辙问题，严重影响道路的安全性和耐久性。车辙不仅降低了路面的行驶舒适性，还加速了路面结构的破坏，给道路养护带来巨大压力。为解决这一问题，许多研究集中于沥青材料的改性，探索提升路面高温稳定性的有效途径。通过合理的改性方法，有望显著提高沥青路面的抗车辙性能，确保道路在高温条件下的长期可靠性和安全性。

1 高温环境下沥青路面车辙现象的成因与影响

高温环境下，沥青路面易发生车辙，影响路面性能及道路安全性。深入分析车辙现象的成因及其影响，对于提高沥青路面在高温环境下的使用寿命和行车舒适性至关重要。

1.1 车辙现象的定义与表现

车辙是指车辆行驶过程中，路面表面因车轮荷载作用而发生的永久性变形。特别在高温环境下，沥青材料的流动性增加，使得沥青路面容易发生塑性变形，形成车辙。车辙的深度和宽度随着温度升高而加剧，尤其在交通繁忙的路段，高温和交通荷载的共同作用使得车辙现象更加显著。

车辙不仅仅是表面变形的简单表现，长时间积累会导致沥青路面出现裂纹、坑洞等病害，严重影响道路的行车安全和舒适性。车辙现象的出现，尤其在高温天气下，使得沥青路面更容易产生深度损伤，影响其结构稳定性和使用寿命[1]。

1.2 高温环境对沥青材料的影响

高温环境对沥青的影响主要体现在其流变特性上。沥青作为一种黏弹性材料，在高温下表现出较强的流动性。当环境温度升高时，沥青的黏度降低，导致其塑性变形更加明显。尤其在交通负荷作用下，沥青会在车轮轨迹区域发生持续的变形，从而形成车辙。

沥青的组成成分也在高温下发生变化。由于沥青的沸点较低，当温度过高时，沥青中某些挥发性组分可能会蒸发，导致其黏结性下降，这使得路面更容易在车辆荷载作用下发生永久性变形。高温不仅影响沥青的流动性，还加剧了路面结构的损害，尤其是在高温持续时间较长的地区。

1.3 车辙对道路性能和安全性的影响

车辙现象会显著影响道路的性能和安全性。首先车辙使得路面出现凹陷，车轮与路面的接触不均匀，从而增加了驾驶的困难和危险。车辙的存在，尤其在行车高峰期，极易导致车辆的侧滑、碰撞等交通事故，严重影响道路的行车安全。其次，车辙还会影响路面的排水能力，积水会在车辙处积聚，形成水坑，进而加剧水害和冻胀等问题。此外，车辙的加剧会导致路面材料的失效，产生裂纹、坑

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

洞等二次损伤，进一步降低路面的耐久性，增加维护成本。长期存在的车辙现象不仅影响行车舒适性，还会给道路的维修和养护带来额外的负担。

2 沥青路面抗车辙性能的评价方法与试验分析

为了提高沥青路面在高温环境下的抗车辙性能，准确评价沥青材料的性能至关重要。通过多种试验方法，可以科学评估沥青路面的抗车辙能力，从而为材料选择与改性提供依据。

2.1 车辙试验方法

车辙试验是评估沥青路面抗车辙性能的常用方法之一。该试验通过模拟车辆行驶过程中的轮压作用，测量沥青路面在不同温度下的车辙深度。常见的车辙试验设备包括车辙仪、轮压试验机等。试验过程中，沥青试样在一定的高温条件下承受模拟车辆的轮压作用，随着时间的推移，路面上的塑性变形（即车辙）逐渐增加。

车辙深度是衡量路面抗车辙能力的重要指标。车辙深度越小，表明沥青路面的抗车辙能力越强。试验结果可以帮助工程师了解沥青材料在高温下的性能，并根据结果选择合适的改性沥青材料或调整沥青配合料，从而有效提高路面的抗车辙能力[2]。

2.2 流变学测试与高温性能分析

流变学测试方法用于评估沥青在不同温度下的流变特性，如剪切模量、黏度等指标。通过流变学测试，可以了解沥青在高温环境下的黏弹性行为，进一步判断其抗车辙性能。一般采用动态剪切流变仪（DSR）来进行流变学测试，通过施加不同频率和应变的剪切应力，测量沥青的抗剪切能力。

在高温条件下，沥青的剪切模量通常会减小，表现为更大的流动性。这种流动性增加使得沥青在车轮荷载作用下更容易发生塑性变形。因此，通过流变学测试，可以预测沥青的高温稳定性，并为沥青改性提供理论依据。此外，黏度测试也能帮助评估沥青的温度敏感性和抗车辙能力，确保选用的沥青材料能在高温下保持足够的强度和稳定性。

2.3 模拟试验与现场验证

除了实验室试验，模拟试验和现场验证也对评估沥青路面抗车辙性能具有重要作用。模拟试验通过数值模拟与温度场分析，模拟不同气候条件和交通荷载下的沥青路面表现。这些模拟试验不仅能预测沥青材料的车辙趋势，还能帮助优化材料配方和施工工艺。

现场验证则通过对已有路段的车辙情况进行实地监测，分析高温环境对路面抗车辙性能的实际影响。通过现场的车辙监测数据，可以进一步调整实验室结果，确保实验条件与实际使用情况的高度吻合。此外，结合现场路面病害的调查数据，能为后续的材料优化和施工改进提供直接指导。

通过综合评价方法，全面了解沥青路面抗车辙性能，合理调整和改性措施，提高高温环境下的耐久性和安全性。

3 改性沥青材料的选择与性能提升机制

为了提高沥青路面的抗车辙性能，改性沥青材料成为解决高温环境下车辙问题的重要途径。选择合适的改性材料，并深入探讨其性能提升机制，能够显著增强沥青路面的耐久性和稳定性。

3.1 改性沥青材料的种类与选择

改性沥青材料的选择主要包括聚合物改性沥青、橡胶改性沥青、纳米材料改性沥青等多种类型。聚合物改性沥青常使用的改性剂有 SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）和 APP（聚烯烃类），它们能够提高沥青的高温稳定性、低温抗裂性及抗老化能力。SBS 改性沥青尤其在高温条件下表现出较强的抗车辙性能，可以有效减少沥青流动性，延缓车辙的形成。

橡胶改性沥青使用废旧轮胎橡胶粉末或橡胶颗粒作为改性剂，具有良好的耐磨性和抗车辙性能。橡胶改性沥青通过提高沥青的弹性和塑性，增强了其在高温下的抗车辙能力。纳米材料改性沥青近年来也受到了广泛关注，如纳米硅、纳米黏土等材料能够显著改善沥青的热稳定性和抗压性能，提高抗车辙能力。

改性沥青材料的选择需要根据具体的路面使用环境、交通荷载以及气候条件来定。不同类型的改性剂可以根据实际需求进行组合，以获得最佳的抗车辙性能和经济效益。

3.2 改性沥青的性能提升机制

改性沥青的性能提升机制主要通过改变沥青的分子结构和流变性能。聚合物改性沥青通过聚合物分子的长链结构，与沥青基质的相互作用，增强了沥青的弹性和黏附性，显著提高了其抗车辙性能。SBS 改性沥青通过形成聚合物网状结构，增加了沥青的高温黏弹性，改善了其在高温下的流动性，从而有效抑制了车辙的产生。

橡胶改性沥青则通过添加橡胶颗粒或橡胶粉末，增强了沥青的抗变形能力。橡胶分子与沥青中的天然分子相互作用，改善了沥青的粘附力，增加了路面在高温下的稳定性。此外，橡胶颗粒的加入还可以提高沥青的抗老化性能，延长路面使用寿命。

纳米材料改性沥青通过引入纳米粒子，改善沥青的热稳定性和力学性能。纳米粒子能够在沥青基质中形成微观结构，增强其对外界温度变化的适应性，减少高温下的变形[3]。这些纳米材料还具有优异的抗氧化性能，有助于提高沥青的抗老化能力，从而延长路面的使用寿命。

3.3 改性沥青的实际应用与效果

在实际工程中，改性沥青的应用效果已被多项实验和案例验证。研究表明，使用 SBS 改性沥青后，沥青路面的抗车辙性能显著提高，车辙深度明显减小，且沥青路面在高温下保持了较好的黏结性和抗老化性。橡胶改性沥青在一些热带地区的道路中得到了广泛应用，特别是在高温季节，能有效防止车辙的出现，提升路面的使用寿命。纳米材料改性沥青

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的应用较为新颖，但其效果也十分显著。在一些试点工程中，纳米改性沥青展示了较强的高温稳定性和抗变形能力，特别适用于交通压力较大的主要道路和高速公路。

合理选择改性材料和优化施工工艺，可提升沥青路面抗车辙性能，延长使用寿命，减少养护成本，为高温环境下提供可靠解决方案。

4 高温环境对沥青路面性能的影响及对策

高温环境对沥青路面的影响主要表现为车辙的加剧。针对这一问题，采取有效的对策可以显著改善沥青路面的性能，延长其使用寿命，提高道路安全性。

4.1 高温对沥青路面的物理化学影响

高温环境下，沥青的流动性显著增加，导致其黏度降低，容易发生塑性变形，形成车辙。沥青作为黏弹性材料，在高温下更容易流动和变形。特别是在重交通荷载作用下，沥青路面会在车轮压痕处发生永久性沉陷，形成车辙。高温还会加速沥青的老化过程，沥青中的挥发性成分会随着温度升高而蒸发，导致其黏结性下降，进一步加剧车辙现象[4]。

高温也会导致沥青材料的氧化和脆化，降低其抗压强度和抗裂性能。这不仅影响路面耐久性，还会引发裂缝等病害，减少路面的使用寿命。

4.2 车辙现象对道路性能的影响

车辙现象直接影响道路的平整度和行驶舒适性。随着车辙深度的增加，路面变形明显，驾驶者容易遇到不平整的路面，增加了行车的危险性。同时，积水也容易在车辙处形成，导致路面排水性能下降，加剧水害。特别是在雨季，车辙区域积水可能导致水毁问题，进一步恶化路面的结构性能。

车辙还会对沥青路面的抗疲劳性造成影响，长时间的车轮压痕作用会加速路面材料的劣化，产生裂纹和坑洞，影响道路的正常使用和养护成本。

4.3 高温环境下的对策与改进措施

为了应对高温环境对沥青路面的负面影响，首先需要选择合适的改性沥青材料，增强其抗车辙性能。聚合物改性沥青（如 SBS）和橡胶改性沥青可以有效提高沥青的高温稳定性，减少其流动性和塑性变形。其次，在施工过程中，应严格控制温度和摊铺工艺，确保沥青的均匀性和密实度。此外，采用纳米材料等新型改性剂，可以进一步提升沥青的热稳定性和抗车辙能力，延长路面的使用寿命。

5 改性沥青应用效果的实际工程验证与应用展望

改性沥青在实际工程中的应用已获得显著效果，能够有效提高沥青路面的抗车辙性能。通过工程验证和未来展望，改性沥青为高温环境下的道路提供了有力的技术支持。

5.1 实际工程中的应用效果

在多个高温地区的道路工程中，改性沥青已得到广泛应用，尤其是在热带和亚热带地区。采用 SBS 改性沥青的路面表现出明显的抗车辙能力，车辙深度较常规沥青路面显著减少，且路面保持了较好的平整性[5]。在一些交通密集的道路上，橡胶改性沥青也成功减少了车辙和路面开裂的发生，极大地延长了路面的使用寿命。

在实际应用中，改性沥青不仅提高了路面的耐高温性能，还改善了其抗老化能力和抗疲劳性能，有效应对了高温环境下的长期使用压力，减少了养护成本。

5.2 工程验证中的挑战

尽管改性沥青在多项工程中取得了良好的效果，但其应用仍面临一些挑战。例如，改性沥青的成本较高，特别是在大规模施工时，需要投入更多的改性剂和工艺控制。此外，改性沥青在不同地区、不同气候条件下的表现差异，需要进一步通过实验数据进行验证，以确保其长期稳定性。

5.3 未来应用展望

未来，随着技术的不断发展，改性沥青的性能还将得到进一步提升。新型改性材料，如纳米改性沥青、功能性聚合物等，可能会成为提高沥青高温稳定性和抗车辙能力的新趋势。随着材料成本的下降和施工技术的成熟，改性沥青将在更多地区和道路类型中得到广泛应用，进一步改善高温地区的道路质量与使用体验。

6 结语

通过对高温环境下沥青路面抗车辙性能的研究与分析，改性沥青材料在提升路面稳定性和耐久性方面表现出显著效果。通过合理选择改性材料，如聚合物和橡胶改性沥青，可以有效改善沥青的高温稳定性，减少车辙的产生，延长道路使用寿命。尽管仍面临成本和适应性等挑战，随着技术的不断进步，改性沥青将在未来的道路工程中得到更加广泛的应用，为高温地区的道路建设提供有力保障。

[参考文献]

[1]殷豪强.SFP-20 在沥青路面中面层的抗车辙性能研究[D].山东:青岛理工大学,2019.
[2]李媛媛.温度对沥青混合料抗车辙性能影响的试验分析[J].散装水泥,2021(4):126-128.
[3]朱华阳.基于 MLS11 的复拌就地热再生沥青混合料长期抗车辙及抗滑性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
[4]王世玉.考虑环境湿度的多场耦合作用下沥青路面抗车辙性能研究[D].上海:东华理工大学,2023.
[5]徐淑春.市政改性沥青路面高温抗车辙性能试验研究[J].成都工业学院学报,2023,26(6):36-41.

作者简介：张大龙（1985.12—），男，毕业院校：张家口职业技术学院，所学专业：道路与桥梁工程技术，当前就职单位：甘肃朴信建筑安装工程有限公司，职务：项目经理，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.