

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.08.010

绿色生态中空塑料建筑模板开发与应用

颜录科¹, 刘荣¹, 周健¹, 李云全^{1,2}, 李波²

(1. 长安大学材料科学与工程学院, 西安 710064; 2. 苏州利波新材料科技有限公司, 江苏苏州 215107)

摘要: 针对市面大多数类型建筑模板存在成本过高、生产效率低、对环境不友好等缺点的现状, 开发了一种绿色生态中空塑料建筑模板。通过采用经特殊表面改性的纳米填料和具有特定结构的助剂制备的纳米功能母粒, 复配其它填料对聚丙烯 (PP) 再生料进行改性, 使其拉伸强度与弯曲模量分别达到 19.6 MPa 和 1669 MPa。在此基础上以改性 PP 再生料开发中空塑料建筑模板, 并在优化设计挤出模结构的基础上, 通过三层共挤一步法成功开发出完全满足建筑行业要求的绿色生态中空塑料建筑模板, 其弯曲模量可高达 2200 MPa 以上。所开发的塑料建筑模板在实际工程应用中可周转次数达 100 次以上, 在超出极限使用次数后又可粉碎重新改性再利用; 此外, 其模板面密度仅 8 kg/m², 易于搬运拆装; 价格低廉, 分摊价格不到 1 元/m², 是一种理想的新型建筑材料。

关键词: 聚丙烯再生料; 塑料建筑模板; 改性; 可回收

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)08-0056-05

Development and Application of Green Ecological Hollow Plastic Building Template

Yan Luke^{1,2}, Liu Rong¹, Zhou Jian¹, Li Yunquan^{1,2}, Li Bo²

(1. School of Materials Science & Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Suzhou Libo New Materials Technology Co., Ltd., Suzhou 215107, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of most types of building templates in the market, such as high cost, low production efficiency and environmental unfriendliness, a green ecological hollow plastic building template was developed. Nano-functional masterbatch was prepared with special surface-modified nano fillers and additives with specific structure, then it was compounded with other fillers to modify regenerated polypropylene (PP). The tensile strength and bending modulus of the resulting products were up to 19.6 MPa and 1669 MPa, respectively. On this basis, modified PP recycled materials were used to develop hollow plastic building templates, and finally a green ecological product by the three-layer co-extrusion one-step method based on the optimized design of the extrusion die structure was developed, which fully met the requirements of construction industry, and the flexural modulus was up to 2200 MPa. In actual engineering applications, the number of turnover time can be more than 100, and it can be crushed, re-modified and reused after exceeding the limit usage number; in addition, the surface density of the template is only 8 kg/m², so it is easy to move and disassemble; the price is low which is less than 1 yuan/m². In summary, the hollow plastic building template is an ideal new building material.

Keywords: regenerated polypropylene; plastic building template; modification; recyclable

模板工程作为现浇钢筋混凝土的重要施工工序, 对于保证施工进度、控制钢筋混凝土结构的施工质量都起到决定性的作用, 同时也是工程成本控制的重要考虑因素之一^[1]。据统计, 模板工程所需费

用占总工程费用的 30%~35%^[2], 因此模板强度的增加和可循环再利用就显得尤为重要^[3], 必须采取有效措施来控制工程成本并协调好效益与质量的关系^[4]。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (300102318403, 300102319306), 长安大学基础研究支持计划专项基金项目

通讯作者: 颜录科, 博士, 副教授, 主要研究方向为交通功能材料、特种工程塑料、聚合物基复合材料改性与应用、绿色高分子材料、废塑料绿色再生与高值化利用 E-mail: yanlk_79@hotmail.com

收稿日期: 2020-06-03

引用格式: 颜录科, 刘荣, 周健, 等. 绿色生态中空塑料建筑模板开发与应用 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8):56-60.

Yan Luke, Liu Rong, Zhou Jian, et al. Development and application of green ecological hollow plastic building template[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):56-60.

目前,我国建筑行业使用的模板主要有钢模板^[5]、木模板^[6]、竹模板^[7]和塑料模板^[8]等。钢模板笨重,搬运困难,生产效率较低。木模板与竹模板产量不足,且造成大量森林被砍伐、生态环境被破坏与资源浪费。塑料模板是一种新兴建筑材料^[9],按材质主要有聚氯乙烯(PVC)、聚碳酸酯(PC)和聚丙烯(PP)等^[10],其中PC模板弯曲性能好,耐温性高,但由于其生产成本高而限制了PC模板的大量使用,整体来说性价比较低;PVC模板原料价格虽然相对于PC模板来说比较低廉,但是其弯曲性能和耐温性能较差,使用温度范围较窄,不适用于大型建筑物施工场所;而PP作为高性能的通用型塑料,在废塑料回收利用中占有较大的比例^[4],因而具有较高的循环利用价值,且具有自重轻、易脱模、原材料成本低廉、可回收再利用和表面平整光滑、薄厚均匀等优点^[11-12],在建筑工程中可以节省能耗,降低成本,减小环境污染。但传统PP模板因韧性过低,热胀冷缩系数大而导致其在建筑工程应用中受到一定的限制^[13]。

因此,亟需开发一种新型塑料模板产品。笔者基于此开展新型塑料建筑模板的研究,通过采用经特殊表面改性的纳米填料和具有特定结构的助剂制备纳米功能母粒,并复配其它填料对 PP 再生料进行改性,尝试以改性 PP 再生料为基础,开发一种具有高强度、高韧性、抗化学药品腐蚀、循环使用次数高等优异性能的中空塑料建筑模板,从而降低工程造价,以期在建筑模板领域实现“以塑代钢、以塑代木、以塑代竹”的目标^[14-16]。

1 实验部分

1.1 原材料

纳米功能母粒：自制；

回收 PP: 电瓶壳废料, 市售;

PP : K8003, 中国石化扬子石油化工有限公司;

增韧剂:市售;

滑石粉: 10 ~ 15 μm (800 ~ 1250 目), 海城市强胜石粉制造有限公司。

1.2 仪器及设备

高速混合机: SHR-5A 型, 上海尘鑫科技有限公司;

切料机: KM-500 型, 江苏科茂机械有限公司;

注塑机: DRV4-35T 型, 深圳德润机械有限公司

司：

双螺杆挤出机: CTE35 型, 科倍隆(南京)机械

有限公司；

电子万能试验机: CMT5105 型, 美特斯工业系统有限公司;

摆锤冲击试验机:JBW-300B 型,济南南波试验设备有限公司。

1.3 塑料建筑模板制备

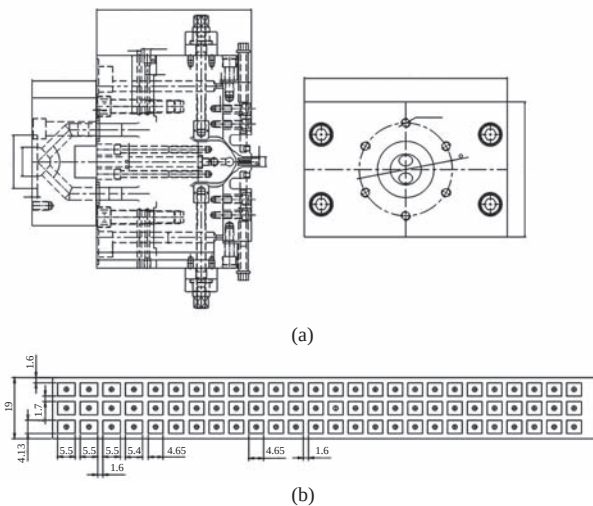
将自制纳米功能母粒、PP 再生料、滑石粉等按表 1 比例混合,并在同向平行双螺杆水冷拉条造粒系统上,经挤出改性制得改性 PP 再生料粒料;然后以改性 PP 再生料在优化设计挤出模结构的基础上,通过 120 单螺杆挤出机(主机)与 90 单螺杆挤出机(副机)双机共挤一步法挤出成型,并通过真空定型制备中空塑料建筑模板。

表 1 PP 再生料改性配方 份

材料	PP-1	PP-2	PP-3
PP 再生料	80	78	78
滑石粉	20	20	20
纳米母粒		2	2
增韧剂	3		2

1.4 挤出模具与工艺设计

中空建筑模板都会面临一些共性问题,如中空结构尺寸太大容易在应用时进入混凝土浆料、而中空结构设计不合理又会导致模板强度达不到建筑行业的使用要求。笔者在设计中空塑料模板结构时充分考虑了上述问题,首先将内部结构设计为三层中空结构,既可减少单个孔的体积,有效阻止混凝土浆料进入,又可在保证模板强度的同时最大限度地减少自重。模具浇口及芯棒尺寸见图1,其中尺寸差异是真空冷却定型造成的,为正常生产产生。该设



a—模具浇口;b—芯棒尺寸

图1 第四代模具浇口及芯棒尺寸

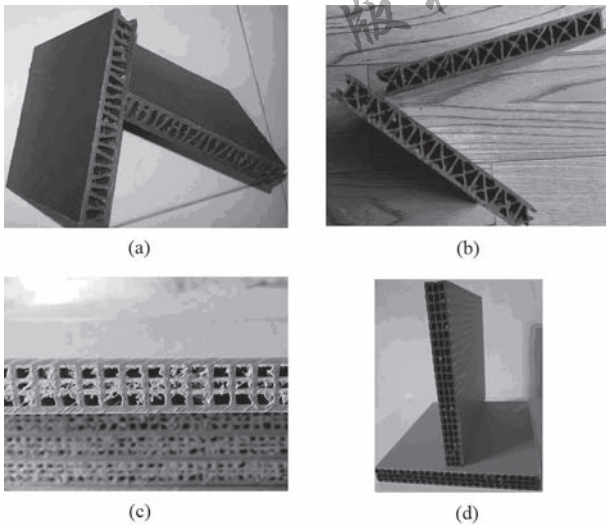
计是双机头共挤出,需要两个机筒同时向机头提供物料,分别进入两个进料口,经过分流器时,进料口的白色改性 PP 沿着设计好的上下两个支管流入,另一个进料口的黑色改性 PP 则沿着中间的支管流入,当物料将三个支管完全填充完毕后,就会流向前方,通过模芯,最终从模唇出来形成“白皮黑芯”的双色中空塑料模板。之后冷却定型,通过定型垫板材料完全冷却之后即中空塑料模板。

在用料设计时采用“白皮黑芯”模式,白料为回收的浅色料以及本色料的混合物,黑料为各种带颜色的回料混合在一起。白色 PP 虽然强度大但是价格较高,黑色的 PP 容易吸热变形但强度不如白色 PP,故以白色 PP 为外皮,既能在一定程度上降低吸热又可以增加模板强度;黑色 PP 价格便宜,可以作为内芯来支撑整个模板。所以整个塑料模板为“白皮黑芯”的双层中空结构,既能减少进料,又可以不同颜色 PP 组合,使其在强度发挥到最大的情况下还可以控制成本。

2 结果与讨论

2.1 中空塑料建筑模板结构设计

研究团队在尝试使用改性 PP 再生料开发中空塑料建筑模板过程中,先后开发了四代产品,见图 2。



a—第一代产品;b—第二代产品;c—第三代产品;d—第四代产品

图2 四代不同结构中空塑料建筑模板小样照片

第一代中空结构为梯形,虽然保证了模板强度,但由于梯形中空结构的体积大容易进入水泥浆,且均使用黑色 PP 再生料改性制成,虽然黑色料价便宜,但是模板的弯曲模量低,易吸热,且热胀冷缩

变形大,夏天不宜使用。第二代中空结构是在正方形里面将两个对角线连接起来,进浆相对减少,但冷却定型时加强筋会部分断裂,影响整体强度。第三代中空结构的体积更小,所以进浆更少,但白色 PP 料价太高、不吸热、裁切时易产生大量碎屑。第四代是在优化设计挤出模具结构的基础上,综合考虑热胀冷缩和成本两大问题,模板内部为双层长方形,采用特殊的中空及白皮黑芯结构设计,利用三层共挤进一步法挤出成型。其中黑色料便宜、吸热、刚性大,白色格料价高、不吸热、韧性好,使模板刚柔并济,有效地降低了成本并减少了因热胀冷缩引起的翘曲变形($<2\text{ mm}$),完全满足建筑行业对高性能模板的要求。图3为第四代模板产品实物图。

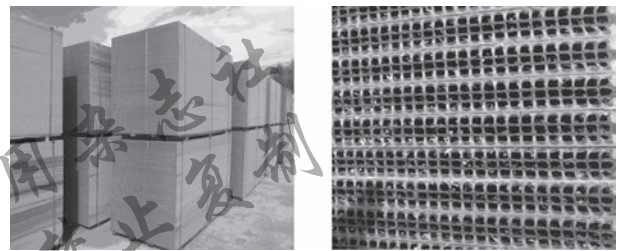


图3 第四代中空塑料建筑模板实物照片

2.2 改性 PP 再生料性能

表2是不同配方 PP 再生料(黑料)的性能测试结果。其中,加入了纳米母粒的改性料比起加入增韧剂的改性料无论是拉伸强度还是弯曲强度都得到了很大提升,且其应用于建筑模板时最重要的指标——弯曲模量,达到了 1669 MPa,比其它两种配方模量更高。所以,最终选用 PP-2 作为塑料模板的制备材料。

表2 改性 PP 再生料性能

项目	PP-1	PP-2	PP-3
拉伸强度 / MPa	18.7	19.6	19.4
断裂伸长率 / %	35.0	25.1	28.5
弯曲强度 / MPa	31.9	34.1	32.3
弯曲模量 / MPa	1 450	1 669	1 558
简支梁冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	17.5	15.2	16.5
简支梁冲击强度(缺口) / (kJ · m ⁻²)	132.0	105.0	110.0
热变形温度 / °C	99.5	104.9	101.2
灰分含量 / %	19.4	20.0	19.6

2.3 中空塑料建筑模板性能

以经纳米母粒改性过的 PP 再生料制备的塑料模板,其弯曲模量与未改性的 PP 再生料制备的塑料模板相比得到了大幅提升。改性 PP 再生料模板性能参数见表3。纯废旧 PP 模板的弯曲强度为 19.7 MPa,弯曲模量为 773.1 MPa;而改性后的 PP

模板弯曲强度为 31.7 MPa,弯曲模量不低于实际施工要求的 2200 MPa,弯曲强度增大 60.91%、弯曲模量增大 184.56% 以上。改性后 PP 中空模板的热胀冷缩变形横向、纵向尺寸变化均控制在 2 mm 以内,完全满足建筑行业的施工要求。所以不管是从弯曲强度和弯曲模量方面,还是热胀冷缩变形量方面考量,所开发的中空塑料模板的各项性能指标都有明显提升,完全可以作为一种工程模板来使用。

表 3 改性 PP 再生料塑料模板性能

项目	改性 PP 塑料模板
邵氏硬度 D	63
简支梁冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	32.3
弯曲强度 / MPa	31.7
弯曲模量 / MPa	> 2200
加热后尺寸变化率 / %	横向
	纵向
维卡软化温度 / °C	82.0
吸水率 / %	0.412

2.4 绿色中空塑料模板与其它类型模板性能对比

所开发的模板与普通塑料模板、木模板、铝合金模板性能对比见表 4。所开发的模板表面平整度超过目前混凝土施工过程中的要求,表面平滑、光洁、无需涂刷模剂,减少了清洁、保养费用,而且化学性能优异;具有不吸湿、不霉变、耐寒、耐高温、耐酸耐碱、阻燃、不开裂、板幅大、接缝少、易脱模、可加工成任何长度等优点,特别适合地下和潮湿环境中使用;质量轻、支拆模方便、搬运操作劳动强度低、施工效率高;强度高、韧性好、弹性强、耐冲击、耐磨损、使用寿命长、循环使用次数可达 100 次以上,且使用后增重不足 0.5%;可加工性好,可刨、可锯、可钉钉、

表 4 绿色中空塑料模板与其它类型模板性能对比

项目	所开发模板	普通塑料模板	木模板	铝合金模板
价格 / (元 · m ²)	<100	>100	35	1400
周转次数 / 次	>100	30 ~ 50	3 ~ 6	100
耐磨性	耐磨	耐磨	不耐磨	耐磨
10 m 跌落试验	不破裂	不破裂	破裂	不破裂
吸水后变形	不变形	不变形	变形	不吸水、不变形
面密度 / (kg · m ⁻²)	8	13	7.2	20 ~ 25
钉钉难易度	易钉钉	难钉钉	易钉钉	不易钉钉
膨胀收缩性	非常小	大	小	小
废料价值 / (元 · m ²)	30	25	1	400
售后服务	专人工地指导	专人工地指导	无	专人工地指导
节能减排性	可循环使用	可循环使用	大量使用木材	可循环使用
脱模难易度	易脱模	易脱模	难脱模	需用脱模剂
施工周期	短	较长	短	长
分摊价格 / (元 · m ²)	<1	3	6	10

可与木模版同时并用;可大大提高建筑工程的质量;生产与施工过程中裁切的边角料以及超过最大循环使用次数的模板都可直接回收粉碎为 PP 再生料,改性后可再次利用生产新的模板。全废料生产,可全部回收再生,是一种绿色生态材料,是“以塑代钢、以塑代木、以塑代竹”和降低工程造价的理想建材。

2.5 中空塑料模板的工程应用

在工程应用中,使用绿色生态中空塑料建筑模板的工地均被评为绿色工地,因其工程质量好、效率高,在使用中获得用户一致好评。绿色生态中空塑料建筑模板研发成功后,已先后应用于中国新兴建筑京粮项目部、张家港金茂大厦和中银大厦项目、上海金山新城项目、上海建工集团大中型项目、苏州新区大项目工程、临汾经济开发区工业园新能源汽车产业园建设项目、北京城建与北京首钢等相关工程中。这些项目工程始终执行建筑施工质量和安全管理高标准,在施工绿色、环保、安全理念引领下,大量使用绿色生态中空塑料建筑模板,见图 4 和图 5,贯彻绿色施工、文明施工、安全施工的高标准,既保证了环境安全,又可建设高品质安置房。

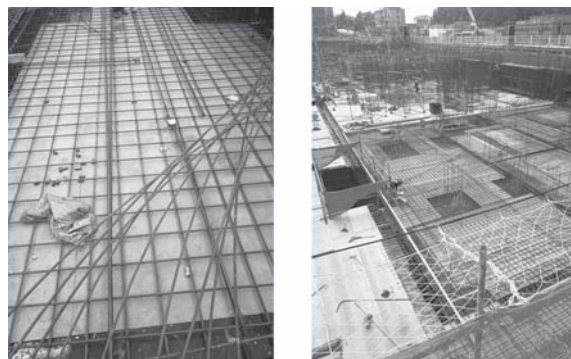


图 4 中国新兴建筑京粮项目部采用第四代中空塑料建筑模板施工现场



图 5 中国新兴建筑京粮项目部拆模效果图

3 结论

以经特殊表面改性处理的纳米填料和具有特定结构的助剂等开发出适用于聚烯烃改性的纳米母粒。通过该纳米母粒复配其它填料对 PP 再生料进行改性,使其拉伸强度与弯曲模量分别高达

19.6 MPa 和 1 669 MPa,并在优化设计挤出模结构的基础上,通过三层共挤一步法成功研制出完全满足建筑行业要求的第四代产品——一种新型中空塑料建筑模板,其弯曲模量高达 2 200 MPa 以上。整个产品全废料生产,并且可全部回收再生,是一种绿色的生态材料。

参考文献

- [1] 文凤枝. 浅析建筑工程中模板工程施工技术[J]. 技术与市场, 2019, 26(8):123-124.
Wen Fengzhi. Brief analysis on the construction technology of formwork engineering in architectural engineering[J]. Technology & Market, 2019, 26(8):123-124.
- [2] Hamerlinck R. Fire resistance of composite slabs[J]. Journal of Constructional Steel Research, 1995, 33(1):71-85.
- [3] 李三庆, 张明亮. 我国建筑模板的发展概况[J]. 四川建材, 2016, 42(3):63-64.
Li Sanqing, Zhang Mingliang. Overview of the development of building templates in China[J]. Sichuan Building Materials, 2016, 42(3):63-64.
- [4] 锁浩, 崔升, 赵远见, 等. 废旧聚丙烯再制备用于新型建筑模板的研究进展[J]. 塑料科技, 2017, 45(9):108-114.
Suo Hao, Cui Sheng, Zhao Yuanjian, et al. Research and development of refabricated waste polypropylene for new building templates[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(9):108-114.
- [5] 于光, 陈晓东, 张磊, 等. 冷弯型钢模板的设计[J]. 中国建筑金属结构, 2013(16):73, 163.
Yu Guang, Chen Xiaodong, Zhang Lei, et al. Design of cold-formed steel template[J]. Chinese Building Metal Structure, 2013(16):73, 163.
- [6] 秦国华. 房建项目工具式定型组合木模板施工技术[J]. 广西教育学院学报, 2018(2):184-191.
Qin Guohua. Construction technology of tool-type stereotype combined wooden formwork for house construction[J]. Journal of Guangxi Education Institute, 2018(2):184-191.
- [7] 郭晓阳, 周靖. 竹胶合板模板对工程质量的影响[J]. 建筑技术, 2002(4):275-277.
Guo Xiaoyang, Zhou Jing. Impact of bamboo plywood form on construction quality[J]. Architecture Technology, 2002(4):275-277.
- [8] 陈顺其. 新型塑料建筑模板在建筑工程中的应用探究[J]. 智能城市, 2018, 4(4):7-8.
- Chen Shunqi. Research on the application of new plastic building template in construction engineering[J]. Intelligent City, 2018, 4(4):7-8.
- [9] 糜嘉平. 节能新材——国内外塑料模板介绍[J]. 建筑施工, 2008(9):815-816.
Mi Jiaping. Energy-saving material-introduction of plastic formwork at home and abroad[J]. Building Construction, 2008(9):815-816.
- [10] 王贵满. PVC 塑料模板在建筑施工中的应用[J]. 塑料工业, 2018, 46(4):127-130.
Wang Guiman. Application of PVC plastic template in construction[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(4):127-130.
- [11] 梅华, 李张苗, 李瑞红. 复合塑料建筑模板的现状 & 发展前景[J]. 合成树脂及塑料, 2015, 32(6):89-91, 4.
Mei Hua, Li Zhangmiao, Li Ruihong. Status and development prospect of the composite plastic construction formwork[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(6):89-91, 4.
- [12] 何凡, 吴江渝. 聚丙烯回收料在建筑模板中的应用研究[J]. 价值工程, 2011, 30(12):141-142.
He Fan, Wu Jiangyu. Research on the application of PP recycled materials in the construction template[J]. Value Engineering, 2011, 30(12):141-142.
- [13] 吴厚增. 聚丙烯塑料模板在建筑工程的应用研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
Wu Houzeng. Application research of PP Plastic formwork in building construction[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.
- [14] 洪慎章. 以塑代钢, 塑料工业进一步持续发展[J]. 橡塑技术与装备, 2015, 41(8):33-35.
Hong Shenzhang. Use plastic instead of steel for further sustainable development of plastics industry[J]. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2015, 41(8):33-35.
- [15] 佚名. 业界推进“以塑代木”工作助力塑料模板应用[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(14):56.
Anon. The industry promotes the work of “plastering wood with plastics” to help the application of plastic formwork[J]. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2016, 42(14):56.
- [16] 徐时楠. 环保增塑剂迎来“以塑代木”时代[J]. 中国石化, 2016(4):79.
Xu Shinan. Environmental plasticizers ushered in the era of “plastic instead of wood”[J]. Sinopec Monthly, 2016(4):79.