

# 基于树脂载体的收费站彩色薄层罩面应用研究

钱喜红<sup>1</sup>, 张辉<sup>2</sup>, 张皓东<sup>2</sup>, 李娣<sup>2</sup>

(1.苏州交通工程试验检测中心有限公司, 江苏 苏州 215007; 2.江苏中路工程技术研究院有限公司)

**摘要:** 该文提出一种高抗剪、耐磨耗、易清洁、视觉佳的彩色树脂薄层罩面方案,由渗透性树脂+改性环氧树脂+陶瓷颗粒/金刚砂+彩色树脂封层组成。通过断裂拉伸试验、拉拔试验、莫氏硬度等试验对彩色薄层罩面不同材料性能进行研究。结果显示:渗透性环氧树脂渗透性为39 mm,25℃拉拔强度为4.21 MPa,可愈合收费站水泥路面微裂缝,与水泥混凝土表面具有良好的黏结强度;改性环氧树脂拉伸强度达到14.7 MPa,断裂延伸率为125%,与钢板的拉拔强度最高,具有强度高、变形性能好的特点;金刚砂和陶瓷颗粒硬度都较高,内部结构致密,吸水率低,防水效果好;1~2 mm陶粒罩面受油污影响最大,摩擦系数降低了31.4%,其次是2~3 mm陶粒罩面,最后是3~5 mm金刚砂罩面,粒径越大,越易清洁,并且从外观来看,彩色树脂封层的抗污效果要优于抗油性材料封层、彩色树脂+抗油性材料复合式封层。

**关键词:** 收费站; 彩色薄层罩面; 树脂; 硬质骨料; 易清洁; 色彩

收费站是高速公路重要的关键节点,但由于长期处于车辆混行的状态,并且收费道口车辆频繁制动,存在较大的安全隐患。近年来,彩色树脂薄层罩面逐渐应用于高速公路收费道口,以涂层式方案为主,主要载体材料包括MMA、聚氨酯类、环氧树脂类等,硬质骨料包括陶瓷颗粒、石英砂、玄武岩、铝矾土等,形成了“树脂载体+硬质骨料”典型方案。

中国国内对于彩色薄层罩面的研究主要是对树脂载体和骨料性能开展试验研究,针对中国气候环境复杂多变,对环氧树脂进行复合改性处理,通过聚氨酯改性技术提高环氧树脂的抗紫外老化性能,对部分硬质骨料性能进行比选研究,同时部分学者也对尾气降解型彩色树脂罩面开展相关研究,得到了一系列研究成果。但以上研究均未针对收费站道口特点开展适用性研究,收费站道口由于采用水泥混凝土路面,往往存在微裂缝,简单套用“树脂载体+硬质骨料”方案,会引起薄层罩面界面黏结性能不足,甚至会引起反射裂缝。并且收费站道口由于其自身的交通特征,采用常规薄层罩面会存在以下问题:① 车辆频繁制动,存在抗剪切性能不足、耐磨耗性能不足的问题;② 收费站轮胎磨损及油污严重,彩色树脂薄层罩面在使用不久后就出现轮迹印及油斑污染等问题,清洗难度大,影响收费

站整体美观性和抗滑性能;③ 收费站道口配色体系不同,不同类型车道色彩研究尚处于空白阶段,存在交通诱导混乱现象。

该文通过分析不同树脂载体性能、硬质骨料性能、易清洁型面封材料性能以及不同色彩的视觉感知,提出一种适用于收费站道口的高抗剪、耐磨耗、易清洁、视觉佳的彩色树脂薄层罩面方案,由渗透性树脂+改性环氧树脂+陶瓷颗粒/金刚砂+彩色树脂封层组成。分别采用断裂拉伸试验、拉拔试验、莫氏硬度试验等对收费站彩色树脂薄层罩面不同材料性能开展评价,同时对采用不同粒径与不同硬质骨料的彩色薄层罩面抗滑性能、耐磨耗性能进行评价,以解决收费站彩色薄层罩面抗剪切性能不足、耐磨耗性能不足、不易清洁等问题。

## 1 试验方法

### 1.1 试验材料

树脂载体除采用市面上MMA类、聚氨酯类、环氧类,还包括江苏中路交通科学技术有限公司产渗透性环氧树脂、改性环氧树脂;硬质骨料采用天然彩砂、人造彩色石英砂、彩色硬质陶瓷颗粒、金刚砂;易清洁型面封材

收稿日期:2019-07-01

基金项目:江苏省自然科学基金青年基金资助项目(编号:BK20180113),江苏省自然科学基金资助项目(编号:BK20181112)

作者简介:钱喜红,女,高级工程师。

料包括单组分水性抗油材料、疏油性彩色树脂。

## 1.2 试验方法

(1) 参照 GB 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》,采用断裂拉伸试验对树脂的强度与变形性能进行评价。

测试方法:制备树脂哑铃状试件,23℃养生,待固化后测定试件拉伸强度和断裂延伸率。

(2) 参照 GBT 5210—2006《色漆和清漆 拉开法附着力试验》进行树脂载体和钢板、水泥混凝土的黏结性能评价,采用附着力拉拔试验评价材料的黏结强度。

测试方法:将树脂均匀地施涂于钢板、水泥混凝土表面,将试柱置于树脂载体上,23℃同条件养生。待树脂固化后,测出树脂与钢板、水泥混凝土层间所需拉力。

(3) 参照 DIN EN 15771—2010《玻璃和搪瓷.表面划痕莫氏硬度标准测试法》,对硬质骨料的莫氏硬度进行评价。

测试方法:将硬质骨料与规定的10类不同硬度的矿物进行刻痕,从而确定硬度。

(4) 参照 DB32/T 3292—2017《大跨径桥梁钢桥面环氧沥青混凝土铺装养护技术规程》,对树脂的渗透性进行评价。

测试方法:称取280g单粒径标准砂装入容器中,高度 $(54\pm 0.5)$ mm。在距离量杯口3cm高度处,向砂样中心缓缓倒入80g树脂,23℃静置8h后,收集未凝结的标准砂,采用天平称量未凝结砂样质量 $M$ 。

$$H = 54 - \frac{M}{S\rho} \quad (1)$$

式中: $H$ 为渗透深度; $M$ 为未凝结砂样质量(g); $S$ 为容器的截面积,取 $3\,056\text{ mm}^2$ ; $\rho$ 为砂样的堆积密度,取 $1.7\text{ g/cm}^3$ 。

(5) 在彩色薄层罩面上均匀刷涂由废弃汽油、柴油以及机油混合而成的油污,放置1d。同时采用QW917油污清洁剂清理路面上重油污、积碳、油脂、石蜡、染料、霉斑等污物。油污清洁剂经兑水2~3倍后均匀喷洒在油污表面,静置3~5min,用清水冲洗。参照 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》,对油污清洁前后的摩擦系数进行试验,评价油污状态下罩面的抗滑性能和油污清洁后的罩面抗滑性能。

## 1.3 性能指标

树脂载体、硬质骨料的性能指标参照 T/CHTS 10006—2018《公路路面彩色聚氨酯及改性环氧树脂表面处治技术指南》。

## 2 结果讨论与分析

### 2.1 彩色树脂载体材料性能分析

#### (1) 渗透性树脂底层

分别对渗透性环氧树脂的渗透性、黏度、黏结强度、拉拔强度进行试验,评价其应用于收费站水泥混凝土路面的适用性。试验结果如下:渗透性环氧树脂渗透性为39mm,而耐候性树脂只有13mm,可渗透愈合水泥路面微裂缝;23℃初始黏度为 $0.8\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,施工和易性好;25℃拉拔强度为 $4.21\text{ MPa}$ ,且断裂面在水泥混凝土内部,与水泥混凝土表面具有良好的黏结强度。

#### (2) 彩色树脂涂层

分别对环氧类、MMA类、聚氨酯类、改性环氧类彩色树脂拉伸强度和断裂延伸率进行试验研究,试验结果见图1、2。环氧类2彩色树脂的拉伸强度最高( $19.43\text{ MPa}$ ),但是其变形性能也最差,断裂延伸率35%;MMA变形能力强,断裂延伸率达到685%,但是其拉伸强度较低( $2.76\text{ MPa}$ );聚氨酯类拉伸强度较低( $2.56\text{ MPa}$ ),变形能力也一般,断裂延伸率为107%;3种彩色树脂均难以满足收费站彩色薄层罩面的功能需求。改性环氧树脂和环氧类1综合性能较好,其中改性环氧树脂拉伸强度达到 $14.7\text{ MPa}$ ,断裂延伸率最高,达125%。

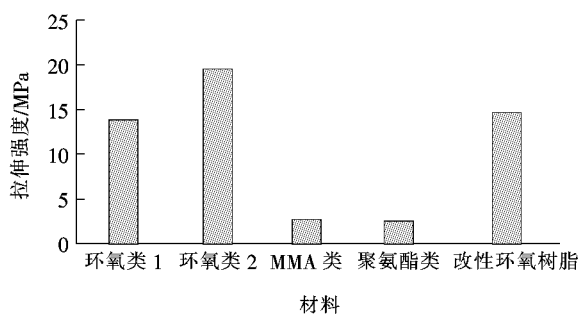


图1 各类彩色树脂拉伸强度

采用拉拔试验对各类彩色树脂与钢板及水泥混凝土表面的黏结性能进行评价。评价各类彩色树脂与水泥混凝土表面的黏结性能时,在水泥混凝土表面刷涂高渗透性树脂,涂布量为 $0.5\text{ kg/m}^2$ ,再进行拉拔试验。试验结果如图3、4所示。由图3、4可知:①改性环氧树脂与钢板的黏结力最高,其次是环氧类1,分别为 $13.03$ 、 $12.34\text{ MPa}$ ,远高于其他几种树脂胶黏剂,且拉脱形式为界面脱落,说明其内部黏结强度高,抵抗破坏能力强;②改性环氧树脂与水泥混凝土表面的黏结力最高,为 $2.69\text{ MPa}$ ;其次是环氧类,分别为 $2.64$ 、 $2.52$

MPa;最后是聚氨酯类,为1.75 MPa。尽管彩色树脂与水泥混凝土表面的拉拔强度有所降低,但破坏形式仍是水泥混凝土内聚破坏。

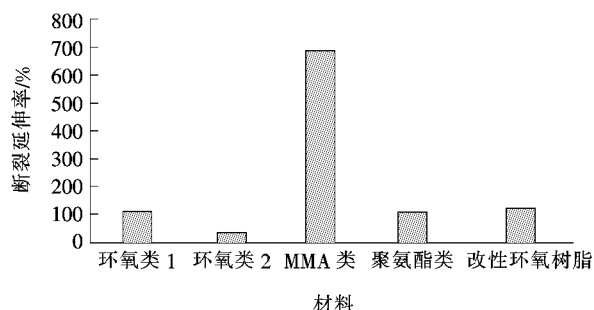


图 2 各类彩色树脂断裂延伸率

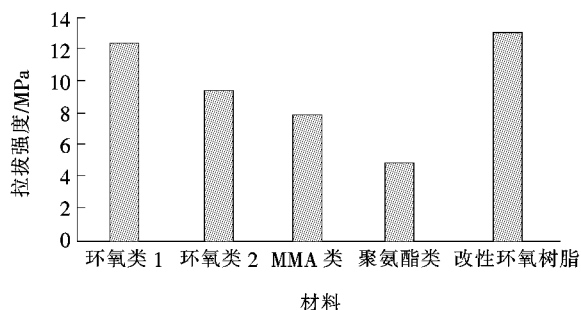


图 3 各类彩色树脂与钢板的黏结性能

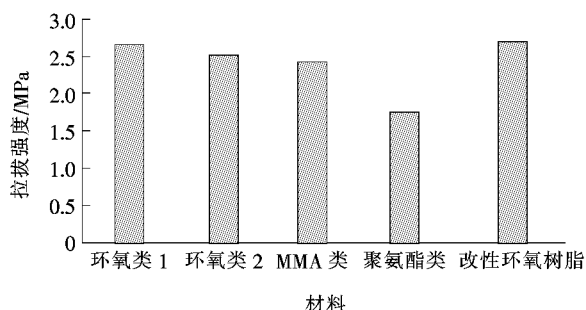


图 4 各类彩色树脂与水泥底层的黏结性能

综上所述,改性环氧树脂强度较高、变形能力优良、施工性能优良且封闭交通时间短,相比其他彩色树脂载体而言,更满足收费站彩色功能型路面的使用需求。

## 2.2 硬质骨料性能分析

分别对天然彩砂、人造石英砂、陶瓷颗粒、金刚砂 4 类硬质骨料进行莫氏硬度、吸水率试验。试验结果见图 5、6。由图 5、6 可知:金刚砂的硬度最高,达到 9.5;天然彩砂和人造彩色石英砂其次,硬度为 7;最后是陶瓷颗粒,硬度为 6。在吸水率方面,天然彩砂吸水率最高,1%;人造彩色石英砂其次,0.5%;陶瓷颗粒和金刚砂吸水率最低,分别为 0.07% 和 0.08%。因此,陶

瓷颗粒和金刚砂内部结构最为致密,防水效果更佳,可起到表面封闭的作用。

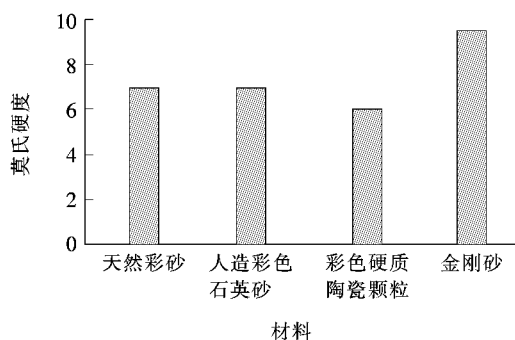


图 5 4 类硬质骨料的莫氏硬度

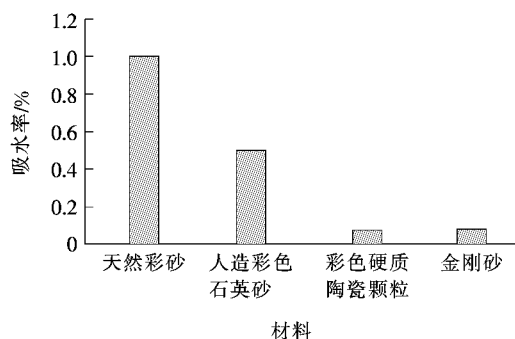


图 6 4 类硬质骨料的吸水率

## 2.3 易清洁型面封材料性能分析

分别对彩色薄层罩面无封层、抗油水性材料封层、彩色树脂+抗油水性材料复合式封层、彩色树脂封层开展耐油污与易清洁性能评价。在不同封层方案的罩面上均匀涂刷由废弃汽油、柴油以及机油混合而成的油污,放置 1 d,采用特制无污染 QW917 型油污清洁剂清洗。

从清洁后的效果来看,无封层的彩色罩面由于其构造大,油污渗入到构造中,经过油污清洁剂清洗后,构造里还残留大量油污;抗油水性材料未能在彩色罩面起到封层作用,罩面表面构造大,清理后表面与无封层方案效果相近;彩色树脂+抗油水性材料封层罩面清洗后,大部分油污被清理干净,不过有少量油污被罩面表面吸收,表面色泽有所下降;彩色树脂封层罩面清洗后,表面油污被清理得很干净,表面色彩保持鲜艳,清洁效果最好,主要是由于彩色树脂不亲油,罩面对油污没有吸附作用,同时树脂封闭了硬质骨料间的构造,形成新的不透水、不透油、无隐藏构造的表面。

采用摆式摩擦仪对罩面油污清洁前后抗滑性能进行评价,从而间接反映罩面油污清理效果。试验结果见表 1。

表 1 罩面油污清洁前后摩擦系数

罩面骨料	摩擦系数/BPN		摩擦系数下降率/%	清洁后摩擦系数/BPN	技术要求/BPN
	污染前	油污污染			
1~2 mm 陶粒	70	48	31.4	70	
2~3 mm 陶粒	74	56	24.3	74	≥60
3~5 mm 金刚砂	80	63	21.3	78	

由表 1 可知:选用 1~2 mm 陶粒制成的彩色薄层罩面受油污影响最大,摩擦系数下降了 31.4%;其次是 2~3 mm 陶粒制成的彩色薄层罩面,摩擦系数下降了 24.3%;最后是 3~5 mm 金刚砂制成的彩色薄层罩面,摩擦系数下降了 21.3%。说明彩色薄层罩面粒径越大,越易清洁。在清理后,彩色薄层罩面均恢复至污染前的摩擦系数,说明罩面表面油污均被清理干净。

2.4 彩色薄层罩面色彩分析

对于 ETC 车道,车辆可快速通过,车辆排队制动状况相比其他车道较少,但行车速度较快,对路面的视觉敏感性和驾乘人员的反应速度要求更高,因此,需要设置代表通行含义的绿色,一方面人对绿色的敏感程度最高,反应速度最快;另一方面,从间接性心理效应上看,绿色给人以安全的提示,常常代表通行的信号,如“红灯停,绿灯行”已成为驾驶员脑中的潜意识。

色彩是由色相、明度及饱和度 3 种基本属性组成。在设置 ETC 车道具体明度时,应考虑冷暖倾向。绿色亮度高时趋向冷色、低时趋向暖色,如图 7 所示,在保持色相和饱和度不变情况下(H 表示色相,S 代表饱和度,B 表示亮度),将绿色亮度降低,冷感明显较弱。因此,亮度不同,色彩给人的冷暖感觉不同。对于常年温度较高地区如厦门、广州,ETC 车道应采用亮度较高的绿色,显得清爽舒服,而对于北方寒冷地区如北京、哈尔滨应采用亮度较低的绿色,用暖色调和寒冷。

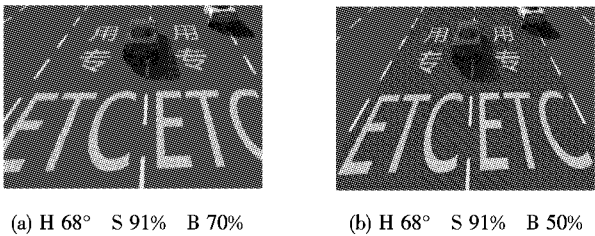


图 7 亮度降低,冷感减弱

超宽车道供危化品车、货车、集装箱车行驶,危险性较高,并且驾驶员需要夜间长途行驶,需要在收费站超宽车道设置鲜艳度较高的颜色刺激驾驶员的视觉,从而传达重要的交通信息。由于红色波长较长,衍射性较好,在夜间能起到较好的警示作用。另外,从间接

性心理效应上看,红色在人的潜意识中代表危险、停止、防火等含义。

红色属于暖色,长时间观看过强的暖色会感到疲劳、烦躁以及不舒适。如图 8 所示,图 8(a)红色色调观感最暖,饱和度也最高,明显给人以强烈的视觉刺激,无法长时间观看;图 8(b)红色饱和度降低至 180%,给人的视觉感受较为舒适,但也降低了地面标识的可读性。因此,超宽车道的色彩应注意对饱和度的调节,找到色调观感和地面标识可读性的平衡点,使得超宽车道的色彩可视性达到最佳。

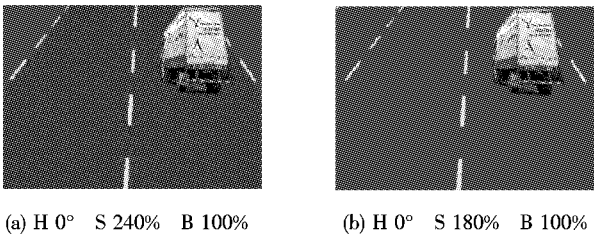


图 8 饱和度降低,观感上升

3 工程应用及经济性分析

依托江广高速改扩建工程,在 6 个收费站 13 个 ETC 车道应用树脂载体的彩色薄层罩面技术,目前已服役两年,总体效果良好,表面洁净,无明显油污。通过室内成型彩色罩面试件,对其构造深度、抗滑系数、耐磨耗性能进行试验评价。试验结果如表 2、3 所示。

表 2 彩色薄层罩面抗滑试验结果

项目	构造深度/mm	摩擦系数/BPN
1~2 mm 陶粒	0.82	70
2~3 mm 陶粒	1.04	74
2~3 mm 金刚砂	1.52	80
技术要求	≥0.8	≥60

注:试验方法:JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》。

由表 2 可知:采用 2~3 mm 金刚砂作为硬质骨料的薄层罩面摆值达到了 80 BPN,抗滑性能最好,1~2 mm 和 2~3 mm 陶粒作为硬质骨料的薄层罩面均达到了 70 BPN 以上,均满足 60 BPN 的规范要求。

采用湿轮磨耗试验,用橡胶磨耗头模拟车辆轮胎对路面的磨耗作用,通过磨耗值来评价 ETC 车道的彩色薄层罩面的耐磨耗性能,试验结果见表 3。由表 3 可知:采用粒径 2~3 mm 金刚砂作为骨料成型的树脂罩面磨耗损失比采用粒径 2~3 mm 陶瓷颗粒作为骨

料成型的树脂罩面磨耗损失减少 41.56%,说明金刚砂树脂罩面耐久性更佳。

表 3 湿轮磨耗试验结果

项目	(磨耗前试件 +油毛毡烘 干重量)/g	(磨耗后试件 +油毛毡烘 干重量)/g	磨耗值/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )
2~3 mm 彩色树脂罩面	408.67	407.90	22.64
2~3 mm 金刚砂罩面	474.51	474.06	13.23

传统意义上的经济最优方案,一般是指初期建造费用最低。然而,某些方案可能建造费用很低,但运营期间的维修费用和频率很高,导致使用期内的总费用极高,同时频繁维修也会对收费站交通造成不利影响,影响社会效益。目前国内外主要采用全寿命成本分析方法分析工程费用。

当收费站道口路面采用彩浆封层时,使用寿命为 10 年。初期建设综合单价约为  $160 \text{ 元}/\text{m}^2$ ,13 个 ETC 车道共  $6\,825 \text{ m}^2$ ,前 3 年不需保养,费用为 109.2 万元;第 4 年后,每年返修 10%,则彩浆封层修补费用为 76.44 万元;除此之外,彩浆封层不能有效封闭原路面裂缝,恢复路面结构强度,需对路面进行养护,养护成本约  $50\,000 \text{ 元}/\text{年}$ ,费用为 35 万元;彩浆封层全寿命建设周期费用总共为 220.64 万元,平均每年为 220.64 万元。

根据彩色树脂薄层罩面使用状况,使用寿命为 15 年。初期建设综合单价约为  $300 \text{ 元}/\text{m}^2$ ,13 个 ETC 车道共  $6\,825 \text{ m}^2$ ,前 5 年不需保养,费用为 204.75 万元;第 5 年后,每年返修 5%,不考虑路面抛丸和渗透性树脂费用,修补单价按  $250 \text{ 元}/\text{m}^2$ ,则费用为 85.3 万元;彩色树脂薄层罩面全寿命建设周期费用总共为 290 万元,平均每年为 19.4 万元。按江苏省 410 个收费站计算,共可节约资金 2 755 万元。

## 4 结论

提出一种彩色树脂薄层罩面方案,由渗透性树脂+改性环氧树脂+陶瓷颗粒/金刚砂+彩色树脂封层组成。分别采用断裂拉伸试验、拉拔试验、莫氏硬度试验等对彩色树脂薄层罩面不同材料性能进行研究,同时对不同粒径与不同硬质骨料的彩色薄层罩面抗滑性能、耐磨耗性能进行评价,主要结论如下:

(1) 渗透性环氧树脂,可愈合水泥路面微裂缝,与水泥混凝土表面具有良好的黏结强度;改性环氧树脂具有强度高、变形性能好、封闭交通时间短的特点,相比其他彩色树脂载体而言,更易满足收费站彩色路面的使用需求。

(2) 在 4 类硬质骨料中,金刚砂和陶瓷颗粒硬度都较高,并且两种材料吸水率都较低,内部结构较为致密,防水效果最佳,因此更适用于收费站彩色薄层罩面。

(3) 彩色薄层罩面抗污效果得益于表面封层是否易清洗,相比于抗油水性材料封层、彩色树脂+抗油水性材料封层,彩色树脂封层更易清洁。对比不同粒径的薄层罩面,1~2 mm 陶粒罩面受油污影响最大,摩擦系数降低了 31.4%,其次是 2~3 mm 陶粒罩面,最后是 3~5 mm 金刚砂罩面,粒径越小,越不易清洁。

(4) 考虑人眼对绿色敏感程度最高,反应速度最快,同时绿色给人以安全的提示,代表通行的信号,优选绿色作为收费站 ETC 车道配色;考虑超宽车道供危化品车、货车等行驶,危险性较高,应选用波长较长、衍射性较好、夜间起警示作用的红色。

## 参考文献:

- [1] 张志召.高速公路立交分合流区和收费站交通冲突研究[D].哈尔滨工业大学硕士学位论文,2014.
- [2] 吴晓武.高速公路收费站交通安全研究[D].长安大学硕士学位论文,2004.
- [3] 闫梦华,何欢,周围.水环境下常用沥青路面的摩擦试验研究[J].中外公路,2018(3).
- [4] 薛常龙,曹玉华,李长江,等.环境友好型彩色防滑路面材料研制与性能研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017(4).
- [5] 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(3).
- [6] 李娣,李烨,张辉.高速公路收费站彩色树脂薄层罩面技术[J].上海公路,2018(4).
- [7] 王兆林.冷涂型薄层彩色防滑路面性能及应用[J].城市道桥及防洪,2018(6).
- [8] 薛常龙,曹玉华,李长江,等.薄层彩色防滑路面应用技术的国内外研究进展与展望[J].公路交通科技(应用技术版),2017(3).
- [9] 张广泰,邓洋洋,叶奋.纳米  $\text{TiO}_2$  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(2).
- [10] 张翼.长大隧道路面多孔彩色冷拌环氧沥青混合料开发及性能研究[D].重庆交通大学博士学位论文,2017.