

石膏基保温砂浆的制备与性能研究

Preparation and Properties of Gypsum-based Thermal Insulation Mortar

王 庆¹, 刘 猛¹, 王文卓², 汪昭鹏², 刘 勇¹

(1. 武汉源锦建材科技有限公司, 湖北 武汉 430080;
2. 武汉三源特种建材有限责任公司, 湖北 武汉 430080)

摘 要: 试验研究了普通硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、矿粉三种胶凝材料以及保温骨料玻化微珠和功能组分对石膏基保温砂浆性能的影响。通过研究表明: 掺入硫铝酸盐水泥可以显著提高石膏基保温砂浆的力学性能; 当玻化微珠与复合胶凝材料质量比为 5: 10、纤维素醚为 0.2%、引气剂为 0.005% 时, 石膏基保温砂浆的导热系数为 0.08 W/(m·K)、强度为 1.0 MPa、体积密度为 370 kg/m³, 同时砂浆的和易性、可批刮性也满足施工要求。

关键词: 脱硫石膏; 保温砂浆; 玻化微珠

中图分类号: TU55+1.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2023) 05-0077-05

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.05.013

WANG Qing¹, LIU Meng¹, WANG Wenzhuo², WANG Zhaopeng², LIU Yong²

(1. Wuhan Ujoin Building Material Technology Co., Ltd., Wuhan 430070, China;
2. Wuhan Sanyuan Special Building Materials Limited Company, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effects of ordinary Portland cement, sulfoaluminate cement, mineral powder, three kinds of cementitious materials, as well as thermal insulation aggregate vitrified microbeads and functional components on the performance of gypsum-based thermal insulation mortar were investigated experimentally. The research shows that adding sulfoaluminate cement can significantly improve the mechanical properties of gypsum-based thermal insulation mortar; when the mass ratio of vitrified microbeads to composite cementitious material is 5: 10, cellulose ether is 0.2%, and air-entraining agent is at 0.005%, the thermal conductivity of the gypsum-based thermal insulation mortar is 0.08 W/(m·K), the strength is 1.0 MPa, and the bulk density is 370 kg/m³. At the same time, the workability and batch scraping of the mortar also meet the construction requirements.

Keywords: desulfurized gypsum; insulation mortar; vitrified beads

0 前言

随着经济建设的快速发展, 建筑行业突飞猛

进, 大量新建建筑物拔地而起。据统计, 我国每年建筑能耗约占全国总能耗的 1/4、是一些发达国家的 3~5 倍。随着建筑能耗的持续增加, 国内能源紧缺形式日益严峻。为此, 国家从政策上开始行动, 颁布了很多建筑节能规范, 出台了一系列建筑物能源消耗标准。各省份也积极响应, 其中河北、山东、江苏等省份已经全面实施建筑节能 75% 标准。在我国建筑领域, 建筑行业的能源消耗

作者简介: 王庆 (1985—), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向: 特种胶凝材料。

收稿日期: 2022-09-08

材料科学

主要是因建筑物的保温隔热效果差,从而导致的大量能源损耗。因此,加强建筑领域新型节能环保材料的研发和推广,尤其是推广应用导热系数较低的保温节能墙体材料,对增强能源使用率、改善生态环境、减少资源的过度使用与浪费、使建筑领域走向可持续发展的道路,具有重要的现实意义^[1]。随着国家对新型建筑节能保温材料开发应用的鼓励与支持,保温砂浆已在我国黔、苏、浙等区逐渐得到应用。相较于传统的水泥基保温砂浆,石膏基保温砂浆具有更优异的保温和轻质性能,如能得到广泛应用,将对我国建筑节能改革起到巨大推动作用;而且石膏基保温砂浆在生产过程中的能源消耗量和碳排放量也远远低于同类其他砂浆制品,符合我国建材行业高质量发展、推进碳达峰与碳中和战略目标要求;此外,石膏基保温砂浆可采用工业副产石膏作为主要原料,这对推动我国固废综合利用、循环经济发展也具有重大意义。

1 原材料及试验方法

1.1 试验用原材料

(1) 脱硫建筑石膏

安徽龙派建材脱硫建筑石膏,其相组分及物理性能详见表1。

表1 脱硫石膏相组分及物理性能
Table 1 Desulfurized gypsum phase composition and physical properties

HH /%	AIII /%	DH /%	附着水 /%	标准稠度 用水量/%	凝结时间/min		2 h 强度/MPa	
					初凝	终凝	抗折	抗压
89.57	0	3.80	0.94	0.58	7.0	9.0	4.4	10.0

(2) 矿粉

S95 矿粉是采用武汉宝钢矿渣经实验室统一小磨粉磨制得,比表面积 426 m²/kg, 7 d 活性指数 81%。

(3) 水泥

采用湖北亚东 P·O 42.5 水泥和湖州 SAC 42.5 水泥。

(4) 玻化微珠

江苏新材玻化微珠,粒径 50 目~70 目,松散容重 117 kg/m³,体积漂浮率 80%,筒压强度 320 kPa,导热系数 0.047 W/(m·K)。

(5) 功能组分

功能组分主要由保水剂、增稠剂、引气剂和缓凝剂,其中缓凝剂取自上海英杉建材,保水剂和增稠剂取自江苏兆佳建材,引气剂取自南京棋成。

1.2 试验方法

根据设计配方将精确称量的功能组分与建筑石膏粉预混,再与称量好的玻化微珠用 V 型混料机混合 30 min,取出后加水搅拌,进行湿浆性能测试,并成型强度试块和导热系数测试用保温板。脱模后,试件养护至第 7 d,然后在 (40±2) °C 电热鼓风干燥箱中干燥至恒重。石膏基保温砂浆的标稠用水量、凝结时间、体积密度参照 GB/T 28627-2012《抹灰石膏》进行,抗折强度、抗压强度参照 GB/T 5486-2008《无机硬质绝热制品试验方法》进行、导热系数参照 GB/T 10294-2008《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》进行。

2 试验结果及讨论

2.1 不同胶凝材料对石膏基保温砂浆凝结时间和强度的影响

玻化微珠内掺 30% 保持不变,用矿粉、普通硅酸盐水泥(以下简称普硅水泥)、硫铝酸盐水泥(以下简称硫铝水泥)分别按 5%、10%、15%、20% 等质量取代石膏粉,结果如图 1 所示。从图中可以看出,随取代量的增加,掺入普硅水泥时,石膏基保温砂浆的凝结时间平均缩短了 11 min,抗压强度整体提高了 57%;掺入硫铝水泥时,凝结时间平均缩短了 8 min,抗压强度整体提高了 50%;掺入矿粉时,凝结时间平均延长了 10 min,抗压强度整体降低了 40%。取代量 20% 时,掺硫铝水泥的砂浆强度最大,是掺普硅水泥的 1.2 倍,掺矿粉的 3.7 倍,凝结时间适中,比掺普硅水泥的长 20 min,比掺矿粉的短 51 min。这主要是因为胶凝材料矿物组成不同,水化速率和水化产物不同导致。研究表明:建筑石膏水化成板状二水硫酸钙,水泥中的铝酸三钙在饱和的石膏浆体中水化生成针状水化硫铝酸钙-钙矾石,同时水泥中的硅

酸二钙和硅酸三钙水化生成 C-S-H 凝胶，针状的钙矾石晶体和板状的二水硫酸钙晶体相互搭接，C-S-H 凝胶填充在晶体结构中，形成较为密实的结构^[2]，从而提高了保温砂浆的力学性能。矿粉主要以硅酸盐与硅铝酸盐的熔融物为主，水化反应慢，所以掺矿粉时，石膏基保温砂浆的强度降低、凝结时间变长。而且用脱硫建筑石膏粉制备保温砂浆强度本身较低，再掺入保温骨料玻化微珠和发泡剂，其力学性能会显著降低^[3]。为了提高石膏基保温砂浆的力学强度，在砂浆中掺入硫铝水泥和普硅水泥，均可以提高力学性能。当硫铝水泥掺 20% 时，保温砂浆的强度可达 1.1 MPa，因此石膏基保温砂浆中掺入硫铝水泥，其力学性能更优。

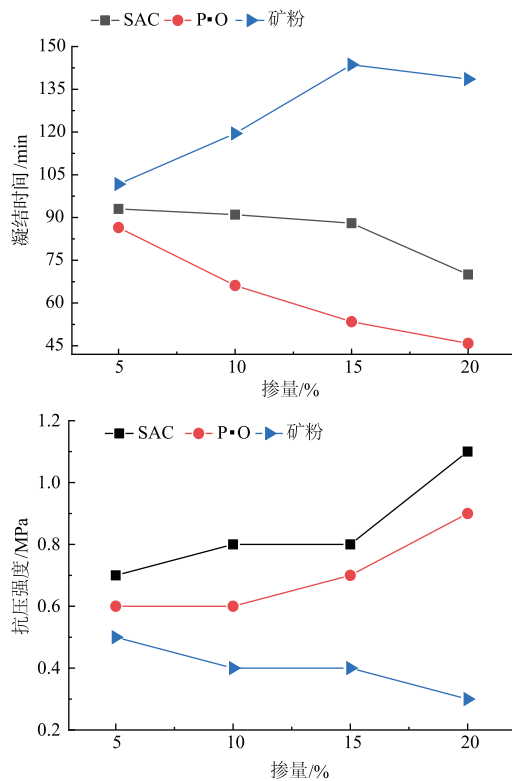


图 1 不同胶凝材料对砂浆凝结时间和强度的影响

Fig. 1 Effects of different cementitious materials on setting time and strength of mortar

2.2 玻化微珠掺量对石膏基保温砂浆性能的影响

建筑石膏粉掺 80%、硫铝水泥掺 20%，并保持胶凝材料总量 100% 不变，玻化微珠与胶凝材料的质量比按 1 : 10、2 : 10、3 : 10、4 : 10、5 : 10、6 : 10、7 : 10、8 : 10、9 : 10、10 : 10 进

行外掺，其保温砂浆性能如表 2 所示。从表中可知，当玻化微珠和胶凝材料质量比 $\leq 2 : 10$ 时，保温砂浆状态太黏，和易性差，主要是因为胶凝材料对保温骨料包裹严重，砂浆不具有良好的施工性；当质量比 $\geq 7 : 10$ 时，保温砂浆黏聚性差，较分散，这是因为胶凝材料对骨料包裹不均匀不充分，也不具有良好的施工性；当质量比在 4 : 10 ~ 6 : 10 范围内时，保温砂浆的和易性好，易批刮，可施工性强，而且抗压强度 ≥ 0.7 MPa，导热系数 ≤ 0.10 W / (m · K)，均满足 GB/T 28627-2012 中的指标要求，综合考虑各项指标，当质量比为 5 : 10 时，砂浆综合性能最优。另外，随着玻化微珠掺量的增加，石膏基保温砂浆的用水量急剧增加，增至 2.7 倍后不再增大；湿密度则呈先减小后增大的趋势。由于轻质保温骨料玻化微珠的掺入，石膏基保温砂浆的强度、体积密度、导热系数等性能也都随之减小。据相关文献记载，在封闭状态下，空气的导热系数为 0.023 W / (m · k)，因此在石膏基保温砂浆中掺入多孔结构且表面玻化封闭的玻化微珠，砂浆孔隙率会随之增大，从而提高了砂浆的保温性能。也因玻化微珠掺量的增加，减少了砂浆中胶凝材料的比例，从而砂浆的强度也明显降低。

表 2 玻化微珠不同掺量对石膏基保温砂浆性能的影响
Table 2 Effects of different contents of vitrified microbeads on properties of gypsum-based thermal insulation mortar

质量比	用水量 / %	湿密度 / (kg / m ³)	强度 / MPa		体积密度 / (kg / m ³)	导热系数 [W · (m · K)]	砂浆状态
			抗折	抗压			
1 : 10	0.56	908	3.0	7.3	783	—	很黏稠
2 : 10	0.70	839	1.4	3.3	604	—	较黏稠
3 : 10	0.78	676	0.9	2.0	450	0.101	不黏稠
4 : 10	0.88	573	0.7	1.4	407	0.100	不黏稠
5 : 10	0.98	626	0.6	1.0	370	0.080	不黏稠
6 : 10	1.11	639	0.4	0.7	350	0.078	黏聚性略差
7 : 10	1.25	645	0.3	0.5	328	—	黏聚性较差
8 : 10	1.40	655	0.2	0.3	328	—	黏聚性差
9 : 10	1.50	685	0.2	0.4	312	—	黏聚性差
10 : 10	1.50	669	0.2	0.3	303	—	黏聚性很差

2.3 纤维素醚掺量对石膏基保温砂浆性能的影响

选择玻化微珠与胶凝材料质量比 5 : 10 的配方，研究 10 万 Pa · s 纤维素醚不同掺量对石膏基保温砂浆性能的影响，结果如表 3 所示。随着纤维素醚掺量的增加，保温砂浆的保水率由 61% 增

材料科学

至 91%，体积密度降低了 37%，抗压强度降低了 64%。主要是因为纤维素醚在石膏基保温砂浆中除用作增稠保水剂外，还可以在料浆制备过程中引入了大量微密气泡，气泡在浆体硬化后形成孔洞，提高了保温砂浆的孔隙率，同时也使硬化后的保温砂浆结构疏松^[4]，从而提高了砂浆的保温性能。但因气孔增多，孔隙率增大，导致强度降低。因此，纤维素醚应在保证保温砂浆保水率的前提下，尽量控制其的掺量，适宜掺量为 0.20%。

表 3 纤维素醚不同掺量对石膏基保温砂浆性能的影响

Table 3 Effects of different contents of cellulose ether on properties of gypsum-based thermal insulation mortar

纤维素醚掺量/%	抗压强度/MPa	保水率/%	体积密度/(kg/m ³)
0.05	1.4	61	510
0.10	1.2	69	434
0.15	1.2	72	396
0.20	1.0	83	370
0.25	0.5	91	320

2.4 引气剂对石膏基保温砂浆性能的影响

为了更进一步降低石膏基保温砂浆的体积密度，研究了引气剂种类及掺量对石膏基保温砂浆性能的影响。从图 2 中可以看出，相同掺量时，OSB、AOS、三萜皂苷对石膏基保温砂浆性能的影响不同。掺入 OSB 的石膏基保温砂浆在保证强度满足指标要求的前提下，可以获得更低的体积密度，即保温性能也更好。从图 3 中可以看出，随 OSB 掺量的增加，保温砂浆 30 min 的湿密度损失增大，抗压强度减小。主要是因为引气剂在砂浆搅拌时，能显著降低水的表面张力和界面能，使浆体在搅拌的过程中产生大量的微小气泡，从而降低了石膏基保温砂浆的湿密度，提高了施工性能和出浆量。封闭在浆体中的气孔也使保温砂浆的保温隔热性能更优，但同时也降低了强度。当 OSB 掺量超过 0.005% 时，由于 HPMC 和 OSB 的双重引气作用，石膏基保温砂浆中的气泡增大，30 min 后无法保持稳定而破裂，从而导致保温砂浆的 30 min 湿密度损失变大，施工性能降低。因此综合考虑力学性能和保温性能，OSB 最佳掺量为 0.005%。

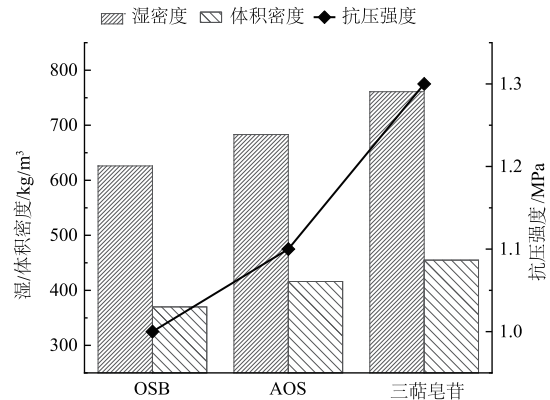


图 2 不同引气剂对保温砂浆性能的影响

Fig. 2 Effects of different air-entraining agents on the properties of thermal insulation mortar

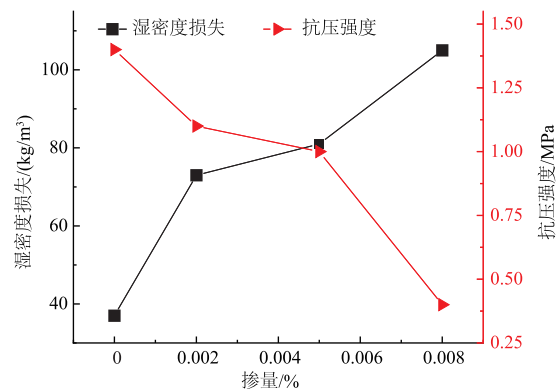


图 3 OSB 不同掺量对保温砂浆性能的影响

Fig. 3 Effects of different dosages of OSB on the properties of thermal insulation mortar

3 结论

(1) 在石膏基保温砂浆中，掺入普硅水泥、硫铝水泥对脱硫建筑石膏制品具有增强改性的效果，掺入硫铝水泥的增强效果优于普硅水泥的。当硫铝水泥掺量为 20% 时，石膏基保温砂浆的强度可达 1.1 MPa。

(2) 玻化微珠是表面玻化封闭的多孔结构，随着玻化微珠掺量的增加，石膏基保温砂浆的孔隙率增大，体积密度减小，从而提高了石膏基保温砂浆的保温隔热性能。但因玻化微珠掺量的增加，减少了砂浆中胶凝材料的比例，从而降低了砂浆的强度。当玻化微珠与胶凝材料的质量比为 5:10 时，石膏基保温砂浆的和易性好、批刮性好，其抗压强度 1.0 MPa、体积密度 370 kg/m³、导热系数 0.08 W/(m·K)，均满足 GB/T 28627-2012

中的指标要求。

(3) 纤维素醚在石膏基保温砂浆中主要用作增稠保水剂。随着纤维素醚掺量的增加,浆体的黏性增大,搅拌时引入的大量气体难以排出,从而降低了石膏基保温砂浆的体积密度和抗压强度,提高了保温性能。当纤维素醚掺 0.2% 时,石膏基保温砂浆具有良好的保水性能和力学性能。

(4) 在建筑石膏和硫铝水泥组成的胶凝体系中,OSB 的引气效果优于 AOS 和三萜皂苷。当 OSB 掺入 0.005% 时,既可以保证浆体 30 min 湿密度损失量满足施工要求,又不会因引气过量而导致强度过低。

参 考 文 献

- [1] 熊磊. 玻化微珠保温砂浆在建筑中的应用研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [2] 李淋淋. 脱硫石膏轻质保温材料的制备与性能研究 [D]. 济南: 济南大学, 2016.
- [3] 曹文湘. 保温石膏的增强改性及其内保温系统的研究 [D]. 重庆: 重庆大学 2019.
- [4] 江飞飞. 玻化微珠无机保温砂浆及其保温系统的研究 [D]. 重庆: 重庆大学. 2010.
- [5] 梁洪超, 相利学, 吴亚男. 磷石膏基玻化微珠保温砂浆的制备研究 [J]. 广州化工, 2016, 44 (21): 86-88.
- [6] 陈雪梅, 刘元正, 钟华, 等. 玻化微珠保温砂浆的制备方法及其影响因素研究 [J]. 新型建筑材料, 2015, (11): 62-64.
- [7] 吴红燕, 费海华, 夏璐. 保温砂浆的制备方法及其影响因素的研究 [J]. 低温建筑技术, 2018, (12): 10-11.
- [8] 张红林, 杨智荣, 谭涌, 等. 玻化微珠在无机保温承重材料中的传热机理分析 [J]. 混凝土, 2020, (8): 79-83.
- [9] 白玉星, 周朋飞, 张宏涛, 等. 膨胀玻化微珠保温板性能试验研究 [J]. 新型建筑材料, 2017, (8): 152-154.
- [10] 李思雨, 于明鑫, 龚娅楠, 等. 玻化微珠保温砂浆的技术性能研究 [J]. 研究探讨 309.
- [11] 袁新珠. 保温砂浆的制备方法及其影响因素的研究 [J]. 福建建材, 2019, (5): 14-15.
- [12] 韩智强, 杨卓强. 玻化微珠保温砂浆的性能优化设计 [J]. 河南城建学院学报, 2016, (3): 35-41.
- [13] 李兴波. 多层地基中超长桩荷载传递机理的非线性计算方法 [J]. 地质与勘探, 2009, 45 (4): 474-478.
- [14] 姚文娟, 吴怀睿, 程泽坤, 等. 基于 $p-y$ 曲线法的超长桩非线性数值分析 [J]. 岩土工程学报, 2011, 33 (11): 1683-1690.
- [15] 尹华伟, 易伟建, 魏红卫. 横向推力单桩的动力非线性分析 [J]. 工程力学, 2006, 23 (7): 99-104.
- [16] ASHOUR M, NORRIS G, PILLING P. Lateral loading of a pile in layered soil using the strain wedge model [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1998, 124 (4): 303-315.
- [17] 杨国平, 张志明. 对大变位条件下横向受力桩 $p-y$ 曲线的研究 [J]. 水运工程, 2002 (7): 40-45.

(上接第 26 页)

报, 2010, 32 (11): 1717-1721.