

果蔬三维切丁机改进仿真模型及试验

Improved simulation model and test of three-dimensional dicing machine for fruits and vegetables

靳合琦 胡建平 杨德勇

JIN He-qi HU Jian-ping YANG De-yong

(江苏大学, 江苏 镇江 212013)

(Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

摘要:针对已有果蔬三维切丁断面易出现大弧形、倾斜等问题,采用虚拟样机技术,建立切丁机三维模型,并将其导入机械系统动力学分析软件 ADAMS 中,仿真分析推进滚筒与横切刀转速比在 0.11~0.22、推进滚筒中心与横切刀中心水平间距在 260~305 mm 时切得的不同丁断面形状。仿真结果表明,引起切丁断面倾斜的主要因素是推进滚筒转速和横切刀转速的不匹配,当推进滚筒与横切刀之间的中心水平间距为 280~300 mm、转速比 n_1/n_2 为 0.11~0.22 时,可取得较理想的切丁断面,其断面形状比较平直。为验证所得结论,在推进滚筒中心与横切刀中心水平间距 290 mm、转速比为 0.17 条件下,分别进行 10, 15, 20 mm 3 种规格的切削性能试验,试验结果表明切出的 3 种规格丁断面形状规整,断面偏差小,其断面相对偏差百分数最大为 12.7%,达到了国外同类先进产品质量标准。

关键词:果蔬;切丁机;断面形状;仿真;试验

Abstract: A virtual prototype technology was used to solve the problems of large arc and tilt of the diced section in three-dimensional dicing machines for fruits and vegetables, processing in this paper. A three-dimensional model was established and was imported into the mechanical system dynamics analysis software ADAMS. Different shapes of diced section were achieved when changing the rotator speed ratio from 0.11 to 0.22 and the central horizontal spacing between the impeller and the cross were cut from 260 mm to 310 mm. Simulation results showed that the main factor causing the incline of dicing section was the mismatch of speed between the pushing rotator and the cross cutting knife. The ideal dicing section with comparatively straight shape was achieved when the horizontal spacing be-

tween the pushing rotator and the cross-cutting knife center was 280~300 mm and speed ratio was 0.11~0.22. And then a cutting performance test of three sizes of 10 mm, 5 mm and 20 mm was conducted when the center distance is 290 mm and speed ratio is 0.17 between the pushing rotator and cross-cutting knife. The results showed that the neat dicing section shapes with small section deviation of three sizes were cutting out, among which maximum percentage of the section relative deviation was 12.7%, and our products could be up to the standards similar as the advanced international ones.

Keywords: fruits and vegetables; dicing machine; sectional form; simulation; test

为满足近年来中国果蔬加工业对大量鲜切果蔬制品的需求,克服传统手工切丁方法效率低、强度大等不足^[1-3],在吸收国外先进果蔬鲜切机械技术基础上,杨德勇等^[4]设计了一种新型果蔬三维切丁机,该机较好地解决了传统切丁机不能连续送料、连续切削、出料不流畅等问题,提高了工作效率,降低了工作强度,满足了果蔬加工业规模化生产的要求。但该切丁机还存在一定的不足,如切丁机由于推进滚筒和横切刀之间的转速比不匹配,以及两者之间的中心位置布置不合理,从而导致切丁断面易出现大弧形、倾斜等问题^[5-7]。本研究拟应用虚拟样机技术对现有果蔬三维切丁机进行运动学仿真分析,分析影响切丁断面质量的主要因素,对所得结论进行了实验验证,为改善切丁质量提供试验依据。

1 切丁机结构及工作原理

切丁机工作部件主要由推进滚筒、圆盘刀总成、横切刀总成组成,见图 1。加工时,首先将物料投入推进滚筒内,物料在离心力和挡板的推动下被切片刀切成片状,然后圆盘格栅刀切丝,最后由横切条刀切断达到切丁的目的。设计工作部件主要参数为:滚筒内径为 $R_1=200$ mm,设有 6 个挡板,

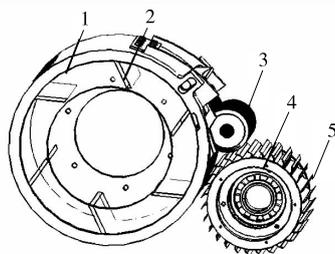
基金项目:江苏省农机三新工程(编号: NJ2013-14)

作者简介:靳合琦,男,江苏大学在读硕士研究生。

通讯作者:胡建平(1965—),男,江苏大学教授。

E-mail: hujp@ujs.edu.cn

收稿日期: 2016-03-20



1. 推进滚筒 2. 挡板 3. 圆盘刀总成 4. 横切刀总成 5. 横切刀

图1 切丁机结构三维模型

Figure 1 Three-dimensional model of fruits and vegetables dicing machine

圆盘刀刀盘半径 $R_2 = 45 \text{ mm}$, 横切刀刀尖轨迹半径 $R_3 = 110 \text{ mm}$ 。圆盘刀和横切刀数目可根据切丁规格调整。

2 切丁机虚拟样机建模

根据切丁机工作部件的设计参数在 UG4.0 中建立其三维实体模型, 并完成切丁机零件的装配, 从而建立了切丁机切削机构的虚拟样机^[8]。利用机械系统动力学分析软件 ADAMS/View 提供的模型数据交换接口 Parasolid 将建立好的模型导入到 ADAMS 中^[9-11]。在 ADAMS 中完成切削机构的约束副添加, 其中切片刀与推进滚筒、切片刀与横切刀座、横切刀与横切刀轴由固定副连接; 横切刀座与横切刀轴之间添加旋转副约束; 切片刀与地面之间添加滑移副, 一个旋转驱动, 一个滑移驱动, 见图 2。

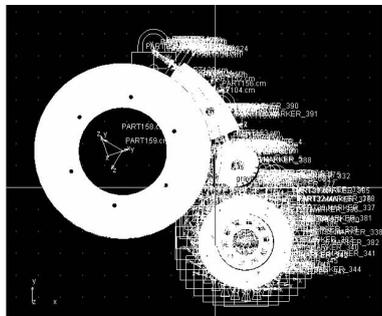


图2 切丁机切削机构的虚拟样机

Figure 2 Virtual prototype of fruits and vegetables dicing machine

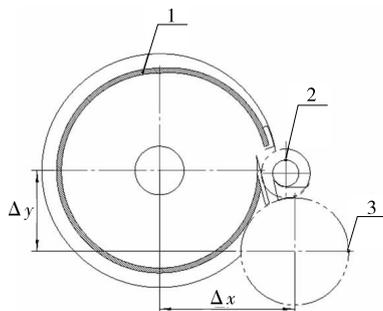
3 切丁断面形状的仿真分析

3.1 确定仿真条件

为使仿真结果与实际结果相符, 要求物料在切丁过程中产生较小的变形, 需要在推进滚筒和横切刀中心位置时使推进滚筒、圆盘刀及横切刀之间的三角区域较小, 即保证切丁机整机结构紧凑。推进滚筒和横切刀中心位置布置见图 3 和表 1。滚筒转速设为 120 r/min , 推进滚筒和横切刀之间的转速比 n_1/n_3 分别取 $0.11 \sim 0.22$, 切丁规格为 20 mm 。

3.2 仿真结果分析

三维切丁机切丁试验表明, 丁块断面不平整缺陷主要在横切刀切丁过程中产生, 其中推进滚筒和横切刀之间的转速



1. 推进滚筒 2. 圆盘刀 3. 横切刀

图3 切丁机工作部件布置图

Figure 3 Component distribution of fruits and vegetables dicing machine

表1 推进滚筒和横切刀中心位置布置

Table 1 Heart distribution of pushing cylinder and cutting knife

水平间距 $\Delta x/\text{mm}$	垂直间距 $\Delta y/\text{mm}$	水平间距 $\Delta x/\text{mm}$	垂直间距 $\Delta y/\text{mm}$
260.00	188.75	285.00	161.36
265.00	183.19	290.00	161.98
270.00	174.03	295.00	159.86
275.00	167.67	300.00	159.86
280.00	162.26	305.00	159.86

比及两者之间的中心位置布置对丁块断面质量有很大影响。为此, 利用反转法对切丁断面形状进行仿真分析, 使横切刀在逆时针旋转的同时沿切片刀向上移动, 得出横切刀刀尖点的坐标曲线, 即为切丁断面形状曲线, 从而为优化切丁机推进滚筒和横切刀中心位置布置及确定切丁机传动比提供依据。图 4 分别为某一推进滚筒和横切刀中心水平间距下, 不同推进滚筒和横切刀之间转速比 n_1/n_2 的切丁断面形状曲线图。

由图 4 可知, 在推进滚筒和横切刀之间的转速比 n_1/n_2 为 $0.11 \sim 0.22$ 情况下, 当推进滚筒与横切刀中心水平间距为 $260 \sim 275 \text{ mm}$ 时, 切丁断面形状为倾斜面, 且随着转速比的增大断面倾斜越明显; 当推进滚筒与横切刀中心水平间距为 $280 \sim 300 \text{ mm}$ 时, 可取得较理想的切丁断面, 其断面形状比较平直; 当推进滚筒与横切刀中心水平间距为 305 时, 切丁断面形状为又开始倾斜, 且随着转速比的减小断面倾斜越明显。

4 三维切丁机性能试验

4.1 试验方案及评价指标

根据理论分析结果, 改进现有果蔬三维切丁机样机参数为: 推进器转速 144 r/min , $n_1/n_3 = 0.17$, 推进滚筒与横切刀中心间距 $\Delta x = 290 \text{ mm}$ 。以马铃薯为切丁试验对象, 设定切丁厚度规格为 $10, 15, 20 \text{ mm}$, 对应的横切刀数目分别为 $24, 16, 12$ 。

评价切丁质量的指标包括切丁厚度偏差和切丁断面形

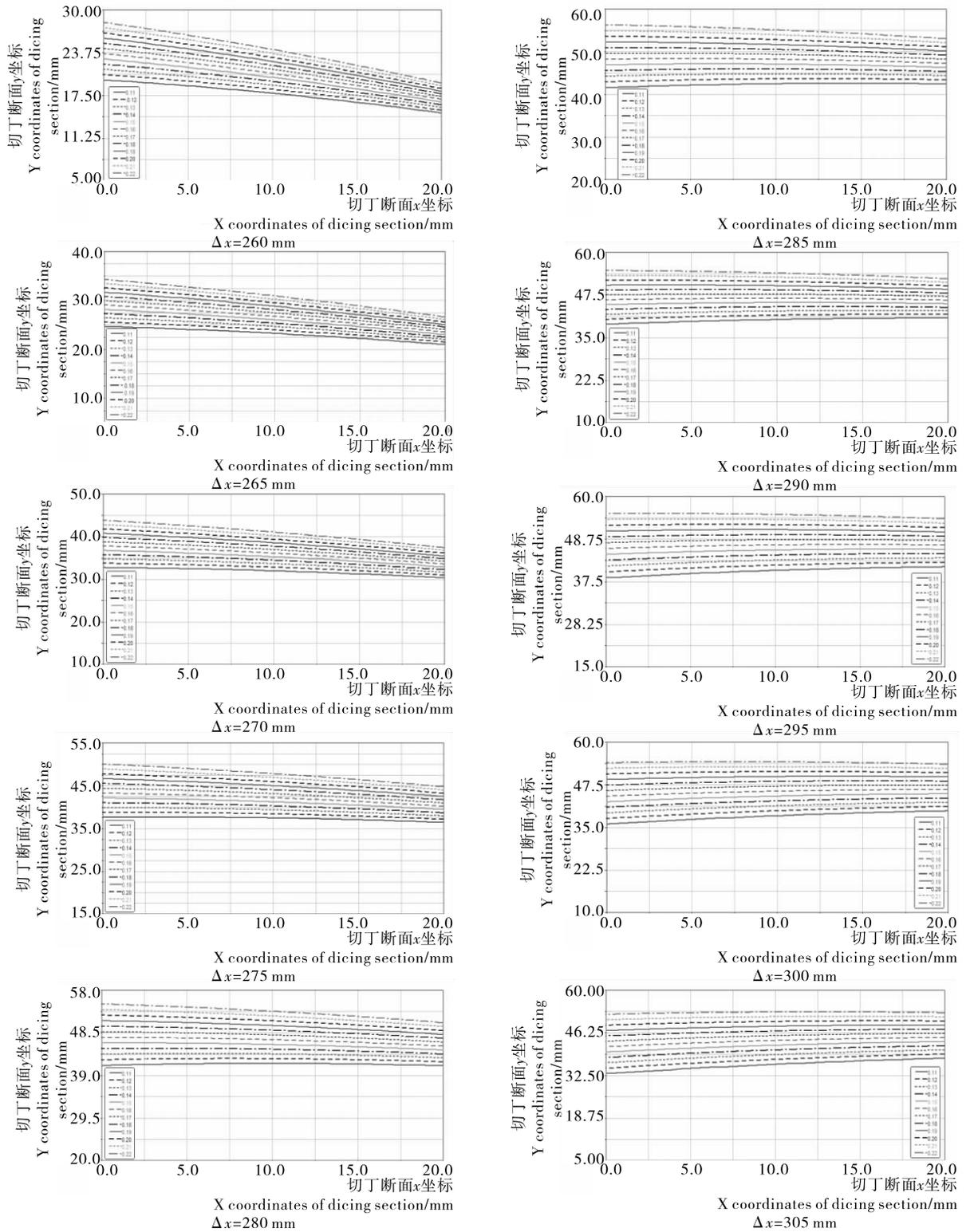


图 4 不同中心距下切丁断面形状图

Figure 4 Dicing section shapes under the different center distance

状偏差。厚度偏差通过测量切出丁块实际厚度 a 及相对厚度偏差百分数 η 来衡量,丁断面形状偏差则由丁的断面偏差绝对值 δ 及相对偏差百分数 η 来衡量。

4.2 试验结果分析

4.2.1 切丁厚度偏差分析

切削后,挑选完整马铃薯丁块,

测量每组样品中切丁物料的实际厚度尺寸 a ,表 2 为厚度规格为 10,15,20 mm 马铃薯实际厚度尺寸数据。

由表 2 可知:10 mm 厚立方丁块实际厚度尺寸平均值为 9.904 mm,15 mm 厚立方丁块实际尺寸平均值为 15.196 mm,20 mm 厚立方丁块则为 20.322 mm,相对厚度偏

表2 不同规格丁块实际厚度[†]

Table 2 Actual thickness of different specifications

组别	丁块规格		
	10 mm	15 mm	20 mm
1	9.92	15.90	21.3
2	10.16	14.34	22.04
3	9.72	14.96	19.86
4	9.82	15.54	19.02
5	10.20	15.32	21.68
6	9.72	16.24	19.5
7	10.02	14.46	21.4
8	10.40	14.82	20.02
9	9.86	14.98	20.16
10	9.22	15.40	18.24
平均值	9.904	15.196	20.322
相对尺寸偏差百分数/%	0.96	1.31	1.61

[†] 相对尺寸偏差百分数 = |平均值 - 理论切丁规格| ÷ 理论切丁规格 × 100%。

差百分数分别为 0.96%, 1.31%, 1.61%, 均满足产品质量标准(相对偏差 ≤ 3%), 切削质量达到了国外同类产品水平, 切丁尺寸符合切丁规格与条刀数目之间关系的理论分析, 达到了预期目标。

4.2.2 切丁断面形状偏差分析 分别对规格为 10, 15, 20 mm 的丁块进行取样, 选择不含马铃薯表皮的丁块, 测量每组样品中各丁的断面偏差绝对值, 取其平均值作为该组的丁断面的偏差值 δ , 各组断面偏差值数据见表 3。

表3 不同规格丁块的断面偏差[†]

Table 3 Section deviation of different specifications

组别	丁块规格		
	10 mm	15 mm	20 mm
1	1.1	1.6	3.0
2	0.6	2.0	2.5
3	0.8	2.2	3.0
4	0.9	2.0	3.5
5	1.0	1.9	2.0
6	1.1	1.3	3.0
7	0.5	1.5	1.9
8	1.3	2.0	1.7
9	1.2	2.1	2.4
10	1.2	1.0	2.4
平均值	0.97	1.76	2.54
断面相对偏差 η / %	9.7	11.7	12.7

[†] 断面相对偏差 η = 平均值 ÷ 切丁厚度 × 100%。

由表 3 可知: 切出的 3 种规格立方块形状规整, 10 mm 立方丁平均断面偏差绝对值为 0.97 mm, 15 mm 立方丁平均断面偏差绝对值为 1.76 mm, 20 mm 立方丁平均断面偏差绝对值为 2.54 mm, 断面相对偏差百分数分别为 9.7%, 11.7%, 12.7%, 均满足产品质量标准(断面相对偏差值百分数 ≤ 15%), 达到了预期目标。

从试验结果看出, 试切出的马铃薯正方块形状规整, 切削质量达到了国外同类产品水平, 达到了预期目标。并且丁的规格越小, 丁的断面偏差越小, 加工质量越好。

5 结论

(1) 通过对现有果蔬三维切丁机切丁成形运动学仿真, 发现切丁机推进滚筒与横切刀中心水平间距 Δx 分别为 260~275 mm 和 305 mm, 推进滚筒与横切刀转速比 n_1/n_3 取 0.11~0.22 时, 均无法得到良好断面形状丁块, 所得切丁断面形状为明显的斜面。

(2) 进一步运动仿真表明, 切丁机推进滚筒与横切刀中心水平间距 Δx 为 280~300 mm, 推进滚筒与横切刀转速比 n_1/n_3 取 0.11~0.22 时, 可得到良好丁断面形状, 所得切丁断面形状为大弧面。

(3) 取推进滚筒转速为 144 r/min, 推进滚筒与横切刀中心间距 $\Delta x = 290$ mm, 推进滚筒与横切刀转速比 n_1/n_3 为 0.17, 分别进行切丁厚度规格为 10, 15, 20 mm 的切削性能试验, 试验结果表明切出的 3 种规格的立方丁块形状规整, 断面相对偏差分别为 9.7%, 11.7%, 12.7%, 达到了国外同类先进产品质量标准。

参考文献

- [1] 周会玲. 鲜切果蔬的加工与保鲜技术[J]. 食品科学, 2001, 22(8): 82-83
- [2] 葛毅强, 陈颖, 张振华, 等. 我国果蔬加工业发展之管见[J]. 食品科学, 2005, 26(7): 270-274.
- [3] 胡小松. 中国果蔬加工业现状与发展态势[J]. 食品与机械, 2005(3): 4-9.
- [4] 杨德勇, 胡建平, 许晓东, 等. 多功能果蔬鲜切机的研制[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 183-185.
- [5] 崔建云. 食品加工机械与设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004: 10-200.
- [6] 梁基照. 食品机械优化设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 55-155.
- [7] 范士杰, 马智黠, 宋吉轩. 马铃薯品种(系)的产量及主要农艺性状分析评价[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(5): 60-63.
- [8] 王春光, 谭立东. 基于虚拟样机技术的牧草高密度压捆过程分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 99-101.
- [9] 王国强, 张进平, 马若丁. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.
- [10] 张杨, 区颖刚, 牟向伟. 基于 ADAMS 的拨指链式扶蔗装置的虚拟试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 88-93.
- [11] 李伟, 李吉, 张俊雄, 等. 苹果采摘机器人机械臂优化设计及仿真[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(6): 721-726.