

改性 EPS 保温砂浆配合比及性能试验研究

孙钢柱

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 国家建筑节能标准的提高对传统的外墙保温材料提出了更高要求. 为了改善外墙保温材料的保温性能和物理力学性能, 通过向保温粘结砂浆中掺加亲水性聚苯颗粒(EPS)等材料, 针对不同配合比的改性 EPS 保温砂浆进行试验研究, 确定了改性 EPS 保温砂浆的最优配合比. 试验研究表明: 在传统保温砂浆中掺加改性材料, 可在满足保温砂浆粘接性能的基础上, 改善砂浆的导热系数和软化系数, 达到外墙永久性保温砌模材料各项性能指标要求, 并满足国家关于寒冷地区节能 65% 的相关标准对材料保温性能的要求.

关键词: 聚苯颗粒; 保温砂浆; 性能; 配合化

中图分类号: TU55

文献标志码: A

0 引言

聚苯颗粒(简称 EPS 颗粒)是由废弃的聚苯乙烯塑料经加工而成, 颗粒密度非常低, 热工性能好; 聚苯颗粒保温砂浆是聚合物砂浆里面掺加一定比例的聚苯颗粒及其他材料, 可直接抹在外墙外表面, 形成无空腔保温层, 整体性和保温隔热性能好, 粘接力强^[1]. 但是随着国家关于节能 65% 的相关标准的实施, 对外墙保温性能要求也进一步提高, 若继续采用传统外墙保温工法, 必将加大保温层厚度, 从而引起开裂、空鼓等质量问题. 如果对 EPS 保温砂浆进行改进, 在保证保温效果情况下, 提高强度和耐久性, 作为现浇结构的保温砌模, 做到承重-保温一体化, 砌模材料形成永久性复合保温墙体, 既保证了外墙保温效果, 又减少了模板劳动量和混凝土养护成本, 同时会大大提高外墙保温寿命. 笔者从此角度出发, 通过试验研究, 寻找物理力学性能和保温性能优良的改性 EPS 保温砌模材料, 并确定其配比组成.

1 试验概况

1.1 主要原材料

作者采用的原材料如下:

(1) 水泥, 采用郑州上街铝厂水泥厂生产的 P.O 32.5 水泥;

(2) 聚苯乙烯泡沫(EPS), 采用郑州工大建材有限公司生产 EPS1 和 EPS2, 容量分别为 19, 22 kg/m³, 粒度分别为 1.5, 3.0 mm;

(3) 胶粉, 采用德国生产的瓦克胶粉 A, 以及国产的 B、C 和 D 等 3 种不同的胶粉;

(4) 保水剂, 采用国产的高分子保水剂 E^[2].

1.2 保温砂浆的性能测试方法

1.2.1 保温砂浆的物理性能试验

本保温砂浆的湿容重指标按照 JC 158—2004《胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统》测定, 稠度、保水性等指标, 参照 JGJ/T 70—2009《建筑砂浆基本性能的实验方法》测定.

1.2.2 保温砂浆的力学性能试验

(1) 抗压强度, 参照 JGJ/T 70—2009《建筑砂浆基本性能的实验方法》进行, 试件规格 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm.

(2) 粘结强度, 参照 JC/T 547—2005《陶瓷墙地砖胶粘剂》的压剪粘结强度试验方法进行. 文中的粘结强度均为 14 d 压剪粘结强度.

1.2.3 砂浆的热工性能测定

参照 JGJ 51—90《轻集料混凝土技术规程》进行. 试件规格: 厚试件(200 mm × 200 mm × 80 mm). 试件养护至 28 d, 烘干至恒重, 将表面磨平, 使用 JW-Ⅲ 热流计式导热仪, 用脉冲法测定 EPS 保温砂浆的导热系数.

收稿日期: 2011-05-14; 修订日期: 2011-05-28

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(102102210377); 河南省新型墙材专项基金资助项目(2150304)

作者简介: 孙钢柱(1970-), 男, 河南濮阳人, 郑州大学高级工程师, 博士研究生, 主要从事建筑节能及工程检测技术方面的研究, E-mail: gzsun@zzu.edu.cn.

1.2.4 砂浆的耐水性试验

砂浆的吸水率和软化系数参照 JGJ 51—90《轻集料混凝土技术规程》测定,试件规格 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm. 28 d 后,在 50℃ 的烘箱里烘干至恒重,取 3 块试块做抗压强度试验,确定其平均值 f_0 ; 然后称其总重量,确定平均值 m_0 ; 再将试件放入水中(水温为 20±5℃)浸泡 48 h 后,将试块取出,擦干,称重,确定其重量,并确定平均值 m_n 后,即进行抗压强度实验,确定其强度平均值 f_1 . 砂浆 30 d 的吸水率和软化系数分别按下面两式进行计算:

$$W_{sat} = \frac{m_n - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_{sat} 为饱和吸水率; m_0 为砂浆烘干后的质量, g; m_n 为砂浆经 48 h 吸湿后的质量, g.

$$\Psi = \frac{f_1}{f_0} \quad (2)$$

式中: Ψ 为软化系数; f_0 为绝干状态砂浆的抗压强度; f_1 为吸水饱和状态砂浆的抗压强度.

2 聚苯颗粒保温砂浆配比的研究

2.1 聚苯颗粒保温砂浆的基本配合比的确定

为了配制出较低容重等级的保温砂浆,本试验使用容重为 20 kg/m³ 的 EPS 颗粒. 因为不同粒径的 EPS 颗粒在混合时具有一定级配是降低 EPS 颗粒空隙率的有效手段^[3]. 因此,试验采用粒度等级分别为 1.5 mm 与 3.0 mm 的两种 EPS 颗粒按 1:1 的体积比进行配制.

由于 EPS 颗粒是憎水性的,为了提高 EPS 与水泥浆体之间的粘结力,利于拌制和成型,故要加入胶粉. 同时为保证砂浆有较好的和易性,要加入适量的保水剂来提高砂浆的保水性,将砂浆稠度控制在 80~90 mm 左右. 通过大量试验分析,确定了干容重分别为 250~500 kg/m³、级差为 50 kg/m³ 的 6 种保温砂浆的水泥与 EPS 颗粒的单方基本用量,详见表 1.

表 1 不同容重 EPS 保温砂浆的初步配合比

Tab.1 Initial proportion design of EPS insulation mortar with different bulk densities

干容重/(kg·m ⁻³)	水泥质量/kg	EPS 体积/m ³
250	180	0.85
300	210	0.85
350	240	0.85
400	270	0.85
450	300	0.85
500	330	0.85

根据 GB/T 20473—2006《建筑保温砂浆》要求,建筑保温砂浆分为 I、II 两种类型,干容重在 240~300 kg/m³ 间的为 I 型,在 301~400 kg/m³ 间的为 II 型. 但是由于强度会随容重增加而增加,为了满足工程对强度的要求,增加了大于 400 kg/m³ 两种情况,以观察其性能是否适合现浇砼的保温砌模材料^[4-5].

为增强试验结果的可比性,笔者在胶粉对保温砂浆性能影响试验中均取干容重为 300 kg/m³ 的保温砂浆基本用量作为试验对比基础.

2.2 不同种类胶粉对保温砂浆性能影响比较

由于 EPS 颗粒为憎水性高分子材料,要解决其表面的润湿性问题,使其与水泥浆体的粘结紧密,掺入胶粉是有效手段之一. 为了提高保温砂浆的性能,取 A、B、C 和 D 4 种不同胶粉进行力学讨论,以确定效果最好的胶粉种类. 这里以干容重为 300 kg/m³ 的保温砂浆进行试验,基本配合比(以单方用量计): 水泥 210 kg, EPS 颗粒 17.0 kg, 保水剂 E 1.0 kg, 控制稠度在 80~90 mm 之间. 为实现试验结果的可比性,各种胶粉的单方用量均确定为 6 kg,试验结果见图 1.

图 1 表明,4 种胶粉压剪强度均远高于 GB/T 20473—2006《建筑保温砂浆》规定的不小于 50 kPa 的要求,且使用胶粉 C 的砂浆 14 d 压剪粘结强度最高. 而且试验中发现,使用胶粉 C 的砂浆和易性最好,自动化成型性很好. 所以,确定使用胶粉 C 来提高保温砂浆的粘结性能.

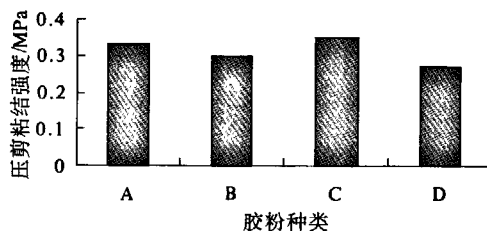


图 1 胶粉种类与压剪粘结强度的关系

Fig.1 Relationship between different types of rubber powder with their own intensity of compressive shearing and felting

2.3 胶粉 C 掺量对砂浆性能的影响

胶粉掺量将直接影响保温砂浆的和易性及力学性能. 掺量过少,达不到使用效果;掺量过多不经济. 所以必须通过实验来确定胶粉的适宜掺量. 与不同容重保温砂浆相对应的胶粉最佳掺量不同. 这里针对干容重为 300 kg/m³ 的保温砂浆来确定胶粉 C 的最佳掺量. 取定实验的基本配合比(以单方用量计): 水泥 210 kg, EPS 颗粒 17.0 kg,

保水剂 E 1.0 kg. 为方便起见,胶粉的掺量均以单
方用量计,试验结果见表 2.

表 2 胶粉 C 掺量对容重 300 kg/m³砂浆性能影响
Tab.2 Influence of dosage of rubber powders
C on properties of mortar (300 kg/m³)

编号	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
单方用量/kg	3	4	5	6	7
稠度/mm	85	84	81	83	84
28 d 抗压强度/MPa	0.80	0.80	0.82	0.85	0.86
压剪粘结强度/MPa	0.22	0.25	0.32	0.35	0.37
饱水压剪粘 结强度/MPa	0.22	0.23	0.30	0.34	0.36
和易性	稍差	较好	好	好	好

从表 2 可以看出:

(1)对于干容重为 300 kg/m³的砂浆组,最初
胶粉 C 掺量很少情况下,砂浆呈分散状态,拌制
时粘性很差,且水泥浆体不能将 EPS 颗粒完全包
裹,达不到自动化成型的要求;

(2)随着胶粉 C 掺量的逐渐增加,砂浆的和
易性逐步得到改善,当胶粉用量达到 5~6 kg/m³
时,砂浆的粘聚性已经可以达到自动化成型的要求
,工作性能已表现得较为优越;

(3)就力学性能而言,从整体趋势来讲,随着
胶粉 C 掺量的增加,砂浆的抗压强度及压剪粘
结强度均有所上升,说明砂浆的粘聚性能得到逐步
改善,砂浆的饱水压剪粘结强度也随着胶粉 C 掺
量的增加而整体有所提高.

综合以上分析得出,对于容重为 300 kg/m³
的砂浆,胶粉 C 的单方最佳用量为 5~6 kg/m³.

2.4 保水剂对保温砂浆的改性作用

为了使配制的保温砂浆达到适宜的稠度,满
足自动化成型要求,需要加入较多的水,但由于
EPS 颗粒为憎水性的,很难保证保温砂浆达到自
动化成型所要求的稠度. 同时在自动化成型过程
中,由于水泥与 EPS 颗粒之间的容重相差较大,
泌水和离析现象就不可避免地出现,严重影响保
温砂浆的使用性能^[6]. 因此,加入保水剂是解决
保温砂浆保水性的主要途径,保水剂掺量也将影
响保温砂浆的和易性和力学性能,必须通过试验
方法来确定最佳用量.

试验中采用高分子保水剂 E,以容重为 300
kg/m³的 EPS 保温砂浆为基础来确定保水剂的最
佳掺量. 试验以单方用量计:水泥 210 kg, EPS 颗
粒 17.0 kg,胶粉 C 5 kg. 保水剂的掺量对保温砂
浆性能影响的实验结果见表 3.

表 3 保水剂 E 不同掺量对保温砂浆性能的影响
Tab.3 Influence of dosage of super absorbents
E on properties of insulation mortar

性能	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
单方用量/kg	0	0.5	1.0	1.5	2.0
稠度/mm	81	84	81	83	84
分层度/mm	10	7	4	2	2
28 d 抗压强度/MPa	0.82	0.79	0.75	0.74	0.70
压剪粘结强度/MPa	0.32	0.25	0.26	0.25	0.25
饱水压剪粘 结强度/MPa	0.30	0.23	0.23	0.24	0.26
和易性	极差	差	好	很好	很好

由表 3 得到采用不同掺量的保水剂 E 配制
的 EPS 保温砂浆的性能变化规律:

(1)不掺保水剂时,保温砂浆的保水性极差,
泌水率极大,分层度大,和易性极差,根本不能用于
工程自动化成型;而加入保水剂 E 时,保温砂
浆的分层度变化非常显著;随着保水剂 E 的掺
量的增加,在稠度基本一致的情况下,保温砂浆
的分层度呈下降趋势. 当保水剂 E 的单方用量
达到 1.5 kg 以上时,砂浆的分层度达到最低,并
成为定值,这说明保水剂的加入大大改善了保
温砂浆的稳定性,降低砂浆产生离析和分层的
几率.

(2)随着保水剂 E 的掺量的增加,保温砂浆
的和易性逐步得到提高. 与基准砂浆相比,加入保
水剂 E 后,砂浆的粘聚性得到很大的改善,但是
随着保水剂 E 的掺量的增加,砂浆的抗压强度、
压剪粘结强度和饱水压剪粘结强度大致上都呈下
降的趋势,而且抗压强度下降幅度最大.

综合以上分析得出,保水剂 E 的最佳单方用
量为 1.5 kg 左右.

3 聚苯颗粒保温砂浆性能研究

3.1 EPS 保温砂浆的基本物理力学性能

保温砂浆用于自动化成型,首先应具有良好的
和易性,这是保证其能够进行自动化生产的首要
条件^[7]. EPS 保温砂浆的和易性通过流动性和
保水性来衡量;对于其粘聚性,由于其中掺加有一
定量的胶粉 C 和保水剂 E,所以其粘聚性得到很
大提高. 对不同容重 EPS 保温砂浆的基本物理力
学性能的测定结果见表 4.

从表 4 可以看出:

(1)当 EPS 保温砂浆稠度控制在 85 mm 左右
时,分层度可控制在 10 mm 内,说明其保水性良好;

(2)当 EPS 保温砂浆的稠度在 85 mm 时,分层度和抗压强度同时达到最优值;

(3)EPS 保温砂浆具有良好的力学性能。

表 4 EPS 保温砂浆基本物理力学性能

Tab.4 Basic physical properties of EPS insulation mortars

保温砂浆容重/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	稠度/mm	分层度/mm	28 d 抗压强度/MPa
250	85	12	0.55
300	80	10	0.75
350	84	8	0.80
400	86	7	0.95
450	87	6	1.02
500	82	4	1.20

3.2 EPS 保温砂浆的粘结强度

为了与混凝土基层材料粘结牢固,保温砂浆要具有较高的压剪粘结强度,以保证长期不脱落。笔者测试了不同干容重 EPS 保温砂浆 14 d 压剪粘结强度,具体测定结果见图 2。

图 2 表明,压剪粘结强度随干容重的增加而增加,基本呈线型关系。不同容重的 EPS 保温砂浆均具有较高的压剪粘结强度,而且破坏时,是从浆层中间断开的,说明 EPS 保温砂浆与水泥基材料粘结是非常牢固的,在正常情况下不会出现脱落现象。

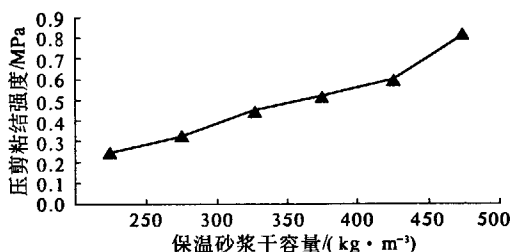


图 2 保温砂浆干容重与其压剪粘结强度的关系

Fig.2 Relationship between insulation mortar's drybulk density and intensity of compressive shearing and felting

3.3 EPS 保温砂浆的耐水性研究

保温砂浆如果耐水性太低,必然影响粘结强度和热工性能。保温砂浆耐水性通过吸水率和软化系数来衡量的,表 5 给出了不同容重的 EPS 保温砂浆在自然状态下的吸水率及软化系数。

从表 5 可知不同容重的 EPS 保温砂浆吸水率较接近,且有较高的软化系数,说明不同容重 EPS 保温砂浆均具有较强的耐水性能,能够满足用于保温砌模材料的要求。

表 5 EPS 保温砂浆耐水性试验结果

Tab.5 Results of EPS insulation mortar's water tolerance test

砂浆干容重/吸水率/软化 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	%	系数	砂浆干容重/吸水率/软化 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	%	系数
250	12.5	0.715	400	12.2	0.775
300	12.5	0.780	450	12.2	0.798
350	12.4	0.730	500	12.3	0.855

3.4 EPS 保温砂浆的热工性能

用于保温砌模材料的 EPS 保温砂浆必须具有良好的保温隔热性能,不同容重保温砂浆的导热系数的测定结果见表 6。

表 6 EPS 保温砂浆导热系数的测定

Tab.6 Determination of EPS insulation mortar's thermal conductivity

砂浆干容重/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	250	300	350	400	450	500
导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	0.055	0.056	0.058	0.075	0.101	0.110

表 6 表明:不同容重 EPS 颗粒保温砂浆的热工性能均较好;而且随着容重的增大,其导热系数也随之增大,热工性能降低。因此,在保证 EPS 保温砂浆力学性能前提下,应尽量应用低容重聚苯颗粒保温砂浆,以便取得更好的节能效能。

4 结论

(1)改性 EPS 保温砂浆具有良好的和易性与粘聚性,可以满足自动化成型的要求;

(2)改性 EPS 保温砂浆具有很高的粘结强度,正常情况下,不会出现与水泥基层脱落现象;

(3)改性 EPS 保温砂浆吸水率很低,软化系数较高,满足保温砌模材料的要求;

(4)改性的 EPS 保温砂浆具有良好的保温隔热性能。容重为 300 kg/m^3 的 EPS 保温砂浆的导热系数为 $0.056 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,将 20~40 mm 厚的此种 EPS 保温砂浆与 20 mm 厚的高强度水泥基材料复合得到的保温砌模材料,完全满足目前寒冷地区节能 65% 标准规定的外墙传热系数不高于 $0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的要求^[8]。

参考文献:

- [1] 黄振利,张盼. 固体废弃物在外墙外保温中的利用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007:56-57.

(下转第 23 页)

Application of PIV Technique to Research on Sand Deformation Around Plate Anchors

ZHANG Xin^{1,2}, YUE Jin-chao¹, LIU Han-dong²

(1. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Institute of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The research on the sand deformation around an uplifting anchor is conducted based on the PIV. The images are divided into small patches. The digital cross-correlation method is used to search for the best matching between these small patches and the sand displacement field around plate anchor at peak point is obtained. The sand displacement is characterized as large movement above the anchor but small movement at the sides of the anchor. The measured maximum sand displacement by PIV is consistent with the anchor displacement measured by LVDT. The shear strain field shows that the symmetric shear zones tangent with the anchor side and inclining upward to the surface are shaped. The angle of the shear bands with the vertical is about 18° , which is consistent with other researchers' results. The results show that PIV measurement can better measure the sand displacement around the plate anchor during anchor uplifting at any time. The shear bands distribution and shear strain can also be deduced. These results are of great significance for the quantitative analysis of deformation and failure of anchor plate.

Key words: plate anchor; deformation field; PIV

(上接第10页)

- | | |
|--|--|
| [2] 杨淑慧,孙钢柱,高丹盈,等.矿渣微粉对复合纤维混凝土抗压性能的影响[J].施工技术,2009(6):73-75. | [6] 高晓冰,杨晓光,赵彦芳.外墙筑保温技术与节能材料[J].粉煤灰综合利用,2006,(3):46-47. |
| [3] 莫磊.新型保温节能复合墙体研究[D].石家庄:河北工业大学土木工程学院,2003. | [7] 彭家惠,韩舜,张建新,等.聚合物纤维对聚苯乙烯颗粒保温砂浆性能的影响[J].重庆建筑大学学报,2008,30(2):135-137. |
| [4] CECS 194:2006,聚苯模板混凝土结构技术规程[S]. | [8] JGJ 26—2010.严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准[S]. |
| [5] GB/T 20473—2006,建筑保温砂浆[S]. | |

Mix Proportion and Performance of Modified EPS Thermal Insulating Mortar

SUN Gang-zhu

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The improvement of building energy standard presents more requirement for traditional external wall thermal insulating material in China. In order to improve the thermal and mechanical properties of thermal insulating material, hydrophilic expandable polystyrene granules was added to thermal insulating material, which is called modified EPS thermal insulating mortar. Then experimental investigation was conducted on modified EPS thermal insulating mortar with different mix proportion of hydrophilic expandable polystyrene granules. Finally, the optimum mix proportion of modified EPS thermal insulating mortar was achieved. The experimental results indicate that: the thermal conductivity and softening coefficient of thermal insulating mortar can be improved by adding modified material to traditional thermal insulating mortar. The modified EPS thermal insulating mortar can not only meet the requirements of external wall perpetual thermal insulating material, but also satisfy the requirements of thermal insulation property in Chinese cold area.

Key words: expandable polystyrene granule; thermal insulating mortar; qproperty; mix proportion