

机制生土砖砌筑砂浆配方及粘结性能试验研究

仲继清¹, 王毅红¹, 石以霞², 刘奇佺¹, 石 丹¹

(1. 长安大学建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 山东英才学院建筑工程学院 山东 济南 250104)

摘要:为解决新型绿色建材-机制生土砖的粘结问题,研究专用砂浆配方,分析砂浆掺料性能和掺量比例,提出测试砂浆与生土砖粘结性能的试验方法。配制了 4 种砂浆,对其 7 d、14 d 和 28 d 龄期共 72 个试件进行拉伸粘结试验,研究砂浆对生土砖粘结的有效性和不同配方砂浆对试件破坏形态、粘结性能的影响,对比不同龄期拉伸粘结强度平均值的变化规律。试验结果表明:复掺 0.16% 纤维素醚和 1.6% 胶粉的砂浆 28 d 拉伸粘结强度平均值最高,可达到 0.77 MPa,破坏在生土砖内靠近粘结面约 3~5 mm,满足机制生土砖的粘结要求,可作为机制生土砖砌筑砂浆。

关键词:机制生土砖;砂浆配方;粘结性能;试验方法

中图分类号: TU361; TU502

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)01-0036-06

Experimental study on formula and bond behavior of mortar which is suitable for the mechanical pressing raw-soil brick

ZHONG Jiqing¹, WANG Yihong¹, SHI Yixia², LIU Qiji¹, SHI Dan¹

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2. School of Civil Engineering, ShanDong YingCai University, Jinan 250104, China)

Abstract: In order to solve the problems of bond behavior in the new green building material, i. e. mechanical pressing raw-soil brick, the formula of special mortar was studied, the performance and ratio of admixture were analyzed. The experimental testing method of bond behavior between mortar and mechanical pressing raw-soil brick were presented. Four different mortar were prepared, the tensile bond test of 72 specimens under 7 d, 14 d and 28 d were carried out. Effectiveness of mortar was studied, influence on failure mode and bond behavior of mortar kinds were researched, and meanwhile, the variation of bond strength in different ages were compared. The results show that the highest average bond strength was obtained when mixing 0.16% cellulose ether and 1.6% emulsion powder. The average value of 28 days is 0.77 MPa, the failure surface is in the mechanical pressing raw-soil brick, and the thickness of soil stuck on bond block is 3~5 mm. The bond requirement was satisfied and the mortar can be used as masonry mortar of mechanical pressing raw-soil brick.

Key words: mechanical pressing raw-soil brick; mortar formula; bond behavior; experimental method

土坯建筑作为一种传统结构形式房屋在我国西北地区乃至世界各地仍大量存在。土坯建筑具有节能环保,拆除后可回归农田等优点,从绿色建筑理念角度看,其较砖混结构更适合在广大村镇地区使用,但传统土坯建筑力学性能和耐久性较差,国内外许多学者对生土材料的改性进行了研究^[1-2],研发出一些生土材料改性方法,并用改性后的生土制备砌块,例如在传统土料中掺入一定比例的改性材料,采用 YZP200-8 压砖机制作生土砖^[3]。机制生土砖改变传统制作工艺,用机械压制代替农民手工制作,其质量、表面性状等与传统土坯和烧结普通砖存在较大差异,机制生土

砖表面坚实光滑,且具有较强的吸水性。对机制生土砖的基本力学性能已进行初步研究^[4-5],抗压、抗折试验表明机制生土砖可达到相当于混凝土砌块 MU7.5 的强度要求,说明机制生土砖较传统土坯力学性能好,可做为结构块材使用。

泥浆或砂浆作为墙体的粘结材料,其与块材之间的粘结强度对保证结构的整体性或构件的稳定性至关重要,同时墙体在承受竖向荷载时,块材之间的粘结材料是上下块材均匀传递荷载的重要路径,解决机制生土砖之间的粘结问题是这种新型绿色材料作为结构块材应用于实际工程的关键。砌筑传统土坯的泥浆力学性能和粘结性能均

较差,其强度远远小于机制生土砖的强度,不能与机制生土砖协同工作;普通砂浆作为机制生土砖砌筑砂浆时,由于机制生土砖的强吸水性,砂浆中水泥水化不完全导致砂浆强度很低,生土砖与砂浆粘结界面成为薄弱面,破坏时砂浆与机制生土砖在接触面彻底脱开,几乎无粘结性能。已有研究介绍采用水玻璃作为机制生土砖粘结剂时具有一定的粘结效果,但对施工要求较高^[4]。因此,开发一种具有较好保水性、粘结性,并能与机制生土砖协同工作的砂浆非常重要,本文旨在研制出一种可利用常规砌筑工艺施工的粘结砂浆,使机制生土砖之间可靠粘结,解决这种新型绿色建材成为砌体或墙体时的粘结问题,为新型绿色建材的应用和推广提供试验研究依据。

1 砌筑砂浆配方研究

1.1 问题分析

对于这种密实度高,质量大,表面平整光滑且具有强吸水性的机制生土砖,课题组前期尝试用强度与生土砖相当的普通砂浆作为其砌筑砂浆,但粘结失效,砂浆与生土砖完全没有粘结,接触破坏面平整光滑,同时砂浆酥脆,用刀轻刮即掉砂浆碎屑,部分砂浆块甚至用手可以剥碎,砂浆酥脆性特别明显。

破坏面平整光滑原因主要有两个方面:一是普通砂浆粘结性较差,与机制生土砖不能很好粘结;二是机制生土砖具有较强的吸水性,此时普通砂浆保水能力较差,砂浆中用于发生水化反应的水快速、大量的被生土砖吸收,导致砂浆水化不完全,不能在生土砖表面形成有一定粘结强度的水泥凝胶。因此本文所研制砂浆应具备如下性能要求:首先,砂浆应具有足够的粘结能力,可以使生土砖粘成整体;其次要求砌筑砂浆具有一定的保水性,防止砂浆中水分过快被吸走影响砂浆硬化,降低其粘结强度;再者要求砂浆具有适宜的流动性,满足重量较大的机制生土砖的铺砌要求。

1.2 掺料分析

1.2.1 纤维素醚

本文中砂浆以薄层砂浆的形式应用,考虑到机制生土砖的强吸水性,砂浆的保水性是重点关注的问题。纤维素醚(cellulose ether, CE)是目前最常见的一种水泥砂浆聚合物外加剂,具有保水、增稠、缓凝、引气等作用。以目前应用较多的羟丙基甲基纤维素(HPMC)为例,HPMC分子中羟基($-\text{OH}$)和醚键($-\text{O}-$)与水分子(H_2O)结合成氢键,使游离水变成结合水,水分子与纤维素醚

分子链间相互扩散使水分子进入纤维素醚的大分子内部,并受到较强的约束力,从而使得砂浆具有良好的保水性,保证砂浆水化反应充分进行,使砂浆能在基材表面形成有粘结强度的水泥凝胶,改善砂浆的粘结性能^[6]。

1.2.2 胶粉

机制生土砖界面处为粘结薄弱部位,当块材表面与砌筑砂浆表面性能接近且两者直接形成柔性连接时,界面的粘结性能才可得到提高。胶粉因其高粘结能力、绿色环保、无污染等优点被广泛应用于瓷砖粘结、水泥基砂浆改性等方面,胶粉具有改善砂浆粘性、抗裂性及耐久性等^[7]。胶粉可以提高砂浆的粘结性能,除与自身具有较好的粘结力有关外,还因为胶粉掺入砂浆后,胶粉中聚合物的水化产物在砂浆颗粒界面形成覆盖层,影响钙矾石和氢氧化钙的产生,也由于聚合物在砂浆孔隙中凝聚成膜,使砂浆更为致密,同时聚合物分子的活性基团与砂浆中水化产物 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 等产生反应,形成桥键作用,增强了砂浆的内聚力,从而增加砂浆的粘结性^[8]。胶粉的掺入可以提高所研制砂浆的粘结性能。

1.2.3 粉煤灰

一定掺量的粉煤灰可以改善砌筑砂浆的粘结性,主要是因为粉煤灰的火山灰效应影响,粉煤灰中活性物质硅酸铝质玻璃体与水泥熟料里的碱性成份($\text{Ca}(\text{OH})_2$)发生反应,生成具有胶凝性的产物,同时促进水泥的二次水化,改善了砂浆的粘结性能;同时粉煤灰的形态效应和微集料效应可改善砂浆的和易性,使砂浆具有较好的流动性^[9]。粉煤灰的造价相对水泥较低,将砂浆中的部分水泥用粉煤灰替代,除可改善砂浆性能,也具有一定的经济效益和环保效益。

1.3 配方比例

针对上述几种材料的特点,结合已有研究结果^[10],本文提出在普通砂浆中掺入一定量的纤维素醚或可分散性胶粉来改善砂浆的保水性和粘结性,并用一定量的粉煤灰取代砂浆中的水泥,配方具体如下:

(1)纤维素醚是羟丙基甲基纤维素(简称纤维素),经前期试验较优掺量为砂浆干料总质量的0.16%;

(2)胶粉是德国瓦克5044胶粉,胶粉掺量依据厂家推荐,为砂浆干料总质量的1.6%;

(3)粉煤灰为I级粉煤灰,粉煤灰取代水泥率为15%,超量系数1.2;

(4)水泥为陕西耀县生产的秦岭P.O.42.5R水泥;

(5) 砂子选用河砂, 堆积密度为 $1\,450\text{ kg/m}^3$, 含水率为 0.3% , 细度模数 2.32 ; 考虑试验中粘结块厚度较小, 细骨料砂子选用粒径 $0.15\sim 1.18\text{ mm}$ 及少量 $1.18\sim 2.36\text{ mm}$ (约为前者质量的 30% 左右) 的细砂。

对上述不同配方的砂浆进行试验研究, 验证所提出的配方及比例的有效性和合理性。

2 试验概况

2.1 试验设计

由于目前尚无机制生土砖与砌筑砂浆粘结试验方法, 本文参考《建筑砂浆基本性能试验方法》(JGJ/T70-2009)^[11], 提出一种机制生土砖砌筑砂浆拉伸粘结强度测试方法, 尝试用此方法获得机制生土砖砌筑砂浆的拉伸粘结强度值, 试验中以机制生土砖为基材, 垂直于粘结块截面施加拉力, 该方法传力路径明确, 能够真实反映试件在拉力作用下的粘结性能。

机制生土砖表面上的粘结块尺寸为 $40\text{ mm}\times 40\text{ mm}\times 6\text{ mm}$, 受机制生土砖数量限制, 本次试验制作 4 组共 72 个试件, 每组试件分 7、14 和 28 d 三个龄期, 每个龄期有 6 个试件, 试件分组情况见表 1, 试件在养护室内养护至相应龄期时开始试验。

表 1 砂浆配比及分组

Tab. 1 Mix proportion and group of mortar

编号	配合比 ($m_{\text{水泥}} : m_{\text{粉煤灰}} : m_{\text{砂}}$)	胶粉	纤维素醚
S1	1: 0.21: 5.88	无	无
S2	1: 0.21: 5.88	无	有
S3	1: 0.21: 5.88	有	无
S4	1: 0.21: 5.88	有	有

2.2 测试方法

机制生土砖与砂浆拉伸粘结强度试验采用 WDW3030 微控电子万能试验机(图 1)施加竖向拉力, 拉力机可自动记录竖向位移和荷载, 加载装置示意如图 2 所示。用水平尺检查生土砖的平整度, 保证竖向拉力垂直加载。预拉两次拉力杆, 确定加载速率和试验机各仪器正常工作, 最后将粘结块上夹具对准拉力杆拧紧, 采用连续加载方式, 横梁速度为 5 mm/min , 以粘结块脱离生土砖作为试验结束条件。

2.3 试验评定

试验过程中试件可能发生各种类型的破坏, 且试验数据也存在差异, 应采用统一的方法评定试验砂浆是否可行。试验中可能的破坏形式有: 砂浆粘结性弱在接触面光滑破坏; 砂浆自身强度



图 1 试验加载装置

Fig. 1 Test loading device

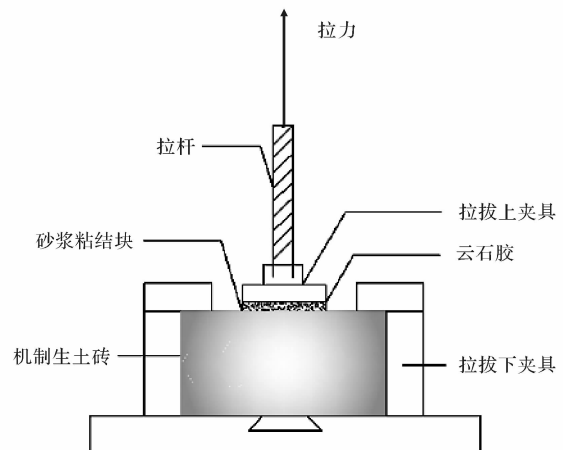


图 2 试验装置示意

Fig. 2 Test device

不足破坏在砂浆层; 砂浆具有较小的粘结力, 破坏发生在接触面, 且粘结块粘下部分土; 砂浆粘结效果好, 破坏在生土砖内。最理想的情况是破坏面离开砂浆在生土砖内, 且砂浆粘结强度足够, 本文以此作为试验砂浆成功的标志。

3 试验现象与结果分析

3.1 试验现象

不同类型砂浆粘结块破坏时的现象不同, 根据破坏现象的不同将破坏形态分为四类:

(1) I 类: 试件刚开始加载便破坏, 无明显的裂缝产生, 破坏在砂浆与生土砖的粘结面, 几乎无粘结现象(图 3(a));

(2) II 类: 试件破坏在砂浆和生土砖的粘结界面, 且粘下少量土(图 3(b));

(3) III 类: 试件在加载初期, 试件无明显现象, 随着荷载缓慢平稳的增加, 可以观察到砂浆有微裂缝产生, 裂缝出现后迅速扩展, 达到最大荷载后试件立即破坏, 破坏时粘结块被分成两部分, 上部分与上夹具粘结, 下部分与生土砖粘结, 破坏在砂浆层(图 3(c));

(4) IV 类: 试件随着荷载增加生土砖表面出现

微裂缝,破坏时荷载迅速下降,从侧面看砂浆粘结块与生土砖紧密粘结,破坏在生土砖内接近表面,且粘下厚度约3~5 mm的土(图3(d)).

3.2 结果分析

参照《建筑砂浆基本性能试验方法》^[11],试件的拉伸粘结强度按式(1)计算,取每个龄期试件的算数平均值作为拉伸粘结强度值,单个试件的强度值与平均值之差大于20%的予以剔除,取剩余数据平均值作为强度取值,结果精确至0.01 MPa,若有效数据少于4个,则此组数据无效.

$$f_{at} = F/A_z \quad (1)$$

式中: f_{at} 为单个机制生土砖与砂浆的拉伸粘结强度(MPa),精确至0.001 MPa; F 为试件破坏时的荷载(N); A_z 为粘结面积(mm²),精确至1 mm².

S1 砂浆没有粘结能力,试验过程中没有测到其荷载,没有对应的拉伸粘结强度值,将 S2、S3 和 S4 试件根据式(1)计算的拉伸粘结强度值整理,以龄期为横坐标,拉伸粘结强度为纵坐标绘制3种砂浆各个龄期强度分布点图,见图4(a)~(c);以龄期为横坐标,3种砂浆在各个龄期的拉伸粘结强度平均值为纵坐标绘制图4(d),反映不同砂浆拉伸粘结强度平均值的大小关系;同时将每个龄期试件发生各类破坏形态情况列于表2.

观察图4发现,与S1试件相比,S2、S3及S4试件均具有一定的粘结强度,但不同试件的粘结强度值存在较大差异;从表2破坏形态统计表发现不同试件不同龄期的破坏形态也不同,主要从以下几个方面对试验结果进行分析:

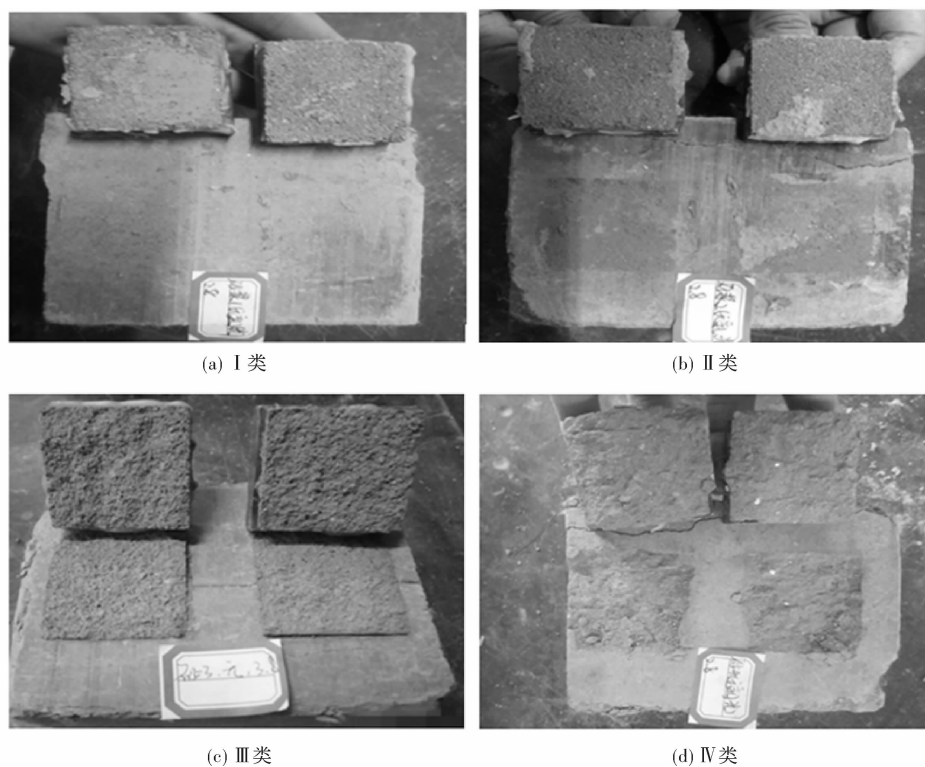


图3 试件破坏形态

Fig. 3 Failure patterns of specimens

(1) 龄期

无论是何种试件,其拉伸粘结强度均随龄期的增长而提高,同种试件7 d的拉伸粘结强度平均值最低,14 d的次之,28 d的拉伸粘结强度平均值最高,说明砂浆的拉伸粘结强度与龄期相关,图4(d)中柱状图走向趋势相近,说明三种砂浆随着龄期的拉伸粘结强度平均值增长率相近;表2中试件破坏形态随龄期也发生变化,同种试件随着龄期的增加,破坏形态向好的方向发展.产生这些差异的原因是随着龄期的延长,砂浆中水化反应越来越充分且掺料在浆体中分布更均匀,从而

使粘结能力提高.

(2) 破坏形态

由表2知,各种破坏类型的试件占不同龄期或不同类型试件总数的比例不同,下面分类说明:
I类破坏:全部S1试件、44.4%的S2和5.6%的S3试件发生此类破坏;
II类破坏:约44.4%的S2试件、27.8%的S3和S4试件发生此类破坏;
III类破坏:约5.6%的S2试件、44.4%的S3和27.8%的S4试件发生此类破坏;
IV类破坏:约5.6%的S2试件、22.2%的S3和44.4%的S4试件发生此类破坏.

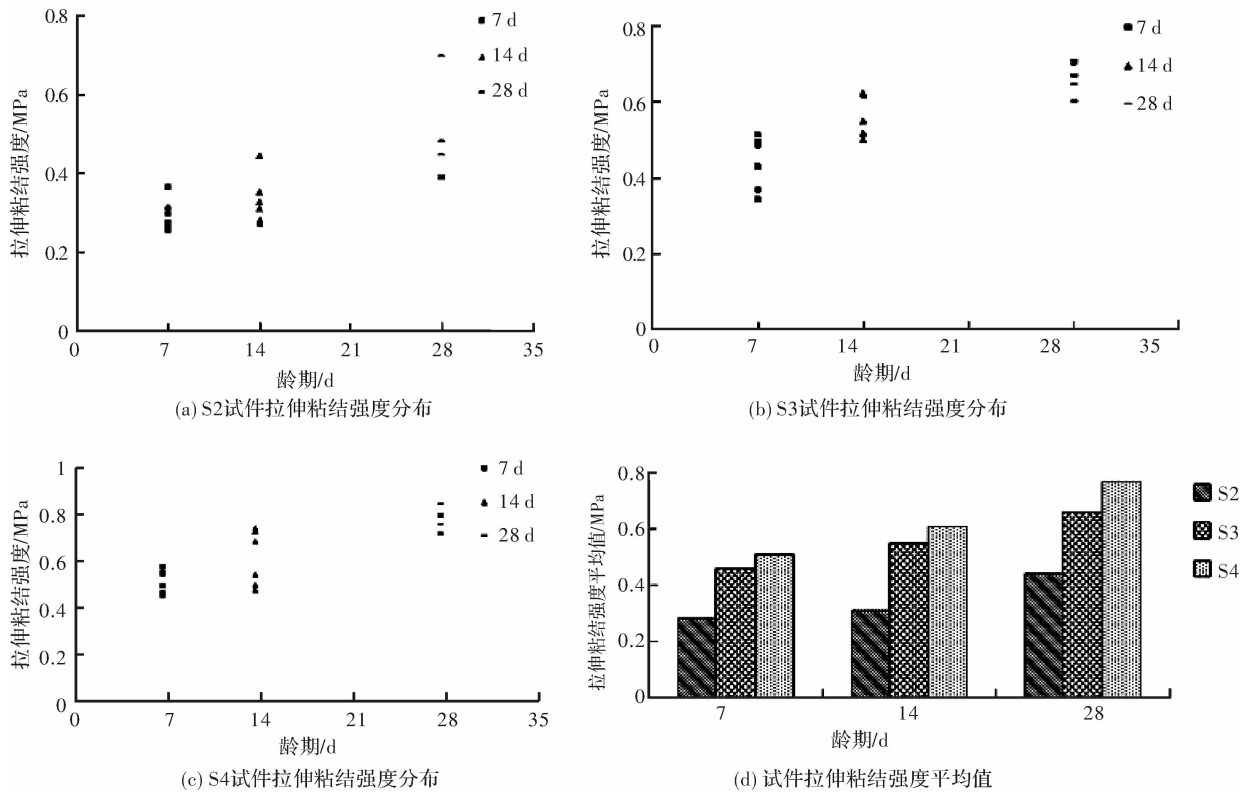


图 4 拉伸粘结强度与龄期关系

Fig. 4 Relationship of tensile adhesive strength with age

表 2 试件的破坏形态统计

Tab. 2 Statistics of Failure patterns

编号	龄期	I	II	III	IV
S1	7 d、14 d、28 d	6	0	0	0
	7 d	5	1	0	0
S2	14 d	2	4	0	0
	28 d	1	3	1	1
	7 d	1	1	4	0
S3	14 d	0	2	4	0
	28 d	0	2	0	4
	7 d	0	3	3	0
S4	14 d	0	2	2	2
	28 d	0	0	0	6

由上述各种破坏形态试件的数量或占每种试件的百分比变化可知：无论是哪种破坏形态，其发生的数量或百分比都是随砂浆类型变化呈递增或递减趋势；对于同种砂浆试件较差破坏形态试件数量减少的同时较好破坏形态试件数量增加。发生Ⅰ类破坏试件数量或百分数： $S2>S3>S4$ ；Ⅱ类破坏试件数量或百分数： $S2>S3=S4$ ；Ⅲ类破坏试件数量或百分数： $S2<S3=S4$ ；Ⅳ类破坏试件数量或百分数： $S2<S3<S4$ 。

(3) 掺料性能

对比图 4(a)、4(b)和 4(c)发现：28 d 龄期时，单掺纤维素的 S2 试件的拉伸粘结强度值点较分散，其值的离散性比 S3 和 S4 大；单掺胶粉的 S3

试件 7 d 拉伸粘结强度值离散性大，复掺纤维素和胶粉后降低了单掺胶粉早期和单掺纤维素后期试验数值的离散性。图 4(d)发现不同砂浆在相同龄期时的粘结强度大小关系为： $S4$ 试件 $>S3$ 试件 $>S2$ 试件，说明纤维素和胶粉的掺入提高了砂浆与机制生土砖的拉伸粘结强度，同时掺入两种材料对砂浆粘结强度提高效果优于单掺胶粉或单掺纤维素的砂浆。单掺纤维素的试件 S2 比单掺胶粉的试件 S3 拉伸粘结强度值低很多，单掺胶粉的试件 S3 与同时掺加胶粉和纤维素的试件 S4 拉伸粘结强度值接近，说明胶粉对砂浆的粘结能力起主要贡献；单掺纤维素试件 S2 较未掺加任何材料的 S1 试件粘结性能好，但试件 S4 的拉伸粘结强度并未比 S3 试件提高很多，说明纤维素的掺入虽然对粘结性能有影响但效果并不显著，粘结能力只是稍有提升。

综上所述，龄期和掺料类型对砌筑砂浆拉伸粘结强度影响较大，砂浆破坏形态及粘结强度值随龄期的增长及掺料类型变化较大。无论从拉伸粘结强度值还是破坏形态来看，S4 砂浆的粘结效果最好，S3 次之，S2 粘结效果最差。说明纤维素的保水作用显著，防止砂浆在硬化过程中过多的水分被机制生土砖吸收，影响界面水泥凝胶的粘结性能；胶粉的主要作用是提高砂浆的内聚力和粘结性能，胶粉和纤维素对砂浆粘结性能的提高

具有叠加效果。

4 结论

(1)本文提出4种机制生土砖粘结砂浆配方,试验研究表明当粉煤灰取代率一定时,单掺纤维素、单掺胶粉及复掺纤维素和胶粉的砂浆均具有一定的粘结能力。单掺纤维素砂浆效果不理想,单掺胶粉砂浆粘结效果较好,可用于砌筑机制生土砖,复掺纤维素和胶粉的砂浆粘结效果最好且拉伸粘结强度值离散性最低,推荐在机制生土砖中使用,其配方为 $m_{\text{水泥}}:m_{\text{粉煤灰}}:m_{\text{砂}}=1:0.21:5.88$,粉煤灰取代率15%,粉煤灰超量系数为1.2;纤维素醚、可分散性乳胶粉掺量分别为砂浆干料总量的0.16%、1.6%。

(2)本文提出一种用于测试机制生土砖与其砌筑砂浆粘结性能的试验方法,此方法简单易行,能真实反映砂浆的粘结性能,可作为机制生土砖砌筑砂浆粘结性能测试方法。

(3)单掺胶粉、复掺纤维素和胶粉的试件发生Ⅳ类破坏主要在28d龄期,建议机制生土砖与砌筑砂浆粘结性能测试时以28d作为试件标准养护龄期,施工养护时间不宜低于28d。

(4)单掺纤维素、胶粉及复掺纤维素和胶粉试件的28d拉伸粘结强度平均值分别为0.44MPa、0.66MPa和0.77MPa。单掺胶粉比单掺纤维素对粘结性能提高约50%,复掺胶粉和纤维素比单掺胶粉试件拉伸粘结强度只提高约16.7%,说明在此砂浆中胶粉是不能缺少的掺料,但复掺两种材料对拉伸粘结强度的提高有明显作用。

(5)受试件数量限制,纤维素和胶粉掺量、粉煤灰取代率、机制生土砖含水率、生土砖表面粗糙程度以及粘结面积等对砌筑砂浆粘结性的影响是后期研究的重点。

参考文献 References

- [1] 王毅红,梁捷,张项英,等.我国生土结构研究综述[J].土木工程学报,2015,48(5):98-107.
WANG Yihong, LIANG Jian, ZHANG Xiangying et al. Review of raw-soil structure in China[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(5):98-107.
- [2] 王毅红,仲继清,石以霞,等.国外生土结构研究综述[J].土木工程学报,2015,48(6):81-88.
WANG Yihong, ZHONG Jiqing, SHI Yixia et al. Review of overseas research on raw-soil structure[J].

- China Civil Engineering Journal, 2015, 48(6):81-88.
- [3] 西安建筑科技大学.生土建筑材料改性方法和利用改性后生土制备砌块的方法:CN104402350 A[P]. 2015.03.11.
Xi'an University of Architecture and Technology. Raw soil building materials modification methods and the adobe brick preparation method use modified raw soil: CN104402350 A[P]. 2015.03.11.
- [4] 宋乐帅.新型土坯砖砌体基本力学性能试验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.
SONG Leshuai. Experimental on the basic mechanical behavior of new adobe brick masonry[D]. Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.
- [5] 石以霞.改性生土砖的粘结剂配方及性能试验研究[D].西安:长安大学,2015.
SHI Yixia. Experimental Study on the binding performance of modified adobe brick and binder Formulas [D]. Xi'an:Chang'an University, 2015.
- [6] 杨元霞.甲基纤维素对新拌水泥浆体性能的影响[J].建筑材料学报,2004,7(2):32-34.
YANG Yuanxia. Influence of Methyl Cellulose on Properties of Fresh Cement Paste[J]. Journal of Building Materials, 2004, 7(2):32-34.
- [7] 彭家惠,毛靖波,张建新,等.可再分散乳胶粉对水泥砂浆的改性作用[J].硅酸盐通报,2011,30(4):915-919.
PENG Jiahui, MAO Jingbo, ZHANG Jianxin et al. Application of Redispersion Emulsoid Powder in Cement Mortar[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2011, 30(4):915-919.
- [8] OHAMA Yoshihiko. Polymer-based admixtures[J]. Cement and Concrete Composite, 1998(20):189-212.
- [9] 海龙,梁冰,戴宏锋,等.粉煤灰普通砌筑干混砂浆合理配比研究[J].安全与环境学报,2014,14(1):157-159.
HAI Long, LIANG Bing, DAI Hongfeng et al. Study on the reasonable and rational proportional mixture of dry-mixed mortar with fly ash for brick-making[J]. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(1):157-159.
- [10] 张义顺,李艳玲,徐军,等.纤维素醚对砂浆性能的影响[J].建筑材料学报,2008,11(3):359-362.
ZHANG Yishun, LI Yanling, XU Jun et al. Influence of Cellulose Ether on Mortar Performance[J]. Journal of Building Materials, 2008, 11(3):359-362.
- [11] 中华人民共和国建设部.建筑砂浆基本性能试验方法标准:JGJ/T70-2009[S].中国建筑工业出版社,2009.
Ministry of Construction of the P. R. C. Standard for test method of performance on building mortar: JGJ/T70-2009[S]. China Architecture & Building Press, 2009.

(编辑 桂智刚)