

# 掺乳化沥青水泥稳定碎石材料的路用性能

郭科

山西省交通规划勘察设计院有限公司,山西 太原 030006

**摘要:**为解决水泥稳定碎石基层的开裂及耐久性不良等问题,分析掺乳化沥青后水泥稳定碎石材料的力学性能、抗冻性能、干缩与温缩性能、施工和易性能变化,采用无侧限抗压强度控制掺加乳化沥青的质量分数,并通过和易性试验确定材料的施工延迟时间。分析材料的综合性能,结果表明,掺加一定量的乳化沥青后可改善水泥稳定碎石材料的路用性能,此类材料适用于低温、温差变化较大、中轻交通等区域的道路基层与底基层。

**关键词:**乳化沥青;水泥稳定碎石;无侧限抗压强度;和易性;路用性能

**中图分类号:**U416.214;TV442

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2022)04-0101-07

**引用格式:**郭科.掺乳化沥青水泥稳定碎石材料的路用性能[J].山东交通学院学报,2022,30(4):101-107.

GUO Ke. Road performance of cement stabilized crushed stone material mixed with emulsified asphalt[J].

Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(4): 101-107.

## 0 引言

国内高等级公路绝大部分采用半刚性材料基层及底基层,其中水泥稳定碎石材料抗压强度大,承载力强,稳定性好,应用广泛<sup>[1-2]</sup>。水泥稳定碎石材料的路用性能良好,但存在早期开裂、耐久性不良等突出问题,容易造成沥青路面开裂、坑槽等病害发生<sup>[3-4]</sup>。因此,研究改善水泥稳定碎石材料性能及早期开裂等问题具有重要意义。

通过路况调查和分析发现,造成水泥稳定碎石基层开裂的主要原因是基层材料的收缩性能<sup>[5]</sup>。国内外大量研究表明在水泥稳定碎石材料中添加乳化沥青可有效改善材料的相关性能,减少材料开裂的可能性<sup>[6-7]</sup>。国外对乳化沥青与水泥组成的复合性材料研究较早, Terrel 等<sup>[8]</sup>研究认为乳化沥青对半刚性基层的开裂有一定改善作用。Orucs 等<sup>[9]</sup>研究发现加入乳化沥青可在一定程度上提升密级配水泥稳定碎石材料力学性能和抵抗永久变形能力。国内袁文豪等<sup>[10]</sup>研究分析了水泥乳化沥青胶浆的路用性能,探讨了掺加乳化沥青后材料性能的变化规律。赵宏兴<sup>[11]</sup>通过试验表明,掺乳化沥青的水泥稳定碎石材料的刚性降低,抗干缩开裂能力提高。王一琪等<sup>[12]</sup>通过电阻应变片测定掺入乳化沥青后水泥稳定碎石试件,其抗温缩性能得到了有效改善。周圆<sup>[13]</sup>研究认为加入乳化沥青可有效减少水泥稳定碎石的干缩量,提高柔度、抗变形能力和抗冻性。目前,研究掺加乳化沥青水泥稳定碎石材料性能的控制指标及施工应用的研究较少,本文综合分析掺加乳化沥青的水泥稳定碎石材料的力学性能,并通过材料和易性能进行验证,以期能为施工应用与工程研究提供参考。

## 1 原材料

### 1.1 沥青与矿料

试验采用P·O 42.5普通硅酸盐水泥,矿料为闪长岩,由90#基质沥青生产得到的乳化沥青,对原材料性能进行检测,测试结果满足要求,如表1所示。

收稿日期:2021-10-08

作者简介:郭科(1992—),男,山西朔州人,工程师,工学硕士,主要研究方向为道路工程, E-mail:guoke140622@163.com。

表1 乳化沥青材料性能测试

筛上残留物 的质量分数/%	蒸发残留物		破乳速度	存储稳定性(5 d)/%	与集料拌和试验
	质量分数/%	25 °C 针入度/mm			
0.078	62	89	中裂	2.59	均匀

## 1.2 级配设计

骨架密实型水泥稳定碎石材料级配范围如表2所示。骨架密实型基层结构的性能好,应用广泛。

表2 水泥稳定碎石材料级配

筛孔尺寸/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
设计级配/%	100	82.0	71.2	63.4	58.0	40.4	26.4	20.5	14.0	10.8	6.8	3.3
级配上限/%	100	90.0	80.0	74.0	68.0	50.0	38.0	30.0	22.0	17.0	12.0	7.0
级配下限/%	100	67.0	57.0	51.0	45.0	29.0	18.0	13.0	8.0	5.0	3.0	0

根据工程施工条件,为便于分析试验中的影响因素,采用同时在石料中添加水泥、乳化沥青2种材料的方式<sup>[14]</sup>,且试验中水泥、乳化沥青2种材料的掺量均采用外掺法确定,并使用和易性能测试设备对水泥稳定碎石材料进行充分拌和成型。

根据施工及已有研究成果<sup>[15]</sup>,拟采用水泥与石料的质量比 $m$ 分别为3%、5%进行重型击实试验,确定最佳含水率、最大干密度。根据试验结果,在 $m$ 为3%、5%条件下,水泥稳定碎石材料最佳含水率分别为4.9%、5.2%,最大干密度为2.324、2.352 g/cm<sup>3</sup>。

## 2 乳化沥青水泥稳定碎石强度分析

水泥水化作用和乳化沥青破乳粘结是水泥稳定碎石材料强度形成的基础<sup>[16]</sup>,分析不同水泥与沥青质量比下,水泥稳定碎石材料的无侧限抗压强度与弯拉强度。

### 2.1 无侧限抗压强度

无侧限抗压强度是表征半刚性基层材料性能的重要指标。按照文献[17]对试件成型并养护7 d后,测试试件的无侧限抗压强度,如表3所示( $n$ 为乳化沥青与石料的质量比)。

由表3可知: $m$ 相同的情况下,随 $n$ 的增大,水泥稳定碎石材料无侧限抗压强度呈下降趋势;在 $m=3%$ 时, $n=2%$ 的乳化沥青水泥稳定碎石材料的无侧限抗压强度比 $n=0$ 时降低了14.29%; $n=4%$ 的乳化沥青水泥稳定碎石材料的无侧限抗压强度比 $n=0$ 降低了37.14%。

通常条件下,道路基层的7 d无侧限抗压强度应不低于2.5 MPa<sup>[18]</sup>。由表3可知:当 $m=3%$ 、 $n=4%$ 时,7 d无侧限抗压强度测试结果不满足基层材料应用要求,因此在实际应用中应注意乳化沥青与石料质量比的控制。

试验结果表明 $n$ 对水泥稳定碎石材料的抗压强度有一定影响,乳化沥青掺入水泥稳定碎石材料后,虽然可填充水泥稳定碎石材料的大量孔隙,使骨架更密实,但乳化沥青包裹在水泥水化晶体表面,阻碍了水泥的进一步水化反应,降低了水泥稳定碎石材料的整体抗压强度<sup>[19]</sup>。

### 2.2 弯拉强度

采用标准条件养护28 d后的梁式试件,在试验机上采用三分点应变加载模式测试弯拉强度指标,记录试件破坏时的弯拉强度与极限变形量,如表4所示。弯拉强度测试过程与结果能较好反映道路基层在

表3 乳化沥青水泥稳定碎石材料无侧限抗压强度试验结果

$m$ /%	无侧限抗压强度/MPa		
	$n=0$	$n=2%$	$n=4%$
3	3.5	3.0	2.2
5	5.5	4.3	2.9

车轮荷载作用下的工作性能及特点<sup>[20]</sup>。

表4 乳化沥青水泥稳定碎石材料弯拉强度及极限变形量试验结果

$m/\%$	弯拉强度/MPa			极限变形量/mm		
	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$
3	1.31	1.22	1.15	0.62	0.90	1.24
5	1.49	1.34	1.20	0.48	0.77	1.03

由表4可知: $m$ 相同时,水泥稳定碎石材料的弯拉强度随 $n$ 的增大呈下降趋势;当 $m=3\%$ 时, $n=2\%$ 的水泥稳定碎石材料的弯拉强度比 $n=0$ 时约降低6.87%,极限变形量约增大45.16%;当 $m=3\%$ 时, $n=4\%$ 的水泥稳定碎石材料的弯拉强度比 $n=0$ 时约降低12.21%,极限变形量约增大100.00%; $n$ 相同时,水泥稳定碎石材料的弯拉强度随 $m$ 的增大而增大,极限变形量随 $m$ 的增大而减小。

$n$ 对水泥稳定碎石材料的抗弯拉性能有一定影响。沥青柔性好、延度大,掺入乳化沥青后,水泥稳定碎石材料的柔韧性能得以改善<sup>[21-22]</sup>,抗弯拉变形能力有了明显提高。

### 3 乳化沥青水泥稳定碎石路用性能

#### 3.1 冻融试验

采用冻融试验评价半刚性基层的抗冻性能,测试经过5次冻融循环后的成型试件的饱水无侧限抗压强度,与冻前饱水无侧限抗压强度进行对比。残留抗压强度比为试件经过5次冻融循环后的饱水无侧限抗压强度与冻前饱水无侧限抗压强度之比,如表5所示。

由表5可知: $m$ 相同时,随 $n$ 的增大,水泥稳定碎石材料的残留抗压强度比增大;当 $m=3\%$ , $n=2\%$ 时,水泥稳定碎石材料的残留抗压强度比比 $n=0$ 时约增大5.18%;当 $m=3\%$ , $n=4\%$ 时,水泥稳定碎石材料的残留抗压强度比比 $n=0$ 时约增大11.74%;在 $n$ 相同时,残留抗压强度比随 $m$ 的增大而降低。

$n$ 对水泥稳定碎石材料的抗冻性能有一定影响,乳化沥青掺入水泥稳定碎石材料后,可填充大量孔隙,水泥稳定碎石材料整体更为密实<sup>[23]</sup>,减小水进入孔隙的可能,乳化沥青包裹在水泥表面,减弱了后期水对水泥及水泥稳定碎石材料的整体影响。

#### 3.2 干缩性能

采用半刚性基层的干缩性能评价材料由于水的质量分数变化而引起的体积收缩现象。测试成型试件按标准方法养护7d后的干缩系数 $\alpha$ ,试验结果如表6所示。

由表6可知: $m$ 相同时,随 $n$ 的增大,水泥稳定碎石材料的 $\alpha$ 减小;在 $m=3\%$ 时, $n=2\%$ 的水泥稳定碎石材料的 $\alpha$ 比 $n=0$ 时降低15.26%, $n=4\%$ 的水泥稳定碎石材料的 $\alpha$ 降低比 $n=0$ 时33.47%; $n$ 相同时, $\alpha$ 随 $m$ 的增大而增大。

掺入乳化沥青后,水泥稳定碎石材料的 $\alpha$ 减小,基层抗低温开裂性能提高,道路整体的耐久性能提高。

#### 3.3 温缩性能

温缩性能是温度降低导致材料体积整体发生的收缩现象。通常在半刚性基层施工后,材料的收缩是因含水率变化而导致的干燥收缩与温度变化导致的温度收缩共同作用形成<sup>[24]</sup>。按标准方法成型试件后,采用仪表法进行温缩系数 $\gamma$ 测定,试验中测试温度设定为30、20、10、0、-10、-20℃,结果如表7所示。

表5 乳化沥青水泥稳定碎石材料残留抗压强度比试验结果/%

$m$	残留抗压强度比		
	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$
3	79.2	83.3	88.5
5	76.9	81.4	86.9

表6 乳化沥青水泥稳定碎石材料的 $\alpha$ 试验结果

$m/\%$	$\alpha/(10^{-6})$		
	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$
3	51.89	43.97	34.52
5	60.02	50.68	30.18

由表7可知: $m$ 相同时,随 $n$ 的增大,水泥稳定碎石材料的 $\gamma$ 减小;在 $m=3\%$ 时, $n=2\%$ 的水泥稳定碎石材料的 $\gamma$ 比 $n=0$ 时约降低8.63%, $n=4\%$ 的水泥稳定碎石材料的 $\gamma$ 比 $n=0$ 时约降低19.98%;在 $n$ 相同时, $\gamma$ 随 $m$ 的增大而增大。

在水泥稳定碎石中掺入一定量的乳化沥青,材料的 $\gamma$ 降低,温缩性能明显提高,水泥稳定碎石材料整体的抗收缩性得到改善。

表7 乳化沥青水泥稳定碎石材料的 $\gamma$ 试验结果

$m/\%$	$\gamma/(10^{-6})$		
	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$
3	9.825	8.977	7.862
5	12.613	11.209	9.833

#### 4 乳化沥青水泥稳定碎石施工性能

采用和易性试验分析乳化沥青水泥稳定碎石材料的施工性能。和易性试验可分析与表征材料的工作性能,以碎石材料在拌和过程中产生的稳定扭矩为指标,判断与评价在特定条件下水泥稳定碎石材料是否适合摊铺与碾压<sup>[25]</sup>。测试水泥稳定碎石材料在拌和过程中形成的稳定扭矩,扭矩相同时即认为材料的工作性能相近,排除矿料级配类型、水泥用量等因素影响,认为在该条件下水泥稳定碎石材料的施工特性相似,施工中摊铺与碾压的难易程度相似<sup>[26]</sup>。

试验中测试设备的搅拌频率为35 Hz,水泥稳定碎石材料质量为20 kg。试验时每个拌和时间测试5组, $m=3\%$ ,稳定扭矩结果取平均值,如表8所示。

表8 水泥稳定碎石材料和易性能试验稳定扭矩结果

拌和时间/min	稳定扭矩/(N·m)		拌和时间/min	稳定扭矩/(N·m)	
	$n=0$	$n=2\%$		$n=0$	$n=2\%$
0	2.358	2.664	150	3.317	5.071
30	2.405	2.745	180	4.717	6.755
60	2.622	2.865	210	6.887	9.245
90	2.739	2.996	240	10.562	
120	2.846	3.895			

根据文献[27],水泥稳定碎石材料采用集中厂拌法施工时,延迟时间不应超过120 min。结合实际施工条件,将未掺乳化沥青水泥稳定碎石在拌和时间为120 min时的扭矩作为施工中适合材料摊铺时的扭矩。由表8可知:适合摊铺的水泥稳定碎石材料扭矩为2.846 N·m。 $m$ 不同时,对掺入乳化沥青后的水泥稳定碎石材料进行和易性能测试,试验中水泥稳定碎石材料的拌和后养护时间均为60 min,测试结果如表9所示。

表9 乳化沥青水泥稳定碎石材料和易性能试验结果

$m/\%$	稳定扭矩/(N·m)		
	$n=0$	$n=2\%$	$n=4\%$
3	2.622	2.865	2.993
5	2.631	2.893	3.126

由表9可知: $m$ 相同时,随 $n$ 的增大,水泥稳定碎石材料的稳定扭矩逐渐增大;在 $m=3\%$ 时, $n=2\%$ 的材料稳定扭矩比 $n=0$ 时约增大9.27%, $n=4\%$ 的水泥稳定碎石材料稳定扭矩比 $n=0$ 时约增大14.15%; $n$ 相同时,稳定扭矩随 $m$ 的增大而增大。

掺入乳化沥青后水泥稳定碎石材料的扭矩增大,表明乳化沥青破乳后材料的黏稠程度增大,对水泥稳定碎石材料和易性能有明显影响。通过试验确定掺入乳化沥青水泥稳定碎石材料的摊铺时间应控制在60 min内,以保证施工质量。

#### 5 乳化沥青水泥稳定碎石材料力学性能综合分析

分析掺入乳化沥青水泥稳定碎石材料的综合路用性能,当 $m=3\%$ 时,与 $n=0$ 时相比, $n$ 分别为2%、

4%的水泥稳定碎石材料的力学性能指标变化率如表10所示。

表10 乳化沥青水泥稳定碎石材料力学性能测试指标变化率 %

n	变化率						
	无侧限抗压强度	弯拉强度	极限变形量	残留抗压强度比	$\alpha$	$\gamma$	稳定扭矩(60 min)
2	-14.29	-6.87	+45.16	+5.18	-15.26	-8.63	+9.27
4	-37.14	-12.21	+100.00	+11.74	-33.48	-19.98	+14.15

注: +、- 分别表示增大、减小。

由表10可知:随n的增大,水泥稳定碎石材料的无侧限抗压强度、施工和易性能降低,抗弯拉性能、抗冻性能、干缩与温缩性能得以改善,可认为掺加乳化沥青后水泥稳定碎石的总体路用性能优于未掺加乳化沥青,适用于低温、温差变化较大、中轻交通等区域的道路基层与底基层。

随n增大,水泥稳定碎石材料的无侧限抗压强度下降幅度较大,变化较为敏感,可将无侧限抗压强度作为指标,控制n及水泥稳定碎石材料的性能。

## 6 结论

1) 掺入乳化沥青后,水泥稳定碎石的无侧限抗压强度下降幅度较大,实际工程中可将无侧限抗压强度指标用于优选并控制乳化沥青与石料的质量比。

2) 在水泥稳定碎石中掺入乳化沥青可改善抗弯拉、干缩、温缩性能,提高材料整体的密实性,有效提高材料整体的抗裂性和抗冻性能,可适用于低温、温差变化较大、中轻交通等地区的道路基层与底基层。

3) 掺入乳化沥青后,水泥稳定碎石材料的和易性能受到影响,在施工前应进行材料和易性试验,在掺加与石料的质量比为2%的乳化沥青时,水泥稳定碎石材料摊铺的最大延迟时间应控制在60 min左右。

### 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,1998.
- [2] 袁文豪. 水泥乳化沥青混凝土研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [3] 蒋应军. 水泥稳定碎石基层收缩裂缝防治研究[D]. 西安:长安大学,2001.
- [4] 孙东根,汪波,朱新实,等. 水泥乳化沥青碎石基层材料性能与应用[J]. 公路交通科技,2007,24(8):27-31.  
SUN Donggen, WANG Bo, ZHU Xinshi, et al. Performances and application of cement and emulsified asphalt stabilized macadam[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007,24(8):27-31.
- [5] 于伟,兰超,梁旭. 水泥-乳化沥青稳定碎石基层路用性能研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2009,23(3):39-41.  
YU Wei, LAN Chao, LIANG Xu. Experimental study on road performance of cement-emulsified asphalt stabilized macadam [J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2009,23(3):39-41.
- [6] 孙志强. 水泥乳化沥青稳定再生集料干缩性能研究[J]. 中外公路,2020,40(3):259-262.
- [7] 符佳. 乳化沥青水泥稳定碎石的力学及路用性能的研究[D]. 上海:同济大学,2014.  
FU Jia. Research on mechanical and pavement performance of emulsified asphalt cement-stabilized macadam[D]. Shanghai: Tongji University,2014.
- [8] TERREL R L, WANG C K. Early curing behavior of cement modified asphalt emulsion mixtures[C]// Skok E Jr ed. Proc of AAPT, Vol140. Michigan, USA: Cushing-Malloy Inc,1971:108-125.
- [9] ORUCS, CELIK F, AKPINAR M V. Effect of cement on emulsified asphalt mixtures[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2007,16:578-583.
- [10] 袁文豪,沙爱民,胡力群,等. 水泥、乳化沥青及其用量对水泥-乳化沥青混合料性能的影响[J]. 筑路机械与施工机械化,2005,22(1):32-35.

- YUAN Wenhao, SHA Aimin, HU Liqun, et al. Cement, emulsified asphalt and their quantities impact on performance of cement and emulsified asphalt mixture[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005,22(1):32-35.
- [11] 赵宏兴. 水泥乳化沥青稳定基层抗裂性能研究[J]. 交通科技, 2007(6):71-73.  
ZHAO Hongxing. Research on the anti-cracking performance of cement emulsified asphalt stabilized crushed stones base[J]. Transportation Science & Technology, 2007(6):71-73.
- [12] 王一琪, 谭忆秋, 王开生, 等. 水泥乳化沥青稳定碎石温缩特性[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(4):584-588.  
WANG Yiqi, TAN Yiqiu, WANG Kaisheng, et al. Temperature shrinkage characteristics of cement emulsified asphalt stabilized crushed stones[J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(4):584-588.
- [13] 周圆. 寒区高速铁路掺乳化沥青水泥稳定碎石力学特性研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2020.  
ZHOU Yuan. Strength characteristic study on cement and asphalt stabilized macadam of high speed railway in cold areas[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2020.
- [14] 刘炳华, 闫新勇. 水泥乳化沥青稳定基层材料性能研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2013(2):59-61.
- [15] 贾克聪. 乳化沥青对水泥稳定碎石强度特性及力学性能的影响[J]. 公路工程, 2015, 40(3):213-217.  
JIA Kecong. The effect of emulsified asphalt on strength characteristics and mechanical properties of cement stabilized macadam[J]. Highway Engineering, 2015, 40(3):213-217.
- [16] 李克德. 乳化沥青-水泥稳定碎石半柔性基层性能研究[J]. 山西建筑, 2020, 46(10):8-10.  
LI Kede. Study on performance of semi-flexible base course of emulsified asphalt-cement stabilized crushed stone[J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(10):8-10.
- [17] 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG E51—2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [18] 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [19] 吴涛. 玄武岩纤维对乳化沥青水泥稳定碎石性能的影响研究[J]. 路基工程, 2019(2):55-59.  
WU Tao. Effect of basalt fiber on properties of emulsified asphalt cement stabilized macadam[J]. Subgrade Engineering, 2019(2):55-59.
- [20] 康乾福, 王小委, 朱学坤, 等. 基于振动成型乳化沥青-水泥稳定碎石强度特性研究[J]. 施工技术, 2018, 47(增刊4):813-816.  
KANG Qianfu, WANG Xiaowei, ZHU Xuekun, et al. Study on strength characteristics of emulsified asphalt cement stabilized macadam based on vibration forming[J]. Construction Technology, 2018, 47(Suppl. 4):813-816.
- [21] 冯军强. 掺加乳化沥青的水泥稳定碎石强度特性及疲劳性能[C/OL]. [出版地不详]: [出版者不详]. (2019-05-21) [2021-09-08]. <https://www.doc88.com/p-3078465829650.html>.  
FENG Junqiang. Strength characteristics and fatigue properties of cement stabilized macadam with different dosage emulsified asphalt[C/OL]. [S. l.]: [s. n.]. (2019-05-21) [2021-09-08]. <https://www.doc88.com/p-3078465829650.html>.
- [22] 严国全. 废旧水泥稳定碎石冷再生利用疲劳寿命研究[J]. 公路, 2018, 63(4):238-242.  
YAN Guoquan. Research on fatigue life of waste cement stabilized macadam in cold recycling[J]. Highway, 2018, 63(4):238-242.
- [23] 黄琴龙, 古小明, 杨壮, 等. 乳化沥青水泥稳定碎石的强度特性及影响因素[J]. 华东交通大学学报, 2017, 34(2):54-59.  
HUANG Qinlong, GU Xiaoming, YANG Zhuang, et al. Strength properties and influence factors of cement and emulsified asphalt stabilized macadam[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2017, 34(2):54-59.
- [24] 杨彦海, 崔宏, 杨野, 等. 冻融循环作用对非饱和乳化沥青冷再生混合料性能的影响[J/OL]. 吉林大学学报(工学版), 2021. (2021-09-02) [2022-06-02]. <https://www.doc88.com/p-98347158373438.html>. DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb20210303.  
YANG Yanhai, CUI Hong, YANG Ye, et al. Effect of freeze-thaw cycle on the performance of unsaturated emulsified asphalt cold recycled mixture[J/OL]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2021. (2021-09-02) [2022-06-02]. <https://www.doc88.com/p-98347158373438.html>. DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb20210303.
- [25] 张翠红, 焦生杰, 曹学鹏, 等. 水泥乳化沥青混合料施工和易性评价方法及影响因素[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2018, 38(1):41-48.  
ZHANG Cuihong, JIAO Shengjie, CAO Xuepeng, et al. Evaluation method and influencing factors for construction

workability of cement-emulsified asphalt mixture[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2018, 38(1):41-48.

[26]张宜洛,郭科,赵少宗,等.改性沥青混合料施工温度的确定[J].江苏大学学报(自然科学版),2016,37(6):740-744.

ZHANG Yiluo, GUO Ke, ZHAO Shaozong, et al. Determination of construction temperature for modified asphalt mixture [J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2016, 37(6):740-744.

[27]公路路面基层施工技术细则:JTG/TF 20—2015[S].北京:人民交通出版社,2015.

## Road performance of cement stabilized crushed stone material mixed with emulsified asphalt

GUO Ke

Shanxi Transportation Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Taiyuan 030006, China

**Abstract:** In order to solve the problems of cracking and poor durability of cement stabilized macadam base, the mechanical properties, frost resistance, dry shrinkage and temperature shrinkage properties, construction and ease of construction of cement stabilized crushed stone materials after mixing with emulsified asphalt were analyzed. The unconfined compressive strength index controls the mass fraction of emulsified asphalt, and the construction delay time of the material is determined by workability test. The comprehensive properties of the materials are analyzed, and the results show that adding a certain amount of emulsified asphalt can improve the pavement performance of cement stabilized crushed stone materials, which is suitable for road base and sub-base in areas such as low temperature, large temperature difference, medium and light traffic.

**Keywords:** emulsified asphalt; cement stabilized crushed stone; unconfined compressive strength; workability; pavement performance

(责任编辑:王惠)

(上接第100页)

of concrete in a certain range. The surface of  $\text{CaCl}_2$  soused rubber is smooth, which is not helpful on improving mechanical properties. The increasing polar groups on the KH-550 treated rubber surface can lead to a great improvement of the mechanical properties. Therefore, the mechanical properties of rubber modified concrete can be increased by means of rubber particles treated by KH-550 solution.

**Keywords:** modifier; rubber; mechanical property; modified concrete

(责任编辑:王惠)