

MMA 彩色抗滑薄层胶结料研发及混合料设计

施彦¹,董广绰²,刘亮³,陈巧巧^{2*}

(1.广州市高速公路有限公司,广东 广州 510000;2.林同棧国际工程咨询(中国)有限公司;
3.中国市政工程西南设计研究总院有限公司)

摘要:MMA 彩色抗滑薄层作为彩色路面的一种,以其色彩鲜明起到提高行车安全、美观驾驶环境等作用。基于 MMA 胶结料组成和作用机理,对交联树脂和单体等组分的选用及作用体系进行了分析;采用控制变量法,对各组分(颜料,填料,细集料,骨料)不同用量下混合料的性能进行了试验对比,以拉伸强度、断裂伸长率、流动性及耐磨耗性能等作为评价依据。研究表明:MMA 胶结料 R5-4(脂肪族聚氨酯型)性能最佳;推荐混合料组成为:MMA 胶结料 23%、填料(轻质碳酸钙)21.6%、颜料(氧化铁红)1.4%、石英砂 24%、彩色陶瓷颗粒 30%。试验证实其耐磨耗性、低温抗裂及耐碱性均较好,具有一定的推广应用价值。

关键词:MMA; 彩色抗滑薄层; 混合料设计

彩色路面是一种功能性路面,以其色彩鲜明起到提高行车安全、驾驶环境美观等作用,CECS G XXX:201X《彩色路面技术规程》(征求意见稿)将其分为彩色水泥路面、彩色沥青路面和彩色高分子聚合物路面,其中,彩色聚合物薄层防滑路面是采用高分子聚合物胶结料与各种粒径的骨料、其他助剂等涂敷于各种路面形成的以防滑功能为主的路面。规程所指高分子聚合物即为广义浅色胶结料,中国国内已有此方面研究及应用,并且此种做法目前受到世界各国的推崇。邢磊基于高分子化学及高分子物理选定胶结料制备原料,并分析相互作用机理,提出了制备工艺及参数;张恺提出在传统彩色沥青路面表面喷洒一层热固型丙烯酸树脂封层可提高路面抵抗轮胎痕迹残留及色彩耐久性;李强等采用正交试验对胶结料进行改性处理,以断裂韧性、拉拔强度及断裂延伸率衰减率作为评价指标,提出了适用的胶结料组成。MMA(甲基丙烯酸甲酯)材料是以 MMA 树脂为主要原料,配以 MMA、EHA 等反应性单体及其他助剂调配而成,其在工业上应用成熟,作为胶结料在北京平谷区胡关路、南宁市快速公交彩色防滑铺装等工程应用效果较好,但其应用于彩色路面尚不成熟,无可参照的标准,该文从 MMA 胶结料原材料选取、研发以及抗滑薄层混合料设计等方面开展研究,旨在为 MMA 彩色抗滑薄层混合料的推

广应用提供一定的参考。

1 MMA 胶结料研发

1.1 交联树脂

因 MMA 胶结料聚合过程暴露于自然环境,为提高聚合物的耐热性、强度及耐油性,可将聚合物加工成具有三维网格的体型结构,或先将多官能团的大分子化合物通过自由基聚合,再将其作为原材料进行进一步的聚合。交联树脂通常含有至少两个以上的官能团,可以通过化学交联反应将多个小分子链连接起来,使线形结构的小分子聚合物转变成体型结构的大分子聚合物,显著改善聚合物的理化性能。MMA 胶结料采用自由基连锁聚合的方式固化,交联树脂中必须含有至少两个可参与聚合的双键结构,满足这一基本条件的树脂主要为不饱和聚酯或经聚酯等改性的不饱和聚酯,树脂的纯度、羟值、酸值、残留异氰酸值等因素对固化有着很大的影响,以下通过试验选择合适的交联树脂。

以黏度、低温柔韧性为参考指标,选取多种含有两个以上端双键的聚酯丙烯酸树脂和聚氨酯丙烯酸树脂进行对比试验,结果见表 1。

收稿日期:2020-03-12

基金项目:广东省交通厅 2013 年度科技计划项目(编号:科技-2013-02-013)

作者简介:施彦,男,硕士。E-mail:742963503@qq.com

* 通信作者:陈巧巧,女,硕士研究生。E-mail:528052126@qq.com

表 1 交联树脂指标对比

编号	类别	黏度/ [Pa·s/ (30℃) ⁻¹]	官能 度	低温柔 韧性 (-15℃)	相对 密度
R1	脂肪族聚酯型	8~16 ¹	2	有裂纹	1.05
R2	脂肪族聚酯型	3.5~7 ¹	2	有裂纹	1.08
R3	脂肪族聚醚型	3~4	2	无裂纹	1.02
R4	脂肪族聚碳酸酯型	3.5~5 ¹	2	有裂纹	1.07
R5	脂肪族聚氨酯型	40~60 ¹	2	无裂纹	1.13
R6	脂肪族聚氨酯型	20~40 ¹	2	无裂纹	1.12
R7	脂肪族聚氨酯型	30~40 ¹	3	无裂纹	1.09
R8	脂肪族聚氨酯型	25~40	3	有裂纹	1.13
R9	脂肪族聚氨酯型	9~14	3	有裂纹	1.18
R10	芳香族聚氨酯型	5~7 ¹	2	有裂纹	1.16

注:黏度右上角标注“1”的交联树脂因黏度太大,30℃时无法测试,故将测试温度提高到60℃。

从表1可以看出:大分子量的交联树脂黏度大,低温柔韧性好,故选择黏度较大、低温柔韧性较好的R5、R6、R7树脂进行后续的试验。

1.2 单体

交联树脂分子量、黏度高,对颜填料和骨料的浸润和分散能力有限,需要加入合适的(甲基)丙烯酸酯类配合。大分子聚酯型或聚氨酯型多官能度的丙烯酸酯价格昂贵,难以推广应用;而大部分工业级(甲基)丙烯酸酯单体具有很好的经济性,且适用性强,为增加胶结对颜填料及骨料的黏附性,可选择具有极性基团的甲基丙烯酸羟基酯单体。

1.3 引发体系

小分子单体或大分子量的交联树脂通过引发剂共价键均裂或异裂产生的自由基聚合,而MMA胶结料的聚合反应是在自然环境下进行的,温度相对较低且波动性较大,不足以使引发剂起作用,还应添加催化剂降低引发温度。因引发剂具有氧化性,对应的催化剂具有还原性,二者组成的引发体系称为氧化还原引发体系。MMA胶结料聚合引发体系属油溶性聚合体系,常用氧化还原引发体系有过氧化二苯甲酰/二甲基苯胺(BPO/DMA)、过氧化二苯甲酰/二甲基对甲苯胺(BPO/DMT)、过氧化物/烷基金属,而烷基金属化合物遇水容易分解,MMA彩色抗滑薄层的聚合固化过程是在大气环境中进行,不能排除少量或微量水分的干扰,故不宜选用过氧化物/烷基金属体系,以下通过固化试验对比BPO/DMA、BPO/DMT两种体系的效果。

选择一种交联树脂R6(R5、R6、R7属同类别,此处是对引发体系作比较,交联树脂非变量),以MMA为稀释单体,按1:1配制成基体树脂溶液,暂不考虑空气中的氧分子对表面固化状态和性能的影响。根据叔胺存在下BPO的分解机理,叔胺与BPO的理论比例为1:1(摩尔比)时,BPO即可完全分解,因而以0.2为步长选择1:0.8、1:1.0、1:1.2、1:1.4、1:1.6共5种比例进行试验分析。试验结果如图1~4所示。BPO掺量取0.8%~1.6%(步长0.2%)。

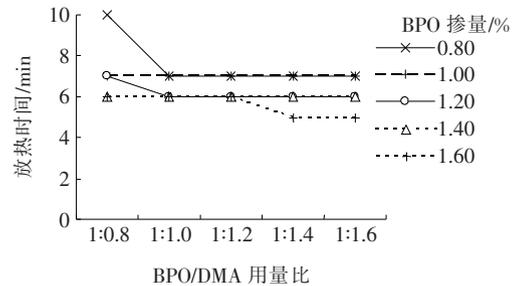


图 1 放热时间与 BPO/DMA 用量比的关系

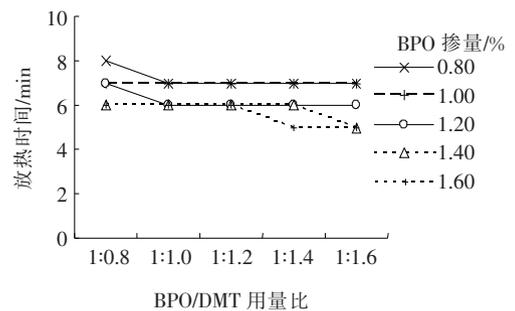
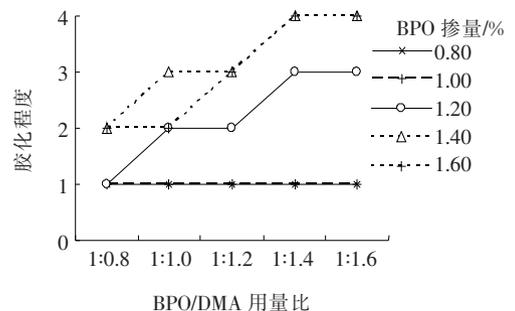


图 2 放热时间与 BPO/DMT 用量比的关系



注:胶化程度1、2、3、4分别表示部分胶化变稠、胶化程度提高、胶化程度较高、固化,数值仅对胶化程度做区分,无绝对大小关系。

图 3 胶化程度与 BPO/DMA 用量比的关系

从图3、4可以看出:BPO/DMA体系与BPO/DMT体系引发效果相似,但BPO/DMT体系固化速度更快。

为满足快速固化,且具备一定可操作时间的要求,故确定引发体系时需兼顾放热及固化时间,选择摩尔

比为1:1.4、BPO添加量为1.4%,对不同温度下基体树脂进行固化试验。试验结果如图5、6所示。

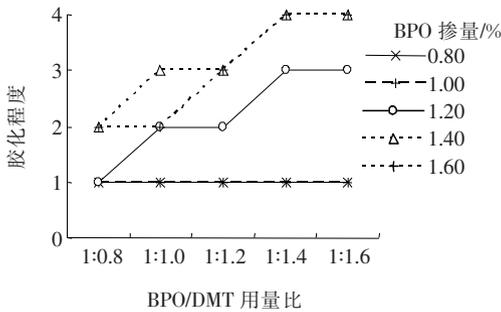


图4 胶化程度与BPO/DMT用量比的关系

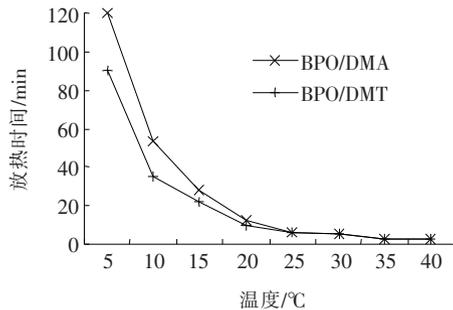


图5 开始放热时间与温度的关系

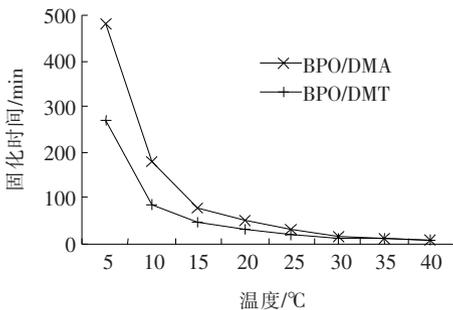


图6 固化时间与温度的关系

由图5、6可以看出:在温度较高时,BPO/DMA体系与BPO/DMT体系差别不大,但温度较低时,BPO/DMT体系引发效率要高得多,因而考虑选择BPO/DMT引发体系。

1.4 阻氧体系

通常情况下,氧气分子为三线态,相当于具有双自由基,可与自由基的聚合反应争夺并消耗自由基,阻碍聚合反应的进行。降低氧分子对自由基聚合过程的影响,主要有化学方法和物理方法。

(1) 化学方法

加入可与氧气反应或络合的物质,消耗溶于单体中的氧分子。研究发现位阻胺、位阻酚能提供活性氢,抑制氧分子过氧化自由基。另外还可加入具有“气干

性”官能团物质,如甘油的丙烯基醚、烯丁基醚、羟丁基醚等,其中的羟基或醚键络合溶于单体中的氧分子,而其自身的双键又可参与自由基聚合反应。

采用化学方法,增加了胶结料配方的难度,而且各种助剂受用途的限制,工业化生产规模较小,成本高,实用性不强。

(2) 物理方法

在单体中加入某种或某些物质,聚合反应发生时,该物质浮在表面阻隔氧气,因而,阻氧物质在单体中应具有良好的分散性,密度较小而能快速迁移至与空气分隔的表面,形成一层膜发挥阻氧作用。涂料工业上常采用石蜡,通过添加适量合适熔点的石蜡实现这一目标;熔点过高,则石蜡不能很好地溶于胶结料中,易结晶析出;熔点过低,则不易形成蜡膜。因而,以0.1%、0.3%、0.5%添加量,对不同熔点石蜡的阻氧作用进行分析,结果见表2。

表2 不同熔点石蜡阻氧作用对比

熔点/ ℃	添加 量/%	表层固化 情况	表面状态
液体 石蜡	0.1	不固化	呈蜡油形态
	0.3	不固化	呈蜡油形态
	0.5	不固化	呈蜡油形态
52	0.1	固化不彻底	呈不干胶状
	0.3	固化不彻底	呈不干胶状
	0.5	固化不彻底	呈不干胶状,透明度降低
56	0.1	固化不彻底	呈不干胶状
	0.3	固化彻底	不黏手,用纸压在上面不黏纸
	0.5	固化彻底	不黏手,用纸压在上面不黏纸, 但透明度降低
60	0.1	固化不彻底	呈不干胶状
	0.3	固化彻底	不黏手,表面有龟纹, 用纸压在上面不黏纸
	0.5	固化彻底	不黏手,用纸压在上面不黏纸, 但透明度降低
64	0.1	固化不彻底	呈不干胶状,石蜡结团
	0.3	固化不彻底	呈不干胶状,石蜡结团析出
	0.5	固化不彻底	呈不干胶状,石蜡结团析出

从表2可以看出:低熔点石蜡起不到有效的阻氧作用,而熔点过高则易析出,合适的石蜡熔点为56~60℃,尤以56℃最佳,故选择熔点为56℃的精制石蜡作为MMA胶结料的阻氧剂,添加量为0.3%。

1.5 缓聚剂

MMA 胶结料中的单体和不饱和树脂即使在没有引发剂的情况下也会发生缓慢自聚,导致材料胶化变质。此外,温度较高时聚合速度更快,为保证较高温度下胶结料具有合适的操作时间,需控制其早期的反应速度,以满足施工应用要求。因此,为使 MMA 胶结料具有良好的储存稳定性及合适的施工可操作时间,有必要加入适量的缓聚剂。

化学工业上常用的缓聚剂主要有酚类和醌类,而应用于不同的单体和不饱和树脂,缓聚剂效果不一,因而以下以常用于(甲基)丙烯酸酯的对苯二酚(HQ)、甲基氢醌(THQ)进行试验,研究缓聚剂对储存稳定性和可操作时间的影响。

仍以 R6 与 MMA 按照 1:1 比例配制的树脂溶液为基体,采用加速加热的试验方法,观察两种缓聚剂对存储稳定性的影响。在 250 mL 的锥形瓶中,加入 50 g 树脂溶液,分别加入不同种类、不同剂量的缓聚剂,用橡胶塞密封,并设置不加任何缓聚剂的空白对照组,置于 80 °C 的烘箱中,每隔 24 h 观察记录树脂溶液的状态变化,结果见表 3。

表 3 加缓聚剂树脂状态变化

时间/ h	空白 样	对苯二酚用量/ppm				甲基氢醌用量/ppm			
		100	200	300	400	100	200	300	400
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96	×	—	—	—	—	—	—	—	—
120	×	—	—	—	—	—	—	—	—
144	×	×	—	—	—	—	—	—	—
168	×	×	—	—	—	—	—	—	—

注:—表示状态无变化,×表示已变稠甚至胶化。

从表 3 可以看出:新加部分的缓聚剂对增加 MMA 树脂溶液的稳定性有积极的作用,甲基氢醌的缓聚效果优于对苯二酚,且对苯二酚有较大的毒性,因此,如需加入缓聚剂,优先选择甲基氢醌。

缓聚剂的添加量应以适当延长可操作时间,不影响胶结料固化为前提。以下以 R6 和 MMA 按 1:1 配制的树脂溶液为基体,添加 0.3% 熔点为 56 °C 的石蜡,以 BPO/DMT(摩尔比为 1:1.4)为引发体系,BPO 的添加量为 1.4%,研究甲基氢醌添加量对聚合反应的影响,确定缓聚剂甲基氢醌的合适用量。试验结果见图 7、8。

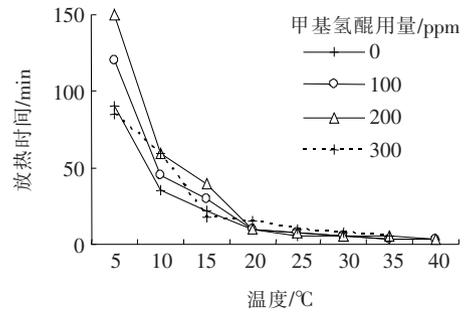


图 7 不同缓聚剂用量下,开始放热时间与温度的关系

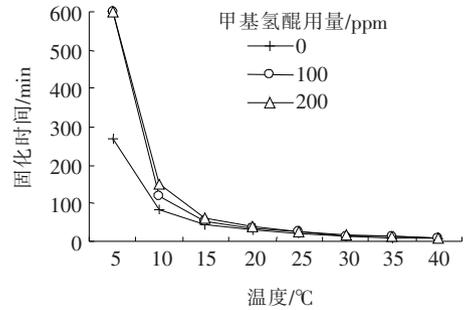


图 8 不同缓聚剂用量下,固化时间与温度的关系

图 8 中:缓聚剂用量为 300 ppm 时,胶结料不固化或固化不彻底,故图中无该条曲线。

从图 8 可以看出:以不影响最终固化为前提,缓聚剂用量不宜超过 200 ppm;低温季节可不添加,高温季节可添加适量的甲基氢醌以延长 MMA 胶结料的储存稳定性和施工可操作时间。

1.6 MMA 胶结料制备

MMA 胶结料应具有较好的柔韧性以抵抗温缩裂缝及荷载引起的裂缝,且 MMA 彩色薄层用于道路表面,应具有良好的耐磨性,MMA 胶结料的耐磨性应与骨料的耐磨性匹配。根据经验,胶结料的耐磨性与强度呈正相关,强度大的胶结料耐磨性更好,因此胶结料的选择要兼顾强度和柔韧性。

以黏度较大的交联树脂 R5、R6、R7 与(甲基)丙烯酸酯单体按照 1:1 左右的比例配制不同基体树脂溶液,添加 0.3% 熔点为 56 °C 的石蜡,采用 BPO/DMT 引发体系,BPO 添加量为 1.4%,参照规范进行拉伸性能和低温柔性测试。测试结果见表 4。

从表 4 可以看出:R5 配制的试样具有较好的拉伸性能和低温柔韧性;R6 与 R5 相比,具有相同官能度,属同类型树脂,R6 黏度较小,分子量较小,交联密度较高,柔韧性相对较低;R7 平均每个分子含有 3 个可参与聚合的双键官能团,交联密度更大,因而柔韧性好于 R5、R6。在满足强度的前提下,选择柔韧性较好的胶

结料 R5-4。

表4 不同交联树脂 MMA 胶结料性能对比

类型	编号	拉伸强度/MPa	断裂延伸率/%	低温柔韧性(-15℃)
	规范规定	≥10	≥130	无裂纹
R5	R5-1	26.85	85.39	有裂纹
	R5-2	21.36	132.71	有裂纹
	R5-3	17.23	172.52	无裂纹
	R5-4	14.17	258.63	无裂纹
R6	R6-1	24.32	63.46	有裂纹
	R6-2	19.57	108.62	有裂纹
	R6-3	15.96	138.74	无裂纹
	R6-4	12.34	212.51	无裂纹
R7	R7-1	29.15	43.83	有裂纹
	R7-2	23.49	72.14	有裂纹
	R7-3	16.82	132.32	有裂纹
	R7-4	11.13	183.76	无裂纹

2 MMA 彩色抗滑薄层混合料设计

2.1 原材料选择

2.1.1 填料

填料的加入可起到改善 MMA 胶结料的力学强度,减少固化体积收缩,调节稠度等作用,因 MMA 彩色抗滑薄层胶结料的特殊性和色彩的特点,要求填料具有以下特性:

- (1) 较高的白度和着色力,易于颜料的着色。
- (2) 颗粒细腻且均匀,吸油率较高,利于调节胶结料的稠度。
- (3) 纯度较高,以免影响胶结料的聚合固化反应。
- (4) 填料在胶结料中沉降速度较小,减少离析。
- (5) 便于取材,价格低廉。

普通混凝土常用填料如矿粉、粉煤灰、磨细矿渣粉等不能满足 MMA 彩色抗滑薄层对填料性能的要求,考虑几种工业常用填料,理化性能指标如表 5 所示。

表 5 中 4 种填料都具有较好的着色力。根据斯托克斯理论,颗粒在溶液中的沉降速度与颗粒的密度成正比,为减少离析,应选择密度较小的填料。轻质碳酸钙有效 CaCO_3 含量可达 98% 以上,白度较高,颗粒细度较高,通过对比,选择目数为 180~240 的轻质碳酸钙作为 MMA 胶结料的填料。

表5 几种工业常用填料理化性能指标

材料名称	外观	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	吸油量/%
二氧化钛(TiO_2)	白色粉末	3.8~4.2	16~26
硫酸钡(BaSO_4)	白色无定型粉末	4.2~4.5	10~15
重质碳酸钙(CaCO_3)	白色粉末或无色晶体	2.7~2.9	13~21
轻质碳酸钙(CaCO_3)	白色粉末或无色晶体	2.5~2.65	30~45

2.1.2 颜料

根据化学组成,颜料分为有机颜料和无机颜料两大类。有机颜料色泽鲜艳,颜色齐全,密度相对较小,但热稳定性和光稳定性较差,色彩持久性较差;无机颜料具有优良的热稳定性、光稳定性及较好的遮盖力,且生产工艺比较成熟,大多产品价格低廉。目前工程行业所用颜料以无机颜料为主,常用的无机颜料有铁蓝、氧化铁红、氧化铁绿、铬绿、铬黄等。此次采用氧化铁红作为颜料,性能指标如表 6 所示。

表6 氧化铁红性能指标

指标	单位	测试结果	指标要求
外观		粉末	粉末
水溶物含量	%	0.3	≤1
着色率		100~102	98~102
吸油量	%	15~18	≤22
筛余量(0.075 mm 筛孔)	%	0.5	≤1

2.1.3 细集料

MMA 彩色抗滑薄层混合料要求细集料应具备以下特点:

- (1) 颜色浅,减少对 MMA 抗滑薄层色彩的影响;纯度高,减少杂质对胶结料聚合的影响。
- (2) 坚固性较好,粒径介于填料和骨料之间,起过渡和稳定骨料的作用,以保证 MMA 彩色抗滑薄层的强度。

综合考虑,选择 40~70 目天然石英砂,具体性能指标见表 7。

2.1.4 耐磨骨料

为保证 MMA 彩色抗滑薄层外观均匀一致,应选择单一粒径的骨料;同时为使其色彩持久,避免使用后期因表面胶结料磨耗而显露骨料本身的颜色,影响色彩均匀性,考虑选择与彩色抗滑薄层设计颜色相同或相近的有色骨料。

表 7 天然石英砂技术性能指标

项目	单位	技术指标	要求
表观相对密度		2.65	≥ 2.50
坚固性(>0.3 mm 部分)	%	3.27	≤ 12
含泥量(小于 0.075 mm 的含量)	%	0.85	≤ 3
砂当量(不小于)	%	92.54	≥ 60
棱角性(流动时间)	s	36.13	≥ 30

彩色集料分为天然彩色集料和人造彩色集料。天然彩色集料质地坚硬,耐磨性较好,但颜色较暗淡,色彩不均匀,难与 MMA 彩色抗滑薄层颜色匹配。彩色陶瓷颗粒为人工烧制,颜色可依据需求调节,力学性能与天然彩色集料相当。参考沥青路面的铺装厚度一般为集料最大公称粒径的 2~3 倍,并考虑提高抗滑性能,选择粒径为 1~2 mm 的彩色陶瓷颗粒。

2.2 原材料用量

2.2.1 颜、填料添加比例

从节约成本的角度考虑,应尽可能提高填料的添加比例,但填料用量过高势必影响 MMA 胶结料的力学性能,以下通过试验确定填料的用量。

取颜、填料和 MMA 胶结料的总质量为 100 g,颜料的用量始终为总质量的 3%,颜填料用量取 20%~70%,步长为 10%,进行试验,测试 MMA 胶结料的拉伸强度和断裂伸长率,结果如表 8 所示。

表 8 不同颜填料用量 MMA 胶结料性能对比

序号	填料、颜料 质量比/%	胶结料质 量比/%	拉伸强 度/MPa	断裂伸长 率/%
1	20	80	13.84	247.42
2	30	70	15.67	223.53
3	40	60	16.94	183.72
4	50	50	17.63	68.23
5	60	40	17.92	4.24
6	70	30	8.72	1.38

从表 8 可以看出:

(1) 随着填料用量增加, MMA 胶结料的拉伸强度缓慢增长,至 60% 拉伸强度急剧下降,这是因为,在填料比例到达极限之前,填料完全被胶结料缠绕和包裹,一定程度上增加了 MMA 胶结料的拉伸强度,而当填料添加量超过一定比例,填料与填料之间无法被胶结料完全填充而不能形成有效的黏结,故而拉伸强度急剧下降。

(2) 断裂伸长率随填料用量的增加而下降,下降速率先增大后减小。这是因为,随着填料用量的增加, MMA 胶结料中大分子链段间的交织密度以及大分子链段与 CaCO_3 之间的缠绕密度都会增加,导致 MMA 胶结料柔韧性降低;当颜填料用量为 50% 左右出现饱和, MMA 胶结料呈现出最高的拉伸强度和较低的断裂伸长率;颜填料用量达到 70% 时,胶结料出现完全的脆性。

CJJ/T 218-2014《城市道路彩色沥青混凝土路面技术规程》规定胶结料应满足拉伸强度 ≥ 6 MPa,断裂伸长率 $\geq 20\%$ 的技术要求,因而确定颜填料添加比例为 50%。对胶结料进行黏结性能和剪切性能测试,结果见表 9。

表 9 颜填料用量 50% 胶结料技术性能指标

项目	黏结强度/MPa			剪切强度/MPa		
测试结果	3.39	3.28	4.10	5.63	7.32	6.84
指标要求	≥ 2.5			≥ 2.5		
试验方法	AT 黏附力测试仪			GB/T7124		

添加了颜填料的胶结料黏结性能和剪切性能均能满足要求,因而,确定颜填料添加比例为 50% 合适。

2.2.2 细集料用量

添加细集料的主要目的是增加 MMA 胶结料的稠度,进一步稳定骨料,减少混合料的离析,用量太少达不到预期目的,添加过多会影响混合料的施工和易性。因中国对混合料类彩色路面的施工和易性尚未形成统一的规范,参考《半柔性路面应用技术指南》中对水泥基砂浆流动度的性能指标要求确定合适的细集料添加量。由于细集料的添加比例无合适的参考范围,故采取试配的方式,取细集料的添加比例为胶结料砂浆的 20%~50%,梯度为 5%,试验结果如图 9 所示。

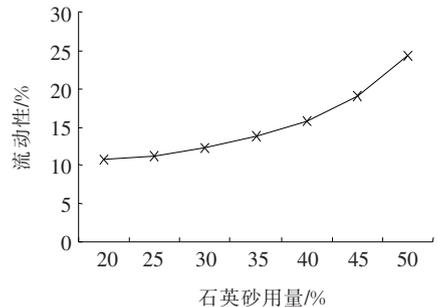


图 9 流动性与石英砂用量的关系

胶结料砂浆流动性随石英砂用量的增加呈上升的趋势,且上升速率逐渐增长,为更好地稳定骨料,减少

离析,同时保证MMA彩色抗滑薄层铺装的厚度,应选择稠度较大的胶结料砂浆,确定细集料用量为35%。

2.2.3 骨料用量

研究以MMA彩色抗滑薄层固化后的构造深度、BPN摆值、磨耗损失以及美观性来控制骨料的用量。以骨料占混合料20%、25%、30%、35%、40%、45%进

行试验,取混合料总质量为1 000 g,搅拌均匀后摊铺在滚涂有底漆的AC-10车辙板上,待其固化后滚涂面漆,测试构造深度和摆值;制备湿轮磨耗试件进行浸水1 h磨耗试验,测试其抗磨耗性能,参照JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0752-1计算得到最大允许磨耗损失为16.62 g。结果如表10所示。

表10 不同骨料用量混合料性能对比

骨料用量/%	构造深度/mm	BPN摆值	磨耗损失/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	表观
20	0.65	57	8.4	表观骨料分布均匀,但密度较稀,表面较为光滑
25	0.71	61	10.3	表观骨料分布较为均匀,表面稍显粗糙
30	0.79	65	12.7	表观骨料分布均匀,表面较为粗糙
35	0.96	63	17.3	表观骨料局部出现重叠,表面粗糙但不太均匀
40	1.06	66	21.8	骨料发生重叠,形成一定构造深度,表面粗糙但不均匀
45	1.13	68	26.4	骨料产生堆积,难以刮平,表面较为粗糙但较为松散

从表10可以看出:MMA彩色抗滑薄层的构造深度、摆值和磨耗损失随着骨料用量的增加均呈增大的趋势,且都在30%左右增长情况出现变化。究其原因,骨料用量达到30%之前,胶结料对骨料形成良好的包裹,并随着骨料用量的增加,性能提高;用量超过30%以后,骨料开始出现富余,在用量为35%时,抗滑薄层表面局部出现骨料的重叠,胶结料不能对重叠的骨料形成良好的包裹,重叠的骨料虽能在抗滑层表面形成一定的构造深度,但相对比较孤立,摆值下降,构造深度和磨耗损失增长速率增大;随着骨料用量进一步增大,摆值和构造深度呈现较平稳的增长,而磨耗损失增长较快。

基于试验数据及以上分析,经换算最终确定混合料中各组分比例为:MMA胶结料23%、填料21.6%、颜料1.4%、石英砂24%、彩色陶瓷颗粒30%。

3 MMA混合料其他路用性能

参照CJJ/T 218-2014《城市道路彩色沥青混凝土路面技术规程》对冷涂型单组分彩色涂料的技术要求,对MMA彩色抗滑薄层进行路用性能测试。

3.1 低温抗裂性

将制备好的3块涂层放置24 h后,置于(-10±2)℃保持4 h,取出后室温放置4 h为一个循环,3个循环后用5倍放大镜观察其表面应无裂纹。结果表

明:试件经3次循环,并未发现有裂纹出现。

3.2 耐碱性

将制备好的3块涂层放置24 h后,置于pH值为12~13的氢氧化钠饱和溶液中,室温下浸泡24 h,取出后清水冲洗干净,自然状态下干燥24 h,目测其表面应无裂纹、无骨料颗粒脱落等现象。结果表明:试件经以上处理后,未发现有裂纹和骨料脱落。

4 结论

该文基于MMA胶结料组成及作用机理对各组分的选用进行了分析。采用控制变量法,对各组分不同用量下混合料的性能进行试验对比,得出如下结论:

(1) 制备得到了性能最佳MMA胶结料R5-4,其抗拉强度为14.17 MPa,满足要求(≥ 10 MPa),柔韧性较好(断裂延伸率258.63%、-15℃无裂纹),具体组成为:以黏度较大的交联树脂R5(脂肪族聚氨酯型)与(甲基)丙烯酸酯单体按照1:1配制成基体树脂溶液,添加0.3%熔点为56℃的石蜡,采用BPO/DMT引发体系,BPO添加量为1.4%。

(2) 提出性能较好、性价比高的混合料组成:MMA胶结料23%、填料(轻质碳酸钙)21.6%、颜料(氧化铁红)1.4%、石英砂24%、彩色陶瓷颗粒30%,并测试了其路用性能,耐磨耗性、低温抗裂性及耐碱性均满足要求。