

用不同尺寸的 CaCO_3 晶须加固的石塑墙板

杨康 张丽丽 张正瑞 赵雅娜 高喜安

四川轻化工大学土木工程学院

DOI:10.12238/bd.v8i5.4257

[摘要] 本研究探讨了建筑用石塑(SPC)墙板的开发和特性。这些墙板以不同尺寸的 CaCO_3 晶须(CCW)作为增强剂。为了比较增强效果,测试了不同温度(-15°C、40°C、60°C)下同一方向的尺寸变化、温度稳定性和机械性能。通过数字游标卡尺、微电脑控制电子万能试验机和扫描电子显微镜(SEM)分析了SPC面板的尺寸变化率、温度稳定性、机械性能和微观结构。结果表明,两种CCW晶须材料都能改善墙板的性能,而长CCW晶须在改善SPC板效果方面更为有效。

[关键词] 聚氯乙烯; 石塑墙板; 不同尺寸的 CaCO_3 晶须; 性能

中图分类号: TQ325.3 文献标识码: A

Stone-plastic Wallboard Panels reinforced by CaCO_3 whiskers of different sizes

Kang Yang Lili Zhang Zhengrui Zhang Yana Zhao Xi'an Gao

Sichuan University of Science & Engineering

[Abstract] This study explored the development and characterization of stone-plastic (SPC) wallboard panels for building applications. The panels are based on different sizes of CaCO_3 whisker (CCW) as a reinforcer. For comparing the enhancement effect, the size changes in the same direction at different temperatures (-15°C, 40°C, 60°C), temperature stability, and mechanical properties were tested. The dimensional change rate, temperature stability, mechanical properties, and microstructures of the SPC panels were analyzed via digital vernier caliper, thermogravimetric analyzer (TG), microcomputer control electron universal testing machines, and scanning electron microscopy (SEM). The results showed that both CCW whisker materials can improve the performance of the wallboard, whereas long CCW are more effective in improving the effect of SPC panels.

[Key words] Polyvinyl chloride; Stone-plastic wallboard panels; different sizes of CaCO_3 whisker; Properties

引言

石塑墙板是以石粉、聚氯乙烯树脂(或其他树脂)为原料,加入适量添加剂,经混合、高温挤压而成的板材。

石塑墙板是建筑装饰领域的热门材料,是比“以塑代木”更好的产品,有利于环保、节能、减排。但在实际应用的环境条件下,其综合性能不可避免地会受到环境因素的影响。图1显示,石塑墙板在实际应用中会因室内环境温度的升高而产生不同程度的收缩。此外,由于加工工艺的原因,石粉填充量越多,产品成本越低,但产品的拉伸强度、断裂伸长率和冲击强度都会受到影响。鉴于以上两个实际应用中出现的问题,寻求降低石塑墙板加工成本和提高其性能的方法显得尤为重要。

无机晶须是一种由高纯度单晶生长而成的微米级短纤维1-3。其机械强度相当于原子间力产生的强度。此外,无机晶须的横截面非常完整,结构缺陷少,长径比范围大。因此,它在复合材料的应用中表现出更为优异的特性。关于晶须材料在摩擦材料4、陶瓷材料5、建筑材料等产品中的应用已有很多研究。



图1 石塑墙板实际应用中的尺寸收缩和开裂

CaCO_3 晶须与传统碳酸钙相比有很多用途。传统碳酸钙以颗粒状存在。传统碳酸钙的应用仅限于工程塑料、涂料和建筑材料领域。 CaCO_3 晶须具有明显的增强性、增韧性能、不易结块和易于分散等独特性能,是一种可广泛应用的理想材料。 CaCO_3 晶须主要用作摩擦材料、纸包装和复合材料增强的填料6。因此,为了解决石塑墙板的收缩问题,我们考虑使用晶须材料。目前,市场上有两种规格的碳酸钙晶须材料。本研究比较了两种规格

的碳酸钙晶须材料在各种性能上的差异。通过实验对比,确定了添加材料的性能更好,为实际生产提供了一定的依据。此外,碳酸钙晶须的强化机理也通过微观结构测试得到了解释。

1 材料和方法

1.1 材料。实验所使用的PVC树脂为实验室自制,发泡剂为偶氮二甲酰胺,发泡调节剂为发泡调节剂HF-100。

1.2 仪器测试设备。电热恒温鼓风干燥箱:101-2A型,济南创日新仪器设备有限公司;数显游标卡尺:量程150mm,德国MAHR马尔数显卡尺;扫描电子显微镜(SEM):VEGA3SBU型;微机控制电子万能试验机:SANS-CMT4104型。

1.3 测试方法。

1.3.1 尺寸变化率。根据GB/T11982.1-2015,测试了在不同温度(-15°C、40°C、60°C)下同一方向的尺寸变化。使用数字游标卡尺每24小时测量一次试样的纵向和横向尺寸。纵向沿孔方向,横向垂直于孔方向。横向和纵向分别简称为HD和VD。每次测量后,都要记录数据并做标记,以确保每次测量都在同一位置,避免出现误差。每个数据记录三次的平均值。

1.3.2 SPC的机械特性。弯曲性能试验,根据《塑料弯曲性能的测定》(GBT9341-2008)的要求,试样尺寸为80mm×10mm×4mm,跨度为64mm,加载速率为2mm/min,如图5所示。拉伸性能试验,根据《塑料拉伸性能的测定》(GB/T1040.4-2006)的要求,用哑铃样机制备标准花键,按规定方法进行,最终结果取5组数据的平均值。

1.3.3 断裂表面的扫描电镜。测试前,为了提高样品的导电性,有必要在样品上喷金。喷射完成后,选择适当的倍数来表征样品的微观结构。

2 测试结果

2.1 墙板的尺寸变化率。首先,测试了原SPC石塑墙板在不同温度下的尺寸变化。测试结果表明,墙板在不同温度下有不同程度的收缩,高温收缩比低温收缩更明显。横向收缩比纵向收缩更明显。这是由于瓦楞支撑的纵向方向所致。

当加入一定量的CaCO₃晶须时,墙板的收缩率得到改善。在-15°C时,横向和纵向尺寸变化率分别从原来的-0.16%和-0.12%降至-0.1%和-0.07%。在低温条件下,CaCO₃晶须对墙板的改性效果几乎相同。在40°C时(如图2(c)和(d)所示),横向和纵向尺寸变化率分别从原来的-0.21%和-0.23%降至-0.09%和0.04%。其中,短晶改性墙板在横向略有收缩,在纵向略有膨胀。在60°C时(见图2(e)和(f)),原墙板的收缩更为明显,横向和纵向收缩率均接近-0.3%。带有短晶体的墙板横向收缩,尺寸变化率为-0.13%。纵向膨胀的尺寸变化率为0.14%。长晶体性能相对稳定,横向和纵向尺寸变化均为正值。因此,添加CaCO₃晶须可改善墙板的收缩性能,且长晶的改善效果优于短晶。

2.2 面板的机械性能。晶须的加入可以改善原有板材的力学性能,在特定条件下力学性能的提高幅度也比较大。例如,如图3(a)所示,在60°C时,弯曲强度从7.31MPa提高到9.98MPa和11.02MPa,提高了36.5%和50.8%。如图3(c)所示,在40°C时,拉伸

强度从7.76兆帕增至8.55兆帕和10.67兆帕,增幅分别为10.1%和36.6%。在图3(b)中,弯曲模量增加,表面板抵抗弯曲变形的能力提高,而短晶体的效果优于长晶体。图3(d)所示的拉伸模量在低温下仍具有较高的拉伸模量,说明晶须的加入改善了板材的弹性。上述结果表明,表面板材的力学性能得到了改善,在后期的施工过程中会出现弯曲等行为。板材的韧性增加,减少了突然断裂的问题,从而降低了板材的损耗,最终降低了成本。

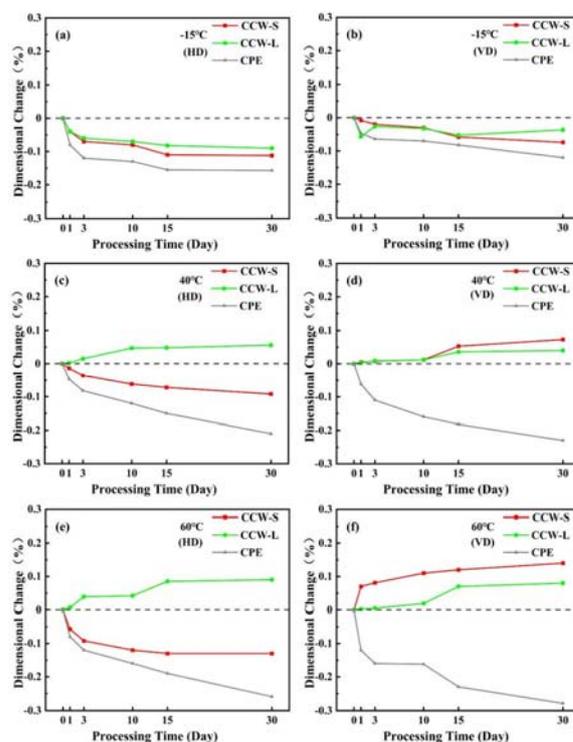


图2 面板在不同温度和方向上的尺寸变化

2.3 面板的扫描电镜分析。用扫描电镜观察了改性墙板的微观结构,其微观结构如图4所示。墙板主要由聚氯乙烯和钙粉组成。钙粉呈不规则颗粒状,PVC为连续的空间网络结构。PVC将钙粉包裹成一个连续的整体。由于发泡剂的存在,其中会含有一定量的孔隙(如图4(a)所示)。此外,还可以发现少量的CaCO₃晶须。CaCO₃晶须被聚氯乙烯包裹,起到桥梁作用,如图4(b)和(e)所示。图4(c)和(d)是断裂的CaCO₃晶须,在混合过程中可能会断裂。从图4(f)中可以看出,PVC包裹住了CaCO₃晶须。如果受到外力作用,PVC的强度较低,会导致开裂,而CaCO₃晶须的强度较高,因此可以改善墙板的机械性能。

2.4 相关强化机制。通过上述一系列试验结果,可以推断出晶须强化和增韧的机理。墙板中的晶须主要起到裂纹桥接、拉出效应和裂纹偏转的作用。裂纹桥接是指在晶须与基体的界面上,裂纹尖端附近存在一个裂纹区域。如图5(a)所示,晶须桥接裂纹,在裂纹表面施加封闭应力,减少裂纹尖端的受力,抑制裂纹。继续膨胀,实现增韧。随着载荷不断增加,直至晶须断裂,裂纹可继续扩展。

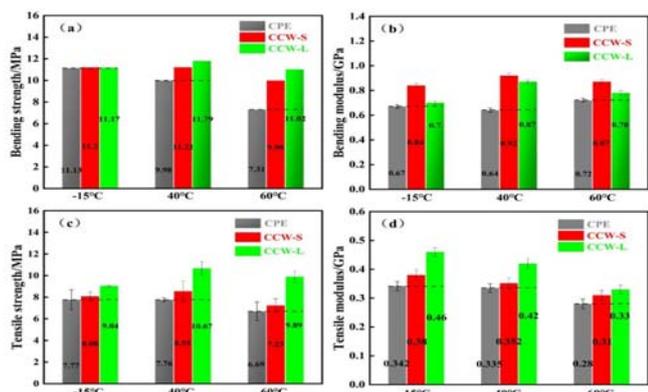


图3 原面板和改良面板在不同温度下的弯曲强度和拉伸强度。

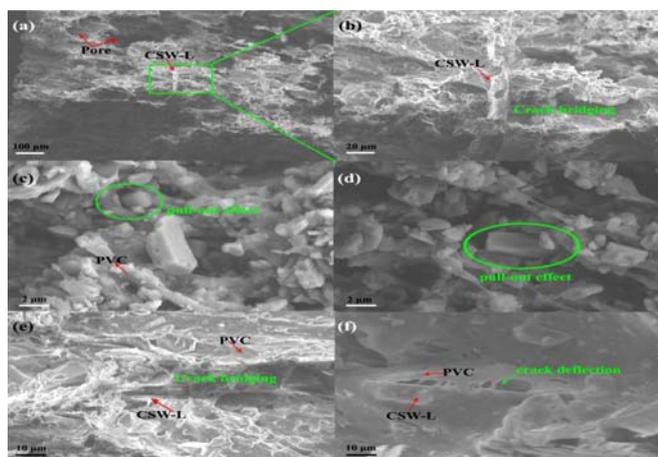


图4 SPC面板的扫描电镜图像。(a) 面板中的长须; (b) (a)部分的局部放大图; (c)和(d)面板中断裂的须; (e)和(f)部分用PVC包裹的须。

拉出效应是指晶须在裂纹扩展过程中由于剪应力的作用而从基体中拉出并消耗能量的现象。当晶须的取向与裂纹表面成较大角度时,从基体传递到晶须的力所产生的剪应力达到了基体的剪切屈服强度,但当晶须的剪切屈服强度未达到时,晶须不会被切断,而是会被从基体中拉出。高纵横比晶须可用于聚合物基复合材料的增韧。晶须对增韧的主要贡献来自裂纹扩展过程中晶须拉出所消耗的能量。

如图5(b)所示,当碳酸钙晶须/聚氯乙烯泡沫材料断裂时,从聚氯乙烯基体传递到碳酸钙晶须的力会在两者的界面上产生剪应力,达到聚氯乙烯基体的剪切屈服强度。碳酸钙晶须的抗拉强度很高,不会断裂。此时,晶须从PVC基体中拉出。晶须拔出过程中会消耗能量,从而使裂纹尖端的应力松弛,裂纹扩展速度减慢。晶须拉出的机理与晶须架桥的机理类似。晶须拉出往往伴随着晶须桥接。当裂纹尺寸较小时,晶须桥接起主要作用。随着裂纹的增大,裂纹尖端的晶须进一步被破坏,晶须拉出起主导作用。

裂纹挠曲是指当裂纹扩展到晶须时,裂纹表面与晶须方向的夹角很小甚至平行。如图5(c)所示,裂纹必须绕过或穿过晶须才能继续发展,因此传播方向发生改变,即出现裂纹偏转,导致裂纹传播路径增长,新裂纹的面积增大。因此,材料在破坏过

程中会吸收更多的能量,从而提高材料的韧性。

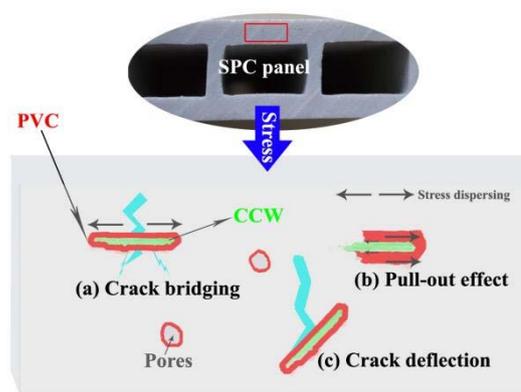


图5 使用不同CCW晶须的强化机制示意图。(a) 裂纹桥接效应; (b) 拉出效应; (c) 裂纹挠曲效应

3 结论

本研究比较了不同尺寸的CCW晶须对石塑墙板的影响。结果表明,两种晶须材料都能在一定程度上改善墙板的收缩率、温度稳定性和机械性能。实验结果表明,长晶须的效果优于短晶须。因为短晶体尺寸小,只能填充材料的孔隙,而长晶体在材料中起到架桥、拔出效应和裂纹偏转的作用。因此,综合考虑,长晶体的效果优于短晶体。

【参考文献】

[1] Ning, N.; Luo, F.; Wang, K.; Du, R.; Zhang, Q.; Chen, F.; Fu, Q. Interfacial enhancement by shish-calabash crystal structure in polypropylene/inorganic whisker composites. POLYMER.2009,50,3851-3856.

[2] Ma, H.; Cai, J.; Lin, Z.; Qian, S.; Li, V. C. CaCO₃ whisker modified Engineered Cementitious Composite with local ingredients. CONSTR BUILD MATER.2017,151,1-8.

[3] Su, R.; Wang, K.; Ning, N.; Chen, F.; Zhang, Q.; Wang, C.; Fu, Q.; Na, B. Orientation in high-density polyethylene/inorganic whisker composite fibers as studied via polarized Fourier transform infrared spectroscopy. COMPOS SCI TECHNOL.2010,70, 685-691.

[4] Jing, Y.; Cui, X.; Liu, A.; Liu, D.; Chen, Z.; Wang, X.; Jin, G.; Liu, E.; Li, Q. Planting of nanoparticles controlled by high energy laser irradiation on the surface of SiC whisker. SURF INTERFACES.2023,38,102782.

[5] Li, Y.; Wang, H.; Li, S.; Bai, C.; Liu, F. Preparation of mullite whisker foam ceramics and exploration of its application in adsorption. CERAM INT.2024,50,934-940.

[6] Li, D.; Gao, G.; Huang, C. Chitosan foam reinforced by SiC whisker for building insulation with high mechanical strength and vapor permeability. Science China Technological Sciences. 2022,65,2874-2882.

作者简介:

杨康(1996—),男,汉族,四川遂宁人,硕士研究生,四川轻化工大学土木工程学院,研究方向:为建筑高分子材料。