

改性硫铝酸盐水泥砂浆力学性能分析

马继树, 杨淑雁*

(宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 为了提升硫铝酸盐水泥砂浆作为修补材料的力学性能, 采用聚丙烯(PP)纤维、水玻璃和 UEA 膨胀剂对其进行改性。通过正交试验设计, 研究了上述 3 个因素对改性砂浆抗压强度与劈裂抗拉强度的影响规律。结果表明, 聚丙烯纤维对抗压强度和劈裂抗拉强度的影响均最大, 膨胀剂次之, 水玻璃影响最小。综合力学性能最优配比为 $A_3B_1C_3$, 即水玻璃掺量为 0.3%, 聚丙烯纤维掺量为 0.1%, 膨胀剂掺量为 0.4%。与未改性砂浆组相比, 28 d 抗压强度提高了 10.1%, 1 d 劈裂抗拉强度提高了 46%。

关键词: 硫铝酸盐水泥砂浆; 聚丙烯(PP)纤维; 水玻璃; UEA 膨胀剂; 正交试验

中图分类号: TU528 **文献标志码:** A

混凝土作为当代最主要的土木工程材料之一, 广泛应用于工业与民用建筑、道桥、水利工程及核电等领域。然而, 由于其自身的材料特点, 混凝土构件在自重、外荷载和服役环境等的共同作用下, 病害问题日益突出^[1-2]。混凝土病害的存在大大降低了结构的安全性, 缩短了结构的耐久性。因此, 有效修补混凝土一直以来都是该领域的研究热点。普通硅酸盐水泥基修补材料存在黏结强度低、收缩率大、抗渗性差等缺点^[3], 因而对于腐蚀离子环境下的混凝土病害修补有很大的不足。相比之下, 硫铝酸盐水泥以其低碳、微膨胀、快硬早强及抗渗性优良等特性, 在应急抢修与路面快速修补工程中展现出显著优势^[4-8]。硫铝酸盐水泥也常与普通硅酸盐水泥和石英砂混掺来满足施工和早强的需求^[9-10]。有研究表明^[11-14], 尽管硫铝酸盐水泥砂浆的抗压强度略低于普通硅酸盐水泥基材料, 但其劈裂抗拉强度更高, 且因孔结构致密, 抗渗性与抗硫酸盐侵蚀性能优异。

另有研究表明^[15-16], 掺入碳纤维可有效降低硫铝酸盐混凝土的干缩率并改善新旧混凝土的界面黏结性能。但硫铝酸盐水泥自身存在凝结时间过短、后期强度易倒缩等问题^[4], 限制了其在修补领域的规模化应用。

针对上述瓶颈, 本文旨在通过体系优化提升硫铝酸盐水泥砂浆的综合修补性能。选用抗裂性能优异的聚丙烯(PP)纤维、黏结增强效果显著的水玻璃以及补偿收缩性能优良的 UEA 膨胀剂对硫铝酸盐水泥砂浆进行改性, 采用正交试验设计研究各因素对其抗压强度与劈裂抗拉强度的影响规律, 并基于功效系数法筛选综合力学性能最优的配比方案。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水泥为山东淄博云鹤牌 R·SAC 42.5 快硬硫铝酸盐水泥, 技术性能如表 1 所示。砂为中砂, 细度模

表 1 硫铝酸盐水泥的技术性能指标

Tab. 1 Technical performance indicators of sulfoaluminate cement

水泥品种	比表面积/ ($m^2 \cdot kg^{-1}$)	标准稠度 用水量/%	初凝时间/ min	终凝时间/ min	1 d 抗折强 度/MPa	1 d 抗压强 度/MPa	3 d 抗折强 度/MPa	3 d 抗压强 度/MPa
R·SAC 42.5	408	28	10	15	6.3	35.8	6.6	45.8

收稿日期: 2023-09-02

基金项目: 宁夏自然科学基金重点项目(2025AAC020028)

作者简介: 马继树(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事硫铝酸盐水泥砂浆耐久性的研究(374724163@qq.com)。

* 通信作者: 杨淑雁(1973—), 女, 副教授, 博士, 主要从事钢筋混凝土结构耐久性的研究(yangshuyan@nxu.edu.cn)。

引用格式: 马继树, 杨淑雁. 改性硫铝酸盐水泥砂浆力学性能分析[J]. 西北工程技术学报(中英文), 2026, 25(1): 52-57.

数为 2.3~2.8。水为洁净自来水。

通过对比不同缓凝剂的性能^[17],选用兼具缓凝效果与增强砂浆早期强度功能的酒石酸。聚丙烯纤维选用长度为 12 mm,直径为 15 μm ,纤维密度为 2.65 g/cm^3 的材料。膨胀剂选用 UEA 膨胀剂。黏结剂选用兼具黏性、抗渗性及耐水性的水玻璃(液体硅酸钠)^[18],其波美度(20 $^{\circ}\text{C}$)为 38.5,模数($n(\text{SiO}_2)/n(\text{Na}_2\text{O})$)为 3.3。

1.2 试验方案及方法

1.2.1 正交试验设计 基准砂浆的水灰比为 0.485,灰砂比为 0.364,缓凝剂掺量为水泥质量的 0.3%。具体配合比:R·SAC 42.5 水泥 400 g、水洗砂 1 100 g、水 194 g、缓凝剂 1.2 g。

基于前期调研,聚丙烯纤维掺量超过 0.3% 会导致砂浆抗压强度降低,故选取 0.1%,0.3%,0.5% 三个水平。通过前期试配发现,水玻璃在掺量为 0.2% 时,砂浆 1 d 抗压强度出现拐点,因此选取 0.1%,0.2%,0.3% 三个水平。硫铝酸盐水泥具有微膨胀性,但其膨胀性能是否满足修补材料的要求尚未可知,因此考虑修补砂浆的抗收缩性要求,结合产品的掺量要求,UEA 膨胀剂选取 0%,0.2%,0.4% 三个水平。上述掺量均为占胶凝材料质量的百分比。对这 3 个因素进行正交试验设计,采用 $L_9(3^4)$ 正交表,因素水平设置如表 2 所示。

表 2 因素水平表

Tab. 2 Factors and levels

水平	因素		
	水玻璃(A)/%	聚丙烯纤维(B)/%	膨胀剂(C)/%
1	0.1	0.1	0
2	0.2	0.3	0.2
3	0.3	0.5	0.4

1.2.2 试样制备 将砂和水泥依次加入砂浆搅拌机,先低速干拌 60 s,再换至高速搅拌,同时将掺有缓凝剂的水边搅拌边缓慢倒入,搅拌 90 s。试样分两层装入试模,每层人工振捣 25 次。

抗压强度和劈裂抗拉强度试件尺寸均采用 70.7 mm \times 70.7 mm \times 70.7 mm 的立方体试件,养护 24 h 后脱模,测试 1 d 的抗压强度,然后将其余试样放入标准养护室(温度为(20 \pm 2) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 \geq 95%)至相应的龄期。每组 3 个试块。

1.2.3 强度测试 抗压强度和劈裂抗拉强度测试龄期均为 1, 3, 28 d,采用万能试验机进行测试。

劈裂抗拉试验用木垫条尺寸(长 \times 宽 \times 高)为 70.7 mm \times 20 mm \times 3.6 mm。

2 结果与分析

$L_9(3^4)$ 正交表及砂浆试验结果如表 3 所示。其中,“0”号试样是不添加任何改性材料的基准配比试样,“1~9”号试样是正交试验设计试样。

表 3 正交试验设计及强度测试结果

Tab. 3 Orthogonal experimental design and strength test results

试样编号	A	B	C	抗压强度/MPa			劈裂抗拉强度/MPa		
				1 d	3 d	28 d	1 d	3 d	28 d
				0	0	0	0	28.83	35.45
1	1	1	1	27.48	27.64	36.23	3.65	4.39	4.56
2	1	2	2	27.26	35.01	39.02	2.82	4.02	4.96
3	1	3	3	23.73	24.00	27.24	3.98	4.09	4.30
4	2	1	2	24.05	28.74	40.02	3.73	4.30	4.41
5	2	2	3	28.22	29.97	36.69	3.08	4.07	4.09
6	2	3	1	29.42	32.30	36.60	3.11	3.70	4.00
7	3	1	3	33.08	34.17	35.88	3.68	3.96	4.26
8	3	2	1	30.76	34.49	38.50	3.41	3.74	3.60
9	3	3	2	24.08	29.67	32.21	3.61	3.87	3.89

2.1 极差分析

2.1.1 抗压强度 表 4 为正交试验抗压强度极差 R 值,图 1 为各因素水平对硫铝酸盐水泥砂浆 1, 3, 28 d 抗压强度的影响。

表 4 抗压强度的极差值

Tab. 4 Range values of compressive strength

项目	1 d 抗压强度/MPa			3 d 抗压强度/MPa			28 d 抗压强度/MPa		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	R	3.15	3.00	4.09	3.89	4.50	2.10	3.61	6.05

(1)水玻璃(A 因素)对抗压强度的影响。由表 4 可知:水玻璃在 1, 3 d 抗压强度中的极差值均居于中间,即影响介于膨胀剂和 PP 纤维之间;在 28 d 抗压强度中的极差值最小,即其影响最小。由图 1 可知,随着水玻璃掺量的增大,1, 3 d 的抗压强度均呈现递增趋势,28 d 抗压强度则呈现先增大后减小的趋势,且在 A_2 水平时取得最大值。这表明水玻璃 A_3 水平对硫铝酸盐水泥砂浆早期强度有利,而对 28 d 抗压强度则有不利影响。

(2)PP 纤维(B 因素)对抗压强度的影响。由表

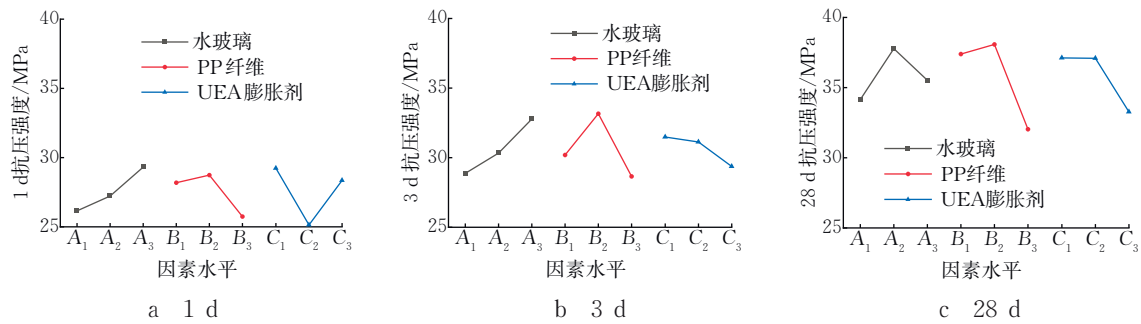


图1 各因素水平对试样1,3,28 d抗压强度的影响

Fig. 1 Influence of factor levels on compressive strength of specimens at 1, 3, and 28 days

4 可知:PP 纤维在 3,28 d 抗压强度中的极差值均最大,即其影响最大;在 1 d 抗压强度中的极差值最小,即其影响最小。由图 1 可知,随着 PP 纤维掺量的增大,1,3,28 d 的抗压强度均呈现先增大后减小的趋势,且在 B_2 掺量(0.3%)时取得最大值。

(3)膨胀剂(C 因素)对抗压强度的影响。由表 4 可知:对于 1 d 抗压强度,膨胀剂的极差值最大,即影响最大;对于 3 d 抗压强度,膨胀剂的极差值最小,即其影响最小;对于 28 d 抗压强度,其极差值居于中间,即其影响介于水玻璃和 PP 纤维之间。由图 1 可知,随着膨胀剂掺量的增大,1 d 抗压强度呈现先减小后增大的趋势,3,28 d 抗压强度均呈现逐渐减小趋势。

由图 1 可知:对于 1,3 d 抗压强度最有利的组合为 $A_3B_2C_1$,即水玻璃掺量为 0.3%、PP 纤维掺量为 0.3%、膨胀剂掺量为 0%;对 28 d 抗压强度最有利的组合为 $A_2B_2C_1$,即水玻璃掺量为 0.2%、PP 纤维掺量为 0.3%、膨胀剂掺量为 0%。较高的水玻璃掺量对砂浆的早期强度有利,而对后期强度不利;PP 纤维掺量适中(0.3%)时对砂浆的早期强度和后

期强度均有利;不添加膨胀剂对砂浆的早期强度和后期强度均有利。原因分析如下:水玻璃可快速与水泥水化产物 $Ca(OH)_2$ 反应,生成水硬性硅酸钙胶体,填充孔隙并提高浆体密实度和早期强度^[19];PP 纤维本身韧性好,当其在砂浆内部与浆体充分结合后,可显著提升砂浆内部抗剪切力,进而增强抗压强度^[20];UEA 膨胀剂的主要成分硫铝酸钙与水泥水化产物反应生成过量的钙矾石^[21-22],产生膨胀应力破坏水泥石或界面过渡区的微结构,甚至产生裂缝,降低了密实度与承载力。

2.1.2 劈裂抗拉强度 表 5 为正交试验劈裂抗拉强度极差 R 值,图 2 为各因素水平对 1,3,28 d 劈裂抗拉强度的影响。

表 5 劈裂抗拉强度的极差值

Tab. 5 Range values of splitting tensile strength

项目	1 d 劈裂抗拉强度/MPa			3 d 劈裂抗拉强度/MPa			28 d 劈裂抗拉强度/MPa		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
R	0.26	0.58	0.19	0.31	0.33	0.12	0.69	0.35	0.37

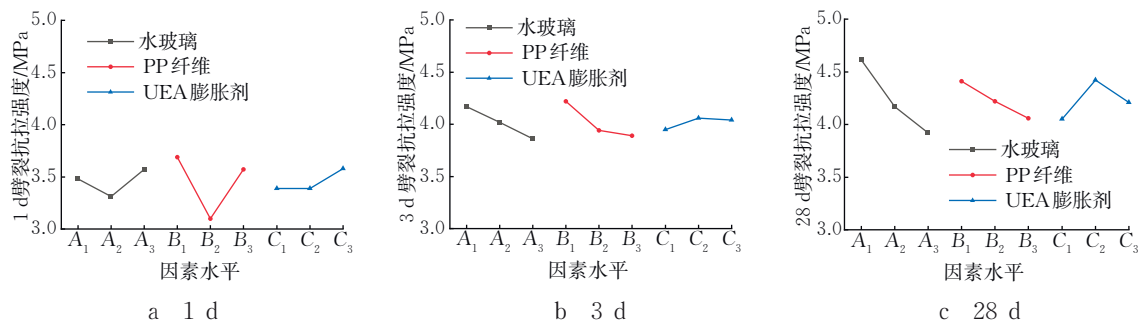


图2 各因素水平对试样1,3,28 d劈裂抗拉强度的影响

Fig. 2 Influence of factor levels on splitting tensile strength of specimens at 1, 3, and 28 days

水玻璃(A 因素)对劈裂抗拉强度的影响。由表 5 可知:对于 1,3 d 劈裂抗拉强度,水玻璃的极差值都居于中间,即其影响介于 PP 纤维和膨胀剂之间;对 28 d 劈裂抗拉强度,其极差值最大,即影响最大。由图 2 可知,随着水玻璃掺量的增大,1 d 劈裂

抗拉强度呈现先减小后增大的趋势,3,28 d 劈裂抗拉强度均呈现逐渐减小的趋势。

PP 纤维(B 因素)对劈裂抗拉强度的影响。由表 5 可知:对于 1,3 d 劈裂抗拉强度,PP 纤维的极差值都是最大的,即影响最大;而对于 28 d 劈裂抗

拉强度,其极差值最小,即影响最小。由图 2 可知:随着 PP 纤维掺量的增大,1 d 劈裂抗拉强度呈现先减小后增大的趋势,3,28 d 劈裂抗拉强度均呈现逐渐减小的趋势;1,3,28 d 劈裂抗拉强度均存在最佳掺量 $B_1(0.1\%)$ 。

膨胀剂(C 因素)对劈裂抗拉强度的影响。由表 5 可知:对于 1,3 d 劈裂抗拉强度,膨胀剂的极差值均最小,即其影响最小;对于 28 d 劈裂抗拉强度,其极差值居于中间,即影响介于 PP 纤维和水玻璃之间。由图 2 可知,膨胀剂对 1,3,28 d 劈裂抗拉强度有不同的影响。

由图 2 可知:对于 1 d 劈裂抗拉强度最有利的组合为 $A_3B_1C_3$,即水玻璃掺量为 0.3%、PP 纤维掺量为 0.1%、膨胀剂掺量为 0.4%;对于 3,28 d 劈裂抗拉强度最有利的组合为 $A_1B_1C_2$,即水玻璃掺量为 0.1%、PP 纤维掺量为 0.1%、膨胀剂掺量为 0.2%。较高的水玻璃掺量对早期劈裂抗拉强度有利,而对后期强度不利;PP 纤维掺量较小(0.1%)时对早期和后期劈裂抗拉强度均有利;添加膨胀剂对早期和后期劈裂抗拉强度均有利。原因分析如下:较大掺量水玻璃水化时可快速产生水化硅酸钙凝胶并包裹未水化的水泥颗粒,各种颗粒间的排列呈现出无序状态,致使颗粒间空隙较大,削弱了凝胶体中范德华

力、氢键等的作用,从而造成水泥砂浆后期劈裂抗拉强度降低^[23]。掺入适量纤维后,水泥砂浆中水分迁移较为困难,从而降低了毛细管失水收缩形成的张力,缓解了由张力过大而产生的开裂,增强了纤维材料与水泥基之间的界面吸附黏结力、机械咬合力等,提高了砂浆的劈裂抗拉强度^[24]。当纤维掺量较大时,纤维容易结团,从而减弱了水泥砂浆与纤维之间的黏结性能,导致砂浆的劈裂抗拉强度降低^[25]。

2.2 功效系数法分析

鉴于各因素对两项力学指标的影响存在差异,且测试指标较多,本研究采用功效系数法进行综合评价。该方法首先对各指标进行无量纲化处理,然后采用算术平均法或几何平均法计算功效系数^[26]。具体而言,先将 10 组试样 1,3,28 d 的抗压强度分别除以对应龄期的最大值,得到无量纲值 d_1, d_2, d_3 ,然后对其进行几何平均,得到功效系数 $D_c(D_c = \sqrt[3]{d_1 d_2 d_3})$ 。同理,得到试样 1,3,28 d 劈裂抗拉强度的无量纲值 d_4, d_5, d_6 以及功效系数 $D_t(D_t = \sqrt[3]{d_4 d_5 d_6})$ 。综合考虑砂浆的抗压和劈裂抗拉强度,按公式 $D_z = \sqrt{D_c D_t}$ 可得到总功效系数 D_z 。试样的抗压强度、劈裂抗拉强度的功效系数及综合力学性能的总功效系数如表 6 所示。

表 6 抗压强度、劈裂抗拉强度及综合力学性能的功效系数

Tab. 6 Efficacy coefficients of compressive strength, splitting tensile strength and comprehensive mechanical properties

编号	试样	抗压强度			劈裂抗拉强度			D_c	D_t	D_z
		$d_1(1\text{ d})$	$d_2(3\text{ d})$	$d_3(28\text{ d})$	$d_4(1\text{ d})$	$d_5(3\text{ d})$	$d_6(28\text{ d})$			
0	$A_0B_0C_0$	0.871 6	1.000 0	0.814 1	0.633 2	0.696 6	0.852 8	0.891 9	0.721 9	0.802 4
1	$A_1B_1C_1$	0.830 7	0.779 7	0.905 3	0.917 1	0.987 3	0.918 7	0.837 0	0.940 5	0.887 2
2	$A_1B_2C_2$	0.824 1	0.987 6	0.975 0	0.708 5	0.903 4	1.000 7	0.925 8	0.862 0	0.893 3
3	$A_1B_3C_3$	0.717 4	0.677 1	0.680 7	1.000 0	0.919 1	0.866 3	0.691 5	0.926 8	0.800 6
4	$A_2B_1C_2$	0.727 0	0.810 7	1.000 0	0.937 2	0.966 3	0.889 1	0.838 4	0.930 3	0.883 2
5	$A_2B_2C_3$	0.853 2	0.845 4	0.916 8	0.773 9	0.914 6	0.824 6	0.871 2	0.835 7	0.853 3
6	$A_2B_3C_1$	0.889 4	0.911 2	0.914 5	0.781 4	0.832 2	0.806 5	0.904 9	0.806 4	0.854 3
7	$A_3B_1C_3$	1.000 0	0.963 9	0.896 5	0.924 6	0.889 9	0.858 2	0.952 5	0.890 5	0.921 0
8	$A_3B_2C_1$	0.929 9	0.973 0	0.961 9	0.856 8	0.840 4	0.725 8	0.954 8	0.805 5	0.877 0
9	$A_3B_3C_2$	0.728 0	0.836 9	0.804 8	0.907 9	0.870 4	0.784 3	0.788 6	0.852 6	0.820 0

由表 6 可知:第 8 组的功效系数(D_c)最大,为 0.954 8,其相应的配合比组合为 $A_3B_2C_1$,即水玻璃掺量为 0.3%,PP 纤维掺量为 0.3%,膨胀剂掺量为 0%;第 3 组功效系数(D_c)最低,为 0.691 5,其相应的配合比组合为 $A_1B_3C_3$,即水玻璃掺量为 0.1%,聚丙烯纤维掺量为 0.5%,膨胀剂掺量为 0.4%。对比

发现,PP 纤维掺量和膨胀剂掺量较大时对抗压强度的负面影响较大。 $A_3B_2C_1$ 组相对于未改性组的 28 d 抗压强度提高了 18.2%,可以看到改性对提高硫铝酸盐水泥砂浆后期抗压强度效果明显。

由表 6 可知,第 1 组的功效系数(D_t)最大,为 0.940 5,其相应配合比组合为 $A_1B_1C_1$,即水玻璃掺

量为 0.1%,聚丙烯纤维掺量为 0.1%,膨胀剂掺量为 0%。改性后各试样的功效系数(D_1)均比未改性的 0 号试样大,表明改性对改善劈裂抗拉强度有明显的提升效果。 $A_1B_1C_1$ 组相对于未改性组的 1,3 d 劈裂抗拉强度分别提高了 44.8% 和 41.6%,可以看到,改性对提高硫铝酸盐水泥砂浆早期劈裂抗拉强度效果明显。

由表 6 可知,第 7 组总功效系数(D_z)最大,为 0.921 0,其相应的配合比组合为 $A_3B_1C_3$,即水玻璃掺量为 0.3%,PP 纤维掺量为 0.1%,膨胀剂掺量为 0.4%。 $A_3B_1C_3$ 组相对于未改性组的 1,28 d 抗压强度分别提高了 14.7% 和 10.1%,相对于未改性组的 1,3 d 劈裂抗拉强度分别提高了 46% 和 27.7%。可以看到,第 7 组砂浆的早期和后期抗压强度以及早期劈裂抗拉强度提升效果都比较明显。

3 结论

(1)聚丙烯纤维掺量是影响硫铝酸盐水泥砂浆力学性能的主要因素。当掺量为 0.3% 时,其抗压强度达到最优;当掺量为 0.1% 时,其劈裂抗拉强度达到最优。膨胀剂对硫铝酸盐水泥砂浆力学性能的影响低于聚丙烯纤维。由于硫铝酸盐水泥具有微膨胀性,不添加膨胀剂时砂浆反映出良好的抗压强度,但添加膨胀剂时其劈裂抗拉强度性能较好。水玻璃对硫铝酸盐水泥砂浆力学性能的影响低于聚丙烯纤维和膨胀剂,其作用效果随着这两个因素水平的变化而改变。

(2)综合各龄期力学性能后,最终筛选出抗压强度最佳组合为 $A_3B_2C_1$ (即水玻璃掺量为 0.3%、聚丙烯纤维掺量为 0.3%,膨胀剂掺量为 0%),与未改性组相比,28 d 抗压强度提高了 18.2%;劈裂抗拉强度的最佳组合为 $A_1B_1C_1$ (即水玻璃掺量为 0.1%,聚丙烯纤维掺量为 0.1%,膨胀剂掺量为 0%),与未改性组相比,1 d 劈裂抗拉强度提高了 44.8%。综合力学性能最优组合为 $A_3B_1C_3$ (即水玻璃掺量为 0.3%,聚丙烯纤维掺量 0.1%,膨胀剂掺量为 0.4%),与未改性组相比,28 d 抗压强度提高了 10.1%,1 d 劈裂抗拉强度提高了 46%。

参考文献:

- [1] 李庆海. 高速公路混凝土梁桥常见病害总结及成因分析[J]. 上海公路, 2020(4): 60-64.
- [2] 刘洋. 混凝土拱桥的病害分析及加固措施[J]. 交通世界, 2020(22): 97-98.
- [3] 叶丹玫, 孙振平, 郑柏存, 等. 聚合物改性水泥基修补材料的研究现状及发展措施[J]. 材料导报, 2012, 26(7): 131-135.
- [4] 何锐, 郑欣欣, 王渊, 等. 硫铝酸盐水泥性能特点与改性技术研究现状[J]. 应用化工, 2022, 51(5): 1495-1501.
- [5] Gartner E. Industrially interesting approaches to "low- CO_2 " cements [J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34(9): 1489-1498.
- [6] 廖宜顺, 桂雨, 柯福隆, 等. 温度对硫铝酸盐水泥抗压强度、电阻率与化学收缩的影响[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(3): 478-483.
- [7] Tang S W, Zhu H G, Li Z J, et al. Hydration stage identification and phase transformation of calcium sulfoaluminate cement at early age [J]. Construction and Building Materials, 2015, 75: 11-18.
- [8] 叶正茂, 李良, 孟祥谦, 等. 聚合物硫铝酸盐水泥基材料的黏结性能[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2010, 24(4): 331-334.
- [9] Xu Q, Ji T, Yang Z X, et al. Preliminary investigation of artificial reef concrete with sulfoaluminate cement, marine sand and sea water [J]. Construction and Building Materials, 2019, 211: 837-846.
- [10] 瞿霜, 季韬, 叶益龙, 等. 水泥类型对人工鱼礁混凝土耐久性的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2017(4): 1-7.
- [11] 俞静, 汪晖, 柳俊哲, 等. 胶砂经硫铝酸盐水泥砂浆修复后的性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(10): 3367-3372.
- [12] 刘泽平, 王传林, 张宇轩, 等. 海水和矿物掺合料对硫铝酸盐水泥砂浆性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(4): 1245-1255.
- [13] 叶青, 王燕芳, 石帅锋, 等. 早强型水泥基道路快速修补材料性能研究[J]. 公路, 2017, 62(8): 275-280.
- [14] 李方元, 唐新军, 胡全, 等. 硫铝酸盐水泥混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能[J]. 混凝土与水泥制品, 2012(10): 1-6.
- [15] 冯虎, 刘光辉, 毕永涛, 等. 微细钢纤维快硬高强硫铝酸盐水泥砂浆与钢筋黏结性能研究[J]. 施工技术, 2019, 48(2): 121-125.
- [16] Chen P W, Fu X L, Chung D D L. Improving the bonding between old and new concrete by adding carbon fibers to the new concrete [J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(3): 491-496.
- [17] 王振军, 何廷树. 缓凝剂作用机理及对水泥混凝土性能影响[J]. 公路, 2006(7): 149-154.
- [18] 杨建明, 钱春香, 周启兆, 等. 水玻璃对磷酸钾镁水泥性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(2): 227-233.

- [19] 程海丽, 王彩彦. 水玻璃对混凝土再生骨料的强化试验研究[J]. 新型建筑材料, 2004, 31(12): 12-14.
- [20] 李国新, 刘元鹏, 黄汝杰, 等. 缓凝剂与聚羧酸减水剂对硫铝酸盐水泥流动性和强度的影响[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(2): 386-391.
- [21] 张礼和, 谈慕华, 马一平, 等. PP纤维水泥界面黏结与抗干缩开裂性能研究[J]. 建筑材料学报, 2001, 4(1): 17-21.
- [22] 李鹏, 苗苗, 马晓杰. 膨胀剂对补偿收缩混凝土性能影响的研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(1): 167-173.
- [23] 张明龙. 水玻璃对水泥浆液硬化的影响[J]. 江西煤炭科技, 1999(2): 47-50.
- [24] 马一平, 谈慕华. 聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究(I): 抗塑性干缩开裂性能[J]. 建筑材料学报, 2000, 3(1): 48-52.
- [25] 郭璞, 李红云, 邹春霞. 混杂纤维轻骨料混凝土压拉性能及强度预测[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(3): 311-316.
- [26] 陈贤硕, 刘卫东, 秦廉, 等. 超早强快速修补砂浆早期强度的正交试验研究[J]. 混凝土, 2019(4): 121-124.

Experimental Study on the Mechanical Properties of Modified Sulphoaluminate Cement Mortar

MA Jishu, YANG Shuyan*

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To enhance the mechanical properties of sulphoaluminate cement mortar for use as a repair material, modifications were made using polypropylene (PP) fibers, water glass and UEA expansion agents. An orthogonal experimental design was employed to investigate the effects of these three factors on the compressive strength and splitting tensile strength of the modified mortar. The results show that polypropylene fibers exert the most significant influence on both compressive and splitting tensile strengths, followed by the expansion agent, while water glass has the least impact. The optimal mix for comprehensive mechanical performance is $A_3B_1C_3$, corresponding to 0.3% water glass, 0.1% polypropylene fibers and 0.4% expansion agent. This optimal mix result in a 10.1% increase in the 28-day compressive strength and a 46% increase in the 1-day splitting tensile strength compared to the unmodified mortar specimens.

Keywords: sulphoaluminate cement mortar; polypropylene (PP) fibers; water glass; UEA expansion agent; orthogonal test

(责任编辑 王德平)