

大掺量橡胶沥青同步碎石封层的试验研究

余波, 宾路

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要: 将橡胶沥青中橡胶粉掺量提升的研究和应用愈发增多, 其中大掺量橡胶沥青适用于同步碎石封层的应用场景, 可有效起到应力吸收的功能性作用, 充分发挥大掺量胶粉具有优异弹性与疲劳特性的特点, 大掺量胶粉的橡胶沥青同步碎石封层以层间的抗剪性能为基础, 通过研究对比材料性能、用量及路用性能。研究将通理论法和力学-经验设计方法设计同步碎石下封层的配合比, 以层间抗剪强度为设计指标, 选取斜剪试验进行模拟, 进行大掺量橡胶沥青同步碎石封层材料的组成设计试验。并以普通掺量下即 18% 橡胶沥青制作碎石封层的性能对比, 以此为实现大掺量橡胶沥青在同步碎石封层中的应用, 解决半刚性基层反射裂缝的问题, 实现废旧轮胎的高质化、高效化再利用进行基础技术储备。试验结果显示: 基于力学-经验法或理论法均可以设计出性能更优良的大掺量橡胶沥青同步碎石封层, 两者差异不大, 相对 18% 橡胶沥青制作碎石封层, 大掺量橡胶沥青同步碎石封层具有很高的抗拉强度、抗剪强度和动稳定度。

关键词: 橡胶沥青; 碎石封层; 设计方法; 抗拉强度; 抗剪强度

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0245-04

0 引言

前期的工程实践和研究发现沥青路面上铺筑碎石封层可明显减缓沥青路面的老化速度和提高沥青路面的防水性。同时通过碎石封层增加路面的颗粒感提高路面的粗糙度, 从而提高了车辆在路面行驶中的抗滑能力, 加强了车辆的行驶安全^[1-2]。如今, 越来越多的碎石封层项目都选择橡胶沥青作为胶结料, 是因为它不仅增强了上下层间的粘结力, 还提高了路面的被雨水损坏的能力, 同时还具有良好的抗路面开裂的反射裂缝能力^[3-4]。

目前传统的胶粉改性沥青一般掺量都在 20% (内掺) 以下, 胶粉的利用率低, 而大掺量橡胶沥青是指沥青中的胶粉掺量 (外掺) 超过 30% 的胶粉改性沥青, 废旧橡胶粉的价格低廉, 提高胶粉掺量可以大大降低道路建设的成本, 加大胶粉掺量在解决了存储稳定性问题后能够得到较好的使用性能, 且可以得到非常好的经济性, 同时我们可以看到, 碎石封层对于橡胶沥青的稳定性要求较低, 将大掺量胶粉应用于同步碎石封层同样成为一种新的思路与方向^[5-7]。本次研究将通理论法和力学-经验设计方法

设计同步碎石下封层的配合比, 以层间抗剪强度为设计指标, 来进行大掺量橡胶沥青同步碎石封层材料的组成设计试验。并进行普通掺量下橡胶沥青制作碎石封层的性能对比, 以此为实现大掺量橡胶沥青在同步碎石封层中的应用, 解决半刚性基层反射裂缝的问题, 实现废旧轮胎的高质化、高效化再利用进行基础技术储备。

1 封层混合料设计

1.1 设计因素

沥青碎石封层是我们平时对道路进行预防和养护的最常用方式^[8], 本次研究通过提高橡胶沥青中的胶粉用量后得到的大掺量的橡胶粉改性沥青, 应用于碎石封层^[9], 为保持一致性, 本研究沿用了相关成熟的研究方法和试验设计。橡胶沥青碎石封层在我国现阶段并没有相关的设计规范, 因此沥青碎石封层设计将作为本次研究参照, 会出现结合料用量不准确的问题。首先此处列举出相关设计指标, 再用力学经验法去确定最佳沥青用量, 因素有如下数项。

(1) 材料选择: 首先要有足够的粘附性, 并且还拥有足够的硬度, 同时还能满足压碎值和磨耗值复合要求。碎石选择时, 应选择为单一级配 (不含粉料) 的碎石; 集料为类似立方体石料 (不含针片状)。

(2) 碎石用量: 初步拟定试验中碎石撒布率为 K, 计算试验中的碎石用量。

收稿日期: 2023-08-04

基金项目: 四川省交通运输科技项目 (2024-ZL-08)

作者简介: 余波 (1987—), 男, 本科, 助理工程师, 从事路面施工及研发工作。

(3)初始沥青用量:先测试出碎石物理参数,在结合碎石底层表面状况的数据,预估沥青初始用量 W_i 。

(4)抗剪试验测试:将不同沥青用量下的 5 组成型复合试件在 60℃的基础上,把沥青用量的中值设置为 W ,用 $\pm 15\%$ 和 $\pm 30\%$ 作为中值 W 的变化量参数,进行抗剪试验。通过试验确定最佳沥青用量为抗剪强度最大的沥青用量。

1.2 集料和沥青

本次研究中集料选用玄武岩碎石(规格为 5~10 mm 粒径),技术指标见表 1。用橡胶沥青作为结合料,然后参入 32%比例的 40 目胶粉,之后使用高速剪切机进行高速剪切和分散,并通过高温分散和加入稳定剂等措施使之分布均匀和存储稳定,技术指标见表 2。

表 1 集料的技术指标

试验项目	试验结果	试验方法
压碎值 /%	9.2	T0316-2005
洛杉矶磨耗损失 /%	10.9	T0317-2005
碎石毛体积密度 $/(t \cdot m^{-3})$	2.812	T0304-2005
碎石堆积密度 $/(t \cdot m^{-3})$	2.816	T0309-2005
针片状颗粒含量 /%	6.9	T0312-2005
与沥青的粘附性(水煮法)/级	4	T0616-1993

表 2 橡胶沥青的技术指标

检测项目	试验结果	试验方法
178℃黏度 $/(Pa \cdot s)$	5.9	T0619-2000
25℃针入度 /0.1 mm	46.2	T0604-2000
软化点 /℃	81.4	T0606-2000
5℃弹性恢复 /%	57.2	T0662-2000
5℃延度 /cm	4.3	T0605-1993
存储稳定性(5 h 软化点差)	3.2	T0606-2000

本次研究试验中将碎石封层的集料分为三档 0~4.75 mm、4.75~9.5 mm、9.5 mm 以上。因此限定住 4.75 mm 和 9.5 mm 两个筛孔的通过率即可。4.75 mm 通过率为 7.8%,9.5 mm 筛网通过率为 95.2%。

2 试验与对比

2.1 理论法设计

为验证采用何种设计方法更为精准,本次研究分为理论法和力学经验法,其中理论法设计源自碎石封层的设计方法。需先假定碎石的撒布率 K 值,这里先设为 75%,根据公式及集料指标的计算如下。

(1)碎石尺寸中值 $M_m=8.21$ mm;

(2)碎石平均尺寸;

$$(3)M_a = \frac{M_m}{1.139 \ 285} = 0.011 \ 506(FI) = 6.31 \text{ mm};$$

(4)松装碎石空隙率 $V=(1-P_s/P_t) \times 100=51.22\%$ 。

理论法的依据为室内试验的碎石无损失,暂估碎石用量 $W_a=11.42 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.2 理论法沥青用量

提出水泥稳定类或二灰等半刚性基层的表面状况的修正系数假设, $S=0.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,同时假设基于碎石表面存在大量的微空隙,其表面对沥青的吸收率为 1.2%,使得根据整个沥青表处层的 20% 被沥青包裹(集料高度的 80% 需要被埋入)的原则,则用理论法计算出的沥青用量, $W_h=1.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.3 力学经验法沥青用量的确定

由于本次大掺量橡胶沥青碎石封层拟用在层与层之间,其粘结性能是目标性能,因此采用力学试验去验证经验设计值,实验室模拟了沥青层与混凝土层之间的抗剪性能,采用了沥青混凝土试块作为辅助斜剪的试验方法。

试验中使用的半刚性基础为沥青混凝土块来模拟密封上方和下方的结构层。试验开始前先准备 AC13 沥青混凝土(规格:10 cm×10 cm×5 cm)一块,和相同规格的水泥混凝土试件一块,分别模拟沥青层和半刚性基层,然后将二者置入预先准备的斜剪试验试模(规格:10 cm×10 cm×10 cm)中。值得注意的是混合料需要在 175~180℃温度下拌出的并制备,同时在保证试件表面平整的情况下进行插捣压实。将完成的试件放置在室温下 24 h。以便进行后续斜剪试验。

试验前先将试件放置于压力机上,在把试件的粘结层角度 α 设置为 40°,以模拟在实际工况中的路面复杂的荷载所带来的剪切情况。剪切加载速率设置为 50 mm/min,并在室温条件下开始进行试验,见图 1 和图 2。两试块间剪切力按式(1)计算:

$$\tau = P \sin \alpha / A \quad (1)$$

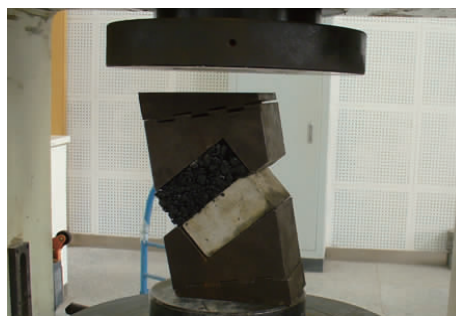


图 1 斜剪试验实拍

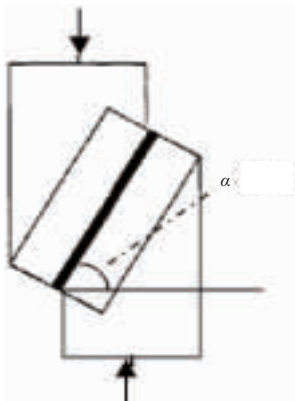


图 2 斜剪试验示意图

以预估沥青用量 $1.34\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 为设计中值,选取 1.05、1.28、1.4、1.5、1.7、1.95 (单位 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$),将不同沥青用量下成型的 5 组复合试件,在同一剪切温度为 60°C 的条件下进行剪切试验,结果见图 3。

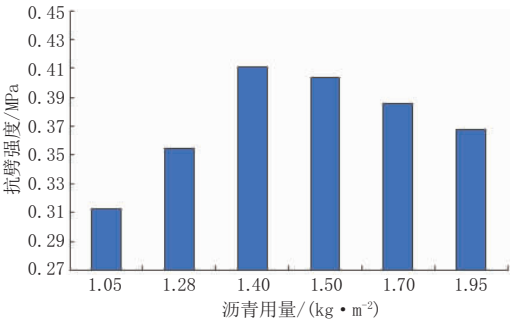


图 3 不同沥青用量所对应的抗剪强度

在不同沥青用量下,6 组试验最终得到的斜剪试验的抗剪强度平均值见图 3。

经最佳取值的判定非常显而易见的得出沥青用量为 $1.4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 所对应的抗剪强度为最佳,相对理论法的 $1.34\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,两种设计方法所确定的最佳沥青用量相差 $0.06\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。理论法设计会偏低,这是由于在实际制作过程中存在一定的材料消耗等原因。

3 路用性能研究

在路用性能研究环节,所选用的原材料性质同上述封层混合料设计环节。碎石撒布率采用 80% 的情况下,通过 20°C 抗拉强度试验和 60°C 抗剪强度试验以及高温动稳定度试验,并选取了 18% 掺量的普通橡胶沥青进行对比,同时选取了来对比出采用理论法和力学-经验法设计出的最佳沥青用量 (即 $1.34\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $1.4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),对比四种情况下的同步碎石应力吸收层混合料性能的区别。试验结果见表 3、表 4。

通过试验结果可得知,大掺量橡胶沥青同步碎石封层通过力学-经验法设计试验,明显提高了试件接触面的性能,使其抗拉性能和抗剪性能变强,大

表 3 抗剪及拉拔强度

沥青材料	试验 编号	最佳沥青用量 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	60°C 抗剪强度 /MPa	20°C 抗拉强度 /MPa
18%橡胶 沥青	1	1.34	0.33	0.22
	2	1.4	0.45	0.23
大掺量 橡胶沥青	3	1.34	0.51	0.34
	4	1.4	0.64	0.35

表 4 复合试件车辙试验

沥青材 料类型	试验 编号	最佳沥青 用量 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	车辙深度 /min		动稳定度 /(次 $\cdot\text{mm}^{-1}$)	
			45 min	60 min	试验值	平均值
18%橡 胶沥青 材料	1	1.34	1.244	1.712	1 630	2 153
			1.236	1.635	1 676	
			1.277	1.679	2 498	
			1.435	1.847	2 166	
	2	1.4	1.335	1.685	2 351	2 223
			1.342	1.661	3 112	
			1.312	1.631	3 152	
			1.342	1.661	3 112	
大掺量 橡胶 沥青	3	1.34	1.642	2.260	2 478	3 029
			1.632	2.158	2 548	
			1.686	2.216	3 797	
			1.894	2.438	3 292	
	4	1.4	1.762	2.224	2 633	3 284
			1.771	2.193	3 485	
			1.732	2.153	3 530	
			1.771	2.193	3 485	

掺量橡胶沥青比 18% 掺量的橡胶沥青在 60°C 抗剪强度和 20°C 抗拉强度均有大幅提升,其车辙也得到了很高的提升。在 60°C 抗剪强度试验中提高了 0.19 MPa ,与没有加入大掺量橡胶沥青原试验相比试验数据幅度提高了 33.6%;在 20°C 抗拉强度试验中提高 0.12 MPa ,与 18% 橡胶沥青原试验相比试验数据幅度提高了 66.7%。同时车辙试验中动稳定度也提高了 22.0%,大幅改善了层间粘结强度和受力状况,让路面高温性能得到提升。此外,基于力学-经验法或理论法均可以设计出性能更优良的大掺量橡胶沥青同步碎石封层,两者差异不大。

4 结 论

研究进行大掺量橡胶沥青同步碎石封层的材料设计方法研究和验证了其路用性能,得出如下结论:

(1) 基于力学-经验法或理论法均可以设计出性能更优良的大掺量橡胶沥青同步碎石封层,两者

差异不大。力学经验法为 $1.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 而理论法的 $1.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 两种设计方法所确定的最佳沥青用量相差 $0.06 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(2)斜剪试验的结果显示大掺量橡胶沥青同步碎石封层通过力学-经验法设计试验,明显提高了试件接触面的性能,使其层间抗剪性能变强。具有良好粘附力。设计得到的最佳沥青用量相差 $0.13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(3)大掺量橡胶沥青比 18% 掺量的橡胶沥青在 60°C 抗剪强度和 20°C 抗拉强度均有大幅提升,其车辙也得到了很高的提升。在 60°C 抗剪强度试验中提高了 0.19 MPa , 与没有加入大掺量橡胶沥青原试验相比试验数据幅度提高了 33.6%; 在 20°C 抗拉强度试验中提高 0.12 MPa , 与 18% 橡胶沥青原试验相比试验数据幅度提高了 66.7%。同时车辙试验中动稳定度也提高了 22.0%, 大幅改善了层间粘结强度和受力状况,让路面高温性能得到提升。

(4)大掺量橡胶沥青同步碎石封层不仅具提高了路面的防水性能和粘结性能,还提高了路面的反射裂缝和高温性能。有理由相信大掺量橡胶沥青同

步碎石封层技术将会在公路甚至市政道路的建设与养护工程中能发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 蔡燕霞,申爱琴,杨光.橡胶沥青衬垫式碎石封层黏结性能[J].建筑材料学报,2013,16(4):678-682.
- [2] 陈素丽,许福文,李桂芝.同步碎石封层技术研究及在公路养护中的应用[J].公路,2005(6):174-181.
- [3] 黄文元,陈李峰,潘炽光.橡胶沥青在水泥混凝土路面薄罩面工程中的应用[J].公路,2006(7):14-18.
- [4] 毛宇.裂解-聚合法橡胶颗粒改性沥青机理及技术性能研究[D].西安:长安大学,2017.
- [5] 屈爱萍.纤维沥青碎石封层配合比方法研究[J].散装水泥,2022(2):95-97.
- [6] 傅晓萍.上海市闵行区中春路(沁春路—北松公路)道路大修工程设计综述[J].城市道桥与防洪,2020(10):51-53.
- [7] 黄晓兰.沥青纤维碎石封层在公路工程中的应用[J].交通世界,2019(增刊1):86-87.
- [8] 张立华.同步碎石封层技术研究[J].城市道桥与防洪,2013(11):153-158.
- [9] 杨维宁.橡胶沥青同步碎石封层设计及其性能验证[J].筑路机械与施工机械化,2012,29(11):54-56.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com