

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.03.016

多槽锅式茶叶理条机锅体曲线的研究*

李青绵¹, 李 革², 苏 鸿³

(1. 浙江省机械工业情报研究所, 浙江 杭州 310009; 2. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018; 3. 杭州千岛湖丰凯实业有限公司, 浙江 杭州 311071)

摘要: 为了研究不同锅形对茶叶整理成条的效果, 建立了多槽锅式茶叶理条机的 U 型和斜型锅体的曲线模型, 在对锅内茶叶进行受力和运动学分析的基础上, 基于 MATLAB 编程得到了茶叶在槽锅内的运动轨迹和运动规律。研究表明, 根据茶叶运动时与锅底面接触的长度分析, 斜型锅对茶叶的理条作用较强。该研究提供了多槽锅式茶叶理条机结构参数的一种优化方法。

关键词: 茶叶; 锅体曲线; 运动; 仿真; 理条效果

中图分类号: TH122; S226

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2019)03-0307-05

Research of hollowware-shaped curve for triangle grooves holloware tea carding machine

LI Qing-mian¹, LI Ge², SU Hong³

(1. Zhejiang Machinery Industry Information Institute, Hangzhou 310009, China; 2. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Hangzhou Qiandao Lake Fengkai Industrial Co., Ltd., Hangzhou 311071, China)

Abstract: In order to enhance the triangle grooving holloware tea carding machine, the curve models of U-and oblique-type pot body were established, and on the basis of force analysis and kinematics analysis of the tea in the pots, the movement trajectory and movement law of tea in U-and oblique-type pot body were obtained by MATLAB programming. The result shows, according to the length of the contact between the tea and the bottom of the pot during tea movement, the oblique-type pot has a stronger effect on the tea carding character. This study provides an optimization of structural parameters for triangle grooving holloware tea carding machine.

Key words: tea; hollowware-shaped curve; movement; simulation; carding effect

0 引 言

理条是把杀青过的茶叶整理成条状, 是加工扁形(或针形)茶的重要工艺, 多槽锅理条机是应用最广泛的一种机型^[1-2]。工作时, 曲柄滑块机构带动槽锅做往复直线运动, 茶叶在锅内加热的同时, 沿着锅内壁运动, 被摩擦塑造紧、细、直的外形^[3]。目前, 多槽锅的

锅形有两种: 即 U 形和斜形锅。但是, 对这两种锅形的理论研究很少, 为此, 本文在对 U 形和斜形锅体曲线建模的基础上, 对茶叶在锅内的受力、运动轨迹进行分析, 研究不同锅形对茶叶整理成条的效果。

1 锅体曲线模型的建立

茶叶理条机工作原理如图 1 所示。

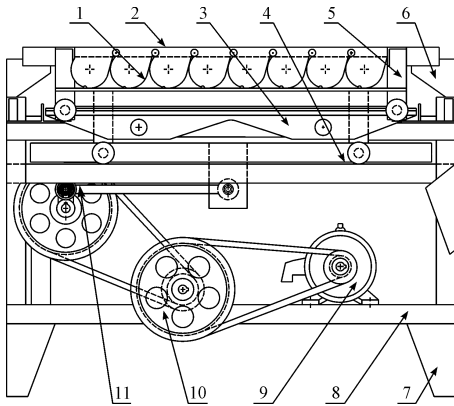


图 1 茶叶理条机工作原理示意图

1—多槽锅;2—锅上架;3—加热炉;4—滑道;5—托槽架;6—盖板;7—支脚;8—机架;9—电机;10—带轮减速机构;11—曲柄滑块机构

在茶叶加工中,广泛使用的 U 形和斜形两种多槽锅是人们在长期的实践中总结出来的。本文取自生产中最常用的两种典型锅形(U 形锅和斜形锅),分析它们的锅体曲线。锅形图如图 2 所示。

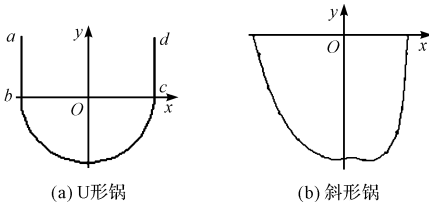


图 2 锅形图

图 2(a) 的 U 型锅体是由 3 段曲线构成, ab 和 cd 两段是直线, bc 为圆弧, 且直线 ab 和 cd 与圆弧 bc 相切, 其锅体曲线的模型为:

$$\begin{cases} x = -55 & (0 \leq f(x) \leq 60) \\ f(x) = -\sqrt{55^2 - x^2} & (-55 \leq x \leq 55) \\ x = 55 & (0 \leq f(x) \leq 60) \end{cases} \quad (1)$$

图 2(b) 的斜形锅锅形主要考虑到槽锅做往复直线运动时,对茶叶具有一定的翻动作用的同时,加强对茶叶成条的摩擦挤压、滚动成条的作用,该锅体的曲线较复杂,不是一般的函数所能表达。根据对该锅体曲线采集到的数据分析,应用 Matlab 中的 CFTOOL 工具对斜形锅体曲线进行拟合^[4-5],得到锅体曲线的模型为:

$$f(x) = \begin{cases} -3.2x - 213.3 & (-66 \leq x \leq -46.405) \\ 1.892 \times 10^{-8}x^5 + 3.908 \times 10^{-6}x^4 - 0.0001056x^3 + 0.001489x^2 - 0.0899x - 96.78 & (-46.405 \leq x \leq 52.76) \\ 10.95x - 652.6 & (52.76 \leq x \leq 59) \end{cases} \quad (2)$$

2 茶叶在锅内的受力分析

茶叶是非弹性体,在多槽锅的加热和作用下,茶叶与锅内壁之间的摩擦系数在不断地变化,同时,茶叶的形状从片状逐渐变化成针条状,其受力非常复杂。由于单个茶叶在锅内的运动受到其他茶叶运动的干涉较大,以及茶条不是完整的圆柱形,其滚动的速度比其在锅壁上的滑动速度小得多,分析问题时不计茶叶的滚动。以单个茶叶为研究对象,机架为绝对坐标系,锅在曲柄滑块机构带动下运动的速度 V_e 和加速度 a_e 如图 3 所示。

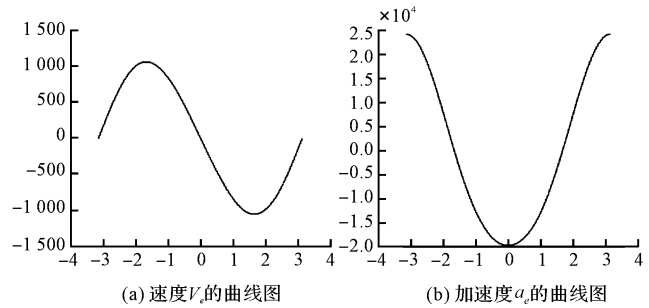


图 3 锅体的速度 V_e 和加速度 a_e 曲线图(一个周期)

茶条在锅内壁上运动时的受力如图 4 所示。

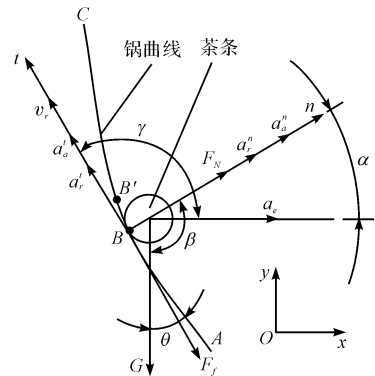


图 4 茶条受力分析图

xoy 坐标系—锅体曲线建模时坐标系,固定于槽锅上,为相对坐标系; AC —锅曲线; G —茶条的重力($G = mg, m$ —茶条质量); F_N —锅内壁的支反力; F_f —茶叶与锅内壁的的摩擦力; μ —锅对茶条的摩擦系数; v_r —茶叶沿锅面的相对速度; n —锅面的法向量; t —锅面的切向量(方向与 v_r 的同向); a_a^a —茶叶运动的绝对加速度(a_a)沿锅面的法向分量; a_a^t — a_a 沿锅面的切向分量; a_r^a —茶叶相对锅面运动的加速度法向分量; a_r^t —茶叶相对锅面运动的加速度切向分量; α —锅体运动的加速度 a_e 与法向量 n 的夹角; β —重力 G 与法向量 n 的夹角; γ —锅体运动的加速度 a_e 与切向量 t 的夹角; θ —重力 G 与切向量 t 的夹角

茶叶在锅内壁所受到的支反力为:

$$F_N = -G\cos\beta + ma_a^n \quad (3)$$

茶叶在锅内壁所受到的摩擦力为:

$$F_f = G\cos\theta - ma_a^t = \mu F_N \quad (4)$$

其中, F_N 的方向与 n 相同, 在 $F_N < 0$ 时, 茶条将抛离锅壁; F_f 的方向与 v_r 相反。

3 茶叶在锅内的运动分析

3.1 茶叶接触锅壁运动的加速度分析

因为:

$$v_{rx}n_x + v_{ry}n_y = 0 \quad (5)$$

式中: v_{rx}, v_{ry} — 向量 v_r 分别在 x, y 轴上的分量; n_x, n_y — 锅曲线法向量 n 分别在 x, y 轴上的分量。

所以有:

$$\begin{cases} n_x = \frac{-\frac{|v_{rx}|}{v_{rx}}v_{ry}}{\sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} (v_{rx} \neq 0) \text{ 或 } \begin{cases} n_x = -\frac{x_B}{|x_B|} (v_{rx} = 0) \\ n_y = 0 \end{cases} \\ n_y = \frac{|v_{rx}|}{\sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} \end{cases} \quad (6)$$

式中: x_B — 茶叶位置 B 相对 x 轴的坐标位置。

根据两向量数量积求两向量夹角可得:

$$\cos\alpha = \frac{a_e n_x + 0 \cdot n_y}{|a_e| \sqrt{n_x^2 + n_y^2}} = \frac{a_e n_x}{|a_e| \sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \quad (7)$$

$$\cos\beta = \frac{-Gn_y + 0 \cdot n_x}{|G| \sqrt{n_x^2 + n_y^2}} = \frac{-Gn_y}{|G| \sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \quad (8)$$

$$\cos\gamma = \frac{a_e v_{rx} + 0 \cdot v_{ry}}{|a_e| \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} = \frac{a_e v_{rx}}{|a_e| \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} \quad (9)$$

$$\cos\theta = \frac{-Gv_{ry} + 0 \cdot v_{rx}}{|G| \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} = \frac{-Gv_{ry}}{|G| \sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} \quad (10)$$

根据点加速度求和公式:

$$a_a^n = a_e^n + a_r^n \quad (11)$$

$$a_a^t = a_e^t + a_r^t \quad (12)$$

又

$$a_r^n = \frac{v_r^2}{\rho} \quad (13)$$

$$a_e^n = a_e \cos\alpha \quad (14)$$

式中: ρ — 锅的曲率半径。

联立式(6,7,11,13,14) 可求得 a_a^n 。

根据式(3,4), 可得

$$a_a^t = \frac{\mu(G\cos\beta - ma_a^n) + G\cos\theta}{\mu(g\cos\beta - a_a^n) + g\cos\theta} = \quad (15)$$

又

$$a_e^t = a_e \cos\gamma \quad (16)$$

联立式(6,8 ~ 10,12,15,16) 可求得 a_r^t 。

则茶叶沿锅面运动的相对加速度在以锅体为动坐标系上的分量为:

$$\begin{cases} a_{rx} = a_r^t \frac{v_{rx}}{\sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} \\ a_{ry} = a_r^t \frac{v_{ry}}{\sqrt{v_{rx}^2 + v_{ry}^2}} \end{cases} \quad (17)$$

3.2 茶叶抛离锅壁运动的加速度分析

根据点加速度求和公式:

$$\begin{cases} a_{ax} = a_{rx} + a_{ex} \\ a_{ay} = a_{ry} + a_{ey} \end{cases} \quad (18)$$

由于茶叶抛离在空中, 只受重力作用, 则

$$\begin{cases} a_{ax} = 0 \\ a_{ay} = g \\ a_{ex} = a_e \\ a_{ey} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

式中: a_{ax}, a_{ay} — 向量 a_a 分别在 x, y 轴上的分量; a_{ex}, a_{ey} — 向量 a_e 分别在 x, y 轴上的分量。

联立式(18,19) 可得知 a_{rx}, a_{ry} 。茶叶的运动仿真流程图如图5所示。

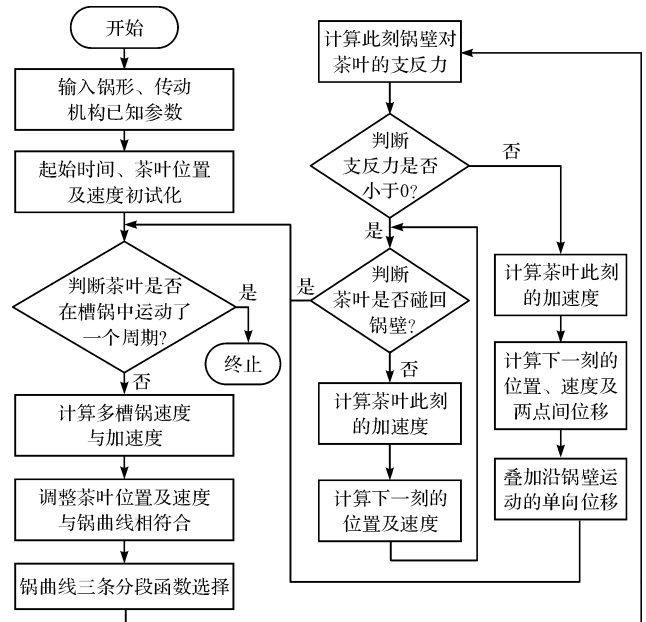


图5 茶叶的运动仿真流程图

3.3 茶叶在锅内的运动分析

茶叶在以锅体为动坐标系上的速度分量为:

$$\begin{cases} v_{rxB'} = v_{rxB} + a_{rx} \cdot \Delta t \\ v_{ryB'} = v_{ryB} + a_{ry} \cdot \Delta t \end{cases} \quad (20)$$

茶叶在以锅体为动坐标系上的运动轨迹为:

$$\begin{cases} x_{B'} = x_B + v_{rxB} \cdot \Delta t \\ y_{B'} = y_B + v_{ryB} \cdot \Delta t \end{cases} \quad (21)$$

式中: $(v_{rxB}, v_{ryB}), (v_{rxB'}, v_{ryB'})$ —茶叶沿锅面运动到 B 和 B' 两点时,其相对运动速度 v_r 在 x, y 轴上的分量(见图 4); $(x_B, y_B), (x_{B'}, y_{B'})$ —茶叶分别位置 B 和 B' 的坐标位置。

4 基于 Matlab 的槽锅上茶叶的运动轨迹仿真

茶叶在槽锅内的运动非常复杂,既有滑动,又有滚动和翻动。为了简化问题,抓住问题的实质,本文在分析该问题时又作了以下假设:

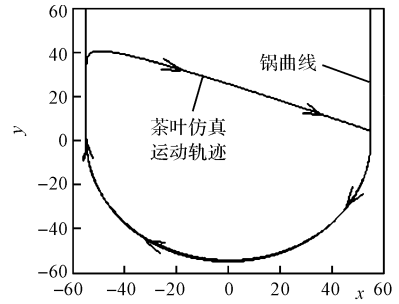
(1) 由于鲜茶叶较柔软、运动速度不高,当其被抛起与锅内壁碰撞时,在锅内壁上的法向分速度为零;

(2) 茶叶沿锅面运动的滚动速度为零。

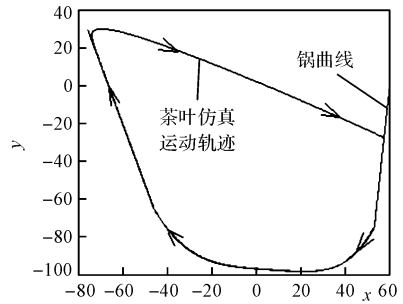
根据式(21),应用数值积分的原理,求解茶叶的运动轨迹流程图^[6]。计算中把茶叶运动的初始位置选在其位能最低的锅底位置,且初速度定为零,曲柄转动一圈的时间为一个周期。

本研究对所建立的茶叶在槽锅内运动的模型,借助 Matlab 软件进行运动过程的仿真模拟计算,得到的茶叶在锅内运动轨迹图如图 6 所示。

从轨迹图可以看到:茶叶在两种锅形内的运动轨迹的变化规律基本相同,即茶叶沿锅面运动到一定高度后被抛起,又落回到锅的另一面,然后,重新开始上一次的运动。茶叶沿锅面底部运动的过程中,在摩擦、



(a) U形锅茶叶运动仿真曲线



(b) 斜锅茶叶运动仿真曲线

图 6 茶条相对运动仿真曲线

挤压和滚动的作用下逐渐变成条状;在被抛起的过程中,茶叶之间的相互位置发生变化、产生较大的翻动和混合作用,使茶叶加热和受到成条的作用力均匀。

茶叶在槽锅内运动的一个周期中,与锅底接触运动的轨迹越长,说明茶叶受到加热越多、受到的摩擦、挤压和滚动的作用越强。取不同槽锅的传动机构参数时,茶叶接触 U 型锅和斜型锅面底部运动轨迹的长度如表 1 所示。

表 1 茶叶接触锅面运动轨迹的长度

序号	曲柄转速/(r · min ⁻¹)	曲柄长度/mm	连杆长度/mm	多槽锅偏心距/mm	茶叶在一个运动周期内,与锅底接触距离/mm
1(U形)	174	80	390	0	196.176 3
2(斜形)	144	90	370	0	208.404 0
3(斜形)	144	90	370	90	280.634 4

表 1 中,序号 1 的锅形函数如式(1),序号 2、3 的锅形函数如式(2)。序号 1、2 分别是生产中的一种 U 形锅五槽理条机和斜形锅五槽理条机^[7]。从对茶叶在两种锅型中的运动轨迹仿真结果看出:茶叶接触锅面底部运动的长度是斜形锅大于 U 形锅。但是,目前生产中使用的斜形锅比 U 形锅只长 6.23%,两者相差不明显。所以,两种锅形都在实践中采用。如果改变

斜形锅偏心距,使其从 0 增大到 90 mm,则两者相差 43.05%,效果将非常明显。

5 结束语

(1) 在生产中使用的 U 形锅和斜形锅的锅体由 3 段曲线构成,既锅两边的直线与中间的曲线光滑连接,

(下转第 315 页)

本文引用格式:

李青绵,李 革,苏 鸿. 多槽锅式茶叶理条机锅体曲线的研究[J]. 机电工程,2019,36(3):307-310,315.

LI Qing-mian, LI Ge, SU Hong. Research of hollowware-shaped curve for triangle grooves holloware tea carding machine[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(3):307-310,315.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>