

八爪式株间机械除草装置虚拟设计与运动仿真*

张朋举¹ 张 纹² 陈树人¹ 尹建军¹ 李 双¹ 周恩权¹

(1. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013;

2. 镇江高等职业技术学校, 镇江 212003)

【摘要】 设计了一种适合作物株间作业的八爪式机械除草装置,采用 Pro/E 进行了虚拟样机设计,建立了除草装置的装配模型,利用 ADAMS 软件对该装置进行运动学仿真,得出在不同速比下的除草铲齿运动轨迹,通过计算得到除草铲齿与土壤接触部分的面积,并对每个铲齿的覆盖区域以及相邻铲齿覆盖的重合区域进行分析,确定的合理速比为 $\lambda = 0.754$,优化了装置的结构和运动参数。

关键词: 杂草 除草装置 虚拟设计 仿真

中图分类号: S224.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0056-04

Virtual Design and Kinetic Simulation for Eight Claw Intra-row Mechanical Weeding Device

Zhang Pengju¹ Zhang Wen² Chen Shuren¹ Yin Jianjun¹ Li Shuang¹ Zhou Enquan¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. Zhenjiang Vocational College of Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract

An intra-row mechanical weeding device was designed. The device is one part of intelligent weeding machine. It has eight hoes that could turn in or turn out of intra-row area in the intelligent control system to eliminate the intra-row weeds. A 3-D parametric model of intra-row mechanical weeding device was built up with Pro/E, and was input ADAMS. The device was simulated on kinematics by ADAMS to get the track of each hoe. By analyzing the tracks, the area for each hoe with the superposition of adjacent hoe were figure out. Based on analysis result, the optimal proportion of rotation speed and forward speed was obtained ($\lambda = 0.754$). Simulation proved that the device could satisfy the need of intra-row weeding.

Key words Weed, Weeding device, Virtual design, Simulation

引言

机械除草分为行间、株间以及对植株根部周围的除草^[1-2]。目前国内外对行间除草的研究已较成熟,很多行间除草机得到了广泛应用^[3]。对于株间除草,国内还没有成熟机型,特别是智能化株间除草机研究还处于起步阶段^[4-6],株间除草仍靠人工作业。设计一种有效的株间除草机尤为迫切。

国外在智能株间除草方面已有较多研究^[7-9]。Griepentrog 等研制了一种八爪式株间除草机^[10],其原理是以作物播种时的种子位置分布图为依据,利用 GPS 导航系统控制除草机的行走路径并通过机器视觉伺服控制八爪铲齿的伸出和转入。除草装置的工作过程是靠机电、液压系统共同完成的。机构复杂,经济性差。

本文主要针对具有一定株距的作物,设计一种

收稿日期: 2009-06-17 修回日期: 2009-08-16

* 江苏省博士后科研资助计划项目(0601014B)和镇江市农业科技计划资助项目(GJ2008008)

作者简介: 张朋举,硕士生,主要从事智能除草机械研究,E-mail: zhpj2293911@126.com

通讯作者: 陈树人,教授,主要从事精确农业技术研究,E-mail: srchen@uje.edu

八爪式株间机械除草装置,并利用 Pro/E 和 ADAMS 软件进行三维建模和运动轨迹的仿真,为株间除草装置的研制提供合理的设计参数。

1 八爪式机械除草装置设计

1.1 结构设计

八爪执行机构包括外壳、轨道变换滑块系、主轴转盘系和八套除草铲齿轴系。

除草装置主要利用轨道变换滑块来实现除草铲齿转轴的上、下移动,同时利用带有螺旋轨道的套管来实现除草铲齿转轴的转动,最终决定铲齿在作物株间间隙内的转入或伸出,从而实现株间除草和避让农作物的目的。株间除草装置结构如图 1 所示。

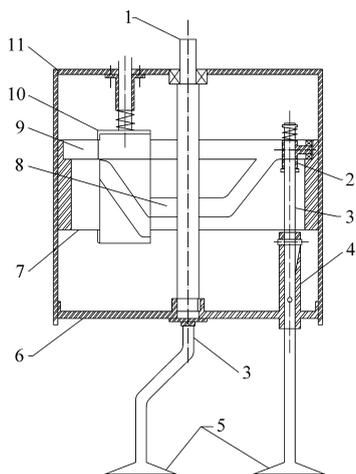


图 1 八爪式机械除草装置的结构示意图

Fig. 1 Structure of intra-row mechanical weeding machine

1. 主轴 2. T 型套管 3. 除草铲齿转轴 4. 带螺旋轨道的套管
5. 铲齿 6. 主轴转盘 7. 轨道 8. 下侧轨道 9. 上侧轨道
10. 轨道变换滑块 11. 外壳

1.2 动力传递和控制

装置外壳固定在除草机的台车上,轨道固定在外壳上,轨道变化滑块可以在电磁吸合装置的作用下上、下移动,从而改变上、下轨道的连接。通过主轴输入转矩带动转盘转动,带螺旋轨道的套管固定于转盘上使套管内的除草铲齿转轴在套管的作用下绕主轴转动。T 型套管的一端在除草铲齿转轴与挡块的作用下在轨道内滑动。利用轨道变换滑块的上、下移动改变上、下轨道的连接,从而确定 T 型套管的转动轨道。

如果滑块连通上、下轨道,T 型套管的一端进入下侧轨道转动,除草铲齿转轴向下移动,同时在带螺旋轨道的套管作用下产生自转,使铲齿伸出,进入株间除草。转盘转过一定角度后,T 型套管的一端通过上、下轨道的链接部分回到上侧轨道。除草铲齿转轴上移,同时产生自转,转入内侧结束株间除草。

装置在工作过程中,铲齿分为状态 1 和状态 2。

铲齿伸出时为状态 1,铲齿转入时为状态 2。如果控制系统检测到伸出(状态 1)的铲齿会伤到作物,轨道变换滑块会保持上侧轨道的连通,使铲齿始终保持转入(状态 2)的位置,达到避让作物的目的。八爪式机械除草装置工作示意图如图 2 所示。

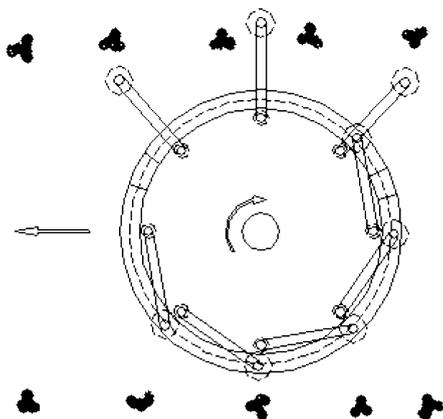


图 2 八爪式株间除草装置工作示意图

Fig. 2 Working sketch of intra-row mechanical weeding machine

2 除草装置虚拟样机设计

零件的三维设计是装配和仿真的基础,利用 Pro/E 软件的零件设计模块准确快速地建立三维零件模型。

2.1 主要部件三维设计

主轴转盘系是转矩的输入部分,主要包括主轴、转盘、8 个带有螺旋导轨的套管;铲齿轴系包括铲齿、带有限位挡环的转轴、限位销、T 形套筒等。

2.2 装配模型

零件建模完成后,利用 Pro/E 软件的装配模块进行装配。Pro/E 软件提供的零件装配方式有放置和连接两种类型,放置类型包括匹配、对齐、插入、坐标系、相切、线上的点、曲面上的点、曲面上的边以及自动约束等类型;连接类型包括固定、销钉、滑块、圆柱、平面等方式。可根据除草装置各个部件的实际装配关系选择合适的放置位置,装配的三维模型如图 3 所示。

3 运动仿真和结果分析

3.1 运动仿真

把装配模型从 Pro/E 软件导入到 ADAMS 软件中。利用 ADAMS 软件对整个机构添加约束,除了对部件添加碰撞、旋转、同轴、固定等约束以外,若要形成理想的轨迹还要添加 2 个动力输入,前进速度和通过主轴输入的转矩,使整个机构向前运动的同时主轴转盘系、除草铲齿转轴也在围绕着主轴的轴心转动。对每个铲齿的质心进行轨迹跟踪,得出 8 个铲齿质心的运动轨迹。本文选取了 3 个不同的速

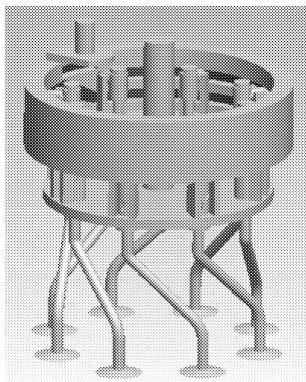


图3 株间除草装置虚拟样机

Fig. 3 Dummy of intra-row mechanical weeding machine

比对铲齿工作状况进行仿真。

3.2 结果分析

影响除草效果的主要因素有3个:

(1) 铲齿的伸出距离 s

铲齿的伸出距离是指铲齿在转入和伸出2个状态下铲齿质心在垂直于机构前进方向上的距离 s 。此距离影响着铲齿转入作物间隙的深度。如果距离过小会使铲齿难以进入株间,达不到株间除草目的。

(2) 台车的前进速度 v

除草装置挂接在台车上,因此除草装置的前进速度由台车前进速度决定。台车的前进速度主要由除草装置整个机构的设计尺寸决定。

(3) 铲齿旋转轴绕主轴轴心旋转线速度与台车前进速度之比 λ

铲齿的伸出距离 s 由铲齿质心围绕除草铲齿转轴轴心转动的半径 R_2 和带螺旋轨道套管的螺旋轨道偏转角度决定。带螺旋轨道套管的转角角度设计范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。此模型所设计的带螺旋轨道套管的转角是 100° , 铲齿旋转轴到主轴轴心的距离为 120 mm , 铲齿质心到除草铲齿转轴轴心的半径是 100 mm 。铲齿伸出距离计算如图4所示。

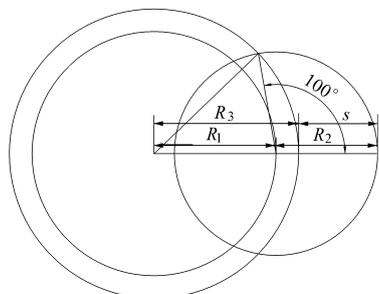


图4 伸出距离计算简图

Fig. 4 Chart of turn out distance

图中, R_1 为除草铲齿转轴轴心到主轴轴心距离, R_3 为铲齿在转入状态(状态2)下铲齿质心到主轴轴心距离。则速比

$$\lambda = R_1 \omega / v$$

伸出距离

$$s = R_1 + R_2 - \sqrt{[R_2 \sin(180^\circ - 100^\circ)]^2 + [R_1 - R_2 \cos(180^\circ - 100^\circ)]^2} = 120 + 100 - \sqrt{(100 \sin 80^\circ)^2 + (120 - 100 \cos 80^\circ)^2} = 77.7$$

前进速度和速比影响到铲齿覆盖株间间隙面积和铲齿重复覆盖面积。理想的速比能够使株间间隙覆盖面积增加,同时减小铲齿重复覆盖面积,使铲齿的宽度能够得到充分利用,增加其使用效率。

评价最优速比的指标有3个:相邻铲齿顶点处的间距 a ; 每个铲齿轨迹形成的余摆线最宽处的间距 b ; 相邻余摆线的最小间距 c 。

a 决定了装置可以进行株间除草的最小株距, a 越小表明除草装置能够进行株间除草的株间间隙越小, 铲齿对株间间隙的覆盖率越大, 因此 a 越小越好; b 和 c 同时决定了铲齿所覆盖面积的重复覆盖率, b 和 c 越接近, 重复覆盖率越低, 铲齿的利用效率越高, 因此 b 和 c 越接近越好。

角速度为 1.57 rad/s 时, 在不同速比条件下对8个铲齿的质心进行运动轨迹仿真。图5是在 λ 为 0.838 、 0.754 、 0.685 时8个铲齿的质心轨迹曲线, 不同的线型代表不同铲齿的质心轨迹。

铲齿运动轨迹的分析结果如表1所示。从表中可以看出, 随着速比的减小, a 和 c 在不断增大, b 在不断减小。虽然速比为 0.838 时 a 最小, 但是此时的 b 、 c 差异较大; 速比为 0.685 时, a 较大而且 b 和 c 的差异也较大。速比为 0.754 时 b 和 c 最为接近, 在此速比下, 除草装置满足株距在 130 mm 以上, 行距大于 250 mm 的作物株间除草要求。设

$$R = \frac{\max(b, c)}{2}$$

$$\beta = \frac{\min(4R, a)}{a} \times 100\%$$

$$\delta = \frac{4R - a}{a} \times 100\%$$

式中 R ——铲齿半径

β ——铲齿的覆盖率

δ ——铲齿的重复覆盖率

表1 仿真结果分析

Tab. 1 Analysis of simulation's result

λ	a/mm	b/mm	c/mm
0.838	110	82	28
0.754	130	67	63
0.685	138	33	105

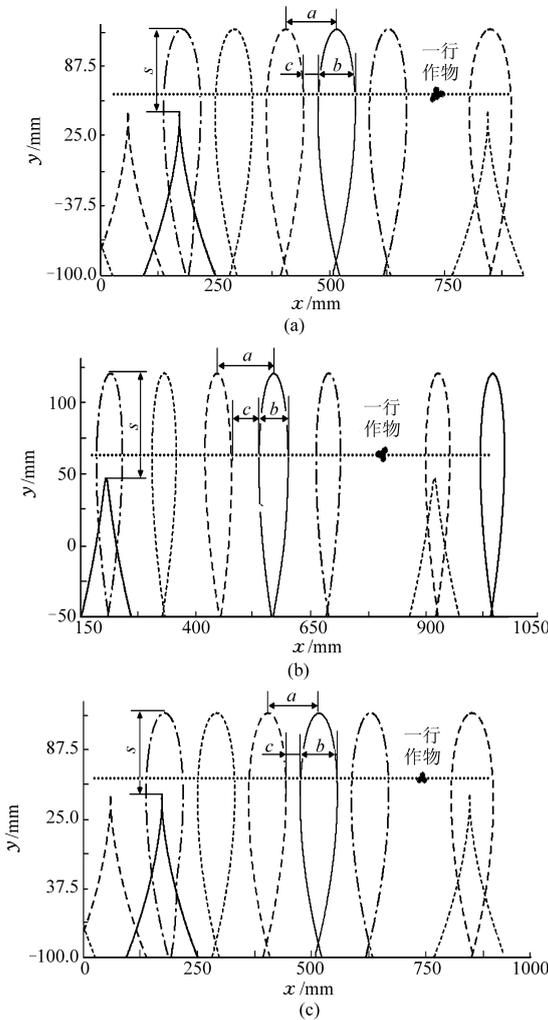


图 5 铲齿运动轨迹

Fig. 5 Movement track of hoe

(a) $\lambda = 0.838$ (b) $\lambda = 0.754$ (c) $\lambda = 0.685$

表 2 是铲齿覆盖率为 100% ,即 $4R \geq a$ 时 3 种速比下铲齿的重复覆盖率。从表 2 中可以看出,满足铲齿覆盖率为 100% ,当速比为 0.838、0.685 时,铲齿的最小半径分别为 41.0 mm 和 52.5 mm,相对应的铲齿重复覆盖率分别为 49% 和 52% ;当速比为 0.754 时,铲齿的最小半径为 33.5 mm,铲齿的重复覆盖率为 3%。因此铲齿覆盖率为 100% 时,对比 3 种不同速比情况下的铲齿半径和重复覆盖率得出 $\lambda = 0.754$ 为最佳速比。因为当 $\lambda = 0.754$ 时铲齿的半径相对较小,阻力也较小。铲齿的重复覆盖率较小,增加了铲齿的除草效率。

表 2 铲齿重复覆盖率对比

Tab.2 Superposition rate of hoe

速比 λ	铲齿半径 R/mm	铲齿重复覆盖率 $\delta/\%$
0.838	41.0	49
0.754	33.5	3
0.685	52.5	52

4 结论

(1)设计了一种八爪式株间机械除草装置,并建立了其虚拟样机结构。

(2)利用 Pro/E 和 ADAMS 软件对设计的八爪式株间除草装置进行了三维建模和运动仿真。通过仿真结果分析,得到最佳速比为 $\lambda = 0.754$,所设计除草装置可以完成株间间距在 130 mm 以上、行间间距在 250 mm 以上的作物株间除草工作。

参 考 文 献

- Gobor Z, P Schulze Lammers. Prototype of a rotary hoe for intra-row weeding [C] // Proceedings of the 12th IFToMM World Congress in Mechanism and Machine Science, Besancon, France, 2007.
- 李东升,张莲洁,盖志武,等. 国内外除草技术研究现状[J]. 森林工程,2001,18(1):17~18.
Li Dongsheng, Zhang Lianjie, Gai Zhiwu, et al. Research situations of weeding techniques in abroad and home[J]. Forest Engineering, 2001, 18(1): 17~18. (in Chinese)
- 张惠友,侯书林. XQ-7 型驱动式中耕除草复式作业机[J]. 东北农业大学学报,1998,29(1):62~67.
Zhang Huiyou, Hou Shulin. Study of XQ-7 compound and driving maching for intertill and weeding[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1998, 29(1): 62~67. (in Chinese)
- 郭伟斌,陈勇,侯学贵,等. 除草机器人机械臂的逆向求解与控制[J]. 农业工程学报,2009,25(4):108~112.
Guo Weibin, Chen Yong, Hou Xuegui, et al. Inverse kinematics solving and motion control for a weeding robotic arm[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 108~112. (in Chinese)
- 侯学贵,陈勇,郭伟斌. 除草机器人田间机器视觉导航[J]. 农业机械学报,2008,39(3):106~109.
Hou Xuegui, Chen Yong, Guo Weibin. Machine vision-based navigation for a weeding robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3):106~109. (in Chinese)
- Zhou Jun, Ji Changying, Liu Chengliang. Novel pose measurement for agricultural vehicle guided by machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 110~114.

参 考 文 献

- 1 方宪法,陈志,苏文凤. 我国农业装备制造业自主创新战略研究[J]. 农业机械学报,2007,38(5):69~73.
Fang Xianfa, Chen Zhi, Su Wenfeng. Research on indigenous innovation strategy of Chinese agricultural equipment industry [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(5): 69~73. (in Chinese)
- 2 王树凤,余群,柴山,等. 基于虚拟技术的车辆操纵稳定性评价系统[J]. 农业机械学报,2007,38(7):32~34.
Wang Shufeng, Yu Qun, Chai Shan, et al. Vehicle handling stability evaluation system based on virtual technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(7): 32~34. (in Chinese)
- 3 周伟光. 利用CAD数据的虚拟现实视景高效建模技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.
Zhou Weiguang. Research on the effective modeling of virtual reality based on CAD data [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007. (in Chinese)
- 4 Whyte J, Bouchlaghem N, Thorpe A, et al. From CAD to virtual reality: modeling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools [J]. Automation in Construction, 2000, 10(1): 43~55.
- 5 Bourdot P, Convard T, Picon F, et al. VR-CAD integration: multimodal immersive interaction and advanced haptic paradigms for implicit edition of CAD models [J]. Computer-Aided Design, In Press, Corrected Proof, Available Online 16, December, 2008.
- 6 Zhong Yongmin, Ma Weiyin, Bijan Shirinzadeh. A methodology for solid modeling in a virtual reality environment [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2005, 21(6):528~549.
- 7 古成中,吴新跃. 3D数据转换技巧[J]. 机械设计与制造,2007,45(5):62~64.
Gu Chengzhong, Wu Xinyue. Skill of 3D data exchange [J]. Machinery Design & Manufacture, 2007, 45(5): 62~64. (in Chinese)
- 8 高卫民,王宏雁. UG软件在白车身CAD建模中的应用[J]. 汽车研究与开发,2001,21(1):13~17.
- 9 李先桂. 虚拟现实中的三维建模 [J]. 上海职业技术学院学报,2004,5(3):94~96.
Li Xiangui. Build 3D model in virtual reality [J]. Journal of Shanghai Business Polytechnic, 2004, 5(3): 94~96. (in Chinese)
- 10 卢仁甫. 基于VEGA平台的虚拟现实技术的研究[D]. 武汉:华中师范大学,2006.
Lu Renfu. Research of virtual reality technology based on VEGA [D]. Wuhan: Huazhong Normal University, 2006. (in Chinese)
- 11 苑严伟,张小超,毛文华,等. 超低空无人飞行器虚拟现实技术实现与仿真[J]. 农业机械学报,2009,40(6):147~152.
Yuan Yanwei, Zhang Xiaochao, Mao Wenhua, et al. Virtual reality technology of ultra-low altitude UAV [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 147~152. (in Chinese)

~~~~~

(上接第59页)

- 7 Wilson J N. Guidance of agricultural vehicles—a historical perspective [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1~2): 3~9.
- 8 Van Der Weide R Y, Bleeker P O, Achten V T J M, et al. Innovation in mechanical weed control in crop rows [J]. Weed Research, 2008, 48(3): 215~224.
- 9 Kristoffersen P, Rask A M, Larsen S U. Non-chemical weed control on traffic islands: a comparison of the efficacy of five weed control techniques [J]. Weed Research, 2008, 48(2): 124~130.
- 10 Griepentrog H W, Nørremark M, Nielsen J. Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS [C] // Proceedings of the 16th CIGR World Congress, Bonn, Germany, 2006.