

聚合物对水泥基建筑密封砂浆性能的影响

杨钱荣, 江传德

(同济大学 材料科学与工程学院, 上海 201804)

摘要: 采用自行设计的方法研究了可再分散乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对建筑密封砂浆工作性能、抗流挂性能及力学性能的影响。结果表明: 掺加乳胶粉后, 密封砂浆挤出时间明显减少, 但抗流挂性能降低; 掺入纤维素醚后, 密封砂浆抗流挂性能得到显著改善, 但挤出时间增加, 强度明显降低; 淀粉醚与乳胶粉及纤维素醚配合使用有利于改善密封砂浆的挤出性能和抗流挂性能, 但强度有所降低。

关键词: 密封砂浆; 聚合物; 挤出性; 抗流挂性能; 力学性能

中图分类号: TU528.1

文献标志码: A

Effect of Polymer on Performance of Cement Based Building Sealing Mortar

YANG Qianrong, JIANG Chuande

(School of Materials Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The effects of redispersible emulsion powder, cellulose ether and starch ether on working performance, sag resistance and mechanical properties of building sealing mortar were studied by using the method designed by the authors. The results show that: after adding the emulsion powder to the sealing mortar, the extrusion time is remarkably reduced, but the sag resistance is reduced. After adding the cellulose ether to the sealing mortar, the sag resistance of the sealing mortar is significantly improved, but the extrusion time increases and the strength decreases obviously. The starch ether, emulsion powder and cellulose ether used in conjunction in the sealing mortar can lead to better extrusion performance and sag resistance of the sealing mortar, but the strength decreases.

Key words: sealing mortar; polymer; extrusion; sag resistance; mechanical properties

建筑密封材料是建筑工程施工中不可缺少的一类用以处理建筑物各种缝隙、进行填充并与缝隙表面很好地结合成一体, 实现缝隙密封的材料^[1]。随着经济建设的发展, 建筑密封材料的应用范围正在日益扩大, 从传统的建筑伸缩缝、板缝、门窗的密封扩展到玻璃幕墙、石材幕墙、金属屋面、机场跑道、高速公路以及给排水工程等新的应用领域^[2-3], 但同时密封材料的性能和施工技术也提出了更高的要求。目前建筑密封中常用的非定型密封材料有高分子密封材料和水泥砂浆。高分子密封材料如聚硫密封材料、硅酮密封胶和聚氨酯密封胶等具有黏结力强、变形能力好和不收缩等优点, 但同时具有不能长期耐热、高湿热环境下可能产生气泡和裂纹等缺点, 而且高成本也限制了其在建筑领域的大量使用。普通水泥砂浆价格便宜, 但存在密封黏结力差、易收缩开裂等缺点。从施工方式来看, 高分子密封材料常采用挤出法进行施工^[4], 而普通水泥密封砂浆无法采用挤出法施工, 通常采用人工填堵的方式, 施工效率较低且密封效果差, 导致渗漏现象较普遍。当前, 挤出成型技术已成功引入水泥混凝土行业, 主要用于生产高性能纤维水泥建筑材料及制品, 采用这种技术可实现复杂形状建筑制品的快速制造, 并且无需模具, 可大幅度降低生产成本^[5]。目前对可用于挤出法施工的水泥基建筑密封材料的研究还很少, 因此研制一种适合新型施工方式的建筑密封材料并对其性能开展研究, 无疑具有重要的现实意义。

本文结合传统水泥砂浆和高分子密封材料的特点, 采用聚合物对水泥砂浆进行改性, 制备了一种适合挤出法施工的新型水泥基建筑密封砂浆, 并对其性能及影响因素进行探讨。

1 原材料、测试方法及试验方案

1.1 原材料

水泥:海螺牌 P. O 42.5 级普通硅酸盐水泥;减水剂:上海花王迈地-100 萘系高效减水剂;可再分散乳胶粉:醋酸乙烯酯/乙烯共聚胶粉(FX);纤维素醚:羟丙基甲基纤维素醚(HM),黏度为 100 000 $\text{mPa} \cdot \text{s}$;淀粉醚(KH);集料:20-40 目石英砂;膨胀剂:硫铝酸盐类混凝土膨胀剂,细度(0.08 mm 筛余)9.5%,7 d 抗折/抗压强度分别为 5.8 MPa/31.5 MPa,28 d 抗折/抗压强度分别为 7.7 MPa/48.7 MPa.

1.2 试验方法

1.2.1 工作性能测试方法

密封砂浆挤出性能测试装置见图 1,由挤出装置、支架和荷载组成.挤出装置示意图见图 2.挤出装置由挤出筒体和推杆组成,采用不锈钢或铝合金制成.注射筒端部为开口倒圆锥体,注射口的直径为 d_1 ,挤出筒内径为 d_2 ,注射筒体长度为 L ,其中 d_1 为 5 mm, d_2 为 45 mm, L 为 180 mm.

将自制的挤出装置内壁用丙酮等溶剂清洗干净并干燥,用小刮刀将拌好的建筑砂浆填入装置内部,用直径为 8 mm 的小铁棒插捣 10 下,使砂浆填满挤出筒.筒口用湿抹布擦干净,密封砂浆至少距筒口 20 mm 后,在推杆密封圈上涂抹少量润滑油,插入推杆至零刻度位置,在挤出筒端部塞入直径为 5 mm 的橡皮塞防止打印砂浆流出.把挤出筒置于支架上,取出橡皮塞,将 50 N 荷载在竖直方向上压在挤出筒推杆上端部,使其在重力作用下自由下落,采用秒表记录推杆下降高度 $h_2 - h_1 = 100$ mm 所用的时间即为挤出时间.该方法也可用于测定 3D 打印建筑砂浆的工作性能^[6].

1.2.2 抗流挂性能测试方法

抗流挂性能是评价密封砂浆塑性变形的重要指标,可用下垂度来表示.测试方法如下:无气孔且光滑的槽形模具,用铁板或铝合金制成,如图 3 所示.长度(300±0.2) mm,下端开口,中间(150±0.5) mm 处设置一块同材质分割插板;槽型模具的横截面内部尺寸分别为:宽(30±0.2) mm,深(30±0.2) mm.

将下垂度模具清洗干净并擦干,平放在桌面上,将搅拌好的填缝密封材料用刮刀填入模具带封头的一侧,沿模具内表面插捣 15 下,并用直尺刮平密封

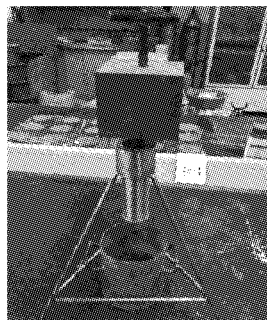


图 1 挤出时间测试装置

Fig. 1 Test device for extrusion time

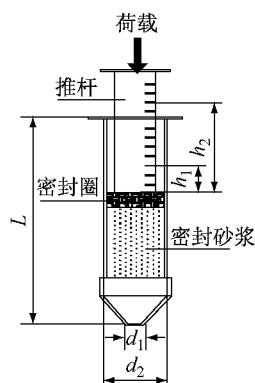


图 2 挤出装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of extrusion device

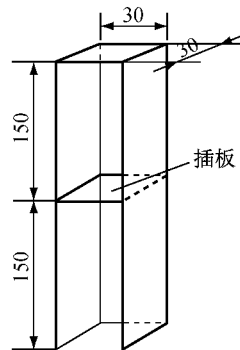


图 3 下垂度测试模具

Fig. 3 Test mold for drooping degree

材料表面.将模具垂直放置在桌面上,开口端向下,抽出分割插板,用秒表计时,测量 90 s 内密封材料浆体下垂的距离,精确到 mm.该方法也可用于测试 3D 打印建筑砂浆的塑性变形性能^[7].

1.2.3 力学性能测试方法

密封砂浆的强度试验按照《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—1999)^[8]规定进行,拉伸黏结强度测试方法参照《聚合物改性水泥砂浆试验规程》(DL/T 5126—2001)^[9]的规定进行.

1.3 试验方案

在前期研究基础上,确定了建筑密封砂浆基础配比.胶凝材料采用 P. O 42.5 普通硅酸盐水泥,膨胀剂掺量(质量比,下同)为水泥用量的 5%,水泥与集料的用量比(质量比)为 1.0 : 1.5,减水剂掺量为水泥用量的 1%,水灰比(质量比)为 0.4.

试验过程中,测试了淀粉醚用量固定(水泥用量的 0.100%,下同)且纤维素醚掺量为 0 或 0.3% 时,在乳胶粉不同掺量(0, 0.5%, 1.0% 和 2.0%)下,密封砂浆的工作性能(挤出时间)、抗流挂性能(下垂度)、力学性能(抗折、抗压强度和拉伸黏结强度);测试了乳胶粉用量固定(1.0%)且淀粉醚掺量为 0 或

0.050%时,在纤维素醚不同掺量(0,0.2%,0.3%和0.4%)下,密封砂浆的工作性能、抗流挂性能和力学性能;测试了纤维素醚用量固定(0.3%)且乳胶粉掺量为0或1.0%时,在淀粉醚不同掺量(0,0.025%,0.050%和0.100%)下,密封砂浆的工作性能、抗流挂性能和力学性能。

2 试验结果与讨论

2.1 聚合物对密封砂浆工作性能的影响

图4显示了乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆挤出时间的影响。

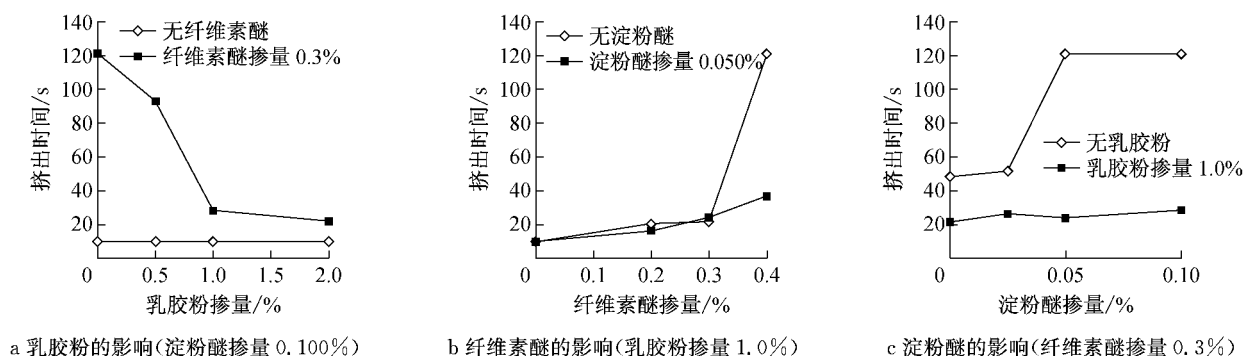


图4 聚合物对密封砂浆挤出时间的影响

Fig.4 Effect of polymer on extrusion time of sealing mortar

由图4a可以看出:在水灰比(0.4)一定的情况下,当不掺纤维素醚时,浆体流动性较大,所需挤出时间很短,掺加乳胶粉对密封砂浆的挤出性能影响不大;当掺加纤维素醚后,密封砂浆的挤出时间显著增加,但当同时掺加适量乳胶粉后密封砂浆的挤出时间又明显降低.这是由于含乳胶粉的密封砂浆加水搅拌时,聚合物颗粒自行分散,并不会同水泥黏聚.一方面,由于可再分散乳胶粉颗粒之间的润滑效应,使砂浆的组分能够单独流动;另一方面,可再分散乳胶粉对空气有诱导效应,赋予砂浆可压缩性^[10].因此,乳胶粉可以改善砂浆的施工和易性.但当乳胶粉掺量较大时,砂浆黏度提高部分抵消了乳胶粉对砂浆和易性的改善作用,表现为乳胶粉掺量大于1.0%时,挤出性能并没有明显改善.由图4b可以看出:掺加纤维素醚后密封砂浆的挤出时间增加,且随着纤维素醚掺量增加而增加;在不掺加淀粉醚的情况下,纤维素醚掺量超过0.3%时,挤出时间急剧增加,但在同时掺加淀粉醚的情况下,挤出时间增加有限.纤维素醚的长链结构决定了纤维素醚的溶液具有很高的黏度,在掺量增加的情况下,砂浆黏度提高,必然导致挤出阻力增大,当与淀粉醚配合使用时,会显示出较好的协同效果.由于纤维素醚和淀粉醚都具有很好的水溶性,它们在砂浆搅拌结束后,均匀地分布在胶凝材料、集料和搅拌气泡之间,起到分散、润滑作用,使砂浆的流动性明显提高.由图4c可见:当不掺加乳胶粉时,掺加少量淀粉醚可使挤出时间显著增加,但随淀粉醚掺量继续增加,挤出时间变

化不大;当同时掺加乳胶粉后,淀粉醚掺量对挤出时间的影响不大.由此也可以看出,在砂浆中适当加入乳胶粉,可显著改善密封砂浆的工作性能.

从图4可看到,乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆的工作性能表现出较好的协同作用,在合适的掺量下协同使用,密封砂浆可获得良好的施工性能.

2.2 聚合物对密封砂浆抗流挂性能的影响

图5显示了乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆下垂度的影响。

由图5a和b可以看出,掺加纤维素醚对下垂度影响非常大.不掺纤维素醚时,密封砂浆基本处于流淌状态,而掺加纤维素醚后,砂浆的抗流挂性能显著提高,浆体的下垂度急剧降低.当纤维素醚掺量大于0.2%时,砂浆具有较好的抗流挂性能.当纤维素醚掺量小于0.2%时,同时掺加淀粉醚对下垂度的影响很小.当纤维素醚掺量较大时,配合使用淀粉醚可使下垂度有所降低,见图5b和c.从图5a和c可看到,掺加乳胶粉后密封砂浆的下垂度有所增加,当同时掺加纤维素醚后,密封砂浆的下垂度基本都小于20mm,对实际施工来说在可接受范围之内。

纤维素醚和淀粉醚都属于水溶性高分子,它们遇到水溶解,和水形成胶状溶液,控制和束缚着水分子的扩散速度,减缓了砂浆中水分的流失,即提高浆体的保水性能,但两者结构上存在较大差异.纤维素醚的结构全部是长链结构,淀粉醚基本上都是支链结构,纤维素醚的链长理论上差不多是淀粉醚几何

结构的1 000~5 000倍,淀粉醚的支链结构对纤维素醚的长链结构起着“固定”作用^[11],淀粉醚只有与纤维素醚配合使用才能发挥其抗流挂作用.从本文的试验结果来看,采用高黏度纤维素醚后,密封砂浆抗流挂性能提高显著,淀粉醚与纤维素醚协同作用可使密封砂浆抗流挂性能进一步改善,在性能上可

形成优势互补并降低成本^[12].

2.3 聚合物对密封砂浆力学性能的影响

2.3.1 抗折强度

图6显示了乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆抗折强度的影响.

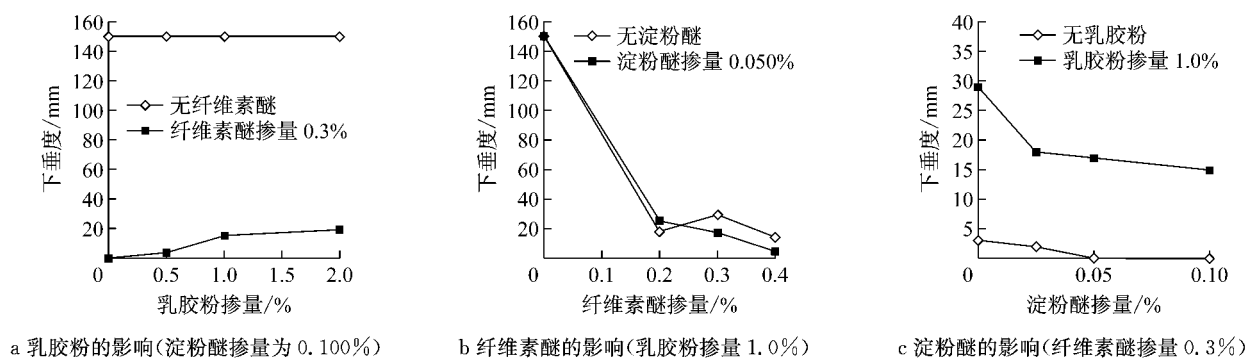


图5 聚合物对密封砂浆下垂度的影响

Fig.5 Effect of polymer on drooping degree of sealing mortar

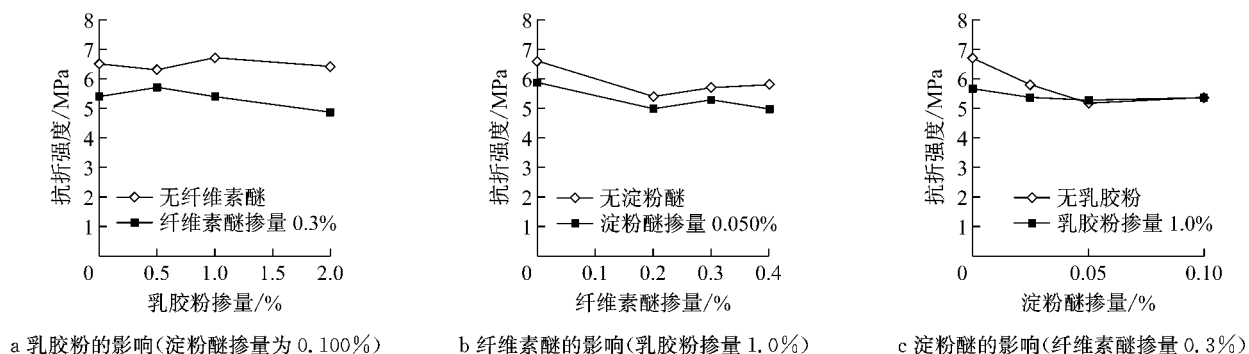


图6 聚合物对密封砂浆抗折强度的影响

Fig.6 Effect of polymer on flexural strength of sealing mortar

由图6a可知,不掺纤维素醚时,乳胶粉在0.5%~2.0%掺量范围内,密封砂浆的抗折强度变化不大,当同时掺加纤维素醚后,密封砂浆抗折强度明显降低,且随乳胶粉掺量增大,抗折强度呈下降趋势.掺入少量纤维素醚即可使密封材料抗折强度显著降低,但随着纤维素醚掺量继续增加至0.3%和0.4%时,密封材料抗折强度变化不明显,而同时加入少量淀粉醚后,抗折强度同步有所降低,见图6b.掺加少量淀粉醚后,密封砂浆的抗折强度有明显降低,但当其掺量继续增加至0.050%和0.100%后,抗折强度变化不大,同时掺加乳胶粉后,在淀粉醚掺量较小时,抗折强度降低较多,随着淀粉醚掺量增大,抗折降低变化不大,见图6c.

2.3.2 抗压强度

图7显示了乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆抗压强度的影响.

由图7a可知,不掺纤维素醚时,掺加乳胶粉后抗压强度有所增加,且随着掺量增加强度趋于稳定.同时掺加纤维素醚后,随纤维素醚掺量增加,抗压强度呈降低趋势.掺加纤维素醚后,密封砂浆的抗压强度大幅度降低,当掺加0.4%纤维素醚后,密封砂浆抗压强度下降约50%,同时掺加淀粉醚后,密封砂浆抗压强度同步有所降低,见图7b.掺加少量淀粉醚后,密封砂浆抗压强度降低,但随淀粉醚掺量增加,抗压强度变化不大,同时掺加乳胶粉后,密封砂浆抗压强度较不掺时有所降低,见图7c.

由于纤维素醚中含有烷基基团,使其水溶液的表面能降低,从而加入纤维素醚后液体不但容易引入气泡,而且气泡膜的韧性也较纯水气泡的韧性高,并减少了排水作用,因此可使引入的气泡不破裂,并使气泡不容易被排出,使得纤维素醚具有突出的引气作用,这会对密封材料的力学性能产生不良影响.

欧志华等^[13]的研究也表明,掺入纤维素醚后,由于引气作用,硬化水泥浆体中小孔数量增多,浆体体积密度下降,使得抗压强度和抗折强度均降低。

乳胶粉、淀粉醚对抗压强度的影响远小于纤维素醚,但前两者与纤维素醚复合使用将使浆体抗压

强度进一步降低,因此聚合物的掺量应控制在合理范围内,否则将影响密封砂浆的力学性能^[14]。

2.3.3 黏结强度

图8显示了乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚对密封砂浆黏结强度的影响。

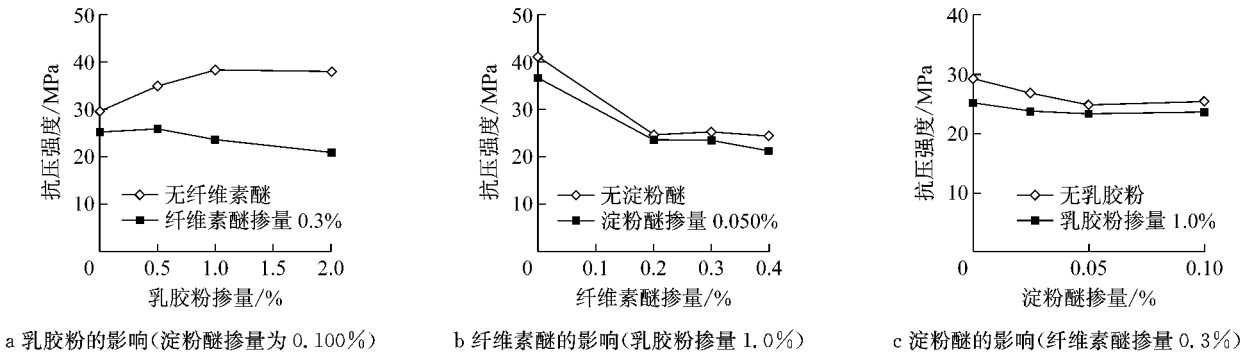


图7 聚合物对密封砂浆抗压强度的影响

Fig.7 Effect of polymer on compressive strength of sealing mortar

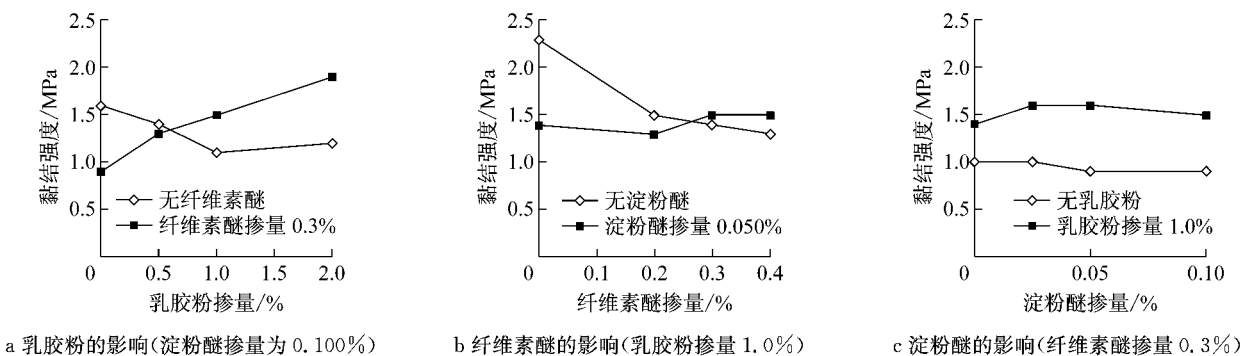


图8 聚合物对密封砂浆黏结强度的影响

Fig.8 Effect of polymer on bond strength of sealing mortar

由图8a可看到,在不掺乳胶粉情况下,掺0.3%纤维素醚,密封砂浆黏结强度明显降低,同时掺加乳胶粉且随其掺量增大,密封砂浆的黏结强度大幅度提高。在不掺纤维素醚情况下,掺加乳胶粉,密封砂浆黏结强度明显降低。因此,乳胶粉与纤维素醚对密封砂浆的黏结性能表现出良好的协同作用,在适合掺量下,密封砂浆可获得较高的黏结强度。由图8b可知,在不掺纤维素醚的情况下,掺加0.050%淀粉醚,黏结强度明显降低,同时掺加纤维素醚后有所提高但作用不明显;而在不掺加淀粉醚情况下,随纤维素醚掺量增加,黏结强度有较大幅度降低。由图8c可知,在不掺淀粉醚的情况下,掺加乳胶粉后,黏结强度显著提高,随淀粉醚掺量增加,无论掺或不掺乳胶粉,淀粉醚对密封砂浆黏结强度的影响不明显。

已有研究表明,在砂浆中加入乳胶粉可显著提高与其他材料的黏结强度,原因在于亲水性聚合物与水泥悬浮体的液相一起向基体的孔隙及毛细管内

渗透,聚合物在孔隙及毛细管内成膜并牢牢地吸附在基体表面,从而保证了胶结材料与基体之间良好的黏结强度,而成膜的聚合物明显形成次级的黏附复合体,以桥键和有孔聚合物膜的形式分布在砂浆与基体之间,吸收和传递能量,宏观上表现为黏结力的提高^[15]。纤维素醚在密封砂浆中的主要作用并非直接提高拉伸黏结强度。事实上,随着纤维醚掺量的增加,砂浆的保水性更佳,使得密封砂浆具有更长的开放时间,进而改善砂浆的黏结性能。

因此研制密封砂浆时,应综合考虑乳胶粉、羟丙基纤维素醚和淀粉醚对工作性能、塑性变形性能和力学性能的影响,通过3种聚合物的合理调配,可优化得到施工性能好、抗流挂性能好、强度高、黏结力强的水泥基密封砂浆,其性能如下:挤出时间18 s,下垂度20 mm,抗折强度5.4 MPa,抗压强度24 MPa,拉伸黏结强度1.5 MPa。

3 结论

(1) 掺加乳胶粉可显著改善密封砂浆的工作性能,而掺加纤维素醚后,密封砂浆挤出性能下降,淀粉醚与乳胶粉及纤维素醚配合使用有利于改善密封砂浆的工作性能。

(2) 掺加乳胶粉后,密封砂浆抗流挂性能降低,而掺加纤维素醚可显著改善抗流挂性能,淀粉醚与乳胶粉及纤维素醚配合使用也有利于改善密封砂浆的抗流挂性能。

(3) 掺加纤维素醚后,密封砂浆抗折、抗压强度显著降低,乳胶粉和淀粉醚对密封砂浆强度的影响远小于纤维素醚,但前两者与后者配合使用后,可使密封砂浆强度进一步降低。

(4) 掺加纤维素醚及淀粉醚后,黏结强度有所降低,纤维素醚与乳胶粉配合使用后,密封砂浆可获得较高的黏结强度。

(5) 通过合理调配乳胶粉、纤维素醚和淀粉醚用量,可优化得到施工性能、抗流挂性能好,强度较高、黏结力强且成本较低的水泥基密封砂浆。

参考文献:

- [1] Hutchinson A R, Pagliuca A, Woolman R. Sealing and resealing of joints in buildings[J]. *Construction and Building Materials*, 1995, 9(6): 379.
- [2] Yuna T, Lee O, Lee S, *et al.* A performance evaluation method of preformed joint sealant: slip-down failure[J]. *Construction and Building Materials*, 2011, 25: 1677.
- [3] Ding S, Liu D. Durability evaluation of building sealants by accelerated weathering and thermal analysis[J]. *Construction and Building Materials*, 2006, 20: 878.
- [4] Langauer M, Liu K, Kneidinger C, *et al.* Experimental analysis of the influence of pellet shape on single screw extrusion[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, DOI: 10.1002/APP.41716.
- [5] ZHOU Xiangming, LI Zongjin, FAN Mizi, *et al.* Rheology of semi-solid fresh cement pastes and mortars in orifice extrusion[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2013, 37: 304.
- [6] 杨钱荣, 匡志平, 李检保, 等. 3D打印建筑砂浆工作性测试设备及应用: 中国, 201410558243.7[P]. 2014-10-20.
YANG Qianrong, KUANG Zhiping, LI Jianbao, *et al.* Test device for 3D print building mortar and its applications: China, 201410558243.7 [P]. 2014-10-20.
- [7] 杨钱荣, 匡志平, 李检保, 等. 3D打印建筑砂浆塑性变形性能测试模具及其应用: 中国, 201410558262.X[P]. 2014-10-20.
YANG Qianrong, KUANG Zhiping, LI Jianbao, *et al.* Mold for testing plastic deformation of 3D print building mortar and its applications: China, 201410558262.X[P]. 2014-10-20.
- [8] 国家质量技术监督局. GB/T 17671—1999水泥胶砂强度检验方法(ISO法)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
National Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 17671—1999 Test method for cement mortar strength (ISO method) [S]. Beijing: China Standard Press, 1999.
- [9] 中国水利水电科学研究院. DL/T 5126—2001聚合物改性水泥砂浆试验规程[S]. 北京: 国家经济贸易委员会, 2001.
China Institute of Water Resource and Hydropower Research. DL/T 5126—2001 Test procedure on polymer modified cement mortar [S]. Beijing: National Economic and Trade Commission, 2001.
- [10] 肖力光, 周建成. 可再分散乳胶粉对建筑砂浆性能的影响[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2002, 12(4): 20.
XIAO Liguang, ZHOU Jiancheng. Influence of redispersible polymer powder on cement mortar properties[J]. *Journal of Jilin Architectural and Civil Engineering Institute*, 2002, 12(4): 20.
- [11] 邸勇. 淀粉醚改性纤维素醚在干混砂浆中的应用[C]//中国纤维素行业 2012 年学术报告会. 北京: 北京理工大学, 2012: 134-137.
DI Yong. Application of starch ether modified cellulose ethers in dry mix mortar[C]//Proceedings of Chinese Cellulose Industry Academic Report. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2012: 134-137.
- [12] 黄莉红, 孙广荣, 孙振平. 改性淀粉醚对新拌砂浆相关性能的影响[J]. 新型建筑材料, 2014, 41(5): 26.
HUANG Lihong, SUN Guangrong, SUN Zhenping. Effect of Modified starch ether on the properties of Fresh Mortar[J]. *New Building Materials*, 2014, 41(5): 26.
- [13] 欧志华, 马保国, 蹇守卫. 非离子纤维素醚改性水泥浆的孔结构[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(1): 121.
OU Zhihua, MA Baoguo, JIAN Shouwei. Pore structure of cement pastes modified by non-ionic cellulose ethers [J]. *Journal of Building Materials*, 2013, 16(1): 121.
- [14] 黄利频, 袁玲. 聚合物干粉改性水泥砂浆性能及应用研究[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(10): 15.
HUANG Lipin, YUAN Ling. Research on physical properties of polymers modified cement mortars and their commercial application[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2007, 29(10): 15.
- [15] Su Z, Bijen J M, Latrbi J A. The influence of polymer modification on the adhesion of cement pastes to aggregates [J]. *Cement and Concrete Research*, 1991, 21(1): 169.