

文章编号:1671-8879(2014)02-0022-07

水泥乳化沥青混合料性能试验

肖晶晶¹, 沙爱民², 蒋 玮², 王振军³

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 3. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘 要: 对不同乳化沥青用量和水泥掺量的水泥乳化沥青混合料进行了试验研究, 通过测试不同乳化沥青用量和水泥掺量时混合料的间接拉伸强度、抗压强度、静态回弹模量以及冻融劈裂强度比、浸水残留稳定度、动稳定度、最大弯拉应变、飞散损失率等指标, 得到了乳化沥青用量和水泥掺量变化对混合料强度和路用性能的影响规律。研究结果表明: 乳化沥青用量和水泥掺量对混合料的强度及路用性能影响显著, 掺加水泥后混合料的抗压强度、高温性能和水稳定性显著提高, 其中残留稳定度提高约 20%, 抗压强度提高 35%, 动稳定度成倍增长, 但混合料的低温弯拉应变降低约 12%; 水泥乳化沥青混合料中, 水泥掺量为 3%、乳化沥青用量为 8% 时, 混合料的强度和路用性能相对较好。

关键词: 道路工程; 水泥乳化沥青混合料; 强度; 路用性能

中图分类号: U414.1

文献标志码: A

Performance test of cement emulsified asphalt mixture

XIAO Jing-jing¹, SHA Ai-min², JIANG Wei², WANG Zhen-jun³

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Experimental research on cement emulsified asphalt mixture performance with different dosages of asphalt emulsion and cement was conducted. The influence law on the mixture performance by the emulsion and cement dosages was got through study on indirect tensile strength, compressive strength, static modulus, intensity ration of freezing and melting, soaking residual stability, dynamic stability, maximum flexural tensile strain, scattering loss rate and so on. The results show that the dosages of emulsion and cement have significant effects on the mixture performance, the mixture compressive strength, high temperature performance and water stability obviously are improved. The residual stability increases by 20%, the compressive strength increases by 35%, the dynamic stability is doubled, while the mixture low temperature flexural tensile strength decreases by 12%. With the addition of 3% cement and 8% emulsion, the mixture strength and pavement performance reach a relatively good level. 2 tabs, 16 figs, 11 refs.

Key words: road engineering; cement emulsified asphalt mixture; strength; pavement performance

收稿日期: 2013-04-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51208049); 中国博士后科学基金项目(2012M511966);

中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011JC158); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2013JQ7013)

作者简介: 肖晶晶(1982-), 女, 湖北武汉人, 讲师, 工学博士, E-mail: xiaojj029@sina.com。

0 引言

水泥乳化沥青混合料是将一定量的水泥、乳化沥青和集料在常温下拌和成型的。混合料中的乳化沥青聚并破乳形成粘结力,水泥水化结晶固化,水化产物与沥青膜交织缠绕,复合形成一种新的路面材料^[1-3]。由于其能够实现冷拌冷铺,极大地减少了施工过程中的能耗和碳排放,在路面工程中得到了越来越多的应用。

国内外对水泥乳化沥青混合料的材料组成、强度形成机理、路用性能等展开了相关研究。Oruc 等对水泥乳化沥青混合料的回弹模量进行了试验研究,得出低剂量(1%)水泥的水泥乳化沥青混合料的回弹模量随温度的变化趋势与热拌沥青混合料相同^[4];Niazi 等对水泥改性现场乳化沥青冷再生混合料的性能进行了研究,发现添加水泥和石灰都能增加混合料的马歇尔稳定度、回弹模量、拉伸强度、抵抗水损坏能力和抵抗永久变形的能力^[5];Amir 等对掺加水泥乳化沥青混合料的疲劳特性进行研究,确定了不同温度下,不同水泥含量的混合料疲劳寿命^[6];王振军等研究了不同水泥掺量对乳化沥青混合料稳定度、抗压强度和抗压回弹模量、抗折强度和抗折回弹模量、高温稳定性、水稳性和低温抗裂性能的影响,认为随着水泥掺量的增加,乳化沥青混合料的力学性能和路用性能得到提高^[7];杜少文等采用扫描电镜(SEM)等微观试验手段,对由不同粉胶比、不同类型水泥和不同岩性填料构成的水泥乳化沥青复合胶浆进行研究,提出复合胶浆微观结构特征^[8-10]。综上,本文在现有研究基础上,重点研究水泥、乳化沥青掺量对水泥乳化沥青混合料性能的影响规律。

1 试验材料与方案

乳化沥青为实验室自行制备,主要技术指标如表 1 所示。水泥为普通硅酸盐水泥,标号 32.5R,各项技术指标符合《沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求。

表 1 乳化沥青的主要技术指标

Tab. 1 Main technical indexes of asphalt emulsion

检测项目	实测结果	规范要求
筛上残留物/%	0.01	≤0.10
残留物质量分数/%	64.10	≥55.0
残留物延度(15℃)/cm	72.50	≥40.0
常温贮存稳定性(5 d)/%	2.90	≤5.0

集料为玄武岩,其中:砂当量 81.2%;坚固性 7%;磨光值 46.02(BPN);洛杉矶磨耗损失 22.2%;

压碎值 11.9%,其余指标均符合规范要求。对不同水泥和乳液用量的水泥乳化沥青混合料的强度特性、路用性能进行试验,所用矿料级配见表 2。

表 2 试验所用矿料级配

Tab. 2 Aggregate gradation for tests

通过下列筛孔(mm)的百分率/%									
16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
100	95.1	80.4	55.50	34.40	21.80	17.4	12.5	10.10	6.700

2 强度特性

对水泥乳化沥青混合料的强度性能进行研究,包括间接拉伸强度、抗压强度和静态模量等。

2.1 间接拉伸强度

采用 20℃时的间接拉伸试验评价水泥乳化沥青混合料抗拉强度,分析乳化沥青和水泥掺量对间接拉伸强度的影响。图 1 为水泥掺量 3%时,乳化沥青用量对混合料间接拉伸强度的影响。图 2 为乳化沥青用量 8%时,水泥掺量对混合料间接拉伸强度的影响。

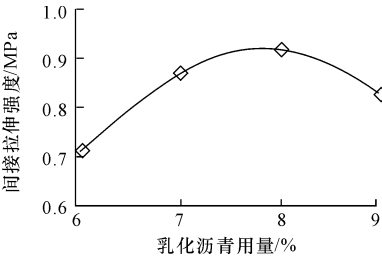


图 1 乳化沥青用量对间接拉伸强度的影响

Fig. 1 Influence of asphalt emulsion dosage on indirect tensile strength

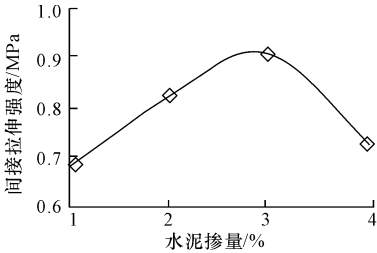


图 2 水泥掺量对间接拉伸强度的影响

Fig. 2 Influence of cement content on indirect tensile strength

由图 1、图 2 可知,混合料的间接拉伸强度随乳化沥青和水泥掺量的增大先增大而后有所降低。在乳化沥青用量为 8%,水泥掺量为 3%时,水泥乳化沥青混合料的间接拉伸强度达到峰值,约 0.9 MPa。

试验结果表明,过大和过小的乳化沥青用量都不利于混合料的间接拉伸强度;水泥的掺入能够显著提高混合料的间接拉伸强度,当掺量为 3%时,改善效果最好;水泥掺量继续增加,不能对混合料的间

接拉伸强度提供持续的增长,因为过多的水泥影响了混合料的拌和及压实效果,使得混合料的空隙率增大,整体性能降低。

2.2 抗压强度

固定水泥掺量为 3%、变化乳化沥青用量以及固定乳化沥青用量为 8%、变化水泥掺量时,分别进行混合料抗压强度试验(20 ℃),得到的试验结果见图 3、图 4。

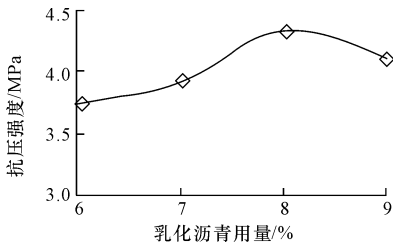


图 3 乳化沥青用量对抗压强度的影响

Fig. 3 Influence of asphalt emulsion dosage on compressive strength

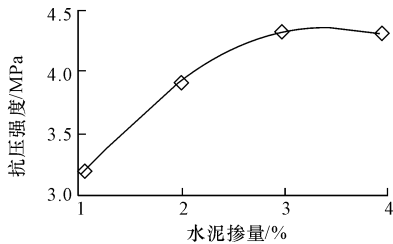


图 4 水泥掺量对抗压强度的影响

Fig. 4 Influence of cement content on compressive strength

由图 3、图 4 可知,乳化沥青用量和水泥掺量对混合料的抗压强度有不同程度的影响。水泥的掺入使混合料抗压强度得到大幅度提高,未掺加水泥时,混合料的抗压强度值约为 3 MPa,掺加 3% 的水泥后,混合料的抗压强度迅速增大至 4.3 MPa,这与水泥水化产物具有良好的抗压强度密切相关;水泥的掺量达到 4% 时,混合料抗压强度反而降低。因为水泥组分在复合材料内相对较多时,水泥水化产物生长发展,刺破穿过沥青膜,连续的沥青膜被水泥相分隔开,难以形成自身的空间整体网络。而水泥由于沥青的包裹作用以及酸性的不利水化环境等,水泥在混合料中水化的并不充分,水化产物又不足以形成以硬化水泥浆体为空间骨架的结构,这样导致水泥乳化沥青混合料没有完整的主体网络结构承担混合料的抗压荷载,抗压强度便有所下降。

2.3 静态回弹模量

温度为 20 ℃,水泥掺量为 3%、不同乳化沥青用量的混合料静态回弹模量试验结果如图 5 所示。

当水泥掺量固定为 3% 时,随着乳化沥青用量

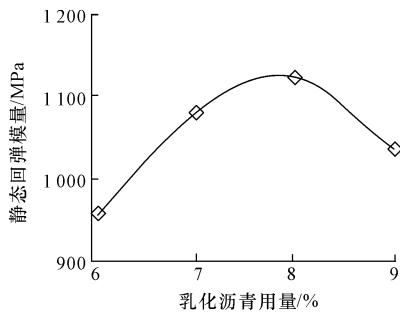


图 5 乳化沥青用量对静态回弹模量的影响

Fig. 5 Influence of asphalt emulsion dosage on static modulus of resilience

的增大,静态回弹模量呈现先增大后降低的变化趋势。乳化沥青用量为 8% 时,水泥乳化沥青混合料的静态回弹模量达到峰值,约为 1 100 MPa。

当乳化沥青用量为 8% 时,不同水泥掺量下混合料静态回弹模量的试验结果如图 6 所示。

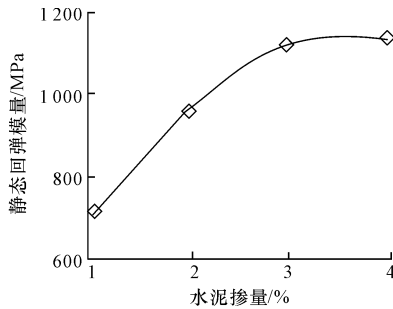


图 6 水泥掺量对静态回弹模量的影响

Fig. 6 Influence of cement content on static modulus of resilience

乳化沥青用量不变,随着水泥掺量的增大,混合料的静态回弹模量值逐渐增大。未掺加水泥时,水泥乳化沥青混合料的静态回弹模量值为 700 MPa;水泥掺量为 2%,静态回弹模量显著增大,接近 1 000 MPa;水泥掺量增大至 3%,回弹模量接近最大值,约 1 150 MPa。

3 路用性能

在原材料和级配相同的条件下,对不同乳化沥青和水泥掺量下混合料的水稳定性、高温稳定性、低温抗裂性及抗飞散特性进行试验。

3.1 水稳定性

采用了冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验评价水泥乳化沥青混合料的水稳定性,试验测得水泥掺量为 3% 时,不同乳化沥青用量时混合料冻融劈裂强度比和浸水残留稳定度,如下页图 7 所示。

可以看出,随着乳化沥青用量的增大,冻融劈裂强度比也在逐渐增大。主要是因为当乳化沥青用

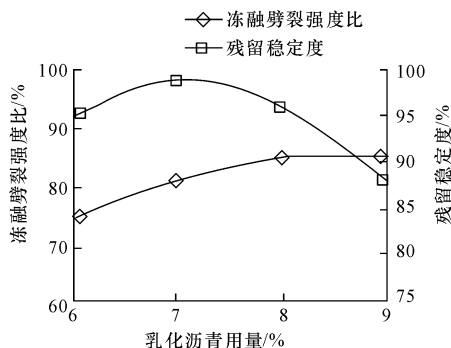


图7 乳化沥青用量对混合料水稳定性的影响

Fig. 7 Influence of asphalt emulsion dosage on water stability

量较低时,拌和和易性的降低使得混合料的空隙率偏大,驻留于空隙中的水分在冻融的过程中产生的膨胀力破坏了空隙周围的结构与强度,从而导致试件在冻融后劈裂强度有较大的衰减,即冻融劈裂强度比减小^[11]。随着乳化沥青用量的增大,乳液的润滑提高了试件的可压实性,同时充足的乳液填充了集料间的空隙,降低了混合料的空隙率,减小了水分的冻融作用对混合料强度的影响,使得混合料的冻融劈裂强度比增大。

水泥乳化沥青混合料的浸水残留稳定度随着乳化沥青用量的增大,呈现先增大而后减小的变化趋势。不同乳化沥青用量时,混合料的浸水残留稳定度均大于85%。

固定乳化沥青用量为8%,试验测得不同水泥掺量时混合料冻融劈裂强度比和浸水残留稳定度,如图8所示。

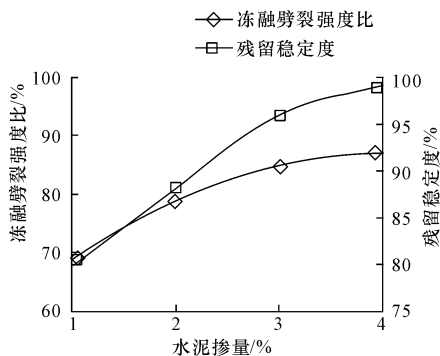
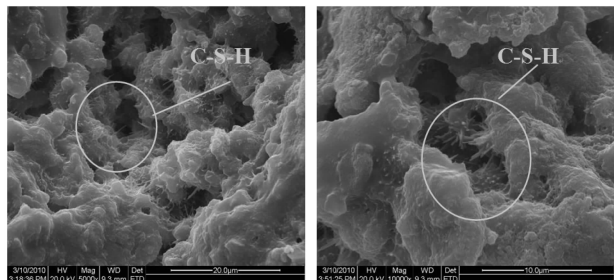


图8 水泥掺量对混合料水稳定性的影响

Fig. 8 Influence of cement content on water stability

由图8可知,未掺加水泥时,水泥乳化沥青混合料的冻融劈裂强度比不足70%,浸水残留稳定度不足80%;水泥掺量为2%时,混合料的冻融劈裂强度比和残留稳定度分别提高到80%和87%左右,水泥的掺入大幅度提高了水泥乳化沥青混合料的水稳定性。这是因为水泥掺入后,小部分水泥与外加水及乳化沥青破乳析出的水发生水化反应,水化产物与

沥青膜穿插交织,形成局部范围内的空间立体网络结构,水化产物填充乳液破乳后留下的空隙,使得混合料更加密实,改善了混合料的水稳定性,图9(a)、图9(b)所示为水泥乳化沥青混合料(3%水泥掺量、8%乳化沥青用量)放大1000倍和5000倍的水泥水化产物。



(a) 放大1000倍

(b) 放大5000倍

图9 水泥乳化沥青混合料中水泥水化产物

Fig. 9 Hydration products of cement in cement

emulsified asphalt mixture

当乳化沥青用量为8%,水泥掺量为3%,水泥乳化沥青混合料的冻融劈裂强度比和残留稳定度分别能够达到85%和95%左右。

3.2 高温稳定性

采用轮辙试验评价不同乳化沥青和水泥掺量对混合料高温性能的影响。水泥掺量为3%,不同乳化沥青用量时混合料的动稳定度和变形深度如图10所示。

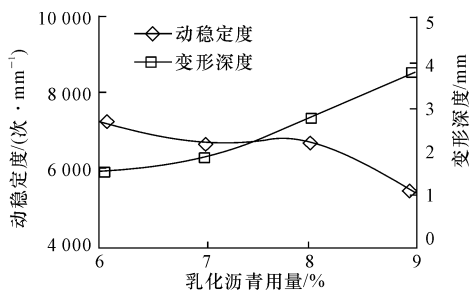


图10 乳化沥青用量对混合料抗车辙性能的影响

Fig. 10 Influence of asphalt emulsion dosage

on rutting resistance

水泥掺量为3%时,随着乳化沥青用量的增大,水泥乳化沥青混合料的高温抗车辙能力逐渐降低。乳化沥青用量为6%时,混合料的车辙动稳定度超过7000次/mm,当乳化沥青用量增大到9%时,混合料的动稳定度降低至约5000次/mm。其原因为,在车辙试验的温度条件下,乳化沥青用量偏大,易导致集料间的沥青胶浆具有较强的流动性,重复荷载的作用下,沥青胶浆的再压密和横向流动现象明显,使得混合料的抗车辙性能降低。

乳化沥青用量为 8%，不同水泥掺量时混合料的动稳定度和变形深度如图 11 所示。

从试验结果可以看出，未参加水泥的乳化沥青混

合料抗车辙性能一般，动稳定度小于 1 000 次/mm，最终变形深度超过 1 cm；掺加水泥后，随着水泥掺量的增大，混合料的高温抗车辙性能逐渐变优，动稳定度增加，变形深度减小，水泥对混合料高温性能的改善效果良好。水泥乳化沥青混合料良好的高温抗车辙性能是由于水泥降低了乳化沥青混合料的温度敏感性，增加了沥青胶浆的高温粘度，提高了混合料在高温下的模量和抗变形能力。

3.3 低温特性

分别固定水泥掺量 3%、乳化沥青用量 8%，得到不同乳化沥青和水泥掺量时混合料的低温弯曲试验结果，如图 12~图 14 所示。

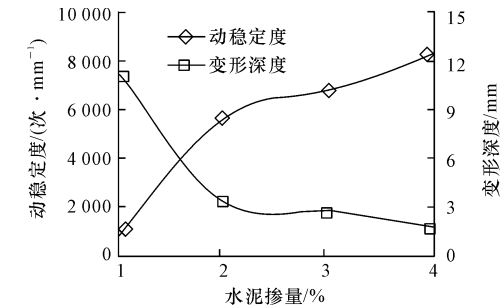


图 11 水泥掺量对混合料抗车辙性能的影响
Fig. 11 Influence of cement content on rutting resistance

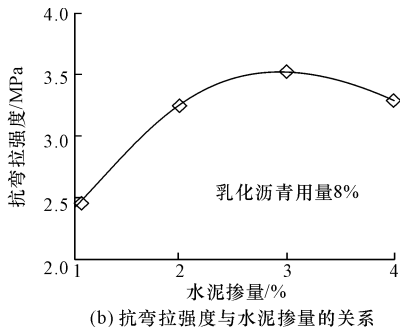
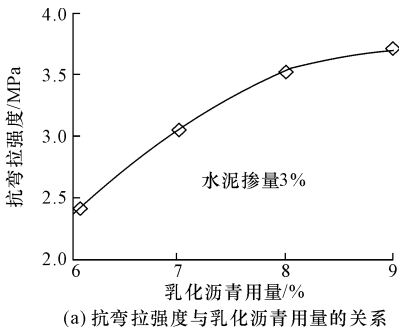


图 12 抗弯拉强度与水泥掺量和乳化沥青用量的关系
Fig. 12 Relationship between asphalt emulsion, cement dosage and flexural tensile strength

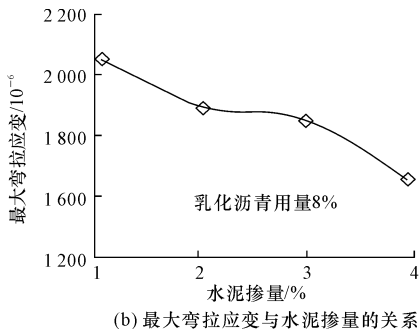
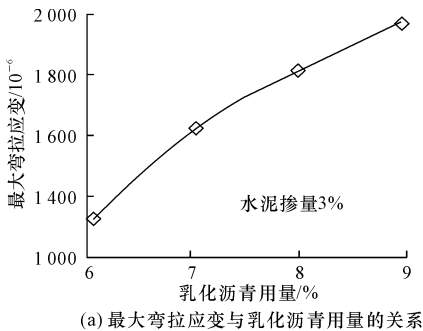


图 13 最大弯拉应变与水泥掺量和乳化沥青用量的关系
Fig. 13 Relationship between asphalt emulsion, cement dosage and flexural tensile strain

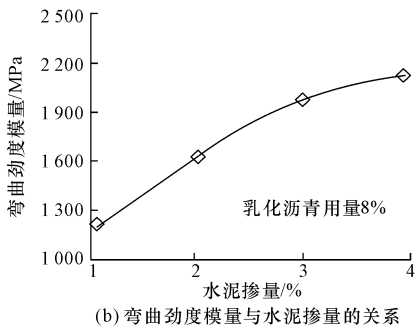
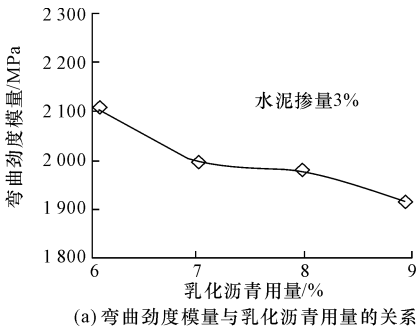


图 14 弯曲刚度模量与水泥掺量和乳化沥青用量的关系
Fig. 14 Relationship between asphalt emulsion, cement dosage and bending stiffness modulus

水泥掺量为 3%，随乳化沥青用量的增大，水泥乳化沥青混合料的抗弯拉强度逐渐增大，最大弯拉应变也逐渐增大，弯曲劲度模量则减小。表明提高乳化沥青用量能够显著改善混合料的低温抗裂性能。

乳化沥青用量为 8%，随着水泥掺量由 0 增大至 4%，水泥乳化沥青混合料的抗弯拉强度先增大而后降低，最大弯拉应变逐渐降低，弯曲劲度模量逐渐增大，水泥乳化沥青混合料的低温抗裂性能随着水泥掺量的增大，有所降低。适当的水泥掺量下，形成的水化产物能够与沥青形成良好的胶结强度，增强与集料之间的粘结力。水泥掺量为 2%~3% 时，混合料的抗弯拉强度较高，当水泥掺量增大至 4% 时，混合料的刚性增大，破坏应变显著降低。

3.4 抗飞散性能

当水泥掺量为 3%，不同乳化沥青用量下混合料的肯塔堡飞散试验损失如图 15 所示。

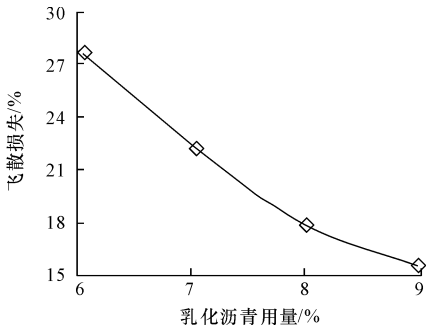


图 15 乳化沥青用量对混合料抗飞散性能的影响

Fig. 15 Influence of asphalt emulsion dosage on anti-flying performance

随着乳化沥青用量的增大，混合料抗飞散的性能也逐渐提高，当乳化沥青用量增大到 8% 后，混合料的飞散损失可以控制在 20% 以下。乳化沥青用量的增大能够使集料周围包裹的沥青膜增厚，同时丰富的乳液能够充分填充混合料中集料之间的空隙，使得混合料更加密实，试件的整体性和粘结性得到改善。

乳化沥青用量为 8%，不同水泥掺量下混合料的飞散损失如图 16 所示。

当水泥掺量由 0 增大到 4%，水泥乳化沥青混合料的飞散损失先降低而后增大。在水泥乳化沥青混合料中，水泥与乳化沥青混合，遇水带负电荷，能

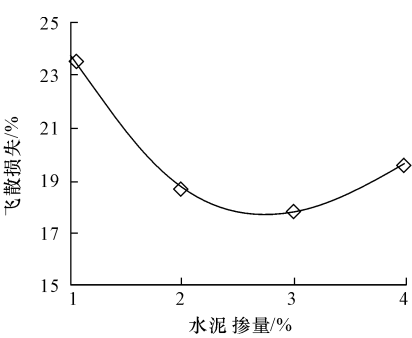


图 16 水泥掺量对混合料抗飞散性能的影响

Fig. 16 Influence of cement content on anti-flying performance

够促进阳离子乳化沥青与集料的粘附性，增强混合料抵抗荷载冲击的能力。当水泥掺量超过 4% 后，水泥水化产物一方面破坏了乳化沥青形成整体的空间立体强度；另一方面，不能水化的水泥作为一种比表面积较大的惰性填料，消耗了大量的乳化沥青，使集料表面被包裹的沥青膜厚度减小，摩擦力大，难以压实，混合料空隙率大、较松散，飞散试验时，质量损失大。

4 试验结果分析

根据上述对不同水泥掺量和乳化沥青用量的水泥乳化沥青混合料的路用性能试验结果可知，水泥掺量和乳化沥青用量变化对混合料的性能影响显著。总体上来看，乳化沥青用量为 8%，水泥掺量为 3% 时，水泥乳化沥青混合料的性能相对均衡，其力学性能、水稳定性、高温稳定性、低温特性和抗飞散性能均表现较好。

材料组成设计合理的水泥乳化沥青混合料具有较好的力学强度，各项指标基本都能达到普通热拌和沥青混合料的要求。但由于乳化沥青材料自生的特点和水泥乳化沥青复合材料的特性，导致这种复合材料在粘结力方面较热拌和沥青混合料弱，表现为间接拉伸强度偏低，抗飞散性能略显不足。水泥乳化沥青混合料的抗压回弹模量值低于普通的热拌和沥青混合料，同时混合料的低温性能一般。因此，水泥乳化沥青混合料可用于高等级公路的路面中、下面层，或作为柔性基层使用。这样的层位结构一方面缓和了低温对水泥乳化沥青混合料的影响，另一方面能够充分发挥水泥乳化沥青混合料的性能特点。

5 结 语

(1)乳化沥青用量和水泥掺量的变化对混合料的强度特性具有显著的影响。当水泥掺量固定为3%,乳化沥青用量由6%增大至9%时,混合料的间接拉伸强度、抗压强度和静态模量先增大而后降低;当乳化沥青用量固定为8%时,随着水泥掺量由0增大至4%时,混合料的间接拉伸强度先增大而后降低,抗压强度和静态模量在水泥掺量为3%左右时接近最大值。

(2)水泥掺加显著改善了水泥乳化沥青混合料的高温稳定性和水稳定性,但不利于混合料的低温性能。当水泥掺量在2%~3%时,混合料的抗飞散性能最佳。

(3)水泥乳化沥青混合料中,水泥与外加水 and 乳化沥青破乳析出的水发生水化反应,水化产物与沥青膜穿插交织,形成局部范围内的空间立体网络结构,改善了混合料的水稳定性和高温稳定性。

(4)材料组成设计合理的水泥乳化沥青混合料,水泥掺量为3%、乳化沥青用量为8%时,混合料的强度和路用性能相对较好,可用于高等级公路的路面中、下面层。

参考文献:

References:

- [1] Seref O, Fazil C. Effect of cement on emulsified asphalt mixtures[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2007, 16(2): 578-583.
- [2] Dubois V, Roche C D L, Burban O. Influence of the compaction process on the air void homogeneity of asphalt mixtures samples [J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(6): 885-897.
- [3] 沙爱民, 王振军. 水泥乳化沥青混凝土胶浆-集料界面微观结构[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(4): 1-6.
SHA Ai-min, WANG Zhen-jun. Microstructure of mastics-aggregate interface in cement emulsified asphalt concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(4): 1-6. (in Chinese)
- [4] Oruc S, Celik F, Akpınar M V. Effect of cement on e-

- mulstified asphalt mixtures[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2007, 16(5): 578-583.
- [5] Niazi Y, Jalili M. Effect of Portland cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion [J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(3): 1338-1343.
- [6] Amir K, Amir M. Laboratory fatigue models for recycled mixes with bitumen emulsion and cement [J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(10): 1920-1927.
- [7] 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.
WANG Zhen-jun, SHA Ai-min. Microstructure characters of cement emulsified asphalt composite mastics [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(3): 11-14. (in Chinese)
- [8] 杜少文, 王振军. 水泥改善乳化沥青混合料的使用性能[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(1): 71-75.
DU Shao-wen, WANG Zhen-jun. Performance of cement modified asphalt emulsion mixture [J]. Journal of Building Material, 2009, 12(1): 71-75. (in Chinese)
- [9] 杜少文, 王振军. 水泥改性乳化沥青混凝土力学性能及微观机理[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(8): 1040-1043.
DU Shao-wen, WANG Zhen-jun. Mechanical properties and microcosmic mechanism of cement modified asphalt emulsion concrete [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(8): 1040-1043. (in Chinese)
- [10] 王振军, 杜少文. 水泥对乳化沥青混合料路用性能的影响[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2009, 33(3): 596-599.
WANG Zhen-jun, DU Shao-wen. Effects of cement on road performances of emulsified asphalt mixtures [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2009, 33(3): 596-599. (in Chinese)
- [11] 肖晶晶. 水泥乳化沥青混合料结构形成机理与特征研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
XIAO Jing-jing. Study on structure formation mechanism and features of cement emulsified asphalt mixture [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)

