

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.016

# 拨指轮式马铃薯挖掘机设计与试验\*

吴建民<sup>1</sup> 李辉<sup>2</sup> 孙伟<sup>1</sup> 黄晓鹏<sup>1</sup> 孙步功<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 兰州城市学院后勤管理处, 兰州 730070)

**【摘要】** 设计了一种与手扶拖拉机配套的拨指轮式马铃薯挖掘机。该机采用栅条式挖掘装置和拨指轮式分离装置。对分离装置进行了理论分析,确定了其结构参数。田间试验表明:马铃薯挖掘机挖掘、输运顺畅,分离效果明显,伤薯率为4.5%,损失率为3.6%,明薯率为96.5%。

**关键词:** 马铃薯挖掘机 拨指轮 设计 田间试验

中图分类号: S225.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)12-0076-04

## Design of Potato Digger in Poke Finger's Wheel Type

Wu Jianmin<sup>1</sup> Li Hui<sup>2</sup> Sun Wei<sup>1</sup> Huang Xiaopeng<sup>1</sup> Sun Bugong<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Logistics Department, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

### Abstract

A certain potato digger in poke finger's wheel type which fit walking tractor was designed. The machine used the fense-like digging device and the separation device in poke finger's wheel type. The structure parameters of the device for separating potato and soil was determined based on theoretical analysis. Field experimental results showed that potato digger performed smoothly in digging, lifting and transporting without any block, and potatoes were separated effectively from soil. Damage rate was 4.5%, losing rate was 3.6%, and obvious rate was 96.5%.

**Key words** Potato digger, Poke finger's wheel, Design, Field experiment

## 引言

甘肃是我国马铃薯的主要产区,每年大约种植80万hm<sup>2</sup>,主要分布在坡度小于10°的山坡地或水平梯田上。由于地理条件和马铃薯种植模式的差异,我国现有的马铃薯挖掘机存在着体积大、结构不紧凑、作业易壅堵、挖掘阻力大、分离能力弱、明薯率低、伤薯率高等缺陷<sup>[1-3]</sup>,严重制约着马铃薯产业的发展。因此,针对上述缺陷,本文设计一种适合西北旱作农业区垄作种植的拨指轮式马铃薯挖掘机。

## 1 总体结构及工作原理

### 1.1 总体结构

拨指轮式马铃薯挖掘机由机架、挖掘装置、拨指

轮、纵向集条栅、分离调整装置、挖掘深度调节机构、传动装置等部件组成,如图1所示。

### 1.2 工作原理

机组作业时,栅条式挖掘铲将薯垄掘起,薯块和土块一起沿栅条铲面向上、向后滑移,在栅条作用下土块断裂破碎,直径小于栅条间隙的土块和马铃薯从栅条之间漏下,进行了一次分离。经过一次分离的薯块和土块从栅条式挖掘铲后端滑落在拨指轮上,与拨指轮上弹指碰撞后被弹指拨送到纵向集条栅(纵向集条栅长度为220~260mm)上,进行第二次分离。其余薯块和土块沿纵向集条栅向后滑动破碎使其进一步分离,最后薯块与大土块成条铺放在松软垄面上。通过挖掘铲角度调节机构调节马铃薯挖掘机的入土角;通过挖掘深度调节机构调整马铃

收稿日期: 2010-01-08 修回日期: 2010-04-27

\* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD15B06)

作者简介: 吴建民,教授,博士生导师,主要从事机械化保护性耕作技术及机具研究,E-mail: wujm@gsau.edu.cn

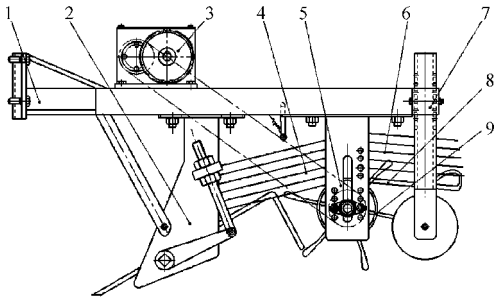


图1 拨指轮式马铃薯挖掘机结构简图

Fig. 1 Structure of potato digger in poke finger's wheel type

1. 机架 2. 挖掘装置 3. 传动装置 4. 中护栏 5. 分离调整装置
6. 后护栏 7. 挖掘深度调节机构 8. 纵向集条栅 9. 拨指轮

薯挖掘机的挖掘深度;通过分离调整装置改变拨指轮与栅条式挖掘铲和纵向集条栅的相对位置,以提高马铃薯挖掘机的分离性能和降低伤薯率。

## 2 关键部件设计

### 2.1 挖掘铲组件

根据垄作马铃薯种植模式、薯块在土壤中的分布宽度、结薯深度及薯块成簇性等生长状况,土壤土质和根系的抓土程度,以及马铃薯挖掘机的收获要求,得出挖掘铲的设计要求是<sup>[2,4]</sup>:①保证挖出土层中所有薯块,提高挖净率。②尽量减少进入机组的土壤量,降低分离装置的负荷。③能流畅地将薯块和土块输送到分离装置并对薯块和土块破碎分离。为满足设计要求,挖掘铲设计如图2所示。

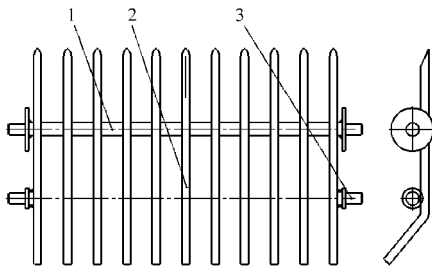


图2 挖掘铲结构图

Fig. 2 Structure of digging device

1. 安装轴 2. 栅条 3. 铲面倾角调节轴

挖掘铲由直径12 mm的圆钢焊接成栅条状,栅条间距为50 mm,圆钢前端开刃且共线,铲的长度480 mm,铲面倾角在23°~33°范围内连续可调,挖掘铲总宽度为512 mm。

### 2.2 分离装置

配置在挖掘铲后面的分离装置在工作时承受的负荷大,收获1 hm<sup>2</sup>马铃薯,就有1 005~1 500 m<sup>3</sup>土壤和其他夹杂物通过机器的分离装置,要求分离掉的土壤达70%~80%<sup>[5]</sup>。要想在较小的结构尺寸下提高分离率、减小损伤率,是设计难点<sup>[2,6~8]</sup>。

拨指轮式分离装置(图3)由弹性橡胶套、支撑

圆环、分离弹指、主轴组成。分离弹指在工作时撞击土袋从中拨出薯块,提高了薯、土分离效率,通过支撑圆环与纵向集条栅的交错结合在薯、土分离的同时能提升薯块;弹指上的弹性橡胶套,能够减小弹指对薯块的碰撞损伤;拨指轮工作时为旋转运动,没有往复惯性力,机组工作平稳。

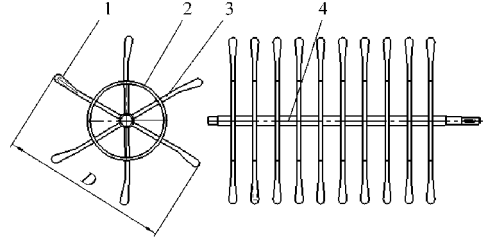


图3 拨指轮结构图

Fig. 3 Structure of device for separating potato and soil

1. 弹性橡胶套 2. 支撑环 3. 分离弹指 4. 主轴

#### 2.2.1 分离弹指的运动分析

分离弹指端点运动轨迹的形状取决于分离弹指端点线速度 $v_b$ (分离弹指端点相对拨指轮主轴轴线的切向速度)与机器前进速度 $v_m$ 的比值,为了使分离弹指在水平位置开始向上旋转的过程中对薯、土有向后拨送的运动,起到推送作用, $v_b/v_m$ 应大于1,即分离弹指端点的运动轨迹为余摆线。

设以初始位置拨指轮中心为坐标原点 $O$ ,机组前进方向为 $X$ 轴,向上为 $Y$ 轴建立坐标系(图4)。从 $X$ 轴正向顺时针方向旋转,分离弹指端点 $P(x,y)$ 经过时间间隔 $t$ 的坐标方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \cos \omega t \\ y = R \sin \omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中  $R$ ——拨指轮的半径

$\omega$ ——拨指轮角速度

$t$ ——分离弹指 $P(x,y)$ 点由 $X$ 轴正方向顺时针转过一个角度经过的时间

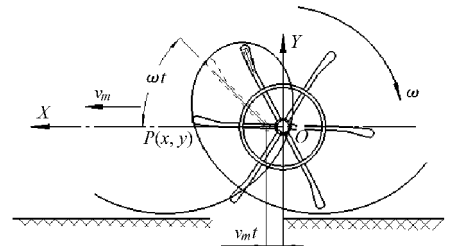


图4 分离弹指端点的运动轨迹

Fig. 4 Motion trajectory of separate fillip

分离弹指端点的速度为

$$\begin{cases} v_x = v_m - R\omega \sin \omega t \\ v_y = R\omega \cos \omega t \end{cases} \quad (2)$$

为了减小对薯块的碰撞损伤且保证分离弹指对薯土有向后拨送的运动,分离弹指在开始拨送薯块

时应满足  $v_x \leq 0$ , 即

$$v_x = v_m - R\omega \sin\omega t \leq 0 \quad (3)$$

### 2.2.2 拨指轮直径的确定

拨指轮的直径为拨指轮两弹指端点之间的径向距离。根据分离弹指在拨送薯块时其水平分速度应为零、拨指轮弹指端点与挖掘铲末端平齐和拨指轮在旋转时分离弹指端点不能触及犁底层(取拨指轮中心到犁底层的距离为  $1.1R$ ) (图5), 可确定拨指轮的直径。

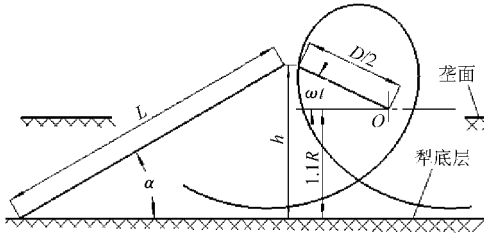


图5 拨指轮直径的确定

Fig.5 Conform device diameter for separating potato and soil

由图可得

$$\begin{cases} \sin\omega t = \frac{2h - 1.1D}{D} \\ v_b = \frac{\omega D}{2} \\ \sin\alpha = \frac{h}{L} \end{cases} \quad (4)$$

式中  $L$ ——挖掘铲长度

$\alpha$ ——挖掘铲倾角

$h$ ——挖掘铲末端到犁底层的距离

由式(3)、(4)可得

$$D \leq \frac{2v_b L \sin\alpha}{1.1v_b + v_m} \quad (5)$$

拨指轮在工作时分离弹指将薯块从土壤中拨出,进行薯块分离的同时要尽可能避免弹指伤及薯块,即分离弹指端点的线速度要保证分离弹指不伤薯块。由文献[9]可知,为使马铃薯损伤率  $\eta_c \leq 5\%$ ,要求在拨送薯块时分离弹指端点沿  $X$  方向的速度  $v_{x1} \leq 1$  m/s,  $Y$  方向速度  $v_{y1} \leq 0.2$  m/s。在本设计中分离弹指上套有弹性橡胶套,可以适当加大分离弹指端点的速度;取  $v_b = 1.2$  m/s,  $v_m = 0.86$  m/s 代入式(4),可得  $D \leq 272.2$  mm,根据结构设计要求应满足  $D \geq 260$  mm,故取  $D$  为 270 mm。

### 2.2.3 分离弹指指杆长度及个数的确定

分离弹指指杆长度为分离弹指端点到支撑环的距离。分离弹指的作用是进一步打击土堡、在土堡中拨出薯块,同时结合支撑圆环将薯块提升到一定高度并向后输送。单个薯块的平均尺寸为<sup>[6]</sup>:长度 60~120 mm,宽度 46~75 mm,厚度 37~58 mm。为

了防止在拨送过程中薯块向前翻转,取分离弹指指杆长度为薯块最大长度的 2/3(重心稍上方),即分离弹指指杆长度为 80 mm。

拨指轮的拨送图是由多条余摆带形成(图6),其带宽近似为分离弹指指杆的长度。圆周方向弹指的个数是由分离弹指进距  $S$ (拨指轮转一周时机器前进的距离)为

$$S = v_m t = v_m \frac{2\pi R}{v_b} = m(b+c)$$

则

$$m = \frac{2\pi v_m R}{(b+c)v_b} \quad (6)$$

式中  $m$ ——圆周方向的弹指个数

$b$ ——弹指指杆长度

$c$ ——相邻弹指余摆带之间的间距,取 15 mm

将参数代入式(6),可得  $m = 6.4$ ,取整为 6。

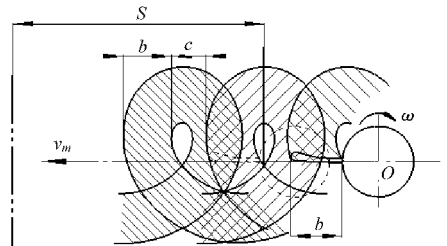


图6 分离弹指个数的确定

Fig.6 Conform number of separate fillip

## 3 田间试验及结果分析

田间试验在甘肃省定西市李家堡镇马铃薯种植基地进行,马铃薯种植垄高 18 cm、垄宽 60 cm、株距 25 cm。试验地块地势平坦,土壤为黄绵土,土壤含水率为 12.8%。马铃薯品种为定薯 1 号,收获前一周植株经割秧处理。试验动力为 AMEC-15 型手扶拖拉机,功率 12.1 kW。性能试验方法依据文献[10],试验中机具的工作参数为:行进速度 0.86 m/s、挖掘铲铲面倾角 31°,拨指轮弹指端点线速度为 1.2 m/s,马铃薯挖掘机性能试验结果如表 1 所示。

表 1 马铃薯挖掘机试验结果

Tab.1 Experimental performance results of potato digger

参数	试验值	技术要求
明薯率/%	96.5	≥95.0
伤薯率/%	4.5	≤5.0
损失率/%	3.6	≤5.0
挖掘深度/mm	210	100~300
牵引力/N	1821	

注:表中结果为 9 次试验的平均值。

试验中,拖拉机负荷小,薯和土块挖掘顺畅,没有壅土现象发生,明薯率高,伤薯率低。

## 4 结论

(1) 栅条式挖掘铲使土块产生纵向、横向折断劈裂和剪切破坏,提高了碎土效果,为后续薯土分离创造了良好的条件。

(2) 拨指轮与纵向集条栅的设计,提高了分离

效率,缩小了整机尺寸。

(3) 拨指轮工作时为旋转运动,没有往复惯性力,机组工作平稳。

(4) 田间试验表明:挖净率、伤薯率和明薯率指标达到了有关标准规定。

## 参 考 文 献

- 1 贾晶霞. 马铃薯收获机关键部件设计与实验研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.  
Jia Jingxia. Design and experiment study on the critical parts of potato harvester[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 2 刘俊峰,杨欣,马跃进,等. 4U-1A型马铃薯收获机的设计[J]. 农业机械学报,2004,35(2):181~183.
- 3 刘宝,张东兴,李晶. MZPH-820型单行马铃薯收获机设计[J]. 农业机械学报,2009,40(5):81~86.  
Liu Bao, Zhang Dongxing, Li Jing. Design on MZPH-820 single-row potato harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 81~86. (in Chinese)
- 4 江苏工学院. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981:305.
- 5 北京农业工程大学. 农业机械学:下册[M]. 北京:农业出版社,1997:198.
- 6 赵满全,赵士杰,余大庆,等. 组合分离式马铃薯挖掘机设计与研究[J]. 农机化研究,2007(4):69~72.  
Zhao Manquan, Zhao Shijie, She Daqing, et al. Combined separation type potato digger[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4):69~72. (in Chinese)
- 7 李翰如. 薯类收获机械[M]. 中国大百科全书. 北京:中国大百科全书出版社,2000.
- 8 杨莉. 马铃薯挖掘机摆动分离筛的仿真与参数优化[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.  
Yang Li. Simulation and optimization on parameters of separation of potato digger[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 9 贾晶霞,张东兴,郝新明,等. 马铃薯收获机参数化造型与虚拟样机关键部件仿真[J]. 农业机械学报,2005,36(11):64~67.  
Jia Jingxia, Zhang Dongxing, Hao Xinming, et al. Parametric modeling and computer simulation of potato harvester parts[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(11):64~67. (in Chinese)
- 10 NY/T 648—2002 马铃薯收获机作业质量评价技术规范[S].  
NY/T 648—2002 Technical specification of quality evaluation for potato harvesters[S]. (in Chinese)

(上接第75页)

- 5 朱义,何池全,杜玮,等. 盐胁迫下外源钙对高羊茅种子萌发和幼苗离子分布的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(11):133~137.  
Zhu Yi, He Chiquan, Du Wei, et al. Effects of exogenous calcium on the seed germination and seedling ions distribution of *Festuca arundinacea* under salt-stress[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 133~137. (in Chinese)
- 6 卢少云,黎用朝,郭振飞,等. 钙提高水稻幼苗抗旱性的研究[J]. 中国水稻科学,1999,13(3):161~164.  
Lu Shaoyun, Li Yongchao, Guo Zhenfei, et al. Enhancement of drought resistance of rice seedlings by calcium[J]. Chinese Journal of Rice Science, 1999, 13(3): 161~164. (in Chinese)
- 7 闫童,王秀峰,杨凤娟,等. 钙对根区低温胁迫下黄瓜幼苗抗冷相关生理指标的影响[J]. 西北农业学报,2006,15(5):172~176.  
Yan Tong, Wang Xiufeng, Yang Fengjuan, et al. Effect of calcium on chilling resistance of cucumber seedlings under root zone low temperature stress[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2006, 15(5): 172~176. (in Chinese)
- 8 Pandey S, Tiwari S B, Upadhyaya K C, et al. Calcium signaling: linking environmental signals to cellular function[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2000, 19(4): 291~318.
- 9 赵世杰,许长成,邹琦,等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,1994,30(3):207~210.  
Zhang Shijie, Xu Changcheng, Zou Qi, et al. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues [J]. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 207~210. (in Chinese)
- 10 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- 11 Yang T, Pooviah B W. Calcium/calmodulin-mediated signal network in plants[J]. Trends in Plant Science, 2003, 8(10): 505~512.