

纤维改性硫氧镁基仿木保温材料性能研究

许浩锋, 翟灵杰, 胡 凯, 刘静涵, 陈邦玺, 巴明芳*

(宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了提高硫氧镁基仿木保温材料的各项性能, 分别研究了相同长度的聚丙烯纤维(PPF)、聚乙烯醇纤维(PVAF)、玻璃纤维(GF)对其性能的影响. 结果表明: 随着纤维掺量的增加, 硫氧镁基仿木保温材料的流动性有所降低; GF 对其抗压抗折强度的提高效果最明显, 其中 GF 掺量为 $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时早期抗压强度最高, PVAF 掺量为 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时早期抗压强度最高; PPF 明显提高了硫氧镁基仿木保温材料的耐水性, 其掺量为 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时软化系数最大, 而 GF 掺量在 $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 浸水软化系数稍高于未加纤维的对比试件; 掺加 PVAF 后硫氧镁基仿木保温材料的导热系数出现一定程度的降低, 其中 PVAF 掺量在 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时其导热系数最低. GF 和 PPF 可以明显地降低硫氧镁基仿木保温材料的收缩值, 其中 GF 降低自收缩效果较好, 而 PPF 可以明显地降低其干燥收缩值.

关键词: 硫氧镁水泥; 仿木保温材料; 抗裂性; 纤维

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 02-0060-06

建筑节能已经成为我国经济可持续发展的重要影响因素之一, 保温材料是建筑节能体系的重要组成部分. 结构保温板是一种既可以发挥结构功能又具有保温功效的夹心复合板材^[1]. 由于其具有比强度高、热工性能好、施工便捷等优势, 已经在国内外得到了广泛的应用^[2-3], 但存在的问题也很突出, 比如其中间的芯板通常采用发泡聚丙烯泡沫(EPF)、挤塑聚苯乙烯泡沫(XPS)和聚氨酯泡沫等易燃易老化的有机保温材料, 各个面层板和芯板之间的胶粘剂大多是有机易挥发材料, 对环境存在一定的污染. 在当前大力倡导低碳发展的背景下, 无机保温材料与有机木质结构粘结材料相比更加绿色环保, 且粘结性更优, 更具有发展前景^[4-7]. 李明跃^[8]对氯氧镁水泥基珍珠岩保温材料进行了研究, 发现与硅酸盐类水泥相比, 氯氧镁胶凝材料具有低密度、高强度、低导热系数的先天优势. 然而由于其具有吸潮返卤等先天缺陷^[9-15], 所以一直没有得到推广应用. 本研究所采用的改性硫氧镁胶凝材料与氯氧镁胶凝材料同属于镁质胶

凝材料, 也具有轻质高强、低导热系数的优势, 且克服了氯氧镁胶凝材料容易吸潮返卤的缺陷^[16-21]. 以改性硫氧镁胶凝材料为粘结基材所制备的保温材料不仅具有较高的抗折强度^[22], 与木质材料具有较好的相容性和粘结性, 而且从外观来看跟木质结构颜色十分接近, 所以其被称为仿木保温材料.

为了更好地改善硫氧镁基仿木保温材料的力学性能和体积稳定性, 本文开展同长度聚丙烯纤维(PPF)、聚乙烯醇纤维(PVAF)及玻璃纤维(GF)分别对硫氧镁基仿木保温材料性能影响的研究.

1 试验

1.1 原材料

试验采用天津产工业级七水硫酸镁, 营口产轻烧氧化镁粉, 其化学组成分别见表 1 和表 2. 改性剂为分析纯磷酸; 骨料是开口珍珠岩和水泥标准砂, 其中珍珠岩物理性能指标见表 3; 纤维有 PPF、PVAF 及 GF, 长度均为 6 mm, 具体性能指标

收稿日期: 2019-05-06.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY17E080009).

第一作者: 许浩锋(1995-), 男, 浙江台州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水泥基复合材料. E-mail: 761383760@qq.com

*通信作者: 巴明芳(1975-), 女, 山东滨州人, 博士/副教授, 主要研究方向: 高性能绿色建筑材料. E-mail: bamingfang@nbu.edu.cn

见表 4.

表 1 七水硫酸镁的化学组成 %	
化学成分	质量分数
MgSO ₄	47.85
MgCl ₂	0.50
NaCl	0.50
Na ₂ SO ₄	0.50
H ₂ O	50.24
其他	0.41

表 2 轻烧氧化镁的化学组成 %	
化学成分	质量分数
SiO ₂	0.40
MgO	96.50
CaO	0.85
Al ₂ O ₃	0.19
Fe ₂ O ₃	0.21
LOI	1.85

表 3 开口珍珠岩的物理性能指标			
密度/(kg·m ⁻³)	导热系数/(W·(m·K) ⁻¹)	吸水率/%	筒压强度/MPa
80~240	0.045~0.075	200~320	60~80

表 4 纤维物理性能指标					
纤维	直径/ μm	密度/ (kg·m ⁻³)	极限延伸 率/%	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ MPa
PPF	18	0.95	16	460	4
PVAF	9	1.30	7	1 100	36
GF	14	2.34	—	1 300	70

1.2 试验方案

按照基准配合比, 采用不同纤维种类和掺量分别拌制保温材料. 硫氧镁基仿木保温材料的基准配合比见表 5. PPF、PVAF 及 GF 的单方掺量分别为 0.5、1.0 及 1.5 kg·m⁻³, 换算成表 5 基准配合比体积后, 掺加量分别为 0.5、1.0 及 1.5 g. 拌制完成后测量其工作稠度和湿表观密度, 然后分别制备成型 40 mm×40 mm×160 mm 的力学性能测试试件和 300 mm×300 mm×30 mm 的导热系数测试试件, 如图 1 所示. 试件拆模后放在室内((20±2)℃, RH=95%)进行养护, 养护到一定龄期后分别测定其抗折强度、抗压强度、浸水软化系数及导热系数. 导热系数测定前先将试件于 105℃烘箱内烘干至恒重, 然后放置于导热系数测定仪中测定导热系数.

表 5 硫氧镁基保温材料基准配合比 g

材料	质量
MgO	1 042
MgSO ₄ ·7H ₂ O	458
水	402
珍珠岩	1 500
磷酸	5.21



图 1 成型的纤维改性硫氧镁水泥基仿木保温材料试件

2 结果与讨论

2.1 纤维对硫氧镁基仿木保温材料工作性能的影响

图 2 所示为 3 种纤维对新拌硫氧镁基仿木保温材料工作性能的影响结果.

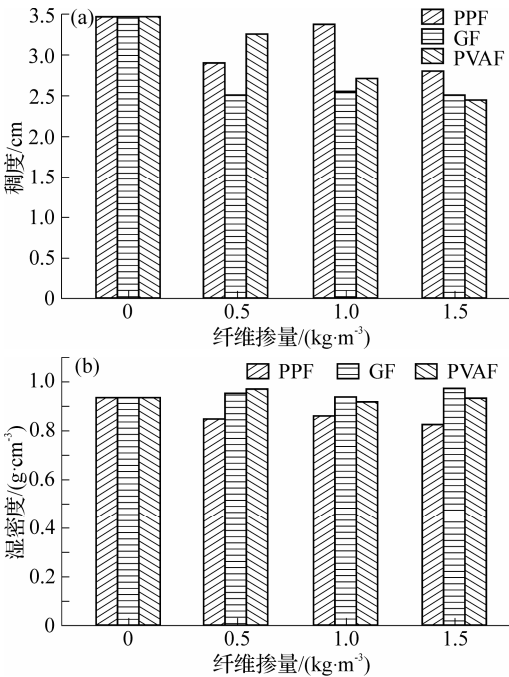


图 2 纤维对硫氧镁基仿木保温材料工作性能的影响

从图 2(a)可以看出, 掺加 3 种纤维之后仿木保温材料的工作稠度均有一定程度的降低, 随着纤维掺量的增加, PVAF 改性的仿木保温材料工作稠度呈现出明显降低的趋势; GF 仿木保温材料的工作稠度没有明显变化; PPF 掺量在 1 kg·m⁻³时, 仿木

保温材料的工作稠度达到最高. 这是因为在水灰比恒定的前提下, 拌合物内部自由水量也是一定的, 增加纤维掺量使自由水不足以润湿固体颗粒表面, 导致颗粒间的摩擦加大. 另外, 纤维掺量增加后, 悬浮相中的固体颗粒浓度增大, 颗粒间易发生相互碰撞而产生额外的能量损耗, 在两者共同作用下拌合物的流动性变差, 工作稠度降低^[23]. 因此纤维掺量需要控制在一个合理的范围之内, 以保证获得适宜的工作稠度. 图 2(b)是 3 种纤维分别对硫氧镁基仿木保温材料湿密度的影响结果, 从中可以看出, 3 种纤维对其湿密度影响较小. 这主要是因为纤维的掺入并没有改变硫氧镁水泥基体的化学成分, 而且 3 种纤维的绝对掺加量较低, 因此其对湿密度影响不大.

2.2 纤维对硫氧镁基仿木保温材料力学性能的影响

图 3 所示为纤维对硫氧镁基仿木保温材料早期和后期抗折强度的影响结果.

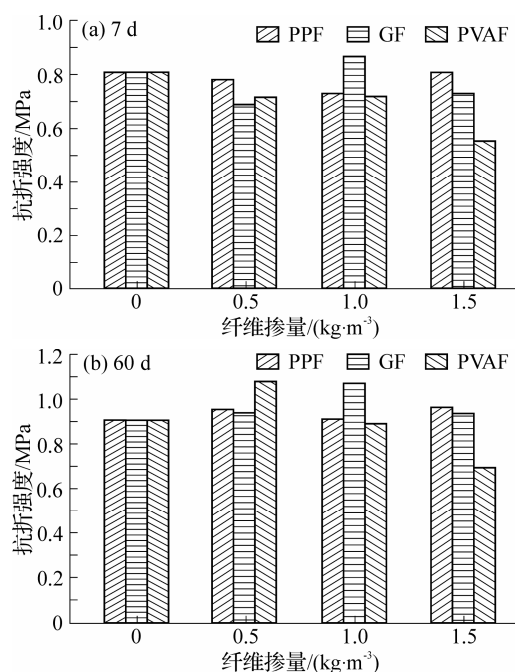


图 3 纤维对硫氧镁基仿木保温材料抗折强度的影响

从图 3(a)可以看出, 掺加 PPF 和 PVAF 后仿木保温材料的早期抗折强度有一定程度的降低, 并且随着纤维掺量的增加, PPF 对早期抗折强度的影响不明显; PVAF 掺量为 $1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时, 其早期抗折强度明显降低; 掺加 GF 后, 早期抗折强度波动较大, 其中 GF 掺量为 $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时增强作用最大. 从图 3(b)可以看出, 3 种纤维掺加量在 $0.5\sim 1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

时硫氧镁基仿木保温材料的后期抗折强度总体上有一定程度的增加. 这主要是因为纤维限制了硬化过程中收缩的产生和发展, 降低了仿木保温材料的收缩应力. 从该图还可以看出, 随着纤维掺量的增加, 掺加 PPF 的仿木保温材料后期抗折强度变化不大, 而 GF 掺量为 $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其后期抗折强度最大, PVAF 掺量为 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其后期抗折强度最高. 纤维对仿木保温材料抗折强度的增强作用可以用纤维阻裂理论^[24]来解释: 当裂缝发展遇到纤维时, 由于纤维的阻碍作用, 裂缝被迫改变发展方向, 或跨越纤维形成更细微的裂缝; 纤维跨越裂缝传递荷载, 均化混凝土内部应力场, 削弱微裂缝尖端的应力集中, 抑制裂缝扩展. 由于 GF 和 PVAF 的抗拉强度明显大于 PPF, 所以增强效果明显. 而 7 d 抗折强度基本不如未掺纤维的原因是早期纤维吸收了一部分水, 阻碍了其水化过程.

图 4 所示为纤维对硫氧镁基仿木保温材料抗压强度的影响结果.

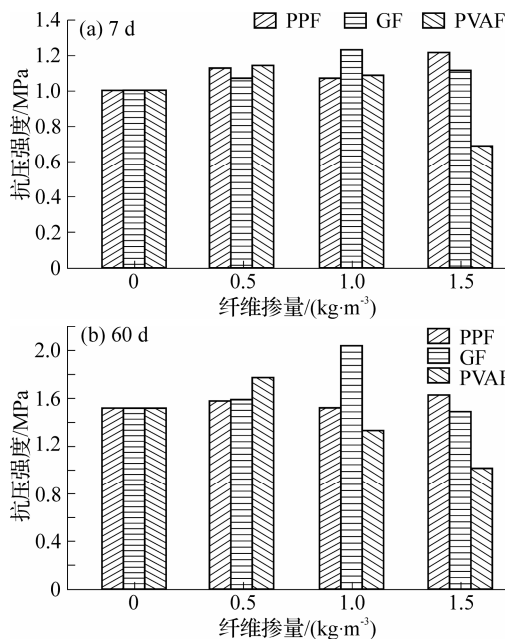


图 4 纤维对硫氧镁基仿木保温材料抗压强度的影响

图 4(a)是 7 d 龄期抗压强度测试结果, 从该图可以看出, 掺加 3 种纤维后仿木保温材料的早期抗压强度有一定程度的提高. 随着纤维掺量的增加, 掺加 PPF 的仿木保温材料早期抗压强度有缓慢增大的趋势; 掺加 GF 的仿木保温材料抗压强度先升高后降低, 掺量为 $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时早期抗压强度最大; 而掺加 PVAF 的仿木保温材料抗压强度先升高后

降低,在掺量为 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时最大,掺量达到 $1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时下降明显。图 4(b)是纤维对改性硫氧镁基仿木保温材料后期抗压强度的影响结果,从该图可以看出掺加 PPF 和 GF 后,硫氧镁基仿木保温材料的后期抗压强度有不同程度的提高。PVAF 掺量为 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其后期抗压强度最高,随着纤维掺量增加,抗压强度明显下降;掺加 PPF 对后期抗压强度没有明显影响;掺加 GF 的仿木保温材料抗压强度先升高后降低,GF 掺量为 $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其后期抗压强度最大。加入纤维后强度增大的原因是试件纵向受压,由于泊松效应体积横向膨胀,纤维的存在抑制了混凝土的横向变形。而随着纤维掺量继续增加出现抗压强度下降的现象是由于胶凝材料对骨料和纤维的包裹能力下降,从而导致混凝土抗压强度降低^[25]。

2.3 纤维对硫氧镁基仿木保温材料耐水性能的影响

图 5 所示为 3 种纤维对硫氧镁基仿木保温材料浸水软化系数的影响结果,从该图可以看出,PPF 的掺入明显提高了硫氧镁基仿木保温材料的软化系数,而且掺量在 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时软化系数最大,达到了 0.89。GF 掺量只在 $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其软化系数稍高于未加纤维的试件;掺入 PVAF 软化系数没有明显变化。这表明在制备硫氧镁基仿木保温材料时掺入大约 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 PPF 便可以明显提高其耐水性。

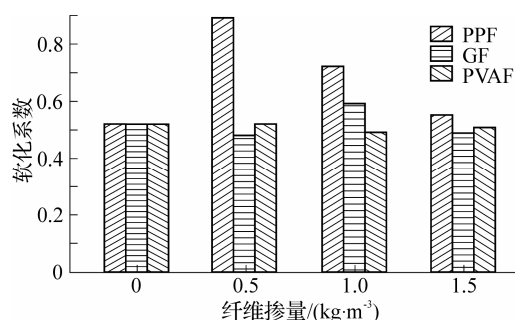


图5 纤维对硫氧镁基仿木保温材料软化系数的影响

2.4 纤维对硫氧镁基仿木保温材料导热性能的影响

图 6 所示为纤维对改性硫氧镁基保温材料保温性能的影响结果,从该图可以看出,掺加 PPF 对导热系数影响不大。掺加 GF 后仿木保温材料的导热系数有明显的增加趋势,尤其是掺量为 $1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时导热系数增加最大。而掺加 PVAF 后硫氧镁基仿木保温材料的导热系数具有一定的降低趋

势,PVAF 掺量在 $1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时其导热系数最低。这是由于玻璃纤维组分($0.8 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$)拥有高于保温材料($0.136 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$)的导热率。同时,掺入 GF 也将促进仿木保温材料内形成较大导热网络,使得热流可以沿网络流通,进而提高材料沿 GF 径向的热传导效率,提高了材料整体的导热性能^[26]。由于仿木保温材料的导热系数较大,而材料中含有的 PVAF 属于有机化合物,其导热系数很小,从而导致材料整体的导热系数较小。

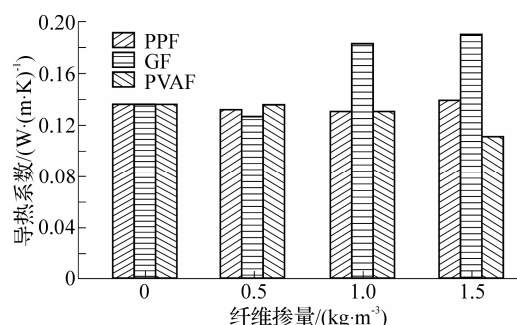


图6 纤维对硫氧镁基仿木保温材料导热系数的影响

2.5 纤维对硫氧镁基仿木保温材料收缩性能的影响

图 7 所示为 GF 和 PPF 对硫氧镁基仿木保温材料自收缩性能的影响结果。

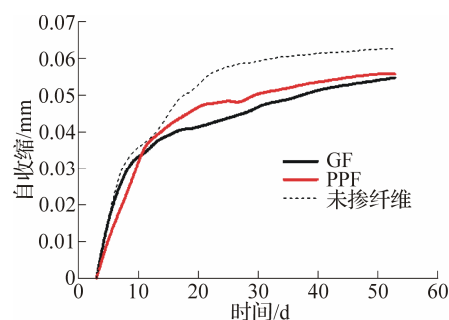


图7 纤维对硫氧镁基仿木保温材料自收缩的影响

从图 7 可以看出,纤维改性硫氧镁基仿木保温材料的自收缩明显低于未掺加纤维的对比试件,其中 14 d 龄期之前的自收缩发展最快,到 28 d 龄期之后自收缩发展速度较为缓和,不过一直到 60 d 龄期其自收缩速度均在发展。从该图还可以看出,在早龄期 13 d 之前,GF 改性硫氧镁基仿木保温材料的自收缩值要明显高于 PPF 改性硫氧镁基仿木保温材料;11 d 龄期之后 PPF 改性仿木保温材料自收缩速度明显高于 GF 改性仿木保温材料。究其原因,一方面在于掺入纤维后,毛细孔隙的总体积增加,毛细孔的直径增大,数量增多,使得毛细孔

压力减小,从而降低自收缩;另一方面在于掺入纤维后,纤维单丝在泡沫混凝土内部形成乱向分布的三维体系,有助于提高泡沫混凝土的均匀性,降低自收缩^[27]。而由于 GF 的弹性模量、抗拉强度均高于 PPF,所形成的三维体系更加牢固,所以 GF 自收缩值更小。

图 8 所示为 GF 和 PPF 对硫氧镁基仿木保温材料干燥收缩的影响结果,从图中可以看出:60 d 龄期前,GF 和 PPF 改性硫氧镁基仿木保温材料的干燥收缩发展速度较快,尤其是 14 d 龄期之前;GF 改性硫氧镁基仿木保温材料干燥收缩值明显高于 PPF 改性硫氧镁基仿木保温材料。这说明 GF 改性硫氧镁基仿木保温材料要做好早期覆盖以避免干燥收缩造成结构裂缝缺陷。纤维改性硫氧镁基仿木保温材料中纤维的阻滞干燥收缩机理除了上述自收缩降低的原因外,还有干燥收缩主要发生在试件表面,由于 PPF 密度远小于 GF,PPF 构成的三维体系体积必然远大于 GF 构成的三维体系,所以 PPF 体系更大程度地阻碍了材料中水分的流失,干燥收缩值比参加 GF 的仿木保温材料小。

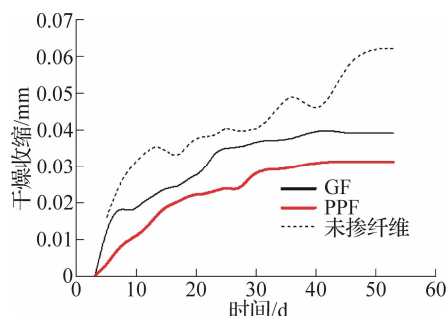


图 8 纤维对硫氧镁基仿木保温材料干燥收缩的影响

3 结论

(1)掺加 PVAF 的硫氧镁基仿木保温材料工作稠度呈现出明显降低的趋势,GF 对硫氧镁基仿木保温材料工作稠度影响不大,PPF 掺量在 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时其工作稠度值最高。3 种纤维对硫氧镁基仿木保温材料的湿密度影响不大。

(2)PPF、GF 及 PVAF 均对仿木保温材料的抗折及抗压强度具有一定的提高作用,其中 GF 提高效果最明显,GF 掺量为 $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时早期抗压强度最高。PVAF 掺量为 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时其早期抗压强度最高。PPF 明显提高了硫氧镁基仿木保温材料的耐水

性,其中掺量在 $0.55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时浸水软化系数最大。GF 掺量只有在 $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,保温材料浸水软化系数稍高于未加纤维的对比试件。PVA 改性硫氧镁基仿木保温材料浸水软化系数没有明显变化。

(3)PPF 和 GF 对硫氧镁基仿木保温材料的导热系数有增加的作用。PVAF 改性硫氧镁基仿木保温材料的导热系数有一定程度的降低,其中 PVAF 掺量为 $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时导热系数最低。GF 和 PPF 可以明显降低硫氧镁基仿木保温材料的收缩值,其中 GF 降低其自收缩值效果最优,PPF 降低其干燥收缩值效果最佳。

参考文献:

- [1] 刘晓娜,薛硕,王晓欢,等. 面板种类和芯板厚度对结构用木质保温板力学性能的影响[J]. 木材工业, 2018, 32(4):9-13.
- [2] Structural Timber Association. Timber engineering notebook series: No.10: Structural insulated panel construction[J]. Structural Engineer Journal of the Institution of Structural Engineer, 2015, 9(3):40-46.
- [3] Panjehpour M, Ali A A A, Voo Y L. Structural insulated panels: Past, present, and future[J]. Journal of Engineering Project and Production Management, 2013, 3(1):2-8.
- [4] 马成良,贾志峰,郭建国,等. 新型无机轻骨料防火保温板[J]. 消防科学与技术, 2013, 32(10):1134-1136.
- [5] 李连勇,岳建伟,来强. 保温抗裂砂浆性能试验研究[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2011, 41(2):214-216.
- [6] 陈松和,杨杰,尹刚,等. 外保温抗裂抹面砂浆性能提升研究[J]. 低温建筑技术, 2015, 37(12):15-17.
- [7] 葛松. 钙钒石补偿硅酸盐水泥硬化收缩的理论估算[J]. 山西建筑, 2010, 36(31):158-159.
- [8] 李明跃. 膨胀珍珠岩氯氧镁胶凝材料及其应用的研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2014.
- [9] Xu B, Ma H, Hu C et al. Influence of curing regimes on mechanical properties of magnesium oxychloride cement-based composites[J]. Construction and Building Materials, 2016, 102(1):613-619.
- [10] He P, Poon C S, Tsang D C W. Comparison of glass powder and pulverized fuel ash for improving the water resistance of magnesium oxychloride cement[J]. Cement and Concrete Composites, 2018, 86:98-109.
- [11] Li Z, Chau C K. Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement[J]. Cement and Concrete Research, 2007, 37(6):866-870.

- [12] 李颖, 余红发, 董金美, 等. 氯氧镁胶凝材料吸潮返卤泛霜的研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2010, 29(4):858-865.
- [13] 马慧, 关博文, 王永维, 等. 氯氧镁水泥胶凝材料的研究进展[J]. 材料导报, 2015, 29(15):103-107.
- [14] 陈雪霏. 氯氧镁水泥耐水复合改性的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
- [15] 张翠苗, 杨红健, 马学景. 氯氧镁水泥的研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(1):117-121.
- [16] 王海平, 肖学英, 王继东, 等. 外加剂对硫氧镁水泥的改性作用[J]. 盐湖研究, 2013, 21(1):44-49.
- [17] 李国栋, 毕万利, 孙恩禹, 等. 改性硫氧镁水泥的配制及性能研究[J]. 耐火材料, 2016, 50(6):469-472.
- [18] 秦玲. 硫氧镁水泥基轻质材料的制备与基本性能[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [19] 吴成友, 余红发, 文静, 等. 改性硫氧镁水泥物相组成及性能研究[J]. 新型建筑材料, 2013, 40(5):68-72.
- [20] 王明英, 张兴福, 王自福, 等. 改性硫氧镁胶凝材料原材料配比的研究[J]. 新型建筑材料, 2016, 43(6):6-8.
- [21] 陆建兵, 朱晓华, 张童童, 等. 改性硫氧镁水泥的性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(9):24-28.
- [22] 朱杰兆, 薛涛, 巴明芳. 高抗折硫氧镁基无机复合胶凝材料的制备及其机理[J]. 宁波大学学报(理工版), 2017, 30(6):66-72.
- [23] 司雯, 曹明莉, 冯嘉琪. 纤维增强水泥基复合材料的流动性与流变性研究进展[J]. 材料导报, 2019, 33(5):819-825.
- [24] 赵国藩, 彭少民, 黄承逵. 钢纤维混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [25] 张悦. 聚丙烯纤维混凝土力学性能及损伤破坏形态研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [26] 寇长珍. 碳纳米管—玻璃纤维共掺杂改性环氧复合材料绝缘及导热性能研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [27] 龚建清, 周孜豪. 纤维和外加剂对泡沫混凝土收缩性能的影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2019, 46(5):76-85.

Properties of fiber modified magnesium oxysulfate based wood-like thermal insulation material

XU Haofeng, ZHAI Lingjie, HU Kai, LIU Jinghan, CHEN Bangxi, BA Mingfang^{*}
(School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to improve the properties of magnesium oxysulfate based wood-like thermal insulation materials, the effects of fiber modification with polypropylene fiber (PPF), polyvinyl alcohol fiber (PVA) and glass fiber (GF) in same length were studied in this paper. The results show that the fluidity of magnesium oxysulfate cement based wood-like thermal insulation material decreases with the increase of fiber content; GF has the most obvious effect on the improvement of its compressive and flexural strength; the early compressive strength is the highest when the content of GF is $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, and it is the highest when the content of PVA is $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; PPF obviously improves the water resistance of magnesium oxysulfate cement based wood-like thermal insulation material. The softening coefficient of wood-like thermal insulation material is the highest when the content of PPF is $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, and it is slightly higher than that of the unfibered comparative test piece when the content of GF is $1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. The thermal conductivity of wood-like thermal insulation material decreases to a certain extent, which is the lowest when the content of PVA is $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. The results also show that GF and PPF can obviously reduce the shrinkage value of magnesium oxysulfate based thermal insulation materials. GF reduces the auto-shrinkage better, while PPF significantly reduces the drying shrinkage value.

Key words: magnesium oxysulfate cement; wood-like thermal insulation materials; crack resistance; fiber

(责任编辑 韩 超)