

抗车辙剂对彩色沥青混合料路用性能的影响

李艳伟

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

摘要: 为评价掺加抗车辙剂的彩色沥青混合料在重载交通道路的适用性,对掺加抗车辙剂(掺量分别为 0%、0.3%、0.5%、0.7%)的彩色沥青混合料的路用性能进行检测。分析了抗车辙剂掺量对其路用性能的影响,并采用常用的重载交通专用沥青混合料进行对比。结果表明:掺加抗车辙剂后,彩色沥青混合料的高温稳定性显著提升,水稳定性也有一定程度提升,但低温抗裂性有一定程度降低;抗车辙剂在彩色沥青混合料中的最佳掺量为 0.5%;在抗车辙剂掺量最佳时,彩色沥青混合料路用性能达到重载交通专用沥青混合料水平,可尝试在重载交通道路进行应用。

关键词: 彩色沥青混合料;抗车辙剂;路用性能;重载交通道路

中图分类号: U414;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0292-05

Influence of Anti-rutting Agent on Pavement Performance of Colored Asphalt Mixture

LI Yanwei

[Shanghai Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: In order to evaluate the applicability of colored asphalt mixture with anti-rutting agent in heavy-duty traffic roads, the pavement performances of colored asphalt mixture with anti-rutting agent (the content 0%, 0.3%, 0.5% and 0.7%, respectively) are tested. The influence of anti-rutting agent content on its pavement performance is analyzed, and the commonly used asphalt mixtures specially for heavy-duty traffic are compared. The results show that the addition of anti-rutting agent can significantly improve the high-temperature stability of colored asphalt mixtures, and the water stability has also been improved to a certain extent, but the low-temperature crack resistance has been reduced to a certain extent. The optimum content of anti-rutting agent in colored asphalt mixture is 0.5%. When the content of anti-rutting agent is optimal, the pavement performance of colored asphalt mixture reaches the level of asphalt mixture specially for heavy-duty traffic, which can be attempted to apply in the heavy-duty traffic roads.

Keywords: colored asphalt mixture; anti-rutting agent; pavement performance; heavy-duty traffic road

0 引言

彩色沥青混合料由彩色沥青胶结料、集料、颜料及外加剂等材料拌和而成,具有美化城市环境、减缓驾驶疲劳、疏导交通和缓解城市“热岛效应”等优点^[1-6]。目前,彩色沥青路面已在北京、上海、厦门等多个城市广泛应用^[7-11]。按照材料种类和反应机理划分,彩色沥青胶结料可分为物理共混和化学反应两大类,其中物理共混类的浅色合成胶结料是彩色路面铺装应用最广泛的胶结料,其与传统的道路石油沥青性能相似,人们通常称其为彩色沥青^[6]。目前,关于彩色沥青混合料的研究很多,学者们分析了

彩色沥青的原材料种类及掺配比例、外加剂掺量、颜料种类等因素对其路用性能的影响^[2-5, 12-19]。通过大量研究,大多数彩色沥青混合料的路用性能已有较大提升,但仍不能达到重载交通专用沥青混合料技术要求^[20]。抗车辙剂是以高分子聚合物为主要成分的改性材料^[21-23]。众多研究表明,在沥青混合料中掺加抗车辙剂可显著提升其高温稳定性,同时也可改善其水稳定性和低温抗裂性^[21-32]。

综上所述,本文选取了一种高黏度改性彩色沥青,分析了抗车辙剂掺量对彩色沥青混合料路用性能的影响,并采用常用的重载交通专用沥青混合料进行对比,评价了掺加抗车辙剂彩色沥青混合料在高速公路、城市主干路等重载交通道路上的适用性,以此为彩色沥青混合料在高速公路隧道进出口及长大陡坡、城市主干路交叉口等交通事故频发路段或

收稿日期: 2025-03-10

作者简介: 李艳伟(1998—),男,硕士,助理工程师,从事道路材料研究工作。

危险路段上的应用提供一定参考,以期减少或避免交通事故的发生,保障行车安全。

1 试验原材料

1.1 沥青

本试验选用的彩色沥青为高黏度改性彩色沥青,其技术指标检测结果见表 1。同时,为评价掺加抗车辙剂彩色沥青混合料在重载交通道路的适用性,选用重载交通专用改性沥青作为对照,其技术指标检测结果见表 2。

表 1 高黏度改性彩色沥青技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 1 ^[33]
25℃针入度/0.1 mm	47	30~60
5℃延度/cm	31.1	≥30
软化点/℃	89	≥80
60℃动力黏度/(Pa·s)	100 500	≥30 000
黏韧性/(N·m)	23.2	≥20
韧性/(N·m)	16.9	≥15
TFOT(或 RTFOT)后残留物	质量变化/%	≤±0.6
	针入度比/%	≥65
	5℃延度/cm	≥15

表 2 重载交通专用改性沥青技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 2 ^[20]
25℃针入度/0.1 mm	52	30~60
5℃延度/cm	34	≥20
软化点/℃	90	≥85
闪点/℃	316	≥280
溶解度/%	99.97	≥99
25℃弹性恢复/%	87	≥80
贮存稳定性/℃	1.6	≤2
RTFOT 后残留物	质量变化/%	≤±0.6
	针入度比/%	≥65
	5℃延度/cm	≥15

1.2 集料

本试验选用的粗集料为玄武岩,集料规格分别为 3~5 mm、5~10 mm、10~15 mm,其技术指标检测结果见表 3。选用的细集料为石灰岩,集料规格为 0~3 mm,其技术指标检测结果见表 4。

1.3 填料

本试验选用的填料为矿粉和无机颜料氧化铁红。矿粉的技术指标检测结果见表 5。无机颜料氧化铁红的表观密度为 3.2 g/cm³。

1.4 抗车辙剂

本试验选用的抗车辙剂为 SCS-KCZ 型抗车辙剂,其技术指标检测结果见表 6。

表 3 粗集料技术指标

检测项目	集料规格/mm	检测结果	技术要求 3 ^[34]
表观相对密度/(g·cm ⁻³)	3~5	2.950	
	5~10	2.972	≥2.6
	10~15	2.956	
吸水率/%	3~5	1.55	
	5~10	1.30	≤2
	10~15	1.14	
针片状颗粒含量/%	5~10	5.3	≤18
	10~15	4.2	≤12
水洗法<0.075 mm 颗粒含量/%	3~5	0.4	
	5~10	0.1	≤1
	10~15	0.2	
压碎值/%	10~15	9	≤26
洛杉矶磨耗损失/%	10~15	10.2	≤28

表 4 细集料技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 3 ^[34]
表观相对密度/(g·cm ⁻³)	2.758	≥2.5
砂当量/%	63	≥60
坚固性/%	0.7	≤12
棱角性(流动时间)/s	39	≥30
亚甲蓝值/(g·kg ⁻¹)	1.2	≤25

表 5 矿粉技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 3 ^[34]
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.736	≥2.5
含水量/%	0.2	≤1
粒度范围/%	<0.6 mm	100
	<0.15 mm	99.4
	<0.075 mm	97.2
亲水系数	0.6	<1

表 6 抗车辙剂技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 4 ^[35]
单个颗粒质量/g	0.021	≤0.03
密度/(g·cm ⁻³)	0.93	≤1
熔融指数/(g·10 ⁻¹ ·min ⁻¹)	1.56	≥1
灰分含量/%	4.2	≤5

1.5 纤维

分别对掺加木质素纤维、聚酯纤维的彩色沥青混合料外观进行观察,发现聚酯纤维在混合料中的分散性更好。因此,本试验选用的纤维为聚酯纤维,其技术指标检测结果见表 7。

表 7 聚酯纤维技术指标

检测项目	检测结果	技术要求 2 ^[20]
纤维长度/mm	6.5	6±1.5
直径/mm	0.020	0.010~0.025
含水率/%	1.82	≤2
抗拉强度/MPa	856	≥500
断裂延伸率/%	23	≥15
250℃耐热性	体积无变化	体积无变化

2 配合比设计

本试验选用的彩色沥青混合料类型为 SMA-13,无机颜料掺量为 2.5 %(代替等质量矿粉),聚酯纤维掺量为 0.3%,抗车辙剂掺量分别为 0%、0.3%、0.5%、0.7%。根据相关规范^[20, 33-34]要求,确定的彩色沥青混合料(SMA-13 型)合成级配见表 8,级配曲线见图 1。重载交通专用沥青混合料(对照组)不参加无机颜料与抗车辙剂,合成级配、聚酯纤维掺量与彩色沥青混合料相同。

表 8 彩色沥青混合料合成级配(SMA-13 型)			
筛孔/mm	合成级配/%	级配下限/%	级配上限/%
16	100	100	100
13.2	90.7	90	100
9.5	58.9	50	75
4.75	25.1	20	34
2.36	21.0	15	26
1.18	17.2	14	24
0.6	12.9	12	20
0.3	10.3	10	16
0.15	9.6	9	15
0.075	9.1	8	12

相关规范^[20, 33-34]均要求采用马歇尔试验法进行配合比设计,但对马歇尔试件击实次数、空隙率、矿料间隙率等技术指标的要求略有不同。规范^[20]指出,在进行 SMA 沥青混合料配合比设计时,针对高温稳定性要求较高的特重、重交通路段,应采用双面 75 次击实次数。为评价掺加抗车辙剂彩色沥青混合料在重载交通道路的适用性,本文参照该规范^[20]按照 SMA 混合料马歇尔试验技术要求进行配合比设计,试验结果见表 9,稳定度检测结果见图 2。

检测项目	彩色沥青混合料				重载交通专用 沥青混合料	技术要求 2 ^[20]
	0%	0.3%	0.5%	0.7%		
最佳油石比/%	6	6	6	6	6	—
空隙率 VV/%	4.0	3.9	4.1	4.2	4.0	3.0~4.5
矿料间隙率 VMA/%	16.6	16.5	16.6	16.7	16.6	≥16.5
沥青饱和度 VFA/%	75.8	76.2	75.5	75.1	75.6	70~85
稳定度/kN	6.6	8.5	11.3	14.0	11.7	≥6
流值/mm	3.5	3.7	3.2	3.9	2.8	2~5

3 试验结果分析与讨论

3.1 高温稳定性试验

采用车辙试验对掺加抗车辙剂(掺量为 0%、0.3%、0.5%、0.7%)彩色沥青混合料的动稳定度进行检测,检测结果见表 10,变化趋势见图 3。

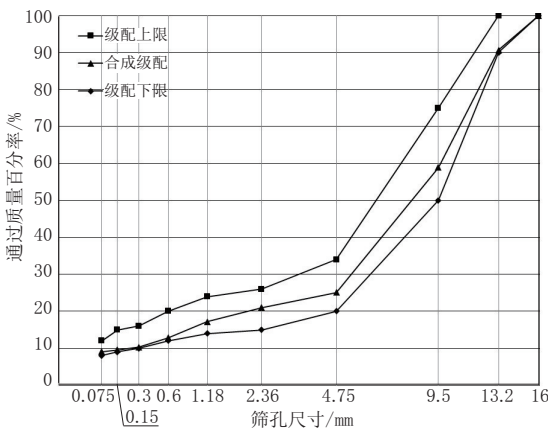


图 1 彩色沥青混合料合成级配曲线(SMA-13 型)

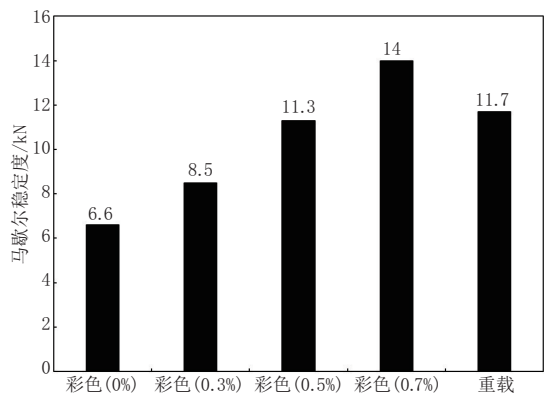


图 2 稳定度检测结果

由表 9 和图 2 可知,试验结果均满足规范^[20]相关技术要求。同时,随着抗车辙剂掺量的增加,彩色沥青混合料的稳定度显著增加。彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.3%、0.5%、0.7% 时,与未掺抗车辙剂时相比,稳定度分别提高 0.29 倍、0.71 倍、1.12 倍。而且,彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.5% 时,其稳定度达到重载交通专用沥青混合料水平,表明掺加抗车辙剂可显著提升彩色沥青混合料强度。

表 9 马歇尔试验结果

由表 10 和图 3 可知,对照技术要求 1^[33],在未掺加抗车辙剂时,彩色沥青混合料的动稳定度不能满足中、轻交通等级道路动稳定度≥3 000 次/mm 的要求。在抗车辙剂掺量为 0.3 % 时,彩色沥青混合料的动稳定度可满足重交通等级以上道路动稳定度≥4 500 次/mm 的要求。对照技术要求 2^[20],在抗车辙

表 10 高温稳定性检测结果

混合料类型	抗车辙剂掺量	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
彩色沥青混合料	0%	2 483
	0.3%	5 944
	0.5%	7 796
	0.7%	9 818
重载交通专用沥青混合料		7 684
技术要求 1 ^[33]		重交通等级以上道路≥4 500, 中、轻交通等级道路≥3 000
技术要求 2 ^[20]		≥7 000

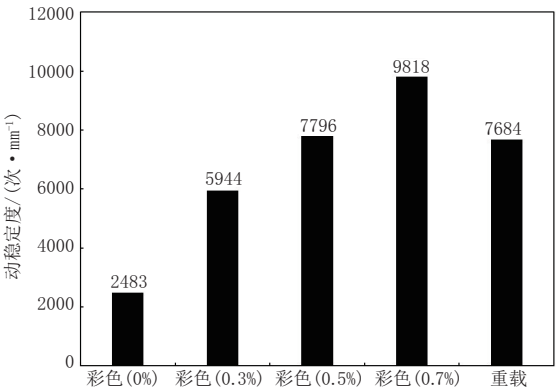


图 3 动稳定度变化趋势

剂掺量为 0.5%、0.7% 时,彩色沥青混合料的动稳定度均可满足动稳定度 $\geq 7\,000$ 次/mm 的要求。同时,随着抗车辙剂掺量的增加,彩色沥青混合料的动稳定度显著增加。彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.3%、0.5%、0.7% 时,与未掺加抗车辙剂时相比,动稳定度分别提高 1.39 倍、2.14 倍、2.95 倍。而且,彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.5% 时,其动稳定度达到重载交通专用沥青混合料水平,表明掺加抗车辙剂可显著提升彩色沥青混合料高温稳定性。

3.2 水稳定性试验

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对掺加抗车辙剂(掺量为 0%、0.3%、0.5%、0.7%)彩色沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比进行检测,检测结果见表 11,变化趋势见图 4。

表 11 水稳定性检测结果

混合料类型	抗车辙剂掺量	残留稳定度/%	冻融劈裂强度比/%
彩色沥青混合料	0%	85.8	83.5
	0.3%	89.9	87.8
	0.5%	92.6	90.0
	0.7%	88.1	87.5
重载交通专用沥青混合料		91.8	89.4
技术要求 1 ^[33]		≥85	≥80
技术要求 2 ^[20]		≥85	≥85

由表 11 和图 4 可知,除未掺加抗车辙剂的彩色沥青混合料冻融劈裂强度比略低于技术要求 2^[20]

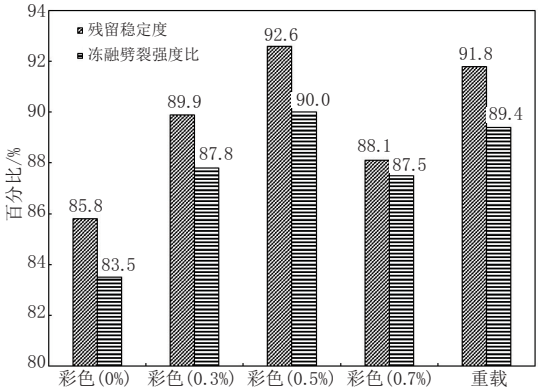


图 4 残留稳定度和冻融劈裂强度比变化趋势

外,其余检测结果均满足相关技术要求^[20,33]。同时,随着抗车辙剂掺量的增加,彩色沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比先增加后减小。彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.3%、0.5%、0.7% 时,与未掺加抗车辙剂时相比,残留稳定性分别提高 4.8%、7.9%、2.7%,冻融劈裂强度比分别提高 5.1%、7.8%、4.8%。而且,彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为 0.5% 时,其残留稳定性和冻融劈裂强度比达到重载交通专用沥青混合料水平,表明掺加抗车辙剂可在一定程度上提升彩色沥青混合料水稳定性。

3.3 低温抗裂性试验

采用弯曲试验对掺加抗车辙剂(掺量为 0%、0.3%、0.5%、0.7%)彩色沥青混合料的破坏应变进行检测,检测结果见表 12,变化趋势见图 5。

表 12 低温抗裂性检测结果

混合料类型	抗车辙剂掺量	破坏应变 $\mu\epsilon$
彩色沥青混合料	0 %	3 292
	0.3 %	3 184
	0.5 %	3 041
	0.7 %	2 857
重载交通专用沥青混合料		3 226
技术要求 1 ^[33]		≥2 500
技术要求 2 ^[20]		≥3 000

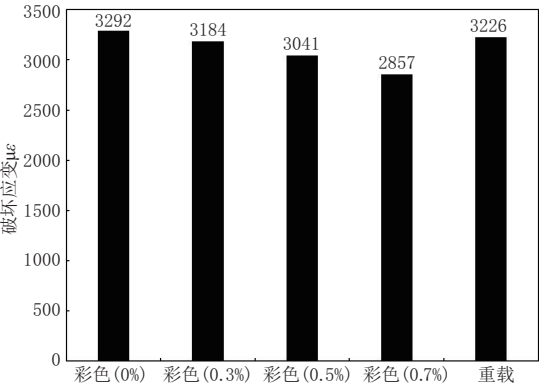


图 5 破坏应变变化趋势

由表 12 和图 5 可知,除抗车辙剂掺量为 0.7% 的彩色沥青混合料破坏应变略低于技术要求 2^[20]外,

其余检测结果均满足相关技术要求^[20,33]。同时,随着抗车辙剂掺量的增加,彩色沥青混合料的破坏应变逐渐减小。彩色沥青混合料中的抗车辙剂掺量为0.3%、0.5%、0.7%时,与未掺加抗车辙剂时相比,破坏应变分别降低3.3%、7.6%、13.2%,表明掺加抗车辙剂会在一定程度上降低彩色沥青混合料低温抗裂性。

3.4 路用性能对比

根据掺加抗车辙剂(掺量为0%、0.3%、0.5%、0.7%)彩色沥青混合料的路用性能试验结果,可知抗车辙剂在彩色沥青混合料中的最佳掺量为0.5%,其路用性能试验结果见表13。由表13可知,在抗车辙剂掺量为0.5%时,彩色沥青混合料路用性能均满足相关规范要求,且达到重载交通专用沥青混合料路用性能水平。

表 13 路用性能对比

混合料类型	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	残留稳 定度/%	冻融劈裂 强度比/%	破坏应 变 με
彩色沥青混合料(抗 车辙剂掺量 0.5%)	7 796	92.6	90.0	3 041
重载交通专用沥青混 合料	7 684	91.8	89.4	3 226
技术要求 1 ^[33]	重交通等级以 上道路≥4 500	≥85	≥80	≥2 500
技术要求 2 ^[20]	≥7 000	≥85	≥85	≥3 000

4 结 论

(1)随着抗车辙剂掺量的增加,彩色沥青混合料的动稳定度显著增加,残留稳定度、冻融劈裂试验强度比先增加后减小,破坏应变逐渐减小。这表明,掺加抗车辙剂后,彩色沥青混合料的高温稳定性显著提升,水稳定性也有一定程度提升,但低温抗裂性有一定程度降低。综合来看,抗车辙剂在彩色沥青混合料中的最佳掺量为0.5%。

(2)在抗车辙剂掺量为0.5%时,与未掺加抗车辙剂时相比,彩色沥青混合料动稳定度提高2.14倍、残留稳定度提高7.9%、冻融劈裂强度比提高7.8%、破坏应变降低7.6%。

(3)在抗车辙剂掺量为0.5%时,彩色沥青混合料路用性能均满足相关规范要求,且达到重载交通专用沥青混合料路用性能水平,可尝试在重载交通道路上进行应用。

参考文献:

[1] 王玉江,叶奋,蒋国杰,等.重交通条件下高性能彩色沥青混凝土

应用研究[J].上海公路,2011(2):46-48.

[2] 金年生.彩色改性沥青及其混合料的路用性能研究[J].石油沥青,2015,29(4):48-51.

[3] 唐新德,谭旭翔,胡秀颖.钛酸酯偶联剂改性彩色沥青路用性能研究[J].公路,2017,62(4):23-25.

[4] 杨月青,唐新德,谭旭翔,等.硅烷偶联剂改性彩色沥青混合料的路用性能[J].公路,2018,63(7):91-94.

[5] 崔秀峰,张健,李明,等.彩色沥青的制备及其路用性能研究[J].湖南交通科技,2018,44(1):50-53.

[6] 张若兰,赵容晨,邹远航,等.彩色沥青路面材料应用研究进展[J].热固性树脂,2024,39(1):50-56.

[7] 陈成芹.彩色沥青及其混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2012.

[8] 徐斌.重载改性彩色 SMA 沥青路面在 BRT 公交专用道上的应用[J].上海公路,2017(2):3-6.

[9] 奚鹤.经济型彩色沥青结合料及其混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2013.

[10] 闫国杰.彩色沥青混合料在高架匝道重载路面上的应用[J].上海建设科技,2018(1):63-64.

[11] 董煊.彩色沥青混合料路用性能分析与施工技术研究[J].铁道建筑技术,2023(11):197-200.

[12] 钱振东,曹海波,陈磊磊.透水性彩色沥青混合料设计及性能研究[J].公路,2010(3):146-150.

[13] 许宏.C-50彩铺胶结料的研制[J].石油沥青,2012,26(2):6-10.

[14] 陈松,杨国明,裴晓光,等.彩色沥青胶结料的性能研究[J].当代化工,2018,47(4):699-702.

[15] 赵小彦.SBS 改性彩色沥青及透水沥青混合料性能研究[J].公路,2019,64(3):251-255.

[16] 蒋定然,徐建晖,贾向波,等.高性能隧道明色化彩色沥青及其路用性能研究[J].新型建筑材料,2020,47(9):85-88.

[17] 雷孟坤.聚合物彩色胶结料及其混合料耐老化性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.

[18] 孔令云,李春萍,顾韬.彩色沥青混合料的设计及路用性能的影响因素[J].科学技术与工程,2021,21(4):1580-1586.

[19] 吴振刚.一种机动车道用彩色沥青结合料制备及其性能研究[J].市政技术,2021,39(9):174-179.

[20] DG/TJ 08-87—2016,道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程[S].

[21] 苗祺,刘德仁,杨成,等.抗车辙剂掺量对 AC-16 沥青混合料路用性能的影响[J].硅酸盐通报,2015,34(10):2839-2844.

[22] 马峰,张昭区,傅珍,等.湿拌条件下 PR PLAST.S 抗车辙剂对沥青及沥青混合料的影响[J].公路工程,2018,43(4):105-109.

[23] 张鹏,黄建平,尹乃玉.PCF 抗车辙剂改性沥青混合料性能评价与蠕变特性研究[J].公路,2020,65(1):184-190.

[24] 李萍,孙国伟,王伟,等.抗车辙剂和 SBS 对热拌沥青混合料高温与低温性能的影响[J].兰州理工大学学报,2014,40(6):131-135.

[25] 周义生,吴革森,司徒丽新,等.抗车辙剂改性沥青混合料路用性能研究[J].公路,2015,60(1):178-180.

[26] 陈兵,郭明君,李萍,等.抗车辙剂与 SBS 改性剂对 SMA-13 沥青混合料路用性能的影响[J].公路,2016,61(10):196-200.

[27] 程永春,杨金生,马健生.玄武岩纤维与抗车辙剂复合改性沥青混合料路用性能[J].科学技术与工程,2017,17(32):327-331.

[28] 方剑,何德伟,陈豫,等.不同抗车辙剂对 AC-13 沥青混合料高低