

文章编号:1671-6833(2013)03-0081-04

阳离子乳化沥青对硅酸盐水泥砂浆力学性能影响分析

王振军, 高 杰, 魏永锋, 石 艳, 侯小红

(长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘 要: 针对乳化沥青掺量对水泥砂浆力学性能的影响, 采用不同质量百分比的乳化沥青与水泥(AE/C)制备乳化沥青改性水泥砂浆, 测试其抗压强度和抗折强度等力学性能, 并采用扫描电镜(SEM)分析微观结构, 解析乳化沥青对水泥砂浆力学性能影响机理. 结果表明: 乳化沥青含量大于 5% 时, 砂浆的抗压强度显著下降, 抗折强度提高; 当含量达 10% 时, 砂浆的韧性最佳. 乳化沥青对水泥砂浆力学性能的改善机理为沥青胶浆填充在水化产物的空隙中, 起到吸收荷载、为水化产物失稳破坏提供缓冲的作用. 当沥青用量过大时, 沥青膜厚度大于水化硅酸钙(C-S-H)长度, 水化产物未穿过沥青膜生长, 无法形成连续的网络结构, 导致砂浆韧性降低.

关键词: 道路工程; 乳化沥青; 水泥砂浆; 力学性能; 韧性; 机理

中图分类号: U414.750.3 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.020

0 引言

硬化水泥基复合材料属脆性材料, 韧性较差, 乳化沥青混合料属于柔性材料, 近年来在公路工程中备受关注. 乳化沥青改性水泥砂浆是以水泥浆体为连续相进行“刚中掺柔”来提高水泥砂浆韧性的新型工程材料<sup>[1-2]</sup>. 近几年, 国内外学者对阳离子乳化沥青改性水泥砂浆的宏观性能进行了深入的研究. Song 等<sup>[3]</sup>研究了乳化沥青乳液作为高聚物改善水泥浆体的力学性能的可行性, 认为乳化沥青能够显著提高水泥浆体的抗渗、抗碳化性能, 并能有效阻止氯离子渗透. 李祝龙等<sup>[4]</sup>研究认为乳化沥青对水泥砂浆具有滞缓终凝及减少用水量的作用, 分析了乳化沥青用量对动弹性模量的影响规律. 胡曙光等<sup>[5]</sup>在极度干燥条件下研究了乳化沥青对水泥砂浆的改性机理, 认为乳化沥青能提高水泥砂浆的抗折强度, 降低压折比, 并深入阐述了乳化沥青破乳程度对改性效果的影

响. Ghazi 等<sup>[6-7]</sup>等制备了水泥乳化沥青混合料测试了其路用性能, 并分析复合胶浆的微观结构, 认为复合胶浆是由沥青包裹的矿粉与未水化水泥组成的粒状颗粒和纤维状水泥水化产物 C-S-H 凝胶、CH 等构成. 上述研究从不同角度讨论了乳化沥青对水泥砂浆性能影响, 鲜见结合微观结构特征对其力学变化规律提出较为详尽的机理解释.

因此, 笔者研究不同乳化沥青含量对水泥砂浆抗压强度及抗折强度的变化, 并根据其变化规律深入、系统的研究乳化沥青对水泥砂浆的作用机理.

1 原材料与试验方法

1.1 原材料性能

采用 32.5 复合硅酸盐水泥, 其物理性能见表 1; 干净河砂, 细度模数  $\mu_s = 2.58$ , 属中砂; 慢裂型阳离子乳化沥青, 其性能指标见表 2; 萘系高效减水剂, 减水率 20%.

表 1 水泥的物理性能

Tab.1 The physical properties of the cement

堆积密度/ (g · cm <sup>-3</sup> )	勃氏比表面积/ (m <sup>2</sup> · kg <sup>-1</sup> )	凝结时间/min		80 μm 筛余/%	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		初凝时间	终凝时间		3 d	28 d	3 d	28 d
3.11	348	150	270	0.2	11.8	37.5	2.5	6.5

收稿日期:2012-11-25; 修订日期:2013-01-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50908021; 51210105015); 交通运输部西部交通建设科技资助项目(20113188121720)

作者简介: 王振军(1978-), 男, 山东潍坊人, 长安大学副教授, 博士后, 研究方向为道路工程材料, E-mail: wangzhenjun029@163.com.

表 2 乳化沥青性能指标

组成分量/%			极性	蒸发残留	筛上剩余	pH
基质沥青	乳化剂	水		量/%	量/%	
65	0.4	34.6	阳性	63.5	0.6	4.02

1.2 试验方法

砂浆中水泥、砂子、水、减水剂的质量比例为 1:1.33:0.25:0.026,且保持不变,乳化沥青与水泥的质量百分比(用 AE/C 表示)按 0.5%、10%、15% 和 20% 取代水泥.将所设计配合比的水泥砂浆制成 40 mm×40 mm×160 mm 的试件,室温养护 24 h 脱模,在恒温(20±2)℃相对湿度 95% 的条件下养护 7 d,后置于室温环境养护至 28 d 龄期.

采用 SANS 万能试验机测试力-挠度曲线并计算抗折强度,支座跨距 100 mm,匀速加载速率 0.5 mm/min,直至断裂.受压面为试件成型时的 2 个侧面,用折断后的棱柱进行抗压试验,压力机加载速率为 2 400 N/s±200 N/s,测取不同龄期试块的抗折、抗压强度.

另外,将试样切片并喷金,采用 Hitachi S4800 环境扫描电镜,分辨率为 8.0 nm,最大束流 2 μA,分析乳化沥青水泥砂浆的微观结构.

2 结果与分析

2.1 乳化沥青对砂浆抗压强度的影响机理

AE/C 对抗压强度的影响如图 1 所示.由图 1 可见,随着 AE/C 的增大,不同龄期下砂浆的抗压强度显著下降.当 AE/C=5% 时,其 3,7,28 d 龄期下抗压强度分别较基准试件下降了 24%、11%、19%,但乳化沥青聚集程度相对较低,其抗折强度保持在较高水平,这是因为包裹在水泥颗粒表面的沥青膜厚度较薄,水泥的水化产物仍是构成骨架结构的连续相.当 AE/C=10% 时,其 3 d、7 d、28 d 抗压强度分别较基准试件下降了 36%、25%、23%;当 AE/C=15% 时,其 3 d、7 d、28 d 抗压强度分别较基准试件下降了 53%、36%、

37%;当 AE/C=20% 时,其抗折强度下降至 28 Mpa 以下,将限制其在工程中的使用,这是由于随着乳化沥青聚集程度提高,沥青膜厚度增大,水泥的水化产物无法穿过沥青膜生长,未能相互搭接形成连续的支撑结构.此时硬化复合浆体的骨架结构是由裹附在水泥颗粒及砂表面的沥青膜构成,这种骨架结构较为疏松,难以提供足够的强度.

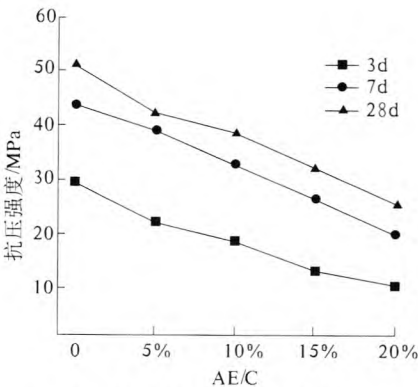


图 1 AE/C 对抗压强度的影响  
Fig.1 AE/C on mortar compression strength of the influence

图 2 为 7d 龄期下,不同聚灰比所构成试件的表面微观形貌. AE/C=5% 的试样中,由于沥青膜包裹不充分,所以水泥水化反应进展良好,反应初期产生的大量水化产物彼此搭接,不断生长,穿插于凝胶体内,形成了连续的空间骨架结构.随着水化反应的进行,水化生成的 C-S-H 凝胶和其他水化产物不断填充内部的孔隙,一些微细的纤维状水化物也大量产生.观察发现其表面孔隙较少,水泥石的结构致密,由水化产物相互交织而提供的强度较高.随着 AE/C 增至 10% 及 15%,试样中水泥颗粒被沥青膜分割若干个区域,区域之间是由沥青进行粘结,且水泥水化产物发育不佳,孔隙较多,结构松散,沥青-水泥的界面过渡区还存在较多的片状氢氧化钙晶体,这些特征均对抗压强度的形成不利.

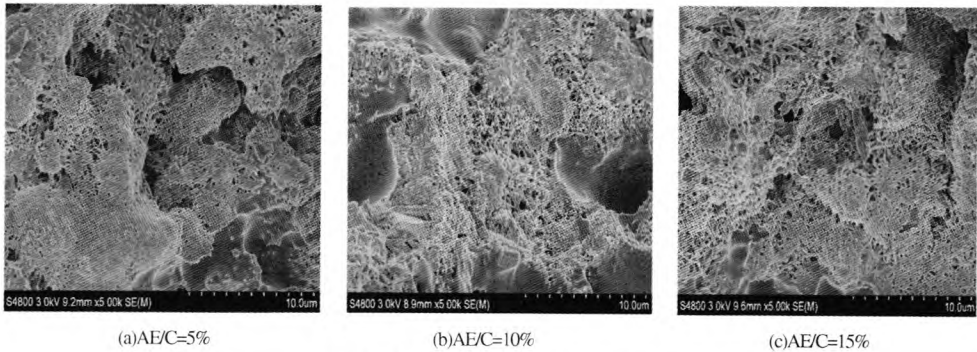


图 2 不同 AE/C 砂浆微观形貌  
Fig.2 Different AE/C mortar microscopic morphology

另外,阳离子乳化沥青在与水泥、砂子拌合的过程中,乳化沥青中的水相部分率先与集料表面接触,在其表面形成一层吸附水膜,由于阳离子乳化剂同时具有亲油基团和亲水基团,亲水基团一端插入水中随着水相流动的方向进行定向移动,吸附在集料表面,完成了水泥颗粒和集料从乳化沥青中“夺水”的过程.随后,乳化剂开始从乳化沥青中流失,直至胶浆体系失衡、乳化剂完全失去分散作用.同时,乳化剂中亲油基一端插入沥青微珠中,对之产生牵引效果并逐渐向集料表面聚集.在乳化剂的桥连作用下,大量沥青微珠相互交织、堆积、缠绕,形成沥青膜并完全裹附在水泥颗粒和集料表面,形成如图3所示囊包状突起<sup>[8-10]</sup>.在沥青成膜瞬间,一部分水在沥青与集料表面较强的吸附力作用下将二者间的水沿着它们的界面挤压出去,这种吸附力主要是由沥青中的环己烷酸和沥青酸与水化和水解过程中获得的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行化学反应形成的化学键所提供的,另一部分水则留在囊包中参与水化.

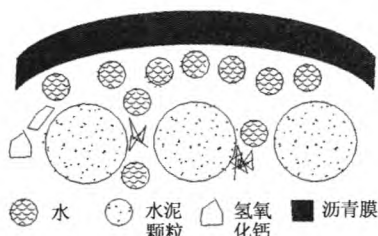


图3 沥青水泥囊包内部结构示意图

Fig.3 Asphalt cement sac bag internal structure diagram

## 2.2 乳化沥青对砂浆抗折强度的影响机理

乳化沥青对砂浆抗折强度的影响如图4所示.

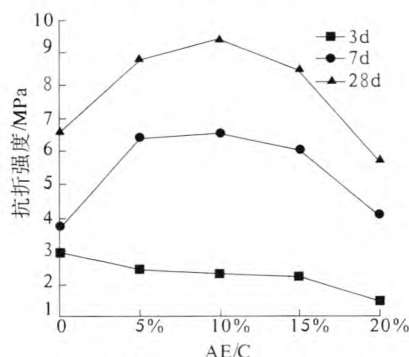


图4 AE/C对砂浆抗折强度的影响

Fig.4 AE/C on mortar bending strength of the influence

图4表明,7 d、28 d龄期下,随着聚灰比的升高,砂浆抗折强度的变化规律呈现出先大幅提高后趋于平缓,最后显著下降,并且其抗折强度均高于基准试件.当 $\text{AE/C} = 5\%$ 时砂浆抗折强度的增幅较大,7 d、28 d龄期下其抗折强度分别较基准

试件提高了72%、35%;当 $\text{AE/C} = 10\%$ 时,砂浆抗折强度最大,7 d、28 d龄期下分别较基准试件提高了75%、43%;当 $\text{AE/C}$ 大于10%后,抗折强度出现显著的下降.

3 d龄期试件的抗折强度因为加入了乳化沥青而低于基准试件;到达7 d龄期后其抗折强度迅速发展,高于基准试件.这说明乳化沥青对水泥颗粒的早期水化反应具有延缓作用,龄期超过7 d后延缓作用逐渐消除.这是由于水化初期水化产物发育不良,而后随着沥青膜内外的水泥颗粒水化反应进行,大量 $\text{C-S-H}$ 和次生的钙矾石、氢氧化钙晶体开始填充在基体架构中的空隙里<sup>[11]</sup>;这些簇状水化产物快速生长,使膜内外的水化产物实现贯穿,它们彼此交织、重叠在一起,形成了一个如图5所示错综复杂的密实网络结构,使抗折强度逐渐增大;同时,处于沥青膜之外的水泥颗粒的水化产物也牢牢刺入集料表面的沥青膜.

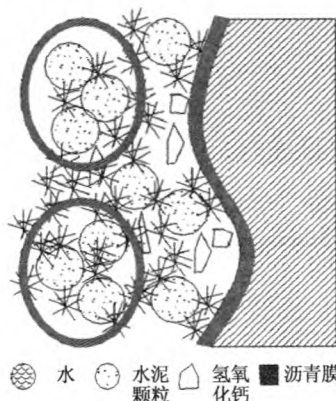


图5 砂浆内部网络结构示意图

Fig.5 Mortar internal network structure diagram

## 2.3 乳化沥青对砂浆韧性的影响机理

不同 $\text{AE/C}$ 下砂浆-挠度曲线如图6所示.图6表明,基准试件裂缝迅速贯通表现出脆性材料的典型破坏形式.随着乳化沥青的加入,荷载-挠度曲线逐渐变的较为平滑,初裂出现后试件所承受的荷载随位移的增大而缓慢增大,并在最大值附近出现小幅波动,然后逐渐下降. $\text{AE/C}$ 为0~5%时,试件荷载-挠度曲线的脆性特征较为明显,极限挠度较低,韧性不佳.当 $\text{AE/C}$ 增至15%~20%时,抗折强度有所降低,跨中挠度也相应降低,韧性较基准试件有所提高. $\text{AE/C} = 10\%$ 时,极限挠度最大,裂缝贯通过程缓慢,延性变形过程中所受荷载相对较为稳定,其韧性最佳.这是由于沥青水泥囊包状突起之间的空隙是由针状及纤维状的水化产物相互搭接而成的,图7中可观察到沥青胶浆填充在其中.在受弯曲荷载条件下,由于沥青的模量远低于硬化水泥浆体,沥青在压缩过程

中吸收了部分荷载,为水化产物的断裂提供了缓冲.同时,AE/C=10%时不会出现由于囊包之间

填充沥青过多而导致的滑动位移,从而提高了砂浆的抗折强度和韧性.

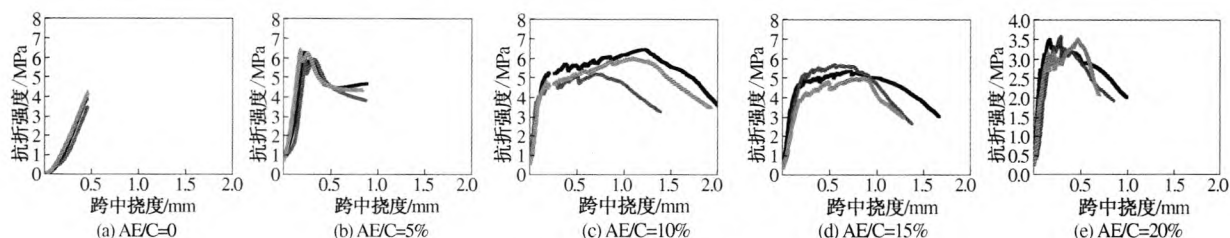


图6 不同AE/C下砂浆荷载-挠度曲线图

Fig. 6 Different AE/C mortar load-deflection curve



图7 砂浆内部结构SEM图像

Fig. 7 Mortar internal structure SEM image

### 3 结论

采用不同质量分数的乳化沥青与水泥(AE/C)制备乳化沥青改性水泥砂浆,通过评价其抗压强度和抗折强度等力学性能,确定乳化沥青的最佳质量百分比;并采用扫描电镜(SEM)分析微观结构,解析乳化沥青对水泥砂浆力学性能影响机理.

(1)乳化沥青质量分数大于5%时,砂浆的抗压强度显著下降,抗折强度提高,当质量百分比达到10%时,砂浆具有最佳的韧性.

(2)乳化沥青对水泥颗粒的早期水化反应具有阶段性的延缓作用,龄期超过3d后延缓作用逐渐消除.

(3)沥青胶浆填充在水化产物的空隙中,起吸收荷载、提供缓冲的作用;在砂浆强度得到保证的情况下,水泥砂浆的变形能力决定了其韧性.

(4)水化产物中沥青的充实程度是影响水泥砂浆力学性能的主要因素,这是由乳化沥青的加入量决定的,其填充厚度大于水化产物生长长度,水化产物不能实现贯通,无法形成连续的骨架结构,导致结构失稳破坏.

### 参考文献:

- [1] 沙爱民.半刚性路面材料结构与性能[M].北京:人民交通出版社,1999:7-11.
- [2] LU Cheng-Tsung, KUO Ming-Feng, SHEN Der-Hsien. Composition and reaction mechanism of cement-asphalt mastic[J]. Construction and Building Materials, 2009 (23): 2580-2585.
- [3] SONG Han, DO Jeongyun, SOH Yangseob. Feasibility study of asphalt-modified mortars using asphalt emulsion[J]. Construction and Building Materials, 2006, 20 (5): 332-337.
- [4] 李祝龙,梁乃兴.乳化沥青改性水泥砂浆的试验研究[J].公路,2011(11):117-119.
- [5] 胡曙光,许祥俊,丁庆军.干燥环境下乳化沥青改性水泥砂浆的试验研究[J].武汉理工大学学报, 2003, 25(5): 1-3.
- [6] AL-Khateeb G, AL-Akhras N M. Properties of Portland cement-modified asphalt binder using superpave tests [J]. Construction and Building Materials, 2011 (25): 926-932.
- [7] ISSA R, ZAMAN M, MILLER G A, et al. Characteristics of cold asphalt millings and cement-emulsion mix [J]. Transportation Research Record, 2001, 17: 1-6.
- [8] 王振军,沙爱民.水泥乳化沥青复合胶浆微观结构特征[J].长安大学学报:自然科学版, 2009, 29 (3): 11-14.
- [9] LI G, ZHAO Y, PANG S S. Experimental study of cement-asphalt emulsion composite [J]. Cement and Concrete Research, 1998, 28(5): 635-641.
- [10] ORUC SEREF, CELIK FAZIL. Effect of cement on emulsified asphalt mixtures [J]. Journal of Materials Engineering and Performance. 2007, 16 (5): 578-583.
- [11] KUMAR MEHTA P, PAOLO Mehteiro J M. Microstructure, properties and materials [M]. New York: The McGraw-Hill Companies Inc, 2007: 131-133.

(下转第89页)

## The Research on Computation of Researchers' Certainty Factor of the Indeterminate AHP

CHEN Xiao-zhen<sup>1</sup>, ZHANG Xue-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China; 2. School of Mechanic and Automotive Engineering Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China)

**Abstract:** In the durability evaluation of bridge, certainty factor of index's relative importance of different experts' evaluation is related to experts' research experience. Firstly, according to the similarity theory of vector, the similarity of the relative importance matrix of different experts is studied to determine experts' certainty factor in this paper; secondly, using different experts' indeterminate judgment matrix and random theory, the random value in the interval of relative importance index is used to form many judgment matrix, and different weight coefficients are obtained according to the above judgment matrix; lastly, different experts' certainty factors and weight coefficients are considered together, weighted average of different experts' weight coefficients is the final index weight value. Thus, the subjectivity of different experts is reduced and the evaluation conclusion is more credible, the research result showed that the computation accuracy in this paper was very high.

**Key words:** random theory; durability evaluation; indeterminate judgment matrix; certainty factor; weighted average; weight coefficient

(上接第 84 页)

## Mechanism and Influence of Asphalt Emulsion on Mechanical Performance of Cement Mortar

WANG Zhen-jun, GAO Jie, AI Tao, WEI Yong-feng

(School of Materials Science & Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** This paper is intended to analyze the influence of dosages of asphalt emulsion on the mechanical performance of cement mortar. Different mass percentages of asphalt emulsion and cement (AE/C) were applied to make asphalt emulsion cement mortar. The compressive strength and flexural strength of asphalt emulsion cement mortar were tested. Finally, mechanism of asphalt emulsion on mechanical performance of cement mortar was analyzed by scanning the microscopic structures using scanning electron microscope (SEM). The results show that when the content of asphalt emulsion is more than 5%, compressive strength of the mortar decreases significantly while the flexural strength increases. When AE/C comprises 10%, the mortar shows the greatest toughness. Asphalt emulsion dosage is a main factor that affects the mechanical performance of cement mortar. When the thickness of asphalt film is larger than the length of hydrated calcium silicate (C-S-H), cement hydration products neither grow through the asphalt membrane nor form a continuous network structure, which leads to lower toughness of the cement mortar.

**Key words:** road engineering; asphalt emulsion; cement mortar; mechanical performance; toughness; mechanism