

# 白酒大曲多点柔性制曲机设计及其结构优化

## Design and structure optimization of the multi-spots starter-pressing machine of Daqu in Chinese spirits

谢亮亮<sup>1</sup>

田建平<sup>1,2</sup>

杨海栗<sup>1,2</sup>

张良栋<sup>1,2</sup>

孟思栋<sup>1</sup>

XIE Liang-liang<sup>1</sup> TIAN Jian-ping<sup>1,2</sup> YANG Hai-li<sup>1,2</sup> ZHANG Liang-dong<sup>1,2</sup> MENG Si-dong<sup>1</sup>

(1. 四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000;

2. 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川 自贡 643000)

(1. Sichuan University of Science & Engineering, Zigong, Sichuan 643000, China; 2. Liquor Making Biological Technology and Application of Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong, Sichuan 643000, China)

**摘要:**针对现有白酒制曲机结构单一及力度可控性差, 曲块整体松紧程度不一致, 而导致提浆以及酒品不能达到人工踩曲效果的问题, 设计一种新型多点多次柔性可控制曲机, 多个锤头进行不同的组合实现多次多点、柔性揉挤剪切曲块, 能较好地模拟人工踩曲, 可压制出内外松紧适中、匀称的曲块。采用 Workbench 有限元软件对制曲机关键部件支撑板进行静态力学分析, 利用 Design Explorer 对其参数变量进行多目标优化设计, 使得支撑板质量在原设计的基础上减小了 24.6%。通过对其主要零部件的优化设计, 制曲机在满足曲块工艺参数的条件下, 整机重量在原设计方案下减重明显, 整机结构更紧凑, 综合性能得到提高。

**关键词:** 多点柔性制曲机; 有限元; 支撑板; 优化设计

**Abstract:** Considering the paste and wine can not meet the effect of the artificial bending due to the single structure and poor controllability of the existing Daqu liquor knee-piece bending press machine, which result in the discordance of the Daqu overall tightness. A new multiple-points flexible controlled bending press machine was designed. A multitude of hammers in different combinations repeatedly and multiple-points with flexibility crowded and sheared the block, which simulated the artificial start-pressing and block-making, so that better effect of the block with moderateness and uniformity could be achieved. The key component of which supporting plate structure was optimized and analyzed the static characteristics by u-

**基金项目:** 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室重点项目(编号: NJ2014-04); 泸州老窖科研奖学金重点项目(编号: 15ljzk03); 四川理工学院研究生创新基金项目(编号: y2015001)

**作者简介:** 谢亮亮, 男, 四川理工学院在读硕士研究生。

**通讯作者:** 田建平(1965—), 男, 四川理工学院教授, 研究生导师。

E-mail: tjp893@126.com

**收稿日期:** 2015-11-03

sing the Workbench finite element software, using the Design Explorer optimization module variable parameters of the multi-objective optimization, the mass of the supporting plate was reduced 24.6%. Through the optimization design of the main components, under the condition of meet the curved piece of process parameters, the weight of the whole machine lost significantly compared to the original designed scheme, as well as a more compact structure and better comprehensive performance of the machine was achieved.

**Keywords:** multiple-points flexible starter-pressing machine; finite element; supporting plate; optimizing design

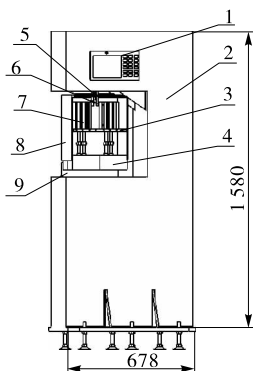
在酿酒行业中, 曲块的制作质量对酒的品质有着重要影响<sup>[1]</sup>。长期以来, 中国酿酒行业中曲块的制作一直沿用传统的人工踩曲方法。目前, 大多数酒厂开始逐步使用曲块压制设备, 主要有机械冲压式制曲机、液压式冲击机和气动冲击机等<sup>[2]</sup>。现有制曲机在压制曲料过程中压曲形式过于单一及力度不可调控性, 虽在很大程度上提升了机械自动化水平, 但制得的曲块整体松紧不一致, 导致提浆以及酒的品质不能达到人工踩曲效果。现有制曲机压制曲块时多是一次成型, 不能有效控制曲块密度, 以致一些企业采用增加压制次数或延长压制时间的方法提高曲块质量<sup>[3]</sup>。张静等<sup>[4-5]</sup>对以往单调的采压、传动及控制方式作了进一步改进, 研制了一套由机电液复合传动的多点踩压成型压曲机, 但曲块受力针对性、连续性及均匀性等问题没有得到较好地解决。基于上述问题, 本研究拟设计一套多点多次柔性可控的制曲设备, 通过对曲块压制力大小的实时采集与反馈, 经相关软件处理有针对性地对曲块进行定点定位压制, 较为真实地模拟人工踩曲以制得提浆效果较好的曲块, 进而适应现有白酒制曲的需要。

在对制曲机的基本结构、工作机理进行分析的基础上,

重点研究了关键部件支撑板的仿真分析及其优化方法<sup>[6-8]</sup>。通过对主要零部件的分析旨在确保制曲机的整机性能满足工况要求。

## 1 多点多次柔性压曲装置基本结构及工作机理

该柔性制曲机由机架、PLC控制系统、气压系统、下压机构、外推曲块机构及清洗系统组成。结构见图1。



1. 控制面板 2. 机架 3. 压曲支撑板 4. 柔性锤头 5. 气缸  
6. 导向杆 7. 气缸 8. 外罩 9. 外推曲块机构

图1 多点多次柔性压曲装置结构示意图

Figure 1 The structure diagram of the more flexible starter-pressing device

制曲机由气缸5带动下压机构(气缸、锤头、支撑板及外罩)整体向下移动至曲料上方20~40 mm处,下压气缸7分别驱动各自锤头向下运动压制曲料。该下压机构共有4个带有缓冲装置的锤头,属于不同组别,由PLC编程控制驱动不同锤头组合的上下运动,分别拍打压制曲料,各组在工作时互不干涉。在压制过程中,安装在锤头下方的压力传感器实时对压制力的数据进行采集并反馈到控制系统中,经分析处理实现对锤头压制力大小的调节。带有缓冲装置的锤头在上下拍打曲料时储存、释放能量,使得曲料在被压制期间的受力更有连续性、均匀性,以期最大限度地模拟人工踩曲过程,进而提高曲块质量。同时,曲盒正下方的气缸不时向上顶制曲料,曲块整体密实度均匀。曲块压制合格后,各个锤头上升使其下端处于同一平面上,然后共同向下移动作最后压制,最终得到成型的曲块。再由气缸5带动下压机构整体上升至初始位置,完成一个压制曲块成型全过程。曲盒正下方的气缸向上整体推出压制合格的曲块,由气缸及推板组成的外推曲块机构9推出曲块至水平传送带上,完成曲块推出并清洗曲盒。

该白酒曲块制曲机具备一种由PLC系统控制的带有缓冲装置及压力传感器的锤头。通过压力传感器对各锤头压力信号采集与控制,系统可准确地调节与控制压制力曲线。通过对主要零部件的有限元仿真分析,减小了设备占用空间。该制曲机设计紧凑,可在一个工位上同时实现制曲过程的多工序要求,采用全气压传动方式,可保证曲块生产的安全性要求。

## 2 支撑板的建模及静态应力仿真分析

该制曲机机械部分主要由下压机构、外推曲块机构及清

洗机构组成,其中由气缸、锤头及支撑板组成的下压机构是该制曲机装置的重要组成部分。选择对下压机构中的关键部件支撑板进行优化设计:

(1) 在曲块压制过程中,支撑板直接承受气缸与锤头的重量以及曲料对锤头的反作用力。

(2) 各锤头机构之间在上下运动时有着较精密的配合关系,支撑板的受力及变形会直接影响到整个压曲装置的工作性能。

(3) 在压制曲料时,4个锤头的外侧表面与曲盒内表面之间为间隙配合。由于下压机构在上下运动时有一定的惯性,即使有导向装置引导下压机构的运动方向,但仍会发生轻微晃动。为防止二者相互干涉,需要对下压机构整体的质量进行控制。

由于支撑板在下压机构中的比重较大,所以有必要对其进行优化设计,使其在满足工况的同时减小下压机构的质量,降低制造成本<sup>[9-10]</sup>。本研究用有限元法对加筋结构的支撑板进行力学分析并优化其结构。

### 2.1 建立支撑板有限元模型

定义支撑板材料属性,考虑到耐腐蚀性及轻质性,该构件采用铝合金材料制成。初始设计板厚为1.5 mm,加强筋高度和宽度均为2 mm。弹性模量为0.71 GPa,泊松比为0.33,屈服强度为187 MPa。

运用Workbench软件中的DM模块对支撑板参数化建立三维模型并进行网格划分,共有40 651个节点及19 855个单元构成,见图2、3。

### 2.2 支撑板静态应力分析

分析可知,支撑板直接承受气缸与锤头的重量以及曲料对锤头的反作用力,二者力的差值大小分布到支撑板上各个螺纹孔上。按照工人自身重量70 kg,单脚面积120 cm<sup>2</sup>计算

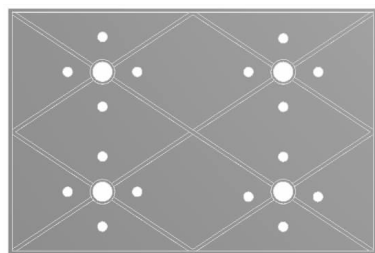


图2 压曲支撑板结构示意图

Figure 2 Starter-pressing supporting plate structure diagram

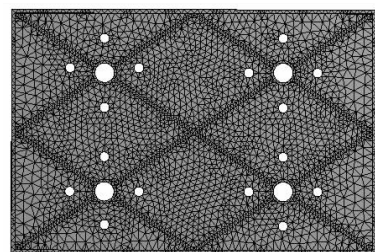


图3 支撑板网格划分效果图

Figure 3 Starter-pressing supporting plate grid diagram

曲块所受压制力。连接锤头的气缸进气压力为 0.6 MPa,缸径为 40 mm。经计算可知与气缸相连的每个螺纹孔施加 185.75 N 的力,对侧壁各螺纹孔施加固定约束,对支撑板的变形及应力求解,结果见图 4、5。

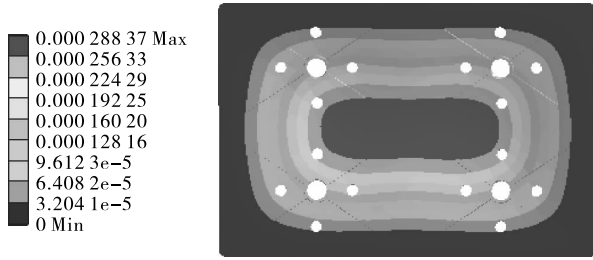


图 4 位移变形云图

Figure 4 Displacement deformation nephogram

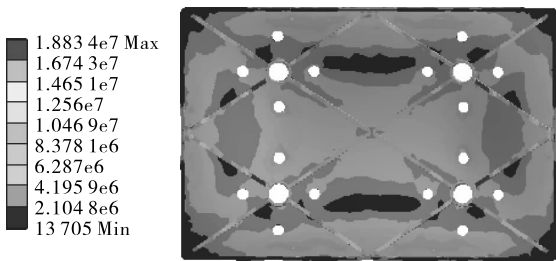


图 5 等效应力云图

Figure 5 Equivalent stress nephogram

由图 4、5 可知,支撑板最大变形为 0.29 mm,小于 1 mm,整体变形量不大,最大应力发生在支撑气缸位置处,为 18.8 MPa,其值远小于材料 120 MPa 的许用应力值。由此可得出,该支撑板结构形式满足设计要求,但有较多的强度盈余,具有一定的优化空间。考虑到各设计变量对支撑板性能影响的大小,在此以板厚、筋高及筋宽为主要设计变量,以控制 Z 向变形及最大应力在合理范围内为原则对支撑板结构参数进行优化,以期最大限度减小质量。

### 3 多目标优化求解

#### 3.1 设计变量的选取

本研究运用 Workbench 中的多目标遗传优化算法对支撑板优化求解<sup>[11-12]</sup>。首先建立由设计变量、约束条件及目标函数组成的优化数学模型,然后定义支撑板厚度  $ds\_banh$  及加强筋高度  $ds\_e16jinh$  和宽度  $ds\_e16jink$  为优化变量参数,刚度及强度作为约束条件,其质量作为目标函数,运用 Design Explorer 优化模块对变量参数进行多目标优化设计,所选参数及其变化范围见表 1。

表 1 支撑板优化设计变量参数设置

Table 1 The variable parameter settings of the support plate optimization designed

名称	参数	初始值/mm	变化范围/mm
支撑板厚	$ds\_banh$	1.5	0.5~3.0
筋高	$ds\_e16jinh$	2.0	0.5~3.0
筋宽	$ds\_e16jink$	2.0	0.5~3.0

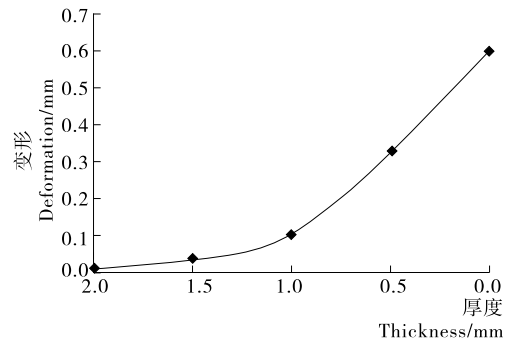
#### 3.2 优化结果分析

基于生成的响应面,进行多目标遗传算法的优化分析,得出 1 组 Parteo 最优解,在优化结果中提出有代表性的 4 个方案数据进行比较分析,见表 2。

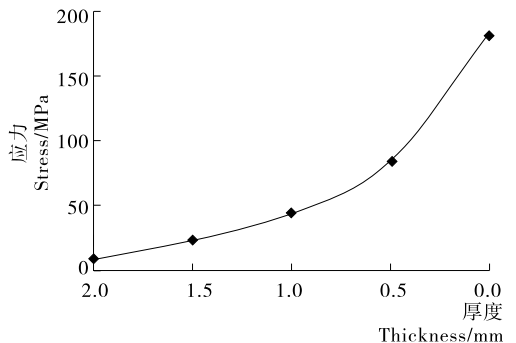
由优化结果数据分析知:方案 2、4 组与优化前的目标参数相比,没有达到优化效果,因此略去这两组数据。方案 1、3 两组目标参数响应分析结果分别见图 6、7。

表 2 优化结果  
Table 2 Optimization results

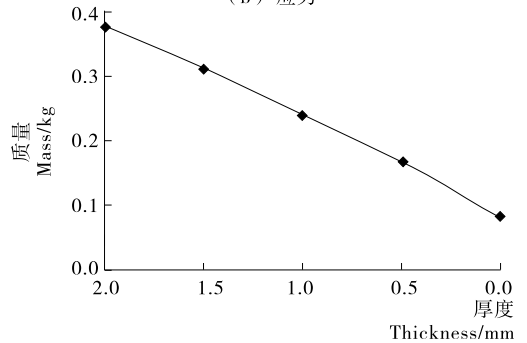
组别	$ds\_banh$	$ds\_e16jinh$	应力/ MPa	变形量/ mm	质量/ kg
优化前	1.50	2.00	18.83	0.29	0.341
1	1.05	0.80	40.07	0.80	0.257
2	2.00	0.80	15.53	0.07	0.402
3	1.05	0.88	39.59	0.79	0.258
4	2.00	0.72	15.53	0.06	0.402



(a) 变形



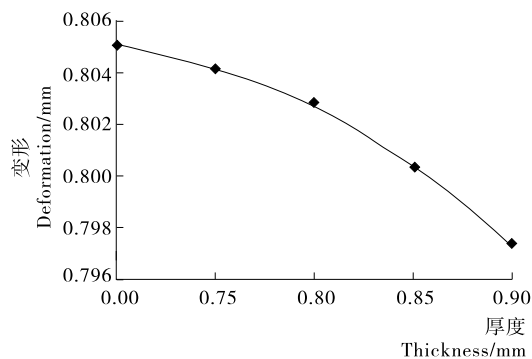
(b) 应力



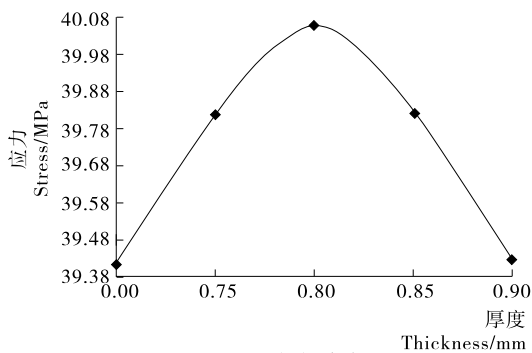
(c) 质量

图 6  $ds\_banh$  不变, $ds\_e16jinh$  变化对横板变形、应力、质量的影响

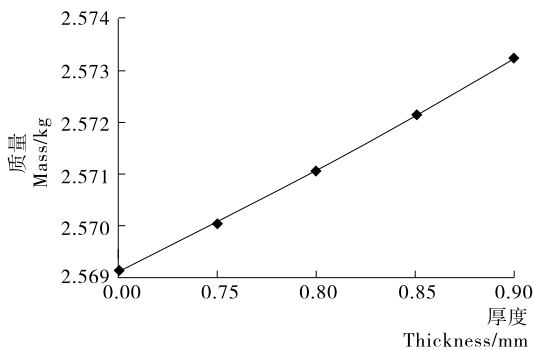
Figure 6  $ds\_banh$  unchanged, the response of the deformation, stress and quality by the  $ds\_e16jinh$  changed



(a) 变形



(b) 应力



(c) 质量

图7 ds\_e16jinh 不变, ds\_banh 变化对横板变形、应力、质量的影响

Figure 7 ds\_e16jinh unchanged, the response of the deformation, stress and quality by the ds\_banh changed

由图6可知,在支撑板厚度不变的情况下,加强筋高度及宽度与支撑板所受的应力及变形之间呈非线性的单调递增关系,而与支撑板的质量呈线性的单调递增关系。由图7可知,在加强筋高度和宽度不变的情况下,支撑板所受应力在板厚为0.8 mm时达到最大,支撑板的变形在允许范围内,且质量最小,说明此时材料利用率最高,满足设计要求,因此方案1优化结果为最优解。最大应力小于180 MPa,最大变形小于0.1 mm,支撑板质量减少了24.6%。

#### 4 结语

研发的制曲机主要由机架、PLC控制系统、气压系统、下压机构、外推曲块机构及清洗系统6部分组成。该制曲机具

有多点多次异步柔性压力可控等特性,不同组合的柔性锤头挤压糝制曲料,能较好地模拟人工踩曲,可压制出内外松紧适中的曲块,进而有益于提浆量。运用Workbench有限元软件对其下压机构中关键部件,如支撑板等进行静态力学仿真分析,利用Design Explorer优化模块对其参数变量进行了优化。对比优化前后结果分析可知,整机质量减小,结构更紧凑,综合性能得到提高。本研究可为制曲机等酿酒设备的研发、实现酿酒机械化自动化提供较好的解决途径,具有一定的工程实用价值。

#### 参考文献

- [1] 付捷,王瑛,罗钢.一种新型酒厂制曲压块机[J].包装与食品机械,2006,24(4):46-47.
- [2] 徐军,卢祖涛,赵之华,等.浓香型白酒酿造机械化设备的研究与实践[J].酿酒科技,2015(4):5-7.
- [3] 付捷,王瑛.我国酒厂制曲压块机的现状与发展方向[J].包装与食品机械,2005,23(5):29-30.
- [4] 张静,寇子明.基于SolidWorks2007的多点采压成型压曲机的设计[J].酿酒科技,2009(4):49-51.
- [5] 张静.多点踩压压曲机设计及其关键结构件仿真研究[D].太原:太原理工大学,2009:13-33.
- [6] 刘海丰.饮料灌装用冲瓶机的标准化设计[J].食品与机械,2014,30(3):57-59.
- [7] 安宁,寇子明.液压旋转压曲制块机关键元件的仿真分析[J].酿酒科技,2011(12):85-87.
- [8] 李瑞.汾酒用曲块制作机理及其关键技术研究[D].太原:太原理工大学,2011:12-14.
- [9] 蓝永庭,陈渊,张焕,等.带加强箍糖用离心机转鼓强度分析及优化设计[J].食品与机械,2014,30(3):76-78.
- [10] 杨楠.基于HyperWorks的箱型悬臂梁减重设计与分析[J].食品与机械,2014,30(6):95-97.
- [11] 江玮,郁鼎文,冯平法.加筋板结构静态性能分析及优化设计[J].机械设计与制造,2008(2):4-6.
- [12] 董达善,魏红梅.基于ANSYS Workbench均匀受压支板加筋的优化布置[J].长江大学学报:自然科学版,2010,7(1):96-99.