

竹纤维/聚丙烯复合材料密度对其保温和力学性能的影响

唐启恒, 王云飞, 郭文静

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要:为促进结构保温材料的可持续发展,以竹纤维和聚丙烯纤维为原料,制备不同密度的竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料,并探讨该材料作为结构保温板(SIPs)芯材的可行性。结果表明:随着密度增加,复合材料的力学性能增加,保温性能呈先升后降的趋势;综合考虑复合材料的保温性能和力学性能,当复合材料密度为 0.20 g/cm^3 时,可用来代替聚苯乙烯泡沫作为结构保温板的芯材。

关键词:竹纤维;聚丙烯纤维;密度;保温复合材料;结构保温板;性能

中图分类号: TU352.59 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2018)02-0045-04

Effect of Bamboo Fiber/Polypropylene Composites Density on Insulation and Mechanical Properties

TANG Qi-heng, WANG Yun-fei, GUO Wen-jing

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: To develop sustainable structural insulated materials, bamboo fiber/polypropylene thermal insulation composites, with different densities, were prepared and feasibility of the composites to be used as core materials in structural insulated panels (SIPs) were studied.

The results showed that mechanical properties of the composites increased with increasing density while insulation properties first increased and then decreased. Taking into consideration of insulation and mechanical properties of the composites, it was concluded that the composite with 0.20 g/cm^3 of density was suitable for replacing polystyrene foams as core materials of SIPs.

Key words: bamboo fiber; polypropylene fiber; density; thermal insulation composites; structural insulated panels; properties

经济的高速发展,使能源消耗与环保的矛盾日益突出,而能源问题也被列为人类面临的四大生存

问题之一。建筑能耗占全部能源消耗的32%,其中,70%的建筑能耗是通过墙体损失掉的^[1]。因此,大力发展低能耗、低污染的绿色建筑材料势在必行。

收稿日期:2017-08-31;修改日期:2018-01-29

基金项目:浙江省与中国林业科学研究院省院合作林业科技项目(2017SY14)。

作者简介:唐启恒(1986—),男,中国林科院木材工业研究所助理研究员。

结构保温板(Structural Insulated Panels, SIPs)是一种新型结构建筑材料,由两片承重板材通过结构胶黏剂,胶合在硬质泡沫板上,制备而成的复合板材,集结构和保温功能于一体,可以直接用于房

屋的墙体、屋面等,可省去外墙保温这一环节,对节能、减轻环境压力有突出贡献,在国外已大量使用,在国内也逐渐被行业关注。然而,SIPs的芯板主要由膨胀聚苯乙烯(EPS)、挤出聚苯乙烯(XPS)、聚氨酯、岩棉等高碳类不可再生和不可循环利用的石化材料制成^[2-5],不符合社会可持续发展的主题。

竹纤维作为生物质材料,具有环保和可再生的特点,同时保留了竹材高强度的特性,将其与聚丙烯纤维复合,通过无纺气流铺装工艺制成的纤维复合毡,通过热压工艺成型,制备的竹纤维/聚丙烯纤维复合材料,被用于汽车内衬件等领域^[6-7]。当竹纤维/聚丙烯纤维复合材料的密度较低时,其结构蓬松、纤维呈立体网状分布,具有良好的保温性能,有望作为SIPs芯材,用来替代传统的泡沫塑料。目前,鲜见将竹纤维应用于建筑保温材料领域的研究报道。

鉴于此,笔者采用无纺气流铺装工艺制成的纤维复合毡,通过热压成型,制备不同密度的竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料,探索材料的复合密度对其保温、力学等性能及微观结构的影响,为开发安全环保的结构保温材料,提供理论依据和基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

竹纤维:直径为100~200 μm,长度为1~5 cm,购自福建海博斯化学技术有限公司;

聚丙烯纤维:线密度11.11 dtex,长度38 mm,白色,购自广东蒙泰纺织纤维有限公司。

1.2 试验装备

无纺气流铺装设备,电子万能拉力机,热压机和冷压机,导热系数仪,扫描电子显微镜。

1.3 试验方法

1) 竹纤维/聚丙烯纤维复合卷材制备:竹纤维/聚丙烯纤维复合卷材,是将两种纤维均匀混合后,采用无纺气流铺装工艺,通过针刺制备而成。

本着制备绿色复合材料的原则,笔者试图最大程度地提高竹纤维的比例。根据前期试验,复合材料卷材中,竹纤维的最大可用质量比为4:1,超过次比例,将无法制备合格的复合卷材。按此比例制备竹纤维/聚丙烯纤维复合卷材,并裁成规格为35 cm×35 cm(长×宽)复合毡片备用。

2) 竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料制备:根据前期试验,综合考虑复合材料的保温性能和力学性能,设定密度分别为:0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g/cm³。

将复合毡片手工铺装在模具中,根据设定的不同密度,选择不同的厚度规控制板材厚度。热压温度170 °C,热压时间30 min。热压后,取出板材放入冷压机中,冷压压力为5 MPa,在室温条件下冷却成型。每种密度制备3块试板。

1.4 性能测试

1) 保温性能:按照ASTM C 518-2004“Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus”,采用测定导热系数(λ)来评价复合材料的保温性能。每个密度测试3块试样,结果取平均值。

2) 力学性能:按照GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,测试内结合强度(IB)、静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE)。每个密度取5个有效试样,结果取平均值。

3) 微观结构:制备规格为0.5 cm×0.5 cm的试样,采用扫描电子显微镜,观察其微观结构变化。

2 结果与讨论

2.1 导热系数

复合材料导热系数λ的测定结果,如图1所示。

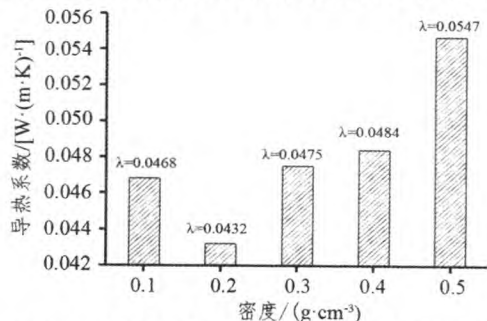


图1 保温复合材料密度对其导热系数的影响

Fig.1 Effect of density on thermal conductivity of thermal insulation composites

图1显示,随着复合材料密度的增加,其导热系数呈现先降后升的趋势,当复合材料的密度为0.20 g/cm³时,导热系数最小,为0.0432 W/(m·K)。

材料的导热系数并不是随着密度的减小而无限降低,在复合材料密度从0.10 g/cm³增加到0.20 g/cm³时,其导热系数呈现降低。当密度小于某个临

界值后,孔隙率增加,孔隙中空气可产生对流传热;另外,气体对热辐射的阻抗能力低,辐射传热相应加强,反而使导热系数增大^[8-9]。

当复合材料的密度从 0.20 g/cm³ 进一步增加到 0.50 g/cm³ 时,其导热系数也明显增加。是因为材料内部过于密实,孔隙数量和体积减小,甚至几乎为实芯材料,导热系数相应升高,隔热作用大大降低。

通常,影响复合材料导热系数的主要因素有:材料内部孔洞中气体的导热系数、原料、制备工艺、密度等。由于本试验所用的原材料、制备工艺以及试样尺寸基本相同,可以推断,复合材料导热系数的变化,是由于材料密度变化所致,使其内部孔隙体积和数量发生变化,从而影响孔隙中气体的导热系数。材料的导热系数提高,其保温性能降低。

目前,市场上 SIPs 芯材主要是聚苯乙烯泡沫,其导热系数为 0.03~0.04 W/(m·K)。可见,本研究制备保温复合材料的导热系数高于聚苯乙烯泡沫。但根据保温材料的定义,在平均使用温度低于 350 °C 的条件下,导热系数 ≤ 0.12 W/(m·K) 的材料均可视为保温材料。因此可以认为,本研究制备的各种密度的保温复合材料,均可以作为保温材料使用。

2.2 力学性能

对结构保温板而言, SIPs 芯材的力学性能直接影响整个保温板的力学性能。如果将竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料用于 SIPs 芯材,还必须对其力学性能进行评价。

不同密度竹纤维/聚丙烯纤维复合材料的力学性能测试结果,列于表 1。

由表 1 可知,复合材料的密度从 0.10 g/cm³ 增加到 0.50 g/cm³ 时,其 IB、MOR 和 MOE 也随之显著

表 1 密度对保温复合材料力学性能的影响

Tab.1 Effect of density on mechanical properties of thermal insulation composites

样品编号	实测密度/(g·cm ⁻³)	IB/MPa	MOR/MPa	MOE/MPa
1	0.10 ± 0.05	0.01 ± 0.00	0.42 ± 0.13	33.45 ± 3.23
2	0.20 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.97 ± 0.14	63.60 ± 21.64
3	0.30 ± 0.02	0.16 ± 0.02	1.90 ± 0.30	159.60 ± 13.01
4	0.40 ± 0.05	0.22 ± 0.04	5.10 ± 0.46	358.30 ± 24.57
5	0.50 ± 0.03	0.35 ± 0.07	10.40 ± 0.70	647.77 ± 42.81
聚苯乙烯泡沫	0.035	—	0.5	—

增加,这主要是由于密度增大,材料内部更加密实,在受到外部载荷作用时,应力通过纤维传递,避免了应力集中导致破坏。

目前,对于 SIPs 芯材的力学性能尚无相关标准规定。因此,笔者参照聚苯乙烯泡沫的力学性能进行评判。当复合材料的密度 ≥ 0.20 g/cm³ 时,其力学性能均高于聚苯乙烯泡沫的力学性能,满足 SIPs 芯材对力学性能的使用要求。

2.3 微观结构

不同密度竹纤维/聚丙烯纤维复合材料的微观结构,如图 2 所示。

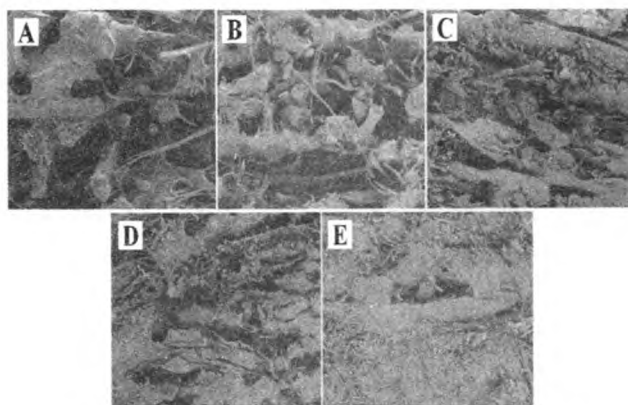


图 2 竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的微观结构 (A-E: 密度 0.1~0.5 g/cm³)

Fig.2 EMS of bamboo fiber/polypropylene thermal insulation composites

图 2 显示,密度为 0.10 g/cm³ 时(图 2A),复合材料内部存在很多大的孔隙;当密度增大到 0.20 g/cm³ 时(图 2B),复合材料内部的大孔隙明显减小,但小孔隙依然存在,材料明显密实,纤维间的联系更加紧密,所以复合材料的力学性能和保温性能得到明显提升;当复合材料的密度 ≥ 0.30 g/cm³ 时(图 2C-E),其内部变得致密。虽然明显提升了材料的力学性能,但也降低了保温性能。

2.4 综合评价

对于建筑墙体的保温材料,阻燃性能是其重要指标之一。为了考察复合材料的使用安全性,笔者采用聚磷酸铵(APP)进行了阻燃处理试验。结果表明,添加 APP 可使复合材料的热释放速率、总热释放量和总烟释放量分别降低 50.62%、50.82% 和 83.18%,阻燃性能得到明显改善。

聚苯乙烯属于不可再生、不可降解的易燃材料,

而竹纤维属于可再生、可降解的材料,发展前景广阔。因此,综合考虑竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的保温和力学性能,可选择密度为 0.20 g/cm^3 的复合材料,代替聚苯乙烯泡沫,用于 SIPs 芯材。

3 结论

1) 与聚苯乙烯泡沫相比,竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的主要组分竹纤维具有可再生、可降解等特点,作为 SIPs 芯材发展前景广阔。

2) 随着密度增加,竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的力学性能增加,导热系数呈先降后升的趋势。

3) 综合考虑竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的保温性能和力学性能,当其密度为 0.20 g/cm^3 时,导热系数最小,与聚苯乙烯泡沫板的性能指标相当,可以代替聚苯乙烯泡沫,作为 SIPs 芯材。

4) 竹纤维/聚丙烯纤维保温复合材料的阻燃性能,后期还将进行系统研究。

参考文献:

- [1] 胡爽,翟金国,叶文,许肖丽,陈涛,林倬仕,尹亮,陈崇伟. 无卤阻燃聚氨酯外墙保温材料[J]. 广州化工, 2015, 4 (1): 59-61.
- [2] 杜强,姚星皓,吕晶. SIPs 中 EPS 芯材的力学性能试验[J]. 重庆大学学报, 2014, 37 (7): 90-97.
- [3] 秦培成,查晓雄,于航. 挤塑材料本构关系及其在夹芯板中的应用[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(2): 167-171.
- [4] 秦培成,查晓雄,于航. 聚氨酯硬质泡沫材料本构研究及其在夹芯板中的应用[J]. 工业建筑, 2008, 38(4): 77-81.
- [5] 杜强,卫婧,吕晶,王宁. 以岩棉为芯材的 SIPs 力学性能试验研究[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2017, 36(1): 45-49.
- [6] Kumar N, Mireja S, Khandelwal V, Arun B, Manik G. Light-weight high-strength hollow glass microspheres and bamboo fiber based hybrid polypropylene composite: A strength analysis and morphological study[J]. Composites Part B Engineering, 2017, 109: 277-285.
- [7] Sukmawan Romi, Takagi Hitoshi, Nakagaito Antonio Norio. Strength evaluation of cross-ply green composite laminates reinforced by bamboo fiber[J]. Composites Part B Engineering, 2016, 84: 9-16.
- [8] 毛安雄,邱洪林,张贺威. 外墙保温材料导热系数的试验研究[J]. 工程设计与设计, 2014, (3): 109-111.
- [9] 常偃宇,张金花,王小安,林莉. 常见保温材料密度与导热系数关系的研究[J]. 工程质量, 2009, 27 (2): 66-70.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)



(上接第 44 页)

3 结论

1) 在本试验条件下,随着试样胶层温度的升高,采用 EVA 和 APAO 热熔胶制备试样的胶合强度,均呈显著降低的趋势;在相同的胶层温度条件下,木材与 MDF 胶合试样的胶合强度最高,MDF 之间胶合试样的胶合强度最低。

2) 采用 EVA 热熔胶进行粘接时,应控制胶层温度低于 $41 \text{ }^\circ\text{C}$,方可进行后续生产;而采用 APAO 胶胶合时,胶层温度应低于 $47 \text{ }^\circ\text{C}$,便可进行后续加工。

3) APAO 胶制备试样的耐温性能高于 EVA 胶,主要与 APAO 胶自身的高熔点有关,但 APAO 胶的价格高于 EVA 胶。为了提高胶黏剂的耐温性能,同时降低生产成本,对于使用颗粒状热熔胶生产的企业,可将两种热熔胶颗粒按一定比例混合使用。

4) 试验确定的异形拼接、木制品表面饰面或集成材制作生产的适合胶层温度,为实现异形拼接框架集成材的铣形与砂光、木制品封边处理等工序的自动化、连续化生产,为智能化生产的设备改型与生产线的研发,提供了重要理论依据。

参考文献:

- [1] 国家林业局. 2014 年林业发展报告[M]. 北京:中国林业出版社,2014.
- [2] 彭晓瑞,张占宽. 柔性装饰薄木制备技术的现状与发展[J]. 木材工业, 2016, 30 (6): 23-26.
- [3] 华毓坤. 21 世纪人造板工业发展趋势[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25 (2): 6-8.
- [4] KIM S, KIM H J. Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins[J]. Bioresource Technology, 2005, 96 (13): 1457-1464.
- [5] 司小雷. 我国的建筑能耗现状及解决对策[J]. 建筑节能, 2008, 36 (2): 71-75.
- [6] 张琦. 集成材生产企业胶合面加工工序设备及工艺对比分析[J]. 山东林业科技, 2015, (3): 78-81.
- [7] 白化奎. 提高集成材出材率及木材利用率的几项措施[J]. 陕西林业科技, 2008, (1): 142-143.
- [8] 李龙,申世杰,刘亚兰,等. 集成材/FRP 复合材料胶合性能研究进展[J]. 林业机械与木工设备, 2010, 38 (7): 7-9.
- [9] 黄瑞文,叶伟松,卢建新. 集成材拼接设备的现状与展望[J]. 木材加工机械, 2010, (4): 36-38.
- [10] 王雪花. 框架集成材异形拼接及砂光工艺研究[D]. 中国林业科学研究院硕士学位论文, 2009: 7-30.
- [11] 李超. EVA 型封边热熔胶及其粘结性能和流变性能的研究[D]. 华东理工大学硕士学位论文, 2012: 5-28.
- [12] 杨笠. 用 PE 热熔胶膜制造胶合板带来的产业升级[J]. 林产工业, 2017, (1): 43-45.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)