

利用无胶热压成型技术的新型制管机设计及其工艺参数确定

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.02.008

吴定橙¹ 潘青青¹
单伟雄² 蒋卓¹
向红¹

1. 华南农业大学
食品学院
广东 广州 510642
2. 广州至简通用设备制造
有限公司
广东 广州 510760

摘要:设计了一种适用于生产的新型环保连续热压塑化制管机。该机器以农产品加工废弃植物原材料(茶渣、花生秸秆等)为原料,利用无胶热压成型技术,制成可替代传统纸管的新型热压塑化管。研制的机器经过反复研究与试验,结果表明:在实际生产中,该机器可实现连续化生产且生产过程无废水、废料、废气,实现无三废生产;纤维管生产速度可达7.2 m/h;产品抗压强度可达2 000 N以上;相对于市面纸管的生产,该机器大大降低了能源损耗和人工成本,具有广阔的市场前景,以及较好的社会效益和经济价值。

关键词:植物纤维;无胶热压成型;纤维管

中图分类号: TB486

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2020)02-0057-07

引文格式: 吴定橙,潘青青,单伟雄,等.利用无胶热压成型技术的新型制管机设计及其工艺参数确定[J].包装学报,2020,12(2):57-63.

0 引言

纸芯管,俗称纸管、纸筒,顾名思义就是纸张卷制作而成的管,被广泛应用于包装塑料和食品等产品中,且其用量巨大。目前市场上所用纸芯管的生产工艺如下:先将牛皮纸、砂管纸等分切成带状,再在专用卷制机上涂胶后连续卷制成各种规格管,并依设计规格切断成一定长度,放入烘干房内烘干定型,定型后再依据客户要求对管进行切断,最后用胶水对切断端口进行研磨封尘处理。上述制作工艺中制管设备复杂,工序繁琐,且用纸量、用胶量均较大,这不符合绿色环保发展要求。

近年来,生物质资源的综合利用成为了国内外研究的热点^[1-4]。生物质资源的加工利用主要集中在生物质能源、饲料、肥料、中纤板以及微生物培养基等

方面^[5-6]。采用生物质植物纤维制作热压塑化管(简称纤维管)的研究还未见报道。

热压成型机也称平板硫化机、小型压片机,是成型机的一种,适用于橡胶、塑料制品和人造板、中纤板等领域。其可分为周期式热压机和连续式热压机。我国热压成型机主要为周期式热压机。周期式热压机需要先将植物纤维原料进行粉碎,再加入模具中进行压模,成模后在加热成型装置中进行加热加压,使产品成型。上述过程包括两道工序,即耗时又费力。而更适合于工业化生产的连续式热压机在我国发展较为缓慢,截止2008年连续式热压机生产线的设计产量仅占人造板总产量的15%^[7],至2017年约占40%^[8]。连续式热压机的优点是既能提高生产效率,又能在连续生产中确保产品质量^[8]。

本课题组设计了一种以天然植物纤维为原料的

收稿日期:2020-01-11

作者简介:吴定橙(1995-),男,湖南娄底人,华南农业大学硕士生,研究方向为食品包装,E-mail:123950206@qq.com

通信作者:向红(1964-),男,湖南安化人,华南农业大学教授,博士,主要从事食品包装、运输包装方面的研究,

E-mail:xianghong@scau.edu.cn

连续式热压成型机, 该机器能实现全自动化控制、连续生产, 且生产的纤维管不受长度限制。

1 连续式热压成型机的结构及无胶热压成型机理

1.1 连续式热压成型机的结构

连续式热压成型机的结构如图 1 所示。其主要包括驱动装置、料仓、挤压装置、成型装置、夹紧调密装置以及切割装置等。其中, 料仓内设置拨动装置; 挤压装置被安装于料仓中, 并与驱动装置相联动; 加热装置设置于成型装置内。连续式热压成型机的主要工作原理如下: 原料经烘干粉碎处理后由输送带运送进入料仓, 拨动装置拨动原料, 使原料持续不断、均匀地进入料仓末端, 液压缸控制挤压装置进行直线往复运动, 将原料挤压进入成型装置内, 并在加热装置作用下高温塑化, 最终塑化完成的管体从成型装置的下端压出。挤压装置每挤压一次, 即形成一段管体(大约 15 mm), 挤压装置不断地向下挤压, 使制造的管体可以不受长度限制, 实现连续生产。

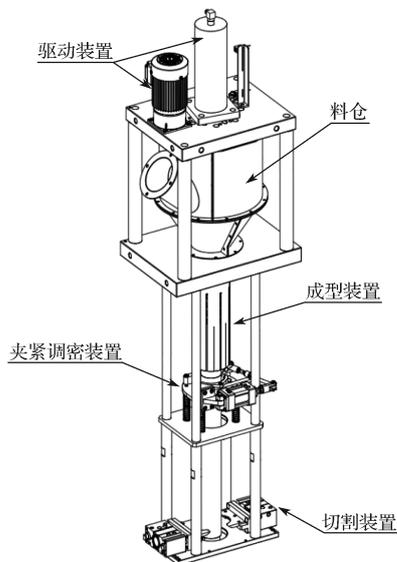


图 1 制管机立体结构图

Fig. 1 Stereoscopic structure diagram of pipe making machine

1.2 无胶热压成型机理

胶黏剂是植物纤维材料热压塑化成型的重要物质。因为高温下胶黏剂固化能使材料达到较高强度^[9-11]。无胶热压成型工艺无需添加胶黏剂, 而是依赖植物纤维原料自身所含的化学成分, 在高温高压下

实现自胶合。无胶热压成型的机理是: 原料残存的淀粉及糖类发生化学反应, 合成胶黏剂, 且淀粉颗粒能填入细胞间的空隙, 促进纤维间的界面粘附; 半纤维素和纤维素降解产生的单糖也有助于纤维的结合; 以木质素作为原位黏合剂, 在高温高压下木质素形成具有胶黏性的物质并具有流动性, 使纤维黏结; 此外, 粉碎产生的植物纤维在机械加工时会交缠, 氢键黏合形成纤维网络结构^[12-14]。

本文所提的无胶热压成型是生产配方、生产工艺及生产成型设备三者的有效结合。1) 根据植物纤维料的特性, 将其分为三类, 结构料纤维(细长型纤维)具有抗压作用, 填充料纤维(粉末型纤维)具有填充缝隙的作用, 润滑性纤维(花叶麦秆等软性植物型纤维)具有润滑作用。将以上三种不同类型的纤维原料按比例混合可提高产品的抗压强度, 使机械不会因压力值过高而停止运转, 有效保障了机械的正常运行。2) 为延长成型时间、提高成型压力及确保成型效果, 本课题组改进了成型模具, 将成型内管的外径设计为变径轴径, 在成型内管和外套管上设置了排气缝, 有助于热压过程中及时排除水汽, 避免爆气。同时, 原料内部的水汽排出带动植物纤维原料中木质素充分反应和流动, 促进纤维的自胶合。3) 分次填料、分次压入可确保热量及压力的有效传递。此外挤压装置采用 V 型压头, 使两次成型形成 V 连接, 以增大植物纤维的接触面积, 促使植物纤维更加紧密地交缠连接, 形成氢键纤维网络结构。

2 连续式热压成型机的主要机构

2.1 驱动装置

驱动装置包括液压缸和电机。液压缸下端的活塞杆与挤压装置相连, 以控制液压缸的上下直线往复运动。电机控制料仓中的拨动装置, 以完成对原料的混合与输送。

2.2 料仓

料仓结构如图 2 所示。为了使植物纤维原料更集中、更方便地进入下一道工序, 料仓设计成漏斗状。其由拨动装置、挤压装置、进料口、料仓外壳组成。拨动装置在料仓的上部, 包括大齿轮、两个拨杆、架体、连接管及齿轮支撑座。进料口在料仓外壳的上部, 呈倾斜状, 以避免植物纤维原料堆积, 受自重影响导致原料无法被挤压进入成型装置。挤压装置为 V 型挤压头, 处于拨动装置下方, 固定于架体上。

料仓的工作原理是：当电机启动后，转轴带动小齿轮转动，小齿轮带动大齿轮转动，拨杆也随之转动拨动原料，使原料持续不断、均匀地进入料仓末端，活塞杆控制挤压装置的压头进入成型装置，使挤压的新原料与上一段成型管材形成 V 型连接。

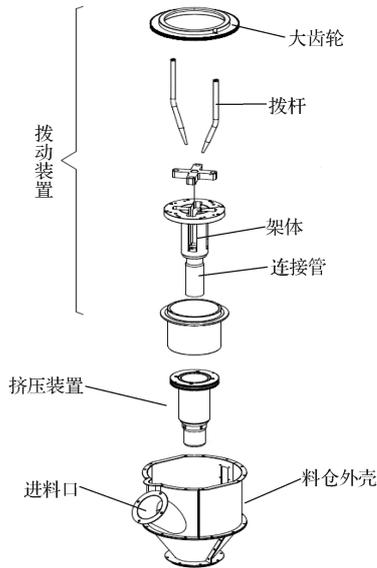
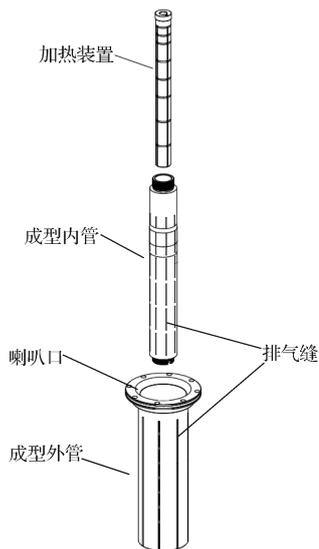


图 2 料仓结构图

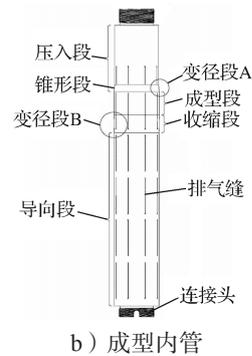
Fig. 2 Silo structure diagram

2.2 成型装置

成型装置包括成型外管、成型内管、加热装置及排气系统，如图 3 所示。成型内管和成型外管为同轴设计，成型内管和成型外管之间的间隙宽度即为制成管体的管壁厚度。



a) 成型装置整体



b) 成型内管

图 3 成型装置结构图

Fig. 3 Structure of the molding device

1) 为方便将制管原料挤压入模具内，成型外管的进料端口设计为喇叭状，呈 6° 左右的挤压角。除喇叭口外，成型外管其余部分的内径和外径大小保持不变。

2) 成型内管的外径为变径轴径，即压入段、成型段、收缩段以及导向段的外径均不相同。压入段的外径最小，压入段与成型外管之间的间隙恰好供挤压装置的挤压头伸入。压入段与成型段之间通过锥形段实现平滑连接，锥形段的小径端与压入段对接，其大径端与成型段对接，均大小相同，锥形段的锥角为 5° 左右。成型段的外径最大，且恒定不变，成型段实现制管原料的塑化成型。收缩段的外径为渐变缩小的轴径，其最大外径与最小外径的变径比约为 1.18，收缩段的最大外径与成型段的外径相同，其最小外径与导向段的外径相同。此设计可保证管体的内外收缩均衡，由于管体在成型后期具有一定的收缩性，如果内轴的轴径不缩小，则可能会导致管体的内壁无法收缩而使管体收缩不均匀，影响管体质量；如果内轴的轴径为阶梯式缩小，则可能会导致管体在缩小段失去导向而发生弯曲变形，或者因摩擦力突然缩小而使其密度不均匀。导向段的外径大于或等于要制成的管体内径即收缩完成后的管体内径。最优的设计是导向段的外径恰好等于管体内径，这使管体与成型内管有一定的摩擦力，摩擦力与管体重力相抵消，避免了管体断层。导向段主要起导向作用，避免还未完全冷却的管体在向下移动时发生弯曲。导向段所在端的连接头连接加长内管，以增长对成型管的导向。

3) 加热装置为电加热棒，可使成型内管处于高温状态。加热棒的温度可通过操作台设定。

4) 在成型内管和成型外管的管壁上均有排气系统。在圆周方向间隔设有分段线割竖向的排气缝，

每一条线割排气槽均包含一个排气孔和一条排气缝，两者共通相连，此设计可避免管体压力弹性形变导致的排气缝堵塞。生产过程中，挤压装置下压时，易带入模具内的空气，原料水分在高温高压下会汽化，排气系统能快速将空气和水汽排出，有效防止爆气现象和制管模具的损坏。为提高排气系统的排气效率，成型内管和成型外管的排气缝呈错位排列。

2.3 夹紧调密装置

如图4所示，夹紧调密装置包括夹持装置、传动装置以及安装板。夹持装置有两个夹爪，夹爪的夹持面为半圆形，两个半圆形共同构成对管材的夹持面。夹爪通过插销与销孔连接在摆杆上，夹爪可相对摆杆转动，摆杆的一端通过销钉与安装板相连接，摆杆可绕销钉摆动。当两个摆杆相向摆动靠拢时，两个夹爪相对靠拢，以实现管材的夹紧；当两个摆杆相反摆动远离时，两个夹爪相对离开，以实现管材的松开。

机器开始工作时，先根据所需管材密度设定压力传感器参数。当管材到达夹爪位置时，压力缸收缩活塞杆，夹爪夹持管材，限制管材的正常下移，带动安装板一起下移，使弹簧压缩。弹簧压缩导致下移阻力增大，阻力的增大使管体下移受限制，下移速度变慢，从而达到调节管体密度的目的。当弹簧下压压力达到设定值时，压力传感器给压力缸发出信号，压力缸带动活塞杆伸出，夹爪松开夹持，弹簧复位。复位后，压力缸再次带动活塞杆收缩，夹爪夹住新的一段管材，如此重复。夹紧调密装置可加强对管材密度的控制。由于压力传感器的设置，全自动化生产得以实现，生产效率得到提高。

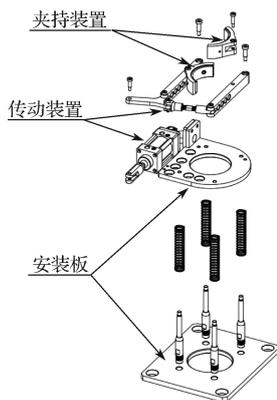


图4 调密装置结构图

Fig. 4 Structure of density adjustment device

2.4 切割装置

切割装置位于成型装置的下方。为了避免切断管

体时管体发生变形，在成型内管下端连接了加长内管。该加长内管的外径与成型内管外径相同。

如图5所示，切割装置包括刀具、安装板。刀具对称设置于管体两侧，每个刀具包括有刀架、气缸以及刀片。刀架安装于气缸的活动杆上；气缸为三轴气缸，通过螺丝固定于安装板上；刀片为合金钢锯片，可更换，安装于刀架上，刀片切口为半圆形，通过气缸带动刀片向管体方向移动，从而实现管体进行切割。本文所设计的机械可根据客户要求的管体长度进行切断。

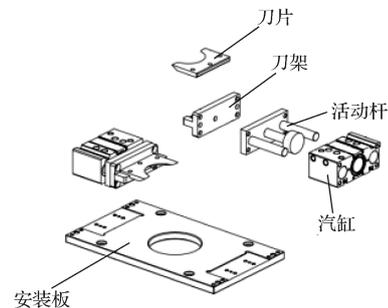


图5 切割装置结构图

Fig. 5 Structure of the cutting device

3 热压成型工艺参数分析

3.1 热压温度

在热成型过程中，热量从加热管传到材料。热量不仅可以蒸发和排出水分，还可以促使植物纤维原料的成分分解以形成胶黏物质，促进芯管的形成。在研究初期，热压温度水平是通过单因素试验确定的。预实验分别在120, 160, 200℃下进行，测试所得样品的抗压强度可为后续的试验提供参考。试验结果如图6所示。

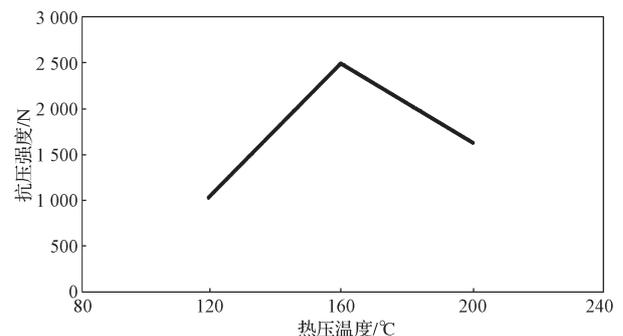


图6 预试验中热压温度与抗压强度的关系图

Fig. 6 Relationship between pre-test hot pressing temperature and compressive strength

从图6可以看出，当热压温度为160℃时，试样

的抗压强度最大, 达到 2 476 N; 当温度高于 160 ℃ 和低于 160 ℃ 时, 试样的抗压强度呈下降趋势, 120 ℃ 时抗压强度为 1 026 N, 200 ℃ 时为 1 624 N。

3.2 热压压力

热压压力是热压成型过程中的一个重要参数。在此机器运行过程中, 不同原料对热压压力有很大的影响且热压压力不可控。对不同的原料组合进行试验, 得到不同的热压压力。当热压压力值过高时, 报警装置会提醒, 且原料不易压下, 机器会产生巨大的噪声。当热压压力值超过一定范围, 机器会立即停止运行, 防止机器被损坏。当热压压力值过小时, 试样密度不够, 抗压强度随之减弱。经过多次试验, 以纤板、纤粉、茶渣为主要原料的热压压力值在 8~10 MPa 之间, 而以纤板、纤粉、花生秸秆为主要原料的热压压力值在 6~7 MPa 之间。

3.3 热压时间

热压时间也是热压过程中涉及的参数之一。充足的热压时间有利于传热。但此机器需要满足全自动生产和生产效率较高的要求, 因而无法保证较长的热压时间。制管机工作时, 挤压头每挤压一次, 形成一段管材的时间为 3 s 左右。管材会在成型装置中逐步塑化成型, 且随着压头的不断压下, 其从模具的出口端挤出。

4 试验结果与分析

经过反复研究与试验, 连续式热压成型机实物如图 7 所示。该机器可实现连续化生产, 无需人工干预。所生产的产品如图 8 所示。纤维管防潮抗压稳定, 合

格率较高。

根据原材料与配方的不同, 各项产品的参数如表 1 所示。由表可知, 由连续式热压成型机所制的纤维管根据原料不同具有不同的抗压强度, 其中 2 号和 3 号纤维管在抗压强度及无缝这两项关键指标上均比市面纸管好。4 号的抗压强度低于市面纸管, 但也达到 BB/T 0032—2006《纸管》标准要求。



图 7 制管机实物图

Fig. 7 Pipe making machine entity diagram



图 8 产品实物图

Fig. 8 Product entity diagram

表 1 纤维管与市售纸管参数对比表

Table 1 Comparison table of fiber tube and commercial paper tube

编号	原 料	长度 /mm	外径 /mm	内径 /mm	质量 /g	抗压强度 /N	密度 / (g · cm ⁻³)
1	市面纸管	100.0	90.2	77.2	184	2 219	1.077
2	纤板 + 纤粉 + 茶渣	104.5	90.9	77.1	241	2 476	1.267
3	废纸板 + 纤粉 + 松针	100.6	90.5	76.8	223	2 624	1.231
4	纤板 + 纤粉 + 花生秸秆	100.0	89.7	77.0	213	1 894	1.281

5 结语

本课题组设计了一种连续式热压成型机, 该机器以纤板、纤粉、松针、茶渣等生物质再生植物纤维为主要原料制作纤维管, 制作过程中无需添加化学胶黏剂, 该制作工艺利用了物理成型技术, 实现了无三废(废水、废料、废气)生产。实验结果表明,

相对于市面纸管, 本机器生产的纤维管大大降低了能源损耗。

热压成型技术在建筑、家具等领域也有很好的应用前景^[15-18], 如在原材料运输方面, 利用热压成型技术制作能替代运输托盘卡板的产品; 在建筑材料方面, 制作能替代实心门板与隔墙板的产品。不过这些应用技术还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 郝明洋. 原位反应加工制备聚乳酸/剑麻纤维复合材料及其结构与性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
HAO Mingyang. Preparation of Polylactide/Sisal Fibers Biocomposites Via In-Situ Reaction Processing and Investigation on Its Structure and Properties[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [2] 李文军. 苕麻纤维/聚丙烯车用复合材料的制备及改性机理研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2017.
LI Wenjun. Preparation and Characterization of Ramie Fiber/Polypropylene Composites for Automobile and Study on the Mechanism of Fiber Surface Modification[D]. Changsha: Hunan University, 2017.
- [3] PANG C W, SHANKS R A, DAVER F. Characterization of Kenaf Fiber Composites Prepared with Tributyl Citrate Plasticized Cellulose Acetate[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2015, 70: 52-58.
- [4] BISWAS S, SHAHINUR S, HASAN M, et al. Physical, Mechanical and Thermal Properties of Jute and Bamboo Fiber Reinforced Unidirectional Epoxy Composites[J]. Procedia Engineering, 2015, 105: 933-939.
- [5] 张迪茜. 生物质能源研究进展及应用前景[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
ZHANG Diqian. Progress in Research and Application of Biomass Energy[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [6] 李忠. 生物质秸秆综合利用现状与对策分析[J]. 中国资源综合利用, 2017, 35(12): 72-74.
LI Zhong. The Status Quo and Countermeasures of Comprehensive Utilization of Biomass Stalks[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017, 35(12): 72-74.
- [7] 张荣其, 罗丽萍. 我国现有人造板连续压机的调查与分析[J]. 中国人造板, 2010, 17(9): 7-10.
ZHANG Rongqi, LUO Liping. Survey and Analysis on the Current Continuous Press for Wood-Based Panels Production in China[J]. China Wood-Based Panels, 2010, 17(9): 7-10.
- [8] 盛振湘, 岳群飞, 瞿国富, 等. 连续平压热压机的发展历程与应用拓展[J]. 木材工业, 2017, 31(6): 30-34.
SHENG Zhenxiang, YUE Qunfei, QU Guofu, et al. Development and Future Applications for Continuous Presses[J]. China Wood Industry, 2017, 31(6): 30-34.
- [9] 梅志凌, 孙昊, 张新昌. 环保生物质包装材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 56-60.
MEI Zhiling, SUN Hao, ZHANG Xinchang. Preparation and Performance Evaluation of Environmental Biomass Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 56-60.
- [10] GARCIA-GARCIA D, QUILES-CARRILLO L, MONTANES N, et al. Manufacturing and Characterization of Composite Fibreboards with Posidonia Oceanica Wastes with an Environmentally-Friendly Binder from Epoxy Resin[J]. Materials, 2017, 11(1): 35.
- [11] 罗丽, 赵峰, 刘悦, 等. 用废纸与木片制备复合包装材料的热压工艺研究[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 44-47.
LUO Li, ZHAO Feng, LIU Yue, et al. Study of Hot Pressing Process for Composite Packaging Material Made from Waste Paper and Wood[J]. Packaging Journal, 2014, 6(1): 44-47.
- [12] 杜安磊. 纤维板自粘合成形工艺及其机理研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
DU Anlei. Research on Self-Bonding Forming Process and Mechanism of Fiberboard[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2012.
- [13] ARÉVALO R, PEIJS T. Binderless All-Cellulose Fibreboard from Microfibrillated Lignocellulosic Natural Fibres[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2016, 83: 38-46.
- [14] 牛琦. 蔗渣无胶碎料板制造工艺及胶合机理的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
NIU Qi. Study on Processes and Self-Bonding Mechanism of Binderless Particleboard from Bagasses[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013.
- [15] 闫波, 吕文蕾, 耿晓杰. 纸管材料在家具结构中的设计[J]. 林产工业, 2017, 44(5): 42-45.
YAN Bo, LÜ Wenlei, GENG Xiaojie. Structure Design of Furniture with Paper Tube[J]. China Forest Products Industry, 2017, 44(5): 42-45.
- [16] 张奇. 纸管家具设计研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
ZHANG Qi. Research on Paper Tube Furniture Design[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.
- [17] 邱建, 邓敬, 殷荻. 地震灾区纸管建筑研究: 坂茂在汶川与芦山的设计[J]. 建筑学报, 2014(12): 50-55.
QIU Jian, DENG Jing, YIN Hong. A Study on Paper-

Pined Buildings in Earthquake Disaster Areas Shigeru Ban's Two Buildings in Wenchuan and Lushan[J]. Architectural Journal, 2014(12): 50-55.

Arches[J]. Construction and Building Materials, 2012, 30: 657-666.

[18] PRESTON S J, BANK L C. Portals to an Architecture: Design of a Temporary Structure with Paper Tube

(责任编辑: 邓彬)

Design and Technological Parameter Determination of a New Type Tube-Making Machine Using Glue-Free Hot-Press Forming Technology

WU Dingcheng¹, PAN Qingqing¹, SHAN Weixiong², JIANG Zhuo¹, XIANG Hong¹

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Guangzhou Zhijian General Equipment Manufacturing Co., Ltd., Guangzhou 510760, China)

Abstract: A new type of environmentally friendly continuous hot-press plasticizing tube making machine suitable for production was designed. By taking waste plant raw materials (tea residues, peanut straws, etc.) from agricultural products processing as raw materials, the machine used glue-free hot-press forming technology to make new hot-press plasticized tubes as the replacement for traditional paper tubes. After repeated research and testing, the results showed that in actual production, the machine could achieve continuous production without generating waste water, scrap materials and exhaust. The production rate of the fiber tube could reach 7.2 m / h, and the compressive strength of the product could be over 2 000N. Compared with the current production of paper tubes, this machine greatly reduced energy consumption and labor costs, indicating broad market prospects, huge social benefits and economic value.

Keywords: plant fiber; glue-free hot-press plasticizing; fiber tube