

磁力排种元件磁场分析与结构优选^{*}

胡建平 王 勋 闫军朝 郑赛男

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 提出了3种带导磁罩的磁力排种元件,并利用磁场有限元分析软件对有、无导磁罩2种磁力排种元件空间磁场特性进行了分析,得出了排种元件磁吸端面以及气隙空间磁感应强度分布规律。分析表明,有导磁罩排种元件漏磁少、磁能利用率高、磁吸端面附近的磁感应强度高,在相同安匝数下其磁吸端面磁感应强度比无导磁罩排种元件高30.41%,说明有导磁罩排种元件的吸种性能优于无导磁罩排种元件。通过对锥形、截锥形和阶梯形3种磁吸端面结构有导磁罩排种元件轴向、横向磁感应强度分析比较,得出有导磁罩锥形结构排种元件为优选结构。通过磁吸端面磁感应强度、最小吸种电流以及排种性能测试,证明了结构优选结果的正确性。

关键词: 精密排种器 磁吸式 排种元件 磁场分析 结构优选

中图分类号: S223.2⁺5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)02-0067-04

Analysis for Magnetic Field Characteristics of Magnetic Seed-metering Elements and Structure Optimization

Hu Jianping Wang Xun Yan Junchao Zheng Sainan

(Key Laboratory of Modern Agriculture Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Magnetic seed-metering element is the core components of the magnetic precision seeder. In order to improve performance, a new seed-metering element with magnetic shield was put forward. By using FEA software, the magnetic field characteristics were analyzed for two kinds of seed-metering elements with and without magnetic shields, respectively. The distribution of magnetic induction intensity was obtained at head face, as well as air-gap space of the two kinds of seed-metering elements. The research results showed that the magnetic energy utilization and magnetic induction of the seed-metering element with magnetic shield was higher than the other one which had no magnetic shield, and the intensity of magnetic induction at the end of seed-metering element which had magnetic shield was higher, 30.41% than that non-magnetic shield element on the same number of amperes turns, so it was lustrated that the performance of the element with magnetic shield should be better than non-magnetic shield element. By analyzing and comparing axial and transverse magnetic induction for the three kinds of seed-metering elements with magnetic shields, obtained cone element was the optimal model. The experiments including the intensity of magnetic induction, the lowest electric current and seed-metering performance verified the theoretical analysis and optimized element were correct.

Key words Precision seeder, Magnetic, Seed-metering element, Magnetic field analysis, Structural optimization

引言

磁力排种元件是磁吸式精密排种器的关键部

件,其主要作用是将磁粉包衣种子从种箱中精确吸取出来,并持种到落种区域^[1-2]。目前,磁力排种元件结构大多采用开放型直流螺管式电磁铁^[1-4]。根

收稿日期: 2010-01-21 修回日期: 2010-05-21

^{*} “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A10)和江苏省农机三项工程资助项目(NJ2009-41)

作者简介: 胡建平,教授,主要从事农业机械设计及理论研究, E-mail: hujp@ujs.edu.cn

据电磁铁理论和磁路设计原理^[5-6],开放型电磁铁虽然充分利用了螺管内的磁场力,但螺管外的磁场力大部分将散失在空气中,降低了磁能利用率。为此,本文在原开放型直流电磁铁排种元件结构基础上,提出3种带有导磁罩的磁力排种元件结构,并运用 Ansoft 磁场有限元分析软件对几种排种元件进行磁场特性分析和结构选优。

1 磁力排种元件结构

图1为设计的4种磁力排种元件结构。其中,结构I为原设计的开放型螺管式电磁铁,其电磁线圈外不加导磁罩;结构II是在结构I基础上加装导磁罩的磁力排种元件;结构III是将结构II吸种头部改为截锥形结构;结构IV是将结构III中截锥形磁吸头改为阶梯状。为了进行比较,4种结构的材料、参数和安匝数均取相同值:铁芯长度 $L=95\text{ mm}$,铁芯直径 $D=5\text{ mm}$,磁吸端面直径 $d=2\text{ mm}$,线圈缠绕高度 $h=50\text{ mm}$,线圈匝数2000匝。

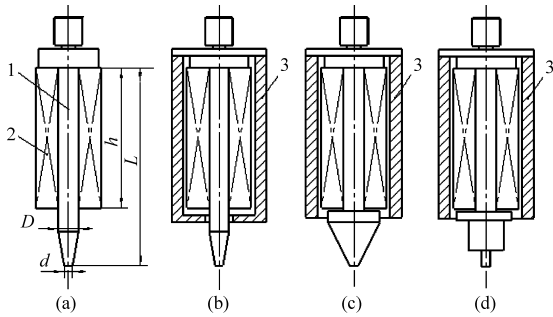


图1 磁力排种元件结构

Fig. 1 Seed-metering element structural model

(a) 结构I (b) 结构II (c) 结构III (d) 结构IV

1. 铁芯 2. 线圈 3. 导磁罩

2 磁力排种元件磁场特性分析比较

为了解排种元件加装导磁罩后的磁力性能变化,以结构I和结构II为研究对象进行磁场有限元分析和磁场特性比较。

2.1 磁场有限元分析模型的建立

由于电磁铁排种元件是圆柱型,磁场力呈对称分布,故在 Ansoft 中所建计算模型取轴对称二维结构模型^[7-10],如图2所示。坐标系采用轴坐标系,沿轴线边的边界条件定义为偶对称边界(even symmetry boundary),其他边界定义为气球边界(balloon boundary);线圈材料属性定义为铜(copper),铁芯和导磁罩材料定义为钢(steel)。为使求解问题简化,在保证一定精度的前提下作如下假设:电流沿截面均匀分布,铁芯和导磁罩磁导率为常数,磁场在无穷远处矢量磁位 $A=0$ 。

2.2 气隙空间磁场特性分析比较

(1) 气隙空间磁场分布特性比较

在 Ansoft 中对2种排种元件气隙空间磁场进行数值计算,其磁力线分布如图3所示。由图3可知,结构I右侧空间磁力线呈发散状态,漏磁比较严重;而结构II中导磁罩和铁芯形成一个闭合磁路,由于导磁罩的导磁效应,大多数的磁力线都从导磁罩内部穿过,导磁罩和铁芯组成一个回路,因而漏磁现象有了明显改善,磁场空间所产生的能量也在导磁罩的内部,相应的磁能利用率得到了提高。

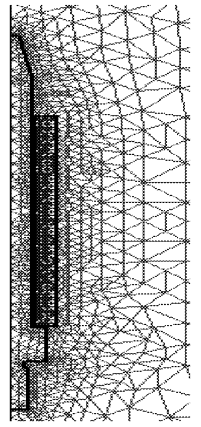


图2 磁场有限元计算模型

Fig. 2 Magnetic field finite element model

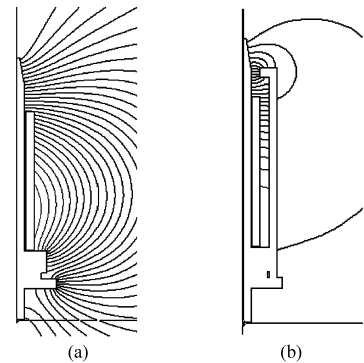


图3 空间磁场磁力线分布

Fig. 3 Distribution of space magnetic lines

(a) 结构I (b) 结构II

(2) 磁吸端部磁感应强度分析比较

磁力排种元件吸起磁粉包衣种子时采用电磁铁磁极端面,端面磁场强度直接决定吸种能力和取种精度,在相同安匝数下端面磁感应强度高,则吸种能力强。为此,2种排种元件取相同安匝数为400安匝,对端面磁感应强度进行计算,磁感应强度分布云图如图4所示。由图4可知,结构II磁吸端面磁感应强度明显比结构I强,计算测得结构I端面磁感应强度为 $5.63206 \times 10^{-2}\text{ T}$,结构II端面磁感应强度为 $7.34457 \times 10^{-2}\text{ T}$,结构II比结构I高出30.41%,说明在相同安匝数下有导磁罩磁力排种元件的吸种能力比无导磁罩的强。

(3) 排种空间轴向磁感应强度分析比较

排种元件磁吸端面下的磁感应强度沿轴向变化规律不仅影响着种子所受的吸力,还决定了被吸种子和磁吸端面之间的有效距离。图5为2种结构在磁吸端面下沿轴向的磁感应强度变化情况。由图5

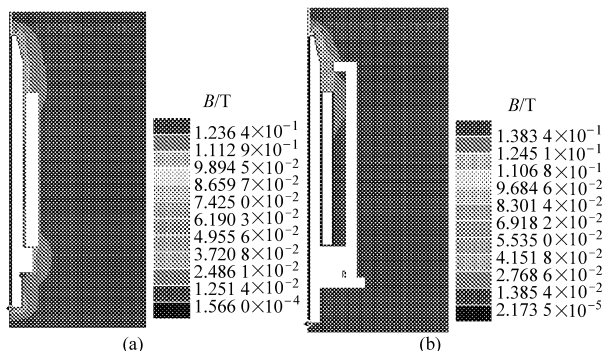


图 4 空间磁场分布云图及端面磁感应强度

Fig.4 Spatial distribution of magnetic field and the end magnetic field strength of two models

(a) 结构 I (b) 结构 II

看出：①2 种结构的磁感应强度主要集中在距磁吸端面约 2 mm 的范围内，离磁吸端面越近磁感应强度越大，但结构 II 的磁感应强度要比结构 I 大。②在距磁吸端面约 2 mm 内，2 种结构的磁感应强度下降速率快，即磁场梯度大，但结构 II 的下降速率要比结构 I 快，说明结构 II 磁吸端面附近种子所受磁吸力不仅大，而且相邻种子之间的磁吸力差异也大，这对精密排种有利。

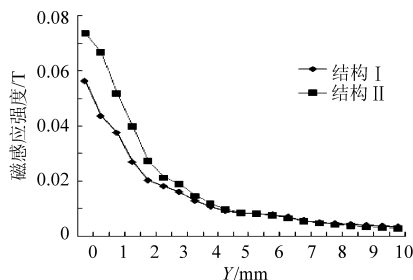


图 5 排种元件端面磁场沿轴向的分布

Fig.5 Distribution of the magnetic field along axial near the end of the seeding element

3 磁力排种元件结构优选

通过对无导磁罩结构 I 和有导磁罩结构 II 的磁场分析和比较，可以发现无导磁罩排种元件漏磁少，磁吸端面附近的磁感应强度强，磁场梯度大，相应地对种子的吸力要大，因而应优选有导磁罩的磁力排种元件。为了进一步优选有导磁罩排种元件，对所设计的 3 种有导磁罩排种元件结构模型进行磁场有限元分析，比较其磁吸端面下沿轴向和横向的磁场强度变化情况，找出有导磁罩的最优结构模型。为了便于进行比较，3 种结构的材料、参数和安匝数取值均相同，计算分析结果如图 6 所示，图中 X 轴为离磁吸端面中心的水平距离，Y 轴为离磁吸端面中心垂直距离。

由图 6 可知，3 种有导磁罩排种元件在磁吸端

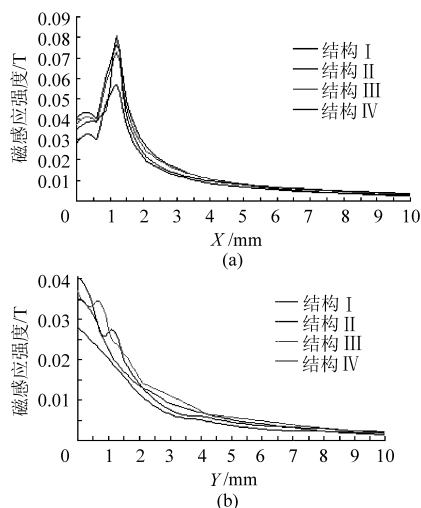


图 6 排种空间磁感应强度沿 X 和 Y 轴分布

Fig.6 Magnetic field distribution along X and Y axial

(a) X 向 (b) Y 向

面附近的轴向(Y 向)、横向(X 向)磁感应强度均比无导磁罩结构 I 大；在 3 种有导磁罩排种元件磁吸端面附近，X 向磁感应强度最大的是结构 II，但在磁吸端面边缘处(距磁极面中心约 1 mm)结构 IV 的磁感应强度也较大；Y 向磁感应强度最大的是结构 II，最小的是结构 IV。综合考虑磁吸端面附近轴向、横向磁感应强度情况，选取结构 II 为有导磁罩磁力排种元件最优结构。

4 试验验证

按上述结构尺寸制作 4 种磁力排种元件，分别进行了磁吸端面磁感应强度、最小吸种电流和排种性能的测试比较，以验证有导磁罩排种元优选结构的可行性。试验结果如表 1 所示。

表 1 磁力排种元件吸种性能测试

Tab.1 Magnetism and seed-metering performance test

参数	结构 I	结构 II	结构 III	结构 IV
磁吸端面磁感应强度/mT	49.8	65.7	58.3	54.9
最小吸种电流/A	0.26	0.14	0.16	0.19
单粒精播率/%	92.9	93.5	92.0	94.3
漏播率/%	4.5	2.6	4.2	3.5

试验条件和结果分析如下：

(1) 磁吸端面磁感应强度

测试仪器为日本 TM-701 型特斯拉计，分辨率为 0.1 mT，峰值保持，测试时排种元件安匝数均为 400 安匝。3 种有导磁罩的排种元件其端面磁感应强度均比无导磁罩的强，其中最大的是结构 II，其次是结构 III，这与磁场有限元分析结果完全一致。

(2) 最小吸种电流

最小吸种电流是指排种元件刚好吸住单粒磁粉

包衣种子所需的工作电流,在相同匝数下反映了磁力排种元件的磁能利用率。取待吸种子为磁粉丸粒化油菜籽(丸粒化种子质量为46 mg),测试时首先调大线圈电流让种子吸附到磁力排种元件端面,然后逐渐减小吸种电流,直至种子脱落磁极端面,记录种子掉落时刻的通电电流。3种有导磁罩的排种元件最小吸种电流均比无导磁罩的低,其中结构Ⅱ最小,其最小吸种电流要比结构Ⅰ小46.15%,说明在相同安匝数下结构Ⅱ的磁吸力最强,磁能利用率最高。

(3) 排种性能

4种排种元件分别安装在自制磁吸滚筒式精密排种器上^[1],然后在JPS-12型多功能精密排种试验台上进行排种性能试验。试验种子仍为磁粉包衣油菜籽,磁粉剂由200目细铁粉与普通包衣粉剂配制而成,丸粒化前、后种子的千粒质量分别为3.69 g和34.35 g。试验时调整各自排种元件线圈电流使其能吸取单粒磁粉包衣油菜籽。试验结果表明,4种排种元件单粒精播率最高的是结构Ⅳ,其次是结构Ⅱ,但4种排种元件之间相差不大,而且均大于90%,能满足精密播种要求。有导磁罩排种元件的漏播率均低于无导磁罩排种元件,其中结构Ⅱ的漏

播率最小。

5 结论

(1)有导磁罩排种元件漏磁少、磁能利用率高、其磁吸端面附近的磁感应强度强,磁场梯度大。在相同安匝数下有导磁罩排种元件磁吸端面磁感应强度比无导磁罩高出30.41%,有导磁罩排种元件最小吸种电流比无导磁罩排种元件小46.15%,说明有导磁罩排种元件的吸种能力强。

(2)磁力排种元件轴向磁感应强度主要集中在距磁吸端面约2 mm的吸种空间内,离磁吸端面越近磁感应强度越强,磁场梯度也越大,说明种子离磁吸端面越近,所受磁吸力也越大,因此减少吸种距离将有利于磁吸式精密排种。

(3)在相同安匝数和结构参数情况下,有导磁罩锥形磁吸头排种元件即结构Ⅱ的轴向、横向磁感应强度均比截锥形(结构Ⅲ)、阶梯形(结构Ⅳ)的大,吸种电流最小,相应的磁力性能最优。排种性能试验证明,有导磁罩排种元件结构Ⅱ的漏播率最小,而单粒精播率可达93.5%,略高于无导磁罩排种元件,说明优选结构Ⅱ为磁力排种元件结构是可行的。

参 考 文 献

- 胡建平,郑赛男,刘文东. 磁吸滚筒式精密排种器设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(3):60~63.
Hu Jianping, Zheng Sainan, Liu Wendong. Design and experiment of precision magnetic cylinder seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3):60~63. (in Chinese)
- 胡建平,毛罕平. 磁吸式精密排种原理及试验研究[J]. 农业机械学报,2004,35(4):55~58.
Hu Jianping, Mao Hanping. Analytical and experimental study on principle of precision seed-meter by magnetic force[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4):55~58. (in Chinese)
- 毛罕平,胡建平. 磁吸式精密播种方法及其装置:中国,02138075.9[P],2002-08-06.
- Peter Arthur Charles Chown. A seed with a magnetic coating: UK, GB 2293744A[P]. 1996-04-10.
- 张冠生,陆俭国. 电磁铁与自动电磁元件[M]. 北京:机械工业出版社,1982:12~70.
- 林其壬,赵佑民. 磁路设计原理[M]. 北京:机械工业出版社,1987:6~40.
- 刘国强,赵凌志,蒋继娅. Ansoft工程电磁场有限元分析[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- 赵科义,李治源,杨秋学,等. 基于Ansoft的电磁弹射器的有限元仿真[J]. 计算机应用与软件,2006,23(4):132~133.
Zhao Keyi, Li Zhiyuan, Yang Qiuxue. Electromagnetic catapult's simulation with the finite element method based on ansoft [J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(4):132~133. (in Chinese)
- 韩士锋,张进秋,潘剑. 基于Ansoft的电叶片式MRF减震器磁路仿真[J]. 装甲兵工程学院学报,2006,20(5):47~50.
Han Shifeng, Zhang Jingqiu, Pan Jian. Magnetic circuit simulation of vane mode MRF damper based on the Ansoft software [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering,2006,20(5):47~50. (in Chinese)
- 梁作保,莫昱,姚晓先. 气动舵机系统中螺管式电磁铁的优化设计[J]. 战术导弹控制技术,2006(2):83~85.
Liang Zuobao, Mo Yu, Yao Xiaoxian. Optimal design of helix tube electromagnet in pneumatic actuator system[J]. Control Technology of Tactical Missile, 2006(2):83~85. (in Chinese)
- 胡建平,王奇瑞,邵秀平. 永磁体磁吸式排种器充种性能仿真与实验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):35~38,34.
Hu Jianping, Wang Qirui, Shao Xiuping. Simulation on magnetic precision seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(12):35~38,34. (in Chinese)