

橡胶粉干法微表处技术优化研究

陈 伟¹ 樊 亮² 王 林²

1 山东建筑大学土木工程系（济南 250101）
2 山东交通科学研究所（济南 250031）

摘要 采用正交试验法对废旧轮胎橡胶粉干法微表处技术进行了研究，对其性能指标（粘聚力，变形率及粘砂量）进行了不同影响因素间的对比研究，试验得到了胶粉干法微表处的最佳设计方案；并通过胶粉干法微表处与普通微表处的性能对比，证明了胶粉干法微表处技术具有明显的路用优势。

关键词 废旧轮胎橡胶粉 微表处 正交试验 对比分析

微表处技术是以聚合物改性乳化沥青为粘结料的冷拌砼薄层施工技术，该技术施工快捷，能大大缩短开放交通时间，且节约能源，整体造价低，已成为公路养护中的一种重要技术手段^[1,2]。目前，微表处在高速公路预防性养护以及车辙填补中得到广泛应用，但从一些实体工程来看，普通微表处路面存在抗变形、抗磨耗、抗疲劳开裂能力不足以及行车噪音大的缺点，所以，如何改善和提高微表处路用性能已成为当前研究的一个热点。随着技术发展和新材料的出现，废旧橡胶粉改性微表处技术成为解决上述问题的可行技术之一；该技术可以明显改善混合料的柔韧性和水稳性，提高路面抗车辙能力，降低噪音，且符合我国资源再利用建设节约型社会的政策背景，具有良好的发展潜力。但该技术目前尚处于研发应用初期，研究缺乏系统性、全面性，一些关键问题和因素没有充分探讨。基于此，着重研究了废旧橡胶粉在微表处技术中的应用，按照交通部颁发的《微表处和稀浆封层技术指南》^[3]，采用正交试验方法对其进行了系统性的研究，以期为我国废旧胶粉改性微表处技术的发展提供有益的参考数据。

1 原材料选择与级配设计

1.1 集料

试验所用矿料均为章丘十九朗玄武岩集料，规格为 3~8 mm 和 0~3 mm。其主要技术指标

见表 1 所示。

表 1 集料技术指标及试验结果		
项目	技术要求	试验结果
压碎值, %	≤26	14.5
磨耗值, %	≤8	16.1
磨光值, %	≥42	46
坚固性, %	≤12	5

1.2 乳化沥青

采用山东华瑞生产的 SBR 改性乳化沥青，其技术指标符合 JTG F40-2004 规定的 BCR 改性乳化沥青技术要求^[4]，结果见表 2。

表 2 SBR 改性乳化沥青主要技术指标	
项目	试验结果
破乳速度	慢裂
粒子电荷	阳离子
筛上残留物 (1.18 mm), %	0
沥青标准粘度 C _{25.3} /s	33
蒸发残留物含量, %	65
针入度/ (10 ⁻¹ mm)	94
延度 (5℃) /cm	78
软化点/℃	55
溶解度 (三氯乙烯), %	98.1
储存稳定性 (1 d), %	0.7

收稿日期：2010-10-18。
作者简介：陈伟（1983-），男，山东济宁人，硕士研究生，研究方向为沥青与沥青混合料。

1.3 橡胶粉及外掺剂

试验选用 60 目 (0.250 mm) 废旧轮胎橡胶粉 (青岛绿叶), 掺量分别为 2%, 3%, 4%。采用 325 号普通硅酸盐水泥, 水泥用量为 1%; 根据拌和试验, 选择用水量为合成矿料质量的 7%~8%。

1.4 级配设计

混合料级配设计按照 ISSA (国际稀浆封层协会) 的设计方法进行, 采用 MS-III 型微表处进行混合料配合比设计, 根据各单料筛分结果以及混合料级配多次调试, 选取粗、中、细三种级配组成 (见表 3)。

表 3 三种矿料级配 (MS-III) 组成 %

级配	玄武岩 3~8	玄武岩 0~3	矿粉
细	34	60	6
中	42	53	5
粗	52	43	5

2 正交试验设计与结果

胶粉干法微表处性能的影响因素繁多, 不同

因素不同水平下的影响作用复杂。本文采用正交试验的方法, 选取粘聚力、变形率和粘砂量为主要评价指标, 对不同影响因素进行分析, 优化配比组合, 以期达到优化胶粉干法微表处性能的目的。影响因素选取胶粉掺量、油石比、级配类型为主要影响因素, 因素水平见表 4, 正交试验结果见表 5。

表 4 正交试验因素水平表

水平	因素		
	A (胶粉), %	B (油石比), %	C (级配)
1	2	10	细
2	3	11	粗
3	4	12	中

2.1 正交试验结果分析

按照行业标准 JB/T 7510—1994《工艺参数优化方法》之规定, 计算对应因素下三个水平条件的试验数据平均值, 及同因素各水平下结果的最大值和最小值之差 (极差), 进行试验结果的极差分析^[5]。分析结果见表 6。

表 5 正交试验方案与试验结果

试验号	影响因素			评价指标		
	A 胶粉, %	B 油石比, %	C 级配, %	轮辙变形率, %	粘聚力 (60 min) / (N·m)	粘砂量 / (g·m ⁻²)
1	2	10	细	6.9 (颜色发黄, 轻微开裂)	2.45	134.95
2	2	11	粗	3.27 (稀浆离析成型困难, 变形较小)	1.8	263.16
3	2	12	中	3.59 (轻微离析, 较难成型)	2.02	199.41
4	3	10	粗	3.1 (变形较小, 易离析)	2.2	199.41
5	3	11	中	11.78 (端部松散开裂较严重)	1.6	95
6	3	12	细	3.59 (状态同 4 号, 车辙较 4 号深)	1.52	223.13
7	4	10	中	14.05 (边缘严重开裂松散)	1.55	45.6
8	4	11	细	6.86 (端部开裂松散, 集料剥落)	1.53	100.5
9	4	12	粗	4.9 (集料被粘起导致坑槽出现)	1.5	460.32

注: 规范中没有明确规定轮辙试件变形量的测量方法, 本试验测量多个点 (每个试件平均取 5 个点) 然后求平均数得到轮辙变形量。

由表 6 可以看出:

①对于粘聚力, 各因素的影响顺序为: A 胶粉 > B 油石比 > C 级配;

②对于变形量, 各因素的影响顺序为: C 级配 > B 油石比 > A 胶粉;

③对于粘砂量, 各因素的影响顺序为: C 级

配 > B 油石比 > 胶粉。

因此, 对于胶粉干法微表处性能而言, 胶粉掺量对粘聚力的影响作用最为明显; 级配类型对混合料的变形量影响最大; 而对于粘砂量而言, 级配类型与油石比的影响均远大于胶粉的影响。

表 6 正交试验结果极差分析				
影响因素	分析指标			
	均值 1	均值 2	均值 3	极差 R
粘聚力/(N·m)				
A 胶粉	2.09	1.773	1.527	0.563
B 油石比	2.067	1.643	1.68	0.424
C 级配	1.833	1.833	1.723	0.11
变形率,%				
A 胶粉	4.587	6.157	8.63	4.016
B 油石比	8.017	7.303	4.027	3.99
C 级配	5.783	3.757	9.807	6.05
粘砂量,%				
A 胶粉	199.173	172.513	202.033	29.52
B 油石比	126.653	152.887	294.18	167.527
C 级配	152.86	307.523	113.337	194.186

粘聚力与变形量相应的最优配比分别为

表 7 胶粉干法微表处性能指标							
项目	拌和时间/ s	粘聚力/(N·m)		变形量, %	粘砂量/ (g·m ⁻²)	磨耗值/(g·m ⁻²)	
		30 min	60 min			浸水 1 d	浸水 5 d
普通微表处	>180	1.8	2.4	5.1	176.3	335.3	522
胶粉微表处	>180	1.6	2.2	4.3	202.5	295.4	481.6
技术要求	>120	≥1.2	≥2.0	≤5	≤450	≤540	≤800

注：室内温度采用空调控温，试验温度为 25℃。

分析认为：

a) 拌和试验和粘聚力试验：橡胶粉干法微表处与普通微表处的可拌和时间与粘聚力均能满足技术要求（表 7），这说明掺加橡胶粉对初凝时间及开放交通时间的影响很小，可以满足快速开放交通的基本条件。

b) 负荷轮碾及湿轮磨耗试验：与普通微表处相比，胶粉干法微表处的变形量与湿轮磨耗值降低，普通微表处样品一般在 500 ~ 600 次碾压次数下即发生显著的变形，表面颗粒凸凹不平，这说明橡胶颗粒的加入可以改善微表处混合料的结合强度和抗变形能力，MS - III 细级配微表处添加橡胶粉前后的轮辙变形量对比见图 1；同时，橡胶粉的加入还能提高混合料的柔韧性，大大降低噪音，这在实验过程中体现为明显的噪音减小。

A₁B₁C₁、A₁B₃C₂，由正交试验结果可看出，粗级配混合料成型过程中易出现稀浆离析现象，应尽量避免粗级配，C 级配因素在水平 2 和 1 时变形率较接近，因此，变形量的最优配比组合可认为是 A₁B₃C₁。对于粘砂量，各因素水平对应的值基本满足技术要求，但粘砂量不宜过大或过小，结合表 5 中试件状态以及直观分析结果，可认为粘砂量的最优配比为 A₁B₂C₁。

兼顾三者，可得到一个统一的最优配比 A₁B₂C₁，即采用 1 号细级配、2% 的胶粉，11% 油石比进行橡胶微表处混合料的配制。我们将其与不加胶粉的同级配普通微表处混合料性能进行对比。

3 胶粉干法微表处与普通微表处对比

根据试验确定的最优方案 A₁B₂C₁，制备橡胶粉干法微表处混合料，将胶粉干法微表处与普通微表处进行性能对比，检验胶粉干法微表处的性能优化效果，见表 7。

可以说，胶粉干法微表处具备优良的抗变形能力，能够降低未来罩面的摩擦噪音；在填补车辙或某些功能罩面上应有良好的应用优势。

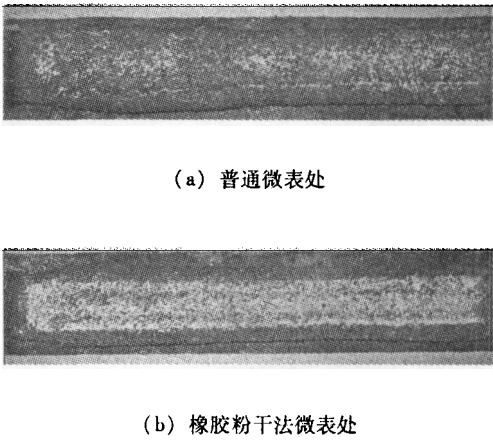


图 1 轮辙变形量对比

4 胶粉干法微表处技术影响因素

室内试验研究表明,胶粉干法微表处能表现出良好的路用性能,但胶粉、油石比等因素在不同水平下对其性能的影响是比较复杂的,下面结合正交试验的方差分析结果进一步探讨各因素在胶粉干法微表处中的影响。其中影响因子 F 比^[5]的对比如图 2 所示。

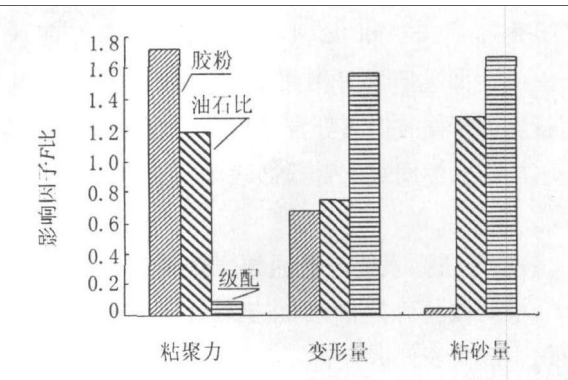


图 2 各因素对性能的影响对比

4.1 胶粉的影响

由各因素的影响因子 F 比(图 2)可知,胶粉对粘聚力的影响是最大的,油石比次之,级配最小,这与极差分析的结果也是相吻合的。不同胶粉掺量的影响见图 3。

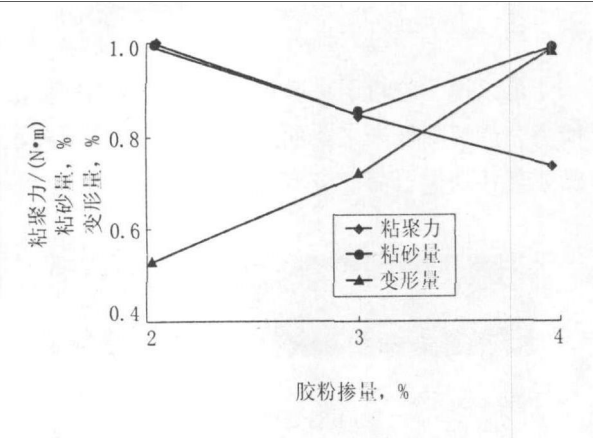


图 3 不同胶粉掺量的影响

由图 3 可以看出,胶粉掺量越大,粘聚力越小,变形量越大,根据表 5 中试件状态也可看出,胶粉掺量越大越易开裂变形,因此,胶粉的掺量不宜过大。有研究认为^[6],胶粉掺量应控制在 3% 以下,太大路面会快速开放交通时间,

降低混合料抗变形能力。在本研究中,胶粉掺量为 2%,可到最优配比的微表处混合料。

4.2 油石比的影响

油石比是影响粘砂量的重要因素,油石比越大,粘砂量也越大,这与已有的研究结论是一致的。胶粉的加入会在一定程度上增加沥青的用量,因此,不同的胶粉掺量应该对应不同的油石比,以期形成高油石比的微表处混合料,来满足路面耐久性能的要求。按照试验结果来看,每增加 1% 的胶粉量,油石比需增加 0.5% ~ 1.0%。

4.3 级配的影响

由图 2 可知,级配对试件变形率以及粘砂量的影响最明显,对粘聚力的影响较小,这也吻合了极差分析的结果。

不同级配类型的影响见图 4。

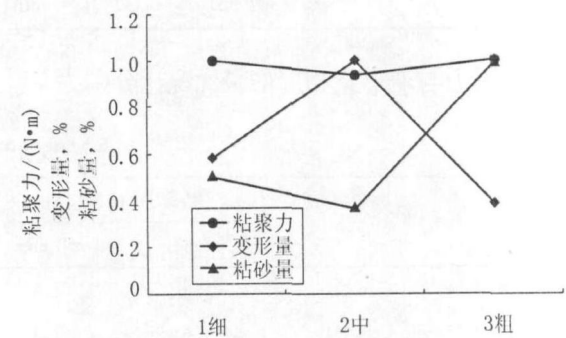


图 4 不同级配类型的影响

从图 4 可以看出,粗级配混合料的粘砂量最大,而细级配与中值级配的粘砂量较小。级配愈粗,粘砂量呈上升的趋势。分析认为,粗级配混合料的比表面积较小,只需要很少的沥青用量即可在矿料表面形成较厚的油膜,而细级配中粉料最多,矿料的比表面积大,在相同的沥青用量情况下形成的沥青膜厚度相对较小,粘附砂量也就较小。

虽然粗级配混合料产生的变形量最小,但试验过程中易稀浆离析且轮碾噪音较大,因此,应避免使用粗级配微表处混合料。本研究认为胶粉干法微表处混合料选择细级配可以获得良好的性能,而且产生的噪音也较小,粗细两种级配微表处混合料经过 1 000 次轮碾试验后的样品对比如图 5 所示。

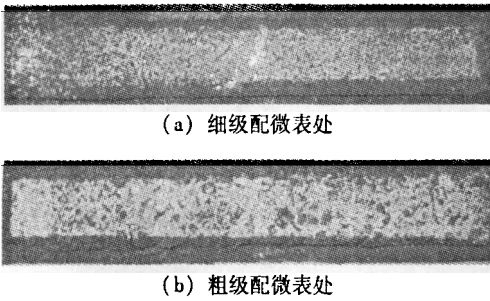


图 5 两种级配混合料的轮辙试验对比

4.4 矿粉的影响

不同的矿粉对沥青胶浆的性能有着明显的影响，因而在实际工程中，选择适宜的矿粉十分重要，它能有效地改善胶浆的性能及混合料的使用品质。亚甲蓝试验是确定细集料、细粉、矿粉中是否存在膨胀性粘土矿物并确定其含量的整体指标^[7]。本研究选取 4 种不同的矿粉进行亚甲蓝值（MBV）测试，探讨不同种类的矿粉对粘聚力的影响，结果见图 6。

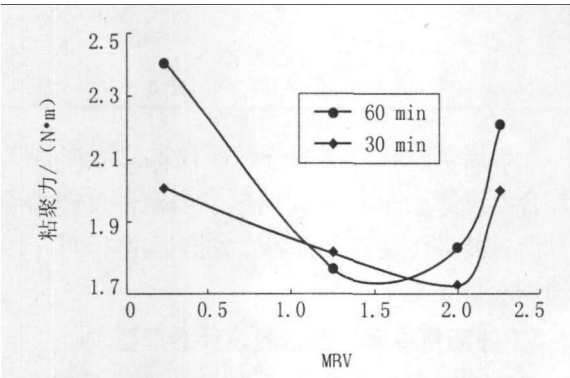


图 6 不同矿粉（亚甲蓝值）对粘聚力的影响

由图 6 可知，4 种矿粉的亚甲蓝值有着较明显的差别并且对混合料粘聚力有着明显的影响。试验表明，亚甲蓝值与粘聚力之间并不是简单的

线性关系，其对粘聚力的影响规律还需进一步研究。

5 结论与建议

橡胶粉的加入可以提高微表处混合料的抗变形能力，增加路面的弹性，大大降低噪音，在填补车辙或某些功能罩面上应有良好的应用优势。

胶粉掺量对于胶粉干法微表处混合料的粘聚力和变形量影响较大，胶粉含量过大会降低微表处混合料的性能指标，本实验推荐细级配 MS-3 微表处中的胶粉掺量（60 目）为 2%~4%；油石比的大小应根据胶粉的掺量并结合粘砂量试验来确定；级配类型应尽量选取细级配的胶粉干法微表处混合料，以减小混合料稀浆离析，降低行车噪音；同时，选择适宜的矿粉十分重要，不同矿粉对粘聚力有着较明显的影响。

另外，在橡胶粉干法微表处混合料的室内研究中，还可以按照热拌沥青混合料试件成型方法，进行路用性能评价。鉴于此，本方面的研究尚需广泛深入的研究及具体工程验证工作。

参考文献

- 1 虎增福. 乳化沥青及稀浆封层技术. 北京: 人民交通出版社, 2001
- 2 李艳丽, 张倩. 微表处技术在我国的应用. 山西建筑. 2005, 31 (3): 177~179
- 3 交通部公路科学研究院. 微表处和稀浆封层技术指南. 北京: 人民交通出版社, 2006
- 4 JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范
- 5 JB/T 7510—1994, 工艺参数优化方法—正交试验法
- 6 杨志强, 张玉玲, 李庆华. 废旧橡胶粉干法改性微表处的性能研究. 公路. 2009, (8): 102
- 7 中华人民共和国行业标准. 公路工程集料试验规程. 北京: 人民交通出版社, 2005

Optimization Study on Microsurfacing with Dry Crumb Rubber

Chen Wei¹ Fan Liang² Wang Lin²

- 1 Civil Engineering College, Shandong Jianzhu University, (Jinan 250101, China);
- 2 Shandong Transportation Research Institute (Jinan 250031, China)

Abstract: In this report, orthogonal experiment method is applied to research on crumb rubber Micro-surfacing by dry process, and some effects of different factors on its performance indicators including the cohesive force, deformation rate and the amount of sticky sand were analyzed, and the final optimized parameters were obtained. Finally, the obvious perfect pavement performance of the crumb rubber micro-surfacing mixture was verified in comparison with conventional micro-surfacing technique.

Keywords: Crumb rubber; Micro-Surfacing treatment; orthogonal experiment; comparative analysis