

组合式轴流装置稻谷运动仿真及高速摄像验证^{*}

陶桂香 衣淑娟

(黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

【摘要】 根据运动学原理,建立了螺旋叶片板齿组合式轴流装置中稻谷的运动模型。通过计算机仿真得到了谷物运动的切向速度、轴向速度、绝对速度随时间的变化规律。谷物运动中的切向速度大于轴向速度,切向速度是构成绝对速度的主导因素,并利用高速摄像进行了验证,验证结果表明理论仿真结果与试验相一致。

关键词: 联合收获机 轴流装置 运动 仿真 高速摄像

中图分类号: S225.3

文献标识码: A

Simulation of the Rice Motion Model in Axial Threshing Device

Tao Guixiang Yi Shujuan

(College of Engineering, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, China)

Abstract

According to the fundamental of kinematic, a motion model of rice in the assembled plank-tooth and helical vanes axial flow threshing and separating device was established. Through computer simulating, the variable rule of grain tangential velocity, axial velocity, absolute velocity and time has been obtained. The results indicated that grain tangential velocity is greater than axial velocity, tangential velocity is the chief ingredient in the making of absolute velocity, through high-speed photography validating, the result indicated that the test according to those motion models agreed to the theory, and the analytic result laid a solid foundation for the development of the device.

Key words Combine harvester, Axial device, Motion, Simulation, High-speed photography

引言

组合式轴流脱分装置是轴流式联合收获机的核心部件。多年来,国内外学者对轴流装置的工作机理和参数进行了广泛的研究^[1~7]。目前,利用高速摄像技术对此种轴流脱粒与分离装置研究的报道还不多见。本文拟从运动学的角度,利用理论推导与仿真相结合的方法,建立组合式轴流脱粒空间内谷物的运动学模型,通过计算机动态仿真,探讨轴流稻谷在组合式轴流装置内运动规律,利用高速摄像进行验证。

1 数学模型的建立

1.1 基本假设条件

根据组合式轴流装置的作业特点^[1],结合高速

摄像观察分析,提出以下假设条件:①谷物流紧贴由滚筒外缘与螺旋叶片所形成的空间内,沿着螺旋叶片作稳定的连续流动,忽略谷层之间的相对滑动。②脱粒过程中谷物连续均匀喂入。

1.2 数学模型的建立

根据谷物在整个脱粒过程的运动分析和假设条件,沿脱粒滚筒螺旋叶片方向,距脱粒滚筒喂入端任意处取微元段 ds ,所取微元段较小,其形状对运动的影响可忽略。进入脱粒空间后,在螺旋叶片的带动下,微元体相对滚筒作螺旋运动,同时滚筒作定轴匀速转动,其运动轨迹可分解为牵连运动和相对运动,牵连运动为微元体所在叶片位置的定轴转动;相对运动为谷物相对于滚筒沿螺旋叶片作螺旋运动。建立坐标系 τ 、 n 、 z (τ 为滚筒面切线方向, n 为滚筒面法线方向, z 为滚筒轴线方向),3 个坐标轴方向

收稿日期:2008-02-18 修回日期:2008-09-21

^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060223001)

作者简介:陶桂香,讲师,主要从事收获机械研究,E-mail: xxx6818869@163.com

通讯作者:衣淑娟,教授,博士生导师,主要从事收获机械研究,E-mail: yishujuan_2005@126.com

上的速度、加速度由分量来表示,如图 1 所示。

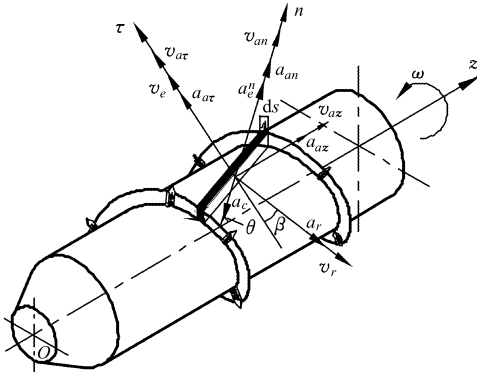


图 1 微元体示意图

Fig.1 Schematic of the infinitesimal

1.2.1 速度方程

在整个脱粒过程中,根据速度合成定理^[8]得稻谷绝对速度在 3 个坐标轴 τ 、 n 、 z 上的投影方程为

$$\begin{cases} v_{a\tau} = v_e - v_{r\tau} \\ v_{az} = v_r \sin\beta \\ v_{an} = v_{rn} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $v_e = \omega R$ $v_{r\tau} = R\dot{\theta}$ $v_{rn} = \int R\theta dt$
 $R = r + c$ $v_r = v_{r\tau} + v_{rn} + v_{rz}$

式中 v_e ——牵连速度,方向为稻谷所在滚筒位置的切线方向

v_r ——相对速度,沿螺旋叶片方向

$v_{r\tau}$ 、 v_{rn} 、 v_{rz} ——相对速度在 τ 、 n 、 z 上投影

β ——螺旋叶片升角

R ——稻谷转动半径 r ——滚筒半径

c ——螺旋叶片高度 ω ——滚筒角速度

θ ——稻谷与旋转滚筒间的相对角位移

1.2.2 加速度方程

在整个脱粒过程中,根据加速度合成定理^[8]得稻谷绝对加速度在 3 个坐标轴 τ 、 n 、 z 上的投影方程为

$$\begin{cases} a_{a\tau} = -a_{r\tau} \\ a_{an} = a_e^n + a_{rn} - a_c \\ a_{az} = a_r \sin\beta \end{cases} \quad (2)$$

其中 $a_{rn} = R\dot{\theta}^2$ $a_e^n = \omega^2 R$ $a_{an} = 0$

$a_c = 2\omega \times v_r = 2\omega \dot{\theta} R \cos\beta$

式中 a_r ——相对加速度,方向沿螺旋叶片所形成的螺旋线方向

$a_{r\tau}$ ——相对加速度在 τ 上的投影

a_{rn} ——相对加速度在 n 上的投影

a_e^n ——牵连运动作定轴转动引起的法向加速度

a_c ——科氏加速度

将各变量代入式(1)、(2)得

$$\ddot{\theta} = \frac{\dot{\theta}^2 + \omega^2}{2\omega \cos\beta} \quad (3)$$

$$v_{az} = \frac{\omega^2 R + \dot{\theta}^2 R}{2\omega \cot\beta} \quad (4)$$

$$v_{a\tau} = (\omega - \dot{\theta})R \quad (5)$$

2 仿真分析与结果讨论

结合初始条件和结构参数, $t = 0$ 时, $\theta(0) = 0$, $\dot{\theta}(0) = 0$, 利用 Matlab 进行仿真。

2.1 谷物的切向速度、轴向速度、绝对速度随时间的变化关系

谷物的切向速度、轴向速度、绝对速度与时间的关系曲线如图 2 所示。由图可知,随时间增加切向速度下降,但下降的幅度较小,当时间增加至 3 s 时,切向速度下降不足 0.1 m/s。轴向速度随脱分时间的增加而增加,但增加幅度较小,当时间增至 3 s 时,轴向速度增加不到 0.05 m/s。绝对速度的变化规律与切向速度变化规律相似。且谷物运动中切向速度大于轴向速度,切向速度是构成绝对速度的主导因素。

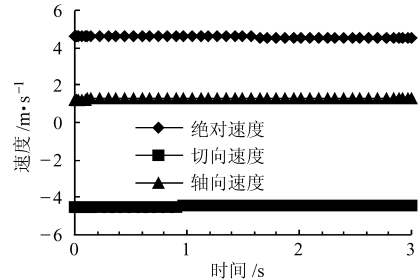


图 2 速度与时间关系仿真曲线

Fig.2 Relationship between velocity and time by simulation

2.2 仿真模型的验证

试验用水稻为松粳 9 号,平均长度 550~850 mm,谷草比 1:1.2,稻谷含水率 15%,滚筒转速 500 r/min、顶距 30 mm、凹板间隙 30 mm、喂入量 1.5 kg/s。所用高速摄像机由美国 Vision Research 公司生产,型号 V5.1,分辨率为 1 024 × 1 024 像素。拍摄频率采用 1 500 帧/s(相邻两帧图片的时间间隔 0.667 ms),采用两侧光源(每个光源 1 300 W),顶面拍摄,拍摄距离 1 263 mm。图片采集间隔选定为 10 帧以上。

验证结果如图 3 所示。与理论模型仿真得到的结果进行对比分析表明:①两幅图中稻谷在脱粒空间内运动速度随时间的变化规律相似,速度波动较小,近似作匀速直线运动,稻谷主要沿滚筒切线方向运动。在开始时 v_r 较高,是轴向速度 v_z 的 2 倍左

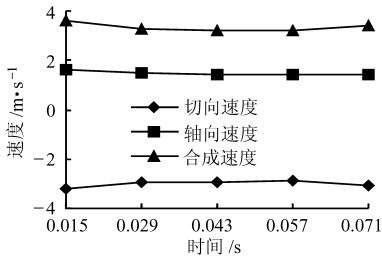


图3 速度与时间关系曲线

Fig. 3 Relationship between relative velocity of grain and time by high-speed photography

右,是构成合成速度的主要因素,随着脱粒时间的延续, v_r 略有下降而后缓慢增加, v_z 在整个脱粒过程中速度变化较平缓, v_r 始终是合成速度变化的主要因素,稻谷运动主要是沿滚筒切线方向移动。②理论模型仿真得到的速度较稳定,其值为4~5 m/s,

高速摄像采集到的5处稻谷速度有波动,最小速度值为2 m/s,最大速度值为5 m/s。可见,稻谷在实际运动过程中会受到许多不可避免的因素影响,如人为的影响、数据采集过程中的误差及脱粒过程中风力等的影响。

3 结束语

针对螺旋叶片板齿组合式轴流装置的特点,在假设基础上建立了稻谷在脱粒分离空间的运动模型。经仿真分析得出:轴向速度随脱分时间的增加逐渐增加,切向速度逐渐减少,但变化幅度较小,且切向速度远大于轴向速度,切向速度是构成合成速度的主导因素。利用高速摄像进行了验证,验证结果表明理论仿真结果与试验相一致。

参 考 文 献

- 1 衣淑娟 螺旋叶片板齿组合式轴流装置理论与试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2007.
Yi Shujuan. Study on assembled plank-tooth and helical vanes axial flow device theory and experiment [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 2 Huynh V M, Powell T. Threshing and separating process—a mathematical model[J]. Transactions of the ASAE, 1982, 20(1):65~73.
- 3 王岳. 轴流装置脱粒和茎叶破碎机理的研究[J]. 农业机械学报, 1987, 18(1):81~90.
Wang Yue. Research on principle of grain threshing and straw breaking in the axial-flow threshing apparatus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1987, 18(1):81~90. (in Chinese)
- 4 孙进. 谷物脱粒损伤机理的研究现状及分析[J]. 农业装备技术, 2005(4):65~66.
Sun Jin. Analyzing of the damaging mechanism in grain threshing[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2005(4): 65~66. (in Chinese)
- 5 王岳, 王秀梅, 苏迎春. 轴流脱粒装置湿脱缠堵的机理和实验研究[J]. 农业机械学报, 1989, 20(3):57~64.
Wang Yue, Wang Xiumei, Su Yingchen. Research on analysis and experiment of straw twining in the process of threshing wet rice in the axial-flow thresher[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1989, 20(3):57~64. (in Chinese)
- 6 蒋恩臣. 割前摘脱装置及其吸运系统[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- 7 衣淑娟, 李敏, 孟臣. 谷物脱粒与分离装置试验数据采集系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1):100~103.
Yi Shujuan, Li Min, Meng Chen. Computer data acquisition system of grain threshing and separating installation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(1):100~103. (in Chinese)
- 8 哈尔滨工业大学力学教研室. 理论力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.
- 9 衣淑娟, 蒋恩臣. 轴流脱粒与分离装置脱粒过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5):52~55.
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High-speed photography analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5):52~55. (in Chinese)