

文章编号:1674-2869(2014)04-0039-06

磷石膏保温砂浆的制备

季家友,祝 云,徐 慢*,梁兴荣,王 亮,曹 宏,黄志杰

(武汉工程大学材料科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:为实现工业废渣磷石膏的再利用,将其预处理、煅烧(蒸压)制得建筑(高强)石膏,然后与水泥、硅灰一起作为胶凝材料,配合玻化微珠轻质骨料制备半水石膏基无机保温砂浆;以生石灰作为碱性激发剂,通过单因素实验,比较分析磷石膏含量、硅灰含量、骨胶比以及磷石膏处理工艺对砂浆抗压强度、导热系数、吸声等性能的影响.结果表明:经处理过的磷石膏(半水石膏)可直接作为胶凝材料使用,配制的保温砂浆最佳配合比(质量比)为磷石膏/水泥=0.80,骨胶质量比为 1:1,硅灰占胶凝材料总量的 20%;砂浆的导热系数 $\leq 0.054 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$,干表面密度 $\leq 0.35 \text{ g}/\text{cm}^3$,抗压强度 $> 0.3 \text{ MPa}$,达到了国家标准保温砂浆性能要求.

关键词:磷石膏;高强石膏;抗压强度;导热系数;无机保温砂浆

中图分类号:TU57+8.13

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.04.009

0 引 言

近 10 年来,节能环保成为建筑行业发展趋势的主线,干粉砂浆由于其高质量、高效率、经济效益好、环保的优点,得到迅猛发展^[1].无机干粉保温砂浆是以无机类轻质保温材料为轻骨料,再混合由胶凝材料和其他填充料(粉煤灰、矿渣、硅灰等)、添加剂(减水剂、发泡剂等)组成的干粉保温砂浆.研究表明这种以干粉砂浆为基础的无机干粉保温砂浆是一种新型保温节能砂浆材料^[2-3],具有节能、环保、保温隔热、耐老化的优异性能,并且价格低廉,有着广泛的市场需求.

分析保温干粉砂浆的要求和国内外发展现状^[4-5],秉承绿色环保^[6-7]废物利用的理念,利用固体废弃物磷石膏来制备磷石膏基保温干粉砂浆.磷石膏并非胶凝材料,但经处理后可变成胶凝材料,

研究其处理成胶凝材料后再制备成保温砂浆的可行性具有重大意义.本课题从建筑行业节能环保的角度出发,研究制备了半水石膏基无机保温砂浆,通过一系列单因素比较试验,对砂浆的性能(抗压强度、导热和吸声等)进行重点研究分析,并综合各方面考虑得出配制磷石膏保温砂浆最佳配合比.

1 实验部分

1.1 实验原料

宜化磷石膏,灰白色,相对密度 2.05~2.45 g/cm^3 ,其化学成分见表 1;市购水泥, P. O 42.5,其化学成分见表 2;宜昌硅灰,灰色,相对密度 2.1~2.3 g/cm^3 ;生石灰,有效氧化钙质量分数约 65%;河北廊坊玻化微珠,球状体细径颗粒;市购玻璃纤维,标准状态下抗拉强度 6.3~6.9 g/d ,密度 2.54 g/cm^3 ;胶粉.

表 1 磷石膏的化学成分

Table 1 Chemical composition of phosphorus gypsum

成分	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	SO_3	P_2O_5	F	CO_2	灼失	酸不溶物
$w/\%$	0.63	14.97	0.25	—	31.45	41.64	0.78	2.52	1.18	8.82	15.42

表 2 水泥的化学成分

Table 2 The chemical composition of cement

项目	$w(\text{SiO}_2)/\%$	$w(\text{MgO})/\%$	烧失量/ $\%$
内控范围	2.0~3.0	2.5~4.0	2.0~4.0
国标 GB175-1999	≤ 3.5	≤ 5.0	≤ 5.0

1.2 磷石膏的预处理及砂浆的制备

磷石膏预处理:称取一定量磷石膏经磨机粗粉碎,再用震击式振筛机获取直径 $\leq 0.3 \text{ mm}$ 的磷石膏粉末,60 $^\circ\text{C}$ 烘干至恒重.以 $m(\text{磷石膏}):m(\text{生石灰})=100:5$, $m(\text{磷石膏}):m(\text{水})=15:1$ 的比例称量后混合搅拌均匀,陈化 24 h ^[8],即完成了磷石

收稿日期:2014-02-26

作者简介:季家友(1983-),男,山东日照人,博士研究生.研究方向:节能新材料、环保新材料的开发与研究.

* 通信作者:徐 慢(1964-),男,湖北浠水人,研究员,博士研究生导师.研究方向:节能新材料、环保新材料的开发与研究.

膏预处理. 陈化结束后,置于烘箱中 160 ℃下 24 h 得 β 型半水石膏,研磨成粉,即为建筑石膏;置于蒸压釜中 135 ℃下 4.5 h,冷却至常温后于 105 ℃烘干得 α 型半水石膏研磨成粉,即为高强石膏.

砂浆制备:按配比(表 3、表 4、表 5)称取各原

料,干式搅拌 30 s,再按水胶比 1.5 称取水加入,湿搅拌 2 min,以 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm 砂浆试模,振动成型,水泥标准养护箱中养护 24 h 后拆模,再置于快速养护箱中养护 72 h,制备工艺流程图如图 1.

表 3 不同磷石膏处理工艺下各原料配比

Table 3 Ratio of each raw materials under different phosphogypsum process

编号	$m(\text{磷石膏})/m(\text{水泥})$	磷石膏		$w(\text{水泥})/\%$
		$w(\text{煅烧磷石膏})/\%$	$w(\text{蒸压磷石膏})/\%$	
A1	0.50	15	0	30
A2		0	15	30
A3		20	0	25
A4	0.80	0	20	25
A5		25	0	20
A6		0	25	20
A7	1.50	30	0	15
A8		0	30	15

注:其中其它原料质量分数不变,为硅灰 5%、玻化微珠 43%、玻璃纤维 2%、胶粉 5%、生石灰 2%.

表 4 不同硅灰含量下各原料配比

Table 4 Ratio of each raw materials under different silica fume content

编号	$w(\text{煅烧磷石膏})/\%$	$w(\text{水泥})/\%$	$w(\text{硅灰})/\%$	硅灰在胶凝材料中质量分数/%
B1	20	25	5	10
B2	20	20	10	20
B3	20	15	15	30

注:其它原料质量分数同表 3.

表 5 不同骨胶比下各原料配比

Table 5 Ratio of each raw materials under different bone glue

编号	骨胶质量比	胶凝材料			$w(\text{玻化微珠})/\%$
		$w(\text{煅烧磷石膏})/\%$	$w(\text{水泥})/\%$	$w(\text{硅灰})/\%$	
C1	0.86 : 1	20	25	5	43
C2	1 : 1	18.6	23.25	4.65	46.5
C3	1.2 : 1	16.92	21.15	4.23	50.73

注:其中 $m(\text{磷石膏})/m(\text{水泥})=0.80$,其它原料质量分数同表 3.

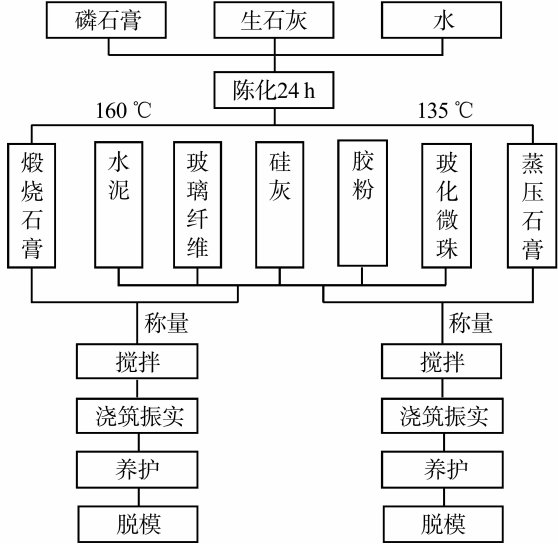


图 1 砂浆制备工艺流程图

Fig. 1 Flow diagram of slurry preparation process

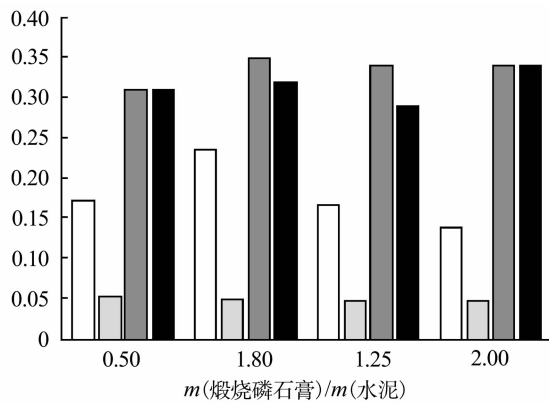
1.3 性能测试

试块的抗压强度、吸水率、干表面密度、堆积密度按照 JGJ/T70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》^[9],并参考 GB/T 9776-2008《建筑石膏》^[10]进行测试;砂浆试块的导热系数采用热流法测量;吸声系数采用 JTZB 吸声系数测试系统测量.

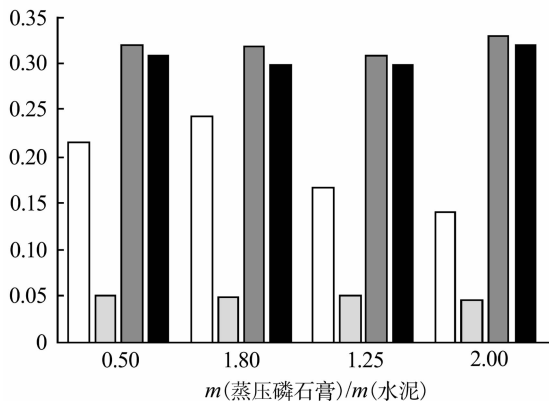
2 结果与讨论

2.1 磷石膏含量的影响

不同石膏及不同石膏含量的砂浆性能测试结果如图 2 所示.



(a) 煅烧磷石膏砂浆性能



(b) 蒸压磷石膏砂浆性能

图2 磷石膏含量对砂浆性能影响的结果

Fig. 2 The result of phosphorus gypsum on performance of mortar

注: □ 抗压强度/MPa; □ 导热系数/[W/(m·k)];
■ 干表面密度/(g/cm³); ■ 堆积密度/(g/cm³)

表6 煅烧磷石膏砂浆的吸声系数与吸水率

Table 6 The sound absorption coefficient of the calcined phosphogypsum slurry and water absorption

项目 $m(\text{煅烧磷石膏})/m(\text{水泥})$	吸声系数			平均吸声系数	平均吸声系数	平均吸水率/%
	200 Hz	250 Hz	315 Hz			
0.50	0.16	0.16	0.20	0.17	0.16	138
	0.13	0.14	0.17	0.15		
0.80	0.12	0.14	0.18	0.15	0.14	130
	0.10	0.12	0.17	0.13		

2.2 硅灰含量的影响

在胶凝材料总量不变的情况下,不同硅灰含量砂浆的性能测试结果列于表7中.由表7可知硅灰含量不同的砂浆,干表面密度、导热系数及堆积密度并无明显变化.随着硅含量的增加,砂浆抗压强度先增后减.硅灰主要成分为 SiO_2 ,随着硅灰含量增加,砂浆的密实度增加,理论上抗压强度也增加.但由于硅灰的比表面积大,硅灰掺量增加,需水量也增加.在相同用水量条件下,硅灰掺量多时,相对用水量偏少,不利于其水化,使强度降低,同时还会增加砂浆的收缩.为了确保砂浆的

由图2可见随着煅烧(蒸压)石膏/水泥的百分含量的增大,砂浆试块导热系数无明显变化,干表面密度与堆积密度变化较小且两者基本相同.这是由于配方中玻化微珠质量分数为43%,其内部多孔、表面玻化封闭的特性,赋予了它绝对轻质绝热特性,对砂浆的密度、导热系数起到了决定作用^[11].结果也表明砂浆导热系数达到了隔热保温型玻化微珠砂浆的标准,其堆积密度和干表面密度也基本达到国家保温材料标准.

从图中还可看出,随着煅烧(蒸压)石膏/水泥百分含量增大,砂浆抗压强度先增后减,在煅烧 $m(\text{蒸压石膏})/m(\text{水泥})$ 比为0.80时,抗压强度最大.由于石膏的吸水量比水泥大,实验中水胶比不变,若煅烧(蒸压)石膏相对含量少,便有较多水“剩余”,相当于水胶比变大,砂浆强度变小;相反,若煅烧(蒸压)石膏相对含量太多,建筑石膏可能完全水化成二水石膏,导致砂浆的强度变小,故只有条件适当,砂浆才能获得较理想的综合性能,即: $m[\text{煅烧(蒸压)(石膏)}]/m(\text{水泥})$ 为0.80.

由表6知,频率为315 Hz时吸声系数达到0.2,表明材料吸声隔声性能好;砂浆吸水率 $W(0.50)=138\%$ 、 $W(0.80)=130\%$,说明砂浆开口孔隙多;随着煅烧磷石膏/水泥比值的增大,砂浆的吸声系数减小,即:吸声性能降低.

综合性能,本实验中硅灰占胶凝材料总量的20%为最佳.

2.3 骨胶比的影响

不同骨胶比的砂浆性能测试结果列于表8.由表8可知,随着骨胶比增大,砂浆导热系数无显著变化,干表面密度、堆积密度均略微减小.影响砂浆干表面密度、堆积密度的主要因素是轻质骨料玻化微珠所占百分含量.随着骨胶比增加,砂浆抗压强度先增后减,吸水率一直增大.综合考虑砂浆的性能,选定最佳骨胶质量比为1:1.

表 7 不同硅灰在胶凝材料中的含量对砂浆性能影响的结果

Table 7 Different content of silica fume in gelled material influence on mortar performance results

硅灰在胶凝材料中的质量分数	抗压强度/MPa	导热系数/[W/(m·k)]	堆积密度/(g/cm ³)	干表面密度/(g/cm ³)
10%	0.235	0.049	0.32	0.35
20%	0.307	0.050	0.31	0.33
30%	0.113	0.048	0.29	0.33

表 8 不同骨胶比对砂浆性能影响的结果

Table 8 The effect of different bone glue ratio on mortar performance

骨胶质量比	抗压强度/MPa	导热系数/[W/(m·k)]	堆积密度/(g/cm ³)	干表面密度/(g/cm ³)	吸水率/%
0.86 : 1	0.235	0.049	0.32	0.35	118.86
1 : 1	0.28	0.050	0.31	0.33	124.08
1.2 : 1	0.20	0.047	0.30	0.32	128.37

2.4 磷石膏处理工艺的影响

由前面结果分析可知两种工艺对砂浆性能的主要影响在于砂浆的抗压强度,如图 3 所示。

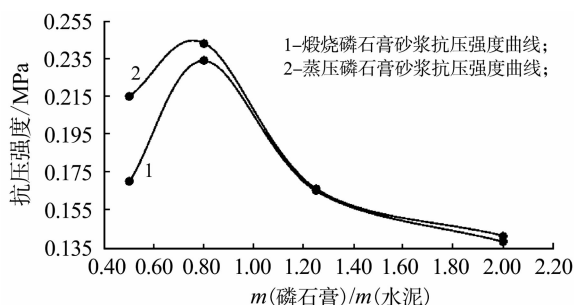


图 3 磷石膏处理工艺对砂浆抗压强度影响的结果

Fig. 3 Effect of phosphogypsum process on compressive strength of mortar

图中的数据显示蒸压磷石膏砂浆的抗压强度比煅烧磷石膏大,且前者抗压强度基本达到了隔热保温型玻化微珠砂浆的墙体所用强度(0.2 MPa)。

两种半水石膏水化机理一样,即半水石膏加水水化成二水石膏,主要区别在于两种半水石膏本身性质。建筑石膏(β 型半水石膏)是二水石膏在常压下加热到 107~170 °C 时脱水而得,结晶较细,分散度高,强度较低,用其制备的砂浆强度也较低;高强石膏(α 型半水石膏)是二水石膏在 0.13 MPa、120~140 °C 的饱和水蒸气条件下的蒸压釜中蒸炼脱水而得,结晶较粗,比表面积较小,调成石膏浆体的可塑需水量很小,约为 35%~45%,因而硬化后孔隙率小,具有较高的强度(7 天可达 40 MPa)和密实度^[12]。另一方面,相同条件下 α 型半水石膏总的比表面积小,所需用水量少,因而有更多的水分供给来使水泥水化。由于水泥水化产物强度高,使得砂浆强度增加。综合可知,蒸

压磷石膏砂浆在同等条件下具有的抗压强度较煅烧磷石膏高,但是并不明显;另一方面,从能量方面来考虑,蒸压磷石膏耗能高,不符合现今节能环保的发展趋势,所以选用煅烧磷石膏作为胶凝材料使用。

3 结 语

a. 磷石膏可作为胶凝材料制备保温砂浆;

b. 磷石膏保温砂浆最佳配合比为: m (磷石膏)/ m (水泥)=0.80,骨胶质量比为 1 : 1,硅灰占胶凝材料总量的 20%,选用煅烧磷石膏作为胶凝材料使用。

致 谢

本研究工作得到了课题组王树林老师、沈凡老师和师兄赵静的帮助,在此衷心表示感谢!

参考文献:

- [1] 吴晓彤,张雪芹. 建筑干粉砂浆的生产及应用[J]. 新型建筑材料,2002,6(7):13-15.
WU Xiao-tong, ZHANG Xue-qin. The production and application of building mortar powder[J]. New Building Materials,2002,6(7):13-15. (in Chinese)
- [2] 周强,马敬春,肖力光. 新型节能保温砂浆的试验研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版,2008,30(4):93-96.
ZHOU Qiang, MA Jing-chun, XIAO Li-guang. Tests and studies on a new energy-saving insulation mortar [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 30(4): 93-96. (in Chinese)

- [3] 桑国臣. 节能环保型保温材料的研制[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004:2-3,47-48.
SANG Guo-chen. Study of the environment proteding and energy saving insulating materials [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2004:2-3,47-48. (in Chinese)
- [4] 赵立群,樊钧. 干混砂浆生产与应用技术研究[C]//第三届中国国际建筑干混砂浆生产应用技术研讨会论文集. 北京:中国建筑协会材料分会预拌砂浆推广委员会,2008:69-75.
ZHAO Li-qun,FAN Jun. Dry mortar production and application technology research[C]//The third China international construction dry mortar production technology symposium proceedings,2008:69-75. (in Chinese)
- [5] Dietrich U,Mayer T. Dry mortar formulations modified with water-redispersible polymer powders;U. S. Patent 6,709,508[P]. 2004-03-23.
- [6] 祝频. 论绿色建材及其评价标准[J]. 广东建材,2004,8:66-67.
ZHU Pin. The theory of green building materials and its evaluation standard[J]. Guangdong Building Materials,2004,8:66-67. (in Chinese)
- [7] 刘小力,高忠民,唐飞勇. 磷石膏充填采矿技术应用及经济环境效益评价[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(3):107-110.
LIU Xiao-li,GAO Zhong-min,TANG Fei-yong. Application of phosphorous gypsum for cut and fill mining method and evaluation of its economic and environmental profits[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology,2011,33(3):107-110. (in Chinese)
- [8] 傅忠益. 磷石膏制轻质保温墙体材料的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2007.
FU Zhong-yi. Study of phosphogypsum producing lightweight and heat preservation wall material[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology,2007. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 70-2009 建筑砂浆基本性能试验方法标准 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [10] 全国轻质与装饰装修建筑材料标准化委员会. GB/T 9776-2008 建筑石膏[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [11] 邱小华. 玻化微珠无机建筑保温砂浆的研制 [D]. 昆明:昆明理工大学,2008.
QIU Xiao-hua. The application research on inorganic thermal insulating mortar glazed hollow bead for buildings [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology,2008. (in Chinese)
- [12] 魏小胜,严捍东,张长青. 工程材料[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2008:60-64.
WEI Xiao-sheng,YAN Han-dong,ZHANG Chang-qing. Engineering materials [M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press,2008:60-64. (in Chinese)

Preparation and characterization of phosphogypsum thermal insulation mortar

JI Jia-you, ZHU Yun, XU Man, LIANG Xing-rong, WANG Liang, CAO Hong, HUANG Zhi-jie

(School of Material Science and engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To utilize phosphogypsum industrial waste residue, the high-strength building gypsum prepared by pretreatment and calcination (autoclave) was used for cementitious materials with cement and silica fume. This cementitious materials with glazed hollow bead were used for preparing inorganic thermal mortar, while quick lime was alkali-activator. The effects of content of phosphorus gypsum and silica fume, bone-glue ratio and preprocessed technology of phosphogypsum on compressive strength, thermal conductivity, sound absorption coefficient of thermal mortar were analyzed by single factor experiment. The results show that the phosphogypsum after pretreatment can be used as cementitious materials directly; the optimum proportion of thermal mortar is phosphogypsum/cement = 0.80, aggregate/cementing material = 1, and silica fume/cementitious materials = 0.20. Under this condition, the thermal conductivity and the dry apparent density of thermal mortar are less than 0.054 W/(m · K) and 0.35 g/cm³ respectively, and the compressive strength is more than 0.3 MPa, which meets government standard of thermal mortar.

Key words: phosphorus gypsum; high-strength gypsum; the compressive strength; coefficient of thermal conductivity; inorganic insulation mortar

本文编辑: 龚晓宁



(上接第 38 页)

Surface coating of strontium magnesium silicate phosphor

HUANG Zhi-liang, XIA Hao-fu, WANG Hong-quan, HU Ming-wei,

ZHAN Gang, XIA Jun-jie, LI Bo, ZHANG Zhan-hui

(School of Material and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The aluminum sol was prepared using the aluminium isopropoxide as the starting material. A sol-gel method utilizing heterogeneous nucleation mechanism of phosphor in the aluminum sol was adopted to coat an alumina layer on the surface of strontium magnesium silicate long persistence phosphors. The crystal phases, surface morphologies, luminescent properties and thermal stability of coated phosphors were investigated and the influences of different coating amount on afterglow property and heat treatment temperature on phosphor were analyzed. The results show that it is successful to coat a well-distributed and compact aluminum layer on the surface and the coat process does not change the crystal structure of phosphor; the initial afterglow brightness of samples has a decrease tendency with the increase of coating amount; afterglow brightness appears a minimum drop and luminous intensity decreases about 10% when the coating amount is 8%; the afterglow brightness turns gradually attenuate as the rise of the heat treatment temperature; the decay brightness of uncoated sample is 0.24 and the coated is about 0.1 at 900 °C. So surface coating improves the luminescence properties of strontium magnesium silicate phosphor

Key words: strontium magnesium silicate phosphor; coating; luminescence properties; heat resistance

本文编辑: 龚晓宁