

机械冲压式压曲机传动机构优化设计

Optimal design of transmission mechanism of mechanical stamping JIUQU starter press

张明松¹张琰彬¹蔡振宇¹陈梓奇¹边新河²ZHANG Ming-song¹ ZHANG Yan-bin¹ CAI Zhen-yu¹ CHEN Zi-qi¹ BIAN Xin-he²

(1. 三峡大学机械与动力学院, 湖北 宜昌 443000; 2. 宜昌杰威机械设备有限公司, 湖北 宜昌 443000)

(1. College of Mechanical & Power Engineering, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443000, China; 2. Yichang Jiewei Mechanical Equipment Co., Ltd., Yichang, Hubei 443000, China)

摘要:目的:解决传统机械冲压式压曲机压出的曲块厚薄、松紧度不一的问题,使提浆及酒品达到人工踩曲效果。方法:通过对酒厂现有压曲机分析,对机械冲压式压曲机传动机构进行优化设计,将原有控制压曲模运动的曲柄连杆机构替换为沟槽凸轮机构,并根据压曲力与曲料压缩量的关系反求凸轮轮廓曲线,构建出符合曲料压缩变形的十一次多项式凸轮轮廓曲线。结果:相比于原有机机构可减少 75.09% 的非工作阶段运动时间,增加 192.60% 的工作阶段运动时间。结论:优化设计后压曲力与曲料压缩量相匹配,达到了优化压曲效果。

关键词:压曲机;凸轮机构;凸轮运动规律曲线;优化设计

Abstract: **Objective:** To solve the problem that the thickness and tightness of the rhizopus brick by traditional mechanical stamping JIUQU starter press were different, so as to achieve the effect of manual trampling on the liquor. **Methods:** Through the analysis of the existing JIUQU starter press machine in the distillery, the transmission mechanism of the mechanical stamping JIUQU starter press machine was optimized, the original crank connecting rod mechanism that controlled the movement of the JIUQU starter die was replaced by the groove cam mechanism, and the cam profile curve was inversely calculated according to the relationship between the JIUQU starter press force and the compression amount of the JIUQU starter press material, and the eleventh degree polynomial cam profile curve that conforms to the compression deformation of the JIUQU starter press material was constructed. **Results:** Compared with the original mechanism, it can reduce the movement time of non working stage by 75.09% and increase the movement time of working stage by 192.60%. **Conclusion:** After the optimization design, the

JIUQU starter press force is matched with the compression amount of JIUQU starter and the effect of the optimal of best JIUQU starter press is achieved.

Keywords: JIUQU starter press; cam mechanism; cam motion law curve; optimal design

高温制曲是中国白酒酿造工艺中的重要环节,酒曲优劣与白酒酒体质量和产酒率密切相关^[1]。传统的人工踩曲制作方法存在生产效率低、曲块成型差异大、劳动强度大等缺点,自 20 世纪 70 年代以来,中国各大中型酒厂逐步使用压曲机代替人工踩曲,利用压曲机进行制曲具有生产效率高、操作人员少、工人劳动强度低、曲块成型质量一致、节约生产场地等优点^[2]。从发酵细菌群落结构来看,酱香型白酒的机械化制曲与人工制曲效果相近,且与传统制曲相比,机械化制曲不仅提高了大曲质量稳定性及生产效率,也大幅降低劳动强度及生产成本,还能避免工人在恶劣的环境下操作^[3]。

目前市场上压曲机主要有 3 种类型,分别为液压式、气动式和机械冲压式。相比于液压式和气动式压曲机,机械冲压式压曲机具有喂料与压曲同步操作、实现多次压制成型、提浆效果好等优点,并避免因漏油造成污染大曲的风险^[4]。但传统的机械冲压式压曲机多利用曲柄连杆机构来带动压曲模进行上下运动^[5-6],其压制成型的曲块整体松紧程度不一致,主要原因在于底端停留时间过短,使得压出的曲块厚薄相差较大,松紧度不一,导致提浆以及酒品不能达到人工踩曲效果^[7]。同时压曲力与曲料压缩量不匹配,存在压制不充分的现象。

为此对机械冲压式压曲机传动方式进行优化设计,由于曲柄连杆机构输出的压曲力难以满足于曲料压缩量的函数关系,且不具备底端停留功能,因此选择利用沟槽凸轮机构,通过设计凸轮轮廓曲线来满足压曲力与曲料

作者简介:张明松(1965—),男,三峡大学教授,硕士生导师。

E-mail: yw792949360@163.com

收稿日期:2022-09-02 **改回日期:**2023-01-07

压缩量的关系,并实现底端长时间停留的功能,使曲料得到充分压制。关于凸轮曲线优化设计国内外已有众多学者展开研究, Sanmiguel-Rojas 等^[8]基于贝塞尔曲线优化方法设计凸轮轮廓曲线,提出了一种新的双滚子平移从动件的定宽凸轮机构; Xia 等^[9]考虑从动件的跳跃和振动等动态约束,基于六阶经典样条曲线和单自由度动态模型对凸轮轮廓曲线进行优化; Yu 等^[10]结合高阶插值法和凸轮曲线动态优化模型提出了一种在任意设计条件下直接构造动态性能最优的高速凸轮曲线的新方法; 赵漫漫等^[11]提出一种七、九、十一次变系数多项式曲线设计方法,并对凸轮曲线方程及特性参数进行计算,绘制特性参数图谱,提高了凸轮曲线设计的灵活性和选择性; 罗康等^[12]利用 NURBS 优越的性能对现有的空间弧面分度凸轮的轮廓曲线进行设计,依据不同起止边界条件选定阶数并得到各种运动控制条件的 NURBS 柔性凸轮曲线; 王虹艳等^[13]利用组合方程曲线优化凸轮轮廓曲线,并与余弦方程和高次多项式进行对比,结果表明新型组合方程曲线效果更优。

由于压曲机压制效果与压制速度有关,且需保证压制时间尽可能长,因此需要对凸轮轮廓曲线进行设计,现有关于存在速度节点的凸轮轮廓曲线设计方案多是采用划分固定时间区间,利用曲线连接时间区间初末端的方法,最终通过组合曲线实现对凸轮轮廓曲线中速度节点的控制。以此方案构建的凸轮轮廓曲线无法保证压制时间最大,因此需要根据速度节点反求最小时间,将速度节点所对应的时间视为优化目标,以此构建凸轮轮廓曲线。

1 机械冲压式压曲机工艺参数

按照工艺需求,压曲机产能需达到 900 块/h,且成型次数为 7 次,踩踏次数为 20 次时提浆效果达到最佳^[14],在实际应用中选择利用 6 个压块,5 次成型来达到工艺需求,其中压曲模所包含的压曲用压块为 5 块,非压曲用压块为 1 块,且在连杆上配备弹簧以实现压曲目的。根据试验研究,在压曲过程中曲块变形可分为 3 个阶段,一是当压曲力 < 1 000 N 时,曲料间的空气被挤出,为线性变形,二是当压曲力 > 1 000 N 且 < 5 500 N 时,曲料因剪切作用而发生断裂,为非线性变形,三是当压曲力 > 5 500 N 时,曲料颗粒发生塑性变形,为线性变形^[15-16]。可以看出第一阶段受力小,压缩量变化快,且与压制速度无关,第三阶段受力大,压缩量变化缓慢,且压缩速度越快,压缩量越小。从经济的角度考虑,选取最大压曲力为 6 000 N,此时压缩量为 48.405 mm。因此,定义整个压曲模运动行程为 $H=70$ mm,选用弹簧最大工作载荷 $F_q=6\ 000$ N,工作行程 $S_q=50$ mm,弹簧刚度 $k=120$ N·mm,压曲模质量 $m=400$ kg,并以此来设计凸轮轮廓曲线以贴合压曲力与曲料变形的关系。

根据工艺需求,为保证压曲效果,设定一个运动周期为 4 s,一个周期内 0.5 s 用于压曲模离开模盒,1 s 用于压曲模接近模盒,2.5 s 静止用于压曲模压曲,即该凸轮从动件运动规律为 0.5 s 上升,1 s 下降,2.5 s 停留,升程角 $\varphi_1=45^\circ$,回程角 $\varphi_2=90^\circ$,停留角 $\varphi_3=225^\circ$ 。在升程运动时压曲模远离曲料,此时只需保证曲线平滑,能较快达到顶点即可。因此,选择单停留修正正弦曲线作为凸轮曲线,其特点在于曲线上没有尖锐的突起部分,且终端跃度为零,曲线平滑,具有较低的 V_m 、 A_m 、 Q_m 值。无量纲化后,其特性值与位移方程如式(1)~式(5)所示^{[17]41-50}。

$$A_m = \frac{2\pi^2}{4(1-2T_1)+2\pi T_1}, \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{2A_m T_1}{\pi}, \quad (2)$$

$$S_1 = \frac{2A_m T_1}{\pi} \left(T - \frac{2T_1}{\pi} \sin \frac{\pi T}{2T_1} \right), 0 \leq T \leq T_1, \quad (3)$$

$$S_2 = \frac{4A_m (T_2 - T_1)^2}{\pi^2} \left[1 - \cos \frac{\pi(T - T_1)}{2(T_2 - T_1)} \right] + V_1 (T - T_1) + \frac{2A_m T_1^2}{\pi} \left(1 - \frac{2}{\pi} \right), T_1 \leq T \leq T_2, \quad (4)$$

$$S_3 = \frac{4A_m (1 - T_2)^2}{\pi^2} \sin \frac{\pi(T - T_2)}{2(1 - T_1)} + \frac{2A_m T_2}{\pi} \left[\frac{2(T_2 - 2T_1)}{\pi} + T_1 \right], T_2 \leq T \leq 1, \quad (5)$$

式中:

A_m ——凸轮曲线加速度最大值;

T_1 ——无量纲时间, $T_1=0.125$;

V_1 ——第一阶段凸轮曲线速度最大值;

T ——无量纲时间;

S_1 ——升程第一阶段 $0 \leq T \leq T_1$ 时凸轮的位移;

T_2 ——无量纲时间, $T_2=0.5$;

S_2 ——升程第二阶段 $T_1 \leq T \leq T_2$ 时凸轮的位移;

S_3 ——升程第三阶段 $T_2 \leq T \leq 1$ 时凸轮的位移。

组合曲线 S_1 、 S_2 、 S_3 组成凸轮升程时的位移方程。

由于回程运动时曲料变形以塑性变形为主,为保证压曲模压制曲料时其压制力与曲料压缩量很好吻合,需另行设计曲线以满足工艺需求。

2 沟槽凸轮回程轮廓曲线设计

2.1 七次多项式曲线

由于凸轮回程时不仅要考虑位移曲线、速度曲线、加速度曲线的连续性,同时还要通过凸轮曲线控制从动件压曲模快速通过空载阶段以及曲料变形第一阶段,缓慢通过曲料变形第二阶段和第三阶段,并且保证初末端跃度为 0,以提高停留精度。通常选用七次多项式以满足初末端位移、速度、加速度及跃度的约束条件,约束条件如式(6)所示。

$$\begin{cases} T=0, S=1; T=0, V=0; T=0, A=-5.215\ 4; \\ T=0, J=0 \\ T=1, S=0; T=1, V=0; T=1, A=0; T=1, J=0 \end{cases}, \quad (6)$$

式中:

T, S, V, A, J ——无量纲时间、位移、速度、加速度、跃度。

在 MATLAB 求解得出七次多项式的系数如式(7)所示。

$$A = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -2.607\ 7 \\ -4.263\ 2 \times 10^{-14} \\ -8.923\ 0 \\ 31.846\ 0 \\ -30.884\ 5 \\ 9.569\ 2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

2.2 组合曲线

由于七次多项式只能控制初末两阶段的曲线性能,若在曲线中间加入新的控制点,则需要更高次的多项式。在曲块压制过程中,空载运行行程 $s_0 = 20\ \text{mm}$,曲料第一阶段变形的压缩量 $s_1 = 26.388\ 2\ \text{mm}$,曲料第二阶段变形的压缩量 $s_2 = 21.616\ 8\ \text{mm}$,曲料第三阶段变形的压缩量 $s_3 = 1.995\ \text{mm}$,即需对进入第二、三阶段的位移进行控制,同时由于曲块压制效果由大曲表面含水率和表面提浆效果面积比两个参数决定,分别对应曲料变形第二阶段和第三阶段,且压制速度均对其有显著影响,查阅相关文献^[14-16],以大曲表面含水率均匀因子为评价目标时,最佳压制速度 $v_1 = 29.753\ \text{mm/s}$,以大曲表面提浆效果面积比为评价目标时,最佳压制速度 $v_2 = 10.972\ \text{mm/s}$,因此需控制进入第二、三阶段时分别达到对应的最佳压制速度,以提升曲块压制质量。综上所述,该凸轮曲线共有 12 个约束条件需要控制,同时,该曲线需满足位移曲线为单调减函数, $T_3 < T_4$,优化条件为最大跃度最小。将对应参数无量纲化,得约束条件如式(8)所示。

$$\begin{cases} T=0, S=1; T=0, V=0; T=0, A=-5.215\ 4; \\ T=0, J=0 \\ T=1, S=0; T=1, V=0; T=1, A=0; \\ T=1, J=0 \\ T=T_3, S=0.337\ 3; T=T_3, V=-0.425 \\ T=T_4, S=0.028\ 5; T=T_4, V=-0.157 \end{cases}, \quad (8)$$

式中:

T, S, V, A, J ——无量纲时间、位移、速度、加速度、跃度;

T_3 ——进入曲料变形第二阶段的无量纲时间;

T_4 ——进入曲料变形第三阶段的无量纲时间。

整个凸轮回程曲线可分为三段,由分段曲线描述,以高次多项式线型和傅里叶线型作为每个分段曲线的基本描述模型,除了满足约束条件式(7)外,还需满足各阶段前后位移、速度、加速度、跃度的连续性。求解过程为先根据约束条件求出首段曲线,计算出首段曲线末端点的位移、速度、加速度、跃度参数值,再根据余下的约束条件和前述所求的 4 个运动参数值求解第二段曲线,同理依次求得余下各段曲线,进行分段曲线的解耦。由于傅里叶分段的单位位移函数直接求解困难,为便于求解,取 $\omega = [0, 10]$,步长为 0.1 进行迭代,直到选出符合条件的 ω 和其余参数^[18]。其中傅里叶函数的表达式如式(9)所示。

$$S = a_0 + a_1 \cos(\omega T) + b_1 \sin(\omega T) + a_2 \cos(2\omega T) + b_2 \sin(2\omega T). \quad (9)$$

在 MATLAB 中编程求解,对 T_3, T_4 和 ω 进行迭代,以最大跃度最小为优化条件,求出最适曲线组合为五次多项式+傅里叶函数+七次多项式。最终求得满足条件的最优时间 $T_3 = 0.66, T_4 = 0.97, \omega = 9.8$,对应的系数如式(10)~式(12)所示。

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -2.607\ 7 \\ 0 \\ 1.975\ 0 \\ 0.7863 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.247\ 7 \\ 0.157\ 5 \\ -0.022\ 8 \\ -0.061\ 9 \\ -0.016\ 3 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -2.433\ 2 \times 10^{10} \\ 1.729\ 5 \times 10^{11} \\ -5.268\ 3 \times 10^{11} \\ 8.915\ 0 \times 10^{11} \\ -9.051\ 2 \times 10^{11} \\ 5.513\ 4 \times 10^{11} \\ -1.865\ 7 \times 10^{11} \\ 2.705\ 6 \times 10^{10} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

2.3 十一次多项式曲线

针对式(8)所述的 12 个约束条件,可选用十一次多项式运动规律以满足条件,在 MATLAB 中取 $T = [0, 1]$ 以 0.01 为一步长对无量纲时间 T 进行迭代,求得满足条件的最优时间 $T_3 = 0.39, T_4 = 0.76$ 。即写出十一次多项式曲线系数如式(13)所示。

$$A = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -2.607\ 7 \\ -6.196\ 7 \times 10^{-10} \\ -1\ 160.305\ 8 \\ 10\ 103.990\ 0 \\ -37\ 606.221\ 7 \\ 77\ 328.614\ 4 \\ -94\ 667.290\ 6 \\ 68\ 937.851\ 5 \\ -27\ 646.510\ 4 \\ 4\ 711.480\ 3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

2.4 3 种曲线对比

由于组合曲线第三阶段的七次多项式加速度及跃度过大,为方便图像对比,将组合曲线第三阶段七次多项式的加速度和跃度图像省去,即省略 $T=0.97$ 之后的曲线。在 MATLAB 中绘制出 3 种曲线的位移、速度、加速度、跃度与时间的对比关系如图 1 所示。

从图 1 可以看出,七次多项式曲线位移曲线最为舒缓,速度、加速度、跃度均没有较大波动,但是不能确保进入曲料变化第二阶段和第三阶段的时间和速度,对压曲效果有一定影响。组合曲线在曲料变形第一阶段停留时间过长,曲料变形第三阶段停留时间过短,且加速度及跃度曲线具有较大波动。可以看出当曲线中存在不确定的控制点,即存在多个变量时选用组合曲线的效果不一定好。因此,选用十一次多项式曲线作为凸轮轮廓曲线,以

保证达到最优的压曲效果。

2.5 沟槽凸轮机构三维模型建立

升程时由于使推杆运动的力主要来自弹簧释放的弹性力,不存在自锁的问题,根据相关设计手册,该升程阶段可取许用压力角 $[\varphi]=70^\circ$,因此只针对回程段进行分析,取许用压力角 $[\varphi]=30^\circ$,根据式(14)计算基圆半径。

$$r_0 = \frac{H}{\theta_h \tan[\varphi]} \frac{dS_4}{dT} - HS_4, \quad (14)$$

式中:

r_0 ——基圆半径,mm;

H ——运动行程, $H=70$ mm;

T ——无量纲时间, $0 \leq T \leq 1$;

θ_h ——分度角,升程时 $\theta_h = \frac{\pi}{4}$,回程时 $\theta_h = \frac{\pi}{2}$;

S_4 ——凸轮回程位移方程, $0 \leq S_4 \leq 1$ 。

经计算,得最大基圆半径 $r_0 = 199$ mm,其压力角变化如图 2 所示,其升程最大压力角为 32.77° ,回程最大压力角为 30° ,满足设计要求。

联立式(3)、式(4)、式(5)和式(8),并补上停留段运动曲线,在极坐标绘制凸轮轮廓曲线如图 3 所示。

将图 3 中的基圆半径 $r_0 = 199$ mm 的相关坐标数据导入到 SolidWorks 中生成凸轮轮廓线,根据文献 [17]²⁵³⁻²⁵⁶,定义滚子直径 $d = 40$ mm,滚子厚度 $b = 20$ mm,中心孔直径 $D = 100$ mm,绘制出沟槽凸轮三维图如图 4 所示。

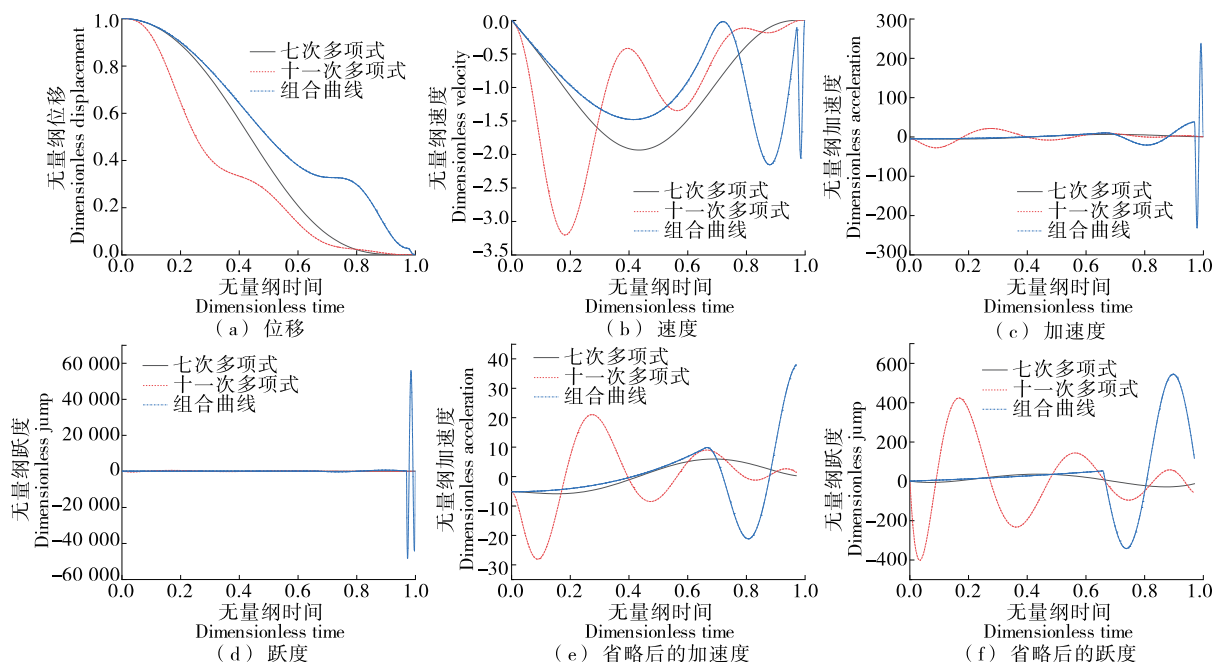


图 1 3 种曲线位移、速度、加速度、跃度对比曲线图

Figure 1 Comparison curves of three kinds of curves (displacement, speed, acceleration and jump)

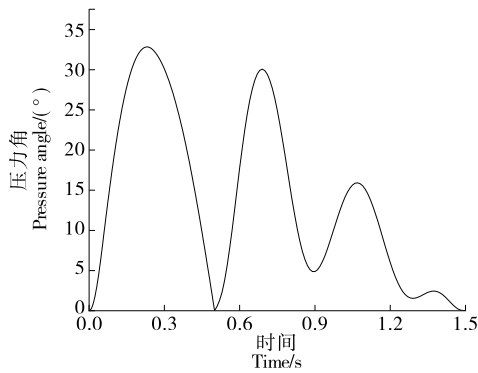


图2 凸轮压力角变化图

Figure 2 Variation of cam pressure angle

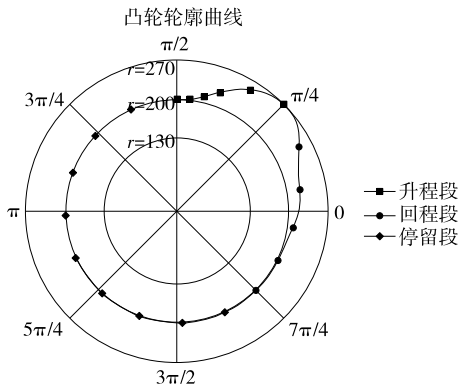


图3 凸轮轮廓曲线图

Figure 3 Cam contour curve

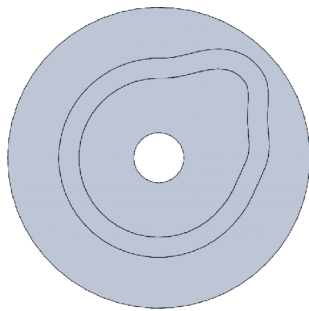


图4 沟槽凸轮三维图

Figure 4 Three dimensional drawing of grooved cam

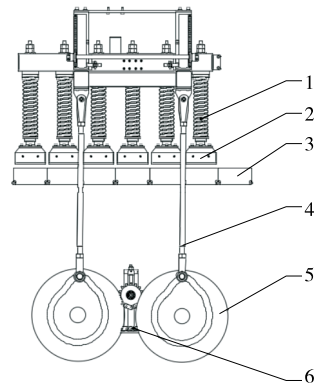
最后与压曲模进行装配,形成沟槽凸轮机构装配体,其外形结构示意图如图5所示。

3 结果对比

3.1 数值对比

原先压曲机选用曲柄连杆机构控制压曲模运动,存在工作时间过短,导致压曲效果不佳的问题,其位移计算公式如式(15)所示,曲块所受压力计算公式如式(16)所示。

$$s = \frac{H}{2} - \frac{H}{2} \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right), \quad (15)$$



1. 压曲弹簧 2. 压曲模 3. 模盒 4. 连杆 5. 沟槽凸轮
6. 链条

图5 压曲模、模盒及沟槽凸轮机构外形结构图

Figure 5 Outline structure of JIUQU starter press die, die box and groove cam mechanism

$$F = kx, \quad (16)$$

式中:

s ——压曲模位移,mm;

H ——运动行程, $H=70$ mm;

t ——运动时间,s;

F ——曲块所受压力,N;

x ——弹簧压缩量,mm。

由于曲块受压变形为塑性变形,因此可视为升程段曲块不受压曲模的压力,以压曲模位于行程最大值为起点,在 MATLAB 中绘制出使用曲柄轮与沟槽凸轮这两种机构时曲块所受压力的对比图如图6所示。

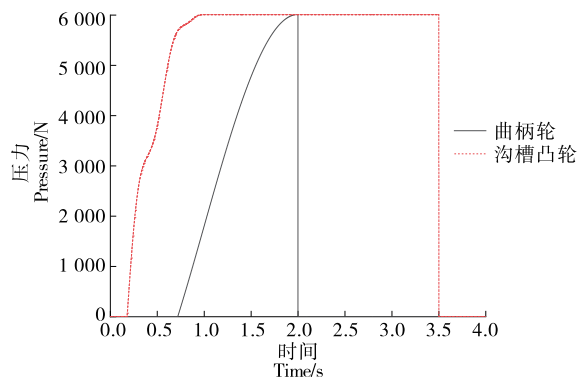


图6 曲块压力变化图

Figure 6 Pressure change diagram of JIUQU starter block

由于曲块受压变形分为3个阶段,因此对每个阶段曲柄轮及沟槽凸轮的运动时间进行对比,结果如表1所示。

试验发现,在曲块受压变形过程中,只有第二阶段和第三阶段会出现曲料的剪切变形和塑性变形,因此定义空载和第一阶段为非工作阶段,第二阶段和第三阶段为

表 1 各阶段曲柄轮及沟槽凸轮运动时间对比表

Table 1 Comparison of crank wheel and groove cam movement time at each stage

阶段	曲柄轮运动时间/s	沟槽凸轮运动时间/s
空载 ($F=0$ N)	2.718	0.678
第一阶段 ($0\text{ N}<F\leq 1\ 000\text{ N}$)	0.160	0.039
第二阶段 ($1\ 000\text{ N}<F\leq 5\ 500\text{ N}$)	0.808	0.459
第三阶段 ($5\ 500\text{ N}<F\leq 6\ 000\text{ N}$)	0.314	2.824

工作阶段。曲柄轮非工作阶段运动时间为 2.878 s, 沟槽凸轮非工作阶段运动时间为 0.717 s, 相比于曲柄轮减少了 75.09%。曲柄轮工作阶段运动时间为 1.122 s, 沟槽凸轮工作阶段运动时间为 3.283 s, 相比于曲柄轮提高了 192.60%。可以看出相比于曲柄轮机构, 沟槽凸轮机构显著减少了非工作阶段运动时间并提高了工作阶段运动时间, 可以起到提升曲块成型质量的作用, 很好地满足了工艺要求。

3.2 现场对比

该压曲机生产后应用于稻花香酒厂压制中高温曲块, 曲块要求规格为 300 mm×200 mm×110 mm, 压曲机改进前所压制的曲块厚度过厚, 且有掉渣现象, 无法满足工艺要求, 改进后所压制的曲块厚度均匀, 无掉渣现象, 经酒厂制曲工艺师鉴定, 其厚度, 紧实程度均符合工艺要求, 表明改进后有效提升了曲块成型的质量。

4 结论

(1) 本试验以机械冲压式压曲机为研究对象, 对其传动机构进行优化, 根据输出力特性曲线反求凸轮轮廓曲线曲线, 设计出一种沟槽凸轮机构, 对于需要控制中间点运动特性的凸轮曲线来说, 选用高次多项式可以更好地满足设计要求, 因此回程曲线选用十一次多项式曲线。

(2) 相比于原先机械冲压式压曲机所采用的曲柄连杆机构, 选用沟槽凸轮机构可以减少 75.09% 的非工作阶段运动时间, 增加 192.60% 的工作阶段运动时间, 显著减少了非工作阶段运动时间并提高了工作阶段运动时间, 更好地控制每一阶段的压曲效果, 达到提升压曲质量的目的。

(3) 设计凸轮曲线时未考虑压制过程的振动对传动机构的影响, 因此后续将结合生产实际, 考虑振动对压曲机传动机构的影响并进行进一步研究。

参考文献

[1] 郭世鑫, 姚孟琦, 马文瑞, 等. 酱香型白酒的研究现状[J]. 中国酿造, 2021, 40(11): 1-6.

GUO S X, YAO M Q, MA W R, et al. Research status of sauce-flavor Baijiu[J]. China Brewing, 2021, 40(11): 1-6.

[2] 付捷, 王瑛. 我国酒厂制曲压块的现状与发展方向[J]. 包装与食品机械, 2005, 23(5): 29-30.

FU J, WANG Y. Present situation and developments of making and pressing rhizopus brick's machine in domestic wine plants [J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(5): 29-30.

[3] 左乾程, 黄永光, 郭敏, 等. 酱香型白酒机械化制曲发酵细菌群落的演替[J]. 食品科学, 2021, 42(18): 150-156.

ZUO Q C, HUANG Y G, GUO M, et al. Succession of bacterial community during mechanized fermentation of Maotai-flavor Daqu [J]. Food Science, 2021, 42(18): 150-156.

[4] 钱冲, 廖永红, 张弦, 等. 白酒生产机械自动化技术应用进展[J]. 中国酿造, 2013, 32(12): 5-8.

QIAN C, LIAO Y H, ZHANG X, et al. Application progress of mechanical automation liquor-production technologies [J]. China Brewing, 2013, 32(12): 5-8.

[5] 焦寿源, 王志. 一种压曲机: CN202021372354.6[P]. 2021-05-18.

JIAO S Y, WANG Z. A JIUQU starter press: CN202021372354.6[P]. 2021-05-18.

[6] 吴兴华, 刘文静, 王洋, 等. 一种具有曲盒清理装置的压曲机: CN202121129433.9[P]. 2021-12-17.

WU X H, LIU W J, WANG Y, et al. A JIUQU starter press with a die box cleaning device: CN202121129433.9[P]. 2021-12-17.

[7] 王瑛, 付捷, 罗钢. 酒厂转盘式多工位曲块压制机的设计[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(6): 29-31.

WANG Y, FU J, LUO G. Design of rotating plate type starter block pressing machine with multi-station in distillery[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(6): 29-31.

[8] SANMIGUEL-ROJAS E, HIDALGO-MARTÍNEZ M. Cam mechanisms based on a double roller translating follower of negative radius [J]. Mechanism and Machine Theory, 2016, 95: 93-101.

[9] XIA B Z, LIU X C, SHANG X, et al. Improving cam profile design optimization based on classical splines and dynamic model [J]. Journal of Central South University, 2017, 24(8): 1 817-1 825.

[10] YU J W, HUANG K F, LUO H, et al. Manipulate optimal high-order motion parameters to construct high-speed cam curve with optimized dynamic performance [J]. Applied Mathematics & Computation, 2020, 371: 1-13.

[11] 赵漫漫, 吴佳, 何雪明, 等. 高速凸轮变系数多项式凸轮曲线的研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 98-102.

ZHAO M M, WU J, HE X M, et al. Research on the polynomial cam curve of variable coefficient of high-speed cam[J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 98-102.

[12] 罗康, 何雪明, 吴佳, 等. NURBS 柔性弧面凸轮曲线设计与优化[J]. 机械科学与技术, 2021, 40(10): 1 497-1 502.

LUO K, HE X M, WU J, et al. Designing and optimizing NURBS flexible cambered CAM curve [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2021, 40(10): 1 497-1 502.

(下转第 88 页)

参考文献

- [1] 王力荣. 我国桃产业现状与发展建议[J]. 中国果树, 2021(10): 1-5.
- WANG L R. Current situation and development suggestions of peach industry in China[J]. China Fruits, 2021(10): 1-5.
- [2] 邓金龙. 我国核桃生产现状及发展策略[J]. 林产工业, 2016, 43(10): 56-58.
- DENG J L. Current situation and development strategy of walnut industry in China[J]. China Forest Products Industry, 2016, 43(10): 56-58.
- [3] 刘明政, 李长河, 曹成茂, 等. 核桃分级破壳取仁及壳仁分离关键技术及装置研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 294-310.
- LIU M Z, LI C H, CAO C M, et al. Research progress of key technology and device for size-grading shell-breaking and shell-kernel separation of walnut[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(20): 294-310.
- [4] 马佳乐, 唐玉荣, 张永成, 等. 坚果壳仁分离的研究现状与分析[J]. 农机化研究, 2021, 43(2): 263-268.
- MA J L, TANG Y R, ZHANG Y C, et al. Research status and analysis of nut shell and kernel separation [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(2): 263-268.
- [5] 刘佳, 沈晓贺, 杨莉玲, 等. 核桃破壳技术与装备研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 223-227, 232.
- LIU J, SHEN X H, YANG L L, et al. Research progress of walnut hulling technology and equipment[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 223-227, 232.
- [6] 董远德, 张学军, 史建新. 核桃壳仁风选机的设计与试验研究[J]. 农业机械, 2012(24): 156-158.
- DONG Y D, ZHANG X J, SHI J X. Design and experimental study of walnut shell kernel wind separator[J]. Farm Machinery, 2012(24): 156-158.
- [7] 牛浩. 核桃壳仁分离装置设计及试验研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020: 1-10.
- NIU H. Experimental study and design of separation device of walnut shell and kernel[D]. Aral: Tarim University, 2020: 1-10.
- [8] 李忠新, 杨军, 杨莉玲, 等. 核桃破壳、壳仁分离生产线的研发[J]. 新疆农机化, 2010(4): 16-17.
- LI Z X, YANG J, YANG L L, et al. Research and development of walnut shell breaking and shell kernel separation production line[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2010(4): 16-17.
- [9] 朱占江, 康敏, 刘奎, 等. 核桃壳仁混合物料气流分离系统的试验研究[J]. 中国油脂, 2022, 47(3): 137-142.
- ZHU Z J, KANG M, LIU K, et al. Experimental study on airflow separation system of walnut shell and kernel mixed materials[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(3): 137-142.
- [10] 陈旭东, 胡国玉, 赵腾飞, 等. 基于 CFD-DEM 耦合的核桃壳仁混合物负压风选仿真研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(6): 1 017-1 027.
- CHEN X D, HU G Y, ZHAO T F, et al. Simulation study on negative pressure winnowing of walnut kernel mixture based on CFD-DEM coupling [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 52(6): 1 017-1 027.
- [11] 张德高, 谢焕雄, 胡志超, 等. 花生色选机工作参数优化与试验[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 218-222.
- ZHANG D G, XIE H X, HU Z C, et al. Peanut color sorter working parameter optimization and test[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(18): 218-222.
- (上接第 82 页)
- [13] 王虹艳, 李永康, 廉自生, 等. 基于凸轮曲线的阀配流柱塞泵输出特性分析[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(2): 32-37.
- WANG H Y, LI Y K, LIAN Z S, et al. Analysis of output characteristics of valve-distribution piston pump based on cam curve [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 50(2): 32-37.
- [14] 高剑, 田建平, 王开铸, 等. 多工位压曲机压制大曲成型工艺优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 172-179.
- GAO J, TIAN J P, WANG K Z, et al. Optimization of molding process of Daqu's multi position press[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 172-179.
- [15] 顾强, 田建平, 杨海粟, 等. 多工位柔性压曲机锤头设计与压曲过程仿真分析[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 246-250.
- GU Q, TIAN J P, YANG H L, et al. Multi-station flexible bending press hammer design and simulation analysis of buckling process [J]. The Food Industry, 2018, 39(7): 246-250.
- [16] 顾强, 田建平, 黄丹, 等. 回转式多工位压曲机设计参数的研究[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 211-215.
- GU Q, TIAN J P, HUANG D, et al. Study on design parameters of rotary multi position press[J]. The Food Industry, 2019, 40(2): 211-215.
- [17] 刘昌祺, 刘庆立, 蔡昌蔚. 自动机械凸轮机构实用设计手册[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- LIU C Q, LIU Q L, CAI C W. Practical design manual of automatic mechanical cam mechanism [M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [18] 王鹏, 赵永杰, 禹潇钰, 等. 金属桶生产线中凸轮运动规律曲线的优化设计[J/OL]. 计算机集成制造系统. (2022-06-21) [2022-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20220620.1755.004.html>.
- WANG P, ZHAO Y J, YU X Y, et al. Optimal design of the cam motion curves in metal bucket production line[J/OL]. Computer Integrated Manufacturing Systems. (2022-06-21) [2022-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20220620.1755.004.html>.