

文章编号:1671-8879(2020)01-0116-09

彩色防滑路面材料组成对其路用性能的影响

陈小薇^{1,2}, 樊振通³, 余功新³, 胡贵华⁴, 吴平⁵

- (1. 长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南交通职业技术学院, 路桥工程学院, 湖南 长沙 410132;
3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 4. 湖南省交通建设质量安全监督管理局, 湖南 长沙 410116;
5. 内蒙古路桥集团有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:为确定材料组成对彩色防滑路面材料性能的影响,综合考虑防滑粒料粒径、级配及胶黏剂用量,制备了3种彩色防滑路面材料。通过高温车辙试验、表面构造深度和抗滑摆值试验,对比分析了3种彩色防滑路面材料的高温性能和抗滑性能;利用湿轮磨耗仪、四轮磨耗仪进行了不同条件下的磨耗试验及加速加载试验,系统研究了3种彩色防滑路面材料的耐久性能,进而确定了彩色防滑路面的最佳材料组成。研究表明:3种彩色防滑路面材料均具有良好的路用性能,当4.75~2.36 mm集料用量为100%、胶黏剂撒布量为2.5 kg/m²时,彩色防滑路面材料的动稳定度最高,为8 077次/mm,抗滑摆值最大,为82,表明该彩色防滑路面材料的高温、抗滑性能最优;3种彩色防滑路面材料均具有良好的耐久性能,当4.75~2.36 mm集料用量为100%、胶黏剂撒布量为2.5 kg/m²时,彩色防滑路面材料1 h浸水条件下的磨耗值为70 g/m²,高温条件下的磨耗值为64.7 g/m²,紫外老化条件下的磨耗值为105.88 g/m²,10% HCL溶液腐蚀条件下的磨耗值为64.7 g/m²;在加速加载5万次磨耗后,该彩色防滑路面材料磨耗质量损失为43.3 g,磨耗值及质量损失均小于其他材料组成,且满足相关规范要求,表明该种材料组成的彩色防滑路面材料的耐久性能最优。

关键词:道路工程;道路材料;彩色路面;组成设计;路用性能;耐久性

中图分类号:U416.217 **文献标志码:**A **DOI:**10.19721/j.cnki.1671-8879.2020.01.012

Influence of color anti-skid pavement material composition on its road performance

CHEN Xiao-wei^{1,2}, FAN Zhen-tong³, YU Gong-xin³, HU Gui-hua⁴, WU Ping⁵

- (1. School of Civil Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, Hunan, China;
2. School of Road and Bridge Engineering, Hunan Communication Polytechnic, Changsha 410132, Hunan, China;
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 4. Hunan Traffic Construction Quality and Safety Supervision Administration, Changsha 410116, Hunan, China;
5. Inner Mongolia Road and Bridge Group Co., Ltd., Hohhot 010010, Inner Mongolia, China)

Abstract: To determine the influence of material composition on the performance of color anti-skid pavement materials, three kinds of color anti-skid pavement materials with different material compositions were prepared considering the particle size, gradation, and amount of adhesives. Through rutting, surface structure depth, and anti-skid pendulum tests, the high-temperature

收稿日期:2019-09-20

基金项目:陕西省自然科学基金研究计划项目(2014JM2-5045);中央高校基本科研业务费专项资金项目(300102219314,300102218304)

作者简介:陈小薇(1981-),女,河南内乡人,湖南交通职业技术学院讲师,长沙理工大学工学博士,E-mail:124795524@qq.com。

performance and anti-skid performance of these pavement materials were compared and analyzed. Furthermore, their durabilities were studied systematically based on wear test under different environmental conditions and an accelerated loading test system, a wet wheel and four wheel abrasion instruments were used. The results show that the three kinds of color anti-skid pavement materials have a suitable pavement performance, when the aggregate content of 4.75 to 2.36 mm is 100% and the adhesive spreading amount is 2.5 kg/m², the dynamic stability and anti-skid pendulum value of the color anti-skid pavement material are the highest. These values are 8077 times/mm and 82 respectively. Meanwhile, the three kinds of color anti-skid pavement materials were demonstrated to have a suitable durability, when the aggregate content of 4.75 to 2.36 mm is 100% and the adhesive spreading amount is 2.5 kg/m², the wear value of the color anti-skid pavement material is 70 g/m² under the conditions of 1 h soaking, 64.7 g/m² under a high-temperature condition, 105.88 g/m² under a ultraviolet-aging condition, and under the condition of 10% HCL solution corrosion, the wear value is also 64.7 g/m², after 50 000 wears, the wear mass loss is 43.3 g. The wear value and mass loss are less than those of other material compositions and all meet the normative requirements indicating the optimum durability of the color anti-skid pavement material. 5 tabs, 9 figs, 31 refs.

Key words: road engineering; road material; color pavement; composition design; road performance; durability

0 引 言

彩色功能型路面不仅能满足最基本的使用性能,还能美化道路空间环境、缓解驾驶疲劳、强化交通警示、诱导交通及缓解“热岛效应”等,被广泛应用于城市道路、公路收费站等各类路面铺装。目前国内外已对彩色路面开展了多方面研究。关于路面黏结剂方面,赵亮等将 EVA、SBS 加入到 C9 树脂和真空汽油的混合物中,制备并改性了一种浅色黏合剂以用于彩色沥青混凝土中^[1]。Tang 等采用芳烃油、石油树脂和各种聚合物改性剂制备了浅色合成沥青(LCSA)黏合剂,研究了单聚合物和复合聚合物的改性效果^[2]。唐新德等利用钛酸酯偶联剂改性彩色沥青胶结料以提高彩色沥青混合料的路用性能^[3]。Tang 等将芳香油、石油树脂和功能性聚合物混合制备了有色黏合剂^[4]。杨月青等利用硅烷偶联剂对彩色沥青混凝土集料进行表面改性,以提高彩色沥青胶结料与集料的相容性^[5]。关于施工工艺方面,乐斐介绍了温拌彩色沥青混凝土路面、彩色微表处和彩色沥青混凝土压痕路面 3 种新型彩色沥青路面的基本工艺及发展情况^[6]。高希敏对各种彩色沥青混凝土路面养护材料进行分析,并针对不同病害提出不同的养护方案及对应的养护技术和施工工艺^[7]。Xing 等以聚合物化学和物理基本原理为基础,提出了彩色沥青的制备工艺^[8]。关于路用性能方面,Xin 分析了彩色沥青混合

料的高温稳定性、耐水性、稳定性、低温抗裂性、颜色特性等路用性能^[9]。郝培文等对彩色水泥灌浆沥青混合料高温稳定性、抗水损害性能、低温抗裂性和疲劳特性等进行了检验^[10]。张争奇等研发了一种彩色反射式沥青路面涂层,测试分析了不同颜色涂层的降温效果及涂层对道路表面功能的影响^[11-13]。Ning 等提出了在路面上喷涂抗胎痕密封树脂乳液以提高彩色沥青路面的耐久性^[14]。Liu 等系统研究了各种类型红色路面的现场性能^[15]。Jeong 等对彩色混凝土的强度、坍落度、早期收缩裂缝形态、颜色特性等性能进行了试验研究^[16]。Lee 等通过马歇尔稳定性试验、间接拉伸强度试验等,对彩色聚合物混凝土的路用性能进行实验室评估^[17]。关于改性优化方面,周水文等通过沥青改性、混合料改性 2 种方法,对彩色透水沥青混合料性能进行了优化^[18]。Zhong 设计了各种比例纳米蒙脱土改性聚甲基丙烯酸甲酯,以研制性能优良的彩色防滑路面涂层材料^[19-20]。赵小彦采用 SBS 改性剂分别与 3 种无机染料作为复合改性剂,制备了红、黄、绿 3 种颜色彩色沥青,并研究其路用性能^[21]。李强等对传统环氧树脂进行复合改性处理,并以最优掺量为基础,对其耐紫外老化长期性能进行了室内加速模拟和试验路铺筑^[22]。对于彩色路面应用方面,王家主从厚度、抗滑性能、颜色变化、行车安全性等方面,通过试验检测了彩色抗滑超薄铺装用于隧道路面铺装的优势^[23]。卓曦等为提高彩色路面环

境下隧道行车的安全性,对隧道视觉诱导性进行了评价^[24]。张广泰等将 TiO₂ 应用到彩色防滑路面中,研究其对汽车尾气的降解效果及路用性能^[25]。Liu 等研究了石英砂、彩砂、陶瓷颗粒、铝土矿颗粒 4 种抗滑颗粒对彩色路面使用性能的影响^[26]。Luo 等试验研究了彩色路面颜色恢复能力和沥青混合料的轮胎痕迹抵抗性能^[27]。综上可知,国内外关于彩色路面的研究主要集中在彩色路面黏结剂、施工工艺、路面使用性能、改性优化及应用等方面,而对彩色防滑路面材料组成优化及耐久性研究相对较少。

为此,本文综合考虑防滑粒料粒径、级配及胶黏剂用量,制备了 3 种不同材料组成的彩色防滑路面材料,并基于高温车辙试验、表面构造深度测试、抗滑摆值测试,研究不同类型彩色防滑路面材料的路用性能;基于浸水、温度、紫外老化、化学腐蚀等不同环境条件下的磨耗试验及加速加载磨耗试验,研究不同类型彩色防滑路面材料的耐久性能,确定其最佳材料组成,以期为彩色防滑路面的工程应用提供理论基础。

1 试验材料与方法

1.1 原材料

彩色防滑路面材料主要由胶黏剂及防滑粒料组成。胶黏剂材料基体树脂选用聚氨酯改性环氧树脂,聚氨酯掺量(质量分数,下同)为 10%;环氧树脂在室温下黏度大,施工过程中拌和难度高,在使用过程中需加入少量稀释剂以降低树脂黏度,本文选用 C12-14 烷基缩水甘油醚(AGE)为稀释剂,掺量为树脂质量的 15%;颜料选用铁红,掺量为 2.0%;为使该复配固化体系综合性能较优,胶黏剂、固化剂类型选用脂肪胺及脂环胺,且脂肪胺及脂环胺的质量比为 7:3。100 g 胶黏剂各组分用量如表 1 所示。

表 1 胶黏剂各组分用量

Tab. 1 Dosage of adhesive each component

组分	聚氨酯改性环氧树脂	稀释剂	脂肪胺	脂环胺	颜料
各组分用量/g	67.9	10.1	14.0	6.0	2.0

目前,彩色防滑路面采用的防滑粒料有陶瓷颗粒、煅烧铝矾土、彩砂 3 类,其应用占比分别为 61%、26% 和 13%,粒径一般为 1~5 mm。考虑到陶瓷颗粒具有硬度高、防滑性能好、耐磨耗等优势,选择红色陶瓷颗粒为防滑粒料,粒径分别为[1.18, 2.36) mm 和[2.36, 4.75] mm,并借助有机溶液处理的方式提高陶瓷颗粒表面强度。

1.2 彩色防滑路面材料制备

彩色防滑路面材料主要由胶黏剂及防滑粒料组成,其制备工艺主要分为胶黏剂制备、胶黏剂涂布、防滑粒料撒布及多余防滑粒料清理 4 步,制备方法如图 1 所示。具体制备步骤如下。

(1)制备胶黏剂。按表 1 确定的胶黏剂各组分用量进行混合,用搅拌机搅拌 3 min 左右。

(2)涂布胶黏剂。将搅拌均匀的胶黏剂用毛刷涂布到基材上,涂布应均匀,不可出现局部缺胶现象。

(3)撒布防滑粒料。胶黏剂涂布均匀后立即撒布防滑粒料,防滑粒料应完全覆盖胶黏剂,不可出现漏胶现象,撒布完成后,让防滑粒料通过重力自然沉降,自然黏结固化。

(4)清理多余防滑粒料。待胶黏剂固化成型后,用毛刷将多余防滑粒料清理干净。

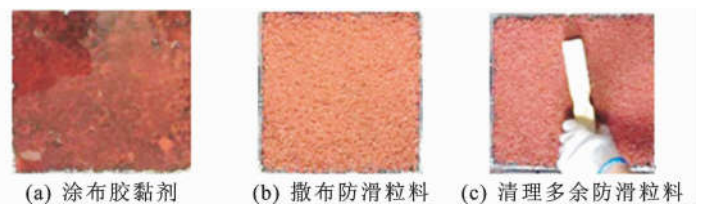


图 1 彩色防滑路面材料制备

Fig. 1 Preparation of color anti-skid pavement material

1.3 试验方法

1.3.1 高温性能

根据轮碾法成型相同级配、相同沥青材料及用量的车辙板试件,并在其上铺筑不同类型彩色防滑路面材料,每种配比铺筑 3 个试件^[28]。参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中 T0719—2011^[29] 沥青混合料车辙试验方法,对试件进行高温车辙试验及评价,对比不同彩色防滑路面材料对沥青路面高温稳定性能的影响。

1.3.2 抗滑性能

为全面评价彩色防滑路面材料的抗滑性能,基于构造深度及摆值指标,参照文献^[29]及《路面防滑涂料》(JT/T 712—2008)^[30] 中的规定进行试验。借助铺砂法分别测试彩色防滑路面材料铺筑前后的车辙板试件构造深度;并利用摆式摩擦仪采集洒水、未洒水情况下铺筑彩色防滑路面材料前后的车辙板试件表面摆值,以对比分析其抗滑性能。

1.3.3 不同条件下的耐久性能

(1)浸水条件下的耐磨耗性能

参照《微表处和稀浆封层技术指南》(JTG/T F40-02—2005)^[31] 中湿轮磨耗试件制备方法,利用

湿轮磨耗试验模具(300 mm(长)×300 mm(宽)×6 mm(高),中间有 1 个直径 279 mm 圆孔)制备彩色防滑路面材料磨耗试件。将制备好的试件放置于恒温水箱中分别保温 1 h 和 6、9、12 d 后,取出用湿轮磨耗仪进行湿轮磨耗试验,参照文献[31]中的湿轮磨耗规范值评价彩色防滑路面材料浸水条件下的耐磨耗性能。

(2) 高、低温条件下的耐磨耗性能

按浸水条件下耐磨耗性能试件制备方法制备磨耗试件。参照文献[29]中高温性能试验条件,将制备好的湿轮磨耗试件放置于 60 °C 的控温箱中保温 6 h 后,采用湿轮磨耗仪进行湿轮磨耗试验;参考冻融劈裂试验的低温条件,将制备好的试件放置于 -18 °C 的控温箱中保温 16 h 后,进行湿轮磨耗试验;参照文献[31]分别评价试件在高温、低温条件下的耐磨耗性能。

(3) 紫外老化条件下的耐磨耗性能

在油毛毡上成型不同的湿轮磨耗试件,将制备好的试件放置于紫外加速试验箱中老化 48 h 后,进行湿轮磨耗试验,参照文献[31]评价试件在紫外老化条件下的耐磨耗性能。

(4) 化学腐蚀条件下的耐磨耗性能

在油毛毡上成型不同的湿轮磨耗试件,参照《环氧树脂地面涂层材料》(JC/T 1015—2006)中耐腐蚀性能试件,将制备好的试件分别放入 15% NaOH 溶液、10% HCL 溶液及 120# 汽油溶剂中,浸泡 48 h 后取出,用水将试件表面腐蚀溶液冲刷干净。采用湿轮磨耗仪进行湿轮磨耗试验,参照文献[31]评价试件在腐蚀条件下的耐磨耗性能。

(5) 加速加载条件下的耐磨耗性能

根据轮碾法成型相同的车辙板试件,在 60 °C 恒温烘箱中养生 120 h 后取出,室温静置 4 h,在养生后的车辙板上铺筑彩色防滑路面材料,待其固化干燥后,利用四轮磨耗仪进行加速加载试验,磨耗次数每增加 5 000 或 10 000 对试件磨耗损失质量、摆值及构造深度进行测试,研究彩色防滑路面材料在加速加载条件下的耐磨耗性能。

2 彩色防滑路面材料组成设计

在彩色防滑路面材料组成设计中,合适的防滑粒料粒径、级配和胶黏剂用量是保证彩色防滑路面路用性能的关键。

2.1 防滑粒料粒径、级配

彩色防滑路面防滑粒料粒径应根据使用环境确

定。目前在彩色防滑路面材料中,选用的防滑粒料粒径一般为 1~5 mm。本文研究的彩色防滑路面主要用于公路,考虑其应满足路用性能与试验要求,故选用[2.36, 4.75] mm 粒径为主,配以一定量[1.18, 2.36) mm 粒径的防滑粒料。采用[4.75, 2.36] mm 与(2.36, 1.18] mm 集料用量比为 100:0、70:30、50:50 的 3 种级配进行研究,分别与不同胶黏剂用量进行组合,组合方式如表 2 所示。

表 2 胶黏剂及防滑粒料组合方式

Tab. 2 Combination modes of adhesives and anti-skid particles

试件编号	[4.75, 2.36] mm 与 (2.36, 1.18] mm 集料用量比	胶黏剂撒布量 $w/$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)			
		1.5	2.0	2.5	3.0
1	100:0	1.5	2.0	2.5	3.0
2	70:30	1.5	2.0	2.5	3.0
3	50:50	1.5	2.0	2.5	3.0

2.2 胶黏剂用量

胶黏剂用量过多或过少,都会影响彩色防滑路面的正常使用。目前,胶黏剂在路面的使用中撒布量一般为 1~3 kg/m^2 ,考虑到胶黏剂要完全填充车辙板表面孔隙,本文初步确定胶黏剂涂撒布分别为 1.5、2.0、2.5、3.0 kg/m^2 。

在彩色防滑路面刚开始开放交通时,道路表面被胶黏剂裹覆不充分的集料会在车轮磨耗作用下发生脱落,严重影响彩色防滑路面的正常使用。因此,本文综合考虑磨耗值与构造深度两项指标,通过湿轮磨耗试验来模拟彩色防滑路面早期的表面石料的脱落情况,并对比不同组合方式下磨耗值及磨耗前后的抗滑性能,初步确定不同防滑粒料级配下的最佳胶黏剂撒布量。试验结果如图 2、图 3 所示。

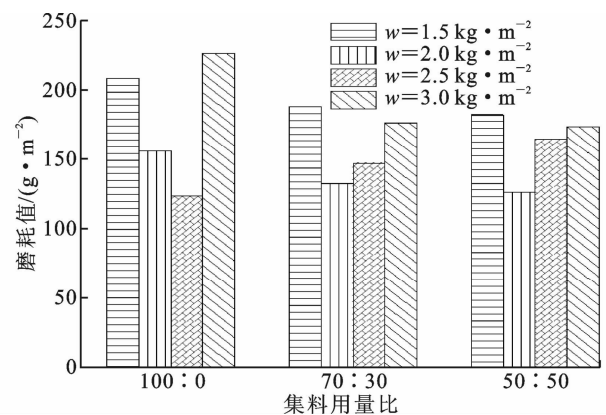


图 2 不同材料组成的彩色防滑路面磨耗值

Fig. 2 Wear values of colored anti-skid pavement composed of different materials

对于不同材料组成的彩色防滑路面材料,磨耗值越小、磨耗前后构造深度变化越小,说明在这种材料组成情况下,防滑粒料自然脱落率较少,胶黏剂对防滑粒料的裹覆性最优。综合考虑磨耗值及构造深

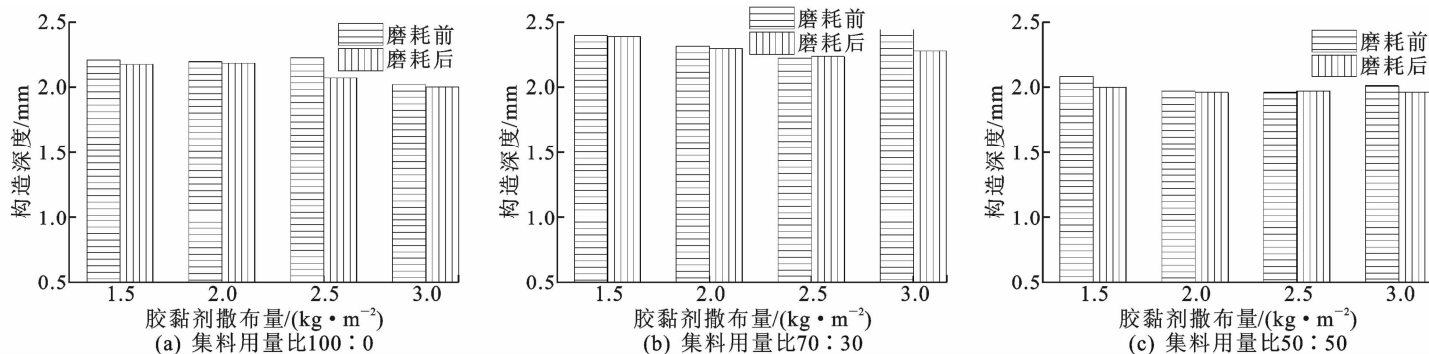


图3 材料组成对彩色防滑路面构造深度的影响

Fig. 3 Influence of materials composition on construction depth of color anti-skid pavement

度两项指标,分析图2、图3可得,最佳胶黏剂撒布量为2.0、2.5 kg/m²。

综上所述,本文选取的3种级配彩色防滑路面材料性能试验方案如表3所示。

表3 彩色防滑路面材料性能试验方案

Tab. 3 Test scheme for materials performance of color anti-skid pavement

试件编号	[4.75, 2.36] mm 与 (2.36, 1.18] mm 集料用量比	胶黏剂最优撒布量/(kg·m ⁻²)
1-1	100 : 0	2.5
2-1	70 : 30	2.0
3-1	50 : 50	2.0

3 彩色防滑路面材料路用性能

3.1 高温性能

根据第1.3节确定的试验方法进行高温车辙试验,对比不同彩色防滑路面材料对沥青路面高温稳定性能的影响。试验结果如表4所示。

表4 车辙试验的高温性能试验结果

Tab. 4 Test results of high temperature performance based on rutting test

试件类型	普通试件	1-1	2-1	3-1	规范要求
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	4 960	8 077	7 778	7 412	≥2 800
增长幅度/%		62.8	56.8	49.4	

由表4可知,铺筑彩色防滑路面材料后,沥青混合料车辙试件动稳定度显著提高,表明铺筑彩色防滑路面材料有助于提高路面的高温性能,且粗集料越多,动稳定度越高。3种彩色防滑路面材料中,试件1-1的彩色防滑路面材料动稳定度最高,为8 077次/mm,较之普通试件的车辙动稳定度提高62.8%,提高幅度最大。由此可知,试件1-1彩色防滑路面材料的高温性能最优。

3.2 抗滑性能

采用铺砂法测试彩色防滑路面材料铺筑前后的

车辙板试件构造深度,研究彩色防滑路面材料对沥青路面构造深度的影响规律,试验结果见图4。

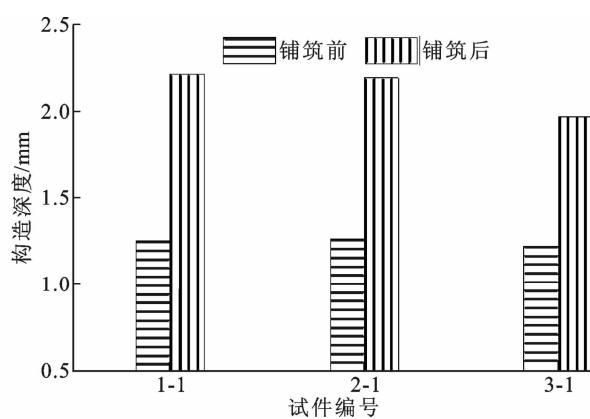


图4 不同类型彩色防滑路面构造深度试验结果

Fig. 4 Test results of structural depth of different types of color anti-skid pavement

由图4可知,铺筑彩色防滑路面材料后,构造深度均出现不同程度提高,且材料中的粗集料越多,路面构造深度及其提高幅度越大。3种彩色防滑路面材料的构造深度均满足文献[29]的规定(≥0.55 mm),其中试件1-1彩色防滑路面材料组成中的粗集料最多,铺筑后构造深度最大,为2.21 mm,比原车辙板试件构造深度提高76.8%,提高幅度最大。

根据文献[30]中关于摆值BPN与路面抗滑级别的关系(表5),利用摆式摩擦仪采集洒水、未洒水情况下,铺筑彩色防滑路面材料前后的车辙板试件表面摆值,试验结果如图5所示。

表5 抗滑分级

Tab. 5 Anti-skid classification

抗滑级别	普通防滑型	中防滑型	高防滑型
技术要求	45≤BPN<55	55≤BPN<70	BPN≥70

由图5可知,铺筑彩色防滑路面材料后摆值明显提高,不同类型彩色防滑路面材料未洒水时摆值均大于70,按抗滑分级属于高抗滑型,且洒水后摆值降低幅度均小于普通车辙试件,表明彩色防滑路

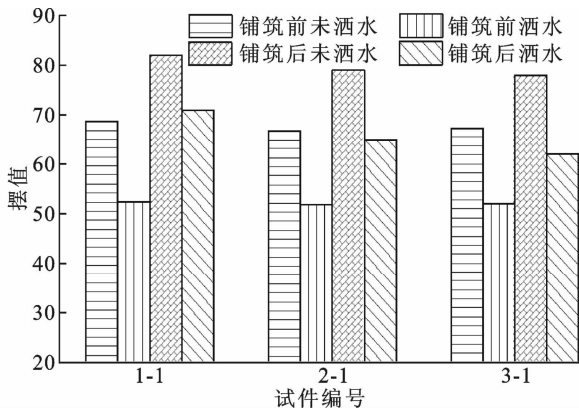


图 5 洒水、未洒水状况下的彩色防滑路面抗滑摆值

Fig. 5 Anti-sliding pendulum values of colored anti-skid pavement under sprinkler and non-sprinkler condition

面具有优良的抗滑性能。未洒水时试件 1-1 彩色防滑路面摆值最大,为 82,洒水后摆值下降幅度最小,仅下降 13.4%,仍为高抗滑型,表明粗集料对提高彩色防滑路面材料抗滑性能的作用显著。试件 1-1 彩色防滑路面材料的抗滑性能最优。

4 彩色防滑路面材料耐久性能

4.1 基于不同环境条件下的耐久性能

为评价彩色防滑路面材料的耐久性能,分别在浸水、温度、紫外老化、化学腐蚀条件测试其耐磨耗性能,试验结果如图 6~图 8 所示。

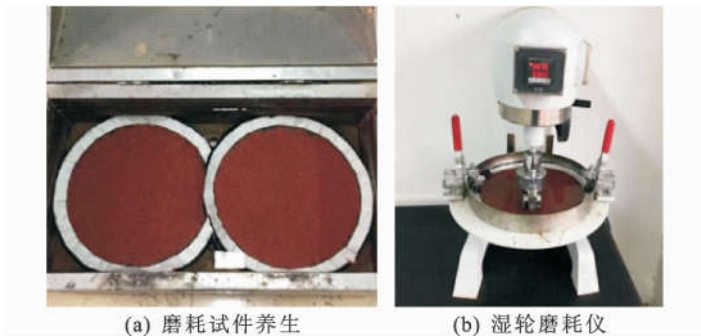


图 6 浸水条件下湿轮磨耗试验

Fig. 6 Wet wheel wear test based on soaking conditions

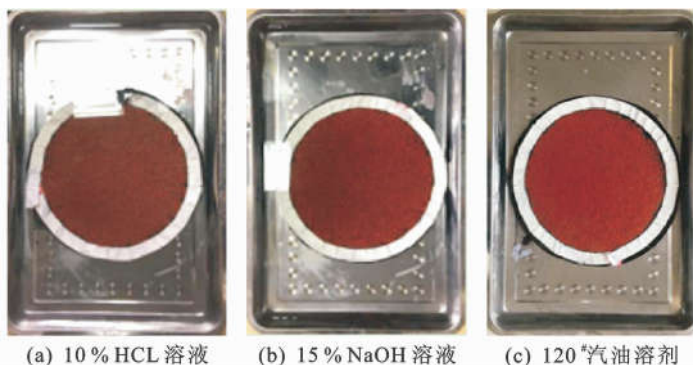


图 7 腐蚀条件下耐磨耗性能试验

Fig. 7 Test of wear resistance performance based on corrosion conditions

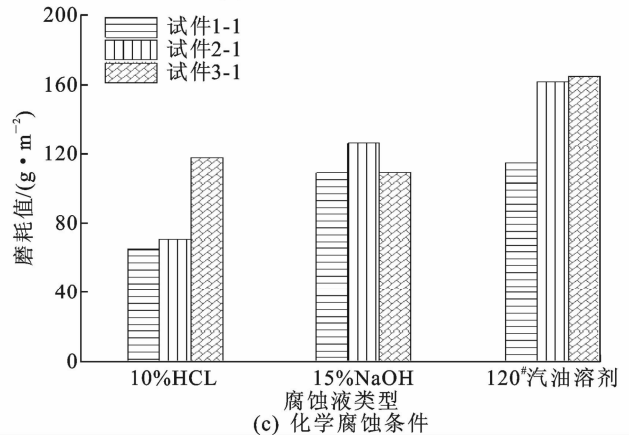
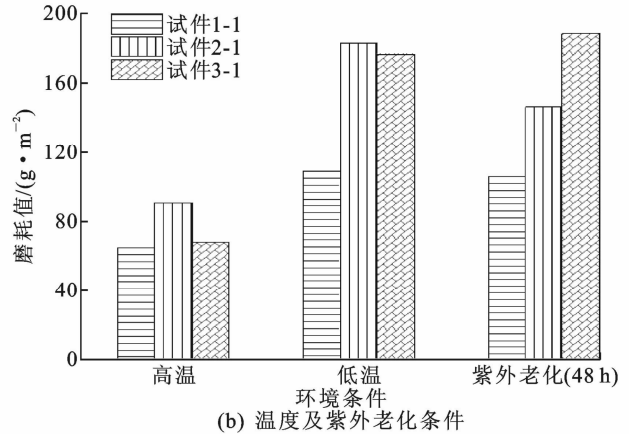
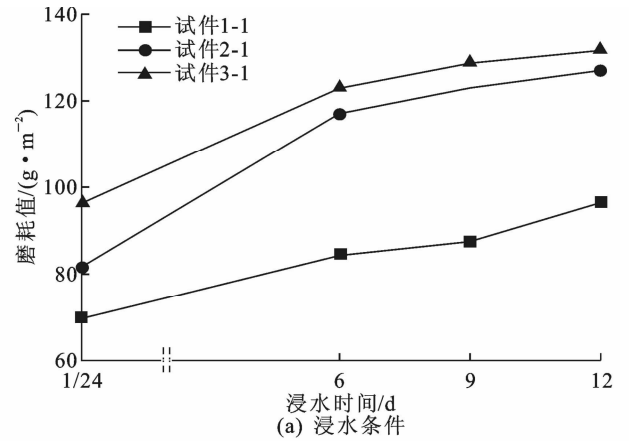


图 8 不同条件对彩色防滑路面材料耐磨耗性能的影响

Fig. 8 Effect of different environmental conditions on wear resistance of colored anti-skid pavement materials

由图 8(a)可知:3 种彩色防滑路面材料浸水 12 d 的磨耗值均在 130 g/m^2 以下,远小于文献[31]中 1 h 浸水湿轮磨耗规范值($\leq 538 \text{ g/m}^2$),说明 3 种彩色防滑路面材料均具有良好的耐水性能。浸水时间相同时,3 种彩色防滑路面材料的磨耗值与其粗集料含量呈负相关,其中试件 1-1 防滑路面材料的粗集料含量最多,磨耗值最小,1 h 浸水条件下,其磨耗值仅为 70 g/m^2 ;当浸水时间延长时,3 种彩色防滑路面材料的磨耗值均逐渐增大,但浸水时间由 1 h 延长至 6 d 时,试件 1-1 磨耗值的增长率仍最小,仅为 29%。

由图 8(b)可知:对于同类彩色防滑路面材料,低温对材料的耐磨耗性能影响更大;3 种彩色防滑

路面材料的磨耗值均在 200 g/m^2 以内,远小于 1 h 浸水湿轮磨耗规范值,但材料中的粗集料含量越高,材料磨耗值越小,耐磨耗性能越好;紫外老化后,3种彩色防滑路面材料磨耗值均小于 200 g/m^2 ,远小于 1 h 浸水湿轮磨耗规范值,其中试件 1-1 彩色防滑路面材料的磨耗值最小,为 105.88 g/m^2 ,试件 2-1 次之,试件 3-1 最大;而试件 1-1 在高温条件下的磨耗值仅为 64.7 g/m^2 。由此可知,在温度、紫外老化条件下,彩色防滑路面材料的粗集料越多,路面耐磨耗性能越好。

由图 8(c)可知:不同腐蚀液对彩色防滑路面材料耐磨耗性能影响不同, $120^\#$ 汽油溶剂对彩色防滑路面材料的腐蚀最严重, 15% NaOH 溶液腐蚀程度次之, 10% HCL 溶液腐蚀性最弱,但不同腐蚀条件下的磨耗值均在 200 g/m^2 以内,远小于 1 h 浸水湿轮磨耗规范值,3种彩色防滑路面材料在各腐蚀条件下耐磨耗性能均较好;在同一腐蚀条件下3种材料耐磨耗性能存在差异,试件 1-1 在 10% HCL 溶液腐蚀下的磨耗值仅为 64.7 ,该种彩色防滑路面材料的耐磨耗性能最好。

由以上分析可知,在浸水、温度、紫外老化及化学腐蚀条件下,试件 1-1 彩色防滑路面材料的耐久性能最好。

4.2 基于加速加载条件下的耐久性能

采用室内加速加载试验对彩色防滑路面材料耐磨耗性能进行测试,以评价不同彩色防滑路面材料在长期磨耗作用下的耐久性能。为进一步对比防滑粒料处理前后对彩色防滑路面材料耐磨耗性能影响,以试件 1-1 配合比为例,制备防滑粒料未处理的彩色防滑路面材料试件,试件编号 1-2,与其他3种彩色防滑路面材料一起进行加速加载试验,并基于磨耗质量损失、摆值和构造深度指标,评价彩色防滑路面材料加速加载条件下的耐磨耗性能。测试试验结果如图 9 所示。

由图 9(a)可知:不同类型彩色防滑路面材料磨耗质量损失随磨耗次数的增加逐渐增大,在磨耗初期,质量损失增加速率均较快,随着加载次数增加,增长速率趋于平稳;对比防滑粒料经有机处理前后的路面材料磨耗质量损失可知,在磨耗次数相同的情况下,防滑粒料处理后的磨耗质量损失小于未处理时,表明防滑粒料处理后,提高了防滑粒料与胶黏剂的黏附性以及自身的耐磨耗性能和强度。对比不同粗集料含量的路面材料磨耗质量损失可知,在相同磨耗次数下,材料的粗集料含量越高,材料的磨耗

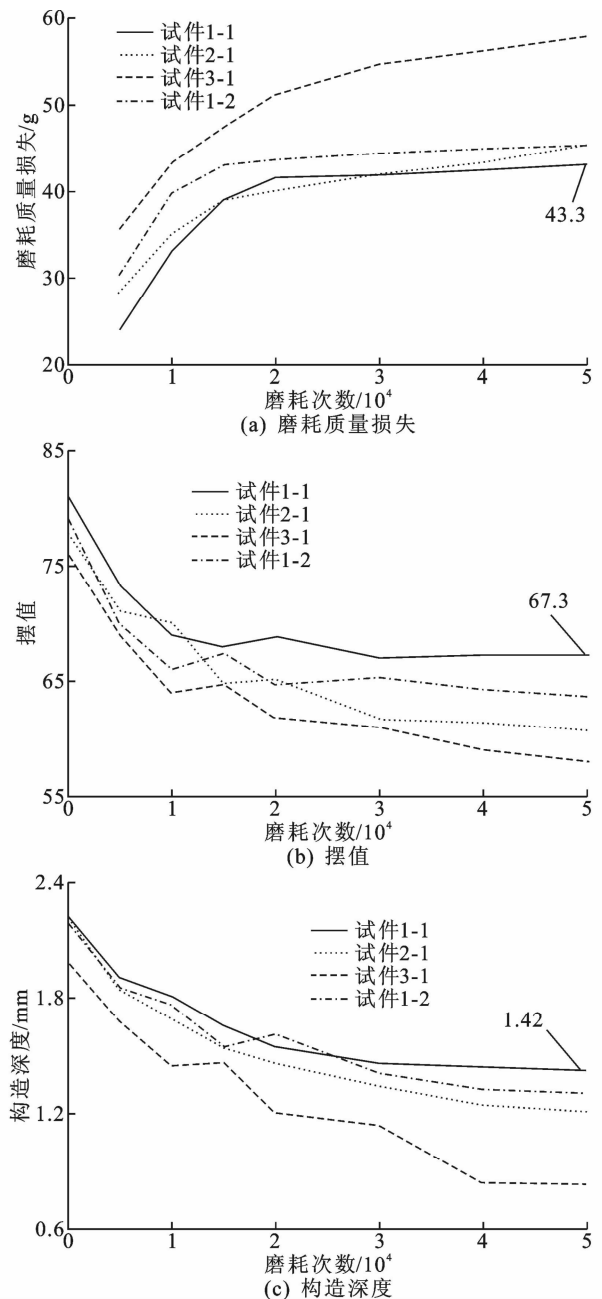


图 9 磨耗次数对磨耗质量损失、摆值及构造深度的影响

Fig. 9 Effect of wear times on wear mass loss, pendulum value and structural depth

质量损失越小。试件 1-1 的 5 万次磨耗质量损失为 43.3 g ,磨耗质量损失最小。

由图 9(b)、(c)可知:不同类型彩色防滑路面材料的摆值和构造深度均随磨耗次数的增加逐渐减小,在磨耗前期,各彩色防滑路面材料摆值和构造深度衰减均较快,随着磨耗次数增加,摆值和构造深度衰减速率逐渐变缓;磨耗后,试件 1-1 的抗滑性能最优,在 5 万次磨耗后摆值为 67.3 ,构造深度为 1.42 mm ,仍保持了良好抗滑性能,表明粗集料含量越多,路面耐磨耗性能越好。从磨耗 5 万次后试件表面状况可知,不同类型彩色防滑路面材料均出现不同程度漏胶现象,粗集料含量低的路面材料轮迹处磨耗严重,局部出现沥青底材漏出现象,而粗集料含量高的试件表面轮迹处防滑粒料脱落率低,色彩保

持率好,说明粗粒径防滑粒料较细粒径耐磨性更好。

通过以上分析可知,试件 1-1 彩色防滑路面材料的加速加载耐久性能最优。

5 结 语

(1) 制备了 3 种彩色防滑路面材料, [4.75, 2.36] mm 与 (2.36, 1.18] mm 集料用量比分别为 100 : 0、70 : 30、50 : 50, 胶黏剂撒布量分别为 2.5、2.0、2.0 kg/m²。

(2) 对比分析了 3 种彩色防滑路面材料的高温性能、抗滑性能。当 [4.75, 2.36] mm 集料用量为 100% 时, 防滑路面高温稳定性能最好, 动稳定度最高, 为 8 077 次/mm, 较普通试件提高了 62.8%; 此时的抗滑性能也最优, 构造深度和摆值均最大, 分别为 2.21 mm 和 82, 构造深度较原路面提高了 76.8%, 抗滑摆值在洒水后下降幅度最小, 仅为 13.4%。

(3) 考虑不同环境条件及加速加载条件, 提出了不同耐久性评价方法, 对比分析了 3 种彩色防滑路面材料的耐磨耗性能。3 种彩色防滑路面材料均有较好的耐磨耗性能, 在浸水、化学腐蚀、温度、紫外老化及加速加载条件下, [4.75, 2.36] mm 与 (2.36, 1.18] mm 集料用量比为 100 : 0、胶黏剂撒布量为 2.5 kg/m² 的彩色防滑路面材料磨耗值及质量损失均最小, 耐磨耗性能最好。试验表明, 经有机处理能提高防滑粒料与胶黏剂的黏附性以及防滑粒料自身耐磨耗性能和强度。

(4) 本文研究成果可有效解决目前彩色防滑路面材料抗滑及耐久性不足的问题, 对促进彩色防滑路面材料的推广应用具有重要意义。本文在彩色防滑路面材料耐久性评价中, 仅提出了基于不同工况条件下的耐久性能评价方法, 未提出相关技术指标要求, 因此, 在后续研究中应对彩色防滑路面材料耐久性能评价技术指标进行全面研究。

参考文献:

References:

[1] 赵亮, 查如俊, 陈琪, 等. SBS 改性浅色沥青胶结料的流变性能[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2018, 44(1): 21-27.
ZHAO Liang, ZHA Ru-jun, CHEN Qi, et al. Rheological properties of SBS modified colored binders for asphalt concrete pavement[J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2018, 44(1): 21-27.

[2] TANG P, MO L, PAN C, et al. Investigation of rheo-

logical properties of light colored synthetic asphalt binders containing different polymer modifiers[J]. Construction & Building Materials, 2018, 161: 175-185.

- [3] 唐新德, 谭旭翔, 胡秀颖. 钛酸酯偶联剂改性彩色沥青路面性能研究[J]. 公路, 2017, 62(4): 23-25.
TANG Xin-de, TAN Xu-xiang, HU Xiu-ying. Pavement performance of colored asphalt modified with titanate coupling agent[J]. Highway, 2017, 62(4): 23-25.
- [4] TANG X D, KONG C, TIAN J, et al. Preparation and pavement performance of colored asphalt[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 727: 362-365.
- [5] 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.
YANG Yue-qing, TANG Xin-de, TAN Xu-xiang, et al. Pavement performance of colored asphalt concrete modified with silane coupling agent[J]. Highway, 2018, 63(7): 91-94.
- [6] 乐斐. 新型彩色沥青路面混合料设计及施工工艺研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2015, 32(6): 61-65.
LE Fei. Study on new technology of colored asphalt pavement[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2015, 32(6): 61-65.
- [7] 高希敏. 彩色沥青混凝土路面养护技术[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016, 33(8): 95-98, 102.
GAO Xi-min. Maintenance technology for colored asphalt pavement[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2016, 33(8): 95-98, 102.
- [8] XING L, LEI B, CHEN Z, et al. Preparation technology for cementing material of colored asphalt pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 12(2): 1-6.
- [9] XIN Z G. Research application of colored asphalt mixture pavement[J]. Advanced Materials Research, 2014, 900: 459-462.
- [10] 郝培文, 刘元烈, 刘涛, 等. 彩色水泥灌浆沥青混合料的路用性能[J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36(4): 29-34.
HAO Pei-wen, LIU Yuan-lie, LIU Tao, et al. Pavement performance of colored cement grouting asphalt mixture[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2019, 36(4): 29-34.
- [11] 张争奇, 张世豪, 郭大同, 等. 彩色反射式沥青路面涂层的路用性能[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2018, 39(5): 611-616.
ZHANG Zheng-qi, ZHANG Shi-hao, GUO Da-tong, et al. Road performance of color reflective asphalt

- pavement coating[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2018, 39(5): 611-616.
- [12] WANG C, SUN X, GUO T, et al. Investigations on cooling effects of prepared pavement coatings using the Grubbs method and linear regression analysis[J]. Road Materials and Pavement Design, 2019, 20(1): 171-186.
- [13] CHEN Q, WANG C, FU H, et al. Durability evaluation of road cooling coating[J]. Construction & Building Materials, 2018, 190: 13-23.
- [14] NING S, HUAN S. Experimental study on color durability of color asphalt pavement[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 207(1): 012104.
- [15] LIU Q, VARAMINI S, TIGHE S. Field evaluation of red-coloured hot mix asphalt pavements for bus rapid transit lanes in Ontario, Canada [J/OL]. Coatings, 2017: 1-8 [2017-04-16]. <https://doi.org/10.3390/coatings7050058>.
- [16] JEONG D Y, CHOI K R, KIM M H, et al. An experimental study on development of eco-friendly color concrete using industrial waste red mud[J]. Journal of Environmental Science International, 2007, 16(8): 929-939.
- [17] LEE H, KIM Y. Laboratory evaluation of color polymer concrete pavement with synthetic resin binder for exclusive bus lanes[J]. Transportation Research Record, 2007(1991): 124-132.
- [18] 周水文, 张晓华, 张 蓉, 等. 彩色透水沥青混合料的性能优化[J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36(1): 43-47, 54.
ZHOU Shui-wen, ZHANG Xiao-hua, ZHANG Rong, et al. Study on performance optimization of colored permeable asphalt mixture[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2019, 36(1): 43-47, 54.
- [19] ZHONG Y. Nano MMT modified PMMA anti-skid coating material design and pavement construction technique[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 189(3): 032060.
- [20] ZHONG Y. Mechanical properties test of nano modified coating material for color anti-skid pavement[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 186(2): 012060.
- [21] 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.
ZHAO Xiao-yan. Study on properties of SBS modified color asphalt and permeable asphalt mixture [J]. Highway, 2019, 64(3): 251-255.
- [22] 李 强, 王永维, 李桂琴, 等. 彩色树脂抗滑薄层罩面技术在青海省道 S103 的应用研究[J]. 中外公路, 2018, 38(3): 39-43.
LI Qiang, WANG Yong-wei, LI Gui-qin, et al. Application research on colorful resin anti-sliding thin layer covering technology in Qinghai Provincial Road S103 [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2018, 38(3): 39-43.
- [23] 王家主. 彩色抗滑超薄铺装公路隧道沥青路面的应用[J]. 公路, 2016, 61(12): 24-28.
WANG Jia-zhu. Application of colored anti-slide ultra-thin layer to asphalt pavement in highway tunnel [J]. Highway, 2016, 61(12): 24-28.
- [24] 卓 曦, 唐璐璐, 王家主, 等. 彩色路面环境下隧道视觉诱导性评价[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2019, 47(3): 417-423.
ZHUO Xi, TANG Lu-lu, WANG Jia-zhu, et al. Visual inductivity evaluation for tunnels with colored pavements[J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2019, 47(3): 417-423.
- [25] 张广泰, 邓洋洋, 叶 奋. 纳米 TiO₂ 彩色防滑路面的尾气降解效率及路用性能研究[J]. 中外公路, 2016, 36(2): 226-229.
ZHANG Guang-tai, DENG Yang-yang, YE Fen. Study on tail gas degradation efficiency and road performance of nano-titanium dioxide color anti-skid pavement [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2016, 36(2): 226-229.
- [26] LIU F, QU D, TAN Z, et al. Experimental investigation of the effects of four anti-slide particles on the operational performance of coated coloured pavement [J]. Procedia Engineering, 2016, 161: 589-594.
- [27] LUO R, ZHANG K, XU W, et al. Quantification of the tyre-track resistance of coloured asphalt mixtures [J]. Road Materials and Pavement Design, 2017, 18(4): 817-832.
- [28] 王朝辉, 陈 谦, 高志伟, 等. 浇注式沥青混凝土现状与发展[J]. 材料导报, 2017, 31(9): 135-145.
WANG Chao-hui, CHEN Qian, GAO Zhi-wei, et al. Review on status and development of guss asphalt concrete [J]. Materials Review, 2017, 31(9): 135-145.
- [29] JTG E20—2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
JTG E20—2011, Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering[S].
- [30] JT/T 712—2008, 路面防滑涂料[S].
JT/T 712—2008, Pavement anti-skid paint[S].
- [31] JTG/T F40-02—2005, 微表处和稀浆封层技术指南[S].
JTG/T F40-02—2005, Technical guidelines for micro-surfacing and slurry seal[S].