

对于赤泥沥青胶浆的沥青 - 集料界面 粘附性研究

朱颖¹, 陈鲁川¹, 王飞¹, 吕鑫², 王静², 李沛钊^{2*}

¹山东高速集团有限公司, 山东 济南

²山东大学, 山东 济南

Email: *844746446@qq.com

收稿日期: 2020年11月25日; 录用日期: 2020年12月18日; 发布日期: 2020年12月29日

摘要

为了证明使用赤泥替代矿粉作为填料的可行性, 达到加大赤泥的使用量、保护环境的目的, 对赤泥沥青胶浆与集料之间的粘附性进行研究。本文通过使用SEM测试对本研究中使用的填料的微观结构进行表征, 从微观上分析填料对于沥青胶浆 - 集料粘界面强度的影响机理, 并使用PosiTest AT-A全自动附着力测试仪对沥青胶浆 - 集料的粘界面强度进行了测试, 结果证明使用少量造纸白泥与烧结法赤泥混合粉体替代矿粉, 增强了沥青胶浆与集料之间的粘附性能以及水稳定性。

关键词

沥青胶浆, 赤泥, 白泥, 石灰岩矿粉, 界面强度, 水稳定性

Research on Interfacial Adhesion between Asphalt and Aggregate for Red Mud Asphalt Mortar

Ying Zhu¹, Luchuan Chen¹, Fei Wang¹, Xin Lv², Jing Wang², Peizhao Li^{2*}

¹Shandong Hi-Speed Group Co. Ltd., Jinan Shandong

²Shandong University, Jinan Shandong

Email: *844746446@qq.com

Received: Nov. 25th, 2020; accepted: Dec. 18th, 2020; published: Dec. 29th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 朱颖, 陈鲁川, 王飞, 吕鑫, 王静, 李沛钊. 对于赤泥沥青胶浆的沥青 - 集料界面粘附性研究[J]. 土木工程, 2020, 9(12): 1390-1397. DOI: 10.12677/hjce.2020.912147

Abstract

In order to prove the feasibility of using red mud instead of mineral powder as filler, increase the amount of red mud and protect the environment, the adhesion between red mud asphalt mortar and aggregate was studied. In this paper, the microstructure of the fillers used in this study was characterized by SEM, and the influence mechanism of fillers on the interfacial strength of asphalt mortar aggregate was analyzed from the microscopic point of view, and posttest was used AT-A automatic adhesion tester was used to test the bond interface strength between asphalt mortar and aggregate. The results showed that using a small amount of paper-making white mud and sintering red mud mixed powder instead of mineral powder, the adhesion performance and water stability between asphalt mortar and aggregate were enhanced.

Keywords

Asphalt Mastics, Red Mud, White Mud, Limestone Powder, Interface Strength, Water Stability

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 由于公路交通量日益增长, 大多数沥青路面在使用后就普遍出现各种路面损坏, 水损坏是路面出现早期破坏的主要形式, 同时, 水损坏的出现也会加速沥青路面其他病害的出现, 如: 沥青剥落、坑槽、推移、车辙、唧泥等。这些病害大大降低了路面的使用寿命, 增加了路面养护成本。多数学者经过多年的研究认为水的作用使沥青与集料的粘结界面发生破坏是造成水损害的影响因素之一[1]。

所以, 沥青和集料界面的粘附性能研究对沥青路面的发展有重要意义。填料是沥青混合料中重要组成部分, 可以起到填充集料骨架空隙、提高沥青 - 集料粘附性的作用。所以本研究欲使用一种填料替代矿粉来增强沥青与集料界面的粘附性。

赤泥是氧化铝厂用碱法处理铝土矿提取氧化铝后排放的不溶性固体工业废弃物, 因其富含氧化铁, 呈现出红色或褐色, 故称为赤泥。现在我国的赤泥综合利用率不足 4% [2]。大量的赤泥露天堆放占用大量土地, 耗费大量的堆场建设和耕地费用, 对周围土体和地下水环节带来安全隐患。由于赤泥外观形状和基本物理性质与矿粉相似, 并且来源广泛, 价格低廉, 故本文使用赤泥替代矿粉用作沥青混合料中的填料。

在前人的研究中, 消石灰是一种常用的沥青混合料抗剥落添加剂, 掺入一定量的消石灰也可以提高酸性集料与沥青的黏附性, 从而改善花岗岩沥青混凝土的抗水损害能力[3]。造纸白泥是在造纸碱回收过程中产生的, 主要由 CaCO_3 组成, 含有 Na_2O 、 K_2O 、 Fe_2O_3 等杂质, 化学成分与矿粉相近, 白泥中残留的一定量的纸浆纤维残留物也有可能改善沥青混合料的粘结性能。故本文选择这两种粉体与赤泥混掺研究其对沥青 - 集料界面粘附性的影响。

2. 试验材料

2.1. 沥青

本文试验所使用的沥青为 70# 基质沥青, 产自山东, 该沥青的基本性能指标见表 1。

Table 1. Basic performance index of 70# base asphalt**表 1.** 70#基质沥青基本性能指标

基本性能指标	70#基质沥青	试验方法
软化点(°C)	48.2	T0606-2011
针入度(25°C, 0.1 mm)	68.3	T0604-2011
延度(15°C, cm)	>150	T0605-2011
动力粘度(60°C, Pa·s)	235	T0620-2000

2.2. 填料

2.2.1. 矿粉

本文研究中采用的矿物填料为最常用的石灰石矿粉，来自济南文组石灰石采石场，矿粉的规格符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)中对填料的要求。

2.2.2. 赤泥

在我国，根据生产方法的不同，赤泥可分为烧结法赤泥、拜耳法赤泥和联合法赤泥，本研究中选择烧结法赤泥进行研究，本研究中的赤泥产自山东铝业股份有限公司，烧结法赤泥为棕色，PH 值比拜耳法赤泥低。

从炼铝厂取回的赤泥不可直接用作沥青混合料中的填料，赤泥的处理方法为：首先将大块赤泥砸成小颗粒状，然后将赤泥置入 105°C 的烘箱中加热 24 小时直至完全干燥，之后，用球磨机将干燥的赤泥磨成细粉，磨细至《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)中对填料所要求的粒径。表 2 列出了矿粉和处理后的烧结法赤泥的基本指标试验结果。

Table 2. Basic index of filler**表 2.** 填料的基本指标

指标	矿粉	烧结法赤泥
相对密度	2.701	2.553
PH 值	8.2	9.9
比表面积(m ² /g)	9.988	35.419
孔隙体积(cc/g)	0.017	0.097

2.2.3. 造纸白泥

造纸白泥是在造纸碱回收过程中产生的，造纸白泥主要由 CaCO₃ 组成，并含有 Na₂O、K₂O、Fe₂O₃ 等成分，同时含有少量的木质素纸浆纤维残留物，具有改善沥青 - 集料界面粘附性的潜质。

2.2.4. 消石灰

以往的研究表明，添加消石灰可以改善沥青混合料的抗剥落性能，消石灰也是一种常用的沥青混合料抗剥落添加剂。

2.3. 沥青胶浆

本文所研究的沥青胶浆中沥青和填料的质量比为 1:1，为评价各种填料对沥青胶浆性能的影响，将赤泥、消石灰、白泥、矿粉分别按不同比例与沥青混合，制得沥青胶浆，填料的配比和沥青胶浆的编号见表 3。

Table 3. Mix proportion and name of asphalt mortar**表 3.** 沥青胶浆的配比和名称

粉胶比	填料类型与配比	编号	
1 : 1	烧结法赤泥	RM	
	矿粉	LP	
	赤泥: 消石灰	5:5	R5H5
		6:4	R6H4
		7:3	R7H3
		8:2	R8H2
		9:1	R9H1
	赤泥: 白泥	5:5	R5W5
		6:4	R6H4
		7:3	R7W3
		8:2	R8H2
		9:1	R9W1
		赤泥:消石灰:白泥 = 6:1:3	R6H1W3
		赤泥:消石灰:白泥 = 6:2:2	R6H2W2
		赤泥:消石灰:白泥 = 6:3:2	R6H3W1

沥青胶浆的制备过程为：首先将沥青在 145℃ 的烘箱中加热 1 小时直至熔化；将矿物填料和赤泥按预定比例加入到沥青中，使用搅拌器以 1000 rpm 的速度在 145℃ 条件下均匀搅拌 30 min 直至完全混合。

3. 试验方案

3.1. 微观分析

由于不同的粉体材料表面形态、微观结构存在差异，这会影响到沥青与集料的接触面强度，故本研究通过使用 SEM 测试对四种填料的微观结构进行了观察与分析。

3.2. 沥青胶浆与集料接触界面强度研究

本研究使用美国狄夫斯高生产的 PosiTest AT-A 全自动附着力测试仪对沥青与集料的附着力进行测定，通过沥青与集料之间附着力的的大小以及界面的断裂类型来研究沥青胶浆与集料接触界面强度。其中设备及试验图样如图 1 所示。



Figure 1. PosiTest AT-A adhesion tester (left), test sample (right)
图 1. 全自动附着力测试仪(左)、试验样例(右)

本试验方法是将锭子与集料通过沥青粘结,然后在一定的试验条件(不同温度、湿度)下放置一段时间,再使用全自动附着力测试仪对沥青与集料的附着力进行测定,沥青膜的厚度为 2 mm,加载速率为 0.7 MPa/s。本试验使用的集料为玄武岩、石灰岩,需要将粗糙大石块用切割机切成厚度为 1~2 cm 的长方形薄片。

4. 试验结果

4.1. SEM 测试

本文选取了填料放大 10,000 倍的图像进行观察,四种填料的 SEM 图像如图 2 所示。这四种样品在粒径、颗粒形态和表面纹理上呈现出不同的特征。通过磨细处理的赤泥颗粒接近不规则球形,颗粒粒径在 10~50 μm 之间,颗粒较小,表面纹理粗糙,边缘不清晰。赤泥中的细颗粒往往团聚在一起,形成相对较大的聚集体。石灰岩矿粉颗粒尺寸较大,并具有明显的边缘纹理,颗粒间无结块现象。石灰岩矿粉中存在少量粒径超过 100 μm 的颗粒,但大多数颗粒粒径小于 100 μm 。消石灰颗粒粒径大部分在 10 μm 以内,其颗粒尺寸远小于石灰岩矿粉,消石灰也没有出现团聚现象,值得注意的是,在消石灰中发现了具有层状结构的颗粒。白泥观察到更严重的团聚现象,颗粒呈现出近乎絮状的结构,粒径也相对较大,这可能是由于白泥中保留了一些木质素纤维,引起了白泥组分的过度粘连,这些纤维可能会增强沥青胶浆的粘聚力,增大沥青胶浆-集料界面的粘结强度。粉末材料表面形态的差异可能会影响沥青与填料的结合,进而影响沥青材料的路用性能。

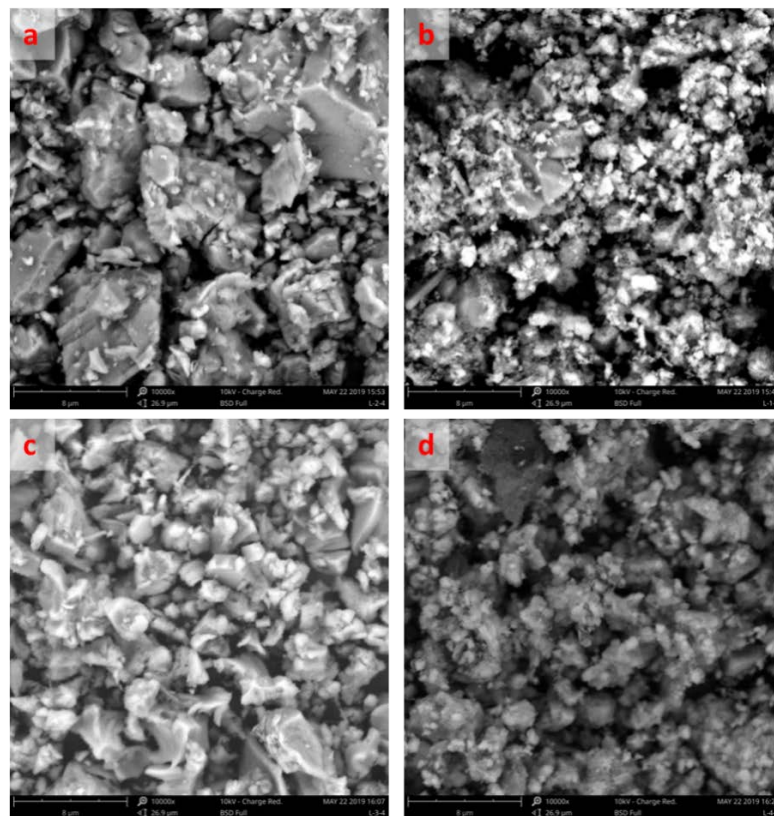


Figure 2. SEM images of four fillers: (a) limestone powder, (b) red mud, (c) hydrated lime, (d) white mud

图 2. 四种填料的 SEM 图像: (a) 石灰岩矿粉, (b) 赤泥, (c) 消石灰, (d) 白泥

4.2. 沥青 - 胶浆界面强度测试

4.2.1. 沥青 - 胶浆界面附着力

本节通过使用 AT-A 附着力测试仪对不同条件下(干燥、浸水 3d、浸水 7d、浸水 14d)沥青胶浆与集料的附着力进行了测定, 试验结果, 见图 3, 由图 3 中可以看出, 在干燥条件下, 所有沥青胶浆与集料的附着力最大, 填料的种类对于沥青胶浆与集料之间的粘聚状态无明显影响, 然而, 在浸水条件下, 沥青胶浆与集料的附着力会大幅降低, 并且随着浸水时间的延长而迅速降低。其中, 矿粉沥青胶浆与集料的粘结强度在浸水 3d 条件下基本保持不变, 但是随着浸水时间的延长, 粘结强度明显下降。同时, 使用赤泥替代矿粉作为填料会使得在浸水条件下沥青胶浆与集料粘附性大幅降低, 这说明赤泥沥青胶浆的水稳定性较差。而在赤泥中掺入一定量的消石灰, 会使得沥青胶浆在短期内与集料的粘附性效果较好, 但长期性能依然不理想。与消石灰相比, 白泥在短期和长期的浸水作用下均提高了沥青胶浆与集料的粘附性。在浸水 14d 后的条件下, 附着力依然可以达到干燥状态的 80% 以上, 这可能是因为白泥中残留的一定量纸浆纤维残留物, 会增强沥青胶浆的粘聚力。

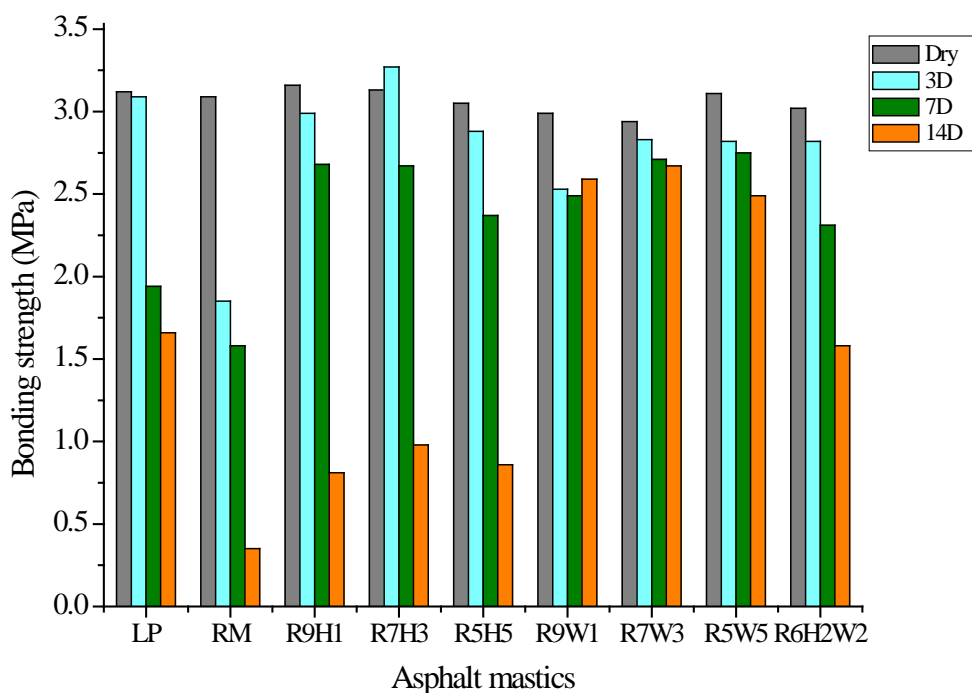


Figure 3. Adhesion between asphalt mortar and aggregate
图 3. 沥青胶浆与集料之间的附着力

4.2.2. 沥青 - 胶浆断裂面

本节选取了各沥青胶浆在各种条件下典型试样的破坏面平面图, 由图 4 可以看出, 所有试件在干燥条件下均发生了沥青胶浆内聚破坏。这说明沥青胶浆 - 集料界面的粘结强度大于沥青胶浆内部的粘结强度。而在浸水处理后, 断裂破坏由沥青胶浆内聚破坏转化为沥青 - 集料粘结面部分甚至完全破坏。这是因为浸水条件下, 水分子破坏了沥青 - 集料粘结界面的粘聚性, 导致粘结强度降低。在相同的浸水时间下, 与矿粉沥青胶浆相比, 赤泥沥青胶浆试件的沥青 - 集料粘结面破坏的更严重, 甚至经过 14d 浸水处理后沥青 - 集料粘结面几乎完全破坏, 说明赤泥沥青胶浆易受水损坏。而在赤泥中掺入一定量的消石灰, 可以使沥青 - 集料粘结面破坏程度降低, 但是长期来看, 这种效果是有限的, 浸水 14d 后, 沥青 - 集料

粘结面基本还是完全破坏。然而，在赤泥中掺入一定量白泥会使得沥青-集料粘结面更加稳定，即使在浸水处理 14d 后，沥青-集料的粘结面基本保持完整，试样的破坏基本还是沥青胶浆内聚破坏。综合来看，白泥是提高赤泥沥青胶浆与集料之间粘结强度，增强水稳定性的合适选择。

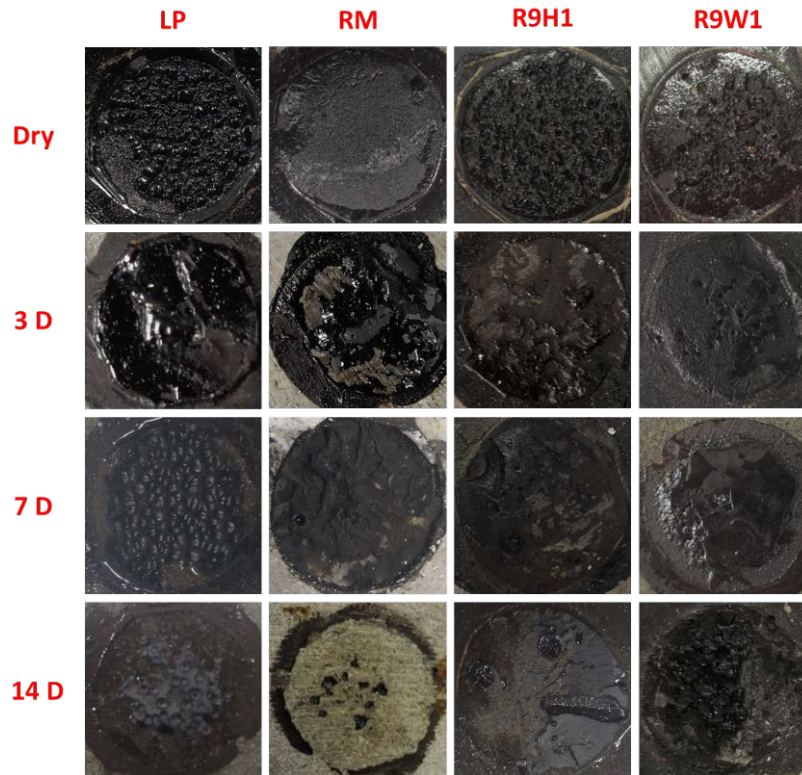


Figure 4. The failure map of different asphalt paste surface
图 4. 不同填料制得的沥青胶浆破坏面平面图

5. 结论

为了研究使用赤泥替代矿粉作为填料的可行性，本文通过使用 SEM 测试观察并分析了赤泥、矿粉、白泥、消石灰在微观结构上的不同，通过使用 PosiTest AT-A 全自动附着力测试仪对沥青与集料的附着力进行测定，并且对于沥青-集料粘结界面的断裂类型来分析沥青胶浆与集料的粘结性能，得出了以下结论：

1) 赤泥中的细颗粒往往团聚在一起，形成相对较大的聚集体。石灰岩矿粉颗粒尺寸较大，并具有明显的边缘纹理，颗粒间无结块现象。消石灰和石灰岩矿粉类似，也没有出现团聚现象。白泥中观察到更严重的团聚现象，这可能是因为在白泥中保留了一些木质素纤维，这些纤维可能会增强沥青胶浆的粘聚力，增大沥青胶浆-集料界面的粘结强度。

2) 但是随着浸水时间的延长，矿粉沥青胶浆与集料的粘结强度明显下降；使用赤泥替代矿粉作为填料会使得在浸水条件下沥青胶浆与集料粘附性大幅降低，这说明赤泥沥青胶浆的水稳定性较差；在赤泥中掺入一定量的消石灰，长期粘结性能依然不理想。与消石灰相比，白泥在短期和长期的浸水作用下均提高了沥青胶浆与集料的粘附性。在长期浸水后，附着力依然可以达到干燥状态的 80% 以上。

3) 在浸水处理后，赤泥沥青胶浆试件的沥青-集料粘结面破坏的最严重，说明赤泥沥青胶浆易受水损坏。而在赤泥中掺入一定量的消石灰，可以使沥青-集料粘结面短期破坏程度降低。在赤泥中掺入一定量白泥会使得沥青-集料粘结面更加稳定，即使在长时间浸水处理后，沥青-集料的粘结面基本保持

完整，试样的破坏基本还是沥青胶浆内聚破坏。

综合来看，白泥是提高赤泥沥青胶浆与集料之间粘结强度，增强水稳定性的合适选择。

参考文献

- [1] 张越. 沥青与集料界面粘附性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [2] 冯有利, 于立竟, 晁钰鸿. 氧化铝厂烧结法赤泥制备免烧砖及其性能研究[J]. 矿物学报, 2013, 33(S2): 694.
- [3] 王明存, 王献庄. 消石灰提高集料与沥青粘附性的机理分析[J]. 山西科技, 2008(4): 145-146+152.