

青枣划痕装置结构参数与 计算机模拟划痕的研究

吴应德 薛文灿 郭柏坤

(农工系)

摘 要

本文围绕青枣划痕质量指标——两端漏划圆面积直径和初始点喂入力建立了偏心圆弧摆动式划痕装置的结构参数与质量指标间的数学模型。其计算机模拟结果与试验结果基本一致,满意地解决了随机性模型的验证问题。

关键词: 青枣划痕; 结构参数; 计算机模拟

青枣划痕是金丝蜜枣初加工工序,其划痕质量指标直接反映为枣两端漏划圆的直径,如再加上加工时初始点喂入力的大小,这两点则构成了划痕装置的主要质量指标。当然枣本身的外形轮廓曲线也与划痕质量有密切的关系。

1 枣外形轮廓特性

1.1 枣轮廓曲线的建立

因条枣具有卵形(或椭圆形)的特点,故可看成旋转体。文献〔1〕用变轴椭圆方表示卵形物体的轮廓(如图1),图中 b_m 是最大 y 坐标值。设 $k = \tan \theta$ 定义为锥度,则方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{(b+kx)^2} = 1 \quad (1)$$

由上式可知: $k=0$ 时为椭圆; $k>0$ 时 x 轴正向大; $k<0$ 时 x 轴负向大。因而只要合理地选择式(1)中的参数,就可以用来表示枣的轮廓曲线。

1.2 枣外形轮廓曲线参数的统计模型

取340枚枣,用游标卡尺测取枣长 $2a$,最大枣径 $2b_m$ 。为了间接测量 k 值,用投影法测取了20枚枣的 $2b$ 及 X_m 。由于 $2a$ 与 $2b_m$ 有相关性,为了保证伪随机抽样有 $2a > 2b_m$,亦统计了 $A = 2a/2b_m$ 之值。其均值与方差见表1,置信度为95%。

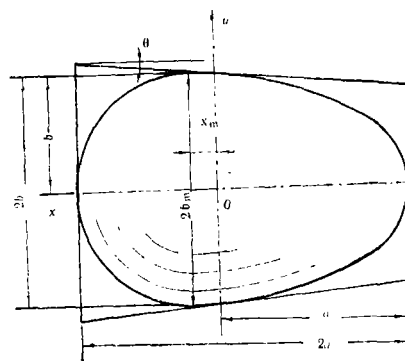


图 1

本文于1989年1月16日收到。

表1 枣特性参数统计表

(样本数 $n = 340$)

特征值	2a (mm)	2bm (mm)	A
均值	30.00 ± 0.244	23.87 ± 0.154	1.2573 ± 0.0066
方差	2.300	1.422	0.0622
置信区间	2.140—2.490	1.322—1.532	0.0578—0.0672

(1) 根据概率论知, 当样本足够大时, 任何分布都渐近于正态分布, 并在 $\alpha = 0.1$ 的水平下 χ^2 检验获得了证实, 因此 $2bm \sim N(23.87, 1.422^2)$, $A \sim N(1.2573, 0.0622^2)$ 。而 $2a$ 是 $2bm$ 与 A 之积的分布, 其分布复杂, 讨论从略。

(2) 锥度 k 分布的估计: 由于 k 是代表枣锥度的参数, 而加工时取枣是随机抽样的, 且取枣柄端和尾端的可能性均等, 因此可认为均值为零、方差 σ 待估的正态分布:

$$\text{由式 (1) 导出: } k = \left(\frac{ab_m}{\sqrt{a^2 - x_m^2}} - b \right) / x_m \quad (2)$$

在测取了 a , b_m , b 和 x_m 后可求出 k 值。在测量的20枚枣中, k 值超过0.2的只有3个。根据正态分布的概率可估计出方差为 $\sigma_k = 0.139$ 。所以锥度 $k \sim (0, 0.139^2)$ 。

(3) b 值的分布: b 值可由式 (1) 近似求得。

$$\left. \begin{aligned} x_m &= \frac{-b_m + \sqrt{b_m^2 + 8ka^2}}{4k} \\ b &= \frac{ab_m}{\sqrt{a^2 - x_m^2}} - kx_m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

可见 b 是 b_m , k , a 的复杂分布 (讨论从略), 应用时采用代换法。

2 工作性能与结构参数的关系

2.1 喂入端漏划直径的确定

如图2, 在 $x \geq x_m$ 的任意时刻, 枣与刀刃相切于M点, 由几何关系得:

$$\left. \begin{aligned} L \cos \varphi + R \cos \gamma + y &= L_0 \\ L \sin \varphi &= R \sin \gamma + x_0 + x' \\ \tan \gamma &= -y \left(\frac{k}{b + kx} - \frac{x}{a^2 - x^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

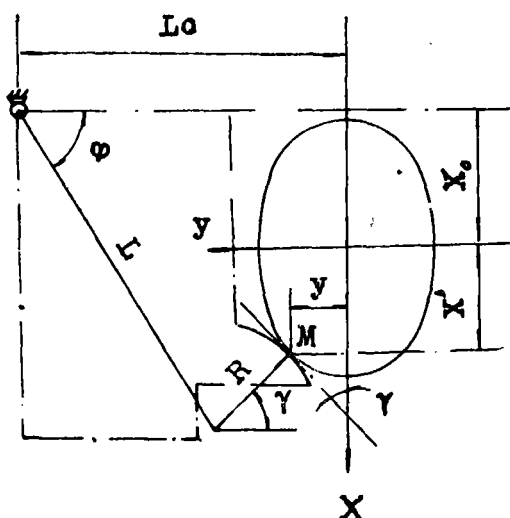


图 2

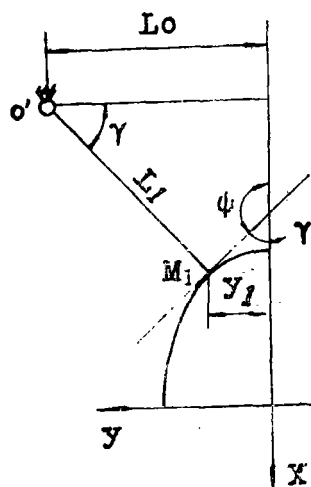


图 3

在初始接触点时, 切点为 $M_0(x_0, y_0)$, 则 $\varphi = \varphi_0$, $y = y_0$, 由式 (1), (4) 得:

$$\left. \begin{aligned} L \cos \varphi_0 + R \cos \gamma_0 + y_0 &= L_0 \\ y_0 &= \frac{b + kx_0}{a} \sqrt{a^2 - x_0^2} \\ \operatorname{tg} \gamma_0 &= -y_0 \left(\frac{k}{b + kx_0} - \frac{x_0}{a^2 - x_0^2} \right) \\ D_1 &= 2y_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

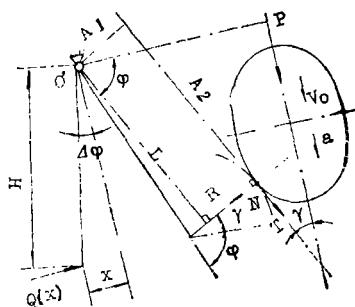


图 4

很显然, 当 $y < y_0$ 时为漏划区域。所以 D_1 为最大漏划圆直径。

2.2 退出端漏划直径的确定

如图 3, 在 $x < x_m$ 区域, 当刀尖与回转中心 o' 之连线与接触点 M_1 共法线时, M_1 为切点。很显然当 $y < y_1$ 时, 刀尖即与枣分离, 所以该区域为漏划区, y_1 是最大漏划半径。以 $R = 0$, $L = L_1$, $X = X_1$ 代入式 (4) 可求出 y_1 , 则 $D_2 = 2y_1$ 为最大漏划直径。

2.3 工作过程力分析

在喂入过程中由于刀架惯性力和枣自重与约束弹性力相比要小得多, 因而舍去其影响, 只做静力分析。

在 $X \geq X_m$ 的任意时刻受力如图 4, 其中 $A_1 = R + \cos(\varphi + \gamma)$, $A_2 = L \sin(\varphi + \gamma)$ 。

如划痕装置沿圆周方向布置有 n 把刀架, 则由枣及刀架受力图推导并简化后得 喂入力为:

$$P = n \{ (f \cos \gamma + \sin \gamma) M / A - (A_2 \cos \gamma - A_1 \sin \gamma) P_0 / A \} \quad (6)$$

其中 $M = Q(x) + H \cos \Delta \varphi$, $P_0 = N_0 f - T_0$, $A = f A_1 + A_2$ 。 N_0 为刀刃切入枣的切入力, T_0 为滑切力。

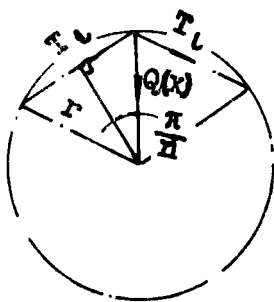
在初始接触点时, $x = 0$, $\varphi = \varphi_0$ 代入上式得

$$P_c = n \{ (f \cos \gamma_0 + \sin \gamma_0) Q(0) H - (A_2 \cos \gamma_0 - A_1 \sin \gamma_0) \} / A \quad (7)$$

其中 $Q(0)$ 是代表初始点 $x = 0$ 时约束弹性力函数 $Q(x)$ 的函数值。

3 模型验证

为了验证 D_1 , D_2 , P_c 与各结构参数间的模型〔(4)~(7)〕, 由于枣的外形具有不重复性, 且加工是随机取样, 因而验证随机模型采用蒙特卡洛计算机模拟与试验相结合的方法加以实现。



3.1 蒙特卡洛计算机模拟枣加工

模拟用关系式: 有式 (4)~(7), 其中弹性约束力 $Q(x)$ 的导出见图 5, 工作时环形弹簧受纯拉力, 当有 n 把刀架径向布置时, 约束力 $Q(x) = 2T_L(x) \sin \pi/n$ 。考虑弹簧静长为 L_1 , 张开半径 $r = L_0 + x$, 且 $x = H \sin \Delta \varphi$, 在线性弹性情况下, 弹性约束力为:

图 5

$$Q(x) = 2 \left[a_0 + b_0 (2nr \sin(\frac{\pi}{n}) - L_1) \right] \sin(\frac{\pi}{n}) \quad (8)$$

模拟用划痕装置结构参数: 在实际装置中为了防止枣在喂入过程中发生偏斜, 采用了 10 个对中刀架。在此种情况下, 喂入力由两部分组成(如图 6)。当 2 号刀架刚与枣接触时, 1 号刀架的位置由式(4)确定, 2 号刀架的漏划直径和作用力分别由式(5), (7)确定。模拟和试验同采用三种刀架组成 I 和 II 号两种结构的划痕装置如图 7。套筒半径 $L_0 = 45$ (mm), 摩擦系数 $f = 0.473$, 弹性特性 $a_0 = 1.044$ (N), $b_0 = 0.0296$ (N/mm)。

1 号对中刀架: $L = 24$ (mm), $\varphi_0 = 98^\circ$, $R = 42$ (mm) 2 号划痕刀架: $L = 41$ (mm), $\varphi = 48^\circ$, $R = 13$ (mm); 3 号划痕刀架 $L = 70$ (mm), $\varphi = 72^\circ$, $R = 37$ (mm)。

I 号划痕装置: 由 1 号刀架 10 个及 2 号刀架 50 个组成。1 号刀架中 $H = 32$ (mm), $Q = 2Q(x)$, $T_0 = 0$, $N_0 = 0$; 2 号刀架中 $H = 26$ (mm), $Q = 2Q(0)$, 25 个, $H = 38$ (mm), $Q = Q(0)$, 25 个, $N_0 = 0.154$ (N), $T_0 = 0.428$ (N)。

II 号划痕装置: 由 1 号刀架 10 个及 3 号刀架 50 个组成, 布置同前, 但其中 $T_0 = 0.286$ (N), $N_0 = 0.128$ (N)。

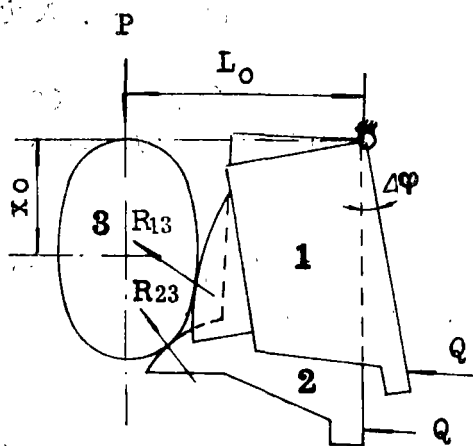


图 6

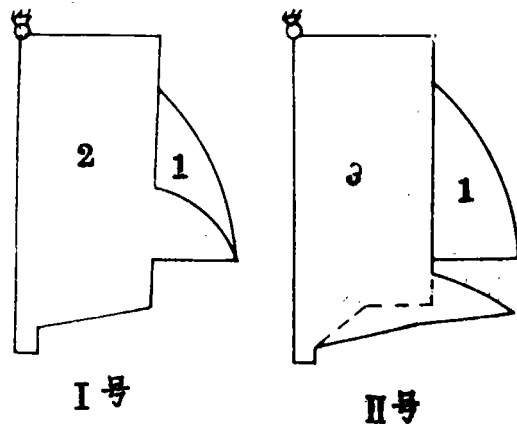


图 7

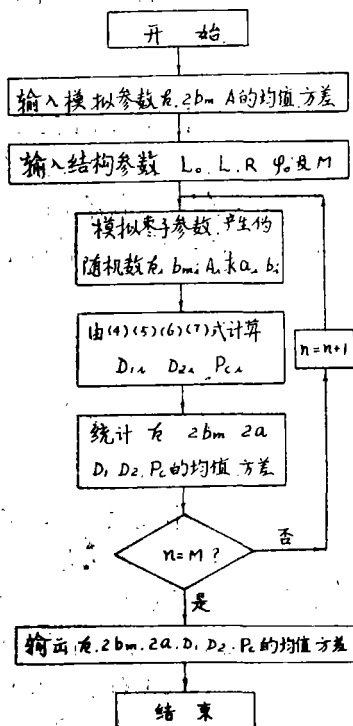


图 8

号划痕装置进行了试验,采用电测法测量了喂入力,典型的喂入力曲线见图9,枣的参数用游标卡尺测量。由于在喂入力曲线中初始点喂入力难以确定,而经试验和数值迭代计算表明最大喂入力和初始点喂入力相差较小,因而用最大喂入力代替初始点喂入力。表3中各项的测取均是一一对应的。

3.2 模拟步骤及程序框图

程序框图见图8。

采用变换法^[2,4]产生 $\xi \sim N(0,1)$ 的正态分布伪随机数 ξ ,则有 $\mu_i = a + \xi_i \sigma$ 服从正态分布: $\mu \sim N(a, \sigma^2)$ 。

根据已知的正态分布产生 K_i, A_i, b_{mi} 后,按式(3)求出 a 及 b ,代入式(4), (5), (6), (7),可求出 D_1, D_2, P_c 值。反复循环达到预定精度后求出均值和方差,模拟结束。

蒙特卡洛模拟的精度与循环次数 M 有关。当允许误差为5%,置信度为95%时的最少循环次数为 $N_0 = 384$ 次^[2]。对于本问题可取 $M = 600 > N_0$ 。即可满足要求。

为了便于比较将模拟结果与试验结果同列于表3,模拟程序是用BASIC语言编写,在PC-8801微机上运行的。

3.3 试验验证

在自制试验

台上对I号和II

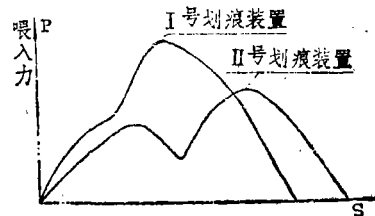


图 9

表3 计算机模拟与试验结果对照

组别	K		$2b_m$ (mm)		$2a$ (mm)	
	$\bar{K}$	S_k	$\bar{2b}$	S_{2bm}	$\bar{2a}$	S_{2a}
I 模拟						
号 $n=600$	0.0054	0.138	23.9085	1.4504	30.1135	2.375
划 试验						
痕 $n=64$			23.754	1.246	29.62	2.05
装 显著性			差 异	差 异	差 异	差 异
置 检验			不显著	不显著	不显著	不显著
II 模拟						
号 $n=600$	0.0015	0.1363	23.8478	1.4585	30.066	2.3571
划 试验						
痕 $n=68$			24.088	1.3029	30.36	2.058
装 显著性			差 异	差 异	差 异	差 异
置 检验			不显著	不显著	不显著	不显著

续表3 计算机模拟与试验结果对照

组别	D_1 (mm)		D_2 (mm)		P_c (N)	
	$\bar{D}_1$	S_{D_1}	$\bar{D}_2$	S_{D_2}	$\bar{P}_c$	S_{P_c}
I 模拟						
号 $n=600$	16.279	1.4504	16.44	2.0695	40.87	1.5345
划 试验						
痕 $n=64$	15.89	1.3263	16.33	1.692	42.73	4.958
装 显著性	差 异	差 异	差 异	差 异	差 异	差 异
置 检 验	不显著	不显著	不显著	不显著	较显著	显 著
II 模拟						
号 $n=600$	12.4113	1.7704	14.239	2.266	29.53	0.8628
划 试验						
痕 $n=68$	12.817	1.582	14.394	1.858	28.39	1.349
装 显著性	差 异	差 异	差 异	差 异	差 异	差 异
置 检 验	不显著	不显著	不显著	不显著	较显著	显 著

表中均值的齐性用 t 检验, 方差的齐性用 F 检验, 经假设检验知:

(1) 模拟与试验均来自同一总体, 其 D_1 , D_2 无显著差异。

(2) 喂入力有差异, 其原因有: 模拟时没有考虑刀架与滑道壁面间的摩擦, 而试验中是存在的; 模拟用弹性特性是取一组弹簧测量值的平均值, 而试验中是取其一部分。以上两因素造成了喂入力误差, 但两者均值的误差最大为 4.5%, 由此可见试验结果与模拟结果是基本一致的。

4 结束语

经对通道式划痕装置进行理论分析和计算机模拟枣的加工过程, 试验验证结果表明:

(1) 本文采用的条枣外形轮廓曲线方程及划痕装置的结构参数工作性能之间关系的数学模型, 以及计算机模拟枣的加工是正确的。试验方法适当, 结果可靠。

(2) 用计算机模拟随机事件并与试验相结合圆满地解决随机性模型的检验问题。这一模拟试验还可代替试验验证来检验新设计的划痕装置, 以克服青枣划痕试验季节性的矛盾。

参 考 文 献

- 1 Upadhyaya S K. A Finite Element Analysis of the Mechanical and Thermal strength of Avian Eggs. Engin 1986; 33: 57-78
- 2 王克冲. 华东工学院学报, 1986 (1): 77-81
- 3 薛文灿等. 陕西农机, 1988 (2): 8-9
- 4 冯康等编. 数值计算方法. 国防工业出版社, 1978

RESEARCH ON THE STRUCTURAL PARAMETERS OF JUJUBE PROFILE NOTCHING DEVICE AND THE COMPUTER SIMULATION OF NOTCHING

Wu Yingde Xue Wencan Guo Bokun

(Agricultural Engineering Department, Northwestern Agricultural University)

Abstract

Around the quality indexes of green jujube notch—the diameters of unnotched circular areas on the both ends of green jujube and feeding force of the initial point, the green mathematical models between the structural parameters for the green jujube profile notching of the eccentric swing type and indexes of quality are established in this paper.

The results of computer simulation are basically coincided with those of experiment. The random model of it is verified satisfactorily.

Key words: green jujube notch; structural parameters; computer simulation