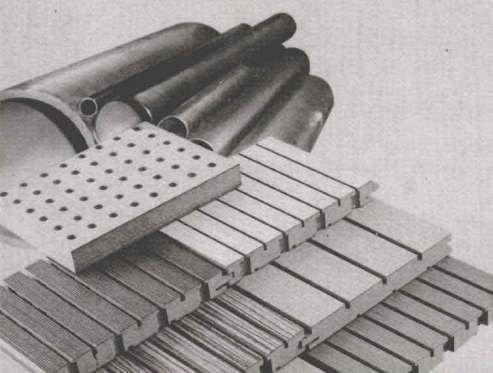


HAIXIA LIANGAN
FUHE CAILIAO YANJIU
YU YINGYONG XIN JINZHAN



海峡两岸

复合材料研究与应用新进展

主编◎沈 健 马振基 刘伟庆

中国建筑工业出版社

海峡两岸复合材料研究与应用新进展

主编 沈 健 马振基 刘伟庆

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

海峡两岸复合材料研究与应用新进展/沈健等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 10
ISBN 978-7-112-13670-4

I. ①海… II. ①沈… III. ①复合材料-研究-中国
IV. ①TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 205091 号

随着海峡两岸经济、贸易、科技、学术交流的不断融合和增进, 江苏省复合材料学会近年和台湾科技界广泛接触, 学术交流收获颇丰, 为了促进两岸在材料领域的进一步合作, 扩大交流, 由江苏省复合材料学会、台湾地区复合材料工业同业公会联合主办的“2011 海峡两岸功能材料论坛”将于 2011 年 11 月 5~6 日在南京召开。

本书为会议用论文集, 主要包括结构复合材料和功能复合材料两大方面, 具体涉及结构复合材料、磁性功能材料、光电功能材料、其他先进复合材料、先进复合材料制造工艺、复合材料检测及分析技术、复合材料的应用技术及产业化等在土木工程、电子、半导体、光电、能源、环保、生医等领域的研究、应用和产业发展情况。

本书除作为会议用论文集供行业专家、企业等各界人士深入广泛地交流和展示结构复合材料和功能复合材料以外, 还可供复合材料领域专家学者参考使用。

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 陈 旭

责任校对: 刘梦然 刘 钰

海峡两岸复合材料研究与应用新进展

主编 沈 健 马振基 刘伟庆

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27 字数: 673 千字

2011 年 11 月第一版 2011 年 11 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-13670-4
(21451)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

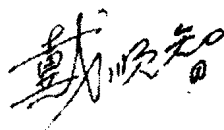
序 言

苏台两地复合材料界学术交流已有超过 20 年的历史，目前已形成惯例。江苏省复合材料学会近五年四次组团访台，台湾复合材料界也多次回访。由江苏省复合材料学会与台湾区复合材料工业同业公会、台湾区化学科技产业协进会联办的“海峡两岸功能复合材料论坛”已成功举办了五次。2006 年在宜兴；2007 年在西安；2008 年在台北；2009 年在南京；2010 年在台北。海峡两岸材料论坛已成为两岸材料界产学研交流的品牌活动之一。

近年来，海峡两岸在新材料研究领域取得了大量的研究成果，并实施了产业化推广，为经济建设和社会发展作出了重要贡献。海峡两岸功能复合材料论坛广邀两岸材料行业专家、企业龙头等各界人士与会，深入广泛地交流功能复合材料在土木工程、电子、半导体、光电、能源、环保、生物医药等领域的研究、应用和产业发展情况，为加强两岸学术和产业交流、集聚专家才智搭建了很好的平台，必将有力地推动两岸功能材料行业的繁荣和创新。本文集是两岸论坛筹备委员会和学术委员会邀请海内外从事复合材料研究和生产的大专院校、科研院所和企业的科技工作者共同撰写的，共收录了论文 55 篇，论文内容涉及结构复合材料、半导体材料、磁性材料、电子封装材料、功能陶瓷、生物医用材料等领域。文集反映了两岸复合材料界的最新科技成果，在论坛召开前夕汇编成集，并由建筑工业出版社出版发行。

海峡两岸功能复合材料论坛能够成功举办，与两岸业界同仁们的热情支持是分不开的。特别是以江苏省复合材料学会理事长、南京航空航天大学教授沃丁柱和台湾强化塑胶协进会理事长、新竹清华大学教授马振基为代表的一批复合材料界资深专家和学者，他们淡泊名利，满腔热忱地奔走呼吁，为促成两岸复合材料界的互助互信、共进共赢不遗余力。不幸的是，沃丁柱教授于今年四月因病去世了。他多年来为了他所热爱的复合材料事业呕心沥血，更为两岸复合材料界的交流合作鞠躬尽瘁，他不顾年迈体衰，不顾病魔缠身，将全部生命献给了事业，死而后已！正如后人追悼他的诗文所述：“人走笑容依在，身去品德如柏。敬业毕生倾爱。光彩，光彩，激励后人千载。”

就让本文集的出版，成为对沃丁柱辛勤一生的一份纪念吧。



2011 年 10 月于金陵

目 录

第一部分 结构复合材料

1. 电子级回收玻纤再制尼龙复材工艺技术整合	陈嘉勋 罗郁淳	3
2. 玄武岩纤维-木塑复合材料的界面及其力学性能	陈锦祥 王 勇 顾承龙	8
3. 负弯矩对 FRP 加固钢筋混凝土梁受弯性能的影响	陈俊涵 潘金龙 Christopher K. Y. Leung	15
4. FRP 桥面板-钢纵梁连接件的研究与发展	陈 林 刘伟庆 方 海	23
5. 高性能纤维增强复合材料施工模板的应用与发展	陈向前 刘伟庆 方 海	30
6. 应急救援用轻质复合材料道面板的理论分析与试验研究	方 海 刘伟庆	36
7. 复合材料夹层结构插入式平接节点抗弯承载力试验	韩丽婷 刘伟庆	43
8. 复合材料夹层板桩的弯曲试验研究和理论分析	胡世俊 刘伟庆 王 俊 方 海	50
9. 聚酰亚胺基复合材料性能研究	贾丽霞 陈 辉	56
10. 纤维增强复合材料及其在结构工程中的应用研究	刘伟庆 方 海	61
11. 纤维腹板增强复合材料夹层梁的受弯试验研究与有限元分析	刘子建 刘伟庆 方 海 周 强	75
12. 无机胶粘贴碳纤维抗弯加固混凝土梁受力性能的试验研究	庞方腾 徐 明 陈忠范	84
13. FRP 编织网结构试设计	齐玉军 冯 鹏 叶列平	92
14. 复合材料层合结构热荷载作用的重要性分析	钱 海 周 叮 刘伟庆	102
15. 一种纤维增强聚氨酯夹芯板在活动房屋中的使用性能研究	孙小鸾 刘伟庆	107
16. 增强型泡桐木夹层结构的等效界面强度研究	万 里 刘伟庆 陆伟东 方 海 王 俊	113
17. GFRP—混凝土—钢管组合柱轴压性能研究	王 俊 刘伟庆 祝 露 方 海	119
18. 真空辅助树脂传递模塑工艺的特点及其研究动向	杨亚强 陈锦祥	128
19. 拉挤成型复合材料螺栓连接极限承载力及其增强方案试验研究	周宏伟 刘伟庆 方 海 徐以扬	136
20. FRP 筋性能指标对预应力梁受弯破坏模式的影响分析	朱 虹 周晟羊	142
21. FRP 约束中空夹层钢管混凝土短柱轴压性能试验研究	祝 露 刘伟庆 王 俊 方 海	148
22. 复合材料夹层板受弯破坏模式与设计参数研究	冒一锋 刘伟庆 庄 勇 方 海	158

23. 旷野的呼声——由日本巨灾浅谈台湾“复合材料-FRP” 在土木/建筑结构补强的运用领域“何去何从”?!	林英民	164
24. FRP 复合材料构件测试及人行陆桥之应用	李有丰 蔡仁惠 邱佑宗 甘淑婷 吴嘉濠 谢富池	171
25. 碳纤维强化高分子复合材料补强圆形断面 RC 桥柱	李有丰 朱育正 邱佑宗	180

第二部分 功能复合材料

26. 秸秆制备高吸水性树脂的研究进展	蔡贤美 王 森 黄小波 袁 江 李 利 沈 健	191
27. 利用熔融混炼插入法制备聚乳酸/纳米粉体复合材料之特性研究	陈景祥 陈开明	198
28. Sn-Zn 基无铅钎料波峰焊抗氧化性研究	陈 旭 周 健 薛 烽	205
29. Dy ³⁺ 掺杂对锰锌铁氧体显微结构及电磁性能的影响	刁静人 白 宁 王丽熙 宋 杰 张其土	213
30. Ferroelectric and piezoelectric properties of 0.55Pb(Ni _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -0.45Pb (Zr _{0.3} Ti _{0.7})O ₃ Ceramics ... Du Jianzhou Qiu Jinhao Zhu Kongjun Chen Yuansheng Chen Hairong Yan Chunxia		222
31. Home-Made 3-D Image Measuring Instrument Data Process and Analysis	Ho Ling Fu PhD Ming Kai Hu	230
32. 先进微电子封装结构与导热高分子材料	傅仁利	237
33. CeO ₂ 掺杂 Y ₂ Ti ₂ O ₇ 基微波介质陶瓷的性能研究	龚志杰 王哲飞 肖 媛 张其土	245
34. 软磁铁氧体功率材料开发进展研讨	何秀桥 王 珏 傅红卫	251
35. 聚碳硅烷复合涂层与铝合金结合性能的研究	黄华亮 陶 杰 张云锋	260
36. 抗凝血高分子生物材料的表面设计	黄小波 李 利 王 森 蔡贤美 袁 江 沈 健	266
37. 丙烯酸树脂基全有机复合材料的介电性能研究	李 晴 王经文 王晓明 李淑琴	273
38. 超高机械强度及低介电聚亚酰胺/氧化石墨烯复合材料薄膜 之制备与特性	马振基 王仁佑 杨士亿 黄元利 田希文 金惟国	279
39. 新型单分散杂化氧化硅纳米微球的制备及应用	孟 震 杨文博 陈鹏鹏 王伟娜 贾叙东 裴 锴	288
40. 2.5 维机织复合材料几何模型与验证	邱 睿 温卫东 崔海涛	295
41. 静态与动态行为对紫外光固化之影响	宋文清 钟沅甫 芮祥鹏	301
42. 用分子动力学模拟的方法研究纤维蛋白原片段与不同类型材料表面的相互作用	王 森 韦 静 朱皓森 袁 江 李 利 沈 健	312
43. 分子动力学模拟研究两种不同材料表面对凝血因子 XII 九肽片段自然状态的影响		

..... 王 颖 朱浩森 汪海迪 王 森 韦 静 袁 江 李 利 沈 健	318
44. 微量 Nd_2O_3 掺杂 $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 基微波介质陶瓷的性能研究	
..... 王哲飞 龚志杰 肖 媛 张其土	324
45. 氧化钴铁纳米线之合成及磁流变性质之研究	王泽议 林威皓 芮祥鹏 330
46. 蛋白质分子与生物材料表面相互作用(吸附/抗污染)的分子模拟	
..... 韦 静 朱皓森 王 森 袁 江 李 利 沈 健	336
47. 石墨对聚乙二醇的机理吸附机理研究	
..... 魏云峰 邱化廷 邵晓林 李 利 章 峻 沈 健	342
48. 单方向亚麻/聚丙烯复合材料之拉伸与弯曲强度之实验研究	
..... 吴昌谋	348
49. 聚偏氟乙烯压电薄膜的制备及其介电性能研究	
..... 杨 路 朱孔军 裘进浩 邵 斌 季宏丽	356
50. 木纤维的表面化学改性及其增强的不饱和聚酯复合材料研究	
..... 张慧慧 崔益华 张志丹	365
51. 聚硅氧烷复合涂层的制备与性能研究	张云锋 陶 杰 黄华亮 371
52. 非导电性纤维表面电泳沉积碳纳米管的研究	张志丹 崔益华 张慧慧 377
53. 以远红外线陶瓷制作高功率 LED 散热基板	钟明吉 陈智成 384
54. $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ 纳米管阵列的制备及其光电催化性能研究	
..... 周 凝 薛建军 王 玲 崔益华 曹静珂 蔡燕华	390
55. 电子工业复合材料无损检测技术应用与发展	朱永明 杨春霞 396
56. 风力叶片用氧化石墨烯强化碳纤维/环氧树脂复合材料之制备与性质研究	
..... 马振基 叶铭泉 何冠谷 周宗佑 萧闵谦	403
57. 纳主 MnZn 铁氧体粉体的制备方法	仲崇玉 王莹莹 王寅岗 413
献身复合材料事业的带头人——记江苏省复合材料学会理事长沃丁柱	420

第一部分

结构复合材料

1. 电子级回收玻纤再制尼龙复材工艺技术整合

陈嘉勋¹ 罗郁淳²

(1. 远东科技大学材料科学与工程系副教授；

2. 远东科技大学永续材料技术研发中心专员)

摘 要：21 世纪是高度竞争的年代，产品开发不断以高科技、高生产力、高性能化、超低污染、省能产品为竞争优势要求，因应国际全球化政策与环保趋势，发展绿色工艺技术（或称清净生产制程技术），不仅能提升国家之国际形象，亦可改善国内人民的生活质量。本研究采用废弃电子级玻璃纤维，经回收再利用之创新制程后，可获得低成本且具竞争性的绿色产品。

The process integration of nylon composites for electronic glass sfiber recycling and reusing

Abstract: Twenty-one century is a highly competitive era. The development of products would focus on the higher technology, higher production, higher performance, lower pollution and lower energy. Because of the international policy and environmental tendency, we should develop the green process technology. Therefore, we could promote not only the international image of our country but the quality of people' s life. This research would develop the recycle and reuse technology for electronic glass fiber. And then, we could obtain the green product by using the innovative process, which was lower manufacturing cost and higher competition ability.

1. 前言

台湾地区在复合材料之基本原料（补强材与基材）制造方面已有相当基础，如玻璃纤维制品已在国际间占有重要地位，尤其在电子通信产业的带动下，更一跃成为全球最重要的电子级玻璃纤丝与布的生产与供应地^[1]，相关台湾地区玻纤主要制造业者见表 1。

台湾地区玻璃纤维制造业者

表 1

公司名称	产线供输	年产量 (t)
台湾玻璃工业股份有限公司	纱、布整合	90000
台湾必成股份有限公司	纱、布整合	90000
富乔工业股份有限公司	纱、布整合	36000
福隆玻璃纤维股份有限公司	纱	30000
德兴科技材料股份有限公司	纱、布整合 (德宏系统)	20000~30000

经统计台湾地区的玻璃纤维平均年产量约 280000t, 以不良率 6% 来计算, 其生产过程中所制造出的废弃物将高达 16000t^[2]。倘若在抽丝过程中, 以此事业废弃物与新料混合, 并重新熔融抽丝, 将容易造成断丝比率提高, 进而使得不良率提升。由于玻璃纤维制程及产品制造过程中造成的事业废弃物相当可观, 故大多数业者无不思索其资源再利用的方法, 如美国 SAINT-GOBAIN VETROTEX 公司利用梳绵 (Carded) 纱及电子级玻璃纤维纱制造 PP 及 PA 补强材, 长度约 20~25mm, 因玻纤回收再制过程中, 利用拍击方式将玻璃纤维击断, 造成玻璃纤维被打散成蓬松状, 反而使得玻璃纤维在加工过程中下料不易。此外, 国内亦有业者使用水洗、酸洗或加热烘烤等回收玻纤处理工序, 针对玻璃纤维制程中的废弃物资源化, 以响应绿色环保政策。

此外, 有关台湾地区复合材料产业的发展概况, 可区分为传统性 FRSP (GF/UP)、强化热塑性塑料 FRTP (GF/TP)、碳纤运动器材 CFRP (CF/Epoxy)、印刷电路板四大项, 其近五年来之市场统计如表 2 所示。

 台湾地区复合材料/强化塑料市场统计^[3] (单位: t)

表 2

年 份 分 类	2006	2007	2008	2009	2010 (E)	成长率
FRSP (GF/UP)	50000	54500	49000	48500	54320	12%
FRTP (GF/TP)	118700	125400	100642	107555	129066	20%
GFRP (CF/epoxy)	4740*	5780*	6210*	5160*	5300*	3%
CCL (cloth/epoxy)	264730*	281820*	296020*	264630*	306970*	16%
合计	438170	467500	451872	425845	495656	16%

* 含大陆台商

数据源: 台湾强化塑料协会

一般而言, 复合材料的玻璃纤维含量为 20%~30%, 以台湾地区 2010 年 FRTP 的使用量 129066t 来看, 其中便内含约 32000t 的玻璃纤维使用量, 潜在商机更高达新台币 11 亿元以上。目前常用的塑料基材包括: 聚酰胺类 (PA6 及 PA66)、聚对苯二甲酸二丁酯 (PBT)、聚碳酸酯 (PC)、聚丙烯 (PP)、丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 等, 其经由单螺杆或双螺杆挤出机等设备, 予以混炼/捏合/分散后, 再制成纤维强化塑料复合胶粒或板材, 供以射出成型、挤出成型、冲压成型等加工方法, 相关应用可区分为电子电机零件、家用电器、运动用品、汽车与建材等。

2. 实验内容

2.1 废玻纤前处理

本实验采用台玻公司之废弃电子级玻璃纤维, 此种玻璃纤维多应用于电子级玻璃纤维布、编织电子套管产品等。由于电子级玻璃纤维生产过程中, 因机头纱、制程不良或崩纱等因素而遭弃置。由于此种废弃玻纤通常布满灰尘且经偶合剂或淀粉以作为表面改质及集束, 故须利用清水反复含浸使杂质去除, 历时约 5min。

2.2 回收玻纤表面改质

回收玻璃纤维之表面改质系采取湿式改质法，以水为溶剂并混合比例 0.5%~1.5% 之 Dow 公司硅烷偶合剂，此外，添加 1% 之 PU 胶进行集束并加入醋酸调整其 pH 值于 3~5，另经含浸之回收玻璃纤维，其批处理量约 200kg，含浸时间 3min。

2.3 回收玻纤切股

由于玻璃纤维具有玻璃之刚性及纤维之柔软性，故研究中之切股设备采用似纸类裁切的斜切方式设计制作，以减少回收玻纤握持时被夹碎的几率。

2.4 混炼加工

将干燥后之回收切股玻纤与尼龙基材进行混炼加工制程，实验采用泽机式双螺杆挤出机 ($L/D=37.5$ 、 $\phi=32\text{mm}$)，加工温度 $240\sim 260^\circ\text{C}$ 、螺杆转速 50r/min ，另切股玻纤之添加量为 30%。

2.5 ASTM 射出成型

所得之尼龙/玻纤复合胶粒以 90°C 除湿干燥 4 小时以上，再利用全立发射出机 (25HP、5kW、 $\phi 35$ 螺杆) 制备出 ASTM 标准试片，相关实验皆依照 ASTM 标准规范进行测试。

3. 结果与讨论

3.1 表面形态观测

由尼龙/回收玻纤复材的断裂横截面 SEM 分析，可看出其尼龙与回收玻纤之界面接着情形。从图 1 中发现，回收玻纤经硅烷偶合剂改质后，可使其表面由亲水性转变疏水性^[4]，并改良其对尼龙基材的含浸性及接着性，使得部分尼龙可附着于回收玻纤上且未有回收玻纤由尼龙基材中被抽离，进而有效改善尼龙与回收玻纤间的界面问题。

3.2 拉伸强度

由图 2 所示，尼龙/回收玻纤复材之拉伸强度随偶合剂添加量的增加而逐渐上升。未经偶合剂改质之尼龙/回收玻纤复材的拉伸应力为 1112kgf/cm^2 ；经添加 0.5% 偶合剂，可增加至 1265kgf/cm^2 ；到添加 1.0% 偶合剂，有最大值 1502kgf/cm^2 ；而偶合剂比例 1.5% 时，可能因偶合剂添加过量，导致偶合剂交联，使改质效果略低于最佳值^[5]。

3.3 弯曲模数

由图 3 可看出，尼龙/回收玻纤复材之弯曲模数随偶合剂添加量的增加而有明显增加，至 1% 偶合剂添加量时，有最大值 64338kgf/cm^2 ，提升约 20%，然而当偶合剂添加量达饱和值后又略微降低。

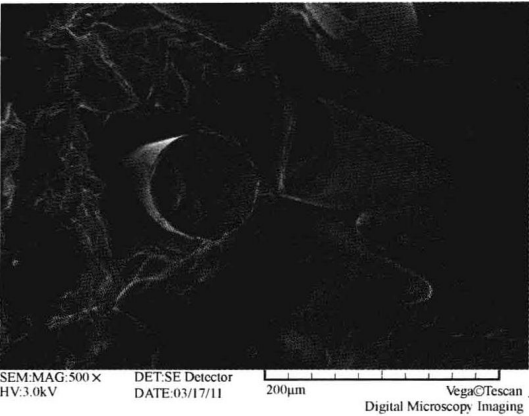


图 1 尼龙/回收玻纤复材之 SEM 分析

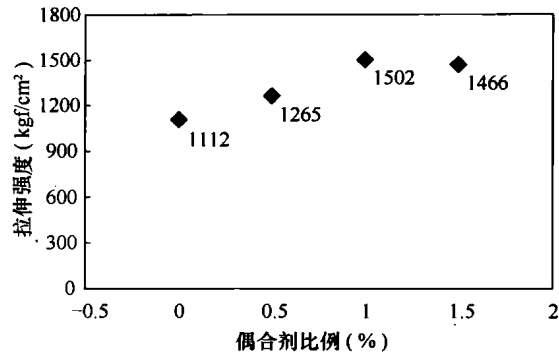


图 2 偶合剂比例对尼龙/回收玻纤复材之拉伸强度比较

3.4 冲击强度

由图 4 所示，尼龙/回收玻纤复材之冲击强度随偶合剂添加量的增加而逐渐上升，至 1%偶合剂添加量时，可增加约 34%的冲击强度。

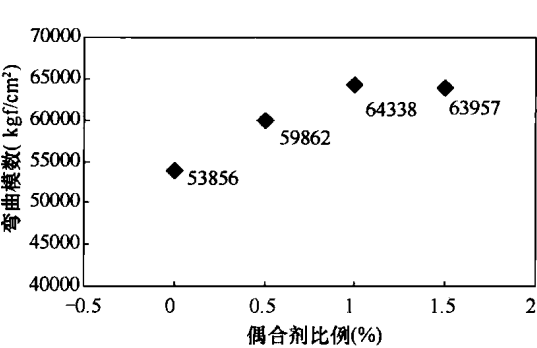


图 3 偶合剂比例对尼龙/回收玻纤复材之弯曲模数比较

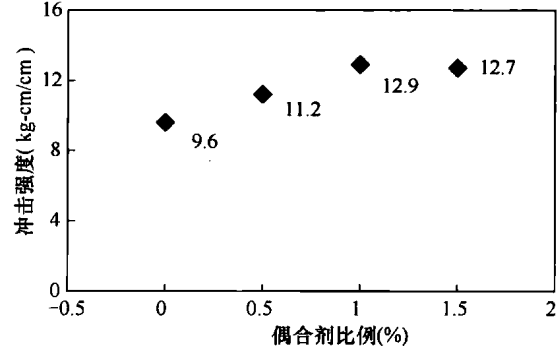


图 4 偶合剂比例对尼龙/回收玻纤复材之冲击强度比较

4. 结论

为因应全球各国的绿色趋势，再加上环保意识高涨，可预见未来的材料及产品走向，将会朝向节能减碳的绿色政策发展，而经本研究中，废弃电子级玻纤回收再利用制程所产出的产品，除可达到降低成本之目的外，亦同时完成节约减碳的社会责任。除此之外，回收玻纤经前处理、表面含浸改质、切股、干燥，并添加至尼龙基材后，可从其 SEM 图中发现，经添加偶合剂改质之回收玻纤，其与尼龙基材之界面可有效获得改善，另经 1%偶合剂改质之回收玻纤，其对于尼龙基材的补强效果，无论是在拉伸强度、弯曲模数或是冲击强度，都有明显且最佳的物性提升。

参考文献

- [1] 陈壁程. 电子级玻璃纤维纱产业之经营策略分析—以外商在台子公司之经营策略探讨为例. 台湾大学管理学院国际企业管理组硕士论文, 2006.
- [2] 林裕哲. 市场结构与营销作为之研究—强化塑料玻璃纤维与电子级玻璃纤维布之比较分析. 台湾大学国际企业研究所硕士论文, 2003.
- [3] 台湾强化塑料协会. 2010 强化塑料产业年度报告. 强化塑料会讯期刊, 2002, 117.
- [4] S. J. Park, J. S. Jin. Effect of Silane Coupling Agent on Interphase and Performance of Glass Fibers/Unsaturated Polyester Composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 174-179, 2001.
- [5] K. Tohgo, D. Fukuhara, A. Hadano. The influence of debonding damage on fracture toughness and crack-tip field in glass-particle-reinforced Nylon 66 composites. *Composites Science and Technology*, 2001, 61, 1005-1016.

2. 玄武岩纤维-木塑复合材料的 界面及其力学性能

陈锦祥¹ 王 勇² 顾承龙¹

(1 东南大学城市工程科学技术研究院, 南京, 210096;

2 浙江理工大学机械工程及自动化学院, 杭州, 310018)

摘 要: 为了开发生态复合材料, 用短切玄武岩纤维增强木塑复合材料, 试制了一种无机纤维、植物纤维、树脂及其添加剂等多元成分的新型复合材料。通过对实验样品的拉伸及弯曲等力学性能及其纤维与树脂之间微观结构的研究表明, 添加剂的存在有利于改善纤维与树脂之间界面的结合状况, 从而有利于提高这一新型复合材料的力学性能。

关键词: 木塑复合材料; 玄武岩纤维; 复合材料; 界面; 力学性能

Interface and mechanical properties of basalt fiber-wood-plastic composites

Chen Jinxiang¹ Wang Yong² Gu Chenglong¹

(1 International Institute for Urban Systems Engineering & School
of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing, 210096, China

2 Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang
Sci-Tech University, Hang Zhou, 310018, China)

Abstract: To develop eco-composites, basalt fiber was used as reinforcement for wood-plastic composites. A new type of multi-component composite materials with inorganic fiber, plant fiber, resin and other additives was prepared. Mechanical properties such as tensile, bending and the microstructure between the fiber and matrix were studied. The results show that the presence of additives helped to improve the bonding of fiber-matrix, and thus improved the materials' mechanical properties.

Key words: wood plastic composite; basalt fiber; composite materials; interface; mechanical properties

1. 引言

近年来, 随着环保意识的提高和森林资源的日益减少, 生态材料的研究开发已成为热

基金项目: 国家十二五科技支撑项目 (2011BAB03B10); 国家自然科学基金资助项目 (51173026)。

作者简介: 陈锦祥, 教授, 工学博士, 目前主要从事生态仿生材料的研究与开发。E-mail: chenjpaper@yahoo. co. jp.

门话题^[1]。木塑复合材料 (Wood Plastic Composites, 简称 WPC) 以木纤维等植物纤维和热塑性塑料等为原料, 经挤出、注塑、模压等成型方法制备而成^[2-3]。它继承了木材原有的加工性能、纹理及色泽^[4-5], 可广泛应用于家具、地板、托盘、门窗和汽车等领域^[6-7]; 可以用废弃塑料和废旧木材作为原料, 从而直接实现“变废为宝”的转换过程^[8-9]。不过, WPC 也有不足之处: 与实木相比, 能耗大、制作成本高, 密度大而强度偏低^[10-11]。简言之, 其性价比较低, 目前还很难应用到结构材料等性能要求较高的行业^[10-12]。为了克服这些缺点, 人们在材质配方^[13-14]、用玻纤增强^[15-16]、改性处理^[17]、加工工艺^[18-19]等方面作了大量的研究^[20-21], 并取得了一些可喜的成果。但前述 WPC 的缺点仍然没有得到很好地解决; 另一方面, 玄武岩纤维 (Basalt Fiber, 简称 BF) 被誉为“21 世纪无污染的绿色工业材料”, 是天然玄武岩矿石经高温熔融后通过铂铑合金拉丝制成的一种新型纤维^[22]。BF 原料来源广、成本低^[23], 并具有耐高温、耐腐蚀、隔热、吸声及低吸湿等优良性能^[24,25-26]; BF 性价比高, 被认为有望代替价格昂贵的碳纤维^[27-28], 而成为新兴高强纤维^[29-30]; 特别是在中国, 近年来得到了快速的发展, 已广泛应用于交通路面^[31]、建筑加固等诸多领域^[22,32-33]。

鉴于此, 利用 BF 增强 WPC, 为攻克木塑的弱点提供了一个突破口。初步证实, 这是一种行之有效的方法^[34]。而研究初期, 从环保及直接考虑 BF 作用等角度考虑, 我们在商业的木塑中直接加入 BF——既没有再加其他添加剂, 也没有对 BF 进行处理。

即便如此, 因商业木塑中已经含有适量的增容剂等助剂, BF-WPC 的力学性能也能得到了一些改善, 但正如所报道的那样, BF 纤维表面光滑, 这也说明木塑与玄武岩纤维表面之间还没有形成理想的界面粘结; 据报道, 添加接枝改性的聚合物型界面增容剂可以显著改善界面的结合状况^[35-37]。因此, 本文选用了相溶剂马来酸酐接枝高密度聚乙烯 (简称 MAPE) 对 BF-WPC 进行了改性研究, 探讨了相溶剂用量对 BF-WPC 的性能影响, 并从界面形态等作了初步的机理分析。

2. 实验方法

2.1 实验设计与实验材料

(1) 实验设计: 前期的实验中表明, 在 BF-WPC 中, BF 的含量可以高达 15%~30%, 因此, 实验用 BF 短切长度为 6mm, BF 为 25%含量的 BF-WPC, 在此基础上再加入 MAPE, 按加入 MAPE 后占总样品的百分含量计算其含有量, 从 0%开始到 15%为止, 以 3%为一档, 共设计 6 个实验样号。

(2) 实验材料: 木塑料粒 (柚木粉: 高密度聚乙烯 HDPE=7:3, 上海鑫记鑫有限公司); BF (浙江石金玄武岩纤维有限公司, 短切长度 6mm, 直径 17 μ m); 马来酸酐接枝高密度聚乙烯 (MAPE, KT-12, 沈阳科通塑胶科技有限公司)。

2.2 样品的制备, 性能测试及设备

(1) 样品的制备 采用双辊开炼机 (SK160-B, 上海第一橡胶机械厂) 对 BF 和 WPC 进行塑化混炼, 辊筒温度为 170℃, 开炼时间约 10 分钟。将混炼均匀的物料粉碎后, 再

利用平板硫化机 (XLB-25D 型平板硫化机, 上海第一橡胶机械厂) 热压成型, 成型温度 180℃, 压力为 10MPa, 保压 10min, 拆模后再高温型平板硫化机 (XLB-400D, 上海第一橡胶机械厂) 上自然冷却。

(2) 力学性能测试: 分别按国标 GB/T 7—2005, GB/T 1449—2005 和 GB/T 1043—1993 制备哑铃型拉伸试样和弯曲试样, 并在电子万能试验机 (REGER-200A, 深圳市瑞格尔仪器制造有限公司) 上进行拉伸和弯曲性能试验, 样本容量均为 5。

(3) 显微观察: 切取实验后想观察的样品, 经真空喷金, 再利用扫描电子显微镜 (SEM, JSM-5610LV, 日本岛津公司) 观察试样断面的结构和纤维与木塑的结合界面情况。

3. 实验结果与讨论

3.1 BF-WPC 的力学性能及其断面形态

图 1 为 MAPE 添加量与 BF-WPC 拉伸性能及弯曲强度之间的曲线图。从图 1 (a) 可见, 加入 MAPE 后, BF-WPC 的抗拉强度有所增加, 但在本实验的各个取值点, 其增加幅度与 MAPE 质量百分数的含量之间关系并不密切, 如以各含量下的平均值作为增加幅度的计算标准, 抗拉强度约提高了 20%。从图 1 (c) 可见, 随着 MAPE 含量的增加, BF-WPC 的弯曲强度有一个快速上升的过程, 最大增幅约为 30%, 其后有所下降, 大致回到了原来的强度大小。由图 1 (b) 的断裂伸长率可见, 随 MAPE 含量的增加开始有一快速上升过程, 然后略有下降, 不过下降幅度有限, 基本保持在最大值附近。其最大提高的幅度约为 50%, 出现最大值时的 MAPE 含量为 6%。

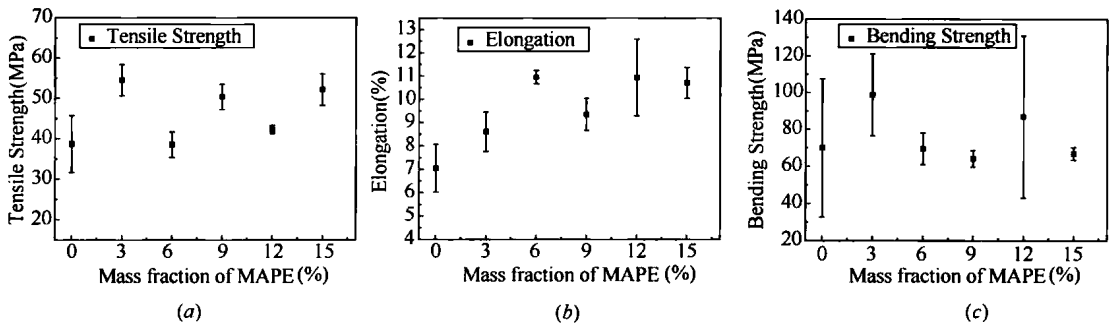


图 1 MAPE 含量对 BF-WPC 力学性能的影响

Fig. 1 Relationship between mechanical properties of BF-WPC and the mass fraction of MAPE;

(a), (b) tensile properties; (c) bending properties

图 2 为不同的 MAPE 添加量时, 拉伸实验中 BF-WPC 破坏断面的扫描电镜图。由图可见, 各样号均有约数 10μm 长外伸的玄武岩纤维 (箭头) 残留在断面上, 其根部包裹在木塑材料中。但各样中玄武岩纤维的表面及其木塑表面形态有较大不同: 在没有使用 MAPE 增容时, 其纤维表面光滑, 基体木塑中木质纤维与 HDPE 之间的界面也清楚可见 (图 2a); 当加入 3% 的 MAPE 时, BF 表面虽然仍然比较光洁, 但可能看到其表面光洁度有较大下降, 并可观察到纤维的局部区域已经有块状物存在。其块状物与木塑之间存在明显的“丝状”连接存在; 特别是