

文章编号:1005-0523(2021)06-0011-09



HVE 超黏磨耗层稀浆混合料高性能化试验研究

史越¹, 胡仕梅², 刘同宾¹, 梅若诗²

(1. 江西天驰高速科技发展有限公司, 江西 南昌 330008; 2. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: HVE 超黏磨耗层预养护技术仍存在着噪声过大、抗松散性能不足、耐久性差等缺点, 制约着 HVE 超黏磨耗层预养护技术推广应用。采用正交试验考察了废橡胶粉、滑石粉和玻璃纤维对 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料的耐磨性能、抗车辙性能与降噪性能的影响, 利用层次分析法进行配合比优选。结果表明: 上述 3 种材料复掺时 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料对耐磨性能的影响程度为: 玻璃纤维、橡胶粉、滑石粉; 对抗车辙性能的影响程度为: 橡胶粉、玻璃纤维、滑石粉; 对降噪性能的影响程度为: 橡胶粉、滑石粉、玻璃纤维。最佳配合比为橡胶粉掺量 2.5%, 滑石粉掺量 4.5% 和玻璃纤维掺量 0.35% 时, HVE 超黏磨耗层稀浆混合料具有强耐磨、车辙和低噪声的特点。

关键词: HVE 超黏磨耗层; 稀浆混合料; 废橡胶粉; 滑石粉; 玻璃纤维

中图分类号: U414

文献标志码: A

本文引用格式: 史越, 胡仕梅, 刘同宾, 等. HVE 超黏磨耗层稀浆混合料高性能化试验研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(6): 11-19.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.20211210.005

Experimental Study on High-Performance of Slurry Mixture of HVE Super-Viscous Wear Layer

Shi Yue¹, Hu Shimei², Liu Tongbin¹, Mei Ruoshi²

(1. Jiangxi Tianchi High-Speed Technology Development Co., LTD., Nanchang 330008, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The curing technology of high viscosity emulsified-asphalt (HVE) super viscous wear layer still has some shortcomings, such as excessive noise, insufficient anti-loosening performance and poor durability, which restricts is the popularization and application. The effects of waste rubber powder, talc powder and glass fiber on the wear resistance performance, rutting resistance performance and noise reduction performance of thin slurry mixture with HVE super viscous wear layer were studied by orthogonal experiment, and the mixture ratio was optimized by analytic hierarchy process. The results show that when the above three materials are mixed, the influence of thin slurry mixture of HVE super viscous wear layer on wear resistance performance is shown as follows: glass fiber, rubber powder and talcum powder; the influence degree of rutting resistance performance is that of rubber powder, glass fiber and talcum powder; the degree of influence on noise reduction performance is that of rubber powder, talcum powder, glass fiber. When the optimal mixing ratio is 2.5% of rubber powder, 4.5% of talc powder and 0.35% of glass fiber, HVE super viscous wear layer thin slurry mixture has the characteristics of strong wear resistance, rutting resistance and low noise.

Key words: HVE super viscous wear layer; slurry mixture; waste rubber powder; talcum powder; glass fiber

收稿日期: 2021-09-01

基金项目: 江西省重点研发计划项目(20192BBG70079, 20202BBG73035); 江西省交通运输厅科技项目(2019H003, 2019C0016)

Citation format: SHI Y, HU S M, LIU T B, et al. Experimental study on high-performance of slurry mixture of HVE super-viscous wear layer[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(6): 11-19.

截至 2020 年底,我国高速公路总运营里程已达 15 万 km 以上。但由于修筑条件的限制,我国早期修筑的许多高速公路未达到设计使用年限就过早发生了诸如路面脱皮、疲劳裂缝等严重病害,直接影响了路面结构服役寿命和行车安全^[1],具有大量交通隐患^[2]。近年来我国有关部门逐渐意识到预防性养护在高速公路日常养护中的重要性,并发展了许多先进预防性养护技术,例如,高黏度乳化沥青(high viscosity emulsified-asphalt, HVE)超黏磨耗层预防性养护技术。

HVE 超黏磨耗层预防性养护技术是工程界近年来在 MS-3 型超黏磨耗层养护技术基础上发展而来的一种新型预防性养护技术^[3],其稀浆混合料主要由高黏度乳化沥青、普通硅酸盐水泥、坚硬耐磨辉绿岩碎石等按一定比例设计组成^[4]。大量工程实践^[5-13]表明采用 HVE 超黏磨耗层预防性养护,不仅可以对目前高速公路路面容易过早发生脱皮、疲劳裂缝等病害进行有效防治,延长其服役寿命,而且可在一定程度上提高其结构承载力;但现行混合料也存在着噪声过大、抗松散性能不足、耐久性差等缺点,制约着 HVE 超黏磨耗层养护技术推广应用。本研究拟在现行 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料配比基础上,采用正交试验设计方法研究汽车轮胎废橡胶粉、滑石粉和耐碱玻璃纤维对 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料耐磨性能、抗车辙性能和降噪性能的改善作用,以期优化现有 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料配合比使其同时兼有强耐磨、车辙和低噪声多功能化提供一条新途径。

1 试验

1.1 原材料

试验水泥采用江西亚东水泥厂产的 P·O 42.5 级普通硅酸盐水泥。乳化沥青采用在 BCR 乳化沥青基础上通过加入多种功能剂复配而成的一类具有高黏度以及优良的弹性恢复性能和黏,结性能 HVE 特种复合改性乳化沥青,自制,其性能指标见表 1。废橡胶粉(RP)采用南昌再生资源加工公司产的废弃汽车轮胎加工而成的 45 目废橡胶粉料,含

水率为 0.32%。滑石粉(TP)采用南昌滑石粉有限公司生产的化工滑石粉,表面积 $700 \text{ cm}^2/\text{g}$,最大粒径 $7 \mu\text{m}$ 。玻璃纤维(GF)采用武汉强耐纤维有限公司生产的耐碱玻璃纤维,其性能指标见表 2。

表 1 HVE 特种复合改性乳化沥青的性能指标

Tab.1 Performance index of HVE special composite modified emulsified asphalt

Performance index	Test result
Solid content	$\geq 60\%$
25 °C penetration/(0.1 mm)	40~100
Yield point	$\geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$
5 °C ductility	$\geq 35 \text{ cm}$
Solubility	$\geq 97.5\%$
25 °C elastic recovery	$\geq 95\%$
25 °C pullout strength	$\geq 1.0 \text{ MPa}$
60 °C dynamic viscosity	$\geq 20\,000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
135 °C rotational viscosity	$\geq 6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

表 2 玻璃纤维的主要性能指标

Tab.2 Main performance indexes of glass fiber

Length /mm	Dimeter / μm	Tensile strength /MPa	Oil absorption rate /(g/g)	Elongation at break/%	Density /(g/m^3)
6	20	3 600	0.8	2.9	2.31

集料选用 3~5 mm 和 5~8 mm 两种不同规格由耐磨坚硬且偏碱性辉绿岩加工而成的碎石,其各项性能指标符合《公路沥青路面施工技术规范(JTG F40-2017)》规定,级配曲线如图 1 所示。

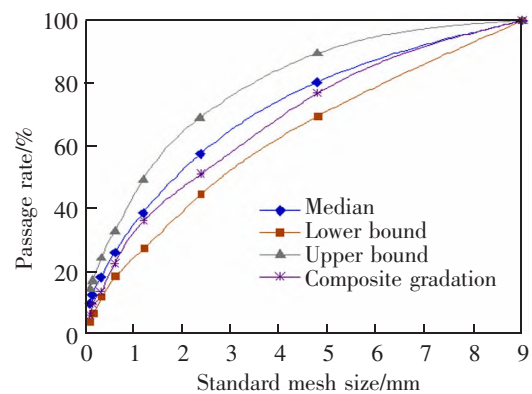


图 1 级配曲线图

Fig.1 Grading curve

1.2 试验方案

本研究主要基于现通用HVE超黏,磨耗层稀浆混合料配比(表3)^[14],重点考察橡胶粉、滑石粉和玻璃纤维3种不同功能材料的掺量对HVE超黏,磨耗层稀浆混合料耐磨性能、抗车辙性能和降噪性能的影响,并按照数理统计学原理^[15],选用如表4所示的5因素、4水平 $L_{16}(4^5)$ 正交实验设计表进行研究。

表3 HVE超黏,磨耗层稀浆混合料基准配比

Tab.3 Benchmark ratio of slurry mixture for HVE super viscous wearing course

%			
Cement	Water	Emulsified asphalt	Aggregates
1	5	10.3	100

表4 因素水平表

Tab.4 Factors and levels

Level	Factor				
	A (RP) /%	B (TP) /%	C (GF) /%	D (Blank column)	E (Blank column)
1	1.0	1.5	0.00	1	1
2	1.5	2.5	0.15	2	2
3	2.0	3.5	0.25	3	3
4	2.5	4.5	0.35	4	4

1.3 试验方法

按上述试验方案,将废橡胶粉、滑石粉和玻璃纤维按计量称取,并依次加入基准样干混料,搅拌均匀,再依次加入分别占干混料5%(质量分数)的水和10.3%(质量分数)的HVE特种复合改性乳化沥青,继续搅拌直至水和沥青乳液分散均匀,待稀浆混合料呈现出良好的和易性,即获得HVE超黏,磨耗层目标稀浆混合料。然后,按照相关标准成型试件,测试其耐磨性能、抗车辙性能和降噪性能。

耐磨性能参照《微表处和稀浆封层技术指南(JTG/T F40)》^[16],采用SYD-0752湿轮磨耗仪,先将试件放入60℃烘箱内24h,烘干冷却后在25℃的水浴中保温1h,然后计算试件磨耗前后的质量损失,以试件的1h磨耗值进行评价。试件高度为6.4mm,直径为280mm。

抗车辙性能参照《公路工程沥青及沥青混合料

试验规程(JTG/E 20-2011)》^[17],采用SYD-0705车辙仪对试件进行1000次碾压,通过测量试件的车辙深度,以试件的车辙深度率进行评价,试件长度为300mm,宽度为300mm,厚度为50mm。试验装置如图2所示。



图2 抗车辙性能试验装置

Fig.2 Rutting resistance performance test device

降噪性能参照《公路声屏障第5部分:降噪效果检测方法(JT/T 646.5-2017)》^[18],采用HY128型声级计,将试件固定在试验台上,并将传声器固定在与磨耗橡胶管与试验台接触面齐平高度,且保证传声器到试验托盘的水平距离为20cm,以噪声进行测试评价。试件采用耐磨性能试件,试件高度为6.4mm,直径为280mm。试验装置如图3所示。

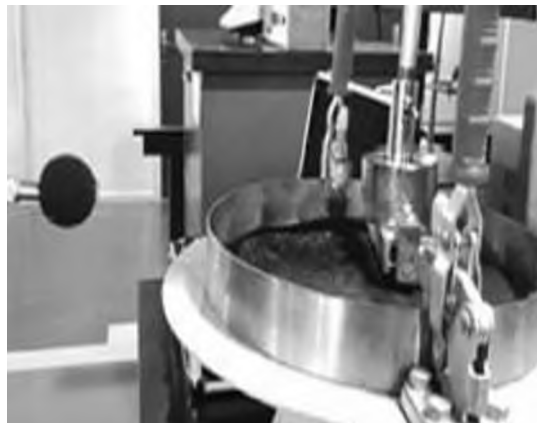


图3 降噪性能试验装置

Fig.3 Noise reduction performance test device

2 结果与分析

本试验耐磨性能、抗车辙性能及降噪性能的正交试验测试结果如表5所示,其中:WTAT为1h磨耗值;PVD为车辙深度率;Noise为噪声。

表5 正交试验测试结果
Tab.5 Test results of orthogonal test

NO.	A(RP)/%	B(TP)/%	C(GF)/%	D(Blank column)	E(Blank column)	WTAT/(g/m ²)	PVD/%	Noise/dB
1	1	1.5	0.00	1	1	420	3.2	72.1
2	1	2.5	0.15	2	2	496	5.6	71.6
3	1	3.5	0.25	3	3	509	6.2	69.2
4	1	4.5	0.35	4	4	495	6.8	68.4
5	1.5	1.5	0.15	3	4	502	5.2	69.0
6	1.5	2.5	0.00	4	3	455	4.9	68.5
7	1.5	3.5	0.35	1	2	540	7.1	67.6
8	1.5	4.5	0.25	2	1	582	6.9	67.4
9	2.0	1.5	0.25	4	2	518	6.2	67.2
10	2.0	2.5	0.35	3	1	516	8.1	67.4
11	2.0	3.5	0.00	2	4	486	6.6	67.5
12	2.0	4.5	0.15	1	3	581	8.3	67.0
13	2.5	1.5	0.35	2	3	535	9.7	67.0
14	2.5	2.5	0.25	1	4	570	7.8	67.2
15	2.5	3.5	0.15	4	1	541	7.3	66.9
16	2.5	4.5	0.00	3	2	504	7.6	67.1

2.1 耐磨性能

表6和表7分别为HVE超黏磨耗层稀浆混合料耐磨性能正交试验极差分析和方差分析的结果。由表6可以看出 $R_C(78.5) > R_A(57.5) > R_B(46.75) > R_D(25.5) > R_E(6.75)$ 。由表7可见 $F_C > F_A > F_{0.05}(3,6)$, $F_B < F_{0.05}(3,6)$ 。说明橡胶粉和玻璃纤维对HVE超黏磨耗层稀浆混合料的耐磨性能均有显著影响,且玻璃纤维的影响更加突出,而滑石粉的影响不显著。

图4为上述各因素的影响变化趋势图。由图4可知,当橡胶粉掺量1.0%~2.5%时,1h磨耗值增加11.98%;当滑石粉掺量由1.5%增加至4.5%时,1h磨耗值增加9.47%;当玻璃纤维掺量由0%增加至

0.25%时,1h磨耗值大幅度增加16.84%,当玻璃纤维掺量由0.25%增加至0.35%时,1h磨耗值下降4.27%。HVE超黏磨耗层稀浆混合料的耐磨性能随橡胶粉掺量和滑石粉掺量的增加呈上升的趋势,耐磨性能随玻璃纤维掺量的增加呈先上升后下降的趋势,其原因是玻璃纤维掺量较大时,纤维在混合料中的分散性能下降,容易结团,并且吸附了较多的沥青,导致沥青分散不均,集料之间黏结力较差,在外力作用下磨耗值增大。综上可知,就耐磨性能而言HVE超黏磨耗层稀浆混合料的最优配比为 $A_1B_1C_1$,即橡胶粉掺量为1.0%,滑石粉掺量为1.5%和玻璃纤维掺量为0%。

表6 1h磨耗值的极差分析
Tab.6 Range analysis of 1h wear value

Range calculation	A(RP)	B(TP)	C(GF)	D(Blank column)	E(Blank column)	g/m ²
K_1	480.00	493.75	466.25	527.75	514.75	
K_2	519.75	509.25	530.00	524.75	514.50	
K_3	525.25	519.00	544.75	507.75	520.00	
K_4	537.50	540.50	521.50	502.25	513.25	
R (Range)	57.50	46.75	78.50	25.50	6.75	

表 7 1 h 磨耗值的方差分析
Tab.7 Variance analysis of 1 h wear value

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean sum of squares	F	Critical values	Significance
A (RP)	7 542.69	3	2 514.23	8.33	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Significant
B(TP)	4 138.69	3	1 379.56	4.57	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	No significant
C(GF)	14 448.19	3	4 816.06	15.95	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Highly significant
Error	1 811.88	6	301.98	-	-	-
Sum	27 941.44	15	-	-	-	-

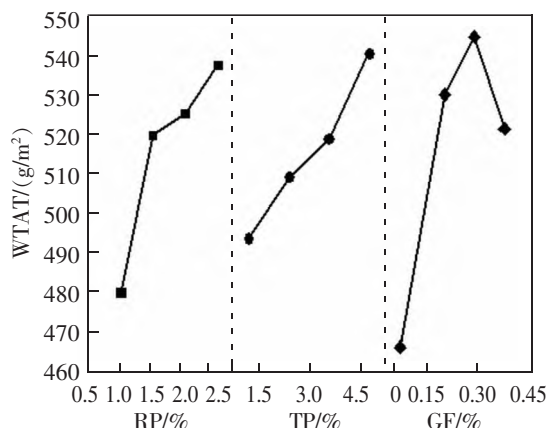


图 4 各因素的影响变化趋势图

Fig.4 Influence change trend of the various factors

2.2 抗车辙性能

表 8 和表 9 分别为 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料抗车辙性能正交试验的极差分析和方差分析的结果。由表 8 可以看出 $R_A(2.65) > R_C(1.32) > R_B(2.35) > R_D(0.9) > R_E(0.9)$, 并由表 9 可知 $F_A > F_C > F_{0.05}(3,6)$, $F_B < F_{0.05}(3,6)$ 。说明橡胶粉和玻璃纤维对 HVE 超黏

磨耗层稀浆混合料的抗车辙性能均有显著影响,且橡胶粉的影响更加突出,而滑石粉的影响不显著。

图 5 为上述各因素的影响变化趋势图。由图 5 可知,当橡胶粉掺量从 1% 增加至 2.5% 时,车辙深度率从 5.45% 增加至 8.10%;当滑石粉掺量从 1.5% 增加至 4.5% 时,车辙深度率从 6.08% 增加至 7.4%;当玻璃纤维掺量从 0% 增加至 0.35% 时,车辙深度率从 5.58% 增加至 7.93%。HVE 超黏磨耗层稀浆混合料的抗车辙性能随橡胶粉掺量、滑石粉掺量和玻璃纤维掺量的增加均呈上升趋势。说明橡胶粉掺量过多会使稀浆混合料抗车辙性能变差,这是由于过多的橡胶粉很难在混合料中均匀分布,同时吸附了不少的沥青,降低了混合料的沥青膜厚度,致使集料间黏附力下降,无法在反复荷载作用下提供良好的整体强度,减弱了混合料的抗车辙性能。综上可知,就抗车辙性能而言,HVE 超黏磨耗层稀浆混合料的最优配比为 $A_1B_1C_1$, 即橡胶粉掺量为 1.0%,滑石粉掺量为 1.5% 和玻璃纤维掺量为 0%。

表 8 抗车辙性能的极差分析
Tab.8 Range analysis of rutting resistance

Range calculation	A (RP)	B(TP)	C(GF)	D(Blank column)	E(Blank column)
K_1	5.45	6.08	5.58	6.60	6.38
K_2	6.03	6.60	6.60	7.20	6.63
K_3	7.30	6.80	6.78	6.78	7.28
K_4	8.10	7.40	7.93	6.30	6.60
R (Range)	2.65	1.32	2.35	0.9	0.9

表 9 抗车辙性能方差分析
Tab.9 Variance analysis of rutting resistance

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean sum of squares	F	Critical values	Significance
A (RP)	17.35	3	5.78	9.92	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Highly significant
B(TP)	3.60	3	1.20	2.06	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Not significant
C(GF)	11.12	3	3.71	6.36	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Significant
Error	3.50	6	0.58	-	-	-
Sum	35.56	15	-	-	-	-

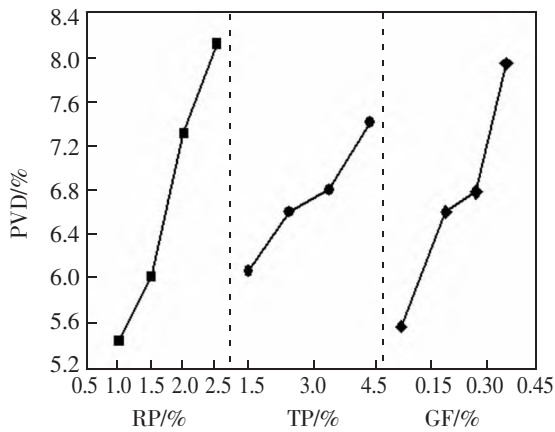


图5 各因素的影响变化趋势图

Fig.5 Influence change trend of the various factors

2.3 降噪性能

表10和表11分别为HVE超黏，磨耗层稀浆混合料抗车辙性能正交试验极差分析和方差分析的结果。由表10可以看出 $R_A(3.28) > R_B(1.35) > R_C(1.20) > R_D(0.73) > R_E(0.53)$ ，并由表11可知 $F_A > F_B > F_{0.05}(3,6)$ ， $F_C < F_{0.05}(3,6)$ 。说明橡胶粉、滑石粉和玻璃纤维对HVE超黏，磨耗层稀浆混合料的降噪性能影响不同，且橡胶粉的影响最大，其次为滑石粉，玻璃纤维的影响最小。

图6为上述各因素的影响变化趋势图。由图6可知，当橡胶粉掺量由1%增加至2.5%时，噪声下

降4.66%；当滑石粉掺量由1.5%增加至4.5%时，噪声下降1.96%；当玻璃纤维掺量由0%增加至0.35%时，噪声下降1.74%。HVE超黏，磨耗层稀浆混合料的降噪性能随橡胶粉掺量、滑石粉掺量和玻璃纤维掺量的增加均呈下降的趋势。橡胶粉掺量越多越好，降噪性能就越好，这主要是因为混合料的阻尼随着橡胶粉掺量的增加而增大，在路面受到撞击时，阻尼便会将一部分能量消耗掉。综上可知，就降噪性能而言HVE超黏，磨耗层稀浆混合料的最优配比为 $A_4B_4C_4$ ，即橡胶粉掺量为2.5%、滑石粉掺量为4.5%和玻璃纤维掺量为0.35%。

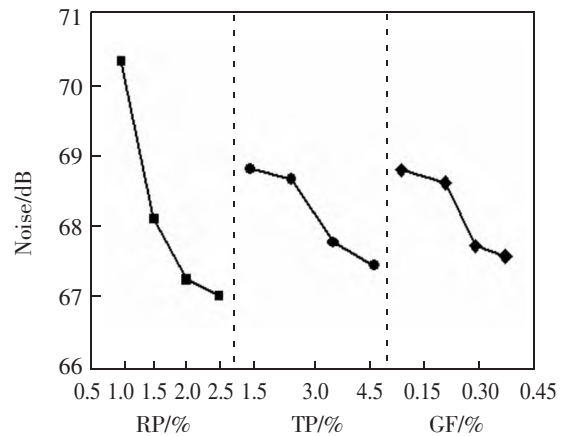


图6 各因素的影响变化趋势图

Fig.6 Influence change trend of the various factors

表10 噪声的极差分析

Tab.10 Range analysis of noise

Range calculation	A (RP)	B (TP)	C (GF)	D (Blank column)	E (Blank column)
K_1	70.33	68.83	68.80	68.48	68.45
K_2	68.13	68.68	68.63	68.38	68.38
K_3	67.28	67.80	67.75	68.20	67.93
K_4	67.05	67.48	67.60	67.75	68.03
R (Range)	3.28	1.35	1.20	0.73	0.53

表11 噪声的方差分析

Tab.11 Variance analysis of noise

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean sum of squares	F-value	Critical values	Significance
A (RP)	26.80	3	8.93	26.35	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Highly significant
B (TP)	5.21	3	1.74	5.12	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	Significant
C (GF)	4.41	3	1.47	4.34	$F_{0.05}(3,6)=4.76$	No significant
Error	2.03	6	0.34	-	-	-
Sum	38.45	15	-	-	-	-

2.4 配比优选确定

层次分析法^[9]是一种把复杂问题中的各因素划分成相关联的有序层次,并使之条理化的多因素、多水平决策方法,是定量分析的有效方法。本研究以上研究的基础上,根据层次分析法,将测试结果分为 3 层,第 1 层为指标层(1 h 磨耗值、车辙深度率、噪声);第 2 层为因素层(橡胶粉掺量、滑石粉掺量、玻璃纤维掺量);第 3 层为水平层(水平 1、水平 2、水平 3、水平 4),由此可得出各因素对试验结果的影响权重,给出各因素的主次顺序和最优方案。由此计算了 1 h 磨耗值、车辙深度率和噪声的权重(Ω)和综合影响权重($\bar{\Omega}$),并分别采用式(1)和式(2)计算

$$\Omega = MZD^T \tag{1}$$

$$\bar{\Omega} = \frac{1}{3} \sum_{l=1}^3 \Omega_l \tag{2}$$

式中:矩阵 M 表示指标层的影响效应矩阵,其中因素 j 在第 i 水平上的平均值为 k_{ij} ,令 $K_{ij}=k_{ij}$,并建立

$$\text{矩阵 } M = \begin{bmatrix} K_{iA} & 0 & 0 \\ 0 & K_{iB} & 0 \\ 0 & 0 & K_{iC} \end{bmatrix}, i=1,2,3,4; \text{矩阵 } Z \text{ 表示}$$

因素层的影响效应矩阵,其中 $t_j = 1 / \sum_{i=1}^4 K_{ij} (i=1,2,3,4)$,

$$\text{并建立矩阵 } M = \begin{bmatrix} t_A & 0 & 0 \\ 0 & t_B & 0 \\ 0 & 0 & t_C \end{bmatrix}; \text{矩阵 } D \text{ 表示水平}$$

层的影响效应矩阵,其中 $d_a = R_a / \sum_{a=1}^3 R_a (a=1,2,3)$,并

$$\text{建立矩阵 } D = \begin{bmatrix} \frac{R_1}{\sum_{a=1}^3 R_a} & \frac{R_2}{\sum_{a=1}^3 R_a} & \frac{R_3}{\sum_{a=1}^3 R_a} \end{bmatrix}; l \text{ 表示指标}$$

($l=1,2,3$)。

计算结果如表 12 和图 7 所示。由表 12 可知,在橡胶粉掺量 4 个水平中, A_4 的综合影响权重最大;在滑石粉掺量 4 个水平中, B_4 的综合影响权重最大;在玻璃纤维掺量 4 个水平中, C_4 的综合影响权重最大。由图 7 可看出,3 个试验指标的综合影响权重总排序为: $A(0.432\ 2) > C(0.335\ 8) > B(0.232\ 1)$ 。HVE 超黏,磨耗层稀浆混合料的最优配比为 $A_4B_4C_4$,即橡胶粉掺量为 2.5%,滑石粉掺量为 4.5% 和玻璃纤维掺量为 0.35%。

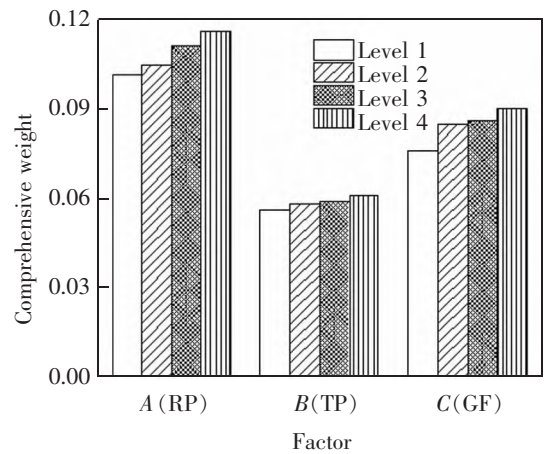


图 7 各因素的综合影响权重
Fig.7 Comprehensive influence weight of each factor

表 12 各因素的影响权重和综合影响权重
Tab.12 Influence weight and comprehensive influence weight of each factor

Factor	Level	WTAT		PVD		Noise		Comprehensive weight
		Range	Weight	Range	Weight	Range	Weight	
A (RP)	A_1	57.5	0.073 2	2.65	0.085 0	3.28	0.145 0	0.101 1
	A_2		0.079 3		0.094 1		0.140 5	0.104 6
	A_3		0.080 1		0.113 9		0.138 8	0.110 9
	A_4		0.082 0		0.126 4		0.138 3	0.115 6
B (TP)	B_1	46.75	0.061 2	1.32	0.047 2	1.35	0.058 4	0.055 6
	B_2		0.063 2		0.051 3		0.058 3	0.057 6
	B_3		0.064 4		0.052 8		0.057 6	0.058 3
	B_4		0.067 0		0.057 5		0.057 3	0.060 6
C (GF)	C_1	78.5	0.097 1	2.35	0.077 2	1.20	0.051 9	0.075 4
	C_2		0.110 4		0.091 3		0.051 8	0.084 5
	C_3		0.113 5		0.093 8		0.051 1	0.086 1
	C_4		0.108 6		0.109 7		0.051 0	0.089 8

3 结论

本研究通过对 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料的耐磨性能、抗车辙性能与降噪性能进行正交试验研究,得出以下结论。

1) HVE 超黏磨耗层稀浆混合料磨耗值的显著性因素为玻璃纤维和橡胶粉,且玻璃纤维的显著性大于橡胶粉,而滑石粉的影响并不显著。对于耐磨性能,最佳的组合是橡胶粉掺量为 1.0%,滑石粉掺量为 1.5%和玻璃纤维掺量为 0%。

2) HVE 超黏磨耗层稀浆混合料抗车辙性能的显著性因素是橡胶粉和玻璃纤维,且橡胶粉的显著性大于玻璃纤维,而滑石粉的影响并不显著。对于抗车辙性能,最佳的组合是橡胶粉掺量为 1.0%,滑石粉掺量为 1.5%和玻璃纤维掺量为 0%。

3) HVE 超黏磨耗层稀浆混合料降噪性能的显著性因素是橡胶粉和滑石粉,且橡胶粉的显著性大于滑石粉,而玻璃纤维的影响并不明显。若只考虑提高降噪性能,则最佳的组合是橡胶粉掺量为 2.5%,滑石粉掺量为 4.5%和玻璃纤维掺量为 0.35%。

4) 通过对各因素采用层次分析法进行指标分析,得到 HVE 超黏磨耗层稀浆混合料配合比最佳用量为:橡胶粉掺量为 2.5%,滑石粉掺量为 4.5%和玻璃纤维掺量为 0.35%。

参考文献:

- [1] 周育名,李金明,李平,等.考虑公路等级的沥青路面性能衰变预测方法[J].中外公路,2019,39(1):34-39.
ZHOU Y M,LI J M,LI P,et al. Prediction method of performance decay of asphalt pavement considering highway grade[J]. Journal of China & Foreign Highway,2019,39(1): 34-39.
- [2] 许宏科,赵威,杨孟,等.基于改进 BPNN 的高速公路交通事故持续时间预测[J].华东交通大学学报,2020,37(5): 60-65.
XU H K,ZHAO W,YANG M,et al. Prediction of expressway traffic accident duration based on the improved BPNN [J]. Journal of East China Jiaotong University,2020,37(5): 60-65.
- [3] 于明明,朱浩然,朱富万.超黏磨耗层拌和型改性乳化沥青指标与材料开发研究[J].公路与汽运,2020(3):86-89.
YU M M,ZHU H R,ZHU F W. Research on index and material development of super viscous abrasive layer mixing modified emulsified asphalt[J]. Highway & Automobile Applications,2020(3):86-89.
- [4] 李宁,牛晓伟,朱富万.超黏磨耗层技术在高速公路养护中的应用研究[J].公路,2018,63(4):243-247.
LI N,NIU X W,ZHU F W. Research on the application of nova-surfacing technology in maintenance of expressway [J]. Highway,2018,63(4):243-247.
- [5] 李尚彬,徐耀文,罗莉婷.超黏磨耗层技术在公路预防性养护中的应用研究[J].交通科技,2016(1):98-100.
LI S B,XU Y W,LUO L T. Application of ultra-adhesive-thin technology in highway preventive maintenance[J]. Transportation Science & Technology,2016(1):98-100.
- [6] 林晓锋.超黏磨耗层在西二环南段桥面的应用研究[J].广东公路交通,2019,45(2):37-41.
LIN X F. Application of super-viscous abrasion layer on bridge deck of southern section of western 2nd ring expressway[J]. Guangdong Highway Communications,2019,45 (2):37-41.
- [7] 朱伟,牛晓伟,朱富万.超黏磨耗层专用高黏,改性乳化沥青指标与材料开发研究[J].石油沥青,2017,31(6):5-9.
ZHU W,NIU X W,ZHU F W. Development of high viscosity modified emulsified asphalt index and material for nova-surfacing[J]. Petroleum Asphalt,2017,31(6):5-9.
- [8] 成实.浅谈衡炎高速公路养护超薄磨耗层的现场施工技术应用[J].智能城市,2020,6(5):161-162.
CHENG S. Discussion on the application of field construction technology in Heng Yan expressway maintenance ultra-thin wear layer [J]. Intelligent City,2020,6(5):161-162.
- [9] 陶良臣.超薄磨耗层沥青混凝土在公路养护中的应用[J].交通世界,2017(34):64-65.
TAO L C. Application of ultra-thin wear layer asphalt concrete in road maintenance[J]. Transportation World,2017(34): 64-65.
- [10] 王建文,张建雄,张耀元.超黏磨耗层技术在高速公路沥青路面养护中的应用[J].智能城市,2019,5(24):135-136.
WANG J W,ZHANG J X,ZHANG Y Y. Application of super adhesive wearing course technology in expressway asphalt pavement maintenance[J]. Intelligent City,2019,5 (24):135-136.
- [11] 李晓明.超薄磨耗层施工技术在高速公路养护中的应用[J].交通世界,2021(23):64-65.
LI X M. Application of ultra-thin wearing course construction technology in expressway maintenance[J]. Transportation World,2021(23):64-65.
- [12] 李运华,李珍,原华.基于 Novachip 超薄磨耗层的高速公

- 路沥青路面养护技术应用研究[J].公路工程,2019,44(5):156-161.
- LI Y H,LI Z,YUAN H. Research on maintenance technology of expressway asphalt pavement based on Novachip ultra-thin wear layer[J]. Highway Engineering,2019,44(5):156-161.
- [13] 罗志龙,文强. 超黏磨耗层技术在高速公路养护中的应用[J]. 交通世界,2021(S2):93-94.
- LUO Z L,WEN Q. Application of super viscous wear layer technology in highway maintenance[J]. Transportation World,2021(S2):93-94.
- [14] 史越,阙志崇,任亮. HVE超黏磨耗层在高速公路预防性养护中的应用研究[J]. 江西公路科技,2001(1):5.
- SHI Y,QUE Z C,REN L. Application research of HVE superviscous wear layer in preventive maintenance of expressway[J]. Jiangxi Highway Science and Technology,2001(1):5.
- [15] 师义民,徐伟,秦超英,等. 数理统计[M]. 北京:科学出版社,2015.
- SHI Y M,XU W,QIN C Y,et al. Mathematical Statistics [M]. Beijing:Science Press,2015.
- [16] 交通部公路科学研究院. 微表处和稀浆封层技术指南:JTG/T F40-2005[S]. 北京:人民交通出版社,2005.
- INSTITUTE OF HIGHWAY SCIENCE,MINISTRY OF TRANSPORTATION AND LOMMUNICTAIONS. Guideline of micro-surfacing and slurry seal:JTG/T F40-2005[S]. Beijing:China Communications Press,2005.
- [17] 交通部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 JTG/E 20-2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- INSTITUTE OF HIGHWAY SCIENCE,MINISTRY OF TRANSPORTATION AND LOMMUNICTAIONS. Standard Test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering:JTG/E 20-2011[S]. Beijing:China Communications Press,2011.
- [18] 交通部公路科学研究院. 公路声屏障 第5部分:降噪效果检测方法:JT/T 646.5-2017[S]. 北京:人民交通出版社,2017.
- INSTITUTE OF HIGHWAY SCIENCE,MINISTRY OF TRANSPORTATION AND LOMMUNICTAIONS. Highway noise barrier—part 5:Noise reduction detection method:JT/T 646.5-2017[S]. Beijing:China Communications Press,2017.
- [19] 刘长顺,张景奎,郑继,等. 橡胶纤维混凝土多指标配合比优化试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,2021(7):57-62.
- LIU C S,ZHANG J K,ZHENG J,et al. Experimental study on multi index mix proportion optimization of rubber fiber reinforced concrete[J]. China Concrete and Cement Products,2021(7):57-62.



第一作者:史越(1979—),男,高级工程师,硕士,毕业于长沙理工大学土木工程专业。研究方向为高速公路预防性养护技术。E-mail: wklab@163.com。

(责任编辑:姜红贵)