

基于计算机模拟的马铃薯挖掘铲参数优化与试验分析

贾晶霞¹ 张东兴¹ 郝新明² 刘汉武²

(1. 中国农业大学工学院,北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院,北京 100083)

摘要 针对马铃薯收获机作业时挖掘部件阻力偏大和挖净率低等问题,基于计算机辅助分析,采用 Visual Basic 6.0 设计建立了牵引阻力模型,对挖掘机构进行运动分析、参数优化和性能分析。计算机模拟试验结果表明:挖净率 98%,明薯率 97%,伤薯率 4%,均达到设计要求。与传统农机设计相比,计算机辅助分析使得计算工作量减少 50%,计算精确度高,并解决了农机部件设计试验受气候、土壤类型和种植习惯等条件影响的问题。

关键词 马铃薯挖掘铲;计算机辅助分析;参数优化;阻力模型

中图分类号 S 225.71; TP 391.42

文章编号 1007-4333(2005)05-0032-04

文献标识码 A

Parameters optimization and experiments of potato digger blade based on computer simulation

Jia Jingxia¹, Zhang Dongxing¹, Hao Xinming², Liu Hanwu²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract To solve the key problem of large resistance against and low digging rate of digging parts, A digging components design model was developed with Visual Basic 6.0 by adopting a new designing method computer aided analysis (CAA). Movement analysis, parameter optimization and performance analysis were completed. Computer simulation showed that digging rate was more than 98%, obvious rate more than 97% and damaged rate less than 4.5%. The workload of CAA was only about 50% that of the old method and precision increased. What's more, it avoided the problem that on-the-spot experiment conditions are influenced by climate, soil quality and planting habit.

Key words potato digging blade; computer aided analysis; parameter optimization; resistance model

马铃薯人工收获作业劳动量大,耗时费工,实现机械收获是必然方向。20 世纪初,马铃薯收获小面积地块采用手工挖掘,大面积收获使用蓄力挖掘犁,人工捡拾。近年来,我国科研人员参考国外有关资料研制了不同形式的马铃薯收获机,但对挖掘铲精确的理论分析和参数计算尚欠缺^[1]。挖掘部件的性能对整机性能起决定作用,研究挖掘机理、进行结构和运动参数的优化对进一步研制适合我国国情的马铃薯收获机具有重要意义^[2-4]。

1 挖掘部件的构造

马铃薯收获机挖掘部件主要由 1 组平面铲片、

铲梁、2 个切土圆盘和若干过渡杆条等构成(图 1)。铲梁两侧装有角度调节机构,可根据马铃薯不同的生长状况、土壤状况等调节铲片的入土角,调整范围为 0°~40°,单位刻度为 2.5°。挖掘铲两侧安装有切土圆盘,防止掘起物在提升输送过程中从铲侧漏掉,切土圆盘入土部分开有 30°刃角,用以切出薯垄。

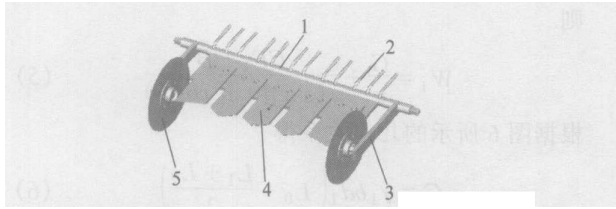
挖掘过程为:铲刃切开土壤薯层,将薯堡掘起,薯堡沿平面铲向上滑行,经过剪切碎裂到过渡杆条,杆条进一步拱碎土壤,下层疏松的土壤开始下漏,得到的松碎土薯堡沿曲面杆条顺向进入输送、分离装置。

收稿日期:2005-03-30

基金项目:国家“十五”科技攻关项目资助(2004BA524B05)

作者简介:贾晶霞,博士研究生;张东兴,教授,博士生导师,主要从事机械装备与计算机测控研究,E-mail:zhangdx@cau.edu.cn

cn



1. 铲梁; 2. 过渡杆条; 3. 连接臂; 4. 平面铲片; 5. 切土圆盘

图 1 马铃薯收获机挖掘部件装配图

Fig. 1 Digging components structure of potato harvester

2 影响挖掘阻力的主参数分析

基于计算机模拟 (computer aided analysis, CAA) 的马铃薯挖掘铲参数优化和试验分析过程利用 Visual Basic 6.0 编程^[5], 程序流程见图 2。使用 Microsoft Access 7.0 数据库开发, 以工作环境、作业对象和工作部件的主要参数为分析基础, 建立工作阻力模型。

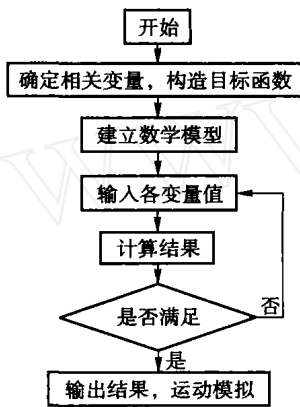


图 2 计算机辅助分析流程

Fig. 2 Flow chart of computer aided analysis

表 1 坝薯 9 号和雪花白马铃薯的主要性状和种植情况

Table 1 Main characters and planting conditions of potato Bashu 9 and Xuehuabai

马铃薯品种	薯形	行距/ cm	穴距/ cm	株高/ cm	块茎分布 深度/cm	块茎分布 宽度/cm	土壤类型 (含水率/%)
坝薯 9 号	长椭圆	70 ~ 90	17 ~ 18	50 ~ 60	12 ~ 13	20 ~ 25	砂壤(16.41)
雪花白	扁圆	70 ~ 90	17 ~ 18	45 ~ 55	12 ~ 13	20 ~ 30	砂壤(15.86)

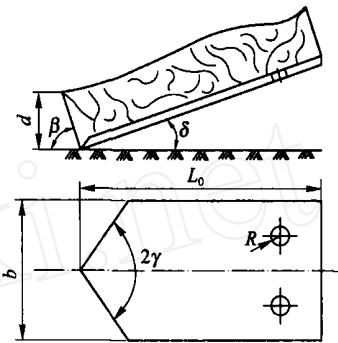
3 基于 CAA 的土壤与挖掘铲动力学分析

挖掘铲总阻力主要受土壤类型、内摩擦因数、附着力因数、内聚力和挖掘铲对土壤作用的纯切削阻力等因素的影响^[6]。根据图 2 和 3, 挖掘铲面上水

2.1 工作环境(土壤)与挖掘铲参数

在设计挖掘阻力模型时, 与土壤物理机械特性相关的主参数有: 土壤类型、土壤内摩擦因数 μ 、土壤与金属的摩擦因数 μ_1 、土壤容重 γ 及附着力因数 C_a 等。摩擦分为内摩擦和外摩擦, 内摩擦是指土壤与土壤之间的摩擦, 外摩擦指土壤与作业部件之间的摩擦。本模型中土壤与挖掘铲之间的摩擦对挖掘阻力的影响较大^[6]。

挖掘铲主要参数分为设计参数和作业参数: 设计参数包括挖掘部件幅宽 b 和铲片长度 L_0 等; 工作参数包括铲面倾角 β 、挖掘深度 d 和前失效面倾角 δ 等(图 3)。



d —挖掘深度; β —前失效面倾角; δ —铲面倾角; b —挖掘部件幅宽; γ —铲刃斜角; L_0 —铲片长度; R —圆孔半径。下同。

图 3 挖掘铲参数示意

Fig. 3 Digger blade parameters

2.2 作业对象(薯块)参数

薯块的品种、形状、尺寸等是影响马铃薯收获机收获作业质量的主要因素。以坝薯 9 号和雪花白为研究对象, 其主要性状和种植情况见表 1。

$$W = N_0 \sin \beta + \mu_1 N_0 \cos \beta + k b \cos \beta \quad (1)$$

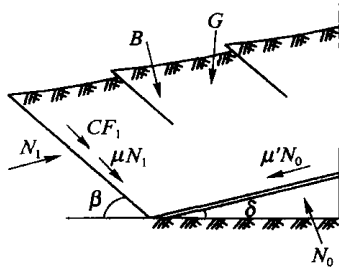
式中: W 为有土壤纯切削阻力时机具牵引力, N ; N_0 为挖掘部件的法向载荷, N ; β 为铲面倾角, $(^\circ)$; b 为挖掘部件幅宽, cm ; k 为挖掘铲对土壤作用的纯切削阻力, N 。

挖掘铲作用于土壤的纯切削阻力很小, 通常可

忽略不计^[7], 机具牵引力可表示为

$$W_1 = N_0 \sin \beta + \mu_1 N_0 \cos \beta \quad (2)$$

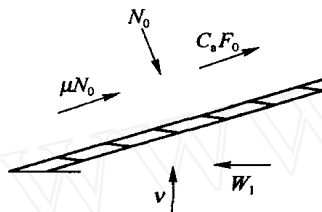
根据土壤和挖掘铲受力分析(图4和5), 垂直方向的平衡方程式为



B —土壤沿铲面运动的加速度; G —铲片上部土壤的质量; N_1 —作用于前失效面的法向载荷; μ —土壤内摩擦因数; C —土壤内聚力; F_1 —土壤剪切面积; μ_1 —土壤与金属摩擦因数; N_0 —挖掘部件法向载荷

图4 土壤受力分析

Fig. 4 Draw of soil force gouged substance



W_1 —无土壤纯切削阻力时机具牵引力; v —被加速土壤的速度; C_a —土壤附着力因数; F_0 —挖掘部件面积

图5 挖掘铲受力分析

Fig. 5 Force analysis of digger blade

$$G = N_0(\cos \beta - \mu_1 \sin \beta) - N_1(\cos \beta - \mu \sin \beta) + (CF_1 + B) \sin \beta = 0 \quad (3)$$

式中: G 为位于铲片上部土壤质量, kg; N_1 为作用于前失效面的法向载荷, N; C 为土壤内聚力, N; F_1 为土壤剪切面积, cm^2 ; B 为土壤沿铲面运动的加速度, N 。土壤水平方向受力平衡方程为

$$N_0(\sin \beta + \mu_1 \cos \beta) - N_1(\sin \beta + \mu \cos \beta) - (CF_1 + B) \cos \beta = 0 \quad (4)$$

由方程(2) - (4)解出 N_0 和 N_1 ^[8], 并代入方程(2)得

$$W_1 \left[\frac{\cos \beta - \mu_1 \sin \beta}{\sin \beta + \mu_1 \cos \beta} + \frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta} \right] = G + \frac{CF_1 + B}{\sin \beta + \mu \cos \beta}$$

令

$$z = \left[\frac{\cos \beta - \mu_1 \sin \beta}{\sin \beta + \mu_1 \cos \beta} + \frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta} \right]$$

则

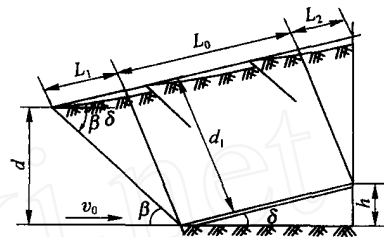
$$W_1 = \frac{G}{z} + \frac{CF_1 + B}{z(\sin \beta + \mu \cos \beta)} \quad (5)$$

根据图6所示的几何关系得

$$G = \rho b d_1 \left(L_0 + \frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad (6)$$

其中: L_1 为土壤沿铲尖伸出的距离, cm; L_2 为土壤沿铲尾伸出的距离, $L_2 = d_1 \tan \delta$; d_1 为土壤厚度, cm, $d_1 = d \frac{\sin(\beta + \delta)}{\sin \beta}$; $L_1 = d \frac{\cos(\beta + \delta)}{\sin \beta}$ 。据图4和6得土壤剪切面积

$$F_1 = \frac{bd}{\sin \beta} \quad (7)$$



d_1 —土壤厚度; v_0 —挖掘部件工作速度; h —铲片入土时尾部离地面高度; L_1 —土壤沿铲尖伸出的距离; L_2 —土壤沿铲尾伸出的距离

图6 平面铲上部土层尺寸关系

Fig. 6 Relations draw of soil

根据牛顿第二定律可列出加速度 B 的性能方程

$$B = m \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

式中: m 为被加速的土壤质量, kg; v 为被加速土壤的速度, m/s; t 为土壤经过挖掘铲表面的时间, s。被加速土壤质量为

$$m = \frac{1}{g} b d v_0 \quad (9)$$

式中: v_0 为挖掘部件工作速度, m/s; g 为重力加速度, m/s^2 。

方程(5)中没有考虑附着力。附着力产生附加的法向载荷, 导致摩擦力增加, 影响土壤与铲面间的摩擦, 造成阻力增大。加入附着力, 挖掘铲移动所需机具牵引力为

$$W_1 = \frac{G}{z} + \frac{CF_1 + B}{z(\sin \beta + \mu \cos \beta)} + \frac{C_a F_0}{z(\sin \beta + \mu \cos \beta)} \quad (10)$$

式中: $B = \frac{1}{g} b d v_0^2 \frac{\sin \delta}{\sin(\beta + \delta)}$; $\mu = \tan \phi$, ϕ 为土壤内摩擦角, ($^\circ$); F_0 为挖掘部件的面积, cm^2 。

4 结果分析

1) 根据建立的数学模型进行挖掘过程的计算机模拟,由铲面倾角与机具牵引阻力 W_1 曲线(图7)可见:随着值的增加,牵引阻力不断增大;挖掘深度为10~15 cm,为 $10^\circ\sim 20^\circ$ 时,阻力变化较平稳,工作状况良好。

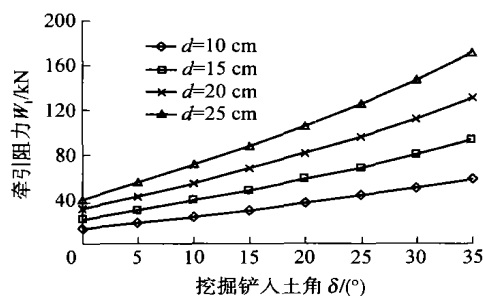


图7 机具牵引阻力与挖掘部件入土角的关系

Fig. 7 Relation curve of δ and W_1

2) 挖掘部件工作速度 v_0 在 2.41 ~ 7.57 km/h 范围内时,机具牵引阻力变化不明显(图8)。

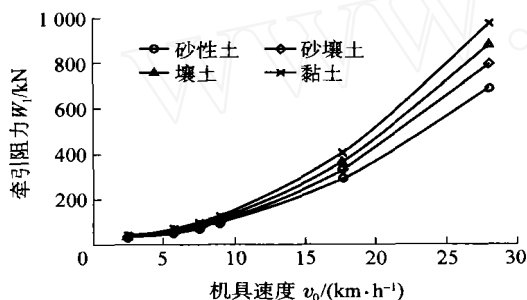


图8 牵引阻力与机具前进速度的关系

Fig. 8 Relation curve of v_0 and W_1

3) 经过计算机辅助分析,模拟试验结果为:挖净率 98%,明薯率 97%,伤薯率 4%。均优于试验标准^[9~11]。

5 结论

本研究基于计算机辅助分析,挖掘部件由平面铲片、切土圆盘和过渡杆条等组合而成。

对挖掘部件进行运动分析、参数优化和性能分

析表明:不产生壅土的条件是砂壤土、土壤含水率约为15%,土壤容重 1500 kg/m^3 ,含杂率5%。

参数优化设计结果为:铲面倾角为 16.5° ,铲片长度360 cm,单铲片宽度100 cm,组合铲片宽度600 cm。

与传统农机设计相比,采用计算机辅助分析计算工作量减少50%,计算精确度得到提高,并解决了农机部件设计过程中试验条件受气候、土壤类型和种植习惯等影响的问题。

参 考 文 献

- [1] Kanafojski Cz, Karwowski T. 收获机械[M]. 曹崇文译. 北京:中国农业机械出版社,1983. 202~209
- [2] 北京农业工程大学主编. 农业机械学(上册)[M]. 第2版. 北京:农业出版社,1995. 30~45
- [3] Liu Junfeng, Yang Xin, Feng Xiaojing, et al. The design of combined lifter for harvesting potatoes[A]. In: Min Zhang, Peiqin Zhou, Chunli Li, et al. The International Agricultural Engineering Conference (IACE2002) [C]. Wuxi, China: Southern Yangtze University, Asian Association for Agricultural Engineering (AAAE). 2002. 320~323
- [4] 赵匀,叶海建. 农业机械计算机辅助分析和设计[M]. 北京:清华大学出版社,1998. 40~50
- [5] 龚沛曾,陆慰民,杨志强. Visual Basic 程序设计教程[M]. 北京:高等教育出版社,2000. 4~5
- [6] 孙一源,高行方,余登苑. 农业土壤力学[M]. 北京:农业出版社,1985. 23~78
- [7] W R 吉尔, G E 范德伯奇 编. 耕作和牵引土壤动力学[M]. 耕作和牵引土壤动力学翻译组译. 北京:中国农业机械出版社,1983. 102~160
- [8] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,1996. 105~107
- [9] 岳玉泉. 马铃薯收获机械试验对比分析[J]. 农村牧区机械化,1998(2):25~26
- [10] 苏日娜. 马铃薯收获机械作业性能测试方法探讨[J]. 农机试验与推广,1999(4):10~12
- [11] NY/T 648—2002 马铃薯收获机质量评价技术规范[S]