

间歇式中小型苹果真空打浆机设计

Design and research of a small and medium-sized vacuum apple beater with intermission

陈松¹ 蒋军² 黄忠³

CHEN Song¹ JIANG Jun² HUANG Zhong³

(1. 安徽粮食工程职业学院机电工程系, 安徽 合肥 230011; 2. 安徽农业大学生物技术中心, 安徽 合肥 230036; 3. 安徽粮食工程职业学院机电工程系, 安徽 合肥 230011)

(1. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Anhui Vocational College of Grain Engineering, Hefei, Anhui 230011, China; 2. Centre for Biotechnology, Anhui Agriculture University, Hefei, Anhui 230036, China; 3. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Anhui Vocational College of Grain Engineering, Hefei, Anhui 230011, China)

摘要:针对中小型苹果打浆机工作过程中存在的苹果氧化褐变而影响果浆的外观和口感问题,设计了一种间歇式中小型苹果真空打浆机装置。根据苹果打浆工艺特点,研究了真空打浆机的工作原理与基本结构;阐述了苹果真空打浆机工作运行过程及真空脱气保障。验证实验表明:试验设计的间歇式中小型苹果真空打浆机可有效遏制苹果褐变,提高果浆质量。

关键词:褐变;真空;破碎;打浆;进料;出浆;排渣

Abstract: The appearance and taste of the apple pulp is affected by the oxidation and browning of apples exposed to the air, which occur during the production process of small and medium-sized apple pulping machines. In response to this problem, a small and medium-sized intermittent apple vacuum pulper were designed. Based on the technical process of apple pulping, the working principle and basic structures of the apple vacuum pulper are analyzed; the operational process of the machine and its guarantee of "vacuum degassing" were discussed in detail. Experimental validation showed that the designed intermittent small and medium-sized apple vacuum pulper could significantly reduce the browning and improve the quality of apple pulp.

Keywords: browning; vacuum; crushing; pulping; feeding; discharging; slag discharge

如何使苹果汁不受氧化褐变影响,保持其原有的色、

香、味和营养成分,是苹果汁生产过程中的关键技术问题之一^[1]。破碎、打浆过程中,苹果细胞内部结构被破坏,果肉细胞呼吸作用加快,诱发酶促反应,从而使苹果褐变速度加快^[2]。由于苹果大部分是发生酶促褐变,其褐变控制方法主要有物理控制、化学控制和生物控制3种。化学控制方法是在破碎、打浆环节,通过在果汁、果浆中添加抗氧化剂,以减少或抑制苹果褐变^[3]。该方法采用的是事后控制技术思路,褐变发生后才采取控制措施,会影响苹果汁口感,对苹果汁质量产生一定的安全隐患,如有的果汁中出现的非法添加问题^[4]。

目前,苹果打浆过程几乎是开放式的。真空苹果打浆机是基于事前控制技术思路,在苹果粉碎、打浆过程采用真空脱气的物理控制技术防止褐变^[3]。试验拟研究一种中小型真空苹果打浆机,利用真空脱气,采用避免与空气接触的封闭作业方式完成苹果的破碎、打浆过程^[5],旨在避免和解决苹果发生氧化褐变的问题,以保证苹果汁的良好外观、口感和品质。

1 真空打浆机的基本结构及工作原理

1.1 基本结构

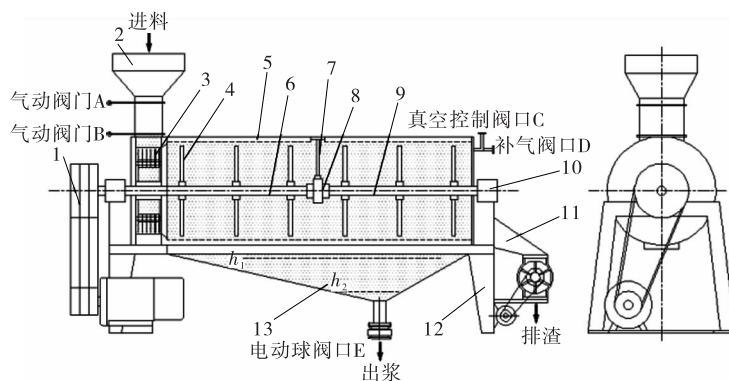
苹果真空打浆机(图1)主要由筒体(包括内筒、筛筒)、进料斗装置、收集(出浆)料斗装置、排渣口装置、转轴Ⅰ、转轴Ⅱ、联轴器、悬挂支承、破碎刀盘、打浆叶片、机架、传动装置、滚动轴承等部分组成。

筒体外部,进料斗、集料斗、排渣口等装置分别设置在筒体的最上部、最下部和侧下部,筒体上部装有真空控制阀口和补气阀口等。筒体内部,内筒、筛筒均与筒体连接;转轴Ⅰ和Ⅱ用联轴器连接一体,中间用悬挂支承固

基金项目:安徽省高等学校省级质量工程重点项目(编号:2018jyxm0724)

作者简介:陈松(1962—),女,安徽粮食工程职业学院副教授,学士。E-mail: 715793820@qq.com

收稿日期:2020-08-02



1. 传动装置 2. 进料斗装置 3. 破碎刀盘 4. 打浆叶片 5. 筒体(内筒、筛筒) 6. 转轴 I 7. 悬挂支承
8. 联轴器 9. 转轴 II 10. 滚动轴承 11. 排渣口装置 12. 机架 13. 集料(出浆)斗装置

阴影部分为苹果真空打浆机内部破碎、打浆时的真空状态

图 1 间歇式中小型真空苹果打浆机基本结构

Figure 1 Structure of the small and medium-sized intermittent apple vacuum pulper

定。转轴 I、II 支承皮带轮、破碎刀盘、六组打浆叶片等零件,以传递打浆运动和动力,转轴两端用滚动轴承支承。

1.2 工作步骤

真空打浆机开始工作前,关闭集料斗装置、排渣口,开启传动装置。打浆过程包括进料、初步破碎、打浆、输出果浆、排出废渣等步骤。

(1) 采用间歇进料方法进料。清洗后的苹果通过电器自动控制打开的气动阀门 A、B 进入打浆机内筒的破碎室,通过电器自动控制关闭气动阀门 A、B,完成进料。

(2) 内筒(破碎室)内苹果真空状态下被初步破碎。通过电器自动控制打开真空控制阀口 C、关闭补气阀 D,破碎刀盘以劈碎和击碎的方式破碎苹果^[6]。

(3) 苹果进入筛筒(打浆室)开始真空打浆。初步粉碎的苹果在筛筒中做螺旋移动,在苹果与筛筒壁和浆叶片间摩擦力、离心力以及浆叶片的打击作用下被彻底磨碎和击碎^[6]。产生的汁液和肉质的果浆经筛筒筛孔进入收集料斗待输出;产生的皮和籽等废渣移至排渣口待排出。

(4) 常压下浆液输出和废渣排出。收集料斗下部装有电动球阀 E。当收集料斗内的液面达到一定高度(如 h_1),电器自动控制关闭真空控制气阀 C、打开补气阀 D、打开电动球阀 E,筒体内恢复常压。苹果浆液在重力作用下通过电动球阀 E 输出,收集料斗内液面高度开始下降。当收集料斗内液面高度下降到一定高度(如 h_2),电器自动控制关闭电动球阀 E,浆液输出停止,出浆完成。同时,排渣口装有闭气式卸料器,在该卸料器内叶轮转子旋转过程中,既将废渣排出,又保证排渣口处于密闭状态。

(5) 再次进料。电器自动控制再次打开气动阀门 A、B,洗净的苹果再次进入打浆机内筒破碎室。

2 真空打浆机的主要关键零部件

真空打浆机主要零部件分为两类:筒体及相关零件、进料口、集料口、排渣口装置等为关键零部件,破碎刀盘、打浆叶片、传动装置、机架等为常规零部件。

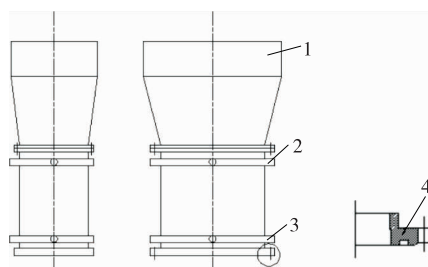
2.1 筒体及相关零件

筒体材料采用不锈钢 0Cr19Ni9。设计时,采用上下半圆筒焊接而成。该材料具有良好的韧性、塑性、焊接性和耐腐蚀性,满足筒体耐腐蚀、防锈和健康卫生等使用要求^[7]。苹果真空打浆机筒体内壁上焊接有内筒和筛筒,筛筒由钢制金属网制作,筒体内形成破碎室和打浆室。筒体外壁,正上方、正下方、右侧下方设有进料口、出料口和排渣口等;右上方设有真空控制阀口 C 和补气阀口 D 等主要阀口。

2.2 进料斗、集料斗、排渣口装置

进料斗装置(图 2)在筒体上部顶面,由进料口、气动阀门 A、气动阀门 B^[8]等组成,与筒体通过法兰连接。洗净的苹果通过进料口装置间歇方式进入内筒(破碎室)完成初步破碎。

集料斗装置(图 3)在筒体下部底面,由出料口、电动



1. 进料口 2. 气动阀门 A 3. 气动阀门 B 4. 平沟槽密封面

图 2 进料斗装置

Figure 2 The feeding hopper

球阀 E 等组成,与筒体焊接一体。果浆液通过集料斗装置输出。

排渣口装置(图 4)在筒体右侧面下部,由排渣口管、闭气式卸料器^[8]组成,与筒体焊接一体。打浆中产生的废渣通过排渣口装置排出。

3 真空打浆机的真空脱气保障

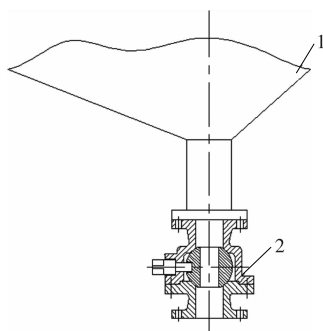
苹果真空打浆机区别于普通果蔬打浆机的创新之处在于破碎、打浆过程在真空脱气状态下进行,避免了果肉与空气接触而产生氧化褐变,确保了果汁的新鲜。因此,需充分保障真空打浆机真空脱气的技术要求,切实保障整个打浆机工作运行过程的真空状态。

3.1 苹果真空打浆机的筒体制造

苹果真空破碎、打浆过程中,筒体内真空度为 0.01 MPa,为负压操作容器,但不属于 GB 150—2011 管辖的真空容器(真空度 >0.02 MPa)。制造过程中保证筒体质量、满足外压稳定的条件,按一般真空容器制造即可^[9],不需要增加额外制造成本就可完全保障真空打浆的技术要求。

3.2 电动机和真空泵的选择

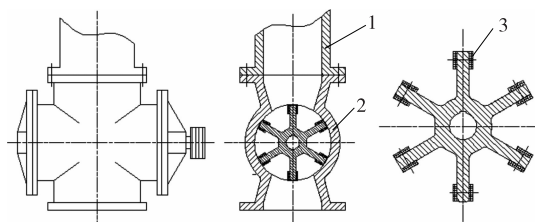
按苹果真空打浆机 1.5 t/h 的生产能力,查阅机械手册,确定带传动效率为 0.7^[10],电动机功率 $P=2.3/0.7=3.3$ kW。考虑到超载和其他意外情况,选择该间歇式苹果真空打浆机的电动机为 Y132S-4^[10]。该电动机功率为 5.5 kW,可完全满足打浆动力要求。



1. 出口口 2. 电动球阀 E

图 3 集料斗装置

Figure 3 The collecting hopper



1. 排渣口管 2. 闭气式卸料器 3. 旋转叶片及密封胶条

图 4 排渣口装置

Figure 4 The drainage port

真空泵是苹果真空打浆机的核心部件,按真空度 0.01 MPa 的技术要求和真空泵工作压力范围,该真空泵属于粗真空工作,可选择目前应用较广的 2XZ-0.5 型高速直联旋片真空泵^[11],该真空泵功率 180 W,极限真空 <1.33 Pa,完全可以满足真空度技术要求。

3.3 真空状态切换过程的自动控制系统

苹果真空打浆机在破碎、打浆操作中必须保证真空状态,而进料、出料、排渣操作为非真空状态。为了保证打浆机“进料—打浆—出浆—排渣”工作运行过程,打浆机内部需进行“非真空—真空—非真空—真空”的状态转换,而实现这个状态转换利用的是电器控制原理。非真空状态下进料完成后,电器自动控制系统完成“气阀门 A、B 关—补气阀 D 关—真空控制阀 C 开”的控制流程,进行真空状态苹果破碎、打浆。真空打浆完成后,电器自动控制系统进行“真空控制阀 C 关—补气阀 D 开—电动球阀 E 开—电动球阀 E 关—气阀门 A、B 开”流程控制,完成非真空状态下出浆、排渣、进料。循环往复,电器自动控制系统精准控制和保障了苹果真空打浆机整个工作运行过程的真空状态要求。

3.4 真空系统结构设计

苹果真空打浆机中,真空控制阀口连接有压力传感器,以保证打浆过程中真空度(0.01 MPa)不变。真空泵接口设计在打浆机筒体顶端,距浆叶片足够高度,从而保证真空控制阀口不被果浆堵塞(见图 1)。进料斗、集料斗、排渣口 3 大筒体出口装置的结构对保证筒体内部的真空状态非常重要,分别采用双气动阀门、闭气卸料器等结构,选用电动球阀,从结构设计上保证整个设备的真空技术要求(见图 1~4)。

3.5 真空系统密封设计

苹果真空打浆机所有对外出口管法兰均采用平沟槽密封面,如图 2 所示,配用硅胶密封胶条确保密封效果。为了提高进料斗的气密性,采用两组气动阀门 A、B,且阀门插板四周用槽形密封硅胶条密封。集料斗选用优质电动球阀保证气密性(见图 3)。排渣口采用闭气式卸料器结构,旋转叶片与内壁间用胶条密封(见图 4)。在转轴 I 和转轴 II 的两端和筒体孔之间,按动密封要求,采用成型填料的方法,用 O 形圈进行密封^[11]。所有这些严格密封设计,保障了该苹果真空打浆机在苹果破碎、打浆环节的密封性,实现真空工作状态。

4 性能验证实验

褐变度用果浆在 420 nm 处的吸光度($OD_{420\text{ nm}}$)表示,其值越大,褐变程度越高。多酚氧化酶 PPO 活性和过氧化物酶 POD 活性是果浆内多酚氧化酶和过氧化物酶活性,活性越低,越能有效抑制褐变^[12]。由表 1 可知,苹果真空打浆机的设计解决了苹果打浆过程中的氧化褐

表 1 苹果真空打浆机性能测试

Table 1 Evaluation of performance characteristics of the apple vacuum pulper

真空度/ MPa	产量/ (kg · h ⁻¹)	褐变度 (OD _{420 nm})	PPO 活性/ (U · g ⁻¹)	POD 活性/ (U · g ⁻¹)
0.010	1 510	0.21	0.01	0.06
0.006	1 550	0.24	0.02	0.14
0.000	1 613	0.75	0.04	0.36

变问题,可以显著提高苹果果浆质量,苹果浆为苹果原色,口感与新鲜苹果无异。

5 结论

试验提出了真空设计理念,解决了苹果打浆过程中的氧化褐变问题,保证了苹果浆原汁原味;转轴采用分段设计,解决了运行过程中可能出现的打浆叶片碰撞筒体内壁磨损和安全事故;选择优质电动球阀、采用闭气式卸料器和气动阀门结构,确保了打浆机内部系统密封性,保证苹果破碎、打浆在真空下进行。保证后续的浓缩、脱气、杀菌、灌装等生产工艺中^[13]的真空环境,可最大程度实现苹果汁生产的全真空状态。

参考文献

[1] 易建华. 褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究[J]. 食

品与机械, 2015, 31(4): 122-125.

[2] 段志芳. 陈皮黄酮对苹果汁氧化褐变的抑制作用[J]. 中国食品添加剂, 2018(7): 138-143.

[3] 梁亚男. 苹果汁褐变控制技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018(3): 280-286.

[4] 王了. HPTLC-SERS 快速检定葡萄汁中苏丹染料掺假[J]. 食品与机械, 2018, 34(7): 59-64, 77.

[5] 李恩山. 国内外果蔬汁加工机械的现状与发展趋势[J]. 农牧与食品机械, 1994(1): 6-8.

[6] 马荣明, 杨晓清. 食品机械与设备[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 67-72.

[7] 罗会昌. 机械工程材料工艺学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 77-86.

[8] 毛广卿. 粮食输送机械与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 273-283.

[9] 倪永良, 王海范, 崔琴. 高度毒性介质负压操作容器制造技术要求的确定[J]. 石油和化工设备, 2015(7): 5-7.

[10] 吴宗泽. 机械设计实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 901-1 242.

[11] 赵明生. 机械工程师手册[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2001: 659-669, 1 176-1 178.

[12] 陈春. 氧化白藜芦醇对鲜切苹果及果汁褐变的影响[J]. 食品工业科技, 2019(20): 285-289, 295.

[13] 胥洪. 高倍苹果果浆加工关键技术研究[J]. 食品工业, 2017(8): 5-9.

(上接第 115 页)

[10] RAGHAVI L M, MOSES J A, ANANDHARA-MAKRISHNAN C. Refractance window drying of foods: A review [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 222: 267-275.

[11] JIN Wei, MUJUMDAR A S, ZHANG Min, et al. Novel drying techniques for spices and herbs: A review[J]. Food Engineering Reviews, 2018, 10(1): 34-45.

[12] 张卫鹏, 肖红伟, 郑志安, 等. 基于碳纤维红外板加热的干燥装备设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 242-251.

[13] AZIZI D, JAFARI S M, MIRZAEI H, et al. The influence of refractance window drying on qualitative properties of ki-wifruit slices[J]. International Journal of Food Engineering, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0201>.

[14] CASTOLDI M, ZOTARELLI M F, DURIGON A, et al. Production of tomato powder by refractance window drying[J]. Drying Technology, 2015, 33(12): 1 463-1 473.

[15] MUJUMDAR A S. Handbook of industrial drying[M]. 3rd ed. Taylou; CRC Press, 2006: 263-730.

[16] 王教领, 宋卫东, 丁天航, 等. 澳洲坚果中红外干燥机设计与试验[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 110-114.

[17] 卢映洁, 任广跃, 段续, 等. 基于温度梯度的带壳鲜花生热

风干燥收缩模型研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 148-154.

[18] BAEGHBALI V, NIAKOUSARI M. A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in refractance window drying: A conductive hydro-drying technique [J]. Journal of Nutrition, Food Research and Technology, 2018, 1(2): 50-54.

[19] JIMENA M, GULATI T, DATTA A K, et al. Quantitative understanding of refractance window™ drying[J]. Food and Bioproducts Processing, 2015, 95: 237-253.

[20] ZOTARELLI M F, CARCIOFI B A M, LAURINDO J B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by refractance window [J]. Food Research International, 2015, 69: 410-417.

[21] NASCIMENTO C S, RODRIGUES A M C, SILVA L H M. Development of a dehydrated product with edible film characteristics from mammee apple (*Mammea americana* L.) using Refractance Window drying[J]. Food Science and Technology, 2020, 40(1): 245-249.

[22] ORTIZ-JEREZ M J, OCHOA-MARTiNEZ C I. Heat transfer mechanisms in conductive hydro-drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*) pieces[J]. Drying Technology, 2015, 33(8): 965-972.