

小麦播种机开沟器双向平行四杆仿形机构的设计及运动仿真

赵淑红¹, 蒋恩臣^{1,2*}, 闫以勋³, 杨悦乾¹, 田佰亮¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642;
3. 大连华锐重工焦炉车辆设备有限公司, 大连 116052)

摘 要: 寒地冬小麦一般在秋季作物的垄沟两侧进行播种, 为了保证冬小麦开沟器不到垄台上伤害正在生长的农作物, 该文设计了双向仿形平行四杆机构。该文对仿形机构进行受力分析, 确定了影响仿形性能的各参数; 根据初始工作角和最大下仿形量, 设计出仿形杆的长度为 386.37 mm, 最大上仿形量为 98.35 mm; 在左右达到最大仿形量时, 确定左右仿形角为 15°。最后应用 CATIA 软件进行运动仿真分析, 通过运动仿真表明, 仿形机构可实现上下、左右仿形, 上下仿形量可达到 170 mm, 左右仿形量可达到 100 mm, 满足理论设计的双向仿形量。该机构为研制冬小麦免耕播种机提供了依据。

关键词: 农业机械, 机构, 设计, 双向仿形, 免耕播种机, 运动仿真

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.14.004

中图分类号: S223.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-14-0026-07

赵淑红, 蒋恩臣, 闫以勋, 等. 小麦播种机开沟器双向平行四杆仿形机构的设计及运动仿真[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 26—32.

Zhao Shuhong, Jiang Enchen, Yan Yixun, et al. Design and motion simulation of opener with bidirectional parallelogram linkage profiling mechanism on wheat seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 26—32. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

免耕播种是在地表留有大量残茬和秸秆情况下进行播种, 要保证种子出苗率和一致性, 必须保证开沟深度稳定性和一致性。但由于地面高低不平, 并且残茬和秸秆容易引起开沟器堵塞, 这些都容易导致开沟器工作不稳定性, 因此, 需要在播种机上开沟器前方设置结构合理的仿形机构。播种机主要采用整体仿形和单体仿形^[1]。整体仿形就是利用地轮仿形^[2-7]; 徐云峰^[8]设计了六行整体仿形小麦免耕播种机。孙伟等^[9]采用复合铰链前位双轮仿形机构, 地轮传递动力外, 还有限深和地面仿形作用。单体仿形一种是限深轮仿形^[10-14]。刘立晶等^[15]在开沟器单体上装有压缩弹簧, 实现单体仿形。胡鸿烈等^[16]设计单体仿形压轮式播种单组; 另一种是平行四杆仿形^[17-24]; 崔涛等^[25]设计了平行四杆, 实现同位仿形。以上研究主要针对仿形结构如何实现上下仿形。

东北农业大学成功培育高寒地区新品种“东农冬麦 1 号”, 打破高寒地区耕作时间和播种方式。为了满足冬小麦越冬的条件, 必须在 8 月末、9 月中上旬播种, 此时前茬作物未收获, 因此在垄沟两侧进行播种—垄间套播冬小麦。在垄沟两侧播种冬小麦时, 要求其具有较强的地面仿形性能。需要播种机每个单体同时具有上下和左右仿形功能。保证播种时开沟器既不上垄台, 也不在垄沟内, 这样加大了仿形难度。现有免耕播种机已经无法满足这一播种农艺要求。本文设计一种新型的垄间套播冬小麦免耕播种机的仿形机构—双向平行四杆仿形机构。该机构在不同地形实现上下和左右同时仿形, 顺利完成播种。这一机构的实现, 为研制冬小麦免耕播种机提供了重要保障。

1 双向平行四杆仿形机构及原理

本机构主要由机架、仿形横杆、仿形纵杆、仿形限位架等组成。仿形横杆为一轴形杆, 安装在机架的套筒内, 可以相对套筒转动, 同时通过仿形连接件连接仿形纵杆, 与仿形连接件之间不能相对运动, 只能整体在单体安装架上转动, 仿形纵杆可以绕仿形连接件转动。仿形限位架安装在单体梁上。仿形横杆、仿形纵杆转动的角度受仿形限位架的控制。如图 1 所示。

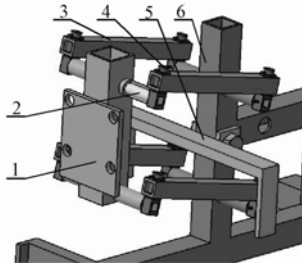
收稿日期: 2012-10-17 修订日期: 2013-06-03

基金项目: 东北农业大学科研启动基金项目 (2010RCB45)

作者简介: 赵淑红 (1969—), 女, 黑龙江人, 博士后, 主要从事田间农业机械的研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: shzh091@sina.com

*通信作者: 蒋恩臣 (1960—), 男, 黑龙江人, 教授, 主要从事收获机械、生物质能转化与利用。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030, Email: ecjiang@neau.edu.cn



1. 机架 2. 仿形横杆 3. 仿形纵杆 4. 仿形杆连接件 5. 仿形限位架 6. 单体梁
1. Frame 2. Latitudinal profiling bar 3. Longitudinal profiling bar
4. Connector 5. Limiting rack 6. Monomer rack

图 1 双向平行四杆仿形机构

Fig.1 Profiling mechanism of bidirectional parallelogram linkage

机具作业时，仿形横杆相对套筒转动，仿形纵杆随之发生转动，播种单体进行上下仿形，仿形纵杆转动一定角度后与仿形限位架横梁发生接触，播种单体不能继续上下移动，即达到上下仿形的最大量；同时仿形纵杆相对仿形连接件转动，播种单体进行左右仿形，仿形纵杆转动一定角度后与仿形限位架的竖梁发生接触，播种单体不能继续左右转动，即达到左右仿形的最大量。

本平行四杆机构，不仅实现上下、左右仿形，还缩短了播种机的长度，使得播种机的重心前移，结构紧凑。

2 双向平行四杆仿形机构受力分析

仿形机构受力平衡，才能实现播种机稳定工作，使开沟器在垄沟两侧播种。

2.1 上下仿形时受力分析

平行四杆机构上下仿形受力情况如图 2 所示。播种机工作时，即在 xy 平面上稳定工作的受力平衡条件是

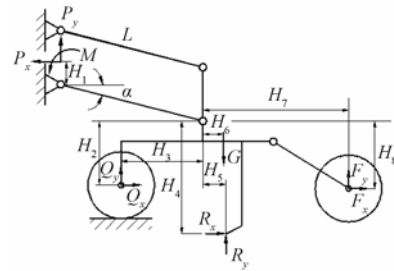
$$P_x - Q_x - F_x - R_x = 0 \quad (1)$$

$$P_y + Q_y + R_y + F_y - G = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & M + P_x H_1 + Q_x (H_2 + L \sin \alpha) + \\ & Q_y (L \cos \alpha - H_3) + R_x (H_4 + L \sin \alpha) + \\ & R_y (H_5 + L \cos \alpha) + F_x (H_8 + L \sin \alpha) + \\ & F_y (H_7 + L \cos \alpha) - G (H_6 + L \cos \alpha) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中， P_x 、 P_y 为牵引力，N； M 为牵引力对平行四杆在 xy 平面上的力矩，N·mm； G 为播种机单体的重力，N； L 为平行四连杆的长度，mm； α 为平行四杆的牵引角， $(^\circ)$ ； Q_x 、 Q_y 为土壤对仿形地轮的前进阻力、垂直反力，N； $Q_x = \mu Q_y$ ， μ 为仿形轮阻力系数； R_x 、 R_y 为开沟器受到的前进阻力、垂直反力，N； $R_x = f R_y$ ， f 为土壤摩擦系数； F_x 、 F_y 为土

壤对镇压轮的前进阻力、垂直反力，N； $F_x = f' F_y$ ， f' 为镇压轮阻力系数； H_1 为牵引力 P_x 到平行四杆铰链的距离，mm； H_2 为土壤对仿形地轮的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm； H_3 为土壤对仿形地轮的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_4 为开沟器受到的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm； H_5 为开沟器受到的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_6 为播种机单体的重力到平行四杆末端部的距离，mm； H_7 为土壤对镇压轮的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_8 为土壤对镇压轮的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm。



注： P_x 、 P_y 为牵引力； M 为牵引力对平行四杆在 xy 平面上的力矩； G 为播种机单体的重力； L 为平行四连杆的长度； α 为平行四杆的牵引角； Q_x 、 Q_y 为土壤对仿形地轮的前进阻力、垂直反力； R_x 、 R_y 为开沟器受到的前进阻力、垂直反力； F_x 、 F_y 为土壤对镇压轮的前进阻力、垂直反力。 H_1 为牵引力 P_x 到平行四杆铰链的距离，mm； H_2 为土壤对仿形地轮的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm； H_3 为土壤对仿形地轮的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_4 为开沟器受到的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm； H_5 为开沟器受到的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_6 为播种机单体的重力到平行四杆末端部的距离，mm； H_7 为土壤对镇压轮的垂直反力到平行四杆末端部的距离，mm； H_8 为土壤对镇压轮的前进阻力到平行四杆末端部的距离，mm。

Note: P_x 、 P_y is traction power; M is moment of traction on the xy plane; G is gravity of monomer of seeder; L is length of parallelogram linkage; α is angle of traction of parallelogram linkage; Q_x 、 Q_y is forward resistance and vertical reaction on profiling wheel; R_x 、 R_y is forward resistance and vertical reaction on opener; F_x 、 F_y is forward resistance and vertical reaction on press wheel. H_1 is distance from P_x to hinge of parallelogram linkage. H_2 is distance from Q_x to tail end of parallelogram linkage. H_3 is distance from Q_y to tail end of parallelogram linkage. H_4 is distance from R_x to tail end of parallelogram linkage. H_5 is distance from R_y to tail end of parallelogram linkage. H_6 is distance from G to tail end of parallelogram linkage. H_7 is distance from F_y to tail end of parallelogram linkage. H_8 is distance from F_x to tail end of parallelogram linkage.

图 2 xy 平面上受力图

Fig.2 Force diagram on xy plane

经过简化计算得

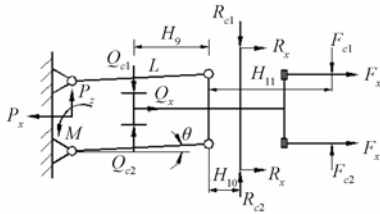
$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = \frac{G - R_y(1 + f \tan \alpha) - F_y(1 + f') \tan \alpha}{1 + \mu \tan \alpha} \sqrt{1 + \mu^2} \quad (4)$$

由式 (4) 可以看出，土壤对仿形轮的支反力 Q 的大小与机构重力 G 、土壤对开沟器工作阻力 R 、镇压轮工作阻力 F 及牵引角 α 有关。如果机构重力不变，土壤对开沟器工作阻力 R 、镇压轮工作阻力 F 、牵引角 α 越大，则 Q 值越小。反之，则 Q 值越大。欲使开沟器工作稳定，则要求仿形轮与土壤有

适宜的接触压力 Q_y ; 同时 Q 、 α 值的变化范围越小越好。如果接触压力 Q_y 过大, 仿形轮容易下陷, 并且下陷深, 滚动阻力增大。反之, 接触压力 Q_y 过小, 表明机构重力 G 值小, 则开沟器入土能力不足而使工作不稳定。

2.2 左右仿形时受力分析

如图 3 所示, 播种机单体左右仿形机构受力图。



注: P_z 为牵引力; M 为牵引力对平行四杆在 xz 平面上的力矩; Q_{c1} , Q_{c2} 为土壤对仿形地轮的侧向力; R_{c1} , R_{c2} 为土壤对开沟器的侧向力; F_{c1} , F_{c2} 为土壤对镇压轮的侧向力; H_9 为土壤对仿形地轮的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm; H_{10} 为土壤对开沟器的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm; H_{11} 为土壤对镇压轮的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm。
Note: P_z is traction power; M is moment of traction on the xz plane; Q_{c1} , Q_{c2} is lateral force on profiling wheel; R_{c1} , R_{c2} is lateral force on opener; F_{c1} , F_{c2} is lateral force on press wheel. H_9 is distance from Q_{c1} , Q_{c2} to tail end of parallelogram linkage. H_{10} is distance from R_{c1} , R_{c2} to tail end of parallelogram linkage. H_{11} is distance from F_{c1} , F_{c2} to tail end of parallelogram linkage.

图 3 xz 平面上受力图

Fig.3 Force diagram on xz plane

即在 xz 平面上其稳定工作的受力平衡条件是

$$M - (Q_{c2} - Q_{c1})H_9 + (R_{c2} - R_{c1})H_{10} + (F_{c2} - F_{c1})H_{11} = 0 \quad (5)$$

式中, P_z 为牵引力, N; M 为牵引力对平行四杆在 xz 平面上的力矩, N·mm; Q_{c1} , Q_{c2} 为土壤对仿形地轮的侧向力, N; R_{c1} , R_{c2} 为土壤对开沟器的侧向力, N; F_{c1} , F_{c2} 为土壤对镇压轮的侧向力, N; H_9 为土壤对仿形地轮的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm; H_{10} 为土壤对开沟器的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm; H_{11} 为土壤对镇压轮的侧向力到平行四杆末端部的距离, mm。

由式 (5) 可知, 仿形地轮所受到的侧向力 Q_c 主要与土壤对开沟器的侧向力 R_c 有关。当垄距有变化时, 2 个播种开沟器出现开沟深度不一致, 致使开沟器所受的侧向力 R_{c1} , R_{c2} 不相等, 显然离垄沟近的一个开沟浅, 受力小, 反之则相反, 这时整个播种单体就会向受力小的一侧平移, 使两个播种开沟器所受的力相等, 因而仿形地轮所受到的侧向力 Q_{c1} , Q_{c2} 相等, 实现左右仿形, 保证播种的直线性。

3 双向平行四杆仿形机构尺寸的设计

平行四杆各拉杆的牵引角 α 、长度 L 、仿形机构的横向宽度 a 的大小等都对仿形性能有直接的影

响。若使仿形机构在左右和上下 2 个方向上运动平稳, 开沟深度稳定, 必须选择合适的尺寸参数。

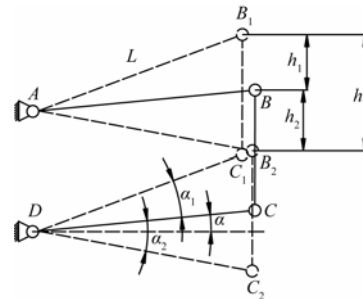
3.1 平行四杆各拉杆的牵引角 α 的确定

在稳定的工作条件下, 根据所要求的仿形量大小确定平行四杆尺寸。免耕播种机仿形机构仿形量大小依据地形和播前整地条件而定, 通常情况下, 上下仿形量各为 80~100 mm, 如图 4a 所示。同样左右仿形量也设为 80~100mm, 如图 4b 所示。从图 4 中可知上下仿形机构总仿形量 (h , mm) 的大小为

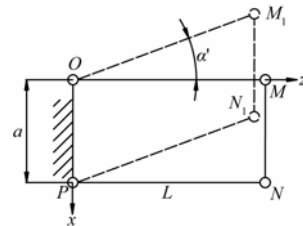
$$h = L[\sin(\alpha + \alpha_1) + \sin(\alpha_2 - \alpha)] \quad (6)$$

式中, α_1 为上仿形角, ($^\circ$); α_2 为下仿形角, ($^\circ$)。

由式 (6) 可知, 若要仿形量相同, 平行四杆的上下拉杆越长, 则牵引角 α 变化范围越小; 上下拉杆越短, 则牵引角 α 变化范围越大。为使单组部件能够稳定工作, 牵引角变化范围越小越好。因此, 上下拉杆长一些有利。但拉杆加长, 会使结构不紧凑, 机具重心后移, 对悬挂式播种机机组的纵向稳定性不利。



a. 在 xy 平面上的参数
a. Parameters on xy plane



b. 在 xz 平面上的参数
b. Parameters on xz plane

注: 图 a: B_1C_1 为平行四杆 BC 上仿形时运动到的极限位置; B_2C_2 为平行四杆 BC 下仿形时运动到的极限位置; α_1 为上仿形角, ($^\circ$); α_2 为下仿形角, ($^\circ$); h_2 为下仿形量, mm; h_1 为上仿形量, mm; h 为仿形机构上下总仿形量, mm。图 b: M_1N_1 为平行四杆 MN 左右仿形时运动到的极限位置; a 为平行四杆机构的横向宽度, mm; α' 为左右仿形角, ($^\circ$)。
Note: Fig.a: B_1C_1 is the maximum of upper profiling on parallelogram linkage BC ; B_2C_2 is the maximum of lower profiling on parallelogram linkage BC ; α_1 is upper profiling angle; α_2 is lower profiling angle; h_1 is upper profiling, mm; h_2 is lower profiling, mm; h is the sum of upper and lower profiling, mm. Fig.b: M_1N_1 is the maximum of left and right profiling on parallelogram linkage MN ; a is lateral distance of parallelogram linkage; α' is left and right profiling angle.

图 4 平行四杆在 xy 和 xz 平面上的参数

Fig.4 Structural parameter of parallelogram linkage on xz and xy plane

现有播种机上 α 为 $0 \sim 10^\circ$ 之间, α_2 为 $6^\circ \sim 22^\circ$ 之间, 即最大播深时的下仿形牵引角 $6^\circ \sim 22^\circ$, $\alpha + \alpha_1$ 为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间, 即最小播深时的上仿形牵引角 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。由于冬小麦是在秋天播种, 这时期田间土壤硬度较大, 为了能够有足够的力使开沟器开出满足农艺要求的深度。参照国内外播种机机型, 依据本论文播种机的特点设计上仿形角 $\alpha_1 = 15^\circ$, 初始工作角 $\alpha_0 = 0$, 下仿形角 $\alpha_2 = 15^\circ$, 两连杆架间距离 L_{AD} 为 200 mm。

3.2 仿形机构的横向宽度 a 的确定

平行四杆机构的横向宽度 a 的大小直接影响播种单体工作时的播行直线性。如果横向宽度太窄, 工作中容易引起横向不稳定, 导致播种行直线性不好, 并且给机械中耕带来困难。反之, 如果太宽, 使结构庞大, 对于窄行距播种不好配置。因此, 在满足工作性能的条件下应尽量取小值。根据冬小麦免耕播种的实际条件, 为了尽量减少在播种时对田间作物的打击, 又根据现有播种机的参数选用横向尺寸 $a = 200$ mm。

3.3 仿形机构长度 L 的确定

其参数如图 4a 所示, 由于初始工作角 $\alpha_0 = 0$, 上下仿形量相等, 只计算一侧仿形量即可, 仿形杆的长度 L

$$L = \frac{h_2}{\sin \alpha + \sin(\alpha_2 - \alpha_0)}$$

式中, h_2 为下仿形量, mm, 取最大为 100; α_0 为初始工作角, ($^\circ$), 取 0; α_2 为下仿形角, ($^\circ$), 取 15° 。

经计算, $L = 386.37$ mm, 取 $L = 380$ mm, 得到上仿形量大小 (h_1 , mm)

$$h_1 = L \cdot [\sin(\alpha_1 + \alpha) - \sin \alpha]$$

式中, α_1 为上仿形角, ($^\circ$), 取 15° 。

经计算, $h_1 = 98.35$ mm, 满足仿形量 80~100 mm 的要求。

如图 4b 所示, 双向仿形机构的左右仿形量按照仿形量大小为 80~100 mm 进行设计, 正常工作时, 工作角为零度。达到最大仿形量 $h' = 100$ mm 时, 其左右仿形角度的大小 (α' , $^\circ$)

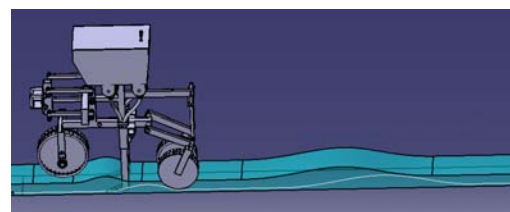
$$\alpha' = \arcsin \frac{h'}{L}$$

经计算, $\alpha' = 15.2^\circ$, 取 15° , 满足左右仿形要求。

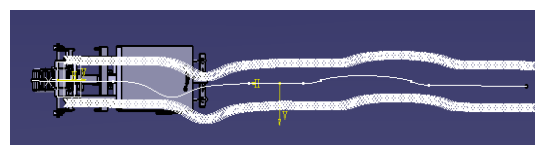
4 基于 CATIA 的仿形机构运动学分析

为了确定该仿形机构的仿形效果, 应用仿真软件进行运动模拟。本文应用 CATIA^[26-28] 软件进行运动模拟。将该播种机的机架设为菱形运动副作为驱动, 前进速度为 4 km/h, 相对于地面不会发生上下

起伏、左右摆动; 仿形地轮与地面为滚动曲线副, 仿形机构与机架和单体梁相连为转动副, 对其在 CATIA 动态仿真模块中进行模拟, 得到开沟器的运动轨迹。图 5a 播种机仿形地轮随地面上下起伏时, 开沟器相对于地面的运动轨迹图, 上下仿形量各为 85 mm; 图 5b 为播种机仿形地轮随地面左右摆动时, 开沟器相对于地面的运动轨迹图, 左右仿形量达到 100 mm。



a. 在 xy 平面上的运动轨迹
a. Motion trajectory on xy plane



b. 在 xz 平面上的运动轨迹
b. Motion trajectory on xz plane

图 5 冬小麦播种机的运动仿真

Fig.5 Motion simulation of winter wheat no-tillage seeder

从图 5 中的轨迹可以发现, 该仿形机构的仿形地轮随着地面的高低起伏和田间垄形的左右摆动, 开沟器相对于地面产生了相应的上下、左右的运动趋势, 能够满足上下和左右仿形的功能。因此, 可以验证该仿形机构的仿形性能是可行的。从所生成的运动轨迹中, 我们发现仿形机构存在一定的滞后性。当仿形轮上坡时, 开沟器在非上坡的地方升高将造成开沟深度变浅; 当仿形地轮下坡时, 开沟器在非下坡时下降将造成播种机开沟变深。当播种机左右仿形时同样产生类似的问题。但是, 从开沟器所生成的运动轨迹中我们发现其轨迹形状接近于实际地形, 从而能够满足播种农艺要求。

5 结 论

1) 本文对仿形机构及尺寸进行了设计。在初始工作角 0, 下仿形量达到最大 (100 mm) 时, 计算得到最大上仿形量为 98.35 mm; 在左右达到最大仿形量 (100 mm) 时, 左右仿形角为 15° , 满足仿形要求。下一步需要对仿形机构尺寸进行优化。

2) 应用 CATIA 三维软件动态模拟与仿真模块对仿形机构进行运动仿真分析, 上下仿形量各为 85 mm; 左右仿形量达到 100 mm。表明该播种机上开沟器的轨迹形状接近于实际地形, 仿形效果好,

从而能够提高播种质量,满足播种农艺要求。下一步需要通过田间试验进行验证。

3) 双向平行四杆仿形机构结构简单,仿形可靠,实现上下、左右同时仿形,仿形过程中不会导致开沟器的入土角产生变化,对冬小麦技术的推广具有广阔的前景。

[参 考 文 献]

- [1] 高焕文. 保护性耕作技术与机具[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 姚宗路, 王晓燕, 李洪文, 等. 2BMD-12 型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 46—51.
Yao Zonglu, Wang Xiaoyan, Li Hongwen, et al. Modification and experiment on 2BMD-12 row-controlled no-till wheat drill[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(5): 46—51. (in Chinese with English abstract)
- [3] 姚宗路, 高焕文, 王晓燕, 等. 2BMX-5 型小麦-玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 64—68.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨悦乾, 纪文义, 赵淑红, 等. 2BM-2 免耕播种机的设计及试验研究[J]. 农机化研究, 2007(3): 61—63.
Yang Yueqian, Ji Wenyi, Zhao Shuhong, et al. Device and experimental study on 2BM-2 model the mulch seeder of no-tillage[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(3): 61—63. (in Chinese with English abstract)
- [5] 姚宗路, 高焕文, 李洪文, 等. 一年两熟区玉米覆盖地小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 57—61.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Experiment on no-till wheat planter under the bestrow of the maize stubble in double cropping area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 57—61. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈浩, 黄虎, 杨亚莉, 等. 固定道对行小麦/玉米通用免耕播种机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 72—76.
Chen Hao, Huang Hu, Yang Yali, et al. Design of row-followed no-till wheat and maize planter under controlled traffic farming system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 72—76. (in Chinese with English abstract)
- [7] 田斌, 韩少平, 吴建民. 2BMFSG-3/6 型固定道作业免耕施肥播种机的设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(6): 187—189, 198.
- [8] 徐云峰. 小型免耕播种机的设计与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Xu Yunfeng. Design and Experiment of the Small No-tillage Seeder[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙伟, 吴建民, 黄晓鹏, 等. 2BFM-5 型山地免耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 26—31.
Sun Wei, Wu Jianmin, Huang Xiaopeng, et al. Design and field experiments of 2BFM-5 hilly no-tillage seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(11): 26—31. (in Chinese with English abstract)
- [10] 徐迪娟, 李问盈, 王庆杰. 2BML-2(Z)型玉米垄作免耕播种机的研制[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 75—78.
Xu Dijuan, Li Wenying, Wang Qingjie. Development of 2BML-2(Z) type no-till maize seeder in ridge-field[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(3): 75—78. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王庆杰, 李洪文, 何进, 等. 凹形圆盘式玉米垄作免耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 117—122.
Wang Qingjie, Li Hongwen, He Jin, et al. Design and experiment on concave disc type maize ridge-till and no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(7): 117—122. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李洪文, 陈君达, 邓健, 等. 旱地玉米机械化保护性耕作技术及机具研究[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(4): 68—72.
Li Hongwen, Chen Junda, Deng Jian, et al. Study on technology and machines of mechanized conservation tillage for dryland maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(4): 68—72. (in Chinese with English abstract)
- [13] 罗红旗, 高焕文, 刘安东, 等. 玉米垄作免耕播种机研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(4): 45—47.
Luo Hongqi, Gao Huanwen, Liu Andong, et al. Study on ridge-till and no-till corn planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(4): 45—47. (in Chinese with English abstract)

- [14] 王庆杰, 何进, 姚宗路, 等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 68—72.
Wang Qingjie, He Jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 68—72. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘立晶, 杨学军, 李长荣, 等. 2BMG-24 型小麦免耕播种机的设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 39—43.
Liu Lijing, Yang Xuejun, Li Changrong, et al. Design of 2BMG-24 no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 39—43. (in Chinese with English abstract)
- [16] 胡鸿烈, 孙福辉. 单体仿形压轮式播种单组的设计与试验研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(增刊 10): 53—57.
Hu Honglie, Sun Fuhui. Study on designing and testing of the drill unit with individual profiling press wheel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(Suppl.10): 53—57. (in Chinese with English abstract)
- [17] 姚宗路, 王晓燕, 高焕文, 等. 小麦免耕播种机种肥分施机构的改进与应用效果[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 120—124.
Yao Zonglu, Wang Xiaoyan, Gao Huanwen, et al. Improvement and experiment on the device for separate application of fertilizer and seed for no-till wheat drill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(1): 120—124. (in Chinese with English abstract)
- [18] 范旭辉, 贾洪雷, 张伟汉. 免耕播种机仿形爪式防堵清茬机构参数分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 56—60.
Fan Xuhui, Jia Honglei, Zhang Weihai. Parametric analysis of finger-type anti-blocking residue-cleaner for no-till planting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 56—60. (in Chinese with English abstract)
- [19] 蒋金琳, 龚丽农, 王明福. 免耕播种机单体工作性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 64—66.
Jiang Jinlin, Gong Linong, Wang Mingfu. Study on the working performance of the no-tillage planter unit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(5): 64—66. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张喜瑞, 何进, 李洪文, 等. 免耕播种机驱动圆盘防堵单元体的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 117—121.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on the driving disc of anti-blocking unit for no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(9): 117—121. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张晋国, 高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 33—35.
Zhang Jinguo, Gao Huanwen. Study on the strip chopping anti-blocking mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(4): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [22] 孙建祥, 王止戈, 武传江, 等. ZBCM—6 型茬地免耕半精量播种机的研制[J]. 农机化研究, 2003(2): 146—148.
Sun Jianxiang, Wang Zhige, Wu Chuanjiang, et al. Develop or ZBCM-6 stubble field zero tillage half precision seeding machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(2): 146—148. (in Chinese with English abstract)
- [23] 徐祝欣, 田立忠, 尚书旗, 等. 2BFD-4 型花生覆膜播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 2): 13—17. (in English with Chinese abstract)
- [24] 车刚, 张伟, 梁远, 等. 3ZFC-7 型全方位复式中耕机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 130—135.
Che Gang, Zhang Wei, Liang Yuan, et al. Design and experiment of the 3ZFC-7 omni-bearing duplex type cultivator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(1): 130—135. (in Chinese with English abstract)
- [25] 崔涛, 张东兴, 杨丽, 等. 玉米精量播种机同位仿形半低位投种单体设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 2): 18—23. (in English with Chinese abstract)
- [26] 詹浩才. CATIA V5 零件设计范例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

- [27] 盛选禹, 盛选军. CATIA V5 运动和力学分析实例教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [28] 杨超云. 基于 CATIA V5 的零件参数化设计及运动仿真[J]. 汽车零部件, 2011(6): 55—58.

Yang Chaoyun. The parametric design of part oriented to CATIA V5 and kinematic simulation[J]. Automobile Parts, 2011(6): 55 — 58. (in Chinese with English abstract)

Design and motion simulation of opener with bidirectional parallelogram linkage profiling mechanism on wheat seeder

Zhao Shuhong¹, Jiang Enchen^{1,2*}, Yan Yixun³, Yang Yueqian¹, Tian Bailiang¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. College of Engineering, Huanan Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Dalian Huarui Heavy Industry Coke Oven Vehicles Equipment Limited Company, Dalian 116052, China)

Abstract: Heilongjiang province is located between north latitude $43^{\circ}25' \sim 53^{\circ}33'$ and east longitude $121^{\circ}11' \sim 135^{\circ}5'$. There is one ripe area in a year at lower temperature, therefore the soil is ridged. In order to meet the wintering requirements for winter wheat, the seed must be sowed in late August and early September. As the previous crop is still growing, winter wheat is sowed at both sides in the furrow. In order to protect the growing crops on the ridge, parallelogram linkage mechanism must simultaneously achieve upper and lower, left and right profiling. Existing parallelogram linkage mechanism had achieved up-and-down profiling, so bidirectional parallelogram linkage profiling mechanism was designed, which consisted of the frame, latitudinal profiling bar, longitudinal profiling bar, and limiting rack. Latitudinal profiling bar was mounted in a sleeve of the frame and it could rotate relative to the sleeve. Latitudinal profiling bar connected longitudinal profiling bar through the connector, and they could not move separately, but could only rotate relatively to the frame as a whole. The longitudinal profiling bar rotated relative to the connector. The rotating angles of latitudinal profiling bar and longitudinal profiling bar were limited respectively by limit rack which was installed in the monomer beam. When the seeder was operating, latitudinal profiling bar rotated relative to the sleeve and longitudinal profiling bar rotated with it, so the seeder monomer achieved up and down profiling. When the longitudinal profiling bar contacted the horizontal beam of limit rack, the rotation was stopped. In this case, the seeder monomer reached the limited location of upper and lower profiling; longitudinal profiling bar rotated relative to the connector at the same time, the seeder monomer achieved left and right profiling. When longitudinal profiling bar contacted the vertical beam of limiting rack, the movement would be stopped. In this case, the seeder monomer reached the maximum of left and right profiling. The profiling performance parameters were determined through force analysis. According to the initial angle and maximum of lower profiling, the parallelogram linkage ' length was 386.37 mm and maximum of upper profiling was 98.35mm. The left and right profiling angle was 15° when left and right profiling reached their maximum. Then the motion simulation analyzed profiling mechanism with CATIA. The results indicated that simulation trajectory was close to real field situation. Maximum of upper and lower profiling reached 85 mm respectively and the left and right profiling reached 100 mm. The parallelogram linkage mechanism has the advantages of simple structure and better profiling results. The realization of this mechanism has an important significance for the research of winter wheat no-tillage seeder.

Key words: agricultural machinery, mechanisms, design, bidirectional profiling, no-tillage seeder, motion simulation

(责任编辑: 张俊芳)