

薯渣开闭式压缩成型装置的设计研究

Research of designing compression equipment with open mold and closed mold for potato pulp processing

郭文斌¹ 高晶晶² 德雪红¹

GUO Wen-bin¹ GAO Jing-jing² DE Xue-hong¹

(1. 内蒙古农业大学机电工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古商贸职业学院, 内蒙古 呼和浩特 010070)

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Inner Mongolia Business & Trade Vocational College, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China)

摘要:根据马铃薯淀粉加工后的薯渣及其混合物料松散、含水率高的特点,设计制造集开式压缩、闭式压缩于一体的成型装置用于完成马铃薯废渣及其混合物料的脱水与成型,该压缩装置通过更换压缩活塞、内腔套等部件可以实现开式压缩与闭式压缩方式的转换。进而测量比较不同压缩方式和条件下薯渣及其混合物料脱水、成型的效果。并还对成型装置的关键结构参数进行了校核,结果显示开、闭式压缩装置的设计强度符合要求。

关键词:马铃薯;废渣;混合物料;开式压缩;闭式压缩

Abstract: The purpose of this research was to design and manufacture a multifunctional equipment for processing potato pulp and its mixture with other agroforestry wastes. The equipment combined the methods of compressing with both open and closed mold, considering adequately the densification and dewatering characteristics of potato pulp. During the compressing, the closed and open mold can be converted to each other flexibly by changing the piston of a sleeve. By this means, it is easy to observe and compare the effectiveness of the two methods. Moreover, the densification and dewatering of potato pulp under different conditions were investigated. Finally, the strength verification of the multi-function equipment was accomplished, and the results showed that it could meet the requirements.

Keywords: potato; waste residue; mixture of agroforestry wastes; compressing with open mold; compressing with closed mold

马铃薯淀粉加工企业每年生产淀粉过程中会产生大量

基金项目:内蒙古自然科学基金项目(编号:2014BS0319);内蒙古农业大学博士科研启动基金项目(编号:BJ09-21)

作者简介:郭文斌,男,内蒙古农业大学讲师,博士。

通讯作者:德雪红(1977—),女,内蒙古农业大学讲师,博士。

E-mail: dexuehong@126.com

收稿日期:2016—04—16

的马铃薯废渣。由于薯渣内含有纤维素、淀粉、蛋白质、果胶等可利用成分,具有较高的开发价值,因此国内外学者针对薯渣的特点及加工处理过程中遇到的问题,对其再利用进行了多方面的尝试。一方面,就薯渣利用的途径而言,国内外相关研究主要集中在利用其制备饲料^[1-5]与燃料^[6-8],为了改善薯渣作为饲料的适口性、提高薯渣作为燃料的燃烧热值,在制备饲料和燃料时常将薯渣与相关物料进行混合,例如将薯渣与玉米秸秆混合青贮后饲喂奶牛^[9],或将马铃薯废渣与煤及秸秆等按比例进行混燃^[10-11];另一方面,马铃薯废渣内部残留的淀粉与水等成分,使其具有胶黏特性^[12-14],因此近年来对薯渣的处理方式逐渐转向将其与其它农林废弃物进行混合^[11,15],以利用薯渣中多余的水分,促进物料成型。例如将马铃薯废渣与腐殖质、黏土、秸秆、碳酸钙等混合搅拌后制成药苗营养杯,用于田间育苗^[16];又例如将薯渣与致密化成型较难的荞麦壳混合后,分析薯渣在混合物料中的含量及物料质量流率对物料颗粒密度、持久性、燃烧热值等参数的影响^[6]。

上述研究从多个角度为马铃薯废渣的利用提供了思路,但含水率高、松散、易腐败变质仍是薯渣再利用过程中遇到的主要问题。目前其前处理主要采用带式、转鼓式压滤等机械脱水方式^[17-22],通过滤带、滤网、转鼓的挤压、剪切和摩擦作用对薯渣进行脱水,该方式虽然生产成本较低,但实际脱水效果并不理想,且处理后的薯渣仍未成型,不易于储运。因此,本研究针对薯渣的特点,参考农业松散物料在冷态下压缩成型的方式,设计了专门的集开式压缩、闭式压缩于一体的成型装置用于分析研究薯渣及其混合物料在压缩过程中的脱水与成型。

1 开、闭式压缩成型装置的设计

作为一种含水率高且具有黏弹性的固体松散物料,马铃薯废渣的可压缩性以及其不同压缩条件下所表现出的力

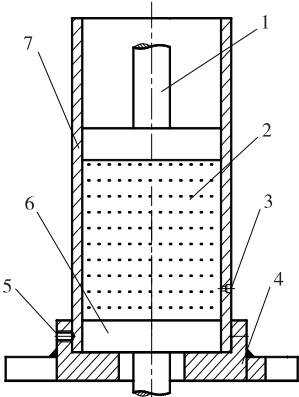
学特性和脱水效果直接决定了实际生产中其加工处理方式的选择。本研究设计的压缩试验装置结构见图 1、2。

成型装置内进行闭式压缩时,由上压缩活塞进行加载,下压缩活塞静置,压缩物料至指定密度时保持压力一段时间,随后上压缩活塞退出,物料在下压缩活塞作用下压出;为便于压缩过程中薯渣及混合物料内水分的排出,压缩筒内壁设计有均布的导流孔。进行开式压缩时,以带有锥口的内腔套(见图 3)替换闭式压缩装置中的下活塞,与闭式压缩筒配合后构成开式压缩装置内腔,上压缩活塞加载时,物料经内腔套成型后从压缩筒下端流出,经落料口落料;根据开式压缩装置内腔套开口锥度及圆柱孔的直径、长度尺寸比不同,可设计不同内径尺寸和开口锥度的内腔套互相替换后完成薯渣及其混合物料的压缩成型,获取物料压缩成型的最佳长径比等参数。

2 开闭式压缩成型装置的校核

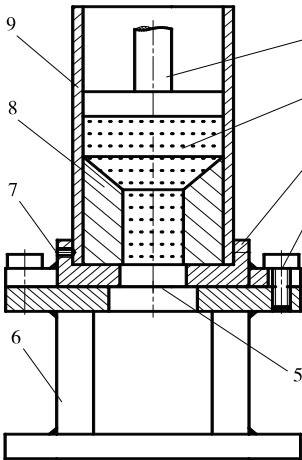
2.1 闭式压缩成型装置的校核

2.1.1 型腔受力分析 闭式压缩成型装置型腔内的受力见图 4。物料置入型腔后,在上活塞的作用力 F 下,物料密度增



1. 上活塞 2. 物料 3. 导流孔 4. 底座 5. 螺钉 6. 下活塞 7. 压缩筒

图 1 闭式压缩试验装置
Figure 1 Compression equipment with closed mold



1. 上活塞 2. 物料 3. 底座 4. 螺栓 5. 落料口 6. 支架 7. 螺钉 8. 内腔套 9. 压缩筒

图 2 开式压缩试验装置
Figure 2 Compression equipment with open mold



图 3 开式压缩试验装置可更换式内腔套
Figure 3 The sleeve of compression equipment with open mold

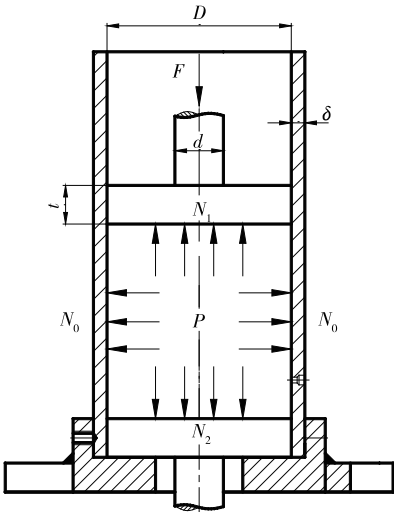


图 4 闭式压缩装置受力示意图
Figure 4 The stress analysis of compression equipment with closed mold

大,此时受压物料产生的胀型力 P 使型腔筒壁承受正压力 N_0 ,随着物料密度继续增大,型腔筒壁所受正压力 N_0 也逐渐增大,当物料密度达到最大,正压力 N_0 也达到峰值,此时,上活塞压板与下活塞压板也同样受到胀型力 P 作用,因此,可将上下活塞压板受力分别设为 N_1 、 N_2 (见图 4)。

根据力的平衡方程可得:
$$P = N_0 = N_1 = N_2, \tag{1}$$

式中:
 P ——物料胀型力,MPa;
 N_0 ——型腔筒壁承受正压力,MPa;
 N_1 ——上活塞压板所受压力,MPa;
 N_2 ——下活塞压板所受压力,MPa。

2.1.2 型腔壁厚强度校核 型腔装置外形尺寸见图 4,型腔设计壁厚 $\delta = 7\text{ mm}$,内径 $D = 95\text{ mm}$,上、下活塞压板厚度 $t = 20\text{ mm}$,活塞杆直径 $d = 30\text{ mm}$,型腔材料选取合金钢 40Cr,抗拉强度 $\sigma_b = 980\text{ MPa}$,屈服强度 $\sigma_s = 785\text{ MPa}$ 。根据压缩装置的受力分析可以看出,压缩过程中型腔处于近似密

闭容器状态,因此需对其内壁厚度进行强度校核,校核时参考秸秆、木屑等松散物料的成型压力,取型腔设计压力 P_0 为 100 MPa^[23],校核公式:

$$\delta_e \geq \delta_e = \frac{P_0 D}{2 [\sigma]^t \varphi - P_0}, \tag{2}$$

式中:

δ_e —— 型腔材料的许可最小壁厚,mm;

$[\sigma]^t$ —— 型腔材料的许用应力(即屈服强度 σ_s),MPa;

P_0 —— 压缩型腔设计压力,MPa;

D —— 压缩型腔设计内径,mm;

φ —— 焊缝系数, $\varphi \leq 1.0$,此处取 1.0。

将已知参数 $P_0 = 100$ MPa, $D = 95$ mm,带入式(2)得:

$$\delta_e = 6.463 \text{ mm} < \delta。$$

因此,型腔材料的许可最小壁厚 δ_e 小于型腔的设计壁厚 δ ,故型腔壁强度符合要求。如果考虑压缩筒壁上导流孔影响,计算所得 δ_e 将进一步减小,型腔的设计壁厚会更加安全,因此为简化计算,上述强度校核过程对压缩筒壁上导流孔的影响忽略不计。

2.2 开式压缩成型装置的校核

2.2.1 型腔受力分析 开式压缩成型装置型腔的受力分析分 3 个典型截面(阶段)进行,如图 5 所示,当上活塞在加载力 F 的作用下开始加载时,逐渐成型的物料产生胀型力 P ,导致型腔内壁受正压力 N 及物料与内壁表面间摩擦力 f 。开式压缩过程中,随着物料的移动、成型,型腔内壁不同位置处受力大小存在一定差异。当物料流过 a-a 截面位置时,由于物料较为松散,其产生的胀型力 P 较小,导致正压力 N_{a-a} 和摩擦力 f_{a-a} 均较小;当物料被压至锥口 b-b 截面处时,随着物料密度增大,胀型力增大,此时型腔内壁正压力 N_{b-b} 与摩擦力 f_{b-b} 也逐渐增大;当物料到达型腔末端出口 c-c 截面处(内壁直径为 d_c)时,摩擦力作用使被压缩物料密度继续增大,此时型腔内壁 c-c 截面处胀型力 P 、正压力

N_{c-c} 、摩擦力 f_{c-c} 均继续增大,当物料被压至落料口附近,落料前密度达到最大值, P 、 N_{c-c} 和 f_{c-c} 也达到峰值,因此,成型装置型腔内壁在 c-c 截面处受力最大。

根据力的平衡方程有:

$$\begin{cases} P = N; \\ P_{a-a} = N_{a-a}, P_{b-b} = N_{b-b}, P_{c-c} = N_{c-c}; \\ f = \mu N, \end{cases} \tag{3}$$

式中:

P —— 被压缩物料产生的胀型力,MPa;

P_{a-a} 、 P_{b-b} 、 P_{c-c} —— 被压缩物料在 a-a、b-b、c-c 处产生的胀型力,MPa;

N —— 型腔内壁所受正压力,MPa;

N_{a-a} 、 N_{b-b} 、 N_{c-c} —— 型腔内壁在 a-a、b-b、c-c 处所受正压力,MPa;

f —— 型腔内壁表面所受单位摩擦力,MPa;

μ —— 型腔内壁表面摩擦系数。

2.2.2 型腔壁厚强度校核 开式压缩成型装置外形尺寸见图 5,增加内腔套后,内腔套上方作为料斗完成薯渣及混合物料的喂入。内腔套材料采用 45 钢, $\sigma_b = 600$ MPa, $\sigma_s = 355$ MPa, $\tau_b = 480$ MPa,料斗设计壁厚 $\delta = 7$ mm,料斗圆筒内径 $D = 95$ mm,成型型腔设计壁厚为 $\delta_0 = 39.5$ mm(内腔套壁厚与型腔壁厚之和),成型型腔直径 $d_c = 30$ mm,活塞压板厚度 $t = 20$ mm,进行强度分析时取成型型腔长度 $L = 120$ mm,型腔长径比为 1:4,内腔套锥口锥度 $\alpha = 45^\circ$,同时设物料密度达到 $0.8 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^3$ kg/m³ 时,产生的胀型力 P_0 (即型腔设计压力)为 100 MPa^[24-27]。

$$\delta_0 \geq \delta_e = \frac{P_0 d}{2 [\sigma]^t \varphi - P_0}, \tag{4}$$

式中:

δ_e —— 型腔内壁材料许可的最小厚度,mm;

$[\sigma]^t$ —— 型腔材料的许用应力,MPa;

P_0 —— 型腔设计压力,MPa;

d —— 型腔设计内径,mm;

φ —— 焊缝系数, $\varphi \leq 1.0$,此处取 1.0。

根据开式压缩成型装置型腔受力分析可知,成型型腔内壁在 c-c 截面处受力最大,故需要校核,此时 $P = P_{c-c} = 100$ MPa, $d = 30$ mm,将数值带入式(4)计算得:

$$\delta_e = \frac{P_{c-c} d}{2 [\sigma]^t \varphi - P_{c-c}} = 4.918 \text{ mm} < \delta_0。$$

因此,型腔内壁材料许可的最小厚度 δ_e 远小于成型型腔设计壁厚 δ_0 ,强度符合要求。

3 结论

(1) 本研究针对薯渣及其混合物料的特点,采用组合式设计将闭式压缩成型装置与开式压缩成型装置结合在一起,通过更换活塞压板与内腔套的方式实现了闭式压缩装置与开式压缩装置的相互转换,在降低压缩成型试验成本及生产成本的同时,为相关物料压缩成型方式的选择及力学特性参数的比较分析提供了较为全面的试验方法。

(2) 薯渣开闭式压缩成型装置的设计,在传统开式压缩

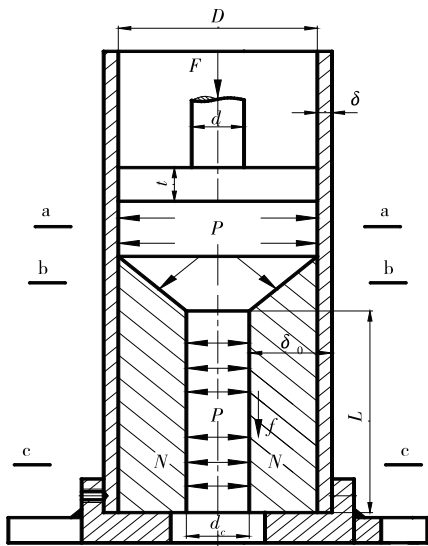


图 5 开式压缩装置受力示意图

Figure 5 The stress analysis of compression equipment with open mold

与闭式压缩方法的基础上,考虑了物料在压缩过程中的脱水问题,在压缩型腔筒壁上设计了导流孔,便于薯渣及其它含水率高的物料压缩过程中排出水分。此外,该装置在闭式压缩时采用了双活塞式的结构,使物料压缩成型后更容易排出;而在开式压缩时则通过更换不同尺寸的内腔套,改变型腔长径比,以便于不同种类、不同配比混合物料的成型及成型后物料的排出。

参考文献

[1] ZUNONG M, TUERHONG T, OKAMOTO M, et al. Effects of a potato pulp silage supplement on the composition of milk fatty acids when fed to grazing dairy cows[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 152: 81-91.

[2] WANG Tuo-yi, WU Yun-hong, JIANG Cheng-ying, et al. Solid state fermented potato pulp can be used as poultry feed[J]. *British Poultry Science*, 2010, 51: 229-234.

[3] XUE Ling-feng, LI Peng-fei, ZHANG Rong-fei, et al. Use of fermented potato pulp in diets fed to lactating sows[J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2011, 10(15): 2 032-2 037.

[4] 马庆团. 马铃薯渣饲料制备方法: 中国, 101828632A[P]. 2010-09-15.

[5] 王文侠, 吴耘红, 吴红艳, 等. 马铃薯渣酶法水解液制备单细胞蛋白饲料[J]. *食品与机械*, 2015, 31(3): 17-19.

[6] OBIDZINSKI S. Analysis of usability of potato pulp as solid fuel [J]. *Fuel Processing Technology*, 2012, 94(1): 67-74.

[7] OBIDZINSKI S. Utilization of post-production waste of potato pulp and buckwheat hulls in the form of pellets[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2014, 23(4): 1 391-1 395.

[8] 李伟光. 薯渣燃料棒的生产工艺: 中国, 102492510A[P]. 2012-06-13.

[9] 闫晓波. 马铃薯渣和秸秆混合青贮对奶牛生产性能的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009: 22-38.

[10] 陈奇伟, 马晓娟, 李连伟. 马铃薯淀粉生产技术[M]. 北京: 金

盾出版社, 2004: 139-150.

[11] 王拓一. 马铃薯渣—秸秆共混生物燃料及其制备方法: 中国, 102382703 A[P]. 2012-03-21.

[12] MAYER F, HILLEBRANDT J O. Potato pulp: microbiological characterization, physical modification, and application of this agricultural waste product[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1997, 48(4): 435-440.

[13] MAYER F. Potato pulp: properties, physical modification and applications[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 1998, 59 (1/3): 231-235.

[14] 王小芳, 吕金顺, 杨安仁. PDF 对 Hg²⁺、Pb²⁺、Cd²⁺ 的吸附机理及动力学研究[J]. *西南科技大学学报*, 2003, 18(4): 51-54.

[15] 杨立宾, 郑安波, 杨艳华, 等. 马铃薯渣与秸秆栽培刺芹侧耳的配方优化[J]. *食用菌*, 2012(5): 18-19.

[16] 王志民. 一种马铃薯淀粉废渣生产育苗营养杯的方法: 中国, 102210244[P]. 2011-10-01.

[17] 赵昱. 带式浓缩压滤机: 中国, 201205473[P]. 2008-05-15.

[18] 金翼. 马铃薯渣脱水设备: 中国, 202428678[P]. 2012-09-12.

[19] 曾祥平, 郭曦, 蒋立茂. 薯渣脱水方法及设备: 中国, 101423557 [P]. 2009-05-06.

[20] 王彦波. 薯渣脱水机: 中国, 201161991[P]. 2008-12-10.

[21] 胡秋云. 薯渣脱水机: 中国, 202494300[P]. 2011-10-17.

[22] 陈奇伟. 真空吸滤正压反吹双转鼓对轧式黏质纤维榨水机: 中国, 101235092A[P]. 2008-08-06.

[23] 闫文刚. 生物质常温开模致密成型研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011: 28-50.

[24] 宋晓文. 生物质常温开模压缩成型直筒参数的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 22-23.

[25] 宋晓文, 俞国胜, 姜晨龙, 等. 生物质常温开模压缩成型直筒参数的研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2011(11): 36-38.

[26] 陈彦宏. 振动力场作用下生物质燃料致密成型的试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010: 15-17.

[27] 胡建军. 秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 21-67.

(上接第 54 页)

旅游景区所在地的旅游行业协会、餐饮服务行业协会等,要发挥行业协会应有的自律作用和监督作用。鼓励行业协会制定并推行有关旅游食品生产经营的行业标准和行业规范,鼓励行业协会及时为会员企业提供旅游食品安全的信息、技术和政策方面的窗口指导,加强行业信息的内部沟通和公开宣示,帮助产业链上的不同利益主体有效减少市场信息不对称的现象^[6]。

4 结语

旅游食品安全工作是旅游业健康发展的基础,各级各类食品监督主管部门和旅游行政主管部门应高度重视,认真做好旅游食品安全管理体系建设,保障好旅游者基本需求,实现旅游业健康和可持续发展。

从旅游食品产业链角度,应该形成旅游食品产业链利益共享机制,应该推进旅游食品全行业 HACCP 监控体系,应该打造旅游食品产业链内部追溯体系,应该提高产业链中生

产经营者违法成本,应该建立全方位旅游食品安全监管体系,实现旅游食品安全从田间地头到旅游者餐桌的全程控制。

参考文献

[1] 国家旅游局. 2015 年中国旅游业统计报告[EB/OL]. (2016-01-13)[2016-06-21]. <http://www.askci.com/news/chanye/2016/01/13/161853tpx1.shtml>.

[2] 王辉霞. 食品产业链安全控制法律机制研究[J]. *西北工业大学学报: 社会科学版*, 2013(1): 20-26.

[3] 胡卫华. 中国旅游食品安全管理的现状与对策[J]. *中国食品卫生杂志*, 2010(1): 49-52.

[4] 李鑫. 国内旅游食品安全保障体系的构建及对策研究[J]. *北方经济*, 2012(1): 10-12.

[5] 张满林, 王辉. 旅游景区餐饮安全监管机制研究[J]. *北京农学院学报*, 2013(1): 64-66.

[6] 谭业. 中国旅游食品安全监管体系发展态势、问题及对策[J]. *食品与机械*, 2016, 32(2): 219-221.