



大型木丝水泥墙板的力学性能试验研究

陈鼎¹,张亚飞²,卢旦³,杨博²

(1.浙江交工集团股份有限公司地下工程分公司,杭州 311400;2.浙江理工大学建筑工程学院,杭州 310018;

3.华东建筑设计研究院有限公司,上海 200041)

摘要: 为了研究大型木丝水泥墙板的力学性能,以220 mm板厚的大型木丝水泥墙板上截取的不同规格墙板为试验对象,进行了抗压性能、3点和4点抗折性能及抗弯性能试验研究。试验结果表明:木丝水泥复合墙板平行板面方向的抗压强度比垂直板面方向高,垂直板面方向的抗压强度按照行业标准《木丝水泥板》(JG/T 357—2012),以压缩10%的应力作为其抗压强度的表征;木丝水泥复合墙板表面抹灰能够提高其平行板面方向的抗压强度,其中钢筋增强抹灰层的效果最为明显。不同抗折试验引起不同的受力状态以及过高的含水率都会对木丝水泥复合墙板的抗折强度产生不利影响,导致3点抗折试验所得抗折强度高于4点抗折试验的强度;木丝水泥复合墙板的抗弯承载能力和挠度均满足相应规范要求,表现出了较好的韧性,但不能完全满足板表面抗开裂的要求。该研究结果可为大型木丝水泥墙板的工程应用提供理论指导。

关键词: 大型木丝水泥墙板;抗压性能;抹灰效果;抗折性能;抗弯性能

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2023)05-0396-08

引文格式: 陈鼎,张亚飞,卢旦,等. 大型木丝水泥墙板的力学性能试验研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2023,49(3):396-403.

Reference Format: CHEN Ding, ZHANG Yafei, LU Dan, et al. Experimental study on the mechanical properties of large-scale wood wool cement wall panels[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2023,49(3):396-403.

Experimental study on the mechanical properties of large-scale wood wool cement wall panels

CHEN Ding¹, ZHANG Yafei², LU Dan³, YANG Bo²

(1. Underground Branch, Zhejiang Communications Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 311400, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200041, China)

Abstract: In order to study the mechanical properties of large wood wool cement wall panels, different sizes of wall panels cut from large wood wool cement wall panels with a thickness of 220 mm were used as the test objects, and the compressive properties, 3-point and 4-point flexural properties and flexural properties were tested and studied. The test results show that the compressive strength of wood wool cement composite wall panels in the parallel board face direction is higher than that in the vertical board face direction, the compressive strength in the vertical board face direction is characterized by a stress of 10% compression according to the industry standard *Wood wool cement boards* (JG/T 357—2012), and the surface plastering of wood wool cement composite wall panels can improve its compressive strength in the parallel board face direction, with the steel reinforced plaster layer having the most obvious effect. Different flexural tests cause different stress states and excessively high moisture content can adversely

收稿日期:2022-06-23 网络出版日期:2022-12-05

基金项目:国家自然科学基金项目(51808499);浙江省基础公益研究计划项目(LGG20E080002)

作者简介:陈鼎(1993—),男,杭州人,硕士研究生,主要从事市政工程方面的研究。

通信作者:杨博, E-mail: youngbo@zstu.edu.cn

affect the flexural strength of wood wool cement composite wall panels, resulting in higher flexural strength obtained from the 3-point flexural test than the 4-point flexural test; the flexural bearing capacity and deflection of wood wool cement composite wall panels meet the corresponding code requirements and exhibit good toughness, but cannot fully meet the requirements of cracking resistance on the panel surface. The results of this study can provide theoretical guidance for the engineering application of large wood wool cement wall panels.

Key words: large-scale wood wool cement wall panels; compressive performance; plastering effect; rupture performance; flexural performance

0 引言

木丝水泥复合材料是一种以普通硅酸盐水泥为胶凝材料的新型建筑复合材料,通过采用矿化处理后的木丝为增强材料,加水搅拌后经铺装成型、保压养护、调湿处理等工艺制成^[1-2]。该复合材料采用的木丝主要是速生杨木等可再生材料,与钢筋混凝土材料相比,在节能减排方面具有相对优势^[3]。此外,由于木丝水泥复合材料质量较轻,在抗震方面也具有工程应用优势。

木丝水泥复合墙板作为一种新型建筑构件,多应用于制作免拆保温模板及预制保温墙板等^[4]。瑞典和其他欧洲国家对大型木丝水泥墙板的应用较早^[5]。瑞典 Träullit 公司于 2003 年提交了大型木丝水泥墙板的欧洲专利申请^[6-7],且与荷兰 Eltomation 公司联合开发了一条成熟的全自动的大型木丝水泥墙板生产线^[8-10]。大型木丝水泥墙板由于耐火性与保温性能好,且厚度可达 150~400 mm,因而可以在工厂加工成各种规格的墙体,适于建筑工业化发展的需要。在国外,大型木丝水泥墙板常被应用于被动式建筑及一些公共建筑^[11],而在国内目前已成功应用于高层住宅的预制外墙。

木丝作为一种可再生材料,在制造成本和节能环保方面都具有优势,在很大程度上降低了住房部件的成本;利用木丝水泥复合材料制成的墙板还具有环保、防潮、防干腐、隔音、吸音、透气调湿、隔热、防火、阻燃等优点^[12],因此木丝水泥复合墙板的应用在经济上和环境上都有益。Del 等^[13]认为,墙体作为建筑物的一个非常重要的组成部分,适合墙体应用的板材或面板的理想特性是:高耐用性、稳定性、韧性、防火性,良好的隔音、隔热性能和抗生物性,以及具备快速生产的工艺和低生产成本等,而木丝水泥复合板符合以上所有特性。Goverse 等^[14]认为,用于墙体建设的典型材料有不可再生、高碳排放和劳动密集型的砌筑粘土砖和沙子水泥砖等材料,

但从更环保的材料来看,木丝水泥复合板可以替代上述材料用于墙体部件。但是,Manalo^[15]研究发现,由于缺乏木丝水泥复合墙板应用相关的设计标准和指南,设计师和承包商没有使用木丝水泥复合墙板的信心。目前国内外关于大型木丝水泥墙板的性能研究还不够充分^[16],因此本文通过试验研究大型木丝水泥墙板的力学性能。

本文以 220 mm 板厚的大型木丝水泥墙板上裁取的不同规格墙板为试验对象,通过抗压性能试验、3 点和 4 点抗折性能试验和抗弯性能试验,研究大型木丝水泥墙板的抗压强度、抗压弹性模量、抗折强度和抗弯性能等力学性能,从而为推广大型木丝水泥墙板的工程应用提供参考。

1 试验部分

1.1 试验材料

木丝:速生杨树原木刨制、矿化,以制作木丝水泥复合墙板;水泥:P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;硅酸盐矿化剂:淡黄色,无味,购自无锡泛亚环保有限公司。

1.2 木丝水泥复合墙板制备

木丝水泥复合墙板制备过程:首先将原木刨至成木丝,将木丝与矿化剂充分浸润、矿化,添加干水泥进行拌和,然后加入少量添加剂作为催化剂,完成后铺设入模,再进行加压养护,最后脱模成型。

1.3 抗压性能试验

为研究不同尺寸试件的抗压性能,同时考虑含水率对试件抗压性能的影响,本试验设计了 2 组共 24 个试件,试件均从 220 mm 板厚的大型木丝水泥墙板上裁取。第一组为立方体试件,共 12 个,其中:边长为 220 mm 的立方体试件 2 个,边长为 100 mm 的立方体试件 8 个,边长为 150 mm 的立方体试件 2 个。第二组为立方体抹灰试件,龄期为 14 d,以边长为 220 mm 的立方体裸板为基础,分为 4 组,每组为 3 个试件,分别为 5 mm 薄抹灰试件、网格布增强 10 mm 抹灰层试件、钢网增强 20 mm 抹灰层和钢

筋增强 25 mm 抹灰层试件,其中试件承压面用砂浆找平。为研究试件的上下两个表面对平行板面方向受力的影响,以边长为 100 mm 的立方体试件组为基础进行试验,根据裁切面的木丝分布特征又分为含表面 I 和含表面 II 两种情形,其中:表面 I 为肉眼观察到木丝分布较密实的一面,表面 II 为木丝分布疏松的一面。

在进行抗压性能试验时,边长为 220 mm 的立方体试件试验参考《建筑用轻质隔墙条板》(GB/T 23451—2009)加载,边长为 100 mm 的立方体和 150 mm 的立方体试件试验参考《蒸压加气混凝土性能试验方法》(GB/T 11969—2020)加载,均以 (2.0 ± 0.5) kN/s 的速度连续均匀加荷,直至试件破坏,同时记录破坏荷载。立方体试件的垂直板面方向的加载方式示意图如图 1(a)所示,平行板面方向的加载方式示意图如图 1(b)所示。

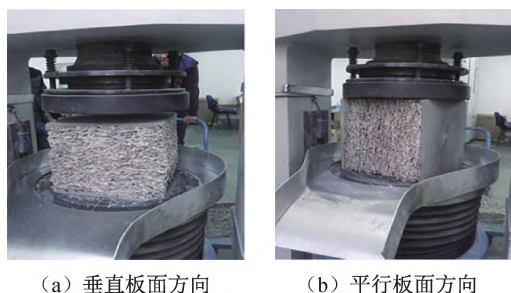


图 1 立方体试件抗压性能加载方式示意图

1.4 抗压弹性模量试验

本试验共设计了 6 个棱柱体非标准试件进行抗压弹性模量试验,各试件尺寸均为 $220 \text{ mm} \times 220 \text{ mm} \times 660 \text{ mm}$,试件均从 220 mm 板厚的大型木丝水泥墙板上裁取。抗压弹性模量测定则根据《蒸压加气混凝土性能试验方法》(GB/T 11969—2020)加载,以 (2.0 ± 0.5) kN/s 的速度加载至 0.1 MPa,对应的荷载 P_b 为 4.84 kN;保持 30 s 后,以同样的速度加载至 $0.4f_{cp}$ 的荷载 P_a ,根据轴心抗压强度数据,设定为 8.0 kN,保持 30 s 后卸载至 P_b ,保持 30 s。如此反复 5 次,然后继续加载直到试件破坏。

根据《蒸压加气混凝土性能试验方法》(GB/T 11969—2020),采用式(1)计算裸板的抗压弹性模量:

$$E_c = \frac{P_a - P_b}{A} \times \frac{l}{\delta_5} \quad (1)$$

其中: E_c 为试件静力弹性模量; P_a 为应力为 $0.4f_{cp}$ 时的荷载; P_b 为应力为 0.1 MPa 时的荷载; A

为试件的横截面面积; δ_5 为第 5 次荷载循环时试件两侧变形平均值; l 为测点标距,150 mm。

1.5 抗折性能试验

为研究试件的抗折性能,同时考虑含水率对试件抗折性能的影响,共设计了 3 组 33 个试件进行 3 点抗折和 4 点抗折试验,各试件均从 220 mm 板厚的大型木丝水泥墙板上裁取,尺寸均为 $220 \text{ mm} \times 220 \text{ mm} \times 880 \text{ mm}$ 。两种抗折试验各有优势,其中:3 点抗折加载方式简单,但由于加载方式集中,弯曲分布不均匀,某些部位的缺陷可能无法体现出来;4 点抗折加载方式相对复杂一点,但试验结果较为准确。因此,为了互相验证,各采用 15 个试件分别进行 3 点抗折试验与 4 点抗折试验,其中 6 个试件根据裁切面的木丝分布特征,将受裁切面分为表面 I(目测更密实)与表面 II(目测不密实)。另一组抹灰试件分为 3 组,每组为 3 个试件,龄期为 14 d,以试件裸板为基础,分别为网格布增强 5 mm 抹灰层、网格布增强 10 mm 抹灰层试件和钢网增强 20 mm 抹灰层试件。

对于试件的抗折性能测定,所有试件的抗折测试受力方向均为垂直板面方向,其中 3 点抗折试验参考《硬质泡沫塑料弯曲性能的测定》(GB/T 8812.2—2007)的弯曲弹性模量的测试方法,试验加载速度为 (20 ± 1) mm/min,同时记录试件的载荷和变形,加载方式如图 2 所示。4 点抗折试验方法参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019),加载速度为 (2.0 ± 0.5) kN/s,加载至试件破坏时,记录破坏荷载,加载方式如图 3 所示。



图 2 3 点抗折加载试验加载方式示意图

1.6 抗弯性能试验

本次抗弯性能试验设计了 1 个自重 132 kg 木丝水泥复合墙板和 1 个自重 148 kg 木丝水泥复合墙板试件,各试件尺寸均为 $220 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$,试件均从 220 mm 板厚的大型木丝水泥墙板上裁取。

为测定试件的抗弯承载力性能,根据《建筑用轻质隔墙条板》(GB/T 23451—2009)进行均布荷载作



图 3 4 点抗折加载试验加载方式示意图

用下的弯曲试验加载。首先将试件空载静置 2 min,然后按照五级施加荷载,每级荷载为板自重 1.5 倍的 20%。用砂袋堆荷方式从两端向中间均匀加荷,堆长相等,间隙均匀,堆宽与板宽相同。前 4 级每级加荷后静置 2 min,第 5 级加荷至板自重的 1.5 倍,静置 5 min,记录试件挠度。此后,如继续施加荷载,按此分级加荷方式循环直至断裂破坏。记录第 1 级荷载至第 5 级加荷荷载总和作为试验结果。试件的抗弯性能试验装置照片如图 4 所示。

2 结果与分析

2.1 抗压性能

立方体试件的抗压性能见表 1,从表中可以看



图 4 试件的抗弯性能试验装置照片

出,垂直与平行两个板面的抗压性能差异较大,且垂直板面的抗压强度远远低于平行板面的抗压强度,前者只有后者的 40%~60%。从不同试件板面的垂直抗压强度对比可知,垂直板面的抗压强度与板芯的强度较为接近。因此,设计墙体紧固件时,应该以垂直板面方向板芯的抗压强度作为依据。由表 1 还可以发现,当试件含水率小于 9%时,试件的含水率对抗压强度的影响可以忽略不计。例如,含水率为 8.3%含表面 I 的 100 mm 立方体试件,在垂直板面方向的抗压强度与绝干试件相同。在垂直板面方向,由于板材的抗压强度取决于芯材强度,不受表面材料强度的影响,所以表面含抹灰的试样仅测量了平行板面的抗压强度。

表 1 立方体试件抗压性能

试件尺寸	试件取样位置	受压方向	抗压强度/MPa	试件含水率/%
边长 220 mm 立方体	整厚度试件	垂直板面	0.18	7.3
	整厚度试件	平行板面	0.31	6.9
边长 100 mm 立方体	表面 I	平行板面	0.34	8.7
	表面 I	平行板面	0.38	0(绝干)
	表面 I	平行板面	0.21	51.7
	表面 II	平行板面	0.23	—
	表面 I	垂直板面	0.12	8.3
	表面 I	垂直板面	0.12	0(绝干)
	表面 I	垂直板面	0.08	49.9
	表面 II	垂直板面	0.11	—
边长 150 mm 立方体	板芯	平行板面	0.48	—
	板芯	垂直板面	0.14	—

边长为 100 mm 的立方体试件的垂直和平行板面方向受压的典型荷载一位移曲线如图 5 所示。从图 5 中可以看出,在试验加载初期,垂直板面方向的曲线随荷载随位移增大缓慢提高,试验未出现峰值荷载,相对形变远超过 10%。因此,按照行业标准《木丝水泥板》(JG/T 357—2012)中应力最大值对应的相对形变达到或超过 10%,以压缩 10%的应力作为垂直于表面的抗压强度。在平行板面方向,木丝水泥复合墙板的抗压行为与混凝土材料类似,存

在峰值荷载,因此以峰值荷载除以试件的承压面积作为试件的抗压强度。

含抹灰表面的增强试件抗压强度见表 2,由表 2 可知:对于同一类型试件,增加抹灰层厚度可以提高试件的抗压强度,其中钢筋增强抹灰层的效果最为明显;同时还可以发现,5 mm 薄抹灰试件的抗压强度与裸板几乎相同。

2.2 抗压弹性模量

试验获得的试件典型荷载一位移曲线如图 6 所

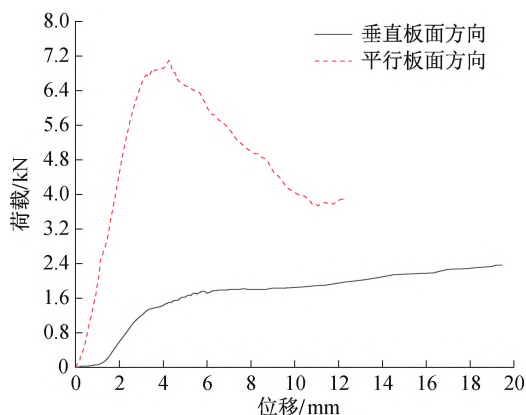


图5 边长为 100 mm 的立方体试件的垂直和平行板面方向的典型荷载—位移曲线

示,从图中可以看出:在对试件进行第2次施加力加载和第5次施加力加载时,其荷载—位移曲线的大部分是重合的,说明试件拥有良好的弹性变形。由最后一次加载的荷载与位移的差值计算试件的弹性模量,结果见表3。从表3可以看出,6个棱柱体非标准试件所测出的静力抗压弹性模量平均值为312 MPa。

表2 含各种抹灰试件的抗压强度

试件组别	试件类型	平行板面抗压强度/MPa
1	5 mm 薄抹灰试件	0.31
2	网格布增强 10 mm 抹灰层	0.57
3	钢网增强 20 mm 抹灰层	1.14
4	钢筋增强 25 mm 抹灰层	2.19

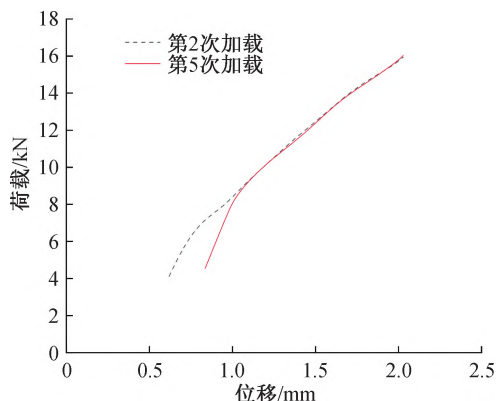


图6 试件的荷载—位移曲线

表3 试件的静力受压弹性模量

试件序号	长/mm	宽/mm	最大荷载/kN	抗压强度/MPa	弹性模量/MPa
1	213	218	20.01	0.43	311
2	213	216	21.91	0.48	333
3	214	219	24.33	0.52	334
4	212	219	23.52	0.51	291
5	213	216	11.64	0.25*	139*
6	212	218	18.34	0.40	290
平均值				0.47	312

注:“*”表示该数据误差超过15%,舍弃。

为了对木丝水泥复合墙板的轴心抗压行为有更全面的了解,将最后一次加载过程的荷载和位移增量进行应力和应变计算,获得试件的应力—应变曲线,如图7所示。从图7中可以看出,在压缩应力位于100~200 kPa范围内时,各个试件的曲线基本重合,表明试验测得试件弹性模量的数据是准确的。

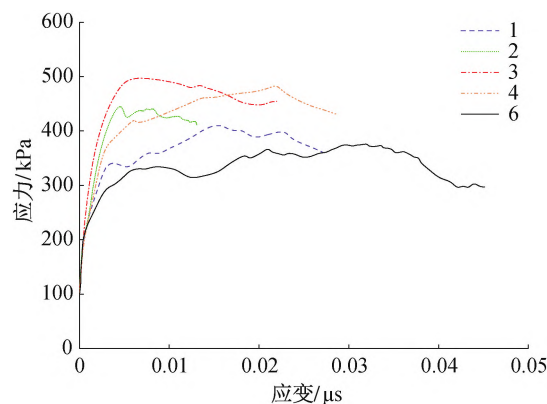


图7 最后一次加载的荷载和位移增量计算的应力—应变曲线

将应变在0.0025 μs以内的应力和应变数据汇总到一个数据系列,进行数据处理,绘制应力—应变曲线初始阶段的平均趋势图并作拟合,其中第5次加载为反复5次加载时的曲线,如图8所示。

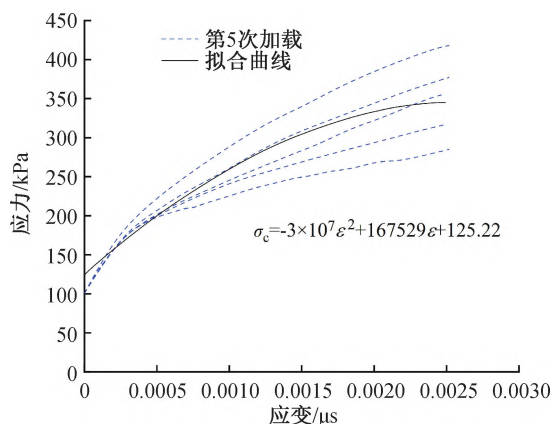


图8 试件最后一次加载过程中初始应变部分的应力应变关系

由图8数据处理得出如下多项式拟合曲线方程如式(2)所示:

$$\sigma_c = -3 \times 10^7 \epsilon^2 + 167529\epsilon + 125.22 \quad (2)$$

弹性模量随应变变化的函数表达式如式(3)所示:

$$E = \frac{d\sigma_c}{d\epsilon} = -6 \times 10^7 \epsilon + 167529 \quad (3)$$

其中: σ_c 为试件所受应力,MPa; ϵ 为试件所受应变,μs; E 为试件静力弹性模量。

由式(3)可知,函数呈现负相关,即随着应变增

大,材料的弹性模量不断减小。计算得出材料的最大弹性模量为 167 MPa,相比按照标准计算的弹性模量(312 MPa)低很多。从图 8 可以看出,试验数据显示的曲线在按 2.1 节标准计算弹性模量的应力范围,曲线的斜率明显更大,随后曲线的斜率明显降低。因此,如果要应用上述弹性模量的函数方程,其应变范围应该在 $0.0005 \sim 0.0025 \mu s$ 才比较合适。在更小的应变范围,材料的弹性模量应该取表 3 的数值,即 312 MPa。

2.3 抗折性能

4 点抗折的试件抗折性能见表 4。从表 4 可以看出,4 点抗折试验所得试件上下两个表面的抗折强度完全相同。含各种抹灰试件的抗折强度见表 5。从表 5 可以看出,抹灰层类别的加强对试件的抗折性能影响不大。

表 4 4 点抗折的试件抗折性能

试验组别	试件朝向	抗折强度/MPa	含水率/%
1	试件表面 I (上表面)朝下	0.32	16.9
2	试件表面 II (下表面)朝下	0.32	14.1

表 5 含各种抹灰试件的抗折强度

试件组别	试件类型	抗折强度/MPa
1	网格布增强 5 mm 抹灰层	0.47
2	网格布增强 10 mm 抹灰层	0.46
3	钢网增强 20 mm 抹灰层	0.52

抗折试件破坏时的照片如图 9 所示。试件具体破坏过程首先发生在下支座处;继续加载,下支座上部试件表面开始出现横向的开裂;随着荷载的增大,裂纹逐渐延伸,出现纵向、倾斜的裂纹;当荷载增大至峰值荷载时,试件也没有彻底断裂。



图 9 抗折试件破坏时的照片

用 3 点抗折方法对同一批构件进行了试验,其中对应序号的构件为同一批次,含水率相同,所得试件的抗折强度与 4 点抗折所得结果进行比较。3 点抗折试验测得木丝水泥复合墙板的弯曲弹性模量和抗折强度如表 6 和表 7 所示。

从表 6 和表 7 可知,与 4 点抗折试验相比,3 点

抗折试验得到的抗折强度提高约 20%。试验过程的观察表明,4 点抗折试验的时候,由于试样的厚度均匀性较差,上面两个压头与试样的接触有些先后,导致试样不是均衡的 4 点受力状态。这可能是引起试件受力不均衡,导致计算的抗折强度较低的原因之一。另一方面,3 点抗折试验所用试件的含水率为 11%,比 4 点抗折试验所用试件的含水率 14%~17%略低,试样含水率可能对抗折强度也产生了一定影响。说明在试样含水率超过约 12%后,过高的含水率会削弱材料之间的结合力,进而对抗折强度产生负面影响。

表 6 下表面为表面 I 的 3 点抗折的试件抗折性能

序号	宽/mm	高/mm	弯曲弹性模量/MPa	抗折强度/MPa	含水率/%
1	219	214	10.44	0.39	10.20
2	220	215	8.94	0.38	12.08
3	220	213	10.45	0.38	11.80
4	218	219	6.17	0.33	10.54
5	219	213	10.58	0.42	11.41
6	219	215	8.78	0.39	10.07

表 7 下表面为表面 II 的 3 点抗折的试件抗折性能

序号	宽/mm	高/mm	弯曲弹性模量/MPa	抗折强度/MPa
1	220	217	6.85	0.36
2	214	216	15.23	0.43
3	219	215	8.08	0.44
4	220	215	14.11	0.41
5	219	217	9.22	0.37
6	219	218	7.68	0.32

试样两个面的朝向,对表观弹性模量影响不是很大,两者相差约 10%,较为密实面受拉时的弹性模量较低,为 9.2 MPa;较为疏松面受拉时的弹性模量为 10.7 MPa。这个实验结果表明,上压头对试样的压缩作用对测试结果有一定的影响,主要是因为试样的抗压强度较低。但现在没有找到更合适的方法避免压头处的表形对试验结果的影响。

2.4 抗弯性能

2.4.1 试件的破坏形式

抗弯试件破坏时的照片如图 10 所示。从图 10 (a)中可以看出:裸板中间木丝拉断,且形变逐渐变大趋势。在试验过程中,自重为 132 kg 的试件,荷载加载到大于 300 kg 时,能听到较大的开裂响声;自重为 148 kg 的试件,则荷载加载至 400 kg,有较大的开裂响声,并且在静置时间内,形变量均不断加大。卸载后试件断裂位置如图 10(b)所示。

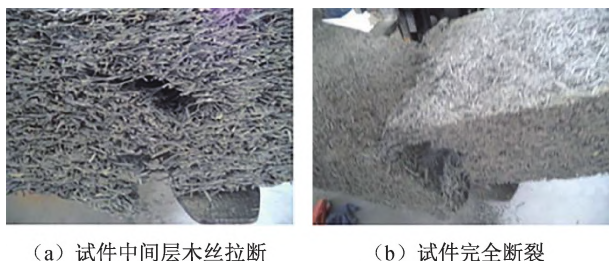


图10 抗弯试件破坏时的照片

2.4.2 试件的荷载—位移曲线

各试件的荷载—位移曲线如图11所示,从图中可以看出:在试验加载初期,试件处于弹性阶段,荷载—位移曲线基本呈线性变化。随着荷载的增加,试件逐渐屈服,开始进入弹塑性阶段,抗弯刚度减小。当加载至试件破坏时,荷载未见明显下降,表明试件有良好的延性。同时也可以看出自重较大的木丝水泥复合墙板,其抗弯刚度、开裂荷载及破坏时的极限荷载也相应要大一些。

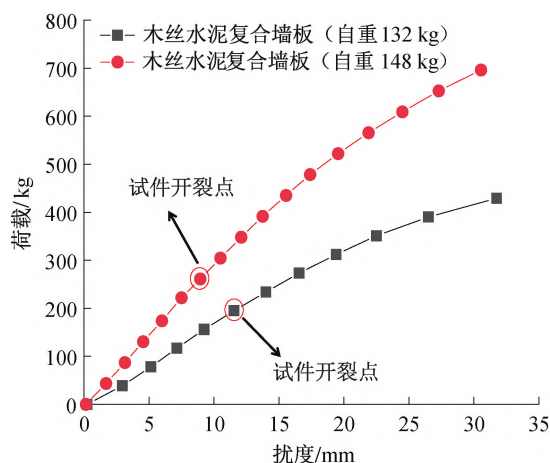


图11 各试件的荷载—位移曲线

按照《建筑用轻质隔墙条板》(GB/T 23451—2009),轻质隔墙条板条板的抗弯承载能力要求大于等于板自重的1.5倍,本次试验的试件抗弯承载能力均超过了板自重的1.5倍,满足要求。

按照《墙体材料应用统一技术规范》(GB 50574—2010),要求墙板弯曲产生的横向最大挠度应小于允许挠度,且板表面不应开裂,及允许挠度应为受弯试件支座间距离的1/250。试件支座跨距为3000—100=2900 mm,其中 $L/250$ 为11.6 mm,在1.5倍板自重荷载作用下,裸板试件的挠度都低于11.6 mm,满足要求。但试件不能完全满足板表面不应开裂的要求。

按照《建筑用轻质隔墙条板》(GB/T 23451—2009)中试件面密度要小于等于90 kg/m²(板厚90 mm)和110 kg/m²(板厚120 mm)的要求,由试

件质量计算得到的裸板试件面密度分别为73.3 kg/m²和82.2 kg/m²,均满足要求。因此,木丝水泥复合板的表观体积密度远远低于建筑用轻质隔墙条板。所以,在实际工程中,木丝水泥复合墙板的承载能力应根据工程实际负荷条件来准确确定。由于木丝水泥复合墙板从初裂到完全断裂之间的荷载相差很大,如何确定试样的破坏或者承载能力的判据,也需要认真讨论。

2.4.3 试件的延性系数

试件的荷载 P 和位移延性系数 μ 如表8所示,其中:试件屈服时对应的荷载和位移分别为屈服荷载 P_y 和屈服位移 Δ_y ;试件破坏时,对应的荷载和位移分别为极限荷载 P_u 和极限位移 Δ_u ;位移延性系数为 $\mu = \Delta_u / \Delta_y$; L 为板的跨度。由表8可知:138 kg自重墙板和147 kg自重墙板的位移延性系数依次为2.75和3.41,表明木丝水泥复合墙板具有较好的延性^[17]。138 kg自重墙板和147 kg自重墙板破坏时的极限挠度依次为127/12000和611/60000,表明木丝水泥复合墙板具有良好的塑性变形能^[17]。

表8 试件的竖向荷载、位移、位移延性系数

试样	$P_y /$ kN	$\Delta_y /$ mm	$P_u /$ kN	$\Delta_u /$ mm	μ	Δ_u / L
138 kg 自重墙板	195	11.55	429	31.75	2.75	127/12000
147 kg 自重墙板	261	8.95	696	30.55	3.41	611/60000

2.4.4 讨论

根据简支梁均布荷载条件下的最大拉应力的计算公式,该计算式如式(4)所示,计算可得抗弯承载试样开裂时和断裂时的最大拉应力,结果如表9所示,其中初裂声音时的荷载为 P_1 ,初裂声音时的应力为 σ_1 ,试样断裂前一级荷载为 P_2 ,试样断裂前一级应力(相当于抗折强度)为 σ_2 。

$$\sigma_{\max} = \frac{My_{\max}}{I_z} = \frac{\frac{ql^2}{8} \cdot \frac{t}{2}}{\frac{bt^3}{12}} = \frac{3ql^2}{4bt^2} \quad (4)$$

其中: σ_{\max} 为开裂时或断裂时的最大拉应力, M 为均布水平荷载所产生的弯矩, y_{\max} 为点到中性轴的最大距离, I_z 为截面惯性矩, q 为均布水平荷载, l 为木丝水泥复合墙板长度, b 为木丝水泥复合墙板宽度, t 为木丝水泥复合墙板厚度。

由表9可以看出,用试件断裂前一级荷载计算的应力分别为0.304 MPa和0.494 MPa,两者平均值为0.399 MPa,与试件抗折强度试验得到的结果接近,其中4点抗折试样为0.32 MPa,3点抗折试

样为 0.39 MPa。然而,试样初裂时的应力较低。因此,可用式(4)作为试件的承载能力判据。

表9 抗弯承载试样开裂时和断裂时的最大拉应力

试样	P_1 / kg	σ_1 / MPa	P_2 / kg	σ_2 / MPa
138 kg 自重墙板	195	0.138	429	0.304
147 kg 自重墙板	261	0.185	696	0.494

3 结 论

为了推广大型木丝水泥墙板的工程应用,本文通过试验研究了大型木丝水泥墙板的抗压性能、抗折性能试验和抗弯性能等力学性能,分析了抗压强度、抗压弹性模量、抗折强度和抗弯性能等性能指标,主要结论如下:

a)木丝水泥复合墙板平行板面方向的抗压强度比垂直板面方向高,垂直板面方向的抗压行为表现为压溃,没有明显的峰值荷载,按照《木丝水泥板》(JG/T 357—2012)行业标准,以其压缩 10%时的应力作为垂直板面抗压强度。

b)用 3 点抗折和 4 点抗折试验方法测试了木丝水泥复合墙板抗折强度,其抗折强度试验结果分别为 0.38~0.40 MPa 和 0.32 MPa,3 点抗折试验得到更高的强度值。这是由于除了不同的抗折试验引起不同的受力状态外,过高的含水率也对试件的抗折强度产生不利影响。

c)木丝水泥复合墙板的表面抹灰能够提高其平行板面方向的抗压强度,其中钢筋增强抹灰层的效果最为明显。

d)木丝水泥复合墙板试件能够满足《墙体材料应用统一技术规范》(GB 50574—2010)中关于墙板弯曲产生的横向挠度要求,试样的挠度处于跨距的 1/250 范围内,表现出较好的延性特征。值得注意的是,试件不能完全满足板表面不开裂的要求。

参考文献:

- [1] 赵狄荣,赵彦. 水泥木丝板[J]. 新型建筑材料, 2010, 37(11): 95-99.
- [2] Ashori A, Tabarsa T, Azizi K, et al. Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1): 1146-1149.
- [3] 徐学东,段绪胜,赵守杰,等. 木丝水泥板建造节能环保农村住房的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2010, 37(5): 45-48.
- [4] 葛召深,王静,吴广彬,等. 木丝水泥板在我国的研究进展及应用[J]. 建筑技术, 2018, 49(5): 499-502.

- [5] 战剑锋. 荷兰的木质水泥板新技术[J]. 林业机械与木工设备, 1999, 27(2): 30-32.
- [6] Mattias R. Full wall element of cement stabilised wood wool, method to produce it and building method using it: EP1786988B1[P]. 2011-02-23.
- [7] Elten G. Cement bonded particle board (CBPB) and wood strand cement board, production, properties and applications [C]// 10th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC). Sao Paulo: Idaho Press, 2006: 206-217.
- [8] Elten G. New developed Eltomation plant capable to produce all Types of wood wool cement board (WWCB)-wood strand cement board (WSCB-Elto board) and-large WWCB wall elements [C]//11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC). Madrid: Idaho Press, 2008: 188-197.
- [9] 涂平涛. 水泥木丝板及其生产技术解析[J]. 墙材革新与建筑节能, 2005(11): 28-31.
- [10] Elten E. New developments in the field of wood cement products, applications and production technologies [C]// 12th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC), Aalborg, Idaho Press, 2010: 260-270.
- [11] Mattias R. Träullit Large WWCB Wall Elements [C]// 11th International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC). Madrid, Idaho Press, 2008: 163-168.
- [12] Caprai V, Gauvin F, Schollbach K, et al. Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites[J]. Construction and Building Materials, 2018, 166: 522-530.
- [13] Del M, Cláudio H S, De C, et al. Production and properties of a medium density woodcement boards produced with oriented strands and silica fume[J]. Maderas Ciencia Y Tecnologia, 2007, 9(2): 105-115.
- [14] Goverse T, Hekkert M P, Groenewegen P, et al. Wood innovation in the residential construction sector: Opportunities and constraints. Resources [J]. Conservation and Recycling, 2001, 34(1): 53-74.
- [15] Manalo A. Structural behaviour of prefabricated composite wall system made from rigid polyurethane foam and magnesium oxide board[J]. Construction and Building Materials, 2013, 41: 642-653.
- [16] 钟世云. 大型木丝水泥墙板及其应用[J]. 新型建筑材料, 2016, 43(8): 100-105.
- [17] 方林,李承铭,马泽峰,等. 水泥膨胀珍珠岩复合外墙板抗弯性能试验及有限元分析[J]. 新型建筑材料, 2021, 48(8): 90-94.

(责任编辑:康 锋)