

不同改性岩沥青对花岗岩集料粘附性的影响

王亮¹, 韦金城², 庞向前¹, 蒋旭¹, 张磊^{2*}, 孙兆云²

¹山东高速路桥国际工程有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

收稿日期: 2022年7月29日; 录用日期: 2022年8月9日; 发布日期: 2022年8月24日

摘要

采用岩沥青和硅烷偶联剂配制复合改性沥青改善花岗岩集料的粘附性, 结果表明: 硅烷偶联剂和岩改沥青的掺加均对沥青的抗温度变形能力和高温性能有提升作用, 在双掺硅烷偶联剂和岩沥青时, 硅烷偶联剂可以弥补了岩沥青低温差的缺点; 抗剥落剂的加入明显地提高了沥青与花岗岩集料的粘附性, 且水稳定性有所改善, 偶岩复合岩改沥青的效果比单一抗剥落剂的改性沥青的效果更佳。

关键词

岩沥青, 花岗岩集料, 粘附性, 偶联剂, 抗剥落剂

Influence of Different Modified Rock Asphalts on the Adhesion of Granite Aggregate

Liang Wang¹, Jincheng Wei², Xiangqian Pang¹, Xu Jiang¹, Lei Zhang^{2*}, Zhaoyun Sun²

¹Shandong HI-SPEED ROAD&BRIDGE International Engineering Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Received: Jul. 29th, 2022; accepted: Aug. 9th, 2022; published: Aug. 24th, 2022

Abstract

Rock asphalt and silane coupling agent are used to prepare composite modified asphalt to improve the adhesion of granite aggregate. The results show that the addition of silane coupl-

*通讯作者。

文章引用: 王亮, 韦金城, 庞向前, 蒋旭, 张磊, 孙兆云. 不同改性岩沥青对花岗岩集料粘附性的影响[J]. 土木工程, 2022, 11(8): 974-980. DOI: 10.12677/hjce.2022.118105

ing agent and modified rock asphalt can improve the temperature deformation resistance and high-temperature performance of asphalt. When adding a silane coupling agent and rock asphalt, the silane coupling agent can make up for the shortcomings of rock asphalt at low temperature; the addition of anti-stripping agent significantly improves the adhesion between asphalt and granite aggregate, and the water stability is improved. The effect of modified asphalt with rock matrix composite is better than that of modified asphalt with single anti-stripping agent.

Keywords

Rock Asphalt, Granite Aggregate, Adhesion, Coupling Agent, Anti-Stripping Agent

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

花岗岩属于酸性集料，当初期作为沥青混合料集料时，由于粘附性较差，沥青丧失原有的将粗细集料粘结在一起的功能，导致路面强度下降，进而产生破坏[1] [2] [3] [4]。为了减少花岗岩沥青路面的损坏问题，需从改善沥青与集料的粘附性入手，找出合适的方法提高粘附性。已有研究[5] [6] [7] [8] [9]表明抗剥落剂能够提高沥青与集料的粘附性，进而提高沥青混合料的水稳定性，使沥青混合料具有良好的抗水损害能力。抗剥落剂是沥青改性剂的总称，通过在沥青中加入表面活性剂等成分，提高沥青与集料的粘附性。岩沥青作为天然沥青，在自然环境中经过了长时间的氧化和缩合作用，工程性质稳定，抗氧化能力强，从而大大提高改性沥青的耐久性能，近年来越来越广泛地运用到抗剥落剂中[10] [11] [12] [13]，岩沥青中含氮量较高，且氮元素多以官能团的形式存在，正是由于沥青质中极性官能团的存在，岩沥青与岩石表面之间有着非常强的吸附力，粘度大、抗氧化性强，从而显著改善了沥青混合料的抗水损害能力[14] [15] [16]。虽然岩改沥青与花岗岩集料有较好的粘附性，且高温性能和耐久性均较好，但低温性能不佳。有研究证明[6] [17] [18]，硅烷偶联剂改性沥青具有较好的水稳定性，但长期耐久性偏弱。有学者[1]指出两种抗剥落剂混合使用产生叠加效应，会产生互补效果。因此，本文通过岩沥青和硅烷偶联剂配制复合改性沥青，既能提高混合料的抗剥落性，还能弥补硅烷偶联剂改性沥青耐久性不足、岩沥青改性沥青低温性能差的缺点，所以本项目采用的硅烷偶联剂和岩沥青对基质沥青进行复合改性，配制偶岩复合改性沥青，验证其对花岗岩集料的粘附性的影响作用。

以 70-A 基质沥青、0.3% 硅烷偶联剂改性沥青、5% 岩改沥青及偶岩复合改性沥青(0.3% 硅烷偶联剂 + 5% 岩改沥青复合改性沥青)为研究对象，通过常规沥青性能试验、SHRP 沥青流变性能试验及其与花岗岩集料的粘附性试验，对比分析掺加不同抗剥落剂的改性沥青性能。

2. 原材料选择与改性沥青制备

2.1. 原材料选择

岩沥青是一种天然沥青，黑色固体，含有 ZnO、SnO₂、TiO₂ 等氧化物，具有吸收紫外线的特性，是其抗老化性的来源；选用的硅烷偶联剂规格型号为 KH-550，在水中水解，呈碱性，聚合形成硅氧烷，与沥青有较好的相容性，对提高沥青和集料的粘附性起到了重要的作用。本试验采用 70-A 道路石油沥青，

作为空白对照组使用，试验方案如表 1 所示。

Table 1. Different modified asphalt schemes

表 1. 不同改性沥青方案

方案	70-A 基质沥青	岩沥青	硅烷偶联剂
方案 A	100	/	/
方案 B	100	5	/
方案 C	100	/	0.3
方案 D	100	5	0.3

2.2. 改性沥青制备

1) 岩沥青改性沥青的实验室制备

先将 70-A 基质沥青加热至 145℃，搅拌温度先设 150℃随着岩沥青的加入逐渐提高至 165℃，从添加岩沥青开始计时 40 min 加完岩沥青，边搅拌边加岩沥青，加完岩沥青后在 165℃条件下继续搅拌 20 min，放 165℃烘箱发育 1 h、发育完再 165℃搅拌 15 min。

2) 硅烷偶联剂改性沥青的制备

先将 70-A 基质沥青加热至 145℃，搅拌温度先设 150℃随着硅烷偶联剂的加入提高至 160℃，从开始加硅烷偶联剂计时 50 min 加完硅烷偶联剂，边搅拌边加硅烷偶联剂，加完硅烷偶联剂后在 160℃条件下继续搅拌 30 min，放 80℃烘箱发育 2 h。

3) 偶岩复合改性沥青的制备

先将 70-A 基质沥青加热至 145℃，搅拌温度先设 150℃随着硅烷偶联剂的加入设为 160℃，从加硅烷偶联剂计时 50 min 加完硅烷偶联剂，边搅拌边加硅烷偶联剂，加完硅烷偶联剂 160℃条件下加岩沥青 (40 min 加完岩沥青)，加完岩沥青 165℃继续搅拌 30 min、放 165℃烘箱发育 1 h。

通过沥青性能的三大指标试验、布氏旋转粘度试验、DSR 试验、BBR 试验等研究各岩改性沥青的基本性能；通过粘附性试验对比分析各岩改性沥青与花岗岩集料的粘附性能。

3. 不同改性沥青性能分析

3.1. 对针对度的影响

由图 1 可以看出，方案 A 的基质沥青的针入度指数最小，为-0.81，温度敏感性最差，受外界温度变化影响更大；方案 B 岩改性沥青、方案 C 的硅烷偶联剂改性沥青和方案 D 的偶岩复合改性沥青的针入度指数相对于基质沥青均增大，分别为-0.47、-0.53 和-0.46。温度敏感性降低，说明掺加抗剥离剂后，改性沥青的抗温度变形能力有所提高。

3.2. 对高温性能的影响

沥青的高温性能的指标一般由软化点和 135℃布氏粘度评价。图 2 可以看出软化点性能优劣的排序：方案 B 岩改性沥青 > 方案 D 偶岩复合改性沥青 > 方案 C 偶联剂改性沥青 > 方案 A 基质沥青，三种改性沥青的软化点均大于方案 A 的基质沥青，说明各改性沥青的高温性能均得到了不同程度的提升；各种沥青的 135℃布氏粘度均小于 3 Pa·s，说明它们不仅有较高的高温性能，而且具有较高的粘度和良好的施工和易性。综合上述性能指标，方案 B 的岩改性沥青的高温性能最优。

3.3. 对低温性能的影响

表征沥青的低温性能的指标为 10°C 延度，延度越高表明其低温性能越好。从图 3 可以看出低温性能优劣的排序：方案 C 偶联剂改性沥青 > 方案 A 基质沥青 > 方案 D 偶岩复合改性沥青 > 方案 B 岩改性沥青。方案 B 的岩改性沥青延度最低，为 10 cm，说明岩沥青的加入降低了沥青的低温抗裂性能，但掺加了硅烷偶联剂的方案 D 的沥青延度提升到了 20 cm，提升效果明显。硅烷偶联剂中含有无机官能团，可与岩沥青之间增强基团反应，建立起结构稳定的“分子桥”，增强沥青的低温性能，弥补了岩沥青低温差的缺点。

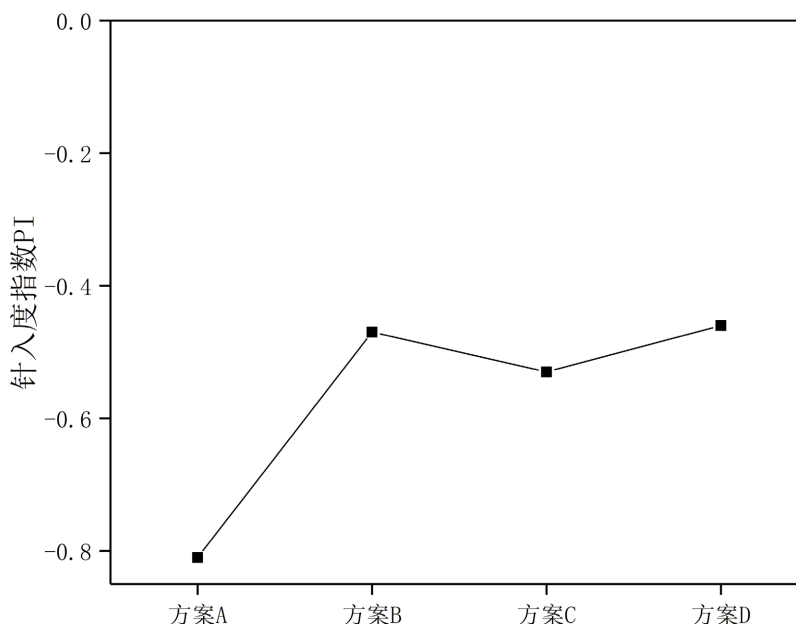


Figure 1. Comparison of penetration index of various modified asphalts

图 1. 各种改性沥青针入度指数对比

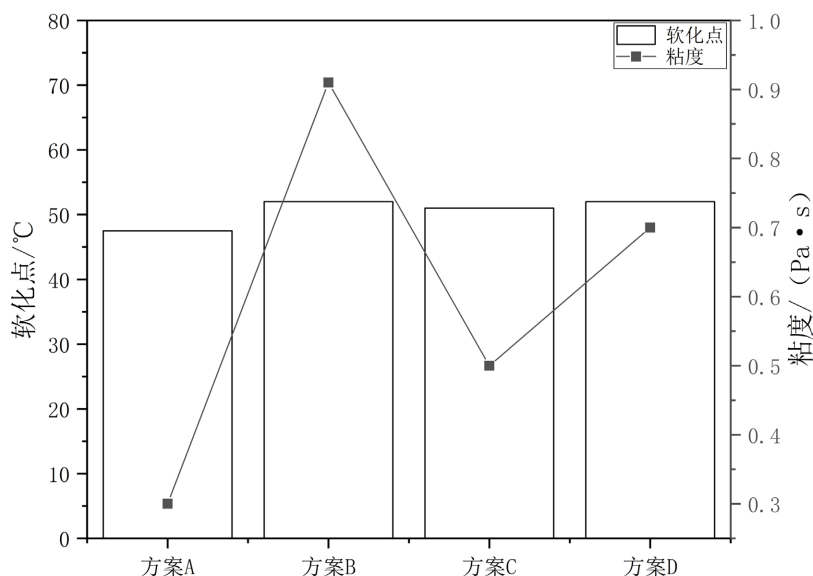


Figure 2. Comparison of softening point and viscosity of various modified asphalts

图 2. 各种改性沥青软化点和粘度对比

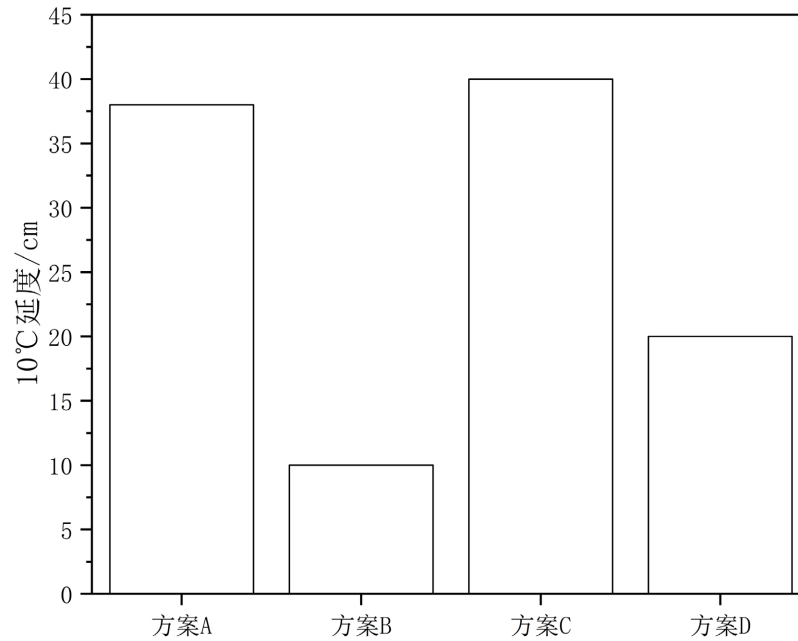


Figure 3. Comparison of 10°C ductility of various modified asphalts
图 3. 各种改性沥青 10°C 延度对比

4. 不同改性沥青对花岗岩集料的粘附性分析

短期老化主要是由建设期时沥青路面的沥青热老化造成的，一般从沥青离开拌和站，到沥青路面压实后温度降至自然温度结束。采用薄膜烘箱可以模拟短期老化，对各改性沥青方案进行老化后的常规性能试验和粘附性试验对比，试验过程如图 4 所示。

由表 2 可以看出，短期老化对方案 B 的 5% 岩改性沥青、方案 C 的 0.3% 硅烷偶联剂改性沥青及方案 D 的偶岩复合改性沥青高温性能影响较小，其中方案 B 的 5% 岩改性沥青的软化点比为最小，说明其老化岩改性沥青作用不明显；方案 B 的 5% 岩改性沥青 10°C 延度比只有 16.0%，说明岩改性沥青的低温延展性较差，方案 D 的偶岩复合改性沥青的 10°C 延度比比方案 B 的 5% 岩改性沥青提高了 1.5 倍，硅烷偶联剂和岩沥青的叠加效果弥补了岩沥青低温性能的缺陷；偶岩复合改性沥青的老化后的针入度比最大，比岩改性沥青的残留针入度比提高了 14.4%，说明偶岩复合岩改沥青的老化性能比单一抗剥落剂的改性



Figure 4. Routine performance test of various asphalts after TFOT
图 4. TFOT 后各种沥青常规性能试验

Table 2. Routine performance test results of various asphalts after aging test
表 2. 老化试验后各种沥青常规性能试验结果

指标	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D
针入度比(%)	70.0	64.2	70.7	73.5
TFOT 前后 软化点比(%)	85.1	73.3	80.4	78.8
10℃延度比(%)	44.7	16.0	45.0	40.0
15℃延度比(%)	31.0	36.3	31.4	23.3

Table 3. Adhesion test results of various asphalts and aggregate after short-term aging
表 3. 短期老化后各种沥青与集料粘附性试验结果

水煮时间(min)	方案 A		方案 B		方案 C		方案 D	
	剥落面积/%	粘附等级	剥落面积/%	粘附等级	剥落面积/%	粘附等级	剥落面积/%	粘附等级
3	45	二	0	五	0	五	0	五
15	58	二	2	五	2	五	2	五
30	70	一	10	四	8	四	6	五

沥青的老化性能有所提高。

由表 3 短期老化沥青粘附性试验结果可以看出, 掺加抗剥落剂的各改性沥青经过短期老化后, 只有偶岩复合改性沥青的粘附性等级没有改变; 方案 A 的基质沥青 TFOT 后残留物与花岗岩集料的粘附性等级较原样沥青降低一个等级, 由二级降到了一级; 而方案 B 的 5% 岩改性沥青和方案 C 的 0.3% 硅烷偶联剂改性沥青的粘附等级同样降低了一个等级, 由五级降到了四级, 而方案 D 的偶岩复合改性沥青的粘附等级没有改变。说明抗剥落剂的加入明显地提高了沥青与花岗岩集料的粘附性, 且水稳定性有所改善; 而偶岩复合改性沥青还能达到五级, 说明偶岩复合改性沥青与花岗岩集料表现出优异的粘附性; 综合性分析, 偶岩复合改性沥青与花岗岩集料的粘附性和水稳定性均最佳。

5. 结论

通过分析不同改性沥青的性能发现以下结论:

- 1) 硅烷偶联剂和岩改沥青的掺加均对沥青的抗温度变形能力和高温性能有提升作用;
- 2) 岩沥青的掺加降低了沥青的低温抗裂性能, 但在双掺硅烷偶联剂和岩沥青时, 硅烷偶联剂可以弥补岩沥青低温差的缺点;
- 3) 抗剥落剂的加入明显地提高了沥青与花岗岩集料的粘附性, 且水稳定性有所改善, 偶岩复合岩改沥青的效果比单一抗剥落剂的改性沥青的效果更佳。

参考文献

- [1] 刘平, 等. 抗剥落剂对酸性矿石混合料性能影响的研究[J]. 公路工程, 2017, 42(4): 304-309.
- [2] 张苛, 张争奇. 抗剥落剂对沥青混合料水稳定性影响的试验方法与指标研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015, 38(7): 955-961.
- [3] 黄丽卿, 赖晓龙, 孙华. 抗剥落剂对花岗岩改性沥青混合料水稳定性的影响[J]. 山东交通学院学报, 2022, 30(2): 101-107.
- [4] 张建彪, 杨永富, 徐化宾, 等. 不同抗剥落措施的花岗岩沥青混合料路用性能研究[J]. 山东交通科技, 2021(5): 3-5+17.

- [5] 高畅, 冯德成. 花岗岩沥青混合料的路用性能研究[J]. 公路, 2008(10): 161-166.
- [6] 王月峰. 提高花岗岩沥青混合料水稳定性措施的研究[J]. 路基工程, 2012(4): 86-88.
- [7] 王富强, 阳利君, 莫品疆. 提高花岗岩沥青混合料水稳定性试验研究[J]. 公路, 2020, 65(11): 328-330.
- [8] Wang, Y.F. (2012) Study on Measures Improving Water Stability Performance of Granite Asphalt Mixture. *Subgrade Engineering*, 4, 86-88.
- [9] 段文正. 花岗岩矿料在沥青混凝土路面中的应用[J]. 公路, 2007(10): 203-204.
- [10] 谭忆秋, 李晓琳, 周兴业, 等. 花岗岩矿料与沥青交互作用能力的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(11): 95-98.
- [11] 刘阳, 钱振东. 环氧沥青与花岗岩集料黏附性研究[J]. 公路, 2014, 59(11): 165-170.
- [12] 彭余华, 刘惠兴. 花岗岩沥青混合料路用性能[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(2): 6-11.
- [13] 刘洪成, 唐小丹, 阚涛, 等. 不同抗剥落剂对花岗岩沥青混合料路用性能影响研究[J]. 中外公路, 2021, 41(4): 366-370.
- [14] 丁才. 抗剥落剂对沥青及花岗岩沥青混合料性能影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2017.
- [15] 许成虎, 李传海, 王鑫洋. 抗剥落剂对花岗岩沥青混合料水稳定性的影响[J]. 公路交通技术, 2020, 36(1): 45-50.
- [16] 陈垚宏. 抗剥落剂对酸性集料沥青混合料性能的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [17] 李经辉. 抗剥落剂对花岗岩沥青路用性能的影响研究[J]. 交通科技, 2016(3): 159-161.
- [18] 安平, 孙丙辉, 季正军, 等. 抗剥落剂对沥青胶结料及沥青混合料路用性能影响分析[J]. 材料科学, 2021, 11(5): 635-642.