

纸浆模塑制品的研究现状与发展趋势

刘全祖¹, 沈祖广¹, 黄良¹, 俞朝晖¹, 陈广学^{1,2}

(1.深圳市裕同包装科技股份有限公司 裕同研究院, 深圳 518108;

2.华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: **目的** 综述纸浆模塑制品在一次性餐具、电子产品包装等领域的研究进展, 为进一步拓展纸浆模塑的应用领域提供科学的研究基础。**方法** 通过对纸浆模塑研究结果的分析与总结, 介绍纸浆模塑的工艺流程、应用现状。**结果** 分析表明纸浆模塑制品在一次性餐具、电子产品包装等领域的应用逐渐普遍, 但是纸浆模塑在模具设计、原料研究、制品后处理以及对大型物件的包装等方面的研究与应用还较欠缺。**结论** 纸浆模塑制品作为一种绿色环保型包装材料, 在国内外已得到广泛的应用。纸浆模塑产业在我国的发展还存在一些局限性, 需要政府、厂商、研究机构等的共同努力, 使其得到健康高速的发展。

关键词: 纸浆模塑; 环保包装; 工艺流程

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)07-0097-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.07.018

Research Status and Development Trend of Pulp Molded Products

LIU Quan-zu¹, SHEN Zu-guang¹, HUANG Liang¹, YU Zhao-hui¹, CHEN Guang-xue^{1,2}

(1.YUTO Research Institute, Shenzhen YUTO Packaging Technology Co., Ltd., Shenzhen 518108, China; 2.State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the research progress of pulp molded products in the fields of disposable tableware and electronic product packaging, etc., to provide scientific research basis for the further expansion of application fields of pulp molded products. The technological process and application status of pulp molded products were introduced based on the analysis and summary of the research results of pulp molded products. The analysis showed that, the pulp molded products were widely applied in disposable tableware, electronic product packaging and other fields. However, pulp molded products were still lacking in the research and application, including mold design, raw material research, product post-processing and packaging of large articles. In summary, pulp molded product, as a kind of green packaging material, has been widely applied at home and abroad. However, as the development of pulp molding industry in our country still has some limitations, the government, manufacturers and research institutions, etc. should work together to achieve its healthy and rapid development.

KEY WORDS: pulp molded; environmentally friendly packaging; technological process

包装贯穿着从原料、采购、生产、销售到使用的整个供应链体系, 与人类生活息息相关。随着环保政策的不断落实以及消费者环保意识的增强, 无污染、无公害的“绿色包装”受到越来越广泛的关注与重视^[1-3]。塑料制品, 尤其是发泡聚苯乙烯(EPS), 具有价格低、包装性能良好等优点, 广泛应用在包装领

域, 但其缺点也日渐显现, 如会对环境造成严重的破坏, 已成为人皆恶之的“白色污染”^[4-6]。

纸浆模塑制品(纸塑)是以一次纤维或二次纤维为主要原料, 并用特殊的模具使纤维脱水成型, 再经干燥和整型而得到的一种包装材料^[7-10]。纸塑具有原料廉价易得, 生产过程无污染, 制品抗震、缓冲、透

收稿日期: 2017-11-13

基金项目: 深圳市院士(专家)工作站项目(深科协[2017]82号)

作者简介: 刘全祖(1991—), 男, 工程师, 主要研究方向为功能包装材料。

通信作者: 陈广学(1963—), 男, 华南理工大学教授、博导, 主要研究方向为印刷包装、物联网。

气、防静电性能好,可回收易降解等优点,从而在电子产品、日化用品、生鲜等的包装领域具有广阔的应用前景^[11-12]。文中将分别介绍纸塑产品的研究进展、制造工艺以及应用现状,并论述纸塑产品目前存在的缺陷和未来发展的趋势。

1 纸浆模塑制品的研究进展

目前,国内外对纸塑产品的生产工艺、模具以及设备等的研究较多,而对纸塑产品的抗水防潮、表面处理以及染色工艺等研究得较少^[13-15]。

吴福胜等^[16]对纸塑产品的浆料配制进行了研究。实验中以竹浆和蔗渣浆为原料,以烷基烯酮二聚体(AKD)、阳离子型聚酰胺表氯醇(PAE)、聚丙烯酰胺(CPAM)等为助剂,以阳离子淀粉改性后的碳酸钙(PCC)为填料制备纸浆模塑,研究了浆料、化学助剂以及填料对纸浆模塑制品性能的影响。结果表明,打浆度为 30°SR,蔗渣浆与竹浆质量比为 1:4,助剂 AKD, PAE, CPAM 的质量分数分别为 3.0%, 1.5%, 0.03% (相对蔗渣浆和竹浆总质量) 时纸塑产品的物理性能最优。同时发现添加改性 PCC 后,能改善纸塑产品的平滑度、白度和紧度。

邱仁辉等^[17]对纸塑的成型工艺进行了研究,分析了蔗渣浆和杉木浆与马尾松浆混合制成餐盒的成型工艺,结果表明,浆料的打浆度为 20°SR,吸浆的时间为 1.5 s,吸滤的真空度为 590 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),蔗渣浆的质量分数为 0.4% 时是蔗渣浆成型的最佳工艺条件;浆料的打浆度为 25°SR,吸浆的时间为 2.5 s,吸滤的真空度为 680 mmHg,杉木浆与马尾松浆混合浆的质量分数为 0.4% 时是杉木浆与马尾松浆混合浆成型的最佳工艺条件。该研究结果对实际的生产有一定的指导意义。

姚培培等^[18]研究了纸塑产品的干燥工艺。实验发现,通过热压工艺得到的纸塑产品的物理性能比真空干燥的好,并且在一定范围内,其抗张指数、耐破指数和戳穿强度与温度成正比,与打浆度成反比。同时,扫描电镜结果表明,热压工艺得到的纸浆模塑制品表面更光滑,纤维间结合得更紧密。

廖泽顺等^[19]以仿真技术手段对纸塑制品的模具结构设计进行了研究。实验结果表明,模具吸浆孔的孔径和结构、吸浆时间以及热压时间对纸塑产品的质量有很大影响,其中吸浆孔直径为 3 mm、锥形孔的入出口直径分别为 3 和 5 mm 时纸塑产品的质量最好。通过仿真技术手段优化后发现,纸塑制品的成型时间缩短,产品性能提高,生产成本降低。

Curling 等^[20]研究了用废弃谷物秸秆纤维代替纸纤维制备食品用托盘的可行性。实验数据显示,废弃谷物秸秆纤维质量分数为 80% 的纸浆模塑制品在拉

伸性能方面优于 EPS 材料(弹性模量为 0.47 MPa, EPS 的则为 0.16 MPa)。同时,纸浆模塑制品的生物降解性能良好,在未消毒的土壤中掩埋 4 周后发现已降解 20%。

Virginia 等^[21]用果渣纤维代替部分废报纸纤维,并以纳米纤维素作为果渣纤维和废报纸纤维的粘剂,制备纸浆模塑制品,研究蓝莓、酸果蔓和苹果渣等不同纤维组成对其与废报纸纤维的相容性。实验表明,果渣纤维素的组成对其与废旧报纸纤维的相容性有一定影响,果渣纤维可以部分替代废报纸纤维来制备纸浆模塑制品。

2 纸塑的工艺流程

纸塑一般经过浆料的配制、成型、干燥、整型以及后加工等工艺制备得到^[22-24]。纸塑生产的基本工艺流程见图 1。

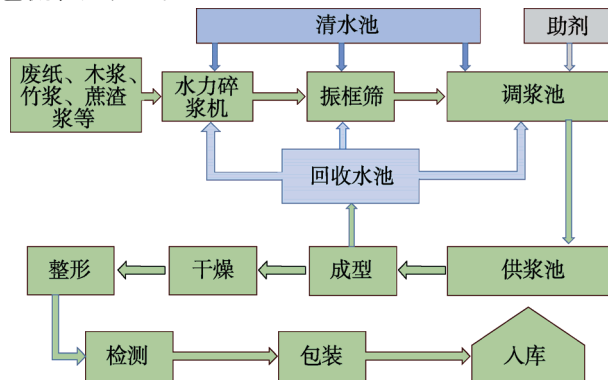


图 1 纸塑的工艺流程

Fig.1 The technological process of pulp molded products

2.1 制浆

制浆包括原料的疏解、打浆和配浆这 3 个步骤。首先将筛选和分类后的二次纤维或一次纤维在碎浆机中疏解;然后再对其进行打浆,一般通过盘磨机或打浆机使纤维分丝帚化,从而提高纸塑制品在纤维间的结合力^[25-26];因为浆料的配比、硬度和颜色各不相同,一般需要添加湿强剂、施胶剂等化学助剂,并调节浆料的浓度和 pH 值,完成配浆工艺^[27-28]。

2.2 成型

目前,纸塑的成型工艺有真空成型和挤压成型,其中以真空成型法为主^[29-30]。挤压成型是在模具的下模内注入一定量的纸浆,然后与上模合模,将浆料中的水分挤出的过程,一般用于纸塑环保餐具的制备^[31-32]。真空成型则是将模具的下模浸入浆池中,通过负压将浆池中的纤维均匀地吸附在其表面后与上模合模的过程^[33]。

真空成型常用的设备有往复升降式^[34]、回转式^[35]、翻转式^[36],原理见图 2。其中往复升降式成型

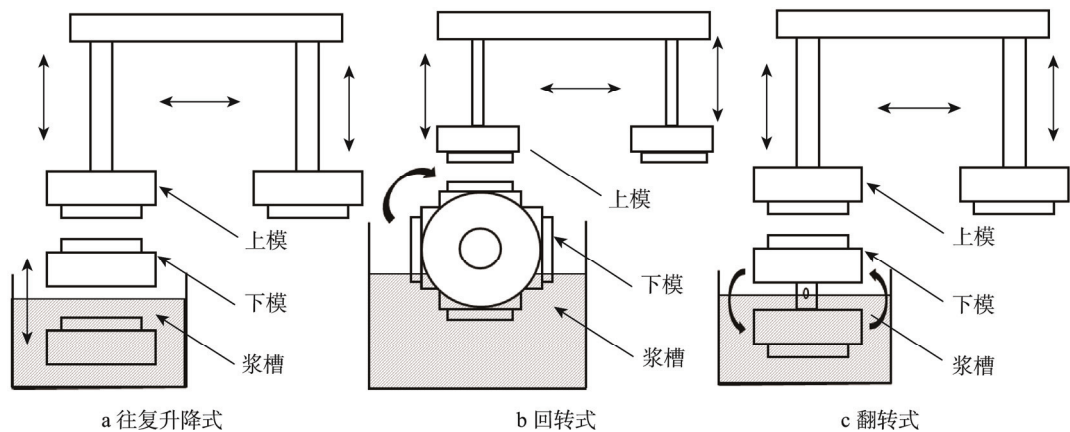


图 2 3 种常见的真空成型机原理
Fig.2 Principle of three common vacuum forming machines

机适合生产尺寸规格要求较大、脱模高度要求较深的纸塑制品^[37]；回转式成型机生产效率高，容易实现自动化连续生产，但不适用于非标准、数量少、批量小的纸浆模塑包装制品的生产^[38-39]；翻转式成型机设备体积小，但工作效率低，一套凹模配二套凸模，模具投资较大，周期较长，一般用于生产对外观要求较高的纸塑产品^[40]。

2.3 干燥

模具的下模吸浆并与上模合模后得到的纸浆模塑湿坯的含水率一般可以达到 50%~75%，再经干燥后一般可降至 10%~12%，而在某些情况下需低至 3%~4%^[41-42]。目前纸塑的干燥一般采用烘道干燥和模内干燥，这 2 种干燥方式的对比见表 1^[43-44]。

表 1 烘道干燥和模内干燥的比较
Tab.1 Comparison of oven drying and in-mold drying

干燥方式	烘道干燥		模内干燥	
	热风	微波/远红外	导热板/管	热超导元件
干燥原理	热风对流		热压/气化/抽吸	
升温时间	长	迅速	居中	迅速
热传导效率	较差	高	稍差	高
变形情况	易变形	较易变形	不易变形	不易变形
模具要求	一般	无需模具	精度要求高	精度要求高
衬网寿命	长	无需衬网	短	短
是否需整形	是	是	否	否
产品外观	较差，质较软	较差，质较软	美观，挺度好	美观，挺度好
水分分布	易分布不均	内外均匀	比热风均匀	内外均匀
设备投资	居中	小	大	大
占地面积	大	居中	小	小
维修费用	居中	少	高	较高

2.4 整形

纸浆模塑制品经成型、干燥后基本定型，再用高温及较大压力进行压制，以使纸浆模塑制品更密实，力学性能更好，同时使制品的形状和尺寸稳定，壁厚均匀，外表面光滑平坦。整形工艺一般是用温度较高的模具（一般为 180~250 ℃）在较高的压力（一般为 10~20 MN）下对干燥后的纸塑进行压制，热压时间一般为 30~50 s^[45]。

2.5 后加工

一般纸塑通过整形工艺就可使用，但有时因实际

情况会进行一些特殊的后处理，如压光、涂布、浸渍、表面烫金、印刷图案文字等来提高其附加值，主要适用于一些消费品或高档产品的包装^[46]。

3 纸浆模塑制品的应用现状

纸浆模塑制品由于在生产过程无废水、废气排出，所用原材料主要是来源丰富、价格低廉的废纸或纸浆，并且纸浆模塑制品在完成其对被包装物在仓储、运输、销售等商品流通过程中的缓冲防震保护使命后，其废弃物如普通纸一样可循环利用，即使弃于

自然环境中也易于分解。这些优点使其广泛应用于一次性餐具、电子产品、日化用品、生鲜食品以及医用品等领域^[47]。中国包装联合会纸制品包装委员会对我国近几年纸浆模塑行业市场供需关系的分析见图3。

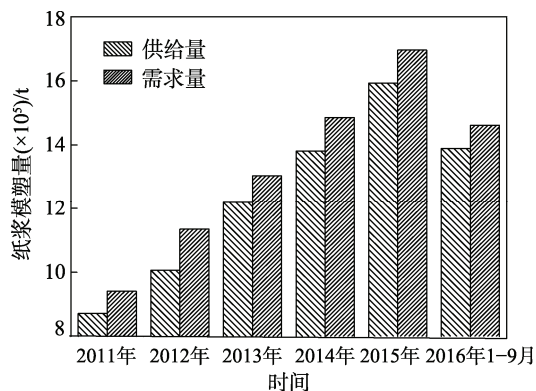


图3 中国2011—2016年1—9月纸浆模塑行业市场供需分析

Fig.3 Market supply and demand analysis of China pulp molding industry from January to September, 2011—2016

据美团点评大数据表明,2016年我国外卖行业整体交易额达到1300亿元,2017年预计可突破2000亿元,2018年将达到3000亿元的规模。饿了么则预计2020年外卖市场可突破7000亿元^[48]。在环保的趋势下,纸浆模塑餐具作为主要的环保餐具之一,市场非常庞大^[49]。由此,某些纸浆模塑环保餐具厂家加快了生产的步伐,以期满足市场的需求。例如山东远东农科环保发展有限公司投资6.3亿元用于建造48条纸浆模塑环保餐具生产线,项目建成后可实现年利润2.3亿元,同时创造4500个就业岗位。福建绿威环保餐具有限公司和广州绿洲(中国韶能集团)共同投资,拟打造一个纸浆模塑环保餐具年产能达40 000 t,销售收入达6.6亿元的生产基地。北京雅艺工贸有限公司携手佛山市必硕科技有限公司,投资1.2亿元成立必硕(河北)包装制品有限公司,提供高质量的包装、餐具、果托等纸浆模塑产品。

近几年来我国的电子信息产业迅速发展,尤其3C产品(美团大数据分析显示,2016年我国手机出货量达5.6亿部,笔记本和平板电脑则为3.2亿台;2017上半年国内手机出货量2.39亿部,笔记本和平板电脑则为1.5亿台)等电子产品的进出口交易额越来越大。传统的吸塑包装已不能满足时代的要求,环境友好型的纸浆模塑作为吸塑的替代品应运而生,各大包装企业纷纷聚焦纸浆模塑包装^[50]。例如,裕同科技作为包装整体解决方案的提供商,国内外众多知名品牌都是其客户,其中以消费性电子类产品为主,如华为、三星、小米、富士康等。目前裕同科技大力发展环保包装,纸浆模塑就是其中的一个重要业务,并已在全国多地建立了纸浆模塑生产基地。永发印务作为烟酒包装的领军企业,也在2015年凭借着纸浆模

塑包装工艺开始进军消费电子包装领域,成功实现了战略升级。大型电子产业科技制造服务企业——富士康投资2.3亿元在河南兰考县建立富士康兰考科技园,拓展纸浆模塑环保包装材料的研发制造业务,并已于2016年7月18日正式投产。中国当代优秀包装企业——上海界龙为进一步促进公司包装产品的转型升级,公司拟在上海地区投资1.5亿元新建纸浆模塑包装产品项目。

4 纸浆模塑制品的发展趋势

纸塑在我国已经发展30多年,取得了很大的进步,特别是一次性环保餐具和环保包装制品均已得到广泛的应用^[51—52],但是纸塑在我国的发展还存在很多的局限性。

1) 纸浆模塑制品发展多年,使用率不高,其中一个重要原因在于模具的成本过高。国外纸塑厂商在设计模具时会考虑如何使其具有好的通用性,从而增大模具的利用率,降低成本。例如常用的楞状衬板、护角、隔板等,因为生产数量多、批量大,从而导致这些模具的利用率高,大大降低了其成本,这是国内厂商很少考虑的地方。由此,模具的设计和制备是一个重点发展的方向。

2) 由于对浆料配制的研究不够,导致其生产的纸塑物理性能不足,从而不能满足实际需求。很多厂家生产纸浆模塑放弃使用二次纤维,直接使用原生浆(木浆、竹浆、蔗渣浆等)来提高产品质量,这样既增加成本又不环保,因此,应加强纸浆模塑制品原料的研发,增加废纸箱、废书纸等二次纤维的使用,做到真正意义上的环保。

3) 由于工业产品用的纸浆模塑制品结构复杂,对其还没有有效的后处理(覆膜、涂布、覆油、印刷等)方式,导致工业产品用纸浆模塑制品常出现染色不均匀、易掉色、掉毛、形式单一等现象,严重影响了其应用。未来可以通过增加有效的后处理工艺改善这一现状,使其应用更广泛。

4) 目前,纸塑还很难作为如冰箱、空调等这类尺寸大、质量重的家电产品的缓冲衬垫。如何通过浆料优化、设备改善、模具设计以及与其他环保材料(瓦楞纸、蜂窝纸板等)组合的方法来提高其机械强度,从而满足大尺寸、大质量产品包装的需求,这也是纸塑包装材料发展的重要方向。

5 结语

纸浆模塑制品作为一种绿色环保型包装材料,在我国ICT包装、一次性餐具等领域已得到广泛的应用,但医用、重型物包装以及奢侈品包装等市场还有待开发。基于纸浆模塑产业在我国目前存在的一些局

限性,例如模具的设计与制备、原料的选择、浆料的配比以及制品的后处理等,严重制约了其发展。由此,还需要政府、厂商、研究机构等的共同努力,使纸浆模塑行业得到健康高速的发展。

参考文献:

- [1] 曲晓晴,黄俊彦,高娟娟. 纸浆模塑模具材料的性能及其应用[J]. 中国造纸, 2010, 29(12): 66—70.
QU Xiao-qing, HUANG Jun-yan, GAO Juan-juan. Characteristics of Mould Materials in Pulp Molded Production[J]. China Pulp & Paper, 2010, 29(12): 66—70.
- [2] 张伟,郭彦峰,郭引,等. 一种纸浆模塑包装制品的动态缓冲特性分析[J]. 中国造纸学报, 2015, 30(1): 46—49.
ZHANG Wei, GUO Yan-feng, GUO Yin, et al. Dynamic Cushioning Analysis on a Kind of Molded Pulp Structure[J]. Chinese Journal of Papermaking, 2015, 30(1): 46—49.
- [3] 陈海燕,杨斌. 纸浆模塑制品的结构分析及其影响因素[N]. 中国包装报, 2011-09-29(3).
CHEN Hai-yan, YANG Bin. Structural Analysis of Pulp Molded Articles and Influencing Factors[N]. Chinese Packaging News, 2011-09-29(3).
- [4] DIDONE M, SAXENA P, BRILHUIS M B, et al. Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology[J]. Packaging Technology and Science, 2017, 30: 231—249.
- [5] 荣人慧,肖生苓,岳金权,等. 纤维模塑包装材料力学性能指标体系的构建[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 24—29.
RONG Ren-hui, XIAO Sheng-ling, YUE Jin-quan, et al. Construction of Mechanical Performance Index System of Fiber Molded Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 24—29.
- [6] NILSSON H, GALLAND S, LARSSON P T, et al. Compression Molded Wood Pulp Biocomposites: a Study of Hemicellulose Influence on Cellulose Supramolecular Structure and Material Properties[J]. Cellulose, 2012, 19(3): 751—760.
- [7] 任倩倩,于群. 纸浆模塑制品专利分析[J]. 广东科技, 2015(16): 80—81.
REN Qian-qian, YU Qun. Patent Analysis of Pulp Molded[J]. Guangdong Science and Technology, 2015 (16): 80—81.
- [8] 党文峰. 基于绿色物流的木塑托盘应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
DANG Wen-feng. Application Research of Wood-Plastic Pallet Based on Green Logistics[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2014.
- [9] 刘洋. 纸浆模塑包装制品的表观处理技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
LIU Yang. Research of Apparent Processing of Pulp Molded Packaging Products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [10] 张春红,荣华,孙可伟. 废纸在材料领域中的再利用研究进展[J]. 材料导报, 2008, 22(1): 62—64.
ZHANG Chun-hong, RONG Hua, SUN Ke-wei. Development of Utilization of Waste Paper in Material Field[J]. Materials Review, 2008, 22(1): 62—64.
- [11] 祝磊,杨仁党,罗家豪,等. 阻燃植物纤维模塑墙体装饰材料的制备[J]. 中国造纸, 2013(2): 6—11.
ZHU Lei, YANG Ren-dang, LUO Jia-hao, et al. Usage of Starch Coated Aluminum Hydroxide in Making Flame Retardant Fiber Molding Wall Decoration Materials[J]. China Pulp & Paper, 2013(2): 6—11.
- [12] ALMADA B, OLIVEIRA J F, CARRAVILLA M A. Production Planning and Scheduling in the Glass Container Industry: A VNS Approach[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 114(1): 363—375.
- [13] KARIM Y P, ELI A V, REINALDO M. Production Planning in the Molded Pulp Packaging Industry[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 98: 554—566.
- [14] 刘双欠,于伸. 纸浆模塑板在景观环境中的应用与开发研究[J]. 森林工程, 2012, 28(1): 39—43.
LIU Shuang-qian, YU Shen. Research on Application and Development of Molded Pulp Board in Landscape Environment[J]. Forest Engineering, 2012, 28(1): 39—43.
- [15] 贾祥,李学忠. 基于 Pro/E 的路由器纸浆模塑制品结构及其模具造型设计[J]. 轻工科技, 2015(5): 96—98.
JIA Xiang, LI Xue-zhong. Design and Design of Molding Structure of Pulp Based on Pro/E Router[J]. Light Industry Science and Technology, 2015(5): 96—98.
- [16] 吴福胜. 精品工业包装纸浆模塑制品成型工艺技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
WU Fu-sheng. The Research of Technic Methods of the Fine Industrial Packaging Pulp Molded Products[J]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [17] 邱仁辉. 纸浆模塑制品成型机理及过程控制的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.
QIU Ren-hui. Study on the Mechanism of Pulp Molding and Process Control[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2002.
- [18] 姚培培,肖生苓,岳金权. 不同干燥方式对纸浆模塑材料性能的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 22—28.
YAO Pei-pei, XIAO Sheng-ling, YUE Jin-quan. Effects of Different Drying Methods on the Properties of Molded Pulp Material[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 22—28.
- [19] 廖泽顺. 纸浆模塑成型工艺及模具结构优化设计[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2016.
LIAO Ze-shun. Pulp Model Molding Process and Mold Structure Optimization Design[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2016.
- [20] CURLING S F, LAFLIN N, DAVIES G M, et al. Fea-

- sibility of Using Straw in a Strong, Thin, Pulp Moulded Packaging Material[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 97: 395—400.
- [21] VIRGINIA P G, JOOYEOUN J, JOHN S, et al. Fruit Pomace as a Source of Alternative Fibers and Cellulose Nanofiber as Reinforcement Agent to Create Molded Pulp Packaging Boards[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 2017, 99: 48—57.
- [22] 张洪波, 赵子怡, 孙昊, 等. 精致化纸浆模塑制品及关键制备工艺参数优化[J]. 轻工机械, 2016, 34(4): 72—75.
ZHANG Hong-bo, ZHAO Zi-yi, SUN Hao, et al. Refined Pulp Molding Products and Optimization of Process Parameters[J]. Light Industry Machinery, 2016, 34(4): 72—75.
- [23] 陶媛. 基于生命周期理论的纸浆模塑材料产品设计应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
TAO Yuan. Research on Paper-pulp Molder Material Product Design and Application Based on Life Cycle Theory[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [24] 邵珍珠. 纸浆模塑在不同温湿度条件下的缓冲性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2016.
SHAO Zhen-zhu. Study on the Cushioning Properties of Molded Pulp under Various Temperature and Humidity Conditions[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2016.
- [25] 张岩, 王志伟. 湿度对手机用纸浆模塑缓冲包装能量吸收特性的影响[J]. 振动与冲击, 2015, 35(1): 39—43.
ZHANG Yan, WANG Zhi-wei. Influence of Relative Humidity on Energy Absorption Properties of Molded Pulp Cushioning Packaging for Mobile Phone[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 35(1): 39—43.
- [26] 李琛, 荣人慧, 肖生苓. 成型工艺对废旧瓦楞纸箱制备包装材料性能的影响[J]. 科技导报, 2015, 33(12): 61—66.
LI Chen, RONG Ren-hui, XIAO Sheng-ling. Influence of Molding Process on the Properties of Packaging Materials Made From Waste Corrugated Containers[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(12): 61—66.
- [27] 陈艳娜, 肖生苓, 李琛. 可降解木塑复合缓冲包装衬垫材料的研究综述[J]. 森林工程, 2014, 30(2): 88—91.
CHEN Yan-na, XIAO Sheng-ling, LI Chen. Review on Biodegradable Foamed Wood Polymer Composite Buffering Cushion Packaging Materials[J]. Forest Engineering, 2014, 30(2): 88—91.
- [28] 于永建. 纸浆模塑真空吸滤成型机理及其模具参数研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
YU Yong-jian. The Research on Vacuum Filtration Shape Process and the Mould's Parameters of Molded Pulp[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.
- [29] 许佳佳. LCD TV 纸浆模塑衬垫的性能研究及其虚拟仿真[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
XU Jia-jia. Research on Molded Paper Pulp Cushion Property of LCD TV Gasket and Virtual Simulation for Package[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [30] 欧汉德. 纸塑吸滤模具中吸滤成型设计的改进研究[J]. 模具制造, 2011(1): 69—72.
OU Han-de. Improvement of Design for Paper Suction Molding Mold[J]. Material Manufacturing, 2011(1): 69—72.
- [31] THUMM A, DICKSON A. The Influence of Fibre Length and Damage on the Mechanical Performance of Polypropylene/wood Pulp Composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2013, 46(1): 45—52.
- [32] 张颖, 但姝. 深腔类纸浆模塑产品成型不均匀原因分析及解决方法[J]. 机电工程技术, 2015, 44(9): 141—144.
ZHANG Ying, DAN Shu. Reason Analysis and Solving Method for the Formation of Deep Cavity Pulp Molding Products[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2015, 44(9): 141—144.
- [33] 王志伟, 彭春虎. 纸浆模塑制品冲击承载能力和能量吸收分析[J]. 应用力学学报, 2013(4): 23—26.
WANG Zhi-wei, PENG Chun-hu. Analysis of Impact Load Capacity and Energy Absorption of Pulp Molded Articles[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2013(4): 23—26.
- [34] 赵亚军. 纸浆模塑制品工艺方法及其参数的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
ZHAO Ya-jun. The Development of Technics Method and Parameter of Pulp Molded Products[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [35] 刘晔. 对转鼓式成型机的结构及性能的研究[J]. 中国包装, 2002(1): 3—5.
LIU Ye. Study on Structure and Performance of Rotary Drum Forming Machine[J]. Chinese Packaging, 2002(1): 3—5.
- [36] 张以忱, 黄英, 姜翠宁. 纸浆模塑真空吸滤成形机理研究[J]. 真空, 2003(3): 52—58.
ZHANG Yi-chen, HUANG Ying, JIANG Cui-ning. Shaping Principle of Vacuum Filtering of Pulp-Molding[J]. Vacuum, 2003(3): 52—58.
- [37] 刘文霞. 纸浆模塑作为 PS3 游戏机缓冲纸托的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2012.
LIU Wen-xia. Research on Pulp Molding as Cushioning Paper Holder for PS3 Gaming Machine[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2012.
- [38] 彭春虎. 纸浆模塑制品缓冲性能实验研究与有限元分析[D]. 珠海: 暨南大学, 2011.
PENG Chun-hu. Study on Cushioning Performance of Pulp Molded Products and Finite Element Analysis[D]. Zhuhai: Jinan University, 2011.
- [39] 廖泽顺, 滑广军, 谢勇, 等. 纸浆模塑吸浆模具背腔气流均匀性的数值模拟[J]. 包装学报, 2016(1): 41—48.

- LIAO Ze-shun, HUA Guang-jun, XIE Yong, et al. Numerical Simulation of Airflow Uniformity in Pulp Molding Back Cavity[J]. Packaging Journal, 2016(1): 41—48.
- [40] 罗聃, 熊梅伶. 纸浆模塑平托盘的发展与未来[J]. 包装世界, 2015(6): 60—62.
- LUO Dan, XIONG Mei-ling. Development and Future of Pulp Molded Flat Pallets[J]. Packaging World, 2015(6): 60—62.
- [41] 刘卫涛. 纸浆模塑干燥工艺优化与过程节能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- LIU Wei-tao. The Parameter Optimization and Energy Conservation Study of Mold Pulp Drying Process[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [42] WANG Z W, LI X F. Effect of Strain Rate on Cushioning Properties of Molded Pulp Products[J]. Materials & Design, 2014, 57: 598—607.
- [43] 黄帅. 纸浆模塑生产过程节能降耗关键技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
- HUANG Shuai. Research on Key Energy-saving Technologies of Pulp Molding Batch Process[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2014.
- [44] 计宏伟, 王怀文. 大型纸浆模塑平托盘弹塑性数值分析[J]. 包装学报, 2011, 3(1): 7—10.
- JI Hong-wei, WANG Huai-wen. Numerical Analysis of Elastoplasticity for Large-Scaled Moulded Pulp Pallet[J]. Journal of Packaging, 2011, 3(1): 7—10.
- [45] 王丛, 刘莹, 史晓娟, 等. 果蔬运输包装纸模托盘调湿功能的研究[J]. 中国包装, 2011, 31(2): 40—43.
- WANG Cong, LIU Ying, SHI Xiao-juan, et al. Study on Humidity Control Function of Paper Tray for Fruit and Vegetable Transportation[J]. China Packaging, 2011, 31(2): 40—43.
- [46] 魏佳星, 张新昌. 纸浆模塑包装制品的丝网印刷技术研究[J]. 轻工机械, 2017(3): 60—64.
- WEI Jia-xing, ZHANG Xin-chang. Analysis of Screen Printing Technology of Molded Pulp Packaging Products[J]. Light Industry Machinery, 2017(3): 60—64.
- [47] 黄昌海. 纸浆模塑制品的生产与设计要点[J]. 印刷技术, 2016(24): 34—36.
- HUANG Chang-hai. Production and Design Points of Pulp Molded Articles[J]. Printing Technology, 2016(24): 34—36.
- [48] 张诗茹. 外卖平台“无需餐具”选项陷尴尬 作用有限[N]. 北京青年报, 2017-09-26(4).
- ZHANG Shi-ru. The "No Cutlery" Option for the Takeout Platform is Embarrassed and Limited[N]. Beijing Youth Daily, 2017-09-26(4).
- [49] 董有利, 毛成涛, 满忠雷, 等. 纸浆模塑四棱台状单元最大载荷与主要结构参数的关系研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(1): 62—67.
- DONG You-li, MAO Cheng-tao, MAN Zhong-lei, et al. Study on Relation between Maximal Load and Main Structural Parameters of Quadrangular Frustum Pyramid Cell of Molded Pulp[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(1): 62—67.
- [50] 何艳萍. 笔记本电脑纸浆模塑缓冲包装结构设计及测试[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- HE Yan-ping. Structural Design and Testing of Molded Pulp Cushion Packaging of Notebook[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.
- [51] 黄屹宸. 纸浆模塑制品的加工与设计[J]. 上海包装, 2017(2): 42—44.
- HUANG Yi-chen. Processing and Design of Pulp Molded[J]. Shanghai Packaging, 2017(2): 42—44.
- [52] 王全亮, 肖生苓, 岳金权. 重载纸浆模塑托盘研究现状及存在的问题[J]. 化工新型材料, 2017(4): 7—9.
- WANG Quan-liang, XIAO Sheng-ling, YUE Jin-quan. Research Status and Existing Problems of Heavy Load Pulp Molding Pallet[J]. New Chemical Materials, 2017(4): 7—9.