

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.029

橡胶粉掺量对水泥砂浆性能的影响

张艳聪¹, 高玲玲²

(1. 山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 太原 029306;

2. 山西水利职业技术学院, 山西 运城 044004)

摘要: 选用相同的水泥、水和细集料, 通过调节橡胶粉的掺量, 配制若干组橡胶粉水泥砂浆, 并测定其流动性、强度、韧性及耐磨性能, 研究橡胶粉掺量对水泥砂浆性能的影响。结果表明: 水灰比相同、橡胶粉按体积比等量取代砂时, 水泥砂浆流动度随着胶粉掺量的增大近似线性增加; 随橡胶粉掺量的增加, 水泥砂浆的 7 d、28 d 抗压强度和抗折强度均不断降低; 在掺量小于 30% 之前, 韧性和耐磨性能均呈线性增长趋势。

关键词: 道路工程; 橡胶粉水泥砂浆; 流动性; 强度; 韧性; 耐磨性能

中图分类号: TU528; U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2013)S1-0130-04

Influence of Rubber Powder Dosage on Performance of Cement Mortar

Zhang Yancong¹, GAO Lingling²

(1. Shanxi Provincial Research Institute of Communication, Key Laboratory of Highway

Construction & Maintenance in Loess Region, Taiyuan 029306, P. R. China;

2. Shanxi Conservancy Technical College, Yuncheng 044004, Shanxi, P. R. China.)

Abstract: A number of rubber cement dosage specimens that rubber powder dosage different were obtained using same cement, water and fine aggregates, by adjusting the dosage of rubber powder. Then it was used to research the influence of rubber powder dosage on performance of cement mortar by measuring its liquidity, strength and toughness. The results show that: when water-cement ratio was equal and rubber powder replacing the same volume sand, the fluidity of cement mortar almost linear increased with rubber powder dosage increasing. With dosage of rubber powder increasing, compressive strength and flexural strength of 7 days and 28 days of cement mortar reduced, but toughness and wear resistant present linear growth trend when dosage of rubber powder less 30%.

Key words: Road engineering, Rubber powder cement mortar, Fluidity, Strength, Toughness, Wear resistant

废旧橡胶粉作为可再生资源, 被广泛应用于筑路技术中, 不仅能改善筑路材料的路用性能, 并兼具降噪作用, 且环境效益显著^[1-2]。将橡胶粉用于建筑物、构造物、机场道面和高速公路路面, 具有显著的抗疲劳、抗开裂特点, 可延长其使用寿命^[3-6]。

因此, 各国学者对橡胶粉水泥砂浆/混凝土做了较多的研究, Hal Huynh 认为 2 mm 粒径的橡胶颗粒能降低砂浆的抗压和抗折强度。10.8 mm × 1.8 mm 的橡胶纤维可有效减小砂浆的裂纹宽度^[7]。

按照 ASTM C39 进行橡胶混凝土抗压实验, 结果表明橡胶颗粒的掺加使混凝土抗压强度和弯拉强度均有所下降^[8-9]。Segre 和 Joekes 等认为 35 目橡胶粉砂浆的抗压、抗折强度均呈下降趋势^[10-15]。宋少民认为当混凝土中橡胶粉掺量达到最佳时, 水泥与骨料的界面作用达到最大, 有效抑制了微裂缝的发生, 从而改善混凝土的抗冲击性。

虽然对橡胶混凝土的研究很多, 但大多使用橡胶颗粒代替粗集料研究橡胶混凝土的力学性能, 针对橡胶粉按体积比取代砂所得砂浆性能的研究较少, 因此笔者主要研究橡胶粉掺量对水泥砂浆流动性、强度和韧性的影响, 用于更加系统直观地了解橡胶粉对水泥砂浆各项参数的作用, 为橡胶粉水泥砂浆设计和应用提供理论依据。

1 原材料

为准确对比橡胶粉掺量对水泥砂浆流动性、强度、韧性和耐磨性能的影响, 试验采用同一批次的原材料(水泥、集料、橡胶粉等)制作试件。

1.1 水泥

水泥选用质量稳定的北京产拉法基 P. O42.5 水泥, 其物理-力学性能指标如表 1 所示, 满足 GB175-1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》的质量要求。

收稿日期: 2013-05-20

基金项目: 山西省科技厅科技项目(2013-1-10)

作者简介: 张艳聪(1985-), 男, 主要从事路面结构与材料研究, (E-mail) zuoyouan103@163.com。

表 1 水泥的性能指标

细度/($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		安定性(煮沸法)
	初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d	
350	180	275	35.6	49.8	6.1	8.9	合格

1.2 集料

细集料选用秦皇岛河砂,属 II 区中砂,细度模数为 2.8,表观密度为 2.59 g/cm^3 。特细砂细度模数为 0.8,特细砂和机制砂的级配良好。

1.3 橡胶粉

试验采用 80 目废旧轮胎橡胶粉,密度为 1.3 g/cm^3 ,堆积密度为 0.29 g/cm^3 。

1.4 水

水选用北京地区的自来水。

2 试验方法

试验采用单因素控制法,将橡胶粉掺量作为变量,通过调节胶粉掺量、等体积取代砂的方法配制不同橡胶粉掺量的水泥砂浆,进而测定不同掺量时的砂浆试样流动性和试件的 7 d、28 d 抗压强度、抗折强度、韧性和耐磨性能。

流动度、强度、耐磨性测试参照《公路水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005) 进行,韧性通过测定砂浆小梁试件受弯时的荷载-变形曲线评定。试件尺寸和加载位置与抗折强度试验相同,采用 MTS-810 材料试验系统测定橡胶砂浆小梁在荷载作用下的荷载-挠度曲线,采用挠度控制模式,压头下降速率为 0.5 mm/min 。

2.1 橡胶粉掺量对水泥砂浆流动性的影响

水泥砂浆的流动性是反映水泥砂浆工作性的重要指标。橡胶粉水泥砂浆的流动性采用普通水泥胶砂流动度测定仪测定。试验选择 3 种橡胶粉掺量,按照干燥橡胶粉等体积取代砂的方法,进行配合设计,体积取代率分别为:0%、10%、20%和 30%。试样配合比如表 2 所示:

表 2 配合比

试样	水泥/g	水/g	胶粉/%	砂子/g
1-0	586	293	0%	1 500
1-1	586	293	10%	1 350
1-2	586	293	20%	1 200
1-3	586	293	30%	1 050

2.2 橡胶粉掺量对水泥砂浆抗压、抗折强度的影响

试验选择 10 种橡胶粉掺量,按照干燥橡胶粉等体积取代砂的方法,进行配合设计,基准水泥用量为 586 g,基准砂用量 1 500 g,水灰比为 0.5,橡胶粉的体积取代率分别为:0%、1%、3%、5%、7%、9%、10%、15%、20%、25%和 30%。

2.3 橡胶粉掺量对水泥砂浆韧性的影响

试验选择 10 种橡胶粉掺量,按照干燥橡胶粉等体积取代砂的方法,进行配合设计,基准水泥用量为 586 g,基准砂用量 1 500 g,水灰比为 0.5,橡胶粉体积取代率分别为:0%、10%、20%和 30%。基准试样编号为 3-0,掺加橡胶粉的试样依次编号为 3-1,……,3-3。

2.4 橡胶粉掺量对水泥砂浆耐磨性的影响

试验选择 3 种橡胶粉掺量,以干燥的橡胶粉按体积比取代砂子,基准水泥用量为 586 g,基准砂用量 1 500 g,水灰比为 0.5,橡胶粉按体积取代砂,体积取代率分别为:10%、20%、30%。基准试样编号为 4-0,掺加橡胶粉的试样依次编号为 4-1,……,4-3。

3 试验结果与分析

按上述试验方法,配置水泥砂浆试件,并测定其流动性、强度和韧性,结果与分析如下。

3.1 橡胶粉掺量对砂浆流动性的影响

掺加橡胶粉的水泥砂浆流动性测试结果如图 2 所示。

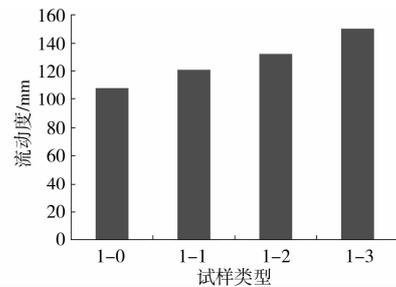


图 1 橡胶粉掺量与流动性

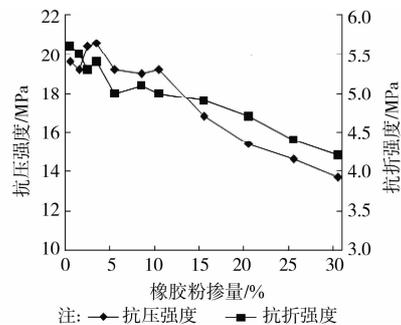


图 2 橡胶粉掺量与对 7 d 强度

由图 1 可知,水灰比相同时,水泥砂浆的流动度随橡胶粉掺量的增加线性增大,当掺量增加到 30%时,流动性提高约 26.4%。由于橡胶粉取代细砂的掺量是等体积进行的,橡胶粉掺入的同时,总砂浆质量降低,在同等搅拌功率下,橡胶砂浆更容易混合均匀。同时橡胶粉与砂相比,吸水量明显较小,水灰比相同时,混合物中游离的水分增加。再者,橡胶粉属微弹性材料,取代砂的同时,也降低了与骨料的界面摩擦。所以,在一定范围内,水泥砂浆的流动度随着胶粉掺量的增加呈现增大的趋势。

3.2 橡胶粉掺量对砂浆抗压、抗折强度的影响

3.2.1 掺量对砂浆 7 d 强度的影响 橡胶粉掺量不同的砂浆试件的 7 d 强度测试结果如图 2 所示。由图 2 可知:1)随着橡胶粉掺量的增加,橡胶粉水泥砂浆的 7 d 抗压强度和 7 d

抗折强度总体上均呈现降低趋势。掺量为 30% 时, 抗压强度降低约 29%, 抗折强度降低约 24%; 2) 砂浆的折压比的波动范围较小, 即: 抗压强度和抗折强度随胶粉掺量增大的降低过程大致相同, 折压比几乎不变; 3) 当橡胶粉掺量介于 0%~10% 时, 强度虽有波动但未显著下降, 当橡胶粉掺量大于 10% 时, 水泥砂浆试件的抗压强度以及抗折强度均随胶粉掺量的增加急剧线性降低。

3.2.2 掺量对砂浆 28 d 强度的影响 橡胶粉掺量不同砂浆试件的 28 d 强度测试结果如图 3 所示。

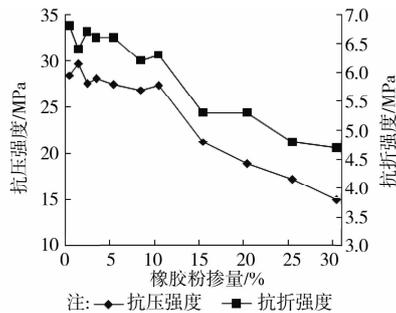


图 3 橡胶粉掺量与 28 d 强度

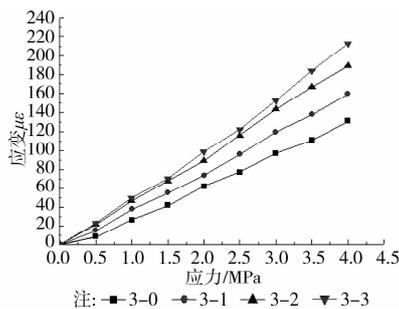


图 4 橡胶粉掺量与应力应变曲线

由图 3 可知: 1) 随橡胶粉掺量的增加, 水泥砂浆试件的 28 d 抗压强度和 28 d 抗折强度均呈现明显的下降趋势, 抗压强度降幅为 43%; 而抗折强度降幅为 32%, 小于抗压强度; 2) 折压比随着橡胶粉掺量的增加逐渐增大, 即: 28 d 时, 水泥砂浆试件的折压比随橡胶粉掺量增加而提高; 3) 当橡胶粉掺量小于 10% 时, 28 d 的强度变化规律不同于 7 d, 随橡胶粉掺量的增加也呈现降低趋势。

综上, 橡胶粉掺量的增加对水泥砂浆强度的影响较大。橡胶粉掺量越高, 水泥砂浆的强度越低。掺量为 30% 时, 其抗压强度仅为基准试样的 50%, 同时抗折强度也下降约 30%。强度下降的主要原因有: 1) 橡胶粉是有机高分子材料, 不具水化活性, 不能与水泥生成具有粘结强度的水化产物; 2) 橡胶粉具有较大的弹性, 只能承受很小的压力; 3) 在较大的压力下, 会发生明显的变形。砂浆中富含 200~900 μm 的空隙, 由于橡胶粉的粒径优势, 能在拌合及成型过程中对这些孔隙进行填充。当橡胶粉的掺量较小时, 得益于橡胶粉的填充作用, 水泥砂浆密实性增加, 因此抗压强度损失不大, 抗折强度还略有提高; 若掺量过大, 则无水化粘结能力、不能承受压力等问题开始凸显, 造成其抗压强度和抗折强度的急剧降低。

3.3 橡胶粉掺量对砂浆韧性的影响

水泥砂浆试件韧性测试结果如图 4 所示。由于韧度通

过试件底面的应力-应变曲线计算得到, 当弯拉应力达到最大时, 试件突然折断, 应力迅速下降而应变快速增大, 所以, 无法测得应力下降阶段的变化关系。因此, 试验首先绘制相应的应力-应变曲线, 然后测算相同应力作用时, 曲线和应力轴围成的近似三角形的面积, 进而面积大小评价橡胶粉水泥砂浆的韧性优劣。

由图 4 可知: 1) 随橡胶粉掺量的增大, 水泥砂浆的韧性逐渐增加, 这与橡胶粉的变形恢复能力有关, 荷载相同时, 在一定掺量范围内, 橡胶粉含量越高, 水泥砂浆的变形能力越大, 即韧性越好。2) 胶粉掺量不同的试样应力-应变曲线均接近直线, 即掺入胶粉有效地提高了砂浆材料的弹性, 即使已经发生了较大的应变, 材料依然处于弹性状态。

3.4 橡胶粉掺量对砂浆耐磨性的影响

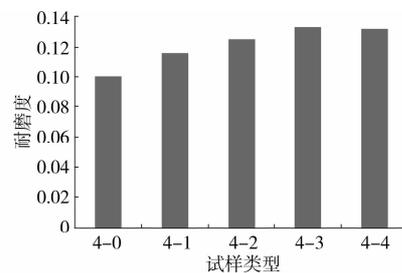


图 5 橡胶粉掺量与耐磨性能

橡胶粉掺量不同的砂浆试件的耐磨度测试结果如图 5 所示。由图 5 可知: 1) 随着橡胶粉掺量的增加, 砂浆的耐磨性能总体上不断提高, 且二者近似线性关系; 2) 橡胶粉体积掺量为 30% 时, 砂浆耐磨性能最好, 当掺量大于 30% 后, 砂浆耐磨性不再明显提高。

4 结论

1) 水灰比相同、橡胶粉按体积比等量取代砂时, 水泥砂浆的流动度随胶粉掺量的增加线性增大。

2) 砂浆的抗压和抗折强度总体上随胶粉掺量的增加逐渐降低。当胶粉掺量介于 0~10% 时, 强度虽有波动但未显著下降, 当掺量大于 10% 时, 强度均急剧线性降低。龄期为 7 d 时, 砂浆试件折压比几乎不随胶粉掺量变化, 龄期为 28 d 时, 折压比随掺量增加而提高。

3) 水灰比相同、橡胶粉按体积比等量取代砂, 掺量小于 30% 之前, 随着橡胶粉掺量的增大, 水泥砂浆韧性和耐磨性能均不断增加。

4) 橡胶粉的掺入改善了水泥砂浆的脆性, 使材料在较大的应变范围内均保持弹性。

参考文献:

- [1] 李悦, 王玲. 橡胶集料混凝土研究进展综述[J]. 混凝土, 2006(4): 91-93.
Li Y, Wang L. The research progress of Portland cement concrete containing crumb rubber[J]. Concrete, 2006(04): 91-93.
- [2] 郭灿贤. 废旧轮胎胶粉改性水泥混凝土及其路用性能研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2006, 06.
- [3] Hernandez O F, Barluenga G. Fire performance of recycled rubber-filled high strength concrete[J]. Cement and Concrete

- Research, 2004, 34: 109-117.
- [4] 李丽娟,陈智泽,谢伟锋,等. 橡胶改性高强混凝土基本性能的试验研究[J]. 混凝土, 2007(5): 60-63.
Li L J, Chen Z Z, Xie W F, et al. Experimental study of performance of high strength concrete modified by recycled rubber powder[J]. Concrete, 2007(5): 60-63.
- [5] 谢伟锋,李丽娟,刘锋,等. 橡胶粉改性高强混凝土高温前后性能研究[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2007(S1): 11-15.
Xie W F, Li L J, Liu F, et al. Research on high temperature property of rubber powder modified high strength concrete[J]. Concrete, 2007(Sup1): 11-15.
- [6] 申俊敏,李银榜. 重载旧水泥混凝土路面损坏调查与评价[J]. 山西交通科技, 2012(1): 15-17.
Shen J M, Li Y B. The damage survey and evaluation of old cement concrete pavement under heavy-load[J]. Shanxi science & technology of communication, 2012(1): 15-17.
- [7] 李红燕. 橡胶改性水泥基材料的性能研究[D]. 南京:东南大学, 2004, 03.
- [8] 张伟,孙道胜,王爱国. 外掺橡胶粉改性水泥砂浆的物理力学性能研究[J]. 混凝土, 2009(7): 99-102.
Zhang W, Sun D S, Wang A G. Phys ico-mechanical properties of the mortar added with crumb rubber[J]. Concrete, 2009(7): 99-102.
- [9] 滕达,凌建明,袁捷. 聚合物改性水泥基材料对沥青路面面层疲劳性能的改善[J]. 公路工程, 2012, 37(2): 167-170.
Teng D, Ling J M, Yuan J. The effect of polymer modified cement based composite material on the fatigue performance of asphalt mixtures [J]. Highway Engineering, 2012, 37(2): 167-170.
- [10] 郑莉娟,余其俊,韦江雄. 废橡胶粉的改性及其对水泥砂浆性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(1): 52-54, 74.
Zhang L J, Yu Q J, Wei J X. Surface modification of pulverized waste rubber and its effect on the properties of portland cement mortar [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(1): 52-54, 74.
- [11] 张志刚. 橡胶粉水泥砂浆性能试验研究[J]. 西部交通科技, 2007(4): 37-40, 55.
Zhang Z G. Experimental Study on the Performance of Rubber Cement Mortar [J]. Western Traffic Science & Technology, 2007(4): 37-40, 55.
- [12] Albano C, Camacho N. Influence of scrap rubber addition to portland concrete composites: destructive and non-destructive testing[J]. Composite Structures, 2005, 71(3): 439-446.
- [13] 郭海龙. 橡胶粉水泥砂浆的性能研究[J]. 科学之友, 2012(8): 41-43.
Guo H L. The performance of rubber cement mortar[J]. Friend of Science Amateurs, 2012(8): 41-43.
- [14] 郑莉娟,余其俊,韦江雄,等. 废橡胶粉的改性及其对水泥砂浆性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2008(1): 52-54, 74.
Zheng L J, Yu Q J, Wei J X, et al. Surface modification of pulverized waste rubber and its effect on properties of portland cement mortar[J]. Journal of Wuhan University of technology, 2008(1): 52-54, 74.
- [15] 黄少文,徐玉华. 废旧轮胎胶粉对水泥砂浆力学性能的影响[J]. 南昌大学学报:工科版, 2004(4): 53-55.
Huang S W, Xu Y H. Influence of scrap tire rubber powder on the mechanical properties of cement Mortar [J]. Journal of Nanchang University: Engineering & Technology, 2004(4): 53-55.

(编辑 张 苹)

(上接第 99 页)

- [21] Ng C W, Leung E H Y, Lau C K. Inherent anisotropy stiffness of weathered geomaterial and its influence on ground deformations around deep excavations [J]. Geotechnical, 2004, 41: 12-24 .
- [22] 阳军生. 城市隧道施工引起的地表变形 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [23] Karstunen M, Yin Z Y. Modelling time-dependent behavior of Murro test embankment [J]. Geotechnique, 60(10): 735-749.
- [24] 孙德安,申海娥. 上海软土的流变试验研究 [J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(3): 74-78.
Sun D A, Shen H E. Study on rheological of soft soil in Shanghai [J]. Hydrogeology Engineering Geology, 2010, 37(3): 74-78.
- [25] 王结虎. 上海软土的渗透性试验研究 [D]. 上海: 上海大学, 2004.

(编辑 郭 飞)