

# 蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用 粘结剂性能研究

徐春一<sup>1</sup>,王凯乐<sup>1</sup>,阎磊<sup>2</sup>

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 沈阳市建设工程质量监督站,辽宁 沈阳 110002)

**摘要** 目的 配置适用于蒸压加气混凝土薄灰缝砌体的新型专用粘结剂。方法 以砂浆的拉伸粘结强度、稠度及立方体抗压强度为指标,通过正交试验确定专用粘结剂的基准配合比;利用外加剂羟丙基甲基纤维素醚、可再分散乳胶粉以及引气剂对专用粘结剂基准配合比进行改性,最终确定新型专用粘结剂的最优配合比。结果 蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用粘结剂的最优配合比为  $m(\text{砂}):m(\text{水泥}):m(\text{粉煤灰}):m(\text{水}):m(\text{羟丙基甲基纤维素醚}):m(\text{可再分散乳胶粉}):m(\text{引气剂})=540:290:130:260:3:5:0.3$ ,其拉伸粘结强度为 0.58 MPa、稠度 74 mm、立方体抗压强度 14.8 MPa,均满足专用粘结剂最优配合比标准。结论 配置的蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用粘结剂在实际工程中具备优良的应用性,并且对蒸压加气混凝土砌块墙体保温隔热性能的提高效果显著。

**关键词** 蒸压加气混凝土;薄灰缝;新型专用粘结剂;配合比

中图分类号 TU528.2

文献标志码 A

## Study on Performance of New Special Mortar for Thin Mortar Joint Masonry of Autoclaved Aerated Concrete

XU Chunyi<sup>1</sup>, WANG Kaile<sup>1</sup>, YAN Lei<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Shenyang Construction Engineering Quality Supervision Station, Shenyang, China, 110002)

**Abstract:** Equipped with new special mortar suitable for thin mortar joint masonry of autoclaved aerated concrete. Taking the tensile bond strength, consistency and cube compressive strength of mortar as indexes, the benchmark mix proportion of special mortar was determined by orthogonal test. The benchmark mix proportion of special mortar was modified by using the admixtures of hydroxypropyl methylcellulose, redispersion emulsoid powder and air entraining agent, and finally determine the optimal mix proportion of new special mortar. The optimal mix proportion of new

收稿日期:2021-01-21

基金项目:国家自然科学基金项目(51808353);辽宁省教育厅服务地方项目(Infw201905);沈阳建筑大学科研创新培育计划项目(CXPY2017022)

作者简介:徐春一(1983—),女,副教授,博士,主要从事现代砌体结构方面研究。

special mortar for thin mortar joint masonry of autoclaved aerated concrete is:  $m(\text{sand}):m(\text{cement}):m(\text{fly ash}):m(\text{water}):m(\text{hydroxypropyl methylcellulose}):m(\text{redispersion emulsoid powder}):m(\text{air entraining agent})=540:290:130:260:3:5:0.3$ , the tensile bond strength of 0.58 MPa, consistency 74 mm, cube compressive strength 14.8 MPa, all meet the the standard of optimum mix proportion of special mortar. The new special mortar for the thin mortar joint masonry of autoclaved aerated concrete has excellent application in practical engineering, and has remarkable effect on improving the thermal insulation performance of the wall of autoclaved aerated concrete block.

**Key words:** autoclaved aerated concrete; thin mortar joint; new special mortar; mix proportion

随着建筑节能要求的提高,对于墙体节能的要求也在不断提高,蒸压加气混凝土砌块具有保温节能的特点,主要用作框架结构的填充墙体。但由于砂浆的导热系数较大,较厚的砂浆层不利于节能保温,因此对砌筑厚度为3~5 mm的蒸压加气混凝土薄灰缝砂浆亟须进一步探究。

目前关于蒸压加气混凝土普通灰缝厚度专用砂浆的研究已取得一定进展,霍利强等<sup>[1]</sup>以水泥、石英砂、硅灰、高效减水剂、聚丙烯纤维为原料,配制出性能远优于当时规范标准的加气混凝土专用砂浆。胡天一等<sup>[2]</sup>研究了橡胶颗粒对早强砂浆密度、工作性、强度及干缩性能的影响,得出随着橡胶颗粒掺量的增加和粒径的减小早强橡胶砂浆的密度、流动度和强度均降低,但其干燥收缩量增加。王云新等<sup>[3-9]</sup>在常见的砂浆配比基础上,通过添加外加剂对其进行改性,研制了多种适用于蒸压加气混凝土砌块的专用砂浆。国外学者 J. V. Brien 等<sup>[10-18]</sup>通过添加外加剂的方法对水泥砂浆进行了改性,获得了性能较好的专用砂浆。A. Aattache<sup>[19]</sup>通过对比高密度聚乙烯粉末改性水泥砂浆和普通水泥砂浆的力学性能和热力学性能,得出改性之后的砂浆热工性能更加优良。MA Daoxun 等<sup>[20]</sup>研究了改性砂浆的不透水性及孔结构之间的关系,得出通过提升聚灰比可以提高砂浆防水性能的结论。

现阶段我国蒸压加气混凝土砌体的灰缝厚度多为10~15 mm,灰缝厚度过大不仅降

低了墙体的热工性能,还会降低墙体强度,增加墙体自重。笔者以拉伸粘结强度、稠度及立方体抗压强度为主要性能指标,通过正交试验确定专用粘结剂的基准配合比,利用外加剂羟丙基甲基纤维素醚、可再分散乳胶粉以及引气剂对专用砂浆基准配合比进行改性,最终确定蒸压加气混凝土砌体薄灰缝新型专用粘结剂的最优配合比。

## 1 试 验

### 1.1 原料及方法

试验原材料:砂子为粒径0.2~0.6 mm,含泥小于4%的烘干砂、粉煤灰(干)、P.O 42.5级普通硅酸盐水泥、拌合水为洁净的自来水。外加剂包括:羟丙基甲基纤维素醚(20万黏度)、可再分散乳胶粉、引气剂。

笔者首先以砂子、水泥、粉煤灰、水为正交因素,通过正交试验确定专用粘结剂的基准配合比,然后以羟丙基甲基纤维素醚、可再分散乳胶粉、引气剂为正交因素进行正交试验,进而确定最佳外加剂配合比。

砂浆拉伸粘结强度参照《蒸压加气混凝土墙体专用砂浆》(JC/T 890—2017)中拉伸粘结强度试验方法进行试验<sup>[21]</sup>。试验仪器为粘结强度检测仪,蒸压加气混凝土试件长宽高为600 mm×240 mm×150 mm,每个试件设置6个砂浆粘结面,试验装置如图1(a)所示。砂浆稠度和立方体抗压强度参照《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)中试验方法进行试验<sup>[22]</sup>。检测

砂浆稠度所用试验仪器为砂浆稠度仪,每个砂浆配比做两次稠度测试,取两次测试结果的算术平均值,专用砂浆稠度检测实验装置如图1(b)所示。立方体抗压强度试验所用

试验仪器为压力试验机,试件长宽高为70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm,压力试验机加载速度为0.25 ~ 1.5 kN/s,立方体抗压强度试验如装置图1(c)所示。

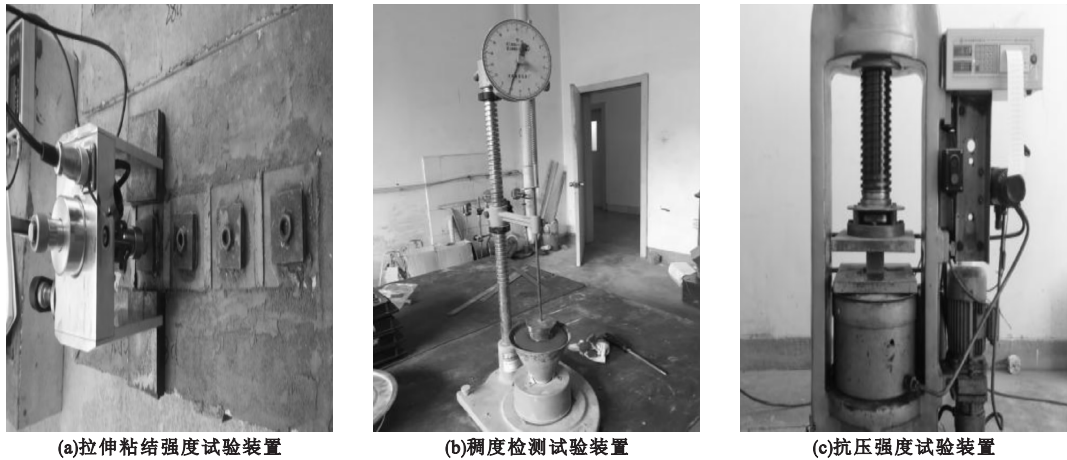


图1 试验装置

Fig. 1 Test apparatus

1.2 专用粘结剂基准配合比设计

在满足砂浆稠度及立方体抗压强度要求的前提下,为获得最佳的粘结强度并考虑相应的经济效益及工程实际需要,以砂子、水泥、粉煤灰、水为正交因素进行配比设计,每个因素选取三个正交水平,原材料正交试验因素及试验基准配比设计如表1所示。

表1 原材料正交试验因素及基准配比设计表  
Table 1 Raw material orthogonal experiment factors and benchmark proportioning design table kg

组数	m(砂子)	m(水泥)	m(粉煤灰)	m(水)
1	500	300	120	240
2	500	270	160	250
3	500	240	200	260
4	540	300	160	260
5	540	270	200	240
6	540	240	120	250
7	580	300	200	250
8	580	270	120	260
9	580	240	160	240

1.3 最优外加剂配比设计

薄灰缝砂浆最重要的性能就是粘结强度。

羟丙基甲基纤维素醚可以提高砂浆的和易性;可再分散乳胶粉除了能够提高砂浆的和易性外,还能够增强砂浆的粘结强度;引气剂可以提高砂浆的绝热性。故选取羟丙基甲基纤维素醚、可再分散乳胶粉、引气剂三种聚合材料作为外加剂,对正交试验获得的基准配合比做改性处理,用砂子、水泥及粉煤灰总质量的百分比来表示三种外加剂的掺量,每种外加剂选取三个正交水平,通过正交试验获得最佳外加剂配比,试验方案设计如表2所示。

表2 外加剂正交试验因素及配比设计表  
Table 2 Admixture orthogonal experiment factors and proportioning design table %

组数	$\varphi$ (羟丙基甲基纤维)	$\varphi$ (可再分散乳胶)	$\varphi$ (引气剂)
1	0.1	0.2	0.01
2	0.1	0.5	0.03
3	0.1	0.8	0.05
4	0.3	0.2	0.03
5	0.3	0.5	0.05
6	0.3	0.8	0.01
7	0.5	0.2	0.05
8	0.5	0.5	0.01
9	0.5	0.8	0.03

2 结果与分析

以砂浆拉伸粘结强度、稠度及立方体抗压强度为指标。拉伸粘结强度及立方体抗压强度选取 14 d 和 28 d 两个龄期,最终以砂浆稠度在 70 ~ 80 mm、粘结强度  $\geq 0.4$  MPa 及立方体抗压强度  $\geq 10.0$  MPa 作为专用粘结剂最优配合比标准。

2.1 基准配合比试验结果

专用粘结剂基准配合比正交试验中砂浆拉伸粘结强度、稠度及立方体抗压强度的试验结果见表 3。

表 3 专用粘结剂基准配合比正交试验结果

Table 3 Orthogonal test results of special mortar benchmark mix proportioning

组数	稠度/mm	拉伸粘结		抗压强度/	
		强度/MPa		MPa	
		14 d	28 d	14 d	28 d
1	75	0.36	0.41	11.5	13.1
2	82	0.30	0.36	7.9	9.5
3	99	0.24	0.28	6.2	8.3
4	86	0.33	0.35	12.4	13.4
5	72	0.28	0.39	7.6	10.1
6	80	0.32	0.34	10.4	12.4
7	60	0.22	0.28	9.0	10.8
8	82	0.35	0.39	11.3	12.3
9	65	0.31	0.35	7.4	8.7

2.1.1 砂浆拉伸粘结强度分析

砂浆拉伸粘结强度取 14 d 和 28 d 两个龄期,拉伸粘结强度随各因素变化曲线如图 2 所示。由图 2 分析可知,14 d 龄期和 28 d 龄期下各因素对拉伸粘结强度的影响由大到小依次为粉煤灰、水、水泥、砂子。随粉煤灰用量的增加粘结强度降低;随用水量水的增加粘结强度先降低后提高;随砂子和水泥用量的增加粘结强度先提高后降低。此外,各因素 28 d 龄期的粘结强度相比 14 d 龄期的粘结强度均有所提高。因此,就砂浆拉伸粘结强度而言, $m$  (砂子): $m$  (水泥): $m$  (粉煤灰): $m$  (水)的最优配比 A1 为 540:270:120:240。

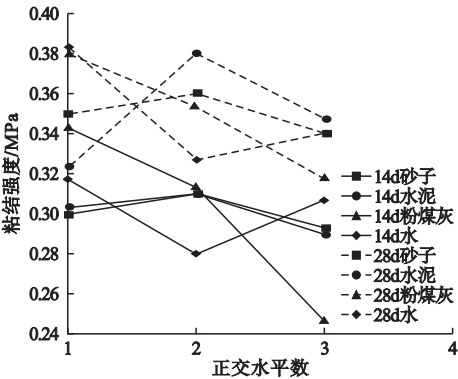


图 2 粘结强度随各原材料掺量变化曲线

Fig. 2 The curves of bond strength changing with the content of raw material

2.1.2 砂浆稠度分析

砂浆稠度随各因素的变化曲线如图 3 所示。由图 3 分析可知,各因素对稠度的影响由大到小依次为水、砂子、水泥、粉煤灰。随水用量的增加稠度提高;随砂子、水泥和粉煤灰用量的增加稠度降低,砂子对稠度降低的幅度最大,其次是水泥和粉煤灰。就砂浆稠度而言, $m$  (砂子): $m$  (水泥): $m$  (粉煤灰): $m$  (水)的最优配比 A2 为 540:270:160:250。

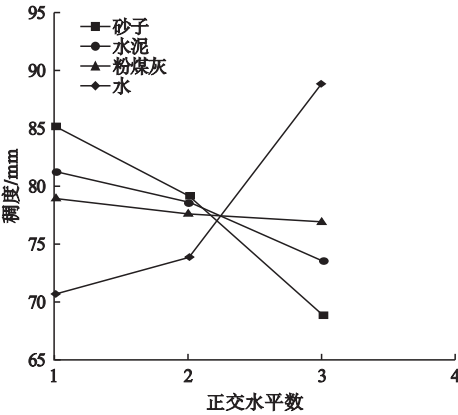


图 3 稠度随各原材料掺量变化曲线

Fig. 3 The curves of consistency changing with the content of raw material

2.1.3 砂浆立方体抗压强度分析

立方体抗压强度取 14 d 和 28 d 两个龄期,强度随各因素的变化曲线如图 4 所示。由图 4 分析可知,14 d 龄期和 28 d 龄期下各因素对立方体抗压强度的影响由大到小依次为粉煤灰、水泥、砂子、水。随粉煤灰用量的



增加立方体抗压强度降低;随水泥用量的增加立方体抗压强度提高;随砂子用量的增加立方体抗压强度先提高后降低;随用水量水的增加立方体抗压强度有所提高,但提高幅度不大。此外,各因素 28 d 龄期立方体抗压强度相比 14 d 龄期立方体抗压强度均有所提高。就立方体抗压强度而言, $m$  (砂子): $m$  (水泥): $m$  (粉煤灰): $m$  (水)的最优配比 A3 为 540:300:120:260。

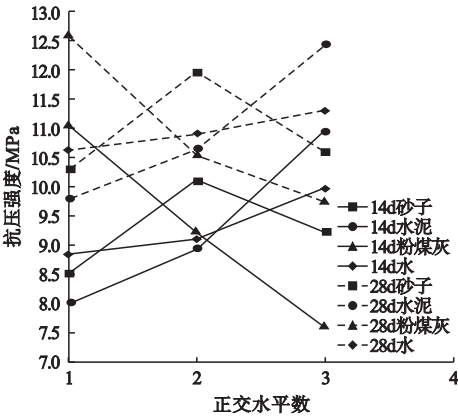


图 4 立方体抗压强度随各原材料掺量变化曲线

Fig. 4 The curves of cube compressive strength changing with the content of raw material

对分别根据砂浆拉伸粘结强度、稠度、立方体抗压强度得到的三个最优配比 A1、A2、A3 再次进行配比试验,测试 28 d 龄期的砂浆拉伸粘结强度、稠度和立方体抗压强度。砂浆拉伸粘结强度根据《蒸压加气混凝土墙体专用砂浆》(JC/T 890—2017)中拉伸粘结强度试验方法进行试验<sup>[21]</sup>,砂浆稠度和立方体抗压强度根据《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)中试验方法进行试验<sup>[22]</sup>,最优原材料配比测试结果见表 4 所示。

由表 4 分析可知,配比 A3 的稠度和立方体抗压强度最大,配比 A1 的粘结强度最大。根据专用粘结剂最优配合比标准,选取配比 A1: $m$  (砂子): $m$  (水泥): $m$  (粉煤灰): $m$  (水)=540:270:120:240 为原材料最优配比,即每吨砂浆料中原材料用量  $m$  (砂子): $m$  (水泥): $m$  (粉煤灰): $m$  (水)=580:290:130:260

为专用粘结剂的基准配合比。

表 4 最优原材料配比测试结果

Table 4 Test results of optimal raw material proportioning

配比	粘结强度/MPa	稠度/mm	立方体抗压强度/MPa
A1	0.42	72	13.2
A2	0.35	76	13.2
A3	0.38	83	14.0

2.2 外加剂最优配合比试验

最优外加剂配合比正交试验中,砂浆拉伸粘结强度、稠度及立方体抗压强度的试验结果见表 5。

表 5 最优外加剂配合比正交试验结果

Table 5 Orthogonal test results of of optimal admixtures mix proportioning

组数	稠度/mm	拉伸粘结强度/MPa		抗压强度/MPa	
		14 d	28 d	14 d	28 d
1	78	0.42	0.49	13.4	14.2
2	86	0.51	0.57	13.0	13.9
3	92	0.53	0.57	12.8	13.6
4	65	0.48	0.54	13.8	14.4
5	72	0.49	0.55	13.5	14.3
6	69	0.54	0.58	14.3	14.8
7	58	0.47	0.52	13.9	14.6
8	54	0.51	0.57	14.6	15.1
9	60	0.57	0.61	14.4	15.0

2.2.1 砂浆拉伸粘结强度分析

砂浆拉伸粘结强度取 14 d 和 28 d 两个龄期,拉伸粘结强度随各外加剂变化曲线如图 5 所示。由图 5 分析可知,14 d 龄期和 28 d 龄期下各外加剂对拉伸粘结强度的影响由大到小依次为可再分散乳胶粉、引气剂、羟丙基甲基纤维素醚。随羟丙基甲基纤维素醚和可再分散乳胶粉用量的增加粘结强度提高,可再分散乳胶粉对粘结强度提高的幅度大于羟丙基甲基纤维素醚对粘结强度提高的幅度;随引气剂用量的增加粘结强度先提高后降低。此外,各外加剂 28 d 龄期的粘结强度相比 14 d 龄期的粘结强度均有所提高。

就砂浆拉伸粘结强度而言, $\varphi$ (羟丙基甲基纤维素醚): $\varphi$ (可再分散乳胶粉): $\varphi$ (引气剂)的最优配比 B1 为 0.3:0.5:0.03。

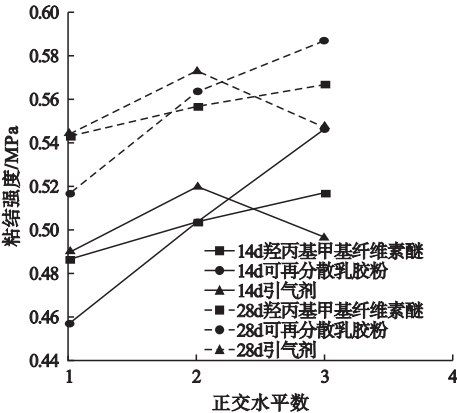


图5 粘结强度随外加剂掺量变化曲线

Fig. 5 The curves of bond strength changing with the content of admixture

2.2.2 砂浆稠度分析

砂浆稠度随各外加剂掺量变化曲线如图 6 所示。由图 6 分析可知,各外加剂对稠度的影响由大到小依次为羟丙基甲基纤维素醚、引气剂、可再分散乳胶粉。随羟丙基甲基纤维素醚用量的增加稠度降低;随引气剂和可再分散乳胶粉用量的增加稠度提高。就砂浆拉伸粘结强度而言, $\varphi$ (羟丙基甲基纤维素醚): $\varphi$ (可再分散乳胶粉): $\varphi$ (引气剂)的最优配比 B2 为 0.3:0.5:0.03。

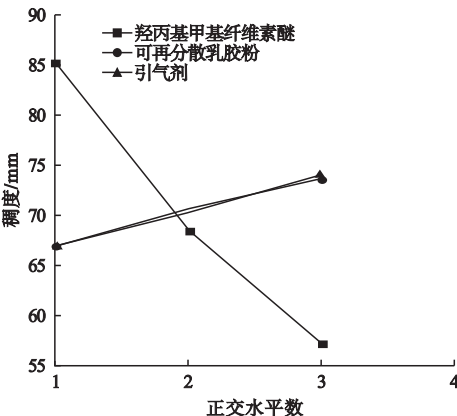


图6 稠度随外加剂掺量变化曲线

Fig. 6 The curves of consistency changing with the content of admixture

2.2.3 砂浆立方体抗压强度分析

立方体抗压强度取 14 d 和 28 d 两个龄期,强度随各外加剂掺量变化曲线如图 7 所示。由图 7 分析可知,14 d 龄期和 28 d 龄期下各因素对立方体抗压强度的影响由大到小依次为羟丙基甲基纤维素醚、引气剂、可再分散乳胶粉。随羟丙基甲基纤维素醚和可再分散乳胶粉用量的增加立方体抗压强度提高,羟丙基甲基纤维素醚对立方体抗压强度提高的效果较显著,可再分散乳胶粉对立方体抗压强度的提高影响较小;随引气剂用量的增加立方体抗压强度降低。此外,各外加剂 28 d 龄期下立方体抗压强度相比 14 d 龄期下立方体抗压强度均有所提高。就立方体抗压强度而言, $\varphi$ (羟丙基甲基纤维素醚): $\varphi$ (可再分散乳胶粉): $\varphi$ (引气剂)的最优配比 B3 为 0.5:0.8:0.01。

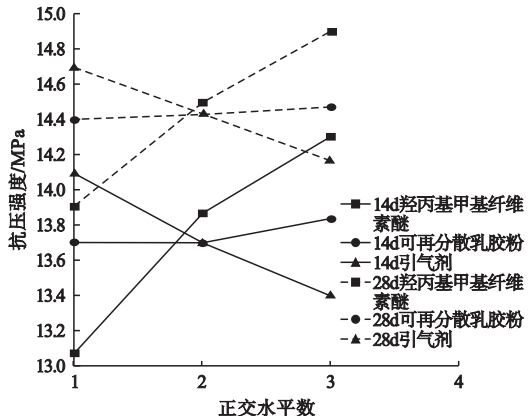


图7 立方体抗压强度随外加剂掺量变化曲线

Fig. 7 The curves of cube compressive strength changing with the content of admixture

对分别根据砂浆拉伸粘结强度、稠度、立方体抗压强度得到的三个最优配比 B1、B2、B3 再次进行配比实验,测试 28 d 龄期的砂浆拉伸粘结强度、稠度和立方体抗压强度。砂浆拉伸粘结强度根据《蒸压加气混凝土墙体专用砂浆》(JC/T 890—2017)中拉伸粘结强度试验方法进行试验<sup>[21]</sup>,砂浆稠度和立方体抗压强度根据《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)中试验方法进行

试验<sup>[22]</sup>,最优外加剂配比测试结果见表 6。

表 6 最优外加剂配比测试结果

Table 6 Test results of optimum admixture proportioning

配比	粘结强度/ MPa	稠度/ mm	立方体抗压强度/ MPa
B1	0.61	60	15.0
B2	0.58	74	14.8
B3	0.58	53	15.2

由表 6 分析可知,配比 B1 的粘结强度最大;配比 B2 的稠度最大;配比 B3 的立方体抗压强度最大。根据专用粘结剂最优配合比标准,选取配比 B2: $\varphi$ (羟丙基甲基纤维素醚): $\varphi$ (可再分散乳胶粉): $\varphi$ (引气剂)=0.3:0.5:0.03 为外加剂的最优配比,即每吨砂浆料中各外加剂用量, $m$ (羟丙基甲基纤维素醚): $m$ (可再分散乳胶粉): $m$ (引气剂)=3:5:0.3 为专用粘结剂最优外加剂配合比。

综合以上试验研究,蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用粘结剂的最优配合比为  $m$ (砂): $m$ (水泥): $m$ (粉煤灰): $m$ (水): $m$ (羟丙基甲基纤维素醚): $m$ (可再分散乳胶粉): $m$ (引气剂)=540:290:130:260:3:5:0.3。与《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)规定的拉伸粘结强度 $\geq 0.4$  MPa、稠度 70 ~ 80 mm、立方体抗压强度 $\geq 10$  MPa 相比,该新型专用粘结剂的拉伸粘结强度为 0.58 MPa,稠度为 74 mm,立方体抗压强度为 14.8 MPa,均满足规范要求,且粘结强度明显大于规范要求,所以笔者配置的蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用粘结剂在实际工程中具备优良的应用性。

3 结 论

(1)专用粘结剂拉伸粘结强度主要受粉煤灰用量影响,随粉煤灰用量增加专用粘结剂粘结强度降低;粘结剂稠度主要受水用量影响,随水用量增加专用粘结剂稠度提高;专

用粘结剂立方体抗压强度主要受水泥和粉煤灰用量影响,随水泥用量增加专用粘结剂立方体抗压强度提高,随粉煤灰用量增加专用粘结剂立方体抗压强度降低。

(2)专用粘结剂拉伸粘结强度主要受可再分散乳胶粉用量影响,随可再分散乳胶粉用量增加专用粘结剂拉伸粘结强度提高;专用粘结剂稠度和立方体抗压强度主要受羟丙基甲基纤维素醚用量影响,随羟丙基甲基纤维素醚用量增加专用粘结剂稠度降低、立方体抗压强度提高。

(3)配置的蒸压加气混凝土薄灰缝砌体新型专用粘结剂在实际工程中具有优良的实用性,对蒸压加气混凝土砌块墙体保温隔热性能的提高效果显著,在实际工程中具有良好的应用前景。

参考文献

[1] 霍利强,宋连足,章荣会. 高强耐磨砂浆的研制与应用[J]. 市政技术,2010,28(6):141-144.  
(HUO Liqiang, SONG Lianzu, ZHANG Ronghui. Study and application of high strength wearproof mortar[J]. Municipal technology, 2010,28(6):141-144.)

[2] 胡天一,王凯,许孝滨,等. 橡胶颗粒掺量和粒径对早强砂浆性能的影响研究[J]. 四川建筑科学研究,2020,46(3):73-78.  
(HU Tianyi, WANG Kai, XU Xiaobin, et al. Study on the corrosion resistance of concrete structure under the compound corrosion environment of strong acid salt and chloride salt[J]. Sichuan building science, 2020, 46(3):141-144.)

[3] 王云新. 加气混凝土配套砂浆性能研究[J]. 福建建设科技,2013(2):44-46.  
(WANG Yunxin. Study on properties of the specific supplementary mortar for autoclaved aerated concrete wall[J]. Fujian construction science and technology, 2013(2):44-46.)

[4] 缪正坤,王智勇,庞海燕. 加气混凝土专用抗裂抹面砂浆的研制[J]. 四川建材,2014,40(6):1-2.  
(MIAO Zhengkun, WANG Zhiyong, PANG Haiyan. Development of aerated concrete cracking plaster mortar[J]. Sichuan building materials, 2014,40(6):1-2.)

[5] 滕玉明. 蒸压加气混凝土砌块砌体基本力学性能研究[D]. 石河子:石河子大学,2015.  
(TENG Yuming. Autoclaved aerated concrete block masonry basic mechanical properties research [D]. Shihezi:Shihezi University,2015.)

- [6] 李悦,李战国,秦宪明,等.憎水剂对加气混凝土强度及吸水性能的影响[J].中国科技论文,2016,11(1):49-52.  
(LI Yue, LI Zhanguo, QIN Xianming, et al. The effect of water repellent on the strength and hydration capability of aerated concrete [J]. China science paper, 2016, 11(1): 49-52)
- [7] 张巨松,杨秋雨,董建国.粉煤灰加气混凝土复掺外加剂和矿渣的性能研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2017,33(3):483-489.  
(ZHANG Jusong, YANG Qiuyu, DONG Jianguo. Study on performance of fly ash aerated concrete mixed with various additives and slag [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2017, 33(3): 483-489.)
- [8] 侯云芬,刘锦涛,赵思儒,等.铁尾矿粉对水泥砂浆性能的影响及机理分析[J].应用基础与工程科学学报,2019,27(5):1149-1157.  
(HOU Yunfen, LIU Jintao, ZHAO Siru, et al. Effect mechanism of iron tailing powder on cement mortar properties [J]. Journal of basic science and engineering, 2019, 27(5): 1149-1157.)
- [9] 朱涵,姜金龙,姜雯丽霞,等.钢纤维对聚氨酯砂浆力学性能及弯曲韧性的影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2021,37(1):95-103.  
(ZHU Han, JIANG Jinlong, JIANG Wenlixia, et al. Effect of steel fiber on mechanical properties and flexural toughness of polyurethane mortar [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2021, 37(1): 95-103.)
- [10] BRIEN J V, MAHBOUB K C. Influence of polymer type on adhesion performance of a blended cement mortar [J]. International journal of adhesion and adhesives, 2013, 43: 1-10.
- [11] FAYALA L I, DHOUIBI X R, NÓVOA M, et al. Effect of inhibitors on the corrosion of galvanized steel and on mortar properties [J]. Cement and concrete composites, 2013, 35(1): 181-189.
- [12] HORGNIÉS M, GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ S, RODRÍGUEZ A, et al. Effects of the use of polyamide powder wastes on the microstructure and macroscopic properties of masonry mortars [J]. Cement and concrete composites, 2014, 52: 64-72.
- [13] GOVIN A, BARTHOLIN M C, BIASOTTI B, et al. Modification of water retention and rheological properties of fresh state cement-based mortars by guar gum derivatives [J]. Construction and building materials, 2016, 122: 722-780.
- [14] OLIVIA M, JINGGA H, TONI N, et al. Biopolymers to improve physical properties and leaching characteristics of mortar and concrete: A review [J]. IOP conference series: materials science and engineering, 2018, 345(1): 12-28.
- [15] KHOTBEHSARA M M, MIYANDEHI B M, NASERI F, et al. Effect of  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , and  $\text{CaCO}_3$  nanoparticles on water transport and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash: experimental observations and ANFIS predictions [J]. Construction and building materials, 2018, 158: 823-834.
- [16] HAMZA OUI R, BOUCHENAF O, MAAOUIA O B, et al. Introduction of milled kaolinite obtained by mechanosynthesis to cement mixture for the production of mortar: study of mechanical performance of modified mortar [J]. Powder technology, 2019, 355: 340-348.
- [17] UKASZK L, IZABELA K, AGNIESZKA S, et al. Lignin-based hybrid admixtures and their role in cement composite fabrication [J]. Molecules, 2019, 24(19): 35-44.
- [18] SUHAINI N A M, ALI N, HAMID N A A, et al. Performance of modified epoxy mortar using composite cement containing ground granulated blast furnace slag (GGBS) [J]. IOP conference series: materials science and engineering, 2020, 991(1): 21-35.
- [19] AATTACHE A, MAHI A, SOLTANI R, et al. Experimental study on thermo-mechanical properties of polymer modified mortar [J]. Materials and design, 2013, 52: 459-469.
- [20] MA Daoxun, LIU Yan, LAI Yong. The influence of pore structure on the waterproof performance of polymer modified mortar [J]. Applied mechanics and materials, 2014, 33(9): 1130-1134.
- [21] 中华人民共和国建材工业部. 蒸压加气混凝土墙体专用砂浆: JC/T 890—2017 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2017.  
(Ministry of Building Materials Industry of the PRC. Special mortar for autoclaved aerated concrete walls: JC/T 890—2017 [S]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2017.)
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑砂浆基本性能试验方法标准: JGJ/T 70—2009 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
(Ministry of Construction of the PRC. Standard for test method of basic properties of construction mortar: JGJ/T 70—2009 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.)

(责任编辑:杨永生 英文审校:刘永军)