

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.10.034

# 禽蛋大小头自动定向排列中轴向运动机理研究\*

姜松<sup>1</sup> 姜奕奕<sup>2</sup> 孙柯<sup>1</sup> 陈章耀<sup>3</sup> 徐斌<sup>1</sup> 王国江<sup>1</sup>

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013; 2. 江苏大学京江学院, 镇江 212013;

3. 江苏大学土木工程与力学学院, 镇江 212013)

**摘要:** 为了探讨禽蛋大小头自动定向排列关键技术的设计计算方法,对禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动进行了动力学和运动规律分析及机理研究,并进行了试验验证。研究表明,禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动符合交错轴摩擦轮传动原理,构建了禽蛋在输送支撑辊子上轴向运动位移的理论计算方法和禽蛋与支撑辊子之间的传动关系模型,建立了禽蛋轴向运动参数测试方法和实际计算方法,洋鸡蛋在输送支撑辊子上的轴向运动实际位移的变化规律与理论计算结果吻合,修正系数为0.55(直径30 mm、中心距57 mm、输送速度57 mm/s)。用交错轴摩擦轮传动原理分析禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动是正确、可行的,为禽蛋大小头自动定向排列装置的设计计算奠定了理论基础。

**关键词:** 禽蛋 轴向运动 机理 大小头 自动定向

**中图分类号:** TS253.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0209-07

## Axial Motion Mechanism of Automatic Orientation of Egg's Pointed End and Blunt End

Jiang Song<sup>1</sup> Jiang Yiyi<sup>2</sup> Sun Ke<sup>1</sup> Chen Zhangyao<sup>3</sup> Xu Bin<sup>1</sup> Wang Guojiang<sup>1</sup>

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Jingjiang College, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

3. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In order to discuss the design and computation methods of egg's pointed end and blunt end automatic orientation, the dynamics and motion regularity were analyzed and the mechanism of axial motion which was generated by the egg on two rolling conveyer rollers was studied. Results showed that the regularity of egg axial motion accorded with the principle of alternating axis friction wheel drive. The theoretical calculation methods of axial motion displacement and the model of transmission relation between egg and rollers were built. The test methods and practical calculation methods of axial motion parameters of egg were also established. Results showed that the regularity of actual displacement for axial motion of city chicken eggs corresponded with the calculation results in theory and the correction factor was 0.55 (diameter of 30 mm, center distance of 57 mm, convey speed of 57 mm/s). It was practicable to analyze the axial motion of eggs on the supporting rollers by using the principle of alternating axis friction wheel drive which laid the theoretical foundation of design and computation of automatic orientation device of pointed end and blunt end of eggs.

**Key words:** Egg Axial motion Mechanism Pointed end and blunt end Automatic orientation

收稿日期: 2013-04-19 修回日期: 2013-05-28

\*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A12-06)、江苏省高校自然科学基金资助项目(11KJA550002)和江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 姜松,教授,博士,主要从事农产品力学特性及加工装备研究, E-mail: jszhl@ujs.edu.cn

## 引言

目前,鸡蛋大小头定向排列装置在荷兰 MOBA 公司、日本 NABEL 公司鲜蛋分级包装机中都有设置及相关专利<sup>[1]</sup>。在文献[2~5]中,都是采用复杂或特殊的机构实现的;在文献[6~8]中,都是采用简单的机构实现的;国内燕北集团的定向设备与日本 NABEL 公司较为类似,深圳市振野蛋品机械设备有限公司是通过拨杆和旋转托轮达到转头。但禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动机理的研究,国内外相关文献未见报道,而禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动机理研究是禽蛋大小头自动定向排列系统设计计算和优化的基础。

本文从理论上探讨大小头自动定向排列中禽蛋在支撑辊子上轴向运动的动力学原理和运动规律及其机理,并进行试验验证。

## 1 禽蛋在支撑辊子上轴向运动

禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动是机械式禽蛋大小头自动定向排列装置实现定向的关键,利用禽蛋在输送支撑辊子上的轴向运动使禽蛋进入进料段后实现分列,定向后实现合并,分列后其中一列禽蛋经过翻转段时实现定向,而另一列无需翻转定向直接通过翻转段,最后两列合并<sup>[9]</sup>;在分列段,禽蛋在支撑辊子的作用下产生轴向运动,小头指向相反的禽蛋分别向两侧的限位导向杆运动,实现分列形成两列,而合并段与分列段运动相同,仅仅是小头指向一致的禽蛋轴向运动,实现合并。如图 1 所示。

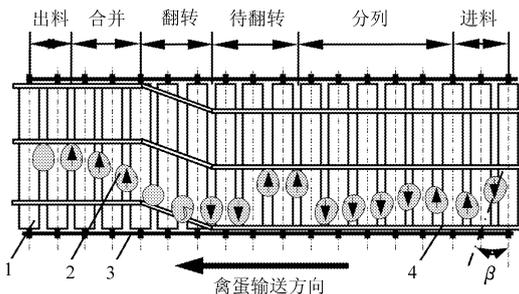


图1 禽蛋大小头自动定向排列装置

Fig.1 Device of automatic orientation of pointed end and blunt end of eggs

1. 支撑辊子 2. 禽蛋 3. 输送链 4. 限位导向杆

在禽蛋大小头自动定向排列装置中,在分列和合并段禽蛋两侧的支撑辊子在输送链牵引和橡胶垫作用下作等速同向转动,禽蛋在两侧支撑辊子摩擦力的作用下在支撑辊子之间作轴向运动。根据禽蛋运动特点,将其运动全过程分为起始运动、过渡运动和稳定运动3个阶段。

### 1.1 起始运动阶段

起始运动阶段是指禽蛋刚进入支撑辊子之间(或禽蛋放入静止的辊间,然后再启动装置)时,禽蛋相对于支撑辊子处于静止状态(瞬间),由于禽蛋质心不在最大短径的截面内<sup>[10]</sup>,平衡时禽蛋的长轴径线与支撑辊子轴线成一交错角 $\theta$ (在垂直面内),如图2所示。但随着运动的开始,交错角 $\theta$ 瞬间发生变化。与此同时禽蛋开始绕自身的长轴径转动和沿支撑辊子轴线方向微量移动。

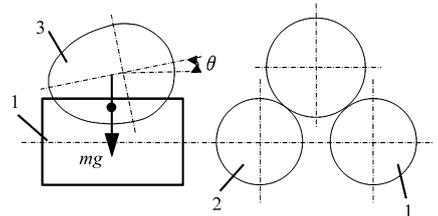


图2 起始运动阶段禽蛋与支撑辊子的关系

Fig.2 Relation between egg and rollers in initial period

1,2. 支撑辊子 3. 禽蛋

### 1.2 过渡运动阶段

起始运动阶段之后,禽蛋的长轴径线与支撑辊子轴线间交错角 $\theta$ (在垂直面内)变小,禽蛋的长轴径线在水平面内发生偏转,产生水平偏转角 $\beta'$ ,而且迅速增大。水平偏转角变化的同时禽蛋绕自身的长轴径转动和沿支撑辊子轴线方向移动。

### 1.3 稳定运动阶段

过渡运动阶段时间非常短,之后禽蛋处于稳定轴向运动,禽蛋的长轴径线与支撑辊子轴线之间形成一个稳定的水平偏转角 $\beta$ ,此时禽蛋稳定地绕自身的长轴径转动和沿支撑辊子轴线方向移动。图3为其传动的示意图。

根据3个阶段分析可知,禽蛋运动形式是其在两支撑辊子的作用下绕其自身轴线转动,同时其质心沿支撑辊子轴线方向移动,即禽蛋的轴向运动。由理论力学可知,其运动形式属于螺旋运动<sup>[11]</sup>。

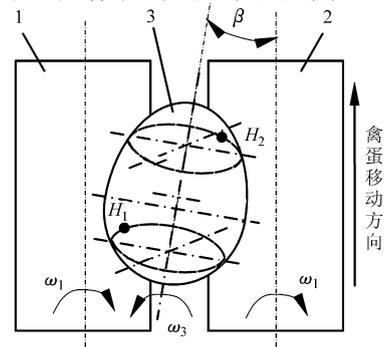


图3 禽蛋在支撑辊上的传动示意图

Fig.3 Schematic plot of transmission of egg on supporting rollers

1,2. 支撑辊子 3. 禽蛋

### 1.4 禽蛋在支撑辊上 4 种运动形态

在稳定运动阶段, 根据支撑辊子移动的方向和禽蛋小头的指向, 禽蛋与支撑辊子运动关系有 4 种形态, 如图 4 所示。当输送支撑辊子移动方向一定, 而支撑辊子上的禽蛋小头指向不同时, 禽蛋沿支撑辊子轴向移动方向也不同, 使大小头指向不同的禽蛋按小头指向进行分列。从 4 种运动状态可知, 运动状态取决于支撑辊子移动方向和禽蛋小头的指向, 因此实际上 4 种运动状态可以看成 1 种运动状态。

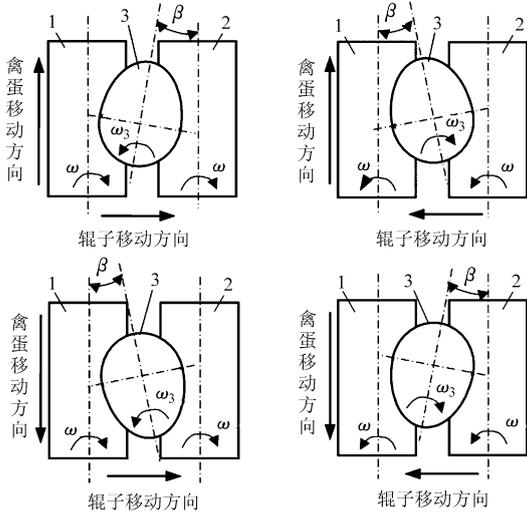


图 4 禽蛋在支撑辊上 4 种运动状态

Fig. 4 Four motion statuses of egg on supporting rollers

1、2. 支撑辊子 3. 禽蛋

## 2 禽蛋轴向运动的运动学和动力学分析

由于禽蛋大小头自动排列系统设计中禽蛋轴向运动的位移参数是核心参数, 因此以下侧重分析轴向移动。

设禽蛋两侧支撑辊子半径为  $r$ , 支撑辊子 (驱动轮) 与禽蛋有两接触点, 支撑辊子上的接触点为  $H'_1$ 、 $H'_2$ , 禽蛋上的接触点为  $H_1$ 、 $H_2$ ;  $H'_1$ 、 $H'_2$  点相对于支撑辊质心的线速度 (绝对速度) 为  $v_1$ 、 $v_2$  ( $v_1 = v_2$ ),  $H_1$ 、 $H_2$  点相对于禽蛋质心的速度为  $v_{rH_1}$ 、 $v_{rH_2}$ ,  $H_1$ 、 $H_2$  点的绝对速度为  $v_{aH_1}$ 、 $v_{aH_2}$ , 支撑辊的角速度为  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  ( $\omega_1 = \omega_2$ ) (即可不考虑辊子的输送运动), 禽蛋的角速度为  $\omega_3$ , 禽蛋质心  $C$  的速度为  $v_{3C}$ ,  $H_1$ 、 $H_2$  接触点处禽蛋的半径分别为  $r_{H_1}$ 、 $r_{H_2}$ , 禽蛋上  $H_1$ 、 $H_2$  点相对于支撑辊上  $H'_1$ 、 $H'_2$  点的相对速度分别为  $v_{31}$ 、 $v_{32}$ ; 禽蛋上接触点  $H_1$ 、 $H_2$  点所受摩擦力为  $F_{13}$ 、 $F_{23}$ 。

### 2.1 静止状态

支撑辊与禽蛋都处于静止状态或禽蛋相对于支撑辊子处于静止状态 (瞬间), 禽蛋的长轴径线与支撑辊轴线成一交错角  $\theta$  (在垂直面内) (图 2)。

### 2.2 初始运动状态时禽蛋水平偏转分析

假设禽蛋处于初始运动状态, 支撑辊作等速旋转运动, 而禽蛋处于旋转起始状态, 此时禽蛋的长轴径线与支撑辊轴线仍成一交错角  $\theta$  (在垂直面内), 如图 5 所示, 其中  $B$  向、 $C$  向图中粗虚线为禽蛋与支撑辊子接触点方位。

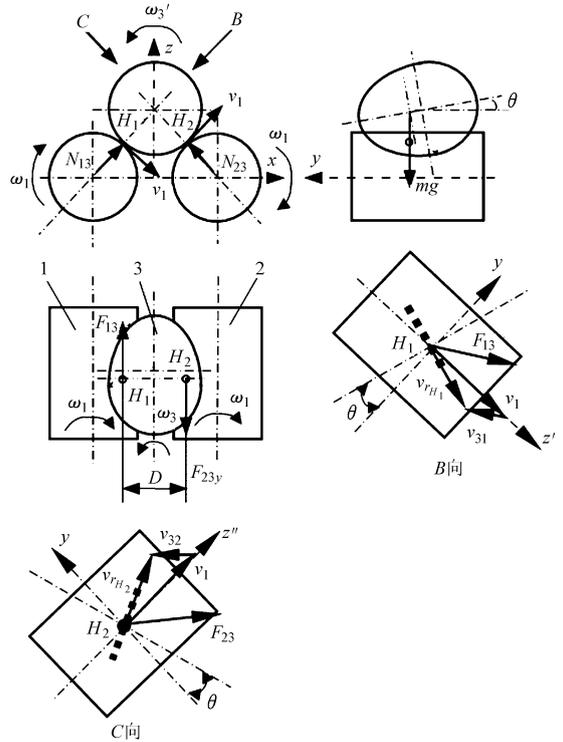


图 5 禽蛋轴向运动起始状态力分析

Fig. 5 Mechanical analysis of initial axial motion status of egg

1、2. 支撑辊子 3. 禽蛋

设支撑辊以角速度  $\omega_1$  旋转, 此时

$$v_1 = \omega_1 r \tag{1}$$

设禽蛋起始旋转角速度为  $\omega'_3$ , 此时

$$v_{rH_1} = \omega'_3 r_{H_1} \tag{2}$$

$$v_{rH_2} = \omega'_3 r_{H_2} \tag{3}$$

$$v_{3C} = 0 \tag{4}$$

$$v_{aH_1} = v_{rH_1} \tag{5}$$

$$v_{aH_2} = v_{rH_2} \tag{6}$$

则禽蛋上  $H_1$ 、 $H_2$  点相对于支撑辊上  $H'_1$ 、 $H'_2$  点的相对速度为

$$v_{31} = v_{aH_1} - v_1 = v_{rH_1} - v_1 \tag{7}$$

$$v_{32} = v_{aH_2} - v_1 = v_{rH_2} - v_1 \tag{8}$$

由理论力学原理可知, 摩擦力的方向总是与相对运动趋势方向相反, 禽蛋  $H_1$ 、 $H_2$  接触点上便获得了与  $v_{31}$ 、 $v_{32}$  方向相反的摩擦力  $F_{13}$ 、 $F_{23}$ , 而且  $F_{13}$ 、 $F_{23}$  在  $y$  轴上的分量方向相反 (图 5)。两分量形成了一个力偶, 使禽蛋产生 (近似水平面内) 偏转, 偏转角为  $\beta$ 。

### 2.3 初始运动状态时禽蛋轴向运动分析

假设禽蛋的长轴径线与支撑辊轴线成一交错角 $\beta$ 之后,禽蛋在两支支撑辊的作用下绕其自身轴线转动,而禽蛋轴向运动处于起始状态,如图6所示。其中 $G$ 向、 $E$ 向图中粗虚线为禽蛋与支撑辊子接触点方位。

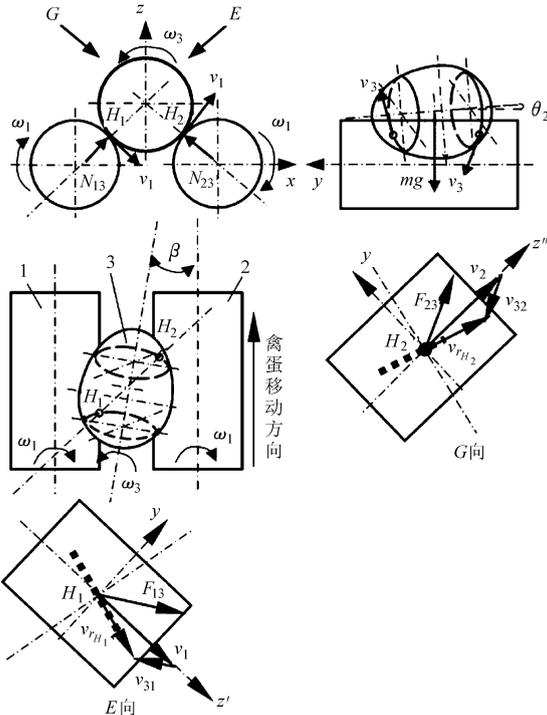


图6 禽蛋轴向运动稳定状态力分析

Fig. 6 Analysis of steady state of axial motion of eggs

1、2. 支撑辊子 3. 禽蛋

设禽蛋角速度为 $\omega_3$ ,则

$$v_{rH_1} = \omega_3 r_{H_1} \quad (9)$$

$$v_{rH_2} = \omega_3 r_{H_2} \quad (10)$$

$H_1$ 、 $H_2$ 点的绝对速度为

$$v_{aH_1} = v_{rH_1} + v_{3C} = v_{rH_1} \quad (11)$$

$$v_{aH_2} = v_{rH_2} + v_{3C} = v_{rH_2} \quad (12)$$

则禽蛋上 $H_1$ 、 $H_2$ 点相对于支撑辊上 $H'_1$ 、 $H'_2$ 点的相对速度为

$$v_{31} = v_{rH_1} - v_1 \quad (13)$$

$$v_{32} = v_{rH_2} - v_1 \quad (14)$$

由图7可以看出, $v_{31}$ 、 $v_{32}$ 在 $y$ 轴上有了分量,分量方向为 $y$ 轴正方向。因此,禽蛋所受的摩擦力 $F_{13}$ 、 $F_{23}$ 在 $y$ 轴上也有分量,且分量方向为 $y$ 轴正方向,设合力为 $F_y$ 。 $F_y$ 使得禽蛋在 $y$ 轴上产生了一个平动的加速度 $a_y$ , $F_y = ma_y$  ( $m$ 为禽蛋质量)。

由于禽蛋在 $x$ 方向的运动被约束,因此禽蛋质心 $C$ 的加速度为

$$a_C = a_y \quad (15)$$

从而使禽蛋在支撑辊轴线方向上产生了运动(移动)。

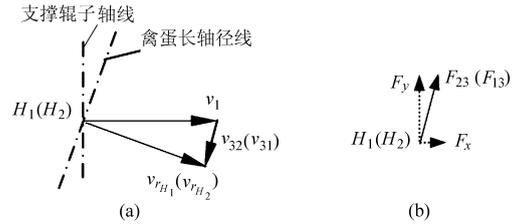


图7 禽蛋的运动和受力分析

Fig. 7 Analysis of motion and stress of eggs

(a) 接触点速度分析 (b) 接触点力分析

### 2.4 稳定运动状态时轴向运动分析

#### 2.4.1 纯滚动时

禽蛋与支撑辊子之间的传动属于非纯滚动摩擦传动,但为了便于分析非纯滚动时的相对速度,假设其传动为纯滚动摩擦传动。

支撑辊子接触点 $H'_1$ 、 $H'_2$ 绝对速度为 $v_1$ ,禽蛋接触点 $H_1$ 、 $H_2$ 的绝对速度为

$$v_{aH_1} = v_{rH_1} + v_{3C} \quad (16)$$

$$v_{aH_2} = v_{rH_2} + v_{3C} \quad (17)$$

纯滚动条件为

$$v_{aH_1} = v_1 \quad (18)$$

$$v_{aH_2} = v_1 \quad (19)$$

即得

$$v_1 = v_{rH_1} + v_{3C} \quad (20)$$

$$v_1 = v_{rH_2} + v_{3C} \quad (21)$$

根据速度关系(图8a),进一步可得

$$v_{3C} = v_1 \tan\beta \quad (22)$$

$$v_{rH_1} = v_1 / \cos\beta \quad (23)$$

$$v_{rH_2} = v_1 / \cos\beta \quad (24)$$

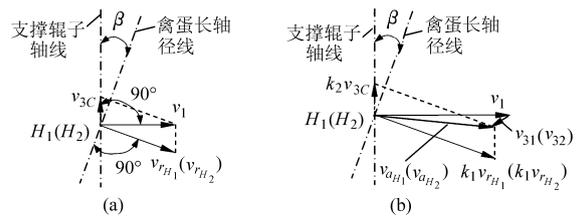


图8 稳定状态时禽蛋的运动分析

Fig. 8 Analysis of egg's motion in steady status

(a) 纯滚动 (b) 非纯滚动

#### 2.4.2 非纯滚动时

禽蛋接触点 $H_1$ 、 $H_2$ 的绝对速度为

$$v_{aH_1} = k_2 v_{3C} + k_1 v_{rH_1} \quad (25)$$

$$v_{aH_2} = k_2 v_{3C} + k_1 v_{rH_2} \quad (26)$$

切向滑动系数 $k_1$ 和轴向滑动系数 $k_2$ 均小于1,切向滑动系数 $k_1 \approx 1$ ,轴向滑动系数 $k_2 < k_1$ <sup>[12]</sup>;由于 $k_2 v_{3C}$ 、 $k_1 v_{rH_1}$ 、 $k_2 v_{3C}$ 、 $k_1 v_{rH_2}$ 的方向是确定的,而且 $k_2 v_{3C} < v_{3C}$ ,而 $k_1 v_{rH_1} \approx v_{rH_1}$ 、 $k_1 v_{rH_2} \approx v_{rH_2}$ 。因此,合成的接触点的绝对速度 $v_{aH_1}$ 、 $v_{aH_2}$ 在 $v_1$ 的下方(由纯滚动分析可

知),如图 8b 所示。

禽蛋上  $H_1$ 、 $H_2$  点相对于支撑辊上的  $H'_1$ 、 $H'_2$  点的相对速度为

$$v_{31} = v_{a_{H_1}} - v_1 \quad (27)$$

$$v_{32} = v_{a_{H_2}} - v_1 \quad (28)$$

$F_{31}$ 、 $F_{32}$  与  $v_{31}$ 、 $v_{32}$  方向相反,  $F_{31}$ 、 $F_{32}$  在支撑辊轴线方向有分量,使禽蛋产生轴向运动(移动)。

### 2.4.3 禽蛋稳定偏转分析

设稳定运动时禽蛋的长轴径线与支撑辊轴线成一交错角  $\beta$ ,禽蛋接触点  $H_1$ 、 $H_2$  所受的力为  $F_{13}$ 、 $F_{23}$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{23}$ ,以及重力  $mg$ ,将禽蛋所受的力向  $xOy$  平面分解(图 6),可得  $F_{13x}$ 、 $F_{23x}$ 、 $F_{13y}$ 、 $F_{23y}$ 、 $N_{13x}$ 、 $-N_{23x}$ ,其对  $z$  轴的力矩为(逆时针为正)

$$F_{13x}l_1 + F_{23y}l_4 + N_{13x}l_5 + N_{23x}l_6 - F_{23x}l_2 - F_{13y}l_3 = 0 \quad (29)$$

虽然每个参数都是变化的,但在适当位置时可以到达平衡。因此,平衡时禽蛋的长轴径线与支撑辊轴线之间形成一个稳定的交错偏转角  $\beta$ 。

根据上述禽蛋轴向运动的运动学和动力学分析,结合交错轴摩擦轮传动原理<sup>[13-14]</sup>可知,禽蛋与支撑辊子之间的传动关系属于交错轴摩擦轮传动关系,而且是特殊的交错轴摩擦轮传动,特殊性在于禽蛋转动轴是非固定支撑轴。

## 2.5 禽蛋轴向移动参数的计算与分析

### 2.5.1 禽蛋轴向运动位移的计算方法

根据交错轴摩擦轮传动原理<sup>[12-13]</sup>可知,从动轮轴向位移  $s'$  计算公式为

$$s' = \pi d n t' \tan \varphi / 60 \quad (30)$$

式中  $d$ ——主动摩擦轮(辊)的直径,mm

$n$ ——主动摩擦轮(辊)的转速,r/min

$\varphi$ ——主动摩擦轮(辊)与从动摩擦轮之间的夹角,(°)

$t'$ ——交错轴摩擦轮(辊)传动工作时间,s

而禽蛋在支撑辊子上轴向位移  $s_1$  的理论计算公式为

$$s_1 = v t \tan \beta(t) \quad (31)$$

式中  $v$ ——链辊输送速度,mm/s

$t$ ——禽蛋运动时间,s

$\beta(t)$ —— $t$  时刻的水平偏转角

考虑禽蛋与支撑辊子存在相对滑动和偏转角的变化,禽蛋在支撑辊子上轴向位移  $s_1$  的实际计算公式为

$$s_1 = k v t \tan \beta(t) \quad (32)$$

式中  $k$ ——修正系数

### 2.5.2 禽蛋轴向移动参数的分析

由于轴向运动 3 阶段中起始运动阶段在很短时间内完成,轴向移动量很小,因此仅对过渡运动和稳定运动两阶段的移动参数进行分析。假设  $t_j$  为过渡运动阶段和稳定运动阶段时间分界点, $\beta(t_j)$  为稳定运动阶段的水平偏转角。

由式(32)可得两阶段禽蛋轴向位移计算公式为

$$s_1 = \begin{cases} k v t \tan \beta(t) & (0 < t \leq t_j) \\ k v t \tan \beta(t_j) & (t > t_j) \end{cases} \quad (33)$$

对式(33)求导可得两阶段禽蛋轴向移动速度计算公式为

$$v_1 = \begin{cases} k v \frac{1}{\cos^2 \beta(t)} \beta'(t) & (0 < t \leq t_j) \\ k v \tan \beta(t_j) & (t > t_j) \end{cases} \quad (34)$$

对式(34)求导可得两阶段禽蛋轴向移动加速度计算公式为

$$a_1 = \begin{cases} k v \left( \frac{1}{\cos^2 \beta(t)} \right)' \beta''(t) & (0 < t \leq t_j) \\ 0 & (t > t_j) \end{cases} \quad (35)$$

由于禽蛋在过渡运动阶段作轴向运动时水平偏转角不断增大,而且禽蛋尺寸及其表面状况、支撑辊子直径及其表面状况、辊间中心距、支撑辊子转速等因素对水平偏转角的大小影响很大,目前难以用理论直接解析, $t_j$ 需通过试验确定。

## 2.6 支撑辊子与禽蛋传动关系模型

根据交错轴摩擦轮传动原理<sup>[15]</sup>,支撑辊子 1 与禽蛋传动关系形成交错轴摩擦轮传动关系,支撑辊子 2 相当于辅助轮,其实在本结构中禽蛋与支撑辊子 2 传动关系也形成交错轴摩擦轮传动关系,禽蛋在两支撑辊子共同作用下实现可靠的轴向运动。禽蛋在输送旋转支撑辊上轴向运动传动原理即支撑辊子与禽蛋传动关系模型如图 9 所示。

## 3 试验验证

### 3.1 试验材料与设备

#### 3.1.1 试验材料

市售新鲜洋鸡蛋,购于江苏大学超市,选用洁净、无斑纹、无破损的禽蛋 40 枚。

#### 3.1.2 试验设备

(1)禽蛋轴向运动测定装置由禽蛋大小头自动定向排列装置(辊轴直径 30 mm,辊轴中心距 57 mm,定向装置输送速度 57 mm/s)、三脚架(SLX-1MINI,上海海鸥公司)、数码相机(Power Shot A1100IS,日本佳能公司)和辅助标尺构成,如图 10 所示。

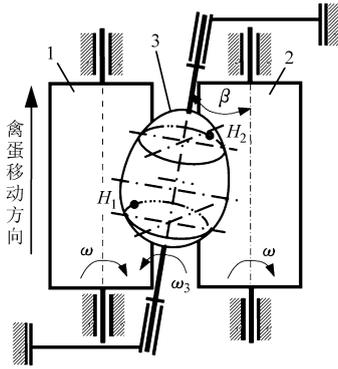


图9 禽蛋轴向运动传动原理示意图

Fig. 9 Schematic plot of transmission principle of egg axial motion

1, 2. 支撑辊子 3. 禽蛋



图10 禽蛋轴向运动测定装置

Fig. 10 Determination of axial motion of eggs

(2) 0 ~ 150 mm 电子数显游标卡尺(分辨力 0.01 mm), 上海量具刃具厂。

### 3.2 试验方法

#### 3.2.1 禽蛋轴向运动视频的摄录

在禽蛋大小头自动定向排列装置上设置三脚架, 将数码相机固定于三脚架的基座上, 使数码相机镜头正对禽蛋轴向运动区域。数码相机相对于定向装置的输送面的高度为 500 mm。为了准确读取图像中的禽蛋位移, 在禽蛋轴向运动区域旁固定一标尺, 标尺方向平行于辊轴轴向。

将禽蛋放置于拍摄区域的轴向运动起始点, 同时启动定向装置输送系统和相机摄录开关, 直至禽蛋运动到辊轴的另一端, 拍摄禽蛋轴向运动的全过程, 每枚禽蛋重复 3 次。

#### 3.2.2 禽蛋轴向运动图像的截取

对摄录的每个禽蛋轴向运动图像运用 WIN7 中的 Windows Media Player 播放器, 逐帧播放摄录的视频(30 帧/s)。以视频中定向装置的启动时刻作为禽蛋轴向运动的起始时刻(第 0 帧图像), 截取视频中每秒钟内的第 0 帧、第 15 帧、第 30 帧图像。

#### 3.2.3 禽蛋轴向运动参数的计算

从截取的图像中读取禽蛋轴向运动的相对位

置, 计算禽蛋轴向运动位移、禽蛋轴向运动速度、禽蛋轴向运动加速度, 同时计算禽蛋水平偏转角。

#### (1) 禽蛋轴向移动位置值的读取

用 Windows 附件中的画图软件读取截取的视频图像, 用直线功能作与禽蛋小头端点相切的水平线并延长至标尺刻度线, 读取标尺上该处的刻度值, 即为禽蛋  $t$  时刻轴向移动位置  $s_t$ 。

#### (2) 禽蛋轴向移动平均位移的计算

$t$  时段初时刻和末时刻分别为  $t_1$  和  $t_2$ , 两时刻的截图中禽蛋轴向运动位移分别为  $s_{t_1}$ 、 $s_{t_2}$ ,  $t$  时段位移为

$$s = s_{t_2} - s_{t_1} \quad (36)$$

#### (3) 禽蛋轴向移动平均速度的计算

$t$  时段初时刻和末时刻分别为  $t_1$  和  $t_2$ , 两时刻的截图中禽蛋轴向运动位移分别为  $s_{t_1}$ 、 $s_{t_2}$ ,  $t$  时段平均速度为

$$v = (s_{t_2} - s_{t_1}) / (t_2 - t_1) \quad (37)$$

#### (4) 禽蛋轴向移动加速度的计算

$t$  时段初时刻和末时刻分别为  $t_1$  和  $t_2$ , 两时刻的平均速度分别为  $v_{t_1}$ 、 $v_{t_2}$ ,  $t$  时段平均加速度为

$$a = (v_{t_2} - v_{t_1}) / (t_2 - t_1) \quad (38)$$

#### (5) 禽蛋长轴径的水平偏转角计算

用 Windows 附件中的画图软件读取截取的视频图像, 在图中用直线功能作从小头端端点到大头端端点的直线段, 在窗口下方读取该直线段在水平与垂直方向上的像素值  $P_x$  和  $P_y$ , 则禽蛋长轴径的水平偏转角  $\beta$  为

$$\beta = \frac{180 \arctan(P_x/P_y)}{\pi} \quad (39)$$

### 3.3 结果与分析

#### 3.3.1 轴向运动参数和水平偏转角

图 11 为 40 枚洋鸡蛋 7 s 内禽蛋轴向运动参数的测定结果。禽蛋在 0 ~ 3 s 内水平偏转角迅速增大, 3 s 以后趋于稳定。因此, 禽蛋轴向运动过程可以分成 3 个阶段, 分别为起始运动、过渡运动阶段和稳定运动阶段(图 11a)。禽蛋轴向位移在 0 ~ 3 s 内的前段比较小、后段增加比较大, 3 s 以后轴向位移增量比较稳定(图 11b)。禽蛋轴向运动速度在 0 ~ 3 s 内迅速增加, 3 s 以后速度变化趋于平稳(图 11c)。禽蛋轴向运动加速度在 0 ~ 3 s 内变化比较大, 3 s 以后加速度变化较小, 平均加速度值也比较小, 由此可以确定  $t_f$  为 3 s(图 11d)。因此, 禽蛋 3 s 前后的轴向运动状态与理论分析结果吻合。

#### 3.3.2 水平偏转角和轴向运动位移

由于禽蛋大小头自动排列设计的核心参数是禽蛋轴向运动距离, 为此主要对水平偏转角和轴向运

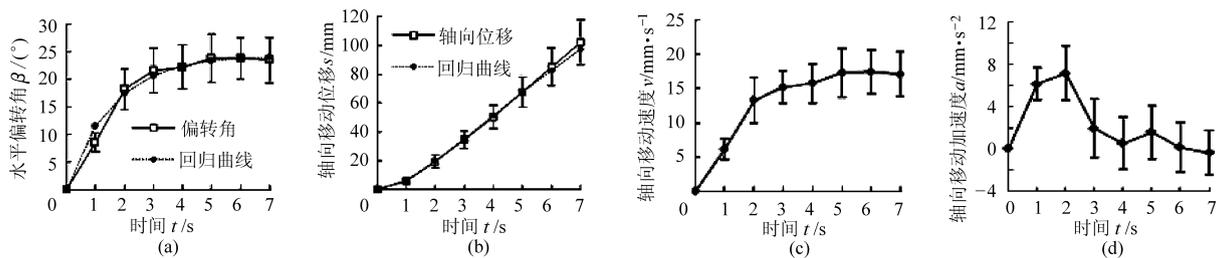


图 11 7 s 内禽蛋轴向运动参数

Fig. 11 Changes of egg's horizontal deflection angle in 7 s

动位移进行回归统计分析。

3 s 内禽蛋水平偏转角近似线性增加,3 s 后基本稳定。对 7 s 内禽蛋水平偏转角的回归分析,其变化规律为  $\beta(t) = 24.30(1 - e^{-0.64t})$ , 决定系数  $R^2$  为 0.992。

由于受禽蛋水平偏转角的影响,3 s 内轴向运动位移量随时间逐渐递增,3 s 后随时间稳定递增,对 7 s 内禽蛋轴向运动位移的理论计算值与试验值进行回归分析,其变化规律为  $57kttan(24.30(1 - e^{-0.64t}))$ , 其中  $k$  取 0.55, 决定系数  $R^2$  为 0.998。因此,禽蛋轴向运动实际位移的变化规律与理论分析的结果式(32)吻合。 $k$  的大小取决于禽蛋与支撑辊子接触状况、输送速度、禽蛋、输送支撑辊子直径和辊间中心距等。禽蛋轴向运动位移量设计计算时也

可以进行分段计算。

## 4 结论

(1) 从理论上阐明了禽蛋在支撑辊子上轴向运动的机理和禽蛋与支撑辊子之间的传动关系是交错轴摩擦轮传动关系;建立了禽蛋轴向位移理论计算方法。经试验验证,禽蛋轴向移动的实际位移的变化规律与理论分析吻合。

(2) 建立了禽蛋轴向运动参数测试方法和实际计算方法,明确了禽蛋轴向运动的基本规律,提出了禽蛋轴向位移实际计算的修正模型。

(3) 构建了禽蛋与支撑辊子之间的传动关系模型。

(4) 阐明了禽蛋在支撑辊子上轴向运动 4 种形态的统一性。

## 参 考 文 献

- 王树才,陈文凯. 欲成其事,先利其器——论我国的蛋品加工装备[J]. 农业工程技术·农产品加工业,2009(6): 28~33.
- Thomas O, Lee H. Egg orientation means: US 4382501[P]. 1983-05-10.
- Meyn P. Apparatus for orientating eggs in a egg handling systems: US 4645058[P]. 1987-02-24.
- Leonardus J, Willem C M, Johan H. Egg orienting apparatus: US 5176243[P]. 1993-01-05.
- Doornekamp M, van Veldhuisen W, de Greef W M. Apparatus for orienting eggs on a second conveyor with points to one side: US 5749453[P]. 1998-10-21.
- 南部 幸男. 卵の方向整列装置: 日本, 実開平 7-21504[P]. 1995-04-18.
- 山下 剛. 卵の方向整列装置: 日本, 特開平 11-147508[P]. 1999-06-02.
- 近藤 林. 鶏卵の方向を揃える装置: 日本, 特開平 9-150938[P]. 1997-06-10.
- 姜松, 王国江, 漆虹, 等. 禽蛋大小头自动定向排列系统设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 113~117.  
Jiang Song, Wang Guojiang, Qi Hong, et al. Design of automatic orientation system of blunt and tip sides of eggs[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 113~117. (in Chinese)
- 姜松, 蒋晓峰, 陈章耀, 等. 禽蛋在输送支撑辊上倾角影响因素的理论分析与试验验证[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 244~250.  
Jiang Song, Jiang Xiaofeng, Chen Zhangyao, et al. Theoretical analysis and experimental verification on influencing factors of obliquity of eggs on conveyor supporting rollers [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(13): 244~250. (in Chinese)
- 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学: II [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 120~121.
- 许云祥. 钢管生产[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 45~46.
- 陈粤. 斜轮——光轴摩擦传动的设计[J]. 机械设计, 1994(6): 22~24, 30.  
Chen Yue. Design of friction drive with slant wheel and plain shaft [J]. Journal of Machine Design, 1994(6): 22~24, 30. (in Chinese)
- 袁传大, 刘卫华. 光轴螺旋传动[J]. 机械传动, 1991(5): 37~41.
- 罗兵, 李圣怡, 李艾利. 超精密扭轮摩擦传动动力学研究[J]. 国防科技大学学报, 1998, 20(3): 99~102.  
Luo Bing, Li Shengyi, Li Aili. Dynamic analysis of an ultra precision twist-roller friction drive [J]. Journal of National University of Defense Technology, 1998, 20(3): 99~102. (in Chinese)