

小粒径排水型超薄罩面路用性能研究<sup>\*</sup>梅晨悦<sup>1</sup>, 刘子铭<sup>2</sup>, 祁静<sup>1</sup>, 罗桑<sup>2</sup>

(1.江苏省苏州市公路管理处, 江苏 苏州 215007; 2.东南大学 智能运输系统研究中心, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 通过车辙试验、小梁低温弯曲试验、冻融劈裂试验和渗水试验分别评价小粒径排水型超薄罩面的高温稳定性、低温抗裂性能、水稳定性和排水性能。结果表明, 级配类型对小粒径排水型超薄罩面高温稳定性的影响显著, 粗型级配 PAC-1 的动稳定度远大于细型级配 PAC-2, 同时其车辙深度小于 PAC-2 型细级配; 4 种沥青混合料的极限弯拉应变相差较小, 且均符合规范要求; 高粘沥青结合料出色的粘附能力有效增强了沥青与排水集料之间的抗剥落能力, 水稳定性能表现优异; 粗型级配 PAC-1 沥青混合料内部的连通空隙率大于细型级配 PAC-2, 排水性能更好。

**关键词:** 公路; 小粒径排水型超薄罩面; 高粘沥青结合料; 路用性能

**中图分类号:** U418.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)02-0084-04

目前国内外道路预防性养护措施主要包括雾封层、稀浆封层、微表处、同步碎石封层及薄层罩面技术。其中:雾封层适用于平均日交通量小于 4 000 辆/车道的中、小交通道路, 主要用于封住路面的纵横向裂缝、部分松散及泛油病害, 具有防治沥青路面老化和水损坏的特点, 但其在一定程度上会降低路面的抗滑性能; 稀浆封层和同步碎石封层均适用于平均日交通量小于 5 000 辆/车道的中、小交通道路, 稀浆封层主要用于处治路面轻微纵横向裂缝、大面积龟裂、抗滑能力严重降低、渗水、磨耗及松散、老化等病害, 提高路面抗滑、抗渗、抗裂和抗老化能力, 但乳化沥青的破乳时间较长, 会延长修复区域的开放交通时间; 同步碎石封层主要用于与荷载无关的细小裂缝、轻微龟裂、轻度车辙、不平整、抗滑能力下降及轻微渗水路面的养护, 减缓老化和松散速度, 但其施工工艺较复杂、控制难度大, 仅靠自然行车碾压, 存在一定的安全风险; 微表处主要用于中、高交通量道路, 具有延缓路面老化和硬化速度、密封细小裂缝、减少水分渗入的作用, 但微表处在车辆磨耗下易剥离、寿命周期短, 且会产生较大的胎/路噪声, 降低行车安全性与舒适性; 薄层沥青罩面技术能解决路面平整度差、表面抗滑安全不足的缺陷, 同时提升路面行车安全性与舒适性, 延缓沥青面层开裂、局部坑洞病害的发展, 延长路面整体使用寿命, 故得到广泛应用。该文开展小粒径排水抗滑型超薄沥青罩面技术研究, 探寻小粒径、大孔隙沥青混合料的排水—

抗滑机理。

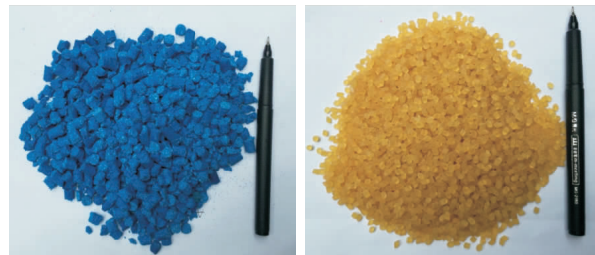
## 1 原材料

### 1.1 沥青

采用高粘改性沥青, 其中:基质沥青为 AS70<sup>#</sup>, 其主要技术指标见表 1; 采用常用的 2 种高粘改性剂, 分别记为 I、II 型高粘改性剂(见图 1), 其基本性能指标见表 2, 掺量为 12%。

表 1 AS70<sup>#</sup> 基质沥青的基本技术指标

项目	检测结果	技术标准
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	62.8	60~80
软化点/℃	51.0	≥46
延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm	>100	>100
闪点/℃	289	≥260
质量变化/%	0.21	±0.8
TFOT 后 残留针入度比/%	86.5	≥60
残留延度(5 ℃)/cm	35.2	≥20



(a) I 型高粘改性剂

(b) II 型高粘改性剂

图 1 高粘改性剂

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家自然科学基金项目(51408125)

表 2 高粘改性剂的技术指标

项目	检测结果		技术要求
	I 型高粘改性剂	II 型高粘改性剂	
外观	蓝色颗粒,均匀	黄色颗粒,均匀	颗粒状,均匀
单个颗粒质量/g	0.14	0.05	≤0.5
灰分/%	0.35	0.40	≤1.0
干拌分散性	略有颗粒残留	无颗粒残留	无颗粒残留

1.2 集料

小粒径超薄沥青罩面作为干线公路的表面层,除应满足抗滑与排水功能外,因其与车轮荷载直接接触,还需具有承受一定荷载的能力。同时由于其具有大孔隙的结构特点,粗集料占比大于细集料,在粗集料选择上应严格控制,要求其质地坚硬、无风化、无杂质、耐磨性能优异,同时具有足够的抗压强度。在参照 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的基础上,对粗集料的软石含量、压碎值、坚固性、洛杉矶磨耗损失等指标提出更高要求,其技术指标检测结果见表 3。

表 3 粗集料的技术指标

项目	检测结果	技术要求
软石含量	0.6	≤1
压碎值/%	10.5	≤18
视密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.991	≥2.6
吸水率/%	0.8	≤1
洛杉矶磨耗损失/%	15	≤20
坚固性/%	3.5	≤8
针片状含量/%	2.8	≤12

细集料在矿料组成中起到稳定和填充粗集料骨架的作用,洁净、坚硬、表面粗糙的细集料对于增强沥青混合料的骨架和提高其路用性能具有十分重要的影响。因此,在参照 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的基础上,对细集料的坚固性和亚甲基蓝值提出更严格的要求,其技术指标检测结果见表 4。

矿粉的作用是吸附沥青形成沥青胶浆,对其他粗细集料产生粘附作用。大孔隙沥青混合料由于孔隙较大,在提高其排水、抗滑性能的同时降低了耐久

表 4 细集料的技术指标

项目	检测结果	技术要求
坚固性/%	2.1	≤3
表观相对密度	2.940	≥2.5
砂当量/%	71.3	≥60
亚甲基蓝值/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.8	≤1.5
棱角性/%	33	≥30
含泥量/%	1.8	≤3

性,要提高其耐久性,胶结料的作用非常重要。大孔隙沥青混合料所用填料为石灰岩矿粉,其技术指标检测结果见表 5。

表 5 矿粉的技术指标

项目	检测结果	技术要求
含水量/%	0.15	≤1
表观相对密度	2.670	≥2.5
亲水系数	0.63	<1
塑性指数/%	3.2	<4
外观	无结块	无团粒结块
加热安定性	颜色无明显变化	不变色

1.3 配合比

沥青胶结料为 SBS 改性沥青+I 型高粘改性剂(质量比例为 86:14)和 SBS 改性沥青+II 型高粘改性剂(质量比例为 86:14),级配类型为粗型级配 PAC-1 和细型级配 PAC-2(见表 6)。将 2 种结合料和 3 种矿料级配组合,得到 4 种沥青混合料,记为 PAC-1-I 型、PAC-1-II 型、PAC-2-I 型和 PAC-2-II 型。以 PAC-1-I 型为例,其由粗型级配 PAC-1 和 I 型高粘改性剂掺配的高粘度改性沥青组合而成,其他 3 种组合与之类似。

表 6 小粒径排水沥青混合料级配组成

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
PAC-I 型	100.0	17.7	11.0	7.0	6.8	6.1	5.1	4.0
PAC-II 型	100.0	91.3	13.9	11.7	8.6	6.6	5.3	3.9

## 2 试验结果及分析

### 2.1 高温稳定性

对4种沥青混合料进行车辙试验,评价小粒径排水型超薄罩面的高温稳定性,试验结果见图2。由图2可知:4种沥青混合料的动稳定度大小顺序为PAC-1-I型>PAC-1-II型>PAC-2-I型>PAC-2-II型,车辙深度大小顺序为PAC-2-I型>PAC-2-II型>PAC-1-I型>PAC-1-II型。对于PAC-1型级配,2种沥青结合料的动稳定度分别达到8210和8400次/mm,满足JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》中动稳定度大于3000次/mm的要求,说明粗型级配能有效提升小粒径排水沥青混合料的高温稳定性。而对于PAC-2型级配,2种沥青结合料的动稳定度分别为856和1438次/mm,比粗型级配小很多,也低于规范要求。

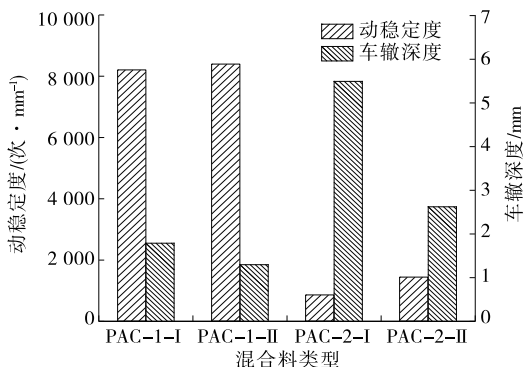


图2 4种沥青混合料车辙试验结果

### 2.2 低温抗裂性能

抗弯拉强度是评价沥青混合料在低温条件下抗开裂能力的强度指标。对4种沥青混合料进行小梁低温弯曲试验,获得其抗弯拉强度,评价其低温抗裂性能,试验结果见图3。由图3可知:4种沥青混合料的抗弯拉强度相差不大,最大的是PAC-1-I型,为6.55 MPa,最小的是PAC-1-II型,为5.2 MPa。4种沥青混合料在冬季寒冷地带均具有一定的抵抗温度收缩应力的能力。劲度模量试验结果(见图4)也验证了这一点。

根据JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》,在年极端最低气温为 $-9.0\sim-21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冬冷区,改性沥青混合料的极限弯曲应变应不小于 $2500\text{ }\mu\epsilon$ 。如图5所示,4种沥青混合料的弯拉应变均满足规范要求,而且不同类型沥青混合料之间相

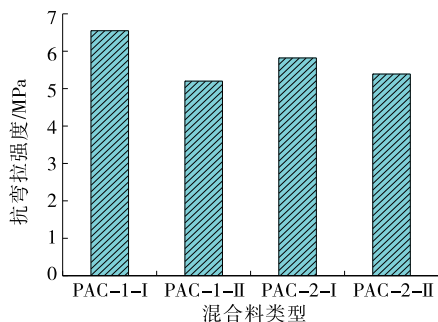


图3 4种沥青混合料抗弯拉强度试验结果

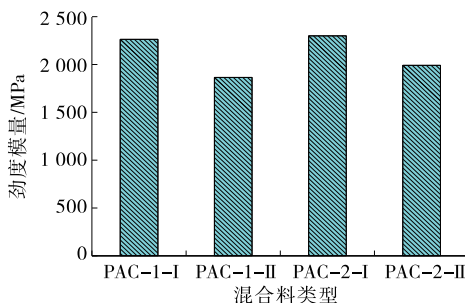


图4 4种沥青混合料弯曲劲度模量试验结果

差较小,最大值比最小值大 $364\text{ }\mu\epsilon$ 。说明4种沥青混合料在低温条件下的变形能力相差不大,低温性能不是决定其是否适合作为小粒径超薄沥青罩面的关键因素。

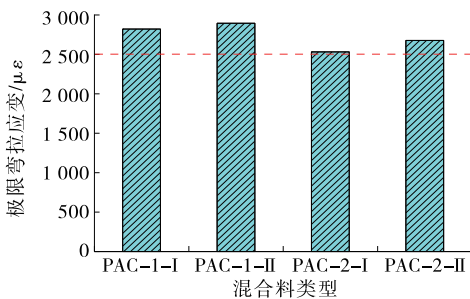


图5 4种沥青混合料极限弯拉强度试验结果

### 2.3 水稳定性

对4种沥青混合料进行冻融劈裂试验,评价小粒径排水型超薄罩面的水稳定性。根据JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》,年降雨量超过500 mm时,改性沥青混合料的劈裂抗拉强度比应不小于80%。如图6所示,4种沥青混合料的劈裂抗拉强度比均符合规范要求。尽管混合料的空隙率高达20%左右,但高粘沥青结合料出色的粘附能力使沥青混合料在动水压力作用下依旧能保持十分优异的抗水损害性能,有效避免沥青与集料剥落现象的发生。另一方面,采用细型级配PAC-2的沥青

混合料,其劈裂抗拉强度比高于粗型级配 PAC-1,主要是由于 PAC-2 型级配的粒径更小,更易被沥青结合料包裹而形成一个整体,增强其抗水剥离能力。对于相同级配,采用 II 型高粘改性剂的混合料的劈裂抗拉强度比略大于采用 I 型高粘改性剂的混合料,说明提升沥青结合料的粘度对混合料的水稳定性起到一定改善作用。

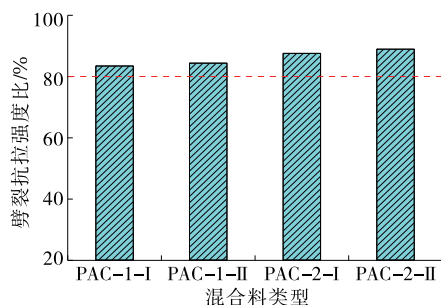


图6 4种沥青混合料冻融劈裂试验结果

## 2.4 排水性能

对4种沥青混合料进行渗水试验,评价小粒径排水型超薄罩面的排水性能,试验结果见图7。由图7可知:1) 4种沥青混合料的渗水系数均超过规范要求的5000 mL/min,具有优异的排水性能。而且当级配类型一致时,车辙板试件的渗水系数相差很小,说明高粘改性剂类型对沥青混合料排水性能的影响较小。2) 粗型级配 PAC-1 的渗水系数大于细型级配 PAC-2,这是由于粗型级配的粗集料含量大,在形成骨架-空隙结构时得到的连通空隙率更大,降水时能快速将路表水通过面层转移至路面范围以外,从而避免路表面形成水膜,减少水漂、水雾现象,降低雨天行车事故发生率。

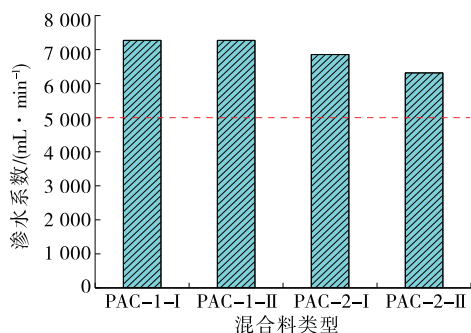


图7 4种沥青混合料渗水系数测试结果

## 3 结论

(1) 级配类型对小粒径排水型超薄罩面高温稳定性的影响显著,采用 PAC-1 型粗级配的动稳定

度(分别为8210和8400次/mm)远大于 PAC-2 型细级配(分别为856和1438次/mm),其车辙深度也小于 PAC-2 型细级配。

(2) 4种沥青混合料的极限弯拉应变相差较小,最大值比最小值大364  $\mu\epsilon$ ,且均满足规范要求,低温性能不是决定其是否适合作为小粒径超薄沥青罩面的关键因素。

(3) 高粘沥青结合料出色的粘附能力有效增强了沥青与集料之间的抗剥落能力,使其在动水压力作用下能很好地抵抗水损害,而且沥青结合料的粘度越大,对混合料水稳定性的改善作用越明显。

(4) 4种沥青混合料均具有优异的排水性能,而且粗型级配 PAC-1 沥青混合料内部的连通空隙率大于细型级配 PAC-2,相同降雨量条件下能更快速地将路表水转移至路面范围以外。

## 参考文献:

- [1] 董元帅,侯芸,李军,等.同步纤维磨耗层路用性能研究[J].公路交通科技:应用技术版,2016(3).
- [2] 陈筑苏.微表处技术和预防性养护在公路养护工程中的应用[J].公路,2012(6).
- [3] 李炜光,何璐,冀鹏,等.预防性养护雾封层技术耐久性评价研究[J].公路,2017(11).
- [4] Zheng Dong, Qian Zhendong, Wang Rui, et al. Design and laboratory evaluation of fog-sealed chip seal on epoxy asphalt pavement for steel bridge deck[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2017, 33(1).
- [5] 闫忠良.快凝抗滑型雾封层在城市道路中的应用研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [6] 覃潇,申爱琴,郭寅川,等.动水压力作用下纤维沥青碎石封层的抗渗性能[J].江苏大学学报:自然科学版,2018,39(2).
- [7] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [9] 李红平,吴德军,杨晨光.不同改性沥青排水路面(OG-FC-13)路用性能的研究[J].公路,2009(6).
- [10] 蒋玮,沙爱民,肖晶晶,等.透水沥青路面对洁净水体和地表径流水质的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2017,37(1).
- [11] 张彬鸿,李家科,李亚娇.低影响开发(LID)透水铺装技术研究进展[J].水资源与水工程学报,2017,28(4).
- [12] 蒋玮,袁东东,肖晶晶,等.多孔路面材料与厚度对地表径流的净化效能[J].江苏大学学报:自然科学版,2017,38(2).

(下转第92页)

- [13] Santos V C G D, Grassi M T, Abate G. Sorption of Hg (II) by modified K10 montmorillonite; influence of pH, ionic strength and the treatment with different cations[J]. *Geoderma*, 2015, 237~238.
- [14] 王晓磊, 张久鹏, 肖维. 钠基蒙脱土改性沥青的制备及性能研究[J]. *公路*, 2012(10).
- [15] Hogsaa B, Fini E H, Christiansen J d C, et al. A novel bioresidue to compatibilize sodium montmorillonite and linear low density polyethylene[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2018, 57(4).
- [16] 季桂娟, 张培萍, 姜桂兰. 膨润土加工与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [17] Huang J C, Zhu Z K, Ma X D, et al. Preparation and properties of montmorillonite/organo-soluble polyimide hybrid materials prepared by a one-step approach[J]. *Journal of Materials Science*, 2001, 36(4).
- [18] 赵彦钊, 张亚莉, 王兰. 不同有机离子表面活性剂改性蒙脱土结构与性能比较[J]. *应用化学*, 2013, 30(12).
- [19] Liu C M, Liu S, Wu P X, et al. Enhancing the adsorption behavior and mechanism of Sr(II) by functionalized montmorillonite with different 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) ratios[J]. *RSC Advances*, 2016, 6(86).
- [20] Masui Y, Wang J C, Teramura K, et al. Unique structural characteristics of tin hydroxide nanoparticles-embedded montmorillonite (Sn-Mont) demonstrating efficient acid catalysis for various organic reactions[J]. *Microporous & Mesoporous Materials*, 2014, 198.
- [21] Chen D C, Huang M, He S, et al. Ru-MOF enwrapped by montmorillonite for catalyzing benzene hydrogenation[J]. *Applied Clay Science*, 2016, 119.
- [22] 谢友利, 张猛, 周永红. 蒙脱土的有机改性研究进展[J]. *化工进展*, 2012, 31(4).
- [23] Zhou L M, Hua C, Jiang X H, et al. Modification of montmorillonite surfaces using a novel class of cationic gemini surfactants[J]. *Journal of Colloid & Interface Science*, 2009, 332(1).
- [24] Sarier N, Onder E. Organic modification of montmorillonite with low molecular weight polyethylene glycols and its use in polyurethane nanocomposite foams[J]. *Thermochimica Acta*, 2010, 510(1).
- [25] Das G, Kalita R D, Gogoi P, et al. Antibacterial activities of copper nanoparticle-decorated organically modified montmorillonite/epoxy nanocomposites[J]. *Applied Clay Science*, 2014, 90(64).
- [26] 胡美玲, 林珩, 易红玲, 等. 新型聚合物季铵盐改性蒙脱土的研究进展[J]. *硅酸盐通报*, 2017, 36(7).
- [27] Zhuang G Z, Zhang Z P, Fu M, et al. Comparative study on the use of cationic-nonionic-organo-montmorillonite in oil-based drilling fluids[J]. *Applied Clay Science*, 2015, 116~117.
- [28] 孙思萌, 李晓林, 郑广宇, 等. 纳米蒙脱土改性乳化沥青老化性能的研究[J]. *化工新型材料*, 2016(3).
- [29] Dehouche N, Kaci M, Mouillet V. The effects of mixing rate on morphology and physical properties of bitumen/organo-modified montmorillonite nanocomposites[J]. *Construction and Building Materials*, 2016, 114.
- [30] Jasso M, Bakos D, Stastna J, et al. Conventional asphalt modified by physical mixtures of linear SBS and montmorillonite[J]. *Applied Clay Science*, 2012, 70(6).
- [31] Santagata E, Baglieri O, Tsantilis L, et al. Bituminous-based nanocomposites with improved high-temperature properties[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2016, 99.
- [32] 朱明广, 王迎春, 李文志, 等. 有机蒙脱土对沥青抗紫外老化性能影响的研究[J]. *中国建筑防水*, 2017(1).
- [33] Yu J Y, Feng P C, Zhang H L, et al. Effect of organo-montmorillonite on aging properties of asphalt[J]. *Construction and Building Materials*, 2009, 23(7).
- [34] 魏龙. 适用于沥青基体的有机化蒙脱土的制备及其改性沥青研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [35] 徐宏德, 李杨, 朱峰, 等. SBS/蒙脱土复合材料的制备及其性能 II: 复合材料的性能[J]. *合成树脂及塑料*, 2005, 22(5).
- [36] 李斌. 有机化蒙脱土改性沥青的制备、性能及其改性机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.

收稿日期: 2018-12-05

\*\*\*\*\*

(上接第 87 页)

- [13] 应君, 张青萍. 海绵城市理念下城市透水性铺装的应用研究[J]. *现代城市研究*, 2016(7).
- [14] Qin Y, Hiller J E. Water availability near the surface dominates the evaporation of pervious concrete[J]. *Construction & Building Materials*, 2016, 111.
- [15] 罗桑, 钱振东. 环氧沥青混凝土铺装表面特性试验研究[J]. *北京工业大学学报*, 2012, 38(2).
- [16] 罗桑, 钱振东. 环氧沥青混凝土铺装材料低温性能研究[J]. *公路*, 2010(1).

收稿日期: 2018-10-17