

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.05.054

水性环氧树脂对冷拌 SMA-5 沥青混合料 路用性能的影响

罗耀平

(中铁长江交通设计集团有限公司, 重庆市 401121)

摘要: 为了研究水性环氧树脂用量对冷拌 SMA-5 沥青混合料路用性能的影响,分别探讨了水性环氧树脂掺量对冷拌 SMA-5 沥青混合料的施工和易性、开放交通时间、混合料强度、高温稳定性和水稳定性的影响规律。研究表明,在固定用水量 6% 的情况下,当水性环氧树脂掺量为 15% 时,混合料在拌合过程中出现了稠度增大,建议其掺量不超过 15% 为宜。与未掺水性环氧树脂相比,水性环氧树脂掺量为 13% 时,30 min 和 60 min 的黏结力分别为 2.1 N·m 和 2.8 N·m,混合料的 1 d 无侧限抗压强度提高了 194%,3 d 无侧限抗压强度提高了 151%,冻融劈裂强度 97%,浸水马歇尔强度比为 99%,动稳定度超过 4 000 次/mm,均能满足规范要求。

关键词: 水性环氧树脂;冷拌 SMA-5 沥青混合料;施工和易性;强度;水稳定性;高温性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)05-0212-03

0 引言

当前,超薄罩面以摊铺厚度薄、行车舒适性好、耐久性好等优势被广泛应用于高速公路的预防养护工程,是近几年国内预防养护技术的热点^[1-4]。随着国家双碳战略的实施,高速公路预防养护技术也将向绿色低碳方向发展。

其一,冷拌冷铺技术如微表处、复合封层等,是主流的预防养护技术^[5]。笔者将冷拌冷铺技术与骨架密实型混合料相结合,提出了基于水性环氧树脂改性乳化沥青的 SMA-5。当前,SMA-5 作为热拌沥青混合料,国内对其开展了相关研究。例如,王强、朱振祥、任瑞波、程俊、邱怀中等^[6-10]研究了 SMA-5 沥青混合料路用性能,结果表明 SMA-5 具有优异的高低温和水稳定性能,可用于高速公路预防养护。薛国强、霍耀东及张震等^[11-13]研究成果表明 SMA-5 的关键筛孔 1.18 mm 通过率在 25%~34%,2.36 mm 通过率为 28%~40%,能形成稳定的骨架嵌挤结构,其构造深度在 0.4~0.6 mm。由此可见,SMA-5 具有良好的路用性能和工程价值。

其二,水性环氧树脂改性乳化沥青作为近年来冷拌冷铺胶结料的核心材料和研究热点,国内外对其开展了大量研究。其成果表明,水性环氧树脂能极

大改善冷拌冷铺混合料的路用性能。例如,周启伟、凌天清等^[14]研究得出,水性环氧树脂与乳化沥青的最佳比例为 3:5,水性环氧能有效提高乳化沥青的力学性能。陈森荣、崔通、刘亚洲、万晓敏等^[15-18]研究得出,水性环氧树脂能极大提高乳化沥青的拉拔强度和抗剪强度。拓守俭、陈谦、王佳炜等^[19-21]研究得出,在拌合型冷拌冷铺材料中,水性环氧树脂能有效提高混合料的路用性能。其原因是水性环氧树脂改善了乳化沥青的黏结力,进而提升混合料的性能。

综上所述,SMA-5 的沥青混合料的级配设计和路用性能评价体系相对成熟,同时水性环氧树脂乳化沥青能有效提升冷拌冷铺型混合料的路用性。因此,本文结合热拌混合料路用性能评价体系,提出采用水性环氧树脂乳化沥青和 SMA-5 作为研究对象,分析了不同水性环氧树脂掺量对 SMA-5 沥青混合料路用性能的影响,以期使试验数据为冷拌 SMA-5 超薄罩面的应用提供参考。

1 原材料

1.1 乳化沥青

本文拟采用重庆某科技公司生产的基质乳化沥青,其蒸发残留物含量为 62%,5 d 储存稳定性为 2.1%,软化点为 51℃,其他指标均满足规范要求。

1.2 集料

本文采用 0~5 mm 的玄武岩,矿粉选用石灰石矿粉,各项技术指标满足规范要求。

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 罗耀平(1986—),男,硕士,高级工程师,主要从事养护材料开发、技术咨询及设计工作。

1.3 水性环氧树脂及固化剂

本文采用的水性环氧树脂乳液为非离子型水性环氧树脂乳液,其固含量为55%;采用的固化剂为与之匹配的水溶性固化剂,活泼氢当量为340,固含量为52%,其配比为:水性环氧树脂 m :固化剂 $m=1:1$ 。

1.4 水性环氧树脂改性乳化沥青的制备

水性环氧树脂改性乳化沥青中,乳化沥青与水性环氧树脂的比例见表1。共混方式为:先将水性环氧树脂乳液与乳化沥青搅拌均匀,再加入固化剂进行二次搅拌,搅拌均匀后方可进行试验。

表1 水性环氧树脂与乳化沥青共混比例

组别	m (水性环氧树脂): m (乳化沥青)	
1#	0	100
2#	7	100
3#	9	100
4#	11	100
5#	13	100
6#	15	100

注:表中水性环氧树脂质量为水性环氧树脂+固化剂的总质量,与乳化沥青共混采用外掺方式。

1.5 级配

用上述集料掺配出SMA-5的级配,级配组成见表2(参考美国SMA-5级配范围)^[6]。

表2 SMA-5合成级配

粒径/mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100.00	93.50	30.20	26.00	21.80	17.30	14.50	12.50

2 水性环氧树脂掺量对SMA-5路用性能的影响

2.1 施工和易性影响分析

参照T 0757—2011的试验要求进行冷拌SMA-5乳化沥青混合料的施工和易性试验分析,试验结果见表3。

由表3分析得出,在固定用水量6%(外加水,占集料的质量比)的情况下,随着水性环氧树脂掺量的增加,混合料的可拌合时间从245 s下降到57 s。当水性环氧树脂掺量为15%时,混合料在拌合过程中出现了稠度增大、石料结团。分析其原因为随着水性环氧树脂掺量的提高,水性环氧树脂在乳化沥青中的浓度也在提高,在同等用水量的情况下,水性环氧树脂提前发生了固化反应,进而导致混合料的拌合时间缩短。因此,建议其掺量不超过15%为宜。表3中的共混物按照表1的质量比制备。

表3 水性环氧树脂用量对SMA-5混合料可拌合时间的影响

共混物比例	石料/g	水泥/1%	油石比/1%	水量/g	可拌合时间/s	拌合状态
1#	400	1	7.0	24	245	正常,未见破乳
2#	400	1	7.0	24	201	正常,未见破乳
3#	400	1	7.0	24	178	正常,未见破乳
4#	400	1	7.0	24	154	正常,未见破乳
5#	400	1	7.0	24	130	正常,未见破乳
6#	400	1	7.0	24	57	稠度增大、石料结团

2.2 开放时间影响分析

参照T 0754—2011进行不同水性环氧树脂用量下的冷拌SMA-5沥青混合料30 min和60 min的黏结力试验,结果见表4。

表4 水性环氧树脂掺量对SMA-5混合料黏聚力的影响

养生时间/min	不同水性环氧树脂掺量下的黏聚力/(N·m)				
	1#	2#	3#	4#	5#
30	0.85	1.2	1.5	2.1	2.1
60	1.3	2.1	2.4	2.6	2.8

由表4可知,冷拌SMA-5沥青混合料30 min和60 min的黏结力随着水性环氧树脂掺量的增加而增大,且混合料成型良好。当掺量为13%时,30 min和60 min的黏结力分别为2.1 N·m和2.8 N·m,满足快速开放交通的要求。

2.3 混合料强度影响分析

本文拟采用马歇尔稳定度和无侧限抗压强度评价不同水性环氧树脂掺量对冷拌SMA-5沥青混合料的早期强度的影响评价。

2.3.1 马歇尔稳定度

经常温25℃养生1 d和3 d后,测试件马歇尔稳定度,平行试件为6个,取平均值,试验结果见表5。

表5 SMA-5混合料3 d马歇尔稳定度 单位:kN

组别	稳定度	
	1 d	3 d
1#	4.74	5.03
2#	6.21	7.92
3#	8.54	9.02
4#	9.13	11.32
5#	10.29	13.57

由表5可知,随着水性环氧树脂掺量的提高,冷拌SMA-5混合料马歇尔稳定度增大,且当水性环氧树脂掺量为13%时,与未添加环氧树脂相比,混合料1 d稳定度增加了117%,3 d稳定度增加了169%。由此得出水性环氧树脂能有效提高冷拌SMA-5的早期强度。

2.3.2 无侧限抗压强度

制作 $\phi 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的试件,试件放在室温条件下($20\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$)分别养生 1 d 和 3 d 后进行无侧限抗压强度试验,试验结果见表 6。

表 6 SMA-5 混合料无侧限抗压强度 单位:MPa

组别	1 d 无侧限抗压强度	3 d 无侧限抗压强度
1#	1.21	3.12
2#	1.89	3.97
3#	2.13	4.35
4#	2.98	5.67
5#	3.56	7.84

由表 6 可知,当水性环氧树脂掺量为 13% 时,混合料的 1 d 强度提高了 194%,3 d 强度提高了 151%,可采用初始无侧限抗压强度评价冷拌 SMA-5 沥青混合料的早期强度。

2.4 水稳定性影响分析

采用冻融劈裂和浸水马歇尔试验分析水性环氧树脂掺量对冷拌 SMA-5 沥青混合料水稳定性的影响,养生时间为 1 d 和 3 d,具体试验结果见表 7。

表 7 混合料水稳定性试验结果

养护时间	组别	冻融劈裂强度比 1%	浸水马歇尔强度比 1%
1 d	1#	58	54
	2#	65	67
	3#	73	72
	4#	75	80
	5#	78	83
3 d	1#	73	78
	2#	82	85
	3#	87	90
	4#	92	95
	5#	97	99

由表 7 可知,当水性环氧树脂掺量为 13% 时,冻融劈裂强度为 97%,浸水马歇尔强度比为 99%。其原因为水性环氧树脂的固化进一步提升了沥青与石料的黏附性,进而提高了混合料的抗水损性能。

2.5 高温性能影响分析

依照规范要求对冷拌 SMA-5 沥青混合料车辙试验。车辙成型分为两种,其一为单层试件,即 5 cm 冷拌 SMA-5 沥青混合料;其二为复合试件,即复合上层加铺 1.5 cm 冷拌 SMA-5 沥青混合料,下层为 3.5 cm 的 AC-13 混合料。试件成型后均在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 环境下养生 3 d 后进行测试,试验结果见表 8。

由表 8 可知,当水性环氧树脂掺量为 13% 时,动稳定度超过 4 000 次 /mm,能够满足路面使用需求。

表 8 SMA-5 混合料车辙试验结果 单位:次 /mm

组别	动稳定度	
	单层	双层
1#	2 420	2 827
2#	2 732	3 140
3#	3 020	3 260
4#	3 546	3 860
5#	4 280	5 020

3 结 论

(1)在固定用水量 6% 的情况下,当水性环氧树脂掺量为 15% 时,混合料施工和易性不满足要求,建议其掺量不超过 15% 为宜。

(2)与未掺水性环氧树脂相比,水性环氧树脂掺量为 13% 时,30 min 和 60 min 的黏结力分别为 $2.1\text{ N}\cdot\text{m}$ 和 $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$;混合料的 1 d 无侧限抗压强度提高了 194%,3 d 无侧限抗压强度提高了 151%;冻融劈裂强度 97%,浸水马歇尔强度比为 99%,动稳定度超过 4 000 次 /mm,均能满足规范要求。

参考文献:

[1] 施向东,陈先华,高见,等.薄层罩面级配特征与适用性分析[J].中外公路,2021(2):61-66.
 [2] 徐鸥明,曹志飞,李明月,等.超薄罩面沥青混凝土应用与发展综述[J].中国科技论文,2022(4):425-431.
 [3] 虞将苗,杨倪坤,于华洋.道路高性能沥青超薄磨耗层技术研究与应用现状[J].中南大学学报(自然科学版),2021(7):2287-2298.
 [4] 于华洋,马涛,王大为,等.中国路面工程学术研究综述·2020[J].中国公路学报,2020,33(10):1-66.
 [5] 罗运辉,安昶.沥青路面预防性养护应用效果对比研究[J].公路,2022(6):352-358.
 [6] 王强,姚鸿儒,李健,等.胶结料类型对小粒径 SMA-5 沥青混合料性能的影响[J].中外公路,2121(6):227-231.
 [7] 任瑞波,耿立涛,王立志,等.一种 SMA-5 型高黏沥青混合料的设计与性能评价[J].建筑材料学报,2016(4):762-766.
 [8] 程俊.SMA-5 混合料在高速公路养护中的应用[J].工程技术与应用,2020(20):63-64.
 [9] 朱振祥,田隽,王冻,等.高粘弹改性沥青 SMA-5 超薄磨耗层路用性能研究[J].山东交通科技,2019(5):71-73.
 [10] 邱怀中,杨超,吴少鹏,等.超薄磨耗层 SMA-5 钢渣沥青混合料性能研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2021(1):28-32.
 [11] 霍晓东.细粒式超薄 SMA-5 级配组成和路用性能研究[D].西安:长安大学,2005.
 [12] 张震.小粒径 SMA-5 组成设计及性能研究[D].济南:山东大学,2015.
 [13] 薛国强.超薄磨耗层 SMA-5 沥青混合料的设计及性能研究[J].公路交通科技,2009(26):19-21.

- 1229.
- [14] Rimal S, Poudel R, Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust [J]. *Case Studies in Construction Materials*, 2019, 10: e00223.
- [15] Ghavami S, Naseri H, Jahanbakhsh H, et al. The impacts of nano-SiO₂ and silica fume on cement kiln dust treated soil as a sustainable cement-free stabilizer[J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 285: 122918.
- [16] Mukiza E, Zhang L, Liu X, et al. Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 141: 187-199.
- [17] 陈立东,宋志. CaO 改性赤泥固化剂固化黄土的力学性能研究[J]. *硅酸盐通报*, 2020, 39(1): 213-218.
- [18] Xu G, Ding X, Kuruppu M, et al. Research and application of non-traditional chemical stabilizers on bauxite residue (red sand) dust control, a review [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616-617: 1552-1565.
- [19] Pu S Y, Zhu Z D, Wang H R, et al. Mechanical characteristics and water stability of silt solidified by incorporating lime, lime and cement mixture, and SEU-2 binder [J]. *Construction and Building Materials*, 2019, 214: 111-120.
- [20] Saleh S, Yunus N, Ahmad K, et al. Improving the strength of weak soil using polyurethane grouts: A review[J]. *Construction and Building Materials*, 2019, 202: 738-752.
- [21] Al-Atroush M E, Sebaey TA. Stabilization of expansive soil using hydrophobic polyurethane foam: A review [J]. *Transportation Geotechnics*, 2021, 27: 100494.
- [22] Liu J, Chen Z, Kanungo D, et al. Topsoil reinforcement of sandy slope for preventing erosion using water-based polyurethane soil stabilizer[J]. *Engineering Geology*, 2019, 252: 125-135.
- [23] Tao G, Yuan J, Chen Q, et al. Chemical stabilization of calcareous sand by polyurethane foam Adhesive [J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 295: 123609.
- [24] 陈志昊,刘瑾,钱卫,等. 高分子固化剂 / 纤维改良砂土的抗拉强度试验研究[J]. *工程地质学报*, 2019, 27(2): 350-359.
- [25] Mirzababaei M, Arulrajah A, Ouston M. Polymers for stabilization of soft clay soils[J]. *Procedia Engineering*, 2017, 189: 25-32.
- [26] Ghazemzadeh H, Modiri F. Application of novel Persian gum hydrocolloid in soil stabilization [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 246: 116639.
- [27] Almajed A, Abbas H, Almusallam T, et al. Stabilization of sand using energy efficient materials under normal and extreme hot weathers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 285: 124914.
- [28] 吴雪婷,程明峰,唐杉,等. ISS- 水泥联合固化淤泥的微观机理研究[J]. *工程勘察*, 2020, 48(1): 14-19.
- [29] 吴雪婷,项伟,王臻华,等. 离子土固化剂固化淤泥的微观机理研究[J]. *工程地质学报*, 2018, 26(5): 1285-1291.
- [30] 李建东,王旭,张延杰,等. F1 离子固化剂加固黄土强度及微观结构试验研究[J]. *东南大学学报*, 2021, 51(4): 618-624.
- [31] 游庆龙,邱欣,杨青,等. 离子土壤固化剂固化红黏土强度特性[J]. *中国公路学报*, 2019, 32(5): 64-71.
- [32] Yang L, Jiang G, Shi Y, et al. Application of ionic liquid and polymeric ionic liquid as shale hydration inhibitors[J]. *Energy Fuels* 2017, 31: 4308-4317.
- [33] Kushwaha S S, Kishan D, Chauhan M S, et al. Stabilization of Red mud using eko soil enzyme for highway embankment [J]. *Materials Today: Proceedings*. 2018, 5: 20500-20512.
- [34] Rajoria I V, Kaur S. A review on stabilization of soil using bio-enzyme [J]. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2014, 3(1): 75-78.
- [35] 周海龙,申向东,薛慧君. 派酶土壤固化剂在我国的应用与研究现状[J]. *硅酸盐通报*, 2013, 32(9): 1780-1784.
- [36] Saini V, Vaishnav P. Soil stabilization by using terrazyme [J]. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2015, 8(4): 566-573.
- [37] 吴冠雄. 生物酶土壤固化剂加固土现场试验研究[J]. *公路工程*, 2013, 38(1): 70-74, 81.
- [38] Kushwaha S S, Kishan D, Dindorkar N. Stabilization of expansive soil using eko soil enzyme for highway embankment [J]. *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5: 19667-19679.
- [39] 李昊,程冬兵,孙宝洋,等. 海藻多糖抗蚀剂对土壤抗剪与入渗特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(22): 144-150.

(上接第 214 页)

- [14] 周启伟,凌天清,郝增恒,等. 水性环氧树脂-乳化沥青共混物特性分析[J]. *建筑材料学报*, 2018(3): 414-419.
- [15] 万晓敏. 环氧树脂乳化沥青粘层油性室内试验研究[J]. *公路交通技术*, 2022(1): 50-53.
- [16] 刘亚洲,王银燕. 制备方法与水性环氧树脂掺量对乳化沥青性能影响研究[J]. *公路交通技术*, 2021(6): 54-59.
- [17] 崔通,任海生,黄维蓉,等. 高性能水性环氧乳化沥青的制备及性能研究[J]. *公路交通技术*, 2020(3): 20-25.
- [18] 陈森荣. 水性环氧树脂改性乳化沥青胶结料界面粘结性能研究[J]. *公路交通技术*, 2019(5): 36-41.
- [19] 拓守俊,尚飞,吴文军. 高性能封层预防性养护技术研究[J]. *公路交通技术*, 2021(2): 34-39.
- [20] 王佳炜,李力,赵可,等. 稀浆封层用水性环氧-乳化沥青的制备及配合比设计[J]. *公路工程*, 2014(6): 66-68.
- [21] 陈谦,王朝辉,傅豪,等. 基于性能演变的水性环氧沥青开普封层施工方法优化[J]. *中国公路学报*, 2021(7): 237-245.