

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.01.020

水泥-乳化沥青冷再生混合料性能研究

苗鹤龄¹, 武松^{2,3}

(1. 云南省公路开发投资有限责任公司, 云南 昆明 650228; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所
岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 3. 中国科学院大学, 北京 100000)

摘要: 沥青废旧路面材料再利用一直是其资源化利用的难点和重点, 其性能重塑是其再利用的关键要点。采用乳化沥青以及水泥作为废旧沥青混合料的稳定剂, 研究了不同掺量水泥对冷不同再生混合料性能的影响, 并分析了稳定再生作用机理。结果表明: 水泥的加入能够明显的提升再生沥青混合料的无侧限抗压强度, B混合料的无侧限抗压强度略高于A、C混合料, 劈裂强度和水稳定性也呈现出相同的规律。

关键词: 再生沥青混合料; 乳化沥青; 水泥; 性能评价; 机理

中图分类号: U416.26

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)01-0108-05

Performance of Cold Recycling Asphalt Mixture with Emulsified Asphalt and Cement

MIAO Heling¹, WU Song^{2,3}

(1. Yunnan Road Development Investment Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650228, China;

2. State Key Laboratory of Geo-mechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000, China)

Abstract: The recycling application of waste asphalt pavement materials is an important issue, its remodeling performance is the key point of its reuse. The emulsified asphalt and cement is used as stabilizer in this paper. Effect of different content cement on the performance of waste recycled asphalt mixture was tested and the mechanism of stable regeneration was analyzed. The results show that the unconfined compressive strength of the asphalt mixture can be improved greatly by the addition of cement. The unconfined compressive strength of the B mixture is slightly higher than that of the A and C mixtures. The splitting strength and the water stability are also shown the same rule.

Keywords: recycling asphalt mixture; emulsified asphalt; cement; performance evaluation; mechanism

伴随着我国高速公路建设事业的蓬勃发展, 通车公路里程的不断增加, 许多早期修建的地方道路和高速公路已经进入老龄期, 需要得到陆续的维修养护和改造。最近几年, 我国公路的维修改造任务日益艰巨。然而, 在实际工程中, 废旧沥青料往往会被当做废料而随意处置, 这不仅是对资源的浪费, 也会占用大量的土地, 而且还会对环境造成破坏。因此采用沥青道路再生技术, 将废弃的旧路面材料重新利用, 将会是一个非常有效的措施^[1-4]。本文通过选用乳化沥青和水泥作为废旧沥青混合料稳定

剂, 研究了再生沥青混合料的无侧限抗压强度, 劈裂强度和水稳定性, 并分析了乳化沥青和水泥对再生沥青混合料强度的作用机理。

1 原材料及实验

1.1 原材料

本实验所用回收旧沥青路面材料取自云南某高速公路面层铣刨料。回收旧沥青路面材料的各项技术指标如表1所示。

稳定土跟RAP取自同一路段, 为基层铣刨料。

其化学组成见表 2。

所采用乳化沥青为慢裂型阳离子乳化沥青,所得到的各项技术指标如表 3 所示。

所采用的水泥为华润水泥厂生产的 P. O. 425 普通硅酸盐水泥,水泥的化学组成和主要技术指标见表 4。

表 1 RAP 技术指标

含水率/%	沥青含量/%	砂当量/%	25℃针入度/0.1mm	60℃黏度
1.4	4.2	64	26	1838
软化点/℃	15℃延度/cm	针片状含量/%	压碎值/%	
58	18	13.5	17.9	

表 2 稳定土化学组成

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
含量/%	57.61	12.2	6.19	11.00	2.59
成分	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	烧失量
含量/%	1.41	0.89	0.96	0.23	6.52

表 3 乳化沥青技术指标

破乳速度	离子电荷	1.18 mm 筛上残留物/%	恩格拉黏度
慢裂	阳离子	0.027	10.5
残留部分含量/%	溶解度/%	25℃针入度/0.1mm	15℃延度/cm
63.4	99.2	69.5	> 100

表 4 水泥化学组成

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
含量/%	21.73	4.25	2.67	63.59
成分	MgO	Na ₂ O	SO ₃	烧失量
含量/%	2.21	0.55	2.39	1.75

1.2 试验方法

根据现场实际经验,本文研究了含稳定土的冷再生混合料,其级配设计参考了《公路路面基层施工技术细则》^[5](JTG/TF 20-2015)。本文设计了三种不同含量稳定土的冷再生混合料,分别记为混合料 A 为 75% RAP + 25% 稳定土;混合料 B 为 50% RAP + 50% 稳定土;混合料 C 为 25% RAP + 75% 稳定土。为了研究水泥掺量对冷再生混合料性能的影响,采用了 0%、1%、2%、3%、4% 掺量的水泥,对混合料的无侧限抗压强度、劈裂强度和水稳性能进行了测试。

2 结果与讨论

2.1 最佳拌合用水量

参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[6](JTG/TE 51-2009),变化含水率对混合料进行击实试验,得到不同水泥掺量下混合料的最大干密度,表 5 为不同混合料的击实试验结果。

表 5 不同混合料击实试验结果

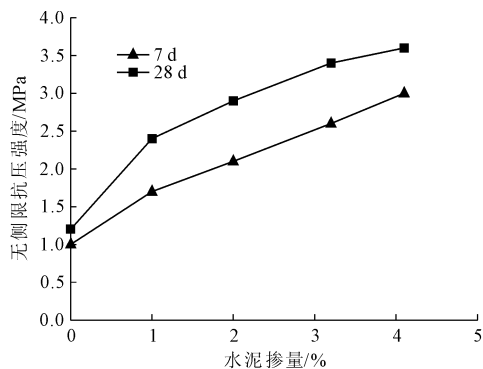
混合料类型	水泥掺量/%	(W _乳 + W _{外加})/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)
A	0	8.81	1.98
	1	9.14	1.94
	2	9.55	2.03
	3	9.90	1.91
B	4	10.10	1.97
	0	9.31	1.95
	1	9.71	1.87
	2	10.10	1.92
C	3	10.40	1.94
	4	10.50	1.89
	0	10.00	1.89
	1	10.30	1.94
	2	10.70	1.92
	3	10.90	1.95
	4	11.20	1.87

从表 5 可以看出,对于同一种类的混合料,随着水泥掺量的提高,最佳总流体含水率也增加。而在相同的水泥掺量条件下,随着稳定土掺量的提高,最佳流体含量越来越高,最大干密度却越来越小。这是由于稳定土比表面积大,与水接触后,吸收大量的水分,所以稳定土掺量越高,最佳流体含水率也就越高^[7-8]。

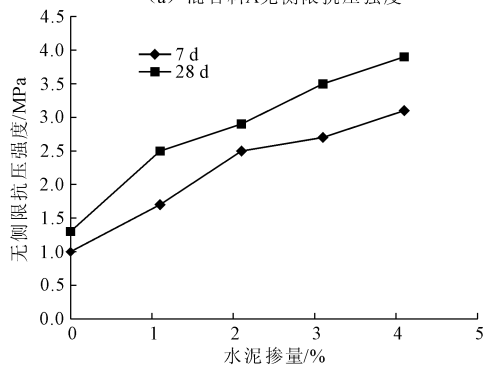
2.2 无侧限抗压强度

不同水泥掺量的混合料无侧限抗压强度结果见图 1。从图 1 可以看出,当水泥掺量为 0% 时,试样的无侧限抗压强度均较低,且相对于 7 d 强度,28 d 强度增长有限,分别为 0.11 MPa、0.31 MPa、0.09 MPa。然而,在加入水泥以后,混合料的强度增长明显,而且随着水泥掺量的增加,试样的强度也随之提高。RAP 的强度较高,对早期强度起到一定的贡献,随着混合料中水泥颗粒随着时间的延长,进一步水化,混合料试件强度也慢慢增长。混合料试件的无侧限抗压强度大小顺序为混合料 B > 混合料 A > 混合料 C,表明在含有稳定土的再生混合料中,RAP 与稳定土存在一个最佳比例,在此最佳比例下,冷再生

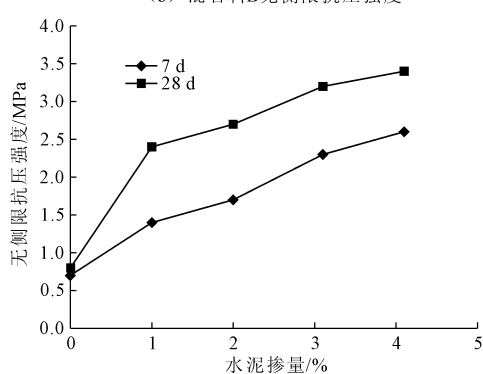
混合料能形成较高的无侧限抗压强度,本实验的最佳 RAP 与稳定土比例为 1:1。



(a) 混合料A无侧限抗压强度



(b) 混合料B无侧限抗压强度



(c) 混合料C无侧限抗压强度

图 1 不同掺量水泥混合料无侧限抗压强度

2.3 劈裂强度

3种混合料不同水泥掺量的劈裂强度如图2所示。

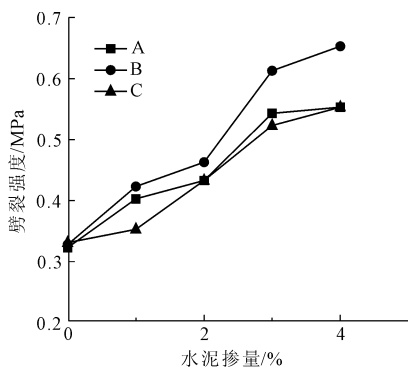


图 2 不同水泥掺量混合料劈裂强度

从图2可以看出,水泥的加入能够明显的提高再生沥青混合料的劈裂强度,而且随着水泥掺量的提高,混合料的劈裂强度均大幅提高。当水泥含量一定时,混合料B的劈裂强度最大,这与混合料无侧限抗压强度是一致的。究其原因,RAP中残留的沥青是混合料中的集料部分包裹,而稳定土颗粒表面粘结有水泥砂浆,比表面积大于RAP集料,能够吸收部分沥青,造成乳化沥青破乳后沥青不能完全覆盖颗粒表面。当乳化破乳后,起胶结作用的主要是沥青和水泥,水泥水化产物随着时间的延长不断增多,与沥青胶结在一起对强度其贡献作用^[9-10]。

2.4 水稳性能

通过测量了A、B、C三种混合料在水泥掺量为0%、1%、2%、3%和4%时的15℃浸水劈裂强度,并以混合料的15℃湿劈裂强度与15℃干劈裂强度的比值来表征其水稳性能(见图3)。

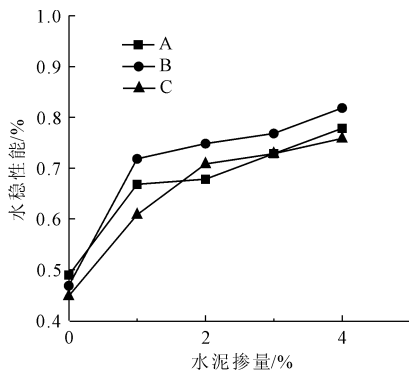


图 3 不同水泥掺量混合料水稳性能

与混合料的劈裂强度相比较,可以看出水泥的加入对混合料的水稳性能十分有利,1%掺量的水泥水稳性能分别提高了9.8%、19.9%、16.8%,但是随着水泥的继续掺入,水稳性能提高的幅度逐渐缓慢。当水泥掺量固定时,混合料B的水稳性能略高于其它两种混合料。

2.5 强度形成机理分析

2.5.1 乳化沥青作用机理

乳化沥青对再生沥青混合料强度的作用主要体现在乳化沥青与RAP和新集料之间的相互作用^[4]。冷再生混合料的抗剪强度可以用摩尔-库仑包络线方程来求得,如式(1)和图4所示^[7]。

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中: τ 为剪应力; c 为黏聚力; σ 为正应力; φ 为内摩阻力。

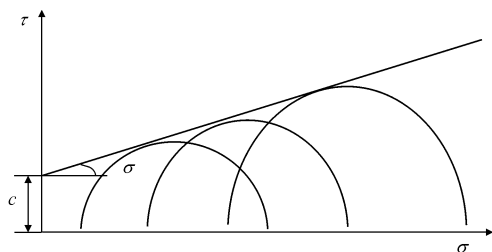


图 4 莫尔-库仑包络线图

乳化沥青中所含有的沥青必须通过与骨料相粘附、分解并破乳、释放水分、水分蒸干等才能恢复其原有的粘结能力。因此,乳化沥青冷再生混合料的强度主要表现在沥青乳液中水分的排出。在混合料拌和的初始阶段,水分分散于混合料中,但不能马上排净,处于游离状态的水分占据着混合料的空隙,因为水分黏度较低,故导致了骨料间内摩擦阻力的降低,从而使混合料强度与稳定性也随之降低^[11-13]。在行车载荷和养生条件的共同作用下,混合料中的水分会被逐渐排出、蒸干,残留于混合料中的沥青开始粘附于集料的表面,而且在集料表面的排布发生调整,粗、细骨料两者之间的位置也会调整至最佳的状态,从而冷再生混合料的密度会逐渐地增大^[14-15]。在此过程中,冷再生混合料黏聚力及内摩擦阻力会逐渐增大,强度也会不断增长。

2.5.2 水泥作用机理

当稳定土与水相结合时,会表现出胶凝性能,表面带有的 Na^+ 和 K^+ ,能够与水泥水化产物氢氧化钙中的 Ca^{2+} 进行当量吸附交换,从而促进水化产物的生成,形成较大的土团聚颗粒,进而提高混合料的强度^[16-17];稳定土颗粒中的矿物属于硅铝酸盐,在碱性条件下, SiO_2 和 Al_2O_3 的活性被激发出来,与介质中的 Ca^{2+} 反应,生成不溶于水的稳定结晶化合物,不断的延伸填充到稳定土颗粒的空隙中,并能够形成空间网状结构,从而增大了强度^[18]。

图 5 为 3%水泥掺量混合料 B 的宏观形貌、光学显微形貌和 SEM 形貌。从图 5(a)和图 5(b)可以发现,混合料中的 RAP 和稳定土与破乳后的沥青相互包裹,形成一个统一的整体;从图 5(c)中可以看出,加入水泥以后,由于水泥自身的水化以及水泥与稳定土颗粒作用产物的形成,在混合料中出现了大量的纤维状和针棒状的晶体^[19],既对混合料进行了填充,又与沥青薄膜相互交织,形成共同的空间网络结构,把集料包裹在中间。

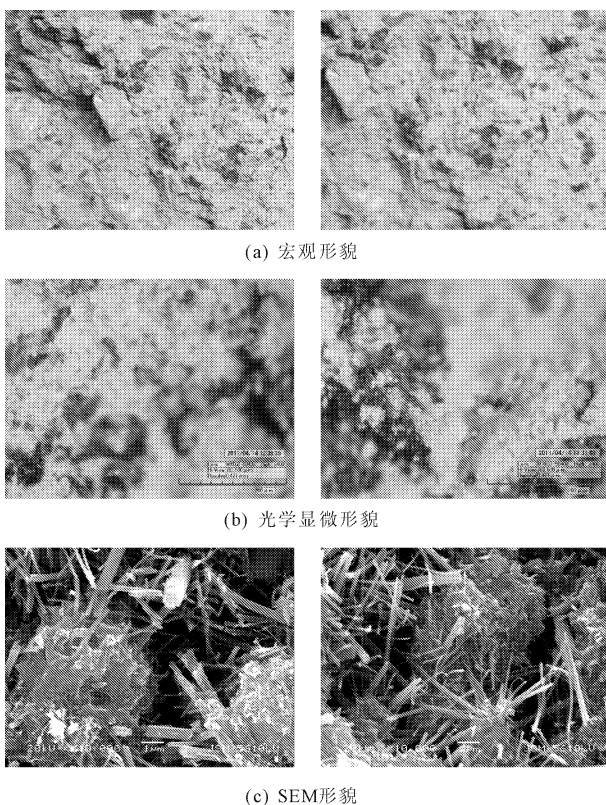


图 5 混合料 B 形貌图

3 结 论

(1) 通过土工击实试验,确定了 3 种混合料在不同水泥掺量下的最佳拌合用水量。对于同一种类的混合料,随着水泥掺量的提高,最佳总流体含水率也增加。而在相同的水泥掺量条件下,随着稳定土掺量的提高,最佳流体含量越来越高,最大干密度却越来越小。

(2) 水泥的加入能够显著的提高混合料试件的无侧限抗压强度,劈裂强度和水稳定性。当养护龄期和水泥掺量一定时,B 混合料的无侧限抗压强度最好。劈裂强度和水稳定性呈现同样的趋势。

(3) 乳化沥青对强度的形成主要表现在沥青乳液中水分的排出,沥青在集料表面排布的调整,粗细集料的位置发生调整,进而增大混合料的密度,提高混合料的强度。水泥对混合料强度的贡献主要是离子交换作用和化学激发作用,在混合料中形成连续的空间网状结构,从而增大了强度。

参考文献:

[1] 陈玉红.水泥稳定再生混合料的力学性能分析[J].筑路机械与施工机械化,2012,29(10):65-67.
 [2] 赵桂娟.泡沫沥青再生混合料劈裂强度影响因素试验

- [J]. 郑州大学学报(工学版), 2012, 33(2): 72-75.
- [3] 吴喜荣. 不同类型沥青混合料抗裂性能的对比分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 14(1): 128-131.
- [4] 张娜, 厉建远. 花岗岩沥青混合料水稳定性改善试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(2): 106-109.
- [5] 中华人民共和国交通部. 公路路面基层施工技术细则: JTG/TF20-2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [6] 中华人民共和国交通部. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG/TE51-2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [7] 韩树峰. 沥青混凝土路面压实性能影响因素分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(1): 158-160.
- [8] 张海波, 郭滕滕, 郑晨. 乳化沥青再生混合料性能研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2014, 31(6): 69-71.
- [9] 熊竹, 罗敖, 姚圣磊. 水泥改性乳化沥青再生混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2015, 35(4): 308-312.
- [10] 马薛兵. 乳化沥青再生混合料疲劳试验研究[J]. 公路与汽运, 2015(4): 170-172.
- [11] 赵磊. 大掺量 RAP 厂拌热再生沥青路面影响因素分析[J]. 交通世界, 2014(3): 227-229.
- [12] 李希亮. 高性能沥青路面冷再生面层关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [13] 杨风英, 陈文锋. 水泥稳定再生混合料路用性能试验研究[J]. 公路工程, 2011, 36(1): 127-133.
- [14] 王舜. 水泥乳化沥青冷再生混合料性能评价[J]. 公路工程, 2012, 37(1): 171-174.
- [15] 孙岩松. 水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(4): 45-48.
- [16] 周源. 水泥含量对乳化沥青冷再生混合料疲劳性能的影响[J]. 中外公路, 2013, 33(1): 226-229.
- [17] 李俊晓, 尹晓波, 徐娟, 等. 水泥-乳化沥青冷再生混合料配合比设计及其水稳定性评价[J]. 山东科学, 2013, 26(4): 65-70.
- [18] 何东坡, 金钊. 基于空隙率的水泥乳化沥青冷再生混合料配合比设计方法研究[J]. 中外公路, 2016, 36(4): 284-288.
- [19] 苏伟, 霍廷臣. 水泥-乳化沥青冷再生混合料的机理及性能研究[J]. 科技与企业, 2014(21): 128-128.

(上接第 107 页)

参考文献:

- [1] 中国石油天然气管道工程有限公司. 国家二期石油储备基地某地下储备库工程可行性研究, 《土工程勘察》档案号: 地-1591/明[R]. 廊坊: 中国石油天然气管道工程有限公司, 2006.
- [2] Itasca 公司. FLAC3D 4.0 系列手册[M]. 美国: Itasca 公司, 2010.
- [3] 彭文斌. FLAC3D 实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 30-102.
- [4] 胡谋鹏, 梁久正, 许杰. 地下水封储油库围岩稳定性数值分析[J]. 油气储运, 2013, 32(4): 370-375.
- [5] 胡谋鹏, 梁久正. 地下水封石油储备库洞室间距及数值分析[J]. 石油工程建设, 2013, 39(3): 17-19.
- [6] 陈祖煜. 岩质边坡稳定分析-原理、方法、程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 201-243.
- [7] 李术才, 朱维申, 张玉军. 裂隙岩体大型洞室群施工顺序优化研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 1-4.
- [8] Evert Hoek, Paul Marinos. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses (Part 1)[J]. Tunnels and Tunnelling International, 2000(11): 1-5.
- [9] Evert Hoek, Paul Marinos. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses (Part 2)[J]. Tunnels and Tunnelling International, 2000(12): 1-6.
- [10] Martin C D, Kaiser P K, McCreath D R. Hoek - Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels[J]. Can Geotech J, 1999, 36: 136-151.
- [11] Evert Hoek. 实用岩石工程技术[M]. 刘丰收, 崔志芳, 王学潮, 等译. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [12] 陈祖煜. 岩质边坡稳定分析-原理、方法、程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [13] 陈育民. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 28-97.
- [14] 林航, 曹平, 赵延林, 等. 强度折减法在 Hoek - Brown 准则中的应用[J]. 中南大学学报, 2007, 38(6): 1219-1224.
- [15] Hoek E, Brown E T. Practical estimates of rock mass strength[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997, 34(8): 1165-1186.