

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.005

# 耕播机三点悬挂连接机构有效间距确定方法\*

齐江涛<sup>1</sup> 贾洪雷<sup>1</sup> 庄健<sup>1</sup> 范旭辉<sup>2,3</sup> 刘春喜<sup>3</sup> 刘丹丹<sup>2</sup>

(1. 吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025; 2. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025;  
3. 吉林省农业机械研究院, 长春 130022)

**【摘要】** 以分置式一机三用型耕播机为研究对象,设计三点悬挂连接机构。从分置式耕播机连接机构的设计原则出发,分析了单机连接机构的有效间距。从机组纵向稳定性储备利用系数和爬坡稳定性系数分析了耕整联合作业机组的抗倾翻能力,确定连接机构有效尺寸的最大值为41 cm;通过分析旋耕刀的运动状态、土块的被抛位置和初速度,并对其进行计算和试验,确定连接机构有效尺寸的最小值为19 cm。

**关键词:** 耕播联合作业机 连接机构 有效间距 纵向稳定性

**中图分类号:** S220.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0024-05

## Effective Clearance Calculation of Three-point Hitch Linkage for Rototilling-planting Machine

Qi Jiangtao<sup>1</sup> Jia Honglei<sup>1</sup> Zhuang Jian<sup>1</sup> Fan Xuhui<sup>2,3</sup> Liu Chunxi<sup>3</sup> Liu Dandan<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130025, China

2. School of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

3. Jilin Provincial Academy of Agricultural Machinery, Changchun 130022, China)

### Abstract

Taking separated multiteity machine as the research object, the three-point hitch linkage for the rototilling-planting combined machine was designed. The design was started with the principle of three-point hitch linkage. The effective clearance of single combined mechanism was analyzed. The capsizing resistance was analyzed by the unit's longitudinal stability coefficient and climbing stability coefficient. The maximum effective distance was 41 cm. From analyzing the moving states of rotary blades, the place of clods and the muzzle velocity, the minimum effective distance was 19 cm after several times of calculation and experiment.

**Key words** Rototilling-planting combine machine, Hitch linkage, Effective clearance, Longitudinal stability

### 引言

联合作业机的使用,可以缩短工序间隔和作业周期,提高作业效率、减少作业成本以及对土壤的扰动,有效抑制土壤水分的蒸发和土壤温度的降低;有利于保持土壤的团粒结构,避免水土流失和土壤的沙化,进而可以提高作物产量<sup>[1-6]</sup>。

耕播机进行大田耕种时,由于地势起伏不定,坡度的变化使得作业机具不断地在平地、上坡和下坡3种情况下交替工作。为满足耕种的要求,耕播机必须适应地表的起伏变化,使旋耕深度和播种深度保持良好的一致性。耕整机的耕深可以通过拖拉机后悬挂装置以及限深轮来调节,播种深度可以通过播种机各播种单体上的平行四杆机构来调节。播种

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-07-17

\* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B09)

作者简介: 齐江涛,讲师,主要从事农业机械、智能农业装备研究,E-mail: qjiangtao@jlu.edu.cn

通讯作者: 贾洪雷,教授,博士生导师,主要从事保护性耕作技术与仿生智能机械研究,E-mail: jiahl@vip.163.com



$R_{1Zmax}$ ——爬坡行驶状态下,拖拉机不悬挂农具时前轴垂直地面的载荷,N

图3为耕播机爬坡时的受力分析,由此可得

$$R_{1Zmax} = \frac{G_s a \cos\beta - G_s h_s \sin\beta}{L}$$

$$R_{1Z} =$$

$$\frac{(G_s a - G_1 b' - G_2 b') \cos\beta - (G_s h_s + G_1 h_1 + G_2 h_2) \sin\beta - G_2 L_2 \cos\alpha \cos\beta}{L}$$

可得

$$L_2 <$$

$$\frac{(4G_s a - 5G_1 b' - 5G_2 b') \cos\beta - (4G_s h_s + 5G_1 h_1 + 5G_2 h_2) \sin\beta}{5G_2 \cos\alpha \cos\beta}$$

(5)

$$L_2 = l_1 + l_2 + l'' \quad (6)$$

式中  $l''$ ——连接机构的最大有效间距(与坡面平行方向),mm

$\beta$ ——最大坡度角,20°

$h_s$ ——拖拉机重心到斜坡面的垂直距离,mm

$h_1$ ——耕整机重心到斜坡面的垂直距离,mm

$h_2$ ——播种机重心到斜坡面的垂直距离,mm

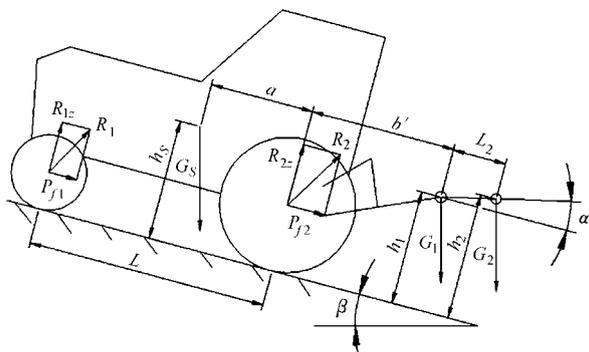


图3 整机纵向稳定性校核

Fig.3 Checking of longitudinal stability

### 2.3 最大有效间距的确定

综合考虑整个机组的纵向稳定性储备利用系数及爬坡稳定性指数,耕播机两单项作业机的最大有效间距应为  $l_{max} = \min\{l', l''\}$ 。

已知:  $G_s = 41\ 513\ \text{N}$ 、 $G_1 = 5\ 292\ \text{N}$ 、 $G_2 = 4\ 018\ \text{N}$ 、 $a = 1\ 020\ \text{mm}$ 、 $b' = 1\ 330\ \text{mm}$ 、 $l_1 = 362\ \text{mm}$ 、 $l_2 = 363\ \text{mm}$ ,根据式(2)和(3)计算  $l'$ ,当  $\alpha = 0^\circ$ 时取最大值, $l'$ 最大为40.86 cm。 $\beta = 20^\circ$ 、 $h_s = 1\ 240\ \text{mm}$ 、 $h_1 = 810\ \text{mm}$ 、 $h_2 = 850\ \text{mm}$ ,根据式(5)和(6)计算  $l''$ ,当  $\alpha = 0^\circ$ 时取最大值, $l''$ 最大为50.53 cm。由于  $l_{max} = \min\{l', l''\} = \min\{40.86\ \text{cm}, 50.53\ \text{cm}\} = 40.86\ \text{cm} \approx 41\ \text{cm}$ ,所以组合式耕播联合作业机两个单机的最大有效间距确定为41 cm。

### 3 单机最小有效间距

旋耕或碎茬作业时刀片将土壤或秸秆切碎,将

其从半封闭罩壳后缘与耕后地表之间的开口抛出,形成连续的土流。从连接机构的设计原则可知,连接机构在水平方向的有效几何尺寸,即耕整机后梁后端面到播种机前梁前端面的最小间距,取决于刀片的抛土或抛茬的距离。

土块和残茬的性质不同,被抛扔的距离也不同。在重力加速度和空气阻力的影响下,残茬的抛扔距离小于土块的抛扔距离,且残茬的覆盖对播种机施肥深度影响较小。所以本文以旋耕抛土的距离来限定最小有效间距。碎茬作业也会带起部分土壤,所以分析结果同样适用于碎茬抛土问题。

土块在抛扔过程中所发生的侧向位移对于确定单机间有效间距的影响不大,本文在分析和计算时,作如下几点假设:①土块被刀片切下的瞬间速度为零。未抛土之前,土块在刀片正切面上加速,直至抛出。②被抛土块分散为若干小土块,各小土块的起抛位置和起抛速度均不同,忽略各土块间的相互作用。③土块被抛出后的运动轨迹完全按照斜抛运动分析,忽略土块的侧向位移,不考虑土块间碰撞导致的运动轨迹的改变。

### 3.1 旋耕刀运动状态分析

图4是正转旋耕机作业时刀片的绝对运动轨迹,刀轴旋转中心为坐标原点  $O$ , $X$ 轴与旋耕机前进方向相同, $Y$ 轴负向为正。

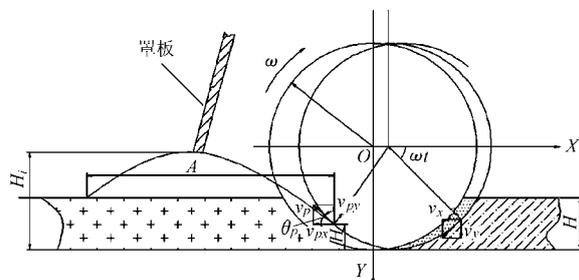


图4 正转旋耕刀抛土运动分析

Fig.4 Analysis of thrown clods

刀片尖端轨迹为

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

式中  $R$ ——旋耕刀的回转半径,mm

$\omega$ ——刀辊转速,rad/s

$v_m$ ——机组前进速度,m/s

$t$ ——时间,s

刀端在  $x$ 、 $y$  的速度方程为

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = v_m - R\omega \sin\omega t \\ v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \cos\omega t \end{cases}$$

刀端绝对速度为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2 - 2v_m R\omega\sin\omega t} \quad (7)$$

旋耕速比  $\lambda$  是指旋耕刀刀端的速度与机具前进速度之比, 即  $\lambda = \frac{R\omega}{v_m}$ , 可得

$$v = \sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2 - 2v_m R\omega\sin\omega t} = R\omega \sqrt{1 - \frac{2}{\lambda}\sin\omega t + \frac{1}{\lambda^2}} \quad (8)$$

### 3.2 土块被抛位置和初速度

刀端的运动轨迹是余摆线, 各点切线方向即为速度方向。由图 4 可以看出, 刀片切削土壤时旋转角度的范围是  $0 < \omega t < \frac{\pi}{2}$ 。当  $v_x \leq 0$  时, 水平分速度与机组前进方向相反, 旋耕刀触地瞬间开始切土, 直至  $X$  方向速度达到最大, 土块被完全切下。

土块被切后, 刀尖在水平方向分速度仍与机具前进方向相反, 但不断减小, 直至减小为零。起抛位置必在  $v_x$  减小到零之前, 即抛土时刀片旋转角度的范围是  $\frac{\pi}{2} < \omega t < \pi$ 。土块随刀片运动, 在正切面发生滑移和加速, 当土块速度等于刀片速度时, 此时二者不再具有相对运动趋势, 此时土块被抛出。因为该过程很复杂, 在确定土块的抛扔距离时只考虑单刀的工作情况。设土块加速到  $v_p$  时被刀片抛出,  $v_p$  即为土块被抛出的初速度, 此时  $v_{Bx} = v_{px}$ ,  $v_{By} = v_{py}$ 。因为刀片此时的工作范围是  $\frac{\pi}{2} < \omega t < \pi$ , 刀片水平方向的速度变化是负向, 绝对值逐渐减小至零后, 正向速度逐渐增大。

由于土块脱离刀片后作斜抛运动, 设定斜抛过程中射程达到最远时的极限状态作为起抛位置。斜抛运动的射程与抛出速度和水平方向夹角(即抛射角)有密切关系, 抛射速度越大, 射程越大, 如图 5 所示。

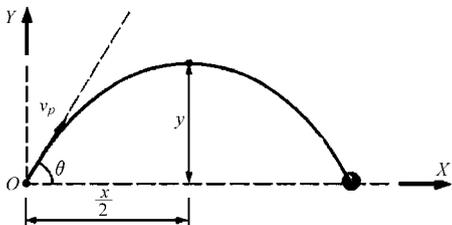


图 5 斜抛运动分析

Fig. 5 Analysis of parabolic motion

土块到达最高点时间为  $t = \frac{v_0 \sin\theta}{g}$ , 射程为  $x =$

$$2v_p \cos\theta = \frac{v_p^2 \sin 2\theta}{g}。射高为  $y = v_p t \sin\theta - \frac{1}{2} g t^2 = \frac{v_p^2 \sin^2\theta}{2g}$ 。式中,  $v_p$  为起抛速度(m/s),  $\theta$  为抛射角(°)。$$

可得, 抛射角为  $45^\circ$  时射程达到最远。

但是耕整机抛出土流的射程受罩壳的限制, 罩壳的开口位置和大小决定了抛土流的大小。抛射角过大, 土块会被罩壳阻拦, 只有部分土块才会被抛到罩壳外。假设旋耕前、后地表等高, 根据斜抛公式和整机结构尺寸的计算可知, 当抛射角等于  $45^\circ$  时, 会被罩壳阻拦, 所以抛射角的范围应为  $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ 。结

合旋耕刀运动分析, 起抛速度为  $R\omega \sqrt{1 - \frac{2}{\lambda}\sin\omega t + \frac{1}{\lambda^2}}$ ,  $\theta = \omega t - \frac{\pi}{2}$ 。由数学关系可知, 随着  $\theta$  的增大, 起抛速度和起抛角均不断增大, 即射程越远。考虑极限位置, 当土块的射高等于罩壳低端到旋耕沟底的距离  $H_1$  时, 射程达到最远。

### 3.3 抛扔距离计算

设定射程达到最远时的起抛角为  $\theta_p$ , 起抛速度为  $R\omega \sqrt{1 - \frac{2}{\lambda}\sin(\theta_p + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{\lambda^2}}$ 。当  $\theta = \theta_p$  时,  $y = H_1$ , 由联立方程

$$\begin{cases} H_1 - H = \frac{v_p^2 \sin^2\theta_p}{2g} \\ H = R - R\cos\theta_p \\ v_p = R\omega \sqrt{1 - \frac{2}{\lambda}\cos\theta_p + \frac{1}{\lambda^2}} \end{cases} \quad (9)$$

即可求出  $\theta_p$ 、 $v_p$ 。

根据斜抛的运算公式, 即可以得到土块被抛的水平距离  $A$ 。抛出土块的运动方程为

$$\begin{cases} x = v_p t \cos\theta_p \\ y = H + v_p t \sin\theta_p - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (10)$$

当  $y = H$  时, 由式(10)即可得土块被水平抛扔的距离  $A$ 。最短单机间距是土块抛扔距离与起抛点到耕整机后梁后端面的距离, 以及播种机施肥铲尖端到播种机前梁前端面的距离的差值。计算得出单机的最短有效间距为 19.03 cm, 本文取 19 cm。

## 4 田间试验

为验证最大和最小有效间距是否满足设计要求, 在吉林农业大学试验田对该机组进行田间试验, 使两个单机有效间距分别为 41 cm 和 19 cm。

试验区域坡度分别为:  $2.3^\circ$ 、 $2.5^\circ$ 、 $6.2^\circ$ 、 $8.2^\circ$ 。试验区域 15 cm 处土壤坚实度为 1.08 MPa。试验区域土壤 15 cm 处平均含水率为 26.2%。

(1) 当单机间距为 41 cm, 机组在该地块往复行驶进行试验, 整个机组在行驶过程工作平稳。试验证明单机间距不小于 41 cm 时可以保证作业机组在

不大于  $8.2^\circ$  的坡度范围内不发生倾翻。

(2) 当单机间距为 19 cm 时,旋耕作业形成的抛土流均落在播种开沟器前端,未对播种深度、和覆土量造成影响;并且旋耕过程中产生的土块碎茬未产生堵塞现象。证明当单机间距大于或等于 19 cm 时可以保证连接机构的工作可靠性。

## 5 结 论

(1) 从分置式耕播机连接机构的设计原则出

发,分析了单机连接机构的有效间距。

(2) 从拖拉机组纵向稳定性储备利用系数、整机纵向稳定性校核等方面进行分析,最终确定两单机之间的最大有效间距为 41 cm。

(3) 分析了旋耕刀的运动状态、土块的被抛位置和初速度,经计算和试验确定连接机构最小有效间距为 19 cm。

## 参 考 文 献

- 1 赵永满,王维新. 国外农业机械化的现状及发展状态[J]. 农机化研究, 2005(4): 10~12.  
Zhao Yongman, Wang Weixin. The present status and development tendency of international agricultural mechanization[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(4):10~12. (in Chinese)
- 2 Inman J W. Conservation/minimum tillage in California [J]. Resource Magazine, 2008, 15(3): 22~23.
- 3 Martina S W, Hanksb J. Economic analysis of no tillage and minimum tillage cotton-corn rotations in the Mississippi Delta [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 102(1): 135~137.
- 4 Sijtsma C H, Campbell A J, McLaughlin N B, et al. Comparative tillage costs for crop rotations utilizing minimum tillage on a farm scale[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 49(3): 223~231.
- 5 贾洪雷, 马成林, 李慧珍, 等. 基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 28~34.  
Jia Honglei, Ma Chenglin, Li Huizhen, et al. Tillage soil protection of black soil zone in northeast of China based on analysis of conservation tillage in the United States [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 28~34. (in Chinese)
- 6 Jacobs A, Helfrich M, Hanisch S, et al. Effect of conventional and minimum tillage on physical and biochemical stabilization of soil organic matter[J]. Biology & Fertility of Soils, 2010, 46(7): 671~680.
- 7 Jia Honglei, Ma Chenglin, Li Guangyu, et al. Combined rototilling-stubble breaking-planting machine [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 96(1~2): 73~82.
- 8 贾洪雷, 李广宇, 马成林, 等. 分置式耕播联合作业机连接机构的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 54~57.
- 9 Jia Honglei, Wang Lichun, Li Chunsheng. Combined stalk-stubble breaking and mulching machine [J]. Soil & Tillage Research, 2010, 107(1): 42~48.
- 10 ISO 7256-2-1984 播种设备试验方法第2部分:条播机[S]. 1984.
- 11 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:上册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2007.