

转筒式柿饼揉捏机的设计与分析

姜道年¹ 李元瑞² 刁贵清¹

(1 西北农业大学机械与电子工程学院, 2 食品科学系, 陕西杨陵 712100)

摘要 通过对自行设计的转筒式揉捏机有关的计算和试验研究, 结果表明: 揉捏机转筒直径 550 mm, 长 1 500 mm, 筒内配置 6 个高度可调的挡板, 对应于 40~60 mm 范围的不同直径的柿果, 转筒分别选用 30~45 r/min 中一个合适的转速时, 可实现对柿果的机械揉捏, 且有良好的工艺效果。

关键词 加工机械, 转筒, 柿饼, 揉捏, 揉捏机

中图分类号 TS225.35

长期以来, 柿饼的制作主要靠手工操作和自然晾晒, 生产周期长且易污染, 遇到阴雨天, 更易霉变腐烂, 成品率低, 优质品率更低。近年来, 已经研制出柿饼制作过程中所需要的削皮机、烘干机等加工设备和分段烘干的工艺规范, 但柿饼加工的揉捏工序仍为手工作业, 费时费工且不卫生, 严重制约了柿饼加工技术的进步和产品质量的进一步提高。对柿饼加工揉捏机械化问题, 林 节男^[1]曾进行过模拟研究, 此外尚未见其他正式报道。为此, 作者参考国内外有关柿饼加工工艺技术^[2,3], 通过研究分析, 认为柿果多次从一定高度自由跌落时受到的冲击作用使果肉发生流变可达到揉捏效果, 在此基础上自行设计了转筒式柿饼揉捏机并进行了有关的计算和试验, 取得了初步的效果。

1 柿饼加工中揉捏工艺作用及要求

我国传统柿饼加工最优方法可以概括为“三晾、三捏、三捂”, 也就是柿子去皮后经 3 次自然晾晒(可用人工烘干法代替), 3 次揉捏, 3 次堆捂发汗出霜。柿子去皮后晾晒干燥的过程是物料内水分向外扩散迁移和物料表面游离水蒸发的过程。一般情况下, 物料内部水分扩散的速度低于其表层水分蒸发的速度。所以, 去皮柿果干燥时将形成硬壳状的二次表皮。柿果在合理的烘干条件下配以及时、恰当的揉捏, 使果肉在揉捏中发生流变, 促使其内部水分向外扩散, 从而加速柿果的干燥, 避免其表面形成硬壳, 揉捏还使柿果内纤维变短, 果肉混合均匀, 促使柿果软化, 制成的柿饼食用时不会感到干硬, 而有柔韧的良好口感; 由于揉捏使柿果水分均匀、快速地从其表面蒸发, 因而在柿饼表面凝聚出柿霜(葡萄糖、果糖和甘露醇), 量多且分布均匀; 同时, 因柿果均匀干燥, 果肉组织内糖沉淀均匀, 使柿饼有良好的糖色^[3]。

鉴于揉捏在柿饼加工中的重要作用, 所以, 配合目前的人工烘干柿饼需求, 应能在柿饼烘制的各个阶段及时实施揉捏。柿饼加工过程中的揉捏实质就是对柿果施以交变压力, 果肉在交变压应力作用下被挤压流变的过程。为了保证柿饼的质量和良好外观, 揉捏操作

要均匀,避免表面损伤。这一加工过程完全可以用机械施压来完成。

2 转筒式柿饼揉捏的设计

2.1 转筒式柿饼揉捏机的工作原理

转筒式柿饼揉捏机由内带档板的转筒、机架、入料斗和传动机构组成,其结构如图 1 所示。其工作原理是:柿果放在以一定速度旋转的转筒内,由于离心力和筒内档板的括带作用,柿果随旋转的转筒一起运动,当上升到一定高度时,柿果从档板上被抛出,随后自由下落的柿果以一定速度冲击转筒内壁,产生的

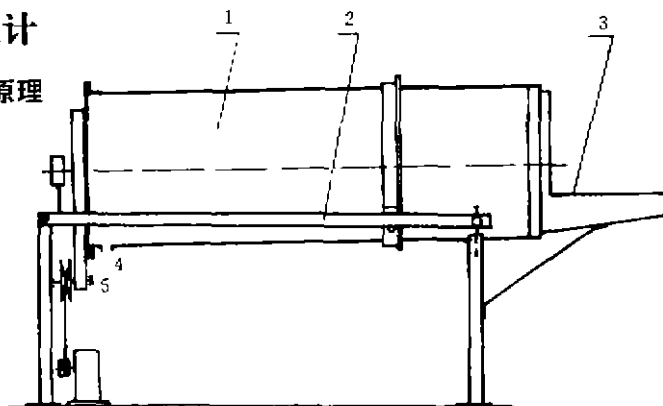


图 1 转筒式柿饼揉捏机结构简图

1. 转筒; 2. 可调式机架; 3. 入料斗; 4. 出料口; 5. 传动机构

冲击压力使柿果受到挤压。柿果在连续旋转的转筒内,经一定时间的反复冲击挤压完成揉捏加工。由于转筒旋转轴线与水平方向有一倾斜角,柿果在筒内呈螺旋式运动。因此,柿果被冲击挤压揉捏,一边沿轴向移动,最后从转筒出料口滚出。

该机的主要结构参数:转筒直径 $D=550\text{ mm}$,长 $L=1\ 500\text{ mm}$ 。

转筒内有 6 个挡板,挡板高 $25\sim 40\text{ mm}$ 可调,挡板相对转筒内壁的角度可微调。转筒转轴相对水平线可作 $0\sim 5^\circ$ 倾角调整,转筒转速 $25\sim 50\text{ r/min}$,可任意调。

2.2 设计计算

柿果在转筒内的运动和跌落时与转筒壁的冲击是揉捏机设计的主要依据,而运动轨迹和冲击力取决于转筒直径、转速等机构参数。

对柿果从档板上抛落的条件进行分析^[1,2],如图 2 所示。柿果离开挡板被抛出跌落的临界条件是以挡板边缘 O 点的力矩平衡,即

$$f_2 \cdot d + f_3 r - f_1 r = 0 \quad (1)$$

式中, f_1 为柿果重力在挡板板面平行方向上的分力, f_2 为柿果重力在垂直挡板方向上的分力, f_3 为离心力。由(1)式得:

$$mg \cos \alpha \cdot d + m \cdot R \cdot \omega^2 \cdot r - mg \sin \alpha \cdot r = 0 \quad (2)$$

式中, m 为柿果质量; g 为重力加速度; r 为柿果半径; ω 为转筒角速度; R 为转筒轴心与柿果重心 G 间的距离; α 为柿果处于临界状态时挡板与水平的夹角; d 为柿果重心 G 与挡板边缘 O 点间距离。

整理(2),式得

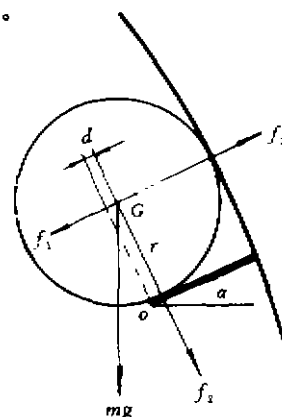


图 2 柿果跌落条件示意图

$$\alpha = \sin^{-1} [R \cdot W^2 / \sqrt{1 + (\frac{d}{r})^2 g}] + \operatorname{tg}^{-1} \frac{d}{r} \quad (3)$$

因此,柿果跌落时的角 α 受转筒直径、转速和柿果直径的影响。柿果离开挡板被出,然后自由落下,抛出的高度将决定其落下的高度,从而影响冲击压力,而抛出的距离将影响下落点的位置。

根据试验计算,设挡板高 28 mm,柿果直径 50 mm,转筒转速 40 r/min,由(3)式得

$$\alpha = \sin^{-1} [0.25 \times (\frac{3.14 \times 40}{30})^2 / \sqrt{1 + (\frac{28-25}{25})^2 \times 9.8}] + \operatorname{tg}^{-1} \frac{28-25}{25} = 33.23^\circ$$

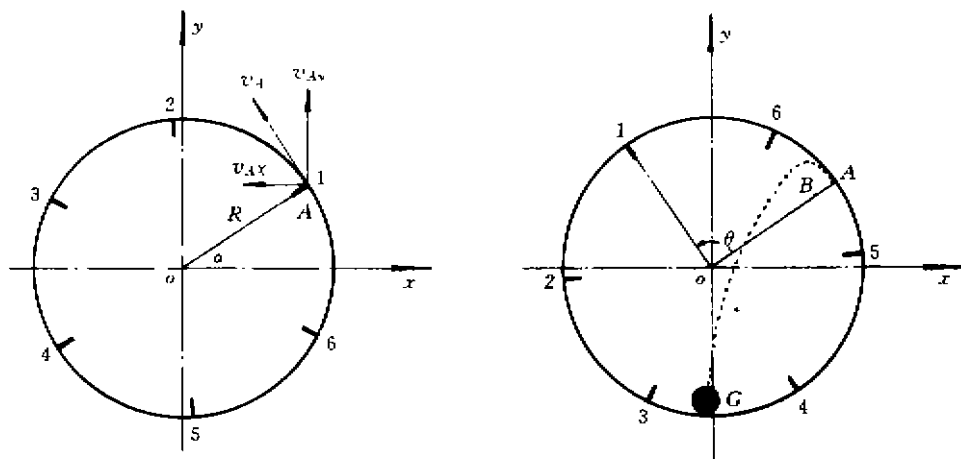


图3 被抛出柿果的运动及运动轨迹

1~6. 挡板;A. 柿果抛出点;B. 柿果抛出上升最高点;C. 柿果落点

柿果转到 α 角位置被抛离挡板,然后做自由下落的运动(图3)。柿果抛出点A的坐标为:

$$\begin{cases} x_A = R \cdot \cos \alpha & x_A = 209.1 \\ y_A = R \cdot \sin \alpha & y_A = 137.0 \end{cases}$$

柿果抛出时的速度:

$$v_A = 2\pi \cdot n \cdot R / 60 = 1.0472(\text{m/s}) \quad (4)$$

将 v_A 分解为:

$$v_{Ax} = -v_A \sin \alpha = 0.876(\text{m/s}) \quad (5)$$

$$v_{Ay} = v_A \cos \alpha = 0.574(\text{m/s}) \quad (6)$$

柿果的运动方程为:

$$\begin{cases} x = x_A - v_A \cdot \sin \alpha \cdot t & (7) \\ y = y_A + v_A \cdot \cos \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 & (8) \end{cases}$$

柿果抛出后上升到最大高B点时所需时间为:

$$t_B = v_{Ay} / g = 0.0894 \quad (\text{s}) \quad (9)$$

所以柿果达到最高点 B 的坐标为:

$$\begin{cases} x_B = 157.8 \\ y_B = 176.2 \end{cases}$$

由(7)式得:

$$t = \frac{x_A - x}{v_A \cdot \sin \alpha} \quad (10)$$

将(10)式代入(8)式得柿果的轨迹方程为:

$$\begin{aligned} y &= y_A + v_A \cos \alpha \frac{x_A - x}{v_A \sin \alpha} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x_A - x}{v_A \sin \alpha} \right)^2 \\ y &= y_A + \cos \alpha (x_A - x) - \frac{1}{2} g \left(\frac{x_A - x}{v_A \sin \alpha} \right)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

将 A_x, v_A 及 α 值代入(11)式,整理后可得:

$$y = -0.0149(x^2 - 316.2x + 13261.33) \quad (12)$$

柿果落点 C 的坐标符合:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 250^2 \\ y = -0.0149(x^2 - 316.2x + 13261.33) \end{cases} \quad (13)$$

$$(14)$$

解得 C 点坐标为

$$\begin{cases} x_C = -11.2 \\ y_C = -249.4 \end{cases}$$

柿果在 x 方向的位移量为:

$$S_x = x_c - x_A = 220.3 \quad (\text{mm})$$

柿果从抛出到落下与转筒壁接触经历的时间为:

$$t_c = \frac{S_x}{v_{x_A}} = 0.384 \quad (\text{s})$$

柿果从抛出到落下与转筒壁接触,转筒转过角度为:

$$\theta = \omega \cdot t_c = 92.2^\circ$$

柿果跌落的总高度

$$h = y_B + |y_C| = 425.6 \quad (\text{mm})$$

由此计算可知,在所设定的条件下,柿果在转筒内有最大跌落高度,可以获得最大冲击挤压力。同时,柿果的落点位置安全,避免与挡板相碰撞而受损伤。

3 试验结果

依据前述计算分析,作者用直径 550 mm 的转筒,筒内挡板高度在 25~40 mm 范围可调,转筒转轴相对水平线可作 0~5° 倾斜调整,转筒转速在 30~50 r/min 范围内调整的试验机对周至面蛋柿揉捏试验,柿果直径为 40,45,50,55 和 60 mm,分别在 30,35,39,42 和 44 r/min 转速的转筒内可以实现机械揉捏,且有良好工艺效果。

4 讨论

1) 为了保证柿饼的揉捏质量,对柿果进行分级处理,对尺寸大小不同的柿果确定适宜

的转筒转速、挡板高度等参数。

2) 柿饼制作过程中, 柿果含糖量较高, 浸出的糖分具有粘滞作用, 同时柿果是非刚性物体, 它和挡板之间有摩擦阻力, 这些作用在以上计算中并未考虑进去。因此在机构设计选材时, 考虑使用摩擦系数小的和不易粘连的材料做挡板, 同时通过调挡板高度和转筒转速, 以保证柿果获得良好冲击挤压揉捏。

3) 为了减少柿饼在揉捏操作中的破损, 可以在转筒式揉捏机揉捏加工前在预滚揉机中经预滚揉处理。

参考文献

- 1 林 节男. 柿饼干燥过程揉捏机械化. 农业机械学会志, 1990, 52(2): 73~77
- 2 中国农业机械化科学研究院. 实用机械设计手册. 北京: 中国农业机械出版社, 1984
- 3 程凌敏, 徐克菲. 食品加工机械. 北京: 中国食品出版社, 1988
- 4 哈尔滨工业大学理力教研室. 理论力学(下). 北京: 人民教育出版社, 1984
- 5 刘兴华, 王启. 柿饼加工技术的研究. 食品科学, 1990(3): 46~51

Design and Analysis of Cylinder Kneeder for Dried Persimmons

Jiang Daonian¹ Li Yuanrui² Diao Gulqing¹

(1 The College of Mechanical and Electronic Engineering, 2 Department of Food Science,
Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The related computation and tests of the self-designed cylinder kneeder for persimmons showed that a rotation cylinder with 550 mm in diameter, 1500 mm in length, six height-adjustable fenders installed in cylinder inner wall and at a right rotation speed arranged 30~45 r/min. Could mechanically kneeder persimmons of 40~60 mm in diameter effectively.

Key words dried persimmon, kneed, kneeder, cylinder