

CA 砂浆强度影响因素及强度机理研究

谭忆秋¹, 欧阳剑¹, 王金凤², 李云良¹, 陈 瑶¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨, yijianpiaoqian@126.com;

2. 中国海洋石油总公司 石油炼油与销售事业部, 100029 北京)

摘 要: 为制得满足高速铁路建设的 CA 砂浆, 制备了不同配比的 CA 砂浆, 通过考查 CA 砂浆的强度并利用扫描电子显微镜观测微观结构, 研究砂的级配、砂灰比、乳化沥青与水泥比等因素对 CA 砂浆固化体不同龄期强度的影响. 研究表明: 选择粒径为 0.15~0.3 mm 与 0.3~0.6 mm 的组合砂能有效地降低高强型 CA 砂浆材料的分离度, 而对 CA 砂浆 28 d 的抗压强度的影响不大; 随着砂灰比的增大, 高强型 CA 砂浆 1 d 抗压强度增大, 当砂灰比超过 1.4 时, CA 砂浆 28 d 抗压强度明显降低; 随着乳化沥青与水泥质量比的增大, 高强型 CA 砂浆各龄期的抗压强度都显著下降. 选择合适粒径的砂, 合理的砂灰比和乳化沥青与水泥质量比是制得满足高速铁路建设要求的 CA 砂浆的前提.

关键词: 高强型 CA 砂浆; 抗压强度; 级配; 砂灰比; 乳化沥青与水泥质量比

中图分类号: U214.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)10-0080-04

Factors influencing strength of cement asphalt mortar and strength mechanism

TAN Yi-qiu¹, OUYANG Jian¹, WANG Jin-feng², LI Yun-liang¹, CHEN Yao¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, yijianpiaoqian@126.com; 2. Petroleum Refining and Marketing Division, China National Offshore Oil Corporation, 100029 Beijing, China)

Abstract: In order to obtain the CA mortar that can satisfy high-speed railway construction, CA mortar with different proportion was prepared. Through studying strength of CA mortar and Observating its microstructure by scan electron microscopy, the strength and its development of CA mortar was studied by changing sand gradation, the ratio of sand to cement and the ratio of asphalt emulsion to cement. Results show that using combination of two kinds of sand with particle size of 0.15-0.3 mm and 0.3-0.6 mm in CA mortar can reduce the material separation greatly while posing little effect on the 28 d compressive strength of high strength CA mortar. With the increment of $m(S)/m(C)$, the 1 d compressive strength of high strength CA mortar increases but the 28 d compressive strength doesn't change initially until reaching the critical point 1.4, which drags huge decline for it. The compressive strength of high strength CA mortar of different ages are significantly declining with the increment of $m(A)/m(C)$. Selecting the appropriate size sand, $m(S)/m(C)$ and $m(A)/m(C)$ is the premise to obtain the CA mortar that can satisfy high-speed railway construction.

Key words: high strength cement asphalt(CA) mortar; compressive strength; gradation; $m(S)/m(C)$; $m(A)/m(C)$

板式无碴轨道与传统的有碴轨道相比, 其轨道稳定性、刚度均匀性和耐久性等方面都优于有碴轨道, 并且具有养护维修工作量低的突出优点,

是目前高速铁路上广泛应用的结构形式. 板式轨道结构主要由轨道板、水泥沥青砂浆弹性层(Cement asphalt mortar, 以下简称 CA 砂浆)、混凝土底座、凸形挡台及钢轨扣件等构成^[1]. CA 砂浆主要由水泥(C)、乳化沥青(A)、砂(S)、水(W)和多种外加剂组成, 是一种综合水泥高强度和沥青高

收稿日期: 2010-06-12.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078114).

作者简介: 谭忆秋(1968—), 女, 教授, 博士生导师.

弹性 2 种优点的半刚性高性能有机无机复合材料. CA 砂浆弹性层作为无碴轨道的重要组成部分,主要起到调平、缓冲和支撑的作用^[2-3]. 目前国际上 CA 砂浆主要有高强型和低强型两大类. 德国的指标中要求 CA 砂浆的 28 d 抗压强度大于 15 MPa,28 d 弹性模量为 7~10 GPa,通常称为高强型 CA 砂浆^[4-5];日本指标中要求 CA 砂浆 28 d 抗压强度在 1.8~2.5 MPa,28 d 弹性模量为 200~600 MPa,通常称为低强型 CA 砂浆. CA 砂浆在线路运营过程中,要承受动载及静载作用,因此其强度是非常重要的一个性能指标,CA 砂浆必须满足强度这一基本性能指标要求,才能满足线路长期安全稳定的运营要求.

CA 砂浆作为一种新型的有机无机复合材料,其强度影响因素较为复杂. CA 砂浆强度不仅与水泥、沥青、砂、水之间的比例有关^[6],同时还与砂的级配有关^[7]. 本文研究了 CA 砂浆不同龄期的强度及其增长规律,研究了砂的级配、乳化沥青与水泥质量比 $m(A)/m(C)$ 、砂与水泥质量比 $m(S)/m(C)$ 对于 CA 砂浆强度的影响,并对强度的形成机理进行了分析.

1 材料和方法

1.1 原材料

亚泰天鹅牌 P. O 42.5 水泥;中海油重交沥青研究院所研制的阴离子慢裂型乳化沥青,固含质量为 60%;一种过 1.18 mm 筛孔的河砂,筛分结果如表 1,2 种级配的河砂,粒径分别为 0.15~0.3 mm,0.3~0.6 mm;一般自来水;消泡剂;聚羧酸减水剂和最大粒径为 80 μm 的铝粉.

表 1 河砂的筛分结果

筛孔尺寸/mm	分计筛余/%
0.600	15.4
0.300	42.3
0.150	37.8
0.075	2.8
<0.075	1.8

1.2 试验方法

CA 砂浆试件尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm,CA 砂浆 28 d 龄期内均在温度为 (20±2)℃ 内养护,1 d 时间内为带模养护. 根据 CA 砂浆不同龄期的强度,加载速度控制在 50~500 N/s,保证试件在 30 s 左右断裂.

材料分离度反映了 CA 砂浆固化体的不均匀程度. 测试方法是将搅拌好的 CA 砂浆浇入 Φ50 mm×50 mm 的圆柱体模具中,待砂浆硬化后,将其取出平分为上、下两等分,分别称量上下

两部分的质量,按下式计算材料分离度. CA 砂浆的材料分离度应不高于 3.0%.

材料分离度 = $\frac{(M_1 - M_2)}{2 \times (M_1 + M_2)} \times 100\%$.

其中: M_1 为下半部质量, M_2 为上半部质量.

扩展度是反映 CA 砂浆流动性的一个指标,流动度越好,扩展度越大. 测试用的扩展度筒的内径为 50 mm,高为 190 mm. 扩展度筒放在一水平的玻璃板中间,将玻璃板表面与扩展度筒内润湿后,把拌制好的 CA 砂浆填入筒内,直至筒的上缘,将筒迅速地垂直提高 15 cm,待砂浆停止流动后测量其互相垂直的 2 个方向的扩展直径. 每组试样进行 2 次扩展度的测定,取其算术平均值. CA 砂浆拌合物的扩展度不能小于 280 mm.

2 CA 砂浆强度影响因素

2.1 砂的级配对强度的影响

CA 砂浆的灌注施工方式要求 CA 砂浆具有很高的流动性,而流动性高的 CA 砂浆极易出现材料离析. 因此,采用不容易离析且需水量较小的两档单粒径的砂 0.15~0.3 mm,0.3~0.6 mm 按不同比例组合,来研究砂级配的变化对于材料分离度及强度的影响. 保持 $m(A)/m(C) = 0.45$,绝对水灰比 $m(W)/m(C) = 0.35$ 不变,得到不同砂级配情况下的强度及分离度如表 2 所示. 同时为作对比,采用表 1 中的河砂在相同配比下试验,得到 CA 砂浆的分离度为 4.7%,扩展度为 320 mm. 可以看出,由普通过 1.18 mm 筛孔的河砂拌合而成的 CA 砂浆的分离度很难达 3% 以下,而采用粒径为 0.6 mm 以下的组合砂,分离度均能保持在 3% 以下,当 0.15~0.3 mm 砂的质量超过 40% 以后,分离度可降低到 1% 以下,这说明在 CA 砂浆拌合物中,容易发生沉降导致材料离析的主要是 0.6 mm 以上的砂粒. 在保持相等水灰比下,CA 砂浆的扩展度随砂变细而减小,即流动性能变差,这是因为干料的比表面积越大,包裹水的能力也越大,在浆体中起润滑作用的游离水就越少. CA 砂浆的抗折强度都能满足大于 3 MPa 的要求. 砂的级配组成中,0.15~0.3 mm 的砂用量在 60% 以下时,抗压强度没多大变化,以后随这档砂的增加,强度呈增大趋势. 而 0.15~0.3 mm 单粒径砂构成的 CA 砂浆 28 d 抗压强度可达到 15.2 MPa,满足规范大于 15 MPa 的要求.

2.2 $m(S)/m(C)$ 的影响

保持 $m(A)/m(C) = 0.45$,绝对水灰比 $m(W)/m(C) = 0.35$ 不变,采用由两档粒径

0.15 ~ 0.3 mm、0.3 ~ 0.6 mm 分别占 60% 和 40% 组合而成的级配砂,改变砂与水泥的质量比,配制不同的 CA 砂浆,并测试其不同龄期的抗压及抗折强度,试验结果见表 3.

从表 3 可以看出,CA 砂浆的 28 d 抗折强度较大,都能满足大于 3 MPa 要求. 抗压强度在 $m(S)/m(C)$ 为 1.0 ~ 1.4 时无明显变化,但继续随 $m(S)/m(C)$ 的增大,强度开始下降,且下降速度很快. 当 $m(S)/m(C) = 1.6$ 时,其 28 d 抗压强度降为 10.8 MPa. 这是因为 CA 砂浆是由水泥和沥青复合而成的砂浆,其强度主要由硬化后的水泥石决定,在 $m(S)/m(C)$ 较小时,其强度无明显变化,当 $m(S)/m(C)$ 的比例增大时,水

泥的含量相对不足,从而使 CA 砂浆抗压强度降低,同时在保持水灰比不变的情况下,增大 $m(S)/m(C)$ 会导致砂浆浆体变稠,而 CA 砂浆为自流平成型,不振捣,使得浆体的含气量也会提高,导致强度下降. 因此,制备抗压强度高的 CA 砂浆,干料中 $m(S)/m(C)$ 不宜大于 1.4. 1 d 的 CA 砂浆 1 d 的不能满足抗压强度大于 2 MPa、抗折强度大于 1 MPa 的要求,抗压强度随 $m(S)/m(C)$ 的增加而增大,分析可能原因是固定 $m(A)/m(C)$ 时,随着 $m(S)/m(C)$ 的增加致使 CA 砂浆拌合物中干料的质量增大,从而加快乳化沥青的破乳,使早期强度上升加快. 考虑强度因素,干料中 $m(S)/m(C)$ 取 1.4 左右为宜.

表 2 不同砂级配情况下 CA 砂浆强度、分离度和扩展度

不同砂的级配质量组成/%		分离度/%	扩展度/mm	28 d 抗折强度/MPa	28 d 抗压强度/MPa
0.15 ~ 0.3 mm	0.3 ~ 0.6 mm				
20	80	1.5	330	4.8	13.5
40	60	0.3	310	5.3	14.1
60	40	0.2	310	5.2	13.3
80	20	0.2	290	4.9	14.5
100	0	0.7	280	4.6	15.2

表 3 不同 $m(S)/m(C)$ 情况下 CA 砂浆的强度

$m(S)/m(C)$	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa		
	1 d	7 d	28 d	1 d	7 d	28 d
1.0	0.5	11.3	13.5	0.4	4.5	5.3
1.2	0.7	10.5	12.9	0.4	4.6	5.8
1.4	1.2	10.4	13.3	0.8	4.6	5.3
1.6	1.3	8.9	10.8	0.9	4.1	5.4

2.3 $m(A)/m(C)$ 的影响

乳化沥青能使 CA 砂浆具有良好的弹性,发挥 CA 砂浆弹性层减振降噪的功能. 但是乳化沥青用量不能过高,否则会影响 CA 砂浆的强度. 根据文献[4-5],要求乳化沥青用量与水泥的比值应不小于 0.35,因此本文选用 $m(A)/m(C)$ 从 0.35 ~ 0.55 五个比值,保持 $m(S)/m(C) = 1.4$ 、绝对水灰比 $m(W)/m(C) = 0.35$ 不变,由 0.15 ~ 0.3 mm 和 0.3 ~ 0.6 mm 两档单粒径砂分别占 60% 和 40% 组成级配砂,所配制的 CA 砂浆各龄期的强度值如表 4 所示.

从表 4 可看出,随着 $m(A)/m(C)$ 的增加,CA 砂浆硬化体的抗压强度下降,下降幅度与 $m(A)/m(C)$ 的增加值基本上能呈线性关系. $m(A)/m(C)$ 从 0.35 增加至 0.55 时,其 1 d 抗压强度从 1.81 MPa 下降到 0.42 MPa,下降幅度达 76.8%,其 7 d 抗压强度从 13.2 MPa 下降到 9.2 MPa,下降 30.3%,其 28 d 抗压强度从 16.5 MPa 下降到 11.5 MPa,下降 30.3%. 1 d 抗压

强度降幅比 7 d 和 28 d 降幅大很多,说明 1 d 抗压强度受 $m(A)/m(C)$ 的影响更大,说明乳化沥青对水泥的水化具有明显的缓凝作用^[8]. 1 d 抗折强度随 $m(A)/m(C)$ 的增加而下降,而 7 d 及 28 d 的抗压强度则基本不受 $m(A)/m(C)$ 比值的影响. 从表 4 也可看出,为使 CA 砂浆 28 d 抗压强度大于 15 MPa, $m(A)/m(C)$ 不宜超过 0.45.

表 4 不同 $m(A)/m(C)$ 值的 CA 砂浆强度

$m(S)/m(C)$	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa		
	1 d	7 d	28 d	1 d	7 d	28 d
0.35	1.81	13.2	16.5	1.00	5.0	5.8
0.40	1.66	12.3	15.0	1.10	4.7	5.6
0.45	1.24	10.4	13.3	0.87	4.6	5.3
0.50	0.84	9.7	11.9	0.62	4.4	5.3
0.55	0.42	9.2	11.5	0.25	4.5	5.8

图 1 显示了不同 $m(A)/m(C)$ 比值时 CA 砂浆固化体 28 d 时的 SEM 图片. 对比图 1(a)、1(b),与 $m(A)/m(C) = 0.35$ 相比, $m(A)/m(C) = 0.55$ 的 CA 砂浆微观结构,水泥水化产物较多被沥青膜包裹,形成的空间结构由水泥水化产物直接搭接较少,这使得 CA 复合胶凝材料自身强度下降,容易受力变形;相反, $m(A)/m(C) = 0.35$ 的 CA 砂浆微观结构中,由于单位体积含量水泥增多,沥青减少,较多的水泥水化产物未被沥青包裹而直接接触,搭接成良好的空间结构形式,从而 CA 砂浆有较高的强度,不容

易受力变形. CA 砂浆的强度发展规律如图 2 所示,从图中可以看出 CA 砂浆的抗压强度在1~7 d 内发展较快,7 d 抗压强度能达到 28 d 抗压强度的 80% 左右.

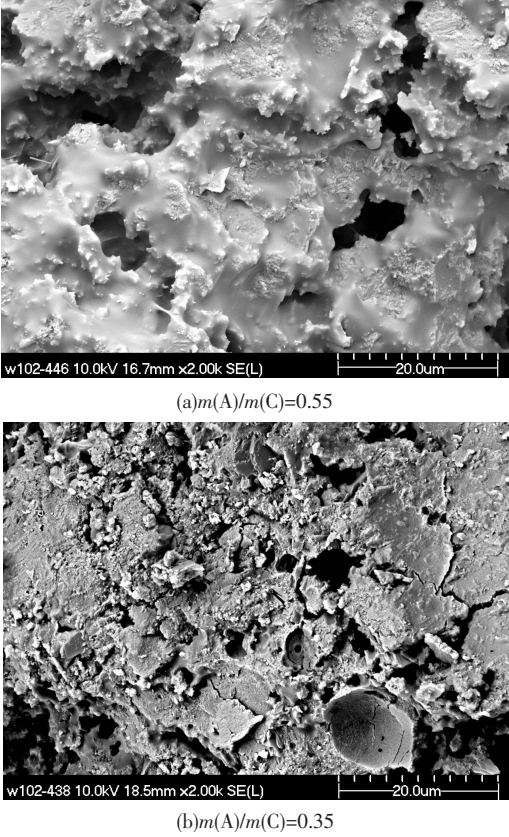


图 1 CA 砂浆 28 d 的 SEM 图

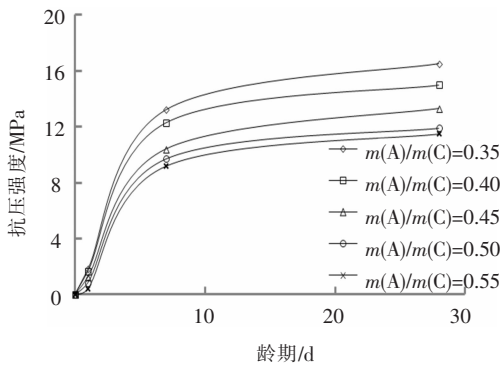


图 2 CA 砂浆抗压强度发展规律

3 结 论

- 1) 选用较细的砂能明显地降低材料分离度,用 0.15~0.3 mm 构成的单粒径砂所掺配的 CA 砂浆满足 28 d 抗压强度大于 15 MPa 的要求.
- 2) 随 $m(S)/m(C)$ 的增大,CA 砂浆 1 d 强度增大,当 $m(S)/m(C)$ 为 1.0~1.4 时,CA 砂浆有较高的 28 d 抗压强度,继续增加 $m(S)/m(C)$ 的比值,CA 砂浆 28 d 抗压强度降低.
- 3) CA 砂浆各龄期抗压强度随 $m(A)/m(C)$ 增大而降低,为能使制备的 CA 砂浆 28 d 抗压强度大于 15 MPa, $m(A)/m(C)$ 不宜大于 0.45.
- 4) CA 砂浆的强度主要由水泥决定,而其弹性主要由乳化沥青决定,水泥的水化及乳化沥青的破乳则共同影响到 CA 砂浆的强度增长规律.

参考文献:

[1] 傅代正,黄金田,郑新国. 桥上板式无碴轨道 CA 砂浆施工技术[J]. 铁道建筑技术,2002(6):28-31.

[2] KAZUYOSI O, YOSIO I. Compressive strength of the CA mortar and its temperature susceptibility [J]. Memoirs of the Faculty of Technology, 1976, 10(2): 1-13.

[3] 左景奇,姜其斌. 板式轨道弹性垫层 CA 砂浆的研究 [J]. 铁道建筑,2005(9): 96-98.

[4] 铁道部科学技术司. 客运专线铁路 CRTS II 型板式无砟轨道水泥乳化沥青砂浆暂行技术条件[S]. 北京: 中国铁道出版社,2008.

[5] 刘世安,刘东红. 客运专线铁路 CRTS II 型板式无砟轨道水泥乳化沥青砂浆疑难问题解答[M]. 北京: 中国铁道出版社,2009.

[6] 王涛,胡曙光,王发洲,等. CA 砂浆强度主要影响因素的研究[J]. 铁道建筑,2008(2):109-111.

[7] 王强,阿茹罕,阎培渝. 砂灰比和砂的级配对 CA 砂浆抗压强度和流动度的影响[J]. 铁道科学与工程学报, 2008, 5(6): 1-5.

[8] 王涛,胡曙光,王发洲,等. 沥青乳液加料顺序影响 CA 砂浆早期强度的机理研究[J]. 铁道建筑技术, 2008(1): 1-3.

(编辑 魏希柱)