

文章编号:1671-8879(2007)02-0012-04

# 振碾式乳化沥青-水泥混凝土的路用性能

胡力群, 沙爱民

(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)

**摘要:** 采用振动法成型试件, 对不同材料组成水泥混凝土的 7 d、28 d 抗压强度、抗折强度和 28 d 抗折模量做对比试验, 其中包括普通水泥混凝土、掺入乳化沥青的水泥混凝土、掺入乳化沥青和不同含量消泡剂的水泥混凝土。试验结果表明, 普通水泥混凝土的抗压强度、抗折强度和抗折模量值均不同程度地大于乳化沥青-水泥混凝土的相应试验值, 但乳化沥青-水泥混凝土更具有韧性。在室内试验确定出混合料组成配比的基础上, 通过振碾法铺筑了乳化沥青-水泥混凝土试验路段, 在不同使用时间的现场观测结果表明, 在合理的材料配比及适宜的施工工艺下, 乳化沥青-水泥混凝土具有较好的路用性能。

**关键词:** 道路工程; 路面材料; 乳化沥青-水泥混凝土; 振动成型; 路用性能

**中图分类号:** U416.217 **文献标志码:** A

## Road performance of vibration-compaction emulsified-asphalt cement concrete

HU Li-qun, SHA Ai-min

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,  
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Performances of different cement concretes were tested in the lab. The materials include common cement concrete, emulsified-asphalt cement concrete (EACC) with different emulsified-asphalt content and different defoamer content. All samples were prepared through vibrating compaction and were cured for 7 d or 28 d. Results show that the unconfined compressive strength, flexural strength and flexural resilience modulus of common cement concrete are better than the one of EACC with different extent, but the toughness of EACC is better than the one of common cement concrete. Based on the lab experiments results, emulsified-asphalt cement concrete was used to pave a test road, on-site observations show the field performance of the material is satisfied under rational ingredients proportion and good construction process. 8 tabs, 10 refs.

**Key words:** road engineering; pavement materials; emulsified-asphalt cement concrete; vibrating compaction; road performance

## 0 引言

乳化沥青-水泥混凝土材料(EACC)是通过在

冷拌的乳化沥青混合料中掺入水泥或水泥砂浆经冷拌形成的半刚性路面材料, 经过冷铺、冷压(静压或振碾)后可作为半刚性面层。根据理论分析, 在配比

设计合理的条件下,这种面层材料应具有适宜的刚度、较高的强度、良好的高温稳定性和较好的耐久性,在很大程度上可以综合柔性面层材料和刚性面层材料的优点<sup>[1-3]</sup>。此外,由于采用冷拌、冷铺工艺,使用乳化沥青-水泥混凝土材料可以降低能耗,减少环境污染,便于施工,因此深入研究其路用性能具有很大的工程应用价值。

美国从 20 世纪 60 年代开始研究乳化沥青-水泥混凝土材料,此后,日本、英国、澳大利亚、南非等国也竞相研究。中国部分科研院所也在开展类似的研究工作,但由于混合料成型工艺以及添加剂选择等方面的原因,影响了乳化沥青-水泥混凝土材料的实际应用。为此,本文采用上压振动法成型乳化沥青-水泥混凝土试件,对不同消泡剂种类及掺量的混合料进行了对比试验,并根据室内试验的结果铺筑了试验路段<sup>[4-6]</sup>。

## 1 室内试验

### 1.1 混合料配合比方案

乳化沥青-水泥混凝土材料(EACC)组成部分包括:乳化沥青、水泥、消泡剂以及集料。在乳化沥青-水泥混凝土拌和过程中,乳化沥青通常没有完全破乳分裂,但它在拌和过程中具有不同于拌和用水的特性。乳化沥青由沥青、乳化剂、稳定剂和水组成,其中的乳化剂通常具有引气作用,使得拌和物和易性提高,但过强的引气作用会导致 EACC 强度降低。因此,需要加入一定剂量的消泡剂进行平衡。为对比各种成分及其含量对 EACC 性能的影响,室内试验采用的材料编号及材料质量配合比见表 1。

表 1 材料编号及质量比

材料 编号	材料质量比					
	水泥	水	集料	乳化沥青	消泡剂	减水剂
A	1	0.42	6.77			0.008
B	1	0.47	6.77	0.2		0.008
C	1	0.45	6.77	0.2	0.006(工业消泡剂)	0.008
D	1	0.45	6.77	0.2	0.004(工业消泡剂)	0.008
E	1	0.45	6.77	0.2	0.004(洗衣粉)	0.008
F	1	0.45	6.77	0.2	0.004(分析纯消泡剂)	0.008

### 1.2 原材料性能

#### 1.2.1 乳化沥青

前期试验表明,EACC 应选用阳离子慢裂型乳化沥青。原始沥青应选用温度敏感性较低的沥青品种,乳化剂应选用引气较少的表面活性剂,以减少消

泡剂的使用量<sup>[7-8]</sup>。

乳化沥青性质及其蒸发残留物性质应满足 B-3 型乳化沥青的标准要求<sup>[9]</sup>。室内试验的阳离子慢裂型乳化沥青,其中乳化剂为木质胺素,各项指标均符合 BC-3 标准,沥青质量分数为 50%。筛上剩余量(1.2 mm 筛孔)<0.3%。

#### 1.2.2 水泥

试验使用的水泥为河南焦作三星水泥厂生产的黑马牌 425# 普通硅酸盐水泥,水泥各项技术指标符合规范要求。

#### 1.2.3 集料

粗集料采用河南确山县秀山采石厂生产的石灰岩碎石,压碎值为 18%。拌制 EACC 混合料的细集料采用河南泌阳县沙河店采砂厂生产的河砂,细度模数为 2.65;含泥量及杂质含量均符合标准对细集料的要求。粗、细集料级配范围分别见表 2、表 3,集料合成级配见表 4。

表 2 粗集料级配范围

筛孔孔径/mm	19.00	9.50	4.75	2.36
通过率/%	95~100	25~40	5~15	0~5

表 3 细集料级配范围

筛孔孔径/mm	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
通过率/%	90~100	75~100	50~90	30~60	10~30	0~10

表 4 集料合成级配

筛孔孔径/mm	19.00	16.00	13.20	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
通过率/%	98.7	95.4	82.5	55.9	40.7	26.8	19.2	15.4	8.4	6.5	5.3

#### 1.2.4 减水剂

减水剂应选用减水率大、引气量小且不影响乳化剂乳化效果的减水剂。试验采用河南建苑混凝土外加剂有限公司生产的 JKR-2 型高效缓凝减水剂,减水率≥12%,初凝时间≥90 min。

#### 1.2.5 消泡剂

消泡剂可选用磷酸酯类消泡剂,试验采用河南开封化工厂生产的磷酸三丁脂((C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>),密度为 0.98 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.3 室内试验方案

为了对以上 6 种配比的混合料进行研究和对比,进行了工作性(稠度)试验,7 d、28 d 抗压强度、抗折强度试验,28 d 抗折模量试验。

(1)混合料拌和方法为:①先按照预定的比例准确选取混合料的组成部分;②将水泥和减水剂干拌;③加入水进行湿拌;④加入乳化沥青;⑤加入消泡

剂。拌和后的混合料,其加水量与乳化沥青中的含水量以及消泡剂中的含水量总和等于设计水灰比的含水量。

(2)工作性(稠度)试验。取少量拌制好的混合料进行稠度试验,在试验中,混合料的稠度不符合要求,则对水灰比进行调整,使其满足相应的要求。稠度试验结果见表 5。

表 5 稠度试验结果

材料编号	A	B	C	D	E	F
出浆时间/s	16	15	18	18	17	

(3)成型试件。试件尺寸采用 15 cm×15 cm×55 cm。为了模拟现场施工时振动压路机的碾压效果,在室内成型试件时,先将混合料加入试拌模型(装入量略高于试拌模型顶面),接着将加有配重平板的振动器放在混合料上振动。当装入试拌模型的混合料由于振动表面下降至与试拌模型顶面平齐后,取下振动器,再加入混合料,然后再放上振动器振动。如此反复,直至振动器无法再将混合料表面振压下去时,用刮刀将试拌模型顶面多余的混合料刮去,刮至混合料表面与试拌模型顶面平齐即可。在试件成型以前,称量试拌模型质量;试件成型后,称取试件与试拌模型的总质量,然后计算试件的湿密度。从各试件的湿密度结果看,变异性较小,且与理论密度值相接近,表明这种成型试件的方法可行、稳定。湿密度试验结果见表 6。

表 6 各配合比理论湿密度及实测湿密度

项 目	材料编号					
	A	B	C	D	E	F
理论湿密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.618	2.359	2.440	2.450	2.495	2.497
实测湿密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.616	2.352	2.433	2.448	2.500	2.491

(4)试件养生。养生方法按常规进行,养生温度为 22℃~24℃,养生湿度>98%,按试验项目的需要分别对试件养生 7 d、28 d。

(5)试验检测。试件养生 7 d 后,将部分试件取出,分别做抗折、抗压强度的试验。试件养生 28 d 后,分别做抗压强度、抗折强度以及抗折模量试验。试验方法参照文献[10],试验结果见表 7。

1.4 混合料试验结果

试验结果表明:在普通水泥混凝土中直接用乳化沥青替代水会使混合料的和易性降低,但加入减水剂后和易性可以得到改善;适量的消泡剂对混合料和易性影响不大。普通水泥混凝土的抗压强度、抗折强度和抗折模量值均大于 EACC 的相应试验值,

表 7 抗折、抗压强度及抗折模量试验结果

材料编号	7 d		28 d		
	抗折强度/ MPa	抗压强度/ MPa	抗折强度/ MPa	抗压强度/ MPa	抗折模量/ MPa
A	5.41	40.44	6.84	53.78	24 009
B	3.95	15.85	4.52	19.85	22 237
C	3.61	15.24	4.53	19.55	19 577
D	4.04	16.15	4.32	21.78	20 256
E	3.14	11.41	3.94	14.77	17 752
F	3.73	15.56	4.35	21.11	17 915

但不同指标相差的幅度不同,其中抗折强度值相差幅度较大,抗折模量值相差幅度较小。通过比较,选择 D 作为现场试验路段铺筑的材料配合比。

2 试验路段铺筑

2.1 试验方案

试验路段选在河南驻马店市某二级公路改建工程,道路横断面为双向 4 车道(4×3.75 m)。路面结构为:15 cm 石灰稳定土底基层,15 cm 水泥稳定石屑,22 cm 乳化沥青-水泥混凝土板,试验路段为 100 m。

2.2 施工工艺

面层施工前,按照施工规范要求,对底基层进行彻底清扫,并在施工前对底基层洒水,以保持底基层的湿度。由于 EACC 拌和物中的乳化沥青粘度高,易引入不良气泡,因此不宜采用重力式拌和机械拌和。在施工拌料时,使用了 2 台 350 L 卧轴强制式搅拌机。为了在拌和过程中便于乳化沥青和消泡剂的添加,在拌和机拌和仓的上方,设置了乳化沥青贮藏箱和消泡剂贮存桶。混合料的拌和时间控制在 20~30 s。EACC 拌和完成后,拌和物的运输时间应在 30 min 以内,以免因水分蒸发使 EACC 工作性能下降。如果运输时间过长,使拌和物严重失水,乳化沥青就会破乳分裂,即便二次加水拌和也难以恢复拌和物的工作性能。因此,当运输时间超过 15 min 时,应采取覆盖措施。施工中混合料拌好后,由于最大运输距离小于 800 m,从搅拌机到摊铺现场所需的最长时间小于 15 min,所以在运料过程中,没有用篷布对混合料进行遮盖。在施工时,运至现场的混合料,由专人指挥倒在预定地点。由于施工条件所限,采用人工配合平地机匀料、摊铺。摊铺时,松铺系数按 1.2 控制;松铺厚度为 24~25 cm。

在施工过程中,先用胶轮压路机对混合料进行

稳压,再用振动压路机按先从路边再到路中的方式进行碾压。碾压时,先以微振方式碾压 2 遍;再用强振方式振碾 2 遍。每次碾压时,轮迹相错 30 cm。最后根据情况,用轮胎压路机碾压 1~2 遍封面。在碾压时,碾压段一般为 40~50 m。当面层局部由于粗料过多有较明显麻面现象时,在这些地方铺撒 1:2 的水泥石屑,再用胶轮压路机碾压。对于路边部分,振动压路机要多碾压 1~2 遍。碾压完成后,检测人员在现场实测压实度,以检查碾压质量、压实度。检测结果见表 8。碾压结束后,立即封闭交通,覆盖养生,4~5 h 后开始洒水,洒水频率以表面保持湿润为度,至少应保持养生 7 d。当面层养生 24 h 后,在预定的切缝位置划线,用切缝机进行切缝,切缝间距 10 m,切缝深度控制在板厚的 1/3~1/4。

表 8 现场压实度检测结果

桩 号	K0+475	K0+600	K0+730	K0+865
压实度/%	97.2	97.8	98.2	97.0

3 试验路段使用情况观测

试验路段通车后,为了进一步掌握不同时间、不同气候条件下的交通情况,分别对试验路段进行了 4 次现场观测。试验路段建成后,车流量较大,且由于京珠高速公路驻马店路段正在建设之中,有大量的砂石材料运输车辆经过该路段,车流中还有较多的超载车辆。

第 1 次观测的时间为 2000 年 9 月 2 日,进行此次观测时,试验路段开通近 30 d,路面情况整体良好,表面无剥落、坑槽等现象。观测发现,在面板局部出现了横向裂纹,但大多长度较短,并没有贯穿板全宽。产生裂纹的原因:由于施工时天气酷热(白天平均气温可达 39℃~40℃),混凝土面板浇筑后,水分蒸发极快,在面板上麦草覆盖不严的地方,由于水分的散失而产生了干缩,当干缩应力达到一定程度时,就会在面板的上部产生裂纹。

第 2 次观测的时间为 2000 年 11 月 2 日,此次现场观测时,路面情况大体与第一次观测的情况相同,路面整体使用情况良好,但局部地方有坑槽出现。经现场探查,坑槽深度为 5~6 mm,每个坑槽的面积不等(0.032~0.050 m<sup>2</sup>)。坑槽出现的原因:在运料、卸料和人工辅助平地机匀料、摊铺的过程中,混合料出现粗、细料离析,导致局部地方粗料集中、细料偏少。虽然施工时对表面粗糙的部位碾压时撒了水泥石屑,但面板下部仍然粗料过多,在车辆运行

荷载的作用下逐渐形成了坑槽。

第 3 次观测时间为 2001 年 2 月 1 日,整体看来,路面使用情况仍然良好,路面的裂缝数量没有大的变化。但由于天气较冷,混凝土板收缩,使得个别裂缝有所延长,且出现了贯穿面板的裂缝,这种情况的变化与切缝间距过大有关。此外,坑槽的数量也略有增加,除原有坑槽面积有所扩大外,坑槽的深度没有太大变化。

第 4 次观测时间为 2001 年 5 月 28 日,进行此次观测时,试验路段已通车近 1 a。由于京珠高速公路不少运输石材料的车辆须经过此路,试验路段承受了超荷载运行。通过观测,各试验路段路面面层状况基本稳定,裂缝的数量与第 3 次观测情况相比没有太大的变化,只是有些裂缝又有所延长。

4 结 语

- (1)室内试验表明,虽然采用振动法成型的乳化沥青-水泥混凝土材料的抗压强度、抗折强度和抗折模量略小于普通水泥混凝土,但仍然具有较高的强度和稳定性,能够满足路面的需要。
- (2)铺筑路段试验表明,振碾法施工乳化沥青-水泥混凝土材料(EACC)可用于实际生产,并完全可以采用现有的各类常用施工机械进行施工,在机械设备方面无需额外投入。
- (3)在试验路段的施工过程中,由于乳化沥青-水泥混凝土混合料成分增加,与普通混凝土混合料相比,拌制过程中更应注意拌合时间以及混合料的均匀性。
- (4)从现场施工以及不同时间对试验路段的观测结果来看,若材料配合比合理、施工控制得当,乳化沥青-水泥混凝土便具有较好的路用性能。

参考文献:  
References:

[1] 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 Wen-hao, SHA Ai-min, HU Li-qun, 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.

[2] 王学信. 乳化沥青水泥复合结合料性能试验研究[J]. 市政技术,2005,22(3):394-396.



## 参考文献:

## References:

- [1] JTJ B01-2003,公路工程技术标准[S].
- [2] JTJ 011-94,公路路线设计规范[S].
- [3] 石飞荣,杨少伟.山区高速公路车辆下行最大纵坡及坡长限制分析[J].交通运输工程学报,2001,1(2):68-73.  
SHI Fei-rong, YANG Shao-wei. The maximum longitudinal slope and its length of mountain-expressway under the condition of vehicle's driving down[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1(2): 68-73.
- [4] 毛大德.从汽车行驶特性分析公路弯坡路段线形设计[J].公路与汽运,2001,4(2):28-30.  
MAO Da-de. Study on alinment design of road section of curved ramp according to vehicle operational characteristics[J]. Highways & Automotive Applications, 2001, 4(2): 28-30.
- [5] 杨少伟,石飞荣,潘兵宏,等.可能速度及其在公路线形设计中的应用[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):1-4.  
YANG Shao-wei, SHI Fei-rong, PAN Bing-hong, et al. Application of possible velocity in design for highway alignment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 1-4.
- [6] 颜强,吴国雄,孙家驷,等.平面线形组合与衔接的定量分析[J].中国公路学报,2001,14(3):30-32.  
YAN Qiang, WU Guo-xiong, SUN Jia-si, et al. Quantitative analysis of the combination and joint of plane alignment[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(3): 30-32.
- [7] 刘道宣.线形组合设计对高速公路运营安全的影响[J].广西交通科技,2003,28(1):57-59.  
LIU Dao-xuan. The influence of linear combination design to the operational safety of expresshighways[J]. Guangxi Communication Science and Technology, 2003, 28(1): 57-59.
- [8] 吴德华,王选仓,季求知,等.陕西公路平纵线形指标[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(2):46-49.  
WU De-hua, WANG Xuan-cang, JI Qiu-zhi, et al. Plat and profile linear index of Shaanxi road[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 46-49.
- [9] 张雨化.道路勘测设计[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [10] 陈胜营.公路设计指南[M].北京:人民交通出版社,2000.
- WANG Xue-xin. Experimental investigation on performances of emulsified asphalt-cement compostite cementitious material [J]. Municipal Engineering Technology, 2005, 22(3): 394-396.
- [3] 李江,陈忠达,封晨辉.水泥-乳化沥青混合料配合比设计试验方法研究[J].公路交通科技,2004,21(9):31-33.  
LI Jiang, CHEN Zhong-da, FENG Chen-hui. Study of test method and cement-emulsified asphalt mixture ratio[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(9): 31-33.
- [4] 秦永春,徐剑,黄颂昌,等.乳化沥青试验方法及相关内容研究[J].石油沥青,2004,18(6):27-31.  
QIN Yong-chun, XU Jian, HUANG Song-chang, et al. Research on emulsified asphalt test methods and concerned contents[J]. Petroleum Asphalt, 2004, 18(6): 27-31.
- [5] 陈拴发,郑木莲,杨斌,等.破裂水泥混凝土路面板沥青加铺层温度应力影响因素[J].交通运输工程学报,2005,5(3):25-30.  
CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, YANG Bin, et al. Thermal stress influence factors of asphalt overlay on cement concrete pavement cracking slab[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(3): 25-30.
- [6] 谈至明,姚祖康,刘伯莹.双层水泥混凝土路面板的温度应力[J].中国公路学报,2003,16(2):10-12.  
TAN Zhi-ming, YAO Zu-kang, LIU Bo-ying. Thermal stress analysis of two-layered concrete slabs[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(2): 10-12.
- [7] 郭朝华.乳化沥青水泥混凝土(EACC)面层材料研究[D].西安:长安大学,1999.
- [8] 王东阳,陈淑贤.流态混凝土高效减水剂CAN与水泥适应性[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):26-29.  
WANG Dong-yang, CHEN Shu-xian. Additive CAN of liquied concrete and adaptability of cement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 26-29.
- [9] JTJ 052-2000,公路沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [10] JTG D40-2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].

(上接第15页)