

# 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机变量播种机构的设计

林来福 廖庆喜

华中农业大学工学院, 武汉 430070

**摘要** 针对不同种植条件和播期所对应的直播油菜播种密度的不同要求,根据切换齿轮啮合关系可改变排种器输入轴转速的工作原理,设计了一种适用于 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机的变量播种机构;介绍了具有 4 级播种密度调节功能的变量播种机构结构特征和工作原理;分析确定了该机构的主要结构参数和性能参数,同时运用有限元开展的模态分析显示输出齿轮轴刚性足够。台架试验表明,在相同时间内和同等条件下,未安装变量播种机构时排种量与安装变量播种机构时排种量之间的误差率低于 7%,该变量播种机构能满足油菜变量播种的要求。

**关键词** 油菜;直播机;变量播种;调节机构;播量  
**中图分类号** S 222.2<sup>+</sup>4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)06-0775-05

播量调节直接影响播种机的作业效果,作物种植中的播量已从论斤播种发展为论粒计量,调节播种精度成为评价播种机性能的重要指标<sup>[1]</sup>。播量调节可实现精量播种,与传统播种比,精量播种密度合理,节约种肥,省工省时,增产明显<sup>[2]</sup>。变量播种技术分为自动调节型和机械调节型两类。国外对自动调节型的变量播种技术研究较早,但大多是大型联合作业机械,与我国分散式经营模式不适应。目前,我国对自动调节型的变量播种技术研究处于起步阶段,且成熟产品少、产品可靠性差;对机械调节型的变量播种研究较多且技术较成熟,其机械具有结构简单、稳定可靠和调节便捷等优点。

2BFQ-6 型油菜精量联合直播机使用的正负气压组合式油菜排种器属气力式排种器,种子尺寸要求低,损伤率低<sup>[3]</sup>,能适应高速播种作业,其播量调节方式属机械调节型,靠更换不同型孔数排种盘或不同齿数链轮来实现<sup>[4]</sup>,这种方式调节不便且操作复杂。笔者设计了一种适用于 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机的变量播种机构,特点是调节简单、可靠性高、体积小、质量轻,通过轴向移动输入(输出)齿轮轴,使输入(输出)齿轮轴与过渡齿轮轴间的齿轮啮合关系改变,从而达到调整排种轴转速、调节播量的目的。

## 1 整体结构与工作原理

### 1.1 整体结构

2BFQ-6 型油菜精量联合直播机变量播种系统主要由仿形地轮、地轮轴、中介轴、变量播种机构、过渡轴和排种器等组成(图 1)。 $z_1$ 、 $z_2$ 、 $z_3$ 、 $z_4$ 、 $z_{12}$ 、 $z_{13}$ 、 $z_{14}$  和  $z_{15}$  为链轮;变量播种机构主要由 3 根相互平行的输入齿轮轴、过渡齿轮轴和输出齿轮轴组成, $z_5$  和  $z_6$  依次为输入齿轮轴上的小、大齿轮, $z_7$ 、 $z_8$  和  $z_9$  依次为过渡齿轮轴上的大、中和小齿轮, $z_{10}$ 、 $z_{11}$  依次为输出齿轮轴上的小、大齿轮;排种器是正负气压组合式油菜排种器,属盘式排种器<sup>[3]</sup>,此类排种器可通过改变输入轴转速来实现变量播种;变量播种机构就是通过改变齿轮组啮合关系来改变系统总传动比,从而改变排种器输入轴转速来实现变量播种。

### 1.2 工作原理

如图 1 所示,仿形地轮为系统提供动力,动力经链传给中介轴,中介轴又经链传给变量播种机构,再经链传给过渡轴,最后经链传给排种器。变量播种机构是系统的核心,操控轴向调节组件,可实现对输入齿轮轴与过渡齿轮轴间 2 组齿轮啮合关系的切换,以及对过渡齿轮轴与输出齿轮轴间 2 组齿轮啮合关系的切换,2 级齿轮传动属串联关系,同时

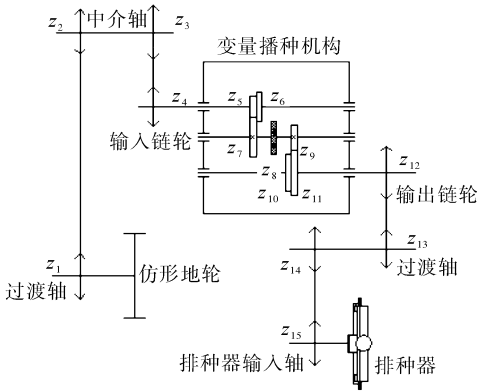


图 1 变量播种系统传动简图

Fig. 1 Transmission diagram of sowing system

操控 2 套轴向调节组件可使其具有 4 级变量播种调节功能。

### 1.3 主要技术参数

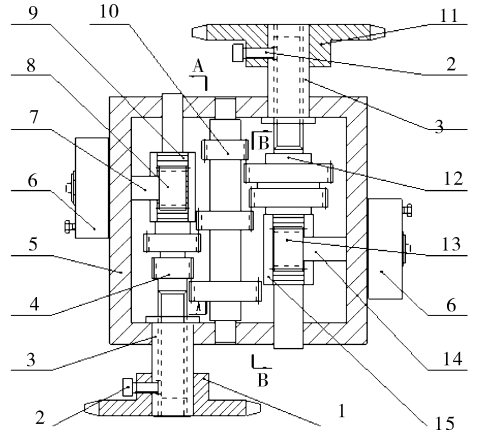
2009 年,邵留东<sup>[5]</sup>以华双 5 号、华油杂 9 号和华油杂 10 号 3 种油菜品种在长江中下游地区生产情况为研究对象,确定出直播油菜取得稳产高产所要求的播种密度。10 月 10 日之前,肥力较好时密度为 12~24 万株/hm<sup>2</sup>,肥力较差时密度为 15~30 万株/hm<sup>2</sup>; 10 月 10 日—11 月 1 日,油菜播种密度为 30~45 万株/hm<sup>2</sup>; 11 月 1 日—11 月 15 日,常规油菜密度为 38~60 万株/hm<sup>2</sup>,杂交油菜种植密度为 24~48 万株/hm<sup>2</sup>,肥力较差时种植密度为 60 万株/hm<sup>2</sup>; 11 月 15 日前后,油菜播种密度为 45 万株/hm<sup>2</sup>。

为满足农艺和农机的要求,笔者设计了一种在排种盘型孔数量一定的前提下具有 4 级播量调节功能的变量播种机构,分别选取 24、34、42、60 万株/hm<sup>2</sup>为 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机变量播种系统作业的微播量密度、小播量密度、中播量密度和大播量密度。

## 2 变量播种机构的设计

### 2.1 结构特征

变量播种机构是整个系统的核心,由动力传动组件和轴向调节组件构成,其设计水平和质量是系统功能实现的关键。动力传动组件由花键轴、输入齿轮轴、过渡齿轮轴和输出齿轮轴等组成;轴向调节组件分为输入轴向调节组件和输出轴向调节组件,输入轴向调节组件由输入调节套、输入调节轴和输入调节齿轮等组成,输出轴向调节组件由输出调节套、输出调节轴和输出调节齿轮等组成(图 2)。



1, 11. 链轮 Sprocket; 2. 螺栓 Screw; 3. 花键轴 Spline shaft; 4, 12. 输入/输出齿轮轴 In/out gear-shaft; 5. 箱体 Case; 6. 调节轮 Adjust wheel; 7, 14. 输入/输出调节轴 In/out adjust-shaft; 8, 13. 输入/输出调节齿轮 In/out adjust-gear; 9, 15. 输入/输出调节套 In/out adjust-sleeve; 10. 过渡齿轮轴 Transition gear-shaft.

图 2 变量播种机构结构示意图

Fig. 2 Sketch of variable sowing device

### 2.2 播量调节过程分析

油菜平均株距  $S$  的计算公式:

$$S = \frac{1}{BP} \quad (1)$$

式中,  $S$  为平均株距(m);  $B$  为行距(m),设计为 0.30 m;  $P$  为播种密度(万株/hm<sup>2</sup>)。

油菜实际株距的计算公式<sup>[6]</sup>:

$$S = \frac{3.14 Di}{(1-\eta)n} \quad (2)$$

式中,  $D$  为地轮直径(m),  $D=0.42$ ;  $i$  为系统传动比;  $\eta$  为地轮打滑率,  $\eta=0.1$ ;  $n$  为排种盘型孔数。

变量播种机构传动比的计算公式:

$$i_j = i \cdot \frac{z_1 z_3 z_{12} z_{14}}{z_2 z_4 z_{13} z_{15}} \quad (3)$$

由式(1)、(2)与(3)联立,

$$i_j = \frac{(1-\eta)n z_1 z_3 z_{12} z_{14}}{3.14 DBP z_2 z_4 z_{13} z_{15}} \quad (4)$$

根据播种机的作业要求以及齿传动和链传动的特点,拟定  $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_{14} = z_{15} = 21$ ,  $z_5 = 18$ ,  $z_6 = z_8 = 25$ ,  $z_7 = 32$ ,  $z_9 = 20$ ,  $z_{10} = 35$ ,  $z_{11} = 40$ ,  $z_{12} = 19$  和  $z_{13} = 18$ ,  $n=35$ 。

操控轴向调节组件,可实现对输入(输出)齿轮轴与过渡齿轮轴间 2 个齿轮对啮合关系的切换,2 级传动属串联关系,同时操控 2 套轴向调节组件可使变量播种机构具有 4 级播量调节功能,可实现的播种模式有微播量模式、小播量模式、中播量模式、

大播量模式(表 1)。从表 1 可看出,设计中选定的  $z_5=25$ 、 $z_7=32$ 、 $z_9=20$ 、 $z_{10}=35$ 、 $z_{11}=40$ 、 $z_{12}=19$ 、 $z_1=z_2=z_3=z_4=z_{14}=z_{15}=21$ 、 $z_5=18$ 、 $z_6=z_8=z_{13}=18$ 和  $n=35$  等参数是合理的。

表 1 变量播种模式分析

Table 1 Analysis on the patterns for variable sowing

播种模式 Sowing model	齿轮对啮合状态 Gear engaging status	机构理论传动比 Theoretic transmission ratio	机构实际传动比 Factual transmission ratio	$\frac{i_j-i'_j}{i'_j} \times 100/\%$
微播量模式 Micro sowing model	$Z_5$ 与 $Z_7$ , $Z_9$ 与 $Z_{11}$	$i_j=3.557$	$i'_j=\frac{z_7}{z_5} \cdot \frac{z_{11}}{z_9}=3.556$	0.03
小播量模式 Small sowing model	$Z_5$ 与 $Z_7$ , $Z_8$ 与 $Z_{10}$	$i_j=2.490$	$i'_j=\frac{z_7}{z_5} \cdot \frac{z_{10}}{z_8}=2.489$	0.05
中播量模式 Middle sowing model	$Z_6$ 与 $Z_8$ , $Z_9$ 与 $Z_{11}$	$i_j=2.001$	$i'_j=\frac{z_8}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_9}=2.000$	0.05
大播量模式 Large sowing model	$Z_6$ 与 $Z_8$ , $Z_8$ 与 $Z_{10}$	$i_j=1.401$	$i'_j=\frac{z_8}{z_6} \cdot \frac{z_{10}}{z_8}=1.400$	0.07

### 3 输出齿轮轴的模态分析

输出齿轮轴是变量播种机构中的关键部件之一,是相对转速最低的齿轮轴,结构最复杂,故其所受传动载荷最大,最易出现大的应变和严重的应力集中现象。因此,笔者运用有限元对输出齿轮轴开展模态分析。

#### 3.1 输出齿轮轴有限元网格的划分

为保证输出齿轮轴几何实体建模的准确性,直接在 ANSYS 中创建输出齿轮轴的三维实体模型。网格划分的方法主要有自由、映射及扫掠等<sup>[7]</sup>。由于输出齿轮轴结构较复杂及计算机能力限制,采用自由划分方法和 solid45 六面体单元进行网格划分,如图 3 所示。

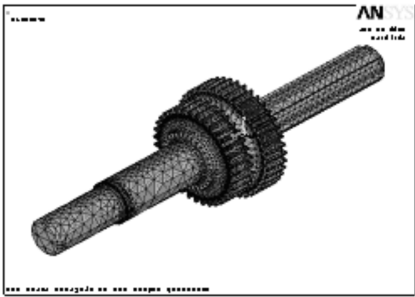


图 3 输出齿轮轴有限元模型

Fig. 3 Finite element model of output gear shaft

#### 3.2 输出齿轮轴的模态分析

模态是结构系统的一种属性,振动系统各阶固有频率、振型、模态质量、模态刚度和模态阻尼等是表征模态的特征参数<sup>[8]</sup>。模态分析可确定一个结构的固有频率和振型,两者是动态载荷结构设计中的重要参数。

输出齿轮轴材料 40Cr,弹性模量  $E=2.08 \times$

$10^5$  MPa,泊松比  $\mu=0.3$ ,密度  $\rho=7.8 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>。根据输出齿轮轴材料与几何参数,采用 Block Lanczos 的方法<sup>[9]</sup>,计算前六阶振型,如表 2、图 4 和图 5 所示。

表 2 输出齿轮轴振动固有频率分布

Table 2 Natural frequency of output gear shaft

模态阶数 Modal order	频率/Hz Frequency	振型 Vibration mode
1	0.01	轴向窜动 Axial moving
2	959	X 向弯曲 X-bending
3	978	Y 向弯曲 Y-bending
4	2 773	轴向扭转 Axial torsion
5	4 329	X 向扭转 X-torsion
6	1 1159	Y 向扭转 Y-torsion

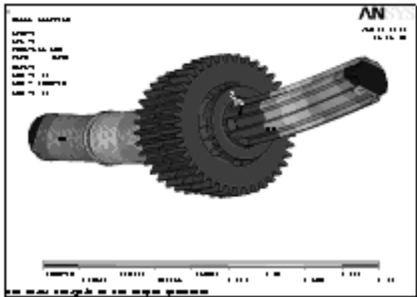


图 4 第二阶振型图

Fig. 4 Modal diagram of second vibration

#### 3.3 模态结果的分析

经过相关计算,该变量播种机构工作过程中,3 根齿轮轴的回转频率范围约为 0.08~2.32 Hz。齿轮轴回转频率范围远大于一阶固有频率,不会出现明显的轴向窜动现象,故轴向调节组件对输出齿轮轴的定位功能予以弱化。

另外,齿轮轴回转频率也远小于其他阶固有频率。输出齿轮轴刚度足够,有利于变量播种机构的平稳运行。

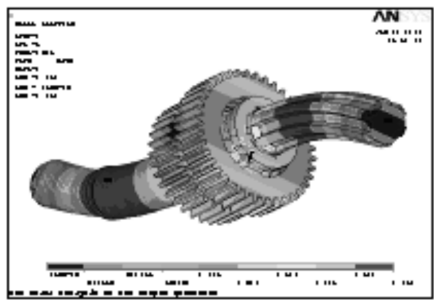


图 5 第五阶振型图  
Fig. 5 Modal diagram of fifth vibration

4 播量调节误差的分析

4.1 材料与方法

以华农华杂 4 号油菜为试验材料,其物理机械特性:千粒重 3.98 g,粒径 1.85 mm,含水率 7.6%,休止角 27.6°<sup>[3]</sup>。

试验设计:在相同时间内和同等条件下,考察未安装变量播种机构而直接由电机驱动排种器时排种量与电机经变量播种机构调节后再驱动排种器时排种量间的误差率。

播量调节误差率 X 的计算公式:

$$X = \frac{|m_1 - m_0|}{m_0} \times 100\% \tag{5}$$

式中,  $m_0$  为未安装变量播种机构时排种器的排种质量;  $m_1$  为电机经变量播种机构调节后驱动排种器的排种质量。

试验设备:JPS-12 型排种器性能检测试验台、变量播种机构、排种器、电机、精度 0.01 g 的电子秤和秒表等。未安装变量播种机构时,电机直接驱动排种器进行排种量测试;安装变量播种机构时,电机经变量播种机构调节后再驱动排种器进行排种量测试;JPS-12 型排种器性能检测试验台可实时检测电机工作转速,并能根据需要实时调节电机转速;电子秤测量每组试验的油菜排种量,秒表计量各组试验所用时间。

4.2 结果与分析

播种模式和输入齿轮轴转速是影响播量调节误差率的重要因素,不同播种模式对应不同的机构传动比。

设定真空度 2 900 Pa,正压 380 Pa,排种盘型孔数 35,分别以机构传动比、输入齿轮轴转速为试验因素,进行单因素试验。设定输入齿轮轴转速为 36 r/min,机构传动比依次取 1.400、2.000、2.489、

3.556 等 4 水平进行试验,测试其对播量调节误差率的影响。机构传动比为 1.400 时,播量调节误差率最大,其值为 5.67%;机构传动比为 3.556 时,播量调节误差率最小,其值为 2.93%;其他 2 个机构传动比对应的播量调节误差率均为处于 2.93%与 5.67%之间,随着机构传动比的提高,播量调节误差率呈下降趋势。设定机构传动比为 2,输入齿轮轴转速依次取 22.8、27.6、32.4、37.2、42.0、46.8 r/min 等 6 水平进行试验,测试其对播量调节误差率的影响。输入齿轮轴转速为 22.8 r/min 时,播量调节误差率最小,其值为 2.34%;输入齿轮轴转速为 46.8 r/min 时,播量调节误差率最大,其值为 5.79%;其他 4 个输入齿轮轴转速对应的播量调节误差率均处于 2.34%与 5.79%之间,随着输入齿轮轴转速的提高,播量调节误差率呈上升趋势。

设定真空度 2 900 Pa,正压 380 Pa,排种盘型孔数 35,测试不同机构传动比和输入齿轮轴转速组合对播量调节误差率的影响。结果表明相同时间内和同等条件下,未安装变量播种机构而由电机驱动排种器时的排种量与电机经变量播种机构调节后驱动排种器时的排种量间的误差率低于 7%。

产生播量调节误差率的主要原因有:测试装置零漂误差、机械传动误差、排种器性能稳定性变化及周围环境的变化等。

表 3 播量调节误差率

Table 3 Error rate on seeding adjustment

试验号 No. test	传动比 Drive ratio	转速/(r/min) Rotate speed	误差率/% Error rate
1	1.400	21.6	6.37
2	1.400	30.0	1.76
3	1.400	38.4	2.09
4	1.400	46.8	5.83
5	2.000	21.6	2.43
6	2.000	30.0	3.81
7	2.000	38.4	5.90
8	2.000	46.8	6.71
9	2.489	21.6	4.94
10	2.489	30.0	6.93
11	2.489	38.4	6.71
12	2.489	46.8	5.73
13	3.556	21.6	1.77
14	3.556	30.0	6.98
15	3.556	38.4	5.61
16	3.556	46.8	1.93

5 讨 论

2BFQ-6 型油菜精量联合直播机变量播种机构



在满足不同种植条件和不同播期所对应的直播油菜播种密度不同要求的前提下,采用 3 根齿轮轴进行啮合传动,能实现 4 级播种密度调节;与该机原有的播量调节方式相比,不需再靠更换不同型孔数排种盘或不同齿数链轮来实现变量播种,笔者研制的变量播种机构具有与播种机械安装连接方便可靠,操作简单,可实现油菜播种机械的变量播种功能。

应用 ANSYS 开展的模态分析结果表明,齿轮轴回转频率范围远大于一阶固有频率,不会出现明显的轴向窜动现象,轴向调节组件对输出齿轮轴的定位功能可予以弱化。另外,齿轮轴回转频率也远小于其他阶固有频率,输出齿轮轴刚度足够,能保证输出齿轮轴具有良好的动态性能。

台架试验表明,随着机构传动比提高,播量调节误差率呈下降趋势。这是由于随着机构传动比的增大,排种器输入轴转速随之降低,排种器排种过程的稳定性也随之提高,播量调节误差率下降。随着输入齿轮轴转速增大,播量调节误差率呈上升趋势。这是由于随着输入齿轮轴转速的增大,排种器输入轴随之增大,排种器排种过程的稳定性随之下降,播

量调节误差率增大。总之,设计的变量播种机构能满足变量播种的要求。

## 参 考 文 献

- [1] 徐嘉梁,顾永勤,谢正荣,等. 播种机用播量调节装置:中国,200620076617.2[P]. 2007-10-10.
- [2] 张波屏,刘格兰. 万能通用精准播种机的研究与试验[J]. 农业机械学报,2001,32(2):34-37.
- [3] 吴福通. 正负气压组合式油菜籽精量直播排种器的研究[D]. 武汉:华中农业大学工学院,2007.
- [4] 田波平,廖庆喜,黄海东,等. 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机的设计[J]. 农业机械学报,2008,39(10):211-213.
- [5] 邵留东. 不同播期条件下种植密度对油菜生长发育及产量的影响[D]. 武汉:华中农业大学植物科学与技术学院,2009.
- [6] 赵大为,裴泽莲,程晋,等. 2BQLM-3(4)型垄作免耕播种施肥机[J]. 农机化研究,2009(7):18-20.
- [7] 周宁. ANSYS 机械工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:163-175.
- [8] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,1997:89-125.
- [9] 杨红霞,汤文成. 机车构架静强度及模态有限元分析[J]. 机械与研究,2006(11):14-16.

## Design of mechanism for variable sowing on 2BFQ-6 rape precision combined direct planter

LIN Lai-fu LIAO Qing-xi

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Based on different planting conditions and sowing time in the same place and according to different requirements of rape seeding density, the mechanism for variable sowing on 2BFQ-6 rape precision combined direct planter has been designed, depending on the theory that adjusting the engaging relations of gears can change the input shaft's speed of the metering device. Its structure and working principle were studied in this paper, and it has the regulatory function with four planting densities. At the same time some main structural and performance parameters were analyzed and presented. Modal analysis showed that the rigidity of the output gear shaft is sufficient. The bench tests approved that the error ratio between the sowing amount of the metering device when the mechanism for variable sowing is not installed and the one when it is installed is less than 7% within the same time and under the same condition. It can satisfy the requirements of rape's variable sowing.

**Key words** rape; direct planter; variable sowing; adjusting mechanism; sowing amount

(责任编辑:陈红叶)