

# 废旧轮胎胶粉添加方式对橡胶沥青混合料路用性能的影响

李文秀

(山西交科公路勘察设计院, 山西 太原 030006)

**摘要:** 通过试验,对比分析了干法、湿法和干湿复合法 3 种废旧轮胎胶粉添加方式与不同胶粉掺量对沥青混合料路用性能的影响。结果表明,采用这 3 种胶粉添加方式制作的橡胶沥青混合料的路用性能,干湿复合法优于湿法,湿法优于干法,且干湿复合法与湿法所制橡胶沥青混合料的路用性能在 20% 胶粉掺量时优于其他胶粉掺量时;20% 胶粉掺量时橡胶沥青混合料的高温稳定性湿法优于干湿复合法,低温性能干湿复合法优于湿法,水稳定性干湿复合法优于湿法。

**关键词:** 公路;废旧轮胎胶粉;橡胶沥青混合料;路用性能;干法;湿法;干湿复合法

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)03-0066-04

废旧轮胎属于高分子材料,难以自我降解,大量堆放容易造成环境污染与大型火灾。将废旧轮胎作为道路铺筑材料既可解决废旧轮胎问题,运用适当还可提升沥青路面的路用性能。目前废旧轮胎胶粉运用于沥青路面的方法有 3 种,即直接对沥青进行改性(湿法)、将胶粉颗粒直接加入集料中拌和后再加入沥青(干法)及两种方法的复合(干湿复合法)。根据国内外文献,目前湿法的运用已较为成熟,但采用湿法添加胶粉不利于混合料施工和易性;采用干法添加胶粉所筑的试验路还存在一些问题,容易出现混合料整体粘结性不足;对干湿复合法添加胶粉的研究不足。鉴于此,该文通过对比 3 种胶粉添加方法所制成的沥青混合料的路用性能差异,以添加方式与胶粉添加量作为变量,对比不同添加方式在最佳胶粉添加量下混合料路用性能指标的差异。

## 1 试验方案

### 1.1 原材料及级配

采用 SK90 基质沥青、80 目胶粉和玄武岩,最佳油石比为 4.9%,其中复合式胶粉添加法干法按

2% 添加,其余采用湿法添加。胶粉的性能见表 1~2。采用 AC-13C 级配(见表 3)。

表 1 胶粉的化学组成 %

组成	测量值	规范要求
灰分	6	≤8
炭黑含量	32	≥28
橡胶烃含量	47	≥42
丙酮抽取物	15	≤22

表 2 胶粉的物理技术指标

指标	测量值	规范要求
相对密度	1.15~1.20	1.10~1.30
水分/%	0.4	<1
金属含量/%	0.007	<0.01
纤维含量/%	0.6	<1

### 1.2 胶粉添加方式

(1) 干法。将废旧轮胎制成胶粉颗粒加入到沥青混合料的集料中,在混合料制作过程中加入热沥青,通过热沥青的热与集料搅拌时的温度在混合料拌制过程中融化胶粉颗粒。

表 3 矿料级配

级配类型	通过系列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	100.0	85.0	68.0	40.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0
下限	100	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0
合成级配	100	98.3	70.0	42.9	29.3	20.4	14.7	12.2	9.1	5.6

(2) 湿法。将胶粉制成较细粉状直接添加于热沥青中,在热沥青搅拌过程中使沥青与胶粉搅拌均匀形成橡胶沥青,再将橡胶沥青加入集料中拌制成橡胶沥青混合料。

(3) 干湿复合法。为干法和湿法的复合,将要加入混合料中的废旧轮胎胶粉,一部分采用干法添加,另一部分采用湿法添加。

2 路用性能试验研究

2.1 高温稳定性

路面在温度较高的情况下经过行车荷载的不断作用而产生变形,变形累计最终形成永久性变形,即车辙。参照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行车辙试验,评价橡胶沥青混合料的高温稳定性,试验结果见表 4 和图 1。

表 4 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料车辙试验结果

胶粉颗粒 掺量/%	不同添加方式下的动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )		
	干法	湿法	干湿复合法
18	4 810	5 249	5 110
20	4 792	5 388	5 292
22	4 575	4 951	4 875

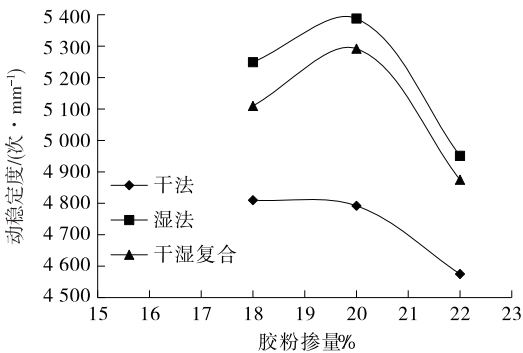


图 1 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料动稳定度走势

由表 4 与图 1 可知:干法添加胶粉方式所制混合料的高温稳定性不如湿法与复合添加法,干法添加方式下随着胶粉掺量的增加混合料的高温稳定性逐渐变弱,而湿法与干湿复合法所制混合料的高温稳定性都呈现先增后减的趋势,并在 20%胶粉掺量时达到最大值。动稳定次数最大值湿法比干湿复合法大 96 次/mm,高温稳定性湿法略强于干湿复合法;干湿复合法所制混合料的动稳定次数最大值为干法最大值的 112%。

2.2 低温性能

低温情况下,沥青混合料的粘弹性与塑性变弱,在行车荷载和温缩应力共同作用下路面容易出现不规则温缩裂缝,裂缝的出现容易使外界水大量进入路面结构层,导致路面寿命大大缩短。因此,低温抗裂性能是保证路面使用寿命的一项重要指标。根据 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》,采用小梁弯曲试验评价橡胶沥青混合料的低温性能,试验结果见表 5 和图 2。

表 5 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料小梁弯曲试验结果

胶粉掺量/%	不同添加方式下的弯拉应变/ $\mu\epsilon$		
	干法	湿法	干湿复合法
18	3 803	4 012	4 176
20	3 856	4 114	4 121
22	3 920	4 143	4 023

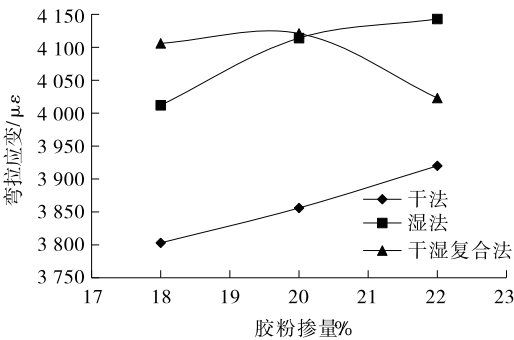


图 2 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料弯拉应变走势

由表 5 与图 2 可知:干法、湿法所制混合料的弯拉应变随胶粉掺量的增加而上升,可见胶粉的掺入有利于提高橡胶沥青混合料的低温性能;干湿复合法所制混合料的弯拉应变随胶粉掺量的增加先稍上升、然后下降,在 20%胶粉掺量时达到最大值。干法所制沥青混合料的弯拉应变比湿法与干湿复合法的小,18%、20%掺量时的弯拉应变干湿复合法>湿法,22%掺量时干湿复合法<湿法。

2.3 水稳定性

水稳定性在多雨地区是影响路面寿命与质量的重要指标。水在路面结构空隙中经过行车荷载反复作用及高寒地区冻融循环作用将导致混合料内部粘结性变差,最终影响整体强度。通过浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验测试橡胶沥青混合料的水稳定性,试验结果见表 6~7 和图 3~4。

表 6 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料浸水马歇尔试验结果

胶粉掺量/ %	干法试验结果			湿法试验结果			干湿复合法试验结果		
	未浸水 动稳定 度/kN	浸水动 稳定度/ kN	残留稳 定度/ %	未浸水 动稳定 度/kN	浸水动 稳定度/ kN	残留稳 定度/ %	未浸水 动稳定 度/kN	浸水动 稳定度/ kN	残留稳 定度/ %
18	13.15	11.99	91.2	14.23	13.40	94.2	13.98	13.58	97.1
20	13.56	12.38	91.3	14.29	13.59	95.1	14.05	13.61	96.9
22	13.45	11.74	87.3	14.32	13.70	95.7	14.11	12.75	90.4

表 7 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料冻融劈裂试验结果

胶粉掺量/ %	干法试验结果			湿法试验结果			干湿复合法试验结果		
	未冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈裂 强度比 TSR/%	未冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈裂 强度比 TSR/%	未冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈 裂强度/ MPa	冻融劈裂 强度比 TSR/%
18	2.375	0.799	80.1	0.978	0.824	84.3	0.968	0.799	82.5
20	2.378	0.820	81.2	0.962	0.817	85.1	0.958	0.820	85.6
22	2.371	0.779	82.0	0.952	0.796	83.6	0.951	0.788	82.9

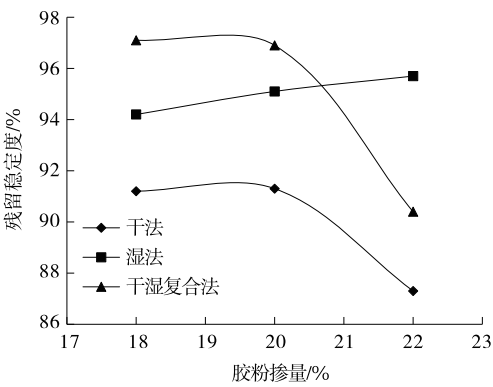


图 3 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料残留稳定度走势

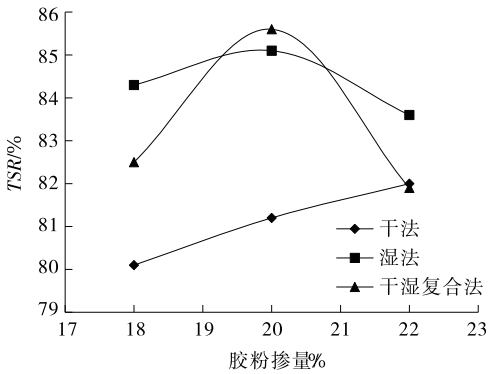


图 4 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料冻融劈裂强度比 TSR 走势

由表 6~7 和图 3~4 可知:橡胶沥青混合料的残留稳定度和 TSR 最大值,干湿复合法>湿法>

干法。随着胶粉掺量的增加,干法添加方式下橡胶沥青混合料的马歇尔残留稳定度先增后减,整体小于湿法与干湿复合法;TSR 值在增加,但整体小于湿法与干湿复合法,说明干法所制混合料的水稳定性不如另两种方法。胶粉掺量为 20% 时混合料的水稳定性干湿复合法优于湿法,且此时干湿复合法所制混合料的水稳定性达到最大值。

2.4 疲劳性能

沥青路面破坏主要为荷载累积下沥青路面出现疲劳破坏,疲劳性能是评价沥青路面质量的重要指标。将车辙试件切割成小梁放置于疲劳试验机反复加载、卸载直至试件断裂,以应力比 0.5 进行测试,试验结果见表 8。

表 8 不同胶粉掺量和添加方式下橡胶沥青混合料疲劳试验结果

胶粉添加方式	胶粉掺量/%	疲劳寿命均值/次
干法	18	7 914
	20	8 123
	22	8 234
湿法	18	11 672
	20	12 451
	22	12 046
干湿复合法	18	12 534
	20	13 132
	22	12 467

由表8可知:随着胶粉掺量的增加,采用干法所制橡胶沥青混合料的疲劳寿命呈上升趋势,但其值远小于另外两种添加方式;湿法与干湿复合法所制混合料的疲劳寿命均在20%胶粉掺量时达到最大值,且最大值干湿复合法为湿法的105.5%。说明干湿复合法所制混合料的疲劳性能优于另两种方式。

### 3 结论

(1) 各种胶粉添加方式所制混合料的动稳定次数均在20%胶粉掺量时达到最大值,且干法小于干湿复合法,干湿复合法略小于湿法,湿法所制沥青混合料的高温性能好于其他两种方法。

(2) 干法所制橡胶沥青混合料的低温性能不如湿法与干湿复合法,干湿复合法所制橡胶沥青混合料的弯拉应变在20%胶粉掺量时达到最大值,20%掺量时干湿复合法所制混合料的低温性能优于湿法,继续增加胶粉掺量,湿法所制混合料的低温性能继续增长并超过干湿复合法。

(3) 湿法与干湿复合法所制橡胶沥青混合料的水稳定性明显优于干法,最佳胶粉掺量皆为20%左右;20%掺量时干湿复合法的水稳定性略优于湿法。

(4) 干法所制混合料的疲劳性能远不如湿法与干湿复合法,且干湿复合法与湿法所制混合料的疲

劳性能皆在胶粉掺量20%时最优;干湿复合法所制橡胶沥青混合料的疲劳性能优于湿法。

(5) 综合考虑各项试验结果,胶粉最佳掺量为20%。橡胶沥青混合料在胶粉掺量为20%时的路用性能,干湿复合法优于干法,与湿法接近。但干湿复合法可减少添加于沥青中的胶粉量,从而减轻橡胶沥青施工和易性差的缺点;也可减少集料中橡胶,从而减少混合料粘附性差的缺点。因此,干湿复合法若可通过其他方法提高干、湿法所加胶粉比例,则在施工上优于湿法。

### 参考文献:

- [1] 陈梦,张涛.废胶粉改性沥青用于道路工程的研究进展[J].山西交通科技,2016(2).
- [2] 杨建伟.浅议橡胶沥青的应用[J].交通科技,2011(增刊2).
- [3] 吴生海.干湿复合橡胶沥青路面关键技术研究[D].西安:长安大学,2014.
- [4] 朱永.干法橡胶沥青混合料 SMA 的应用研究[D].南京:东南大学,2015.
- [5] JTGE20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

收稿日期:2017-01-02

(上接第65页)

温度敏感性明显。5 Hz 扫描频率下的振动粘度小于1 Hz 下的振动粘度。

由图12可知:老化对沥青振动粘度的影响不明显,老化后沥青的振动粘度略大于基质沥青。

### 3 结论

(1) 在中间温度范围内,沥青各动态流变性能指标的温度敏感性较强,随温度升高而大幅度减小。

(2) 扫描频率对沥青动态流变性能指标测试有一定影响,尤其是在高温(100℃以上)时,扫描频率变化引起沥青动态流变性能指标测试结果发生明显变化。

(3) 老化对沥青动态流变性能的影响主要体现在高温阶段,在100℃以上时,基质沥青和老化沥青的动态流变性能指标存在较大差异。

### 参考文献:

- [1] 詹小丽,张肖宁,卢亮.沥青低温粘弹性能的预测[J].吉

林大学学报:工学版,2008,38(3).

- [2] 陈华鑫,陈拴发,王秉纲.SBS改性沥青低温粘度的动态剪切流变测试方法[J].同济大学学报:自然科学版,2009,37(4).
- [3] 薛连想.环氧沥青的粘弹特性[J].华南理工大学学报:自然科学版,2008,36(10).
- [4] 何立平.基于DMA方法的橡胶沥青粘弹特性和高温性能研究[D].西安:长安大学,2014.
- [5] 常明丰.基于颗粒物质力学的沥青混合料细观特性研究[D].西安:长安大学,2013.
- [6] 陈华鑫,王秉纲.SBS改性沥青车辙因子的改进[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(10).
- [7] 徐晶,张蓉,徐清.沥青车辙因子在高温范围的经验回归关系[J].公路,2004(3).
- [8] 田小革,郑健龙,张起森.老化对沥青结合料粘弹性的影响[J].交通运输工程学报,2004,4(1).
- [9] 马庆丰,辛雪,范维玉,等.聚磷酸改性沥青流变性能及改性机制研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(6).

收稿日期:2017-01-16