

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2019.02.012

骨料掺量对硅气凝胶砂浆性能的实验研究

封金财,李 涛,刘文影

(常州大学 环境与安全工程学院,江苏 常州 213164)

摘要:为研制新型环境友好型建筑保温隔热材料,试验探讨了不同骨料(气凝胶+砂)掺量对 SiO₂ 气凝胶保温隔热砂浆性能的影响。基于体积法设计砂浆配合比,其中骨料体积取总体积的 50%,55%,60%,65%,70%,气凝胶体积取骨料体积的 60%。结果表明:当骨料掺量为 60%时,导热系数最低为 0.15 W/(m·k),密度为 1 243 kg/m³,28 d 的抗压、抗折强度为 9.14 MPa 和 3.14 MPa,吸水率为 16.6%。采用扫描电镜 SEM 法对砂浆的微观结构进行了分析,从微观角度验证了保温隔热砂浆的基本性能。

关键词:环境友好型砂浆;SiO₂ 气凝胶;骨料掺量

中图分类号:O 621.3

文献标志码:A

文章编号:2095-0411(2019)02-0088-05

Experimental Study on Influence of Aggregate Contents on Properties of Silica Aerogel Thermal Insulation Mortar

FENG Jincai, LI Tao, LIU Wenying

(School of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract:In order to develop a new environment-friendly building insulation material, the influence of different aggregate contents (aerogel+sand) on SiO₂ aerogel insulation mortar performance was investigated. Using the volume method, the mortar mix proportion was designed, in which the total volume of aerogel and sand are 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, with a fixed aerogel volume ratio of 60%. The results indicated a compressive strength and flexural tensile strength of 9.14 MPa and 3.14 MPa, a density of 1 243 kg/m³, a water absorption of 16.6%, a thermal conductivity of 0.15 W/(m·k) at the aerogel content of 60%. Using SEM to analyse the microstructure of the thermal insulation mortar, the basic properties of thermal insulation mortar were verified from the microscopic point of view.

Key words: the environment-friendly building insulation mortar; SiO₂ aerogel; aggregate content

收稿日期:2018-12-05。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51678080, 51678081)。

作者简介:封金财(1970—),男,河北景县人,硕士,副教授。E-mail: hjxfjc@cczu.edu.cn

引用本文:封金财,李涛,刘文影. 骨料掺量对硅气凝胶砂浆性能的实验研究[J].常州大学学报(自然科学版),2019,31(2):88-92.

随着经济和社会的飞速发展,能源问题成为制约中国经济和社会发展的一大瓶颈,而建筑能耗作为能耗的一个重要组成部分,且占比高达 30%^[1-2],因此提高建筑围护结构的保温隔热性能极为关键。提高建筑保温隔热材料的性能,研制新型环境友好型保温隔热材料,已成为学术界与工程界关注的热点。矿物棉及其制品曾以其优良的保温隔热、防火、良好的吸声和隔振效果和显著的经济效益一度备受青睐,但矿物棉类材料含有沥青、胶等有害物质污染环境,且强度较低已逐渐被取代^[3]。膨胀珍珠岩材料以其容重小、导热系数低、耐火、隔音性能好、无毒而广泛用作建筑保温层,但膨胀珍珠岩亲水性强,吸水后其保温隔性能急剧下降^[4]。聚苯乙烯泡沫塑料保温隔热性能好、质轻、吸声等特性,但施工复杂易造成空鼓、脱落而带来安全隐患^[5]。目前,SiO₂气凝胶材料作为一种新型纳米轻质、多功能的环保材料,以其低密度、高比表面积、低热导率以及高光透过性等优异性能成为保温隔热领域研究的热点;这种材料质轻、耐火、透明、绝热而且环保,具有传统保温隔热材料无与伦比的优势^[6-12]。郭金涛^[13]以气凝胶和玻化微珠两种材料为保温骨料,将此两者按级配混合制备出新型保温砂浆;王飞^[14]从 SiO₂气凝胶材料在保温隔热、防水、防火以及简化施工工艺等方面的优势,构建了全部由 SiO₂气凝胶材料替代当前保温隔热材料在建筑节能中的应用体系,最后对 SiO₂气凝胶材料在建筑保温隔热中的应用前景做了展望。本文以骨料(气凝胶+砂)体积为变量,试验研究了气凝胶保温隔热砂浆性能与气凝胶用量之间的关系,以期为这种保温隔热材料的研究提供基础数据,为研制气凝胶保温隔热材料提供依据。在改善环境、节能减排、走可持续发展道路方面具有重要的现实意义。

1 试 验

1.1 原材料

普通硅酸盐水泥采用江苏扬子水泥有限公司生产 P.O42.5R 级水泥,硅灰来自常州湖塘热电集团,表观密度为 2 759 kg/m³;天然细骨料为天然河砂,粒径 0.16~4.75 mm;气凝胶为广东埃力生高新科技有限公司生产的商用 SiO₂气凝胶,性能参数见表 1;分散剂为上海臣启化工有限公司生产的可再分散乳胶粉;增强剂采用上海影佳实业发展有限公司聚丙烯短纤维;增稠剂采用上海臣启化工科技有限公司的聚丙烯甲基纤维素;减水剂采用聚羧酸高性能减水剂。

表 1 SiO₂气凝胶基本性能

密度/(kg/m ³)	粒径/mm	比表面积/(kg/m ²)	孔隙率/%	孔径/nm	导热/(W/(m·k))
100	0~4	500~650	>90	20~100	0.020

1.2 配合比

采用 GB/T20473—2006《建筑保温砂浆》中的体积法设计配合比,其中骨料(气凝胶+砂)的体积为总体积的 50%,55%,60%,65%,70%,气凝胶体积取骨料体积的 60%,具体配合比见表 2。

表 2 SiO₂气凝胶砂浆配合比

样品	水泥/g	气凝胶/g	砂/g	硅灰/g	减水剂/g	甲基素醚/g	分散剂/g	纤维/g	水/g	骨料掺量/%
1	573	25	449	40	8.6	3.4	11.5	1.7	230	50
2	515	28	494	36	7.7	3	10.3	1.5	206	55
3	458	30	539	32	6.8	2.7	9.2	1.4	183	60
4	400	33	584	28	6	2.4	8.1	1.2	160	65
5	343	35	629	24	5.1	2.1	6.9	1.1	137	70

1.3 试验方法

试件尺寸长×宽×高为 40 mm×40 mm×160 mm,成型后放入(20±2)℃的养护箱中养护 28 d,气凝胶砂浆的抗压、抗折强度、吸水率按《建筑砂浆基本性能试验方法》测试;导热系数按热线法测试;采用扫描电镜 SEM 法观察二氧化硅气凝胶砂浆的微观结构。

2 结果与分析

2.1 密度

不同体积骨料掺量对砂浆密度的影响如图 1 所示。由图 1 可见,随着骨料掺量的增加,气凝胶砂浆的密度呈逐渐降低趋势。骨料掺量从 50%~70%时,气凝胶砂浆的密度从 1 321 kg/m³ 下降到 1 134 kg/m³;骨料掺量每增加 5%,密度平均下降约 4.1%。气凝胶砂浆的密度与孔隙率有关,孔隙率越大,砂浆密度越低。由于气凝胶具有极强的憎水性,导致骨料之间空隙变多。同时胶凝材料和用水量变小导致浆体难以包裹全部的骨料,所以随着骨料掺量增加,成型的气凝胶砂浆孔隙率变大,其密度也变低。

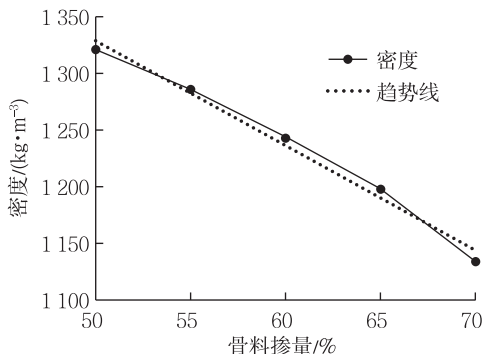


图 1 气凝胶砂浆密度

2.2 抗压强度与抗折强度

图 2、图 3 给出了气凝胶砂浆 28 d 抗压、抗折强度与骨料掺量之间的关系。由图 2 与图 3 可见,随着骨料掺量的增加,气凝胶砂浆的抗压、抗折强度先增大后减小。骨料掺量从 50%~55%时,抗压、抗折强度分别增加了 4.4 MPa 和 0.52 MPa;骨料掺量从 55%~70%时,抗压强度从 9.81 MPa 下降到 5.1 MPa,抗折强度从 3.78 MPa 下降到 1.94 MPa;骨料掺量每增加 5%,抗压强度平均下降约 1.2 MPa,抗折强度平均下降约 0.46 MPa。其主要原因是在总体积不变的条件下,骨料掺量的增加导致胶凝材料用量减少,削弱了水泥浆体的包力。当骨料掺量取 50%时,浆体与骨料之间的包裹性最好,形成的砂浆相对较均匀,因此 55%的骨料掺量的抗压抗折强度最高。当骨料掺量超过 55%后,浆体不足,不能完全将骨料包裹,砂浆整体不均匀,强度逐渐下降。但本试验获得的不同骨料掺量下的抗压、抗折强度均满足保温砂浆规范中的规定值 0.2 MPa。

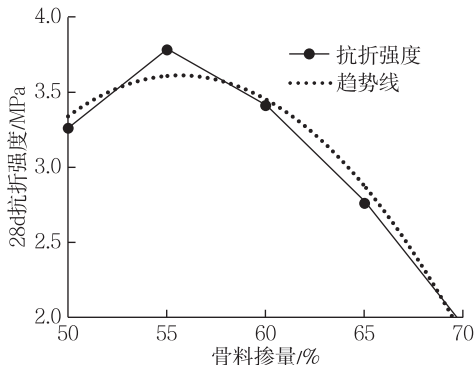


图 2 气凝胶砂浆抗压强度

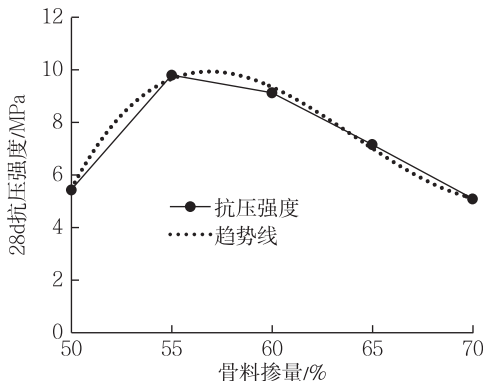


图 3 气凝胶砂浆抗折强度

2.3 吸水率

气凝胶砂浆 28 d 吸水率与骨料掺量之间的关系如图 4 所示。由图 4 可见,随着骨料掺量的增加,吸水率先降低后升高,当骨料掺量为 50%~55% 时,气凝胶砂浆吸水率从 15.3% 降低到 14.3%;当骨料掺量为 55%~70% 时,气凝胶砂浆吸水率从 14.3% 上升到 17%,骨料掺量每增加 5%,吸水率平均增加 4.7%。随着骨料掺量的增加,气凝胶掺量增加,胶凝材料量减少,当骨料掺量为 55% 时,胶凝材料与骨料结合相对较好,吸水率最低,当骨料掺量在 55% 到 70% 时,砂浆中胶凝材料与砂和气凝胶结合变差,砂浆内部不均匀,孔洞变多,导致砂浆吸水率增加。

2.4 导热系数

气凝胶砂浆 28 d 导热系数与骨料掺量之间的关系如图 5 所示。由图 5 可见,随着骨料掺量的增加,气凝胶砂浆的导热系数先降低后上升,当气凝胶取代率为 50%~60% 时,气凝胶砂浆导热系数从 0.28 降至 0.15,骨料掺量每增加 5%,导热系数降低 23%;当气凝胶取代率为 60%~70% 时,气凝胶砂浆导热系数从 0.15 升至 0.19,骨料掺量每增加 5%,导热系数上升 13%。原因是气凝胶具有轻质、绝热性能优越的特点,其分散在气凝胶砂浆中,随气凝胶量的增加,在一定范围内明显阻断了砂浆内热的传播路径,显著降低了砂浆的导热系数。另外,胶凝材料减少也导致导热系数的降低。随着骨料掺量的增加,砂的量增多使气凝胶砂浆的导热系数升高。

2.5 微观结构及分析

图 6(a)~图 6(e) 分别为骨料掺量为 50%, 55%, 60%, 65%, 70% 的气凝胶砂浆的电镜扫描 SEM。可以看出,骨料掺量为 60% 的气凝胶砂浆内部较密实,孔洞较少,裂缝相比于其他掺量的更少,从微观角度证明骨料掺量为 60% 的气凝胶砂浆强度较高,吸水率较低。之后随着骨料掺量的增加,裂缝逐渐变大,空洞变多,胶凝材料和气凝胶结合不密实。这是因为气凝胶具有较强的憎水性,与水泥结合较差,容易脱离结构,导致气凝胶砂浆整体性变差,强度变低,吸水率变大。骨料掺量为 60% 的气凝胶砂浆内部孔洞小而密实,之后的砂浆内部孔洞大,裂缝宽,因此导热系数变大。

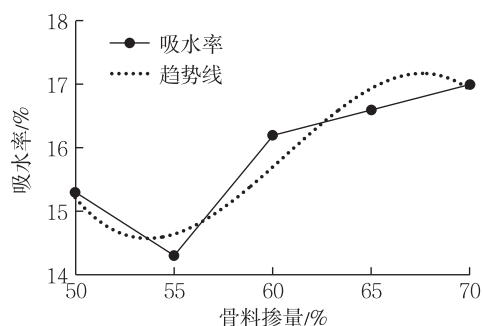


图 4 气凝胶砂浆的吸水率

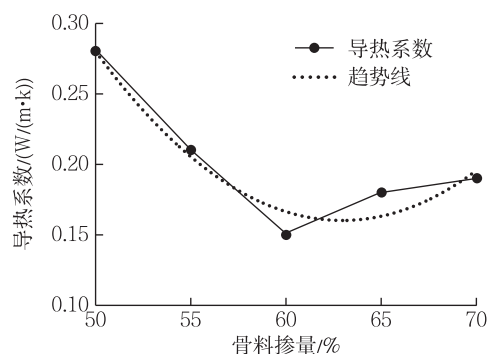


图 5 气凝胶砂浆的导热系数

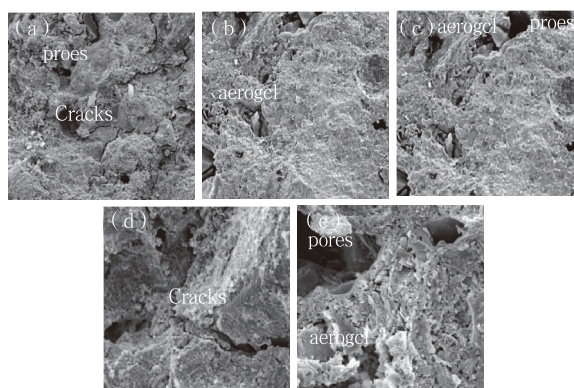


图 6 气凝胶砂浆 SEM 图

3 结论

试验研究了骨料掺量对气凝胶砂浆性能的影响,得到如下结论:

1)随着骨料掺量的增加,气凝胶砂浆的密度下降,抗压强度与抗折强度先上升后下降,吸水率和导热系数先下降后上升,当骨料体积达到 60%时,其密度下降到 $1\,243\text{ kg/m}^3$,28d 的抗压、抗折强度分别升至 9.14 MPa 和 3.14 MPa,吸水率上升至 16.6%,导热系数降至 $0.15\text{ W/(m}\cdot\text{k)}$ 。

2)骨料掺量为 50%,55%,60%,65%与 70%条件下,气凝胶砂浆的力学性能均达到保温砂浆要求。以导热系数和耐水性能为考核指标,最优的骨料掺量为 60%。

参考文献:

- [1]彭程,吴会军,丁云飞.建筑保温隔热材料的研究及应用进展[J].节能技术,2010(4):332-335.
- [2]王立久,孟多.有机相变材料的建筑节能应用和研究[J].材料导报,2009,23(1):97-100.
- [3]王晓婷.石膏装饰吸声板与矿物棉装饰吸声板对比分析趋势[J].工业技术,2012(11):73-74.
- [4]丁向群,张冷庆,鲁中举.膨胀珍珠岩保温材料的制备与性能[J].沈阳建筑大学学报,2014,30(1):121-125.
- [5]刘素芳,石磊,郑方园.聚苯乙烯泡沫塑料在建筑设计中的应用[J].塑料工业,2016,44(12):95-98.
- [6]杨凯,庞佳伟,吴伯荣,等.二氧化硅气凝胶改性方法及研究进展[J].北京理工大学学报,2009,29(9):834-837.
- [7]秦国彤,门薇薇,魏微,等.气凝胶研究进展[J].材料科学与工程学报,2005,23(2):294-296.
- [8]KIM S,SEO J. Chemical retreating for gelyped aerogel and insulation performance of cement containing aerogel[J]. Construction and Building Materials,2013,40:501-505.
- [9]姚梦佳,李春福,何俊波,等.隔热保温涂料的研究发展及应用[J].表面技术,2015,44(7):61-67.
- [10]RATKE L.Herstellung und eigenschaften eines neuen leichtbetons[J].Aerogel Betonund Stahlbetonbau,2008,103:236-243.
- [11]王飞,刘朝辉,邓智平,等.不同体积掺量的 SiO_2 气凝胶对砂浆性能的影响[J].功能材料,2016(4):64-68.
- [12]王欢,吴会军,丁云飞.气凝胶透光隔热材料在建筑节能玻璃中的研究及应用进展[J].建筑节能,2010(4):35-37.
- [13]郭金涛.硅气凝胶/玻化微珠复合保温砂浆研究[D].西安:长安大学,2011.
- [14]王飞,刘朝辉,叶圣天,等. SiO_2 气凝胶保温隔热材料在建筑节能技术中的应用[J].表面技术,2016,45(2):144-150.

(责任编辑:李艳)