

深施型液态施肥机液肥转子式转换器设计与试验*

王金武 潘振伟 杨欣伦 刘永军 张春风 王金峰

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对深施型液态施肥机中输肥管路错综复杂存在能量损失大、工作效率低、输肥软管缠绕等问题,采用理论分析与 ADAMS 仿真方法设计了一种液肥转子式转换器。采用可替换分配器及施肥机构中原有输肥管路的转换器设计了结构简单、工作效率高的输肥管路系统。对安有转换器的新管路系统进行了防缠绕试验,对新、原管路系统进行了施肥对比试验研究。结果表明,当太阳轮与行星轮齿数比为 3:1,太阳轮与行星架转速比为 2:3 时转换器可较好地解决施肥机构输肥软管的缠绕问题;当施肥量为 20.32 mL/次,液泵压力为 0.31 MPa 时,新管路系统的工作效率是原管路系统的 2.63 倍。

关键词: 转换器 液肥 管路系统

中图分类号: S224.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0110-06

引言

液肥是含一种或一种以上农作物所需要的营养元素的液体产品^[1]。液肥因具有吸收速度快、稳定性好、抗逆性强,使作物增产效果显著等优点而被广泛应用^[2-4]。液肥在美国、加拿大、英国、荷兰等发达国家的肥料使用中已占有较大的比例^[5-7]。

国外液态施肥机具发展较早,研制了多种条施及穴施的液态施肥机具^[8-10]。近年来国内液态施肥机具的发展较为迅速^[11-12]。东北农业大学研制的深施型液态施肥机的输肥管路复杂、水头损失大、施肥量小、工作效率低,这种管路系统在满足施肥量的情况下需要较大的压力,对管路的密封性能要求较严格^[13]。同时,现有的管路系统中存在较多的泄漏点,分配器中也存在较多的泄漏点,不仅造成液肥损失浪费,而且对于精细农业来讲,肥料的泄漏对施肥的精度也有较大影响。若更改管路结构,施肥机构的 2 个喷肥针管路接口引出的 2 条输肥软管在机构运动过程中会发生缠绕^[14]。针对上述问题,本文设计一种液肥转子式转换器与输肥管路系统,并进行试验研究。

1 转换器工作原理与结构设计

1.1 施肥机构喷肥针管路接口的运动姿态

若用施肥软管将施肥机构喷肥针管路接口

(图 1 中 N 点)通过输肥软管直接与文献[13]中所述的分配器相连,系统工作时两者之间的输肥软管会发生缠绕问题。经试验知,缠绕的原因是输肥软管两端接口的运动姿态(轨迹和角位移)不同。若 N 点所接输肥软管另一端接口的运动姿态与 N 点相同则可解决输肥软管的缠绕问题。对 N 点的运动姿态进行分析可为解决缠绕问题奠定理论基础。

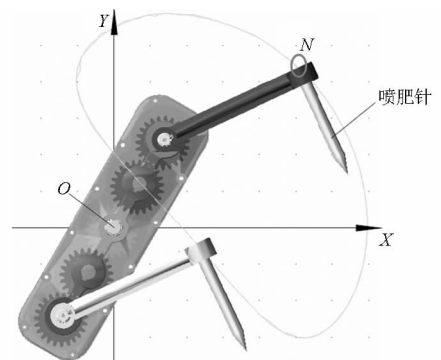


图 1 喷肥针肥路接口的运动轨迹

Fig. 1 Trail of spraying fertilizer-pin's fertilizer road interface

在 Pro/E 中建立施肥机构三维模型,将其存为 parasolid(*.x_t)格式,在 ADAMS 中将其打开,以施肥机构转动中心 O 为原点创建 XOY 坐标系,并添加约束等进行仿真^[15-19],在喷肥针管路接口创建 Marker 点,在 ADAMS 中创建喷肥针肥路接口的运动轨迹,如图 1 所示。

在 ADAMS 中对喷肥针肥路接口的运动轨迹进

收稿日期: 2013-10-24 修回日期: 2013-12-30

* 国家自然科学基金资助项目(51205056)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20102325110002、201112325110006)和东北农业大学博士启动基金资助项目(2012RCB04)

作者简介: 王金武,教授,博士生导师,主要从事田间机械和机械可靠性研究,E-mail: jinwuw@163.com

行分析,其位移变化如图 2 所示。

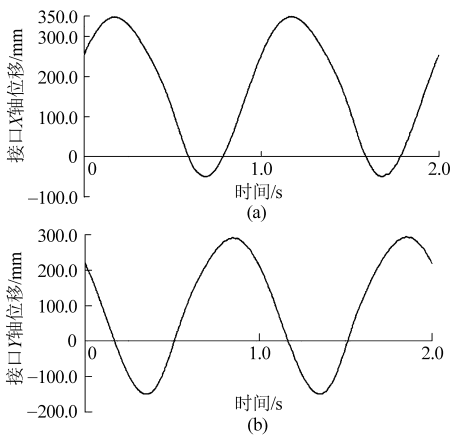


图 2 喷肥针肥路接口位移变化曲线

Fig. 2 Displacement graph of spraying fertilizer-pin's fertilizer road interface
(a) X 分量 (b) Y 分量

综合图 1 和图 2 可知,喷肥针肥路接口仅在 XOY 平面内运动,绕着某个固定点作腰子形的圆周运动,且在 X、Y 轴方向位移幅度分别为 399 mm 和 445 mm。

对创建的 Marker 点创建 Measure,对喷肥针肥路接口角位移变化进行分析,喷肥针肥路接口角位移变化如图 3 所示。

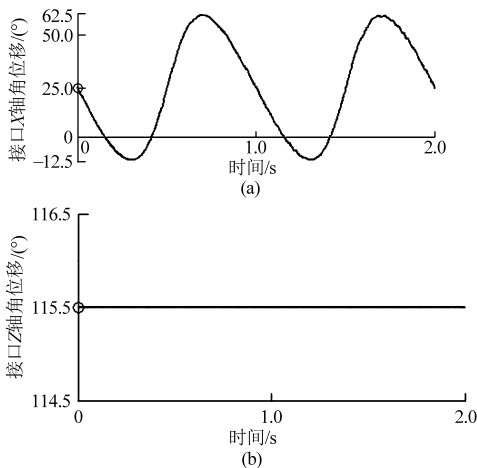


图 3 喷肥针肥路接口角位移变化曲线

Fig. 3 Angular displacement change graph of spraying fertilizer-pin's fertilizer road interface
(a) X 分量 (b) Z 分量

从图 3 可以看出,施肥机构运动过程中,在 Z 方向喷肥针肥路接口角度无变化,所以喷肥针肥路接口所在平面始终与 XOY 平面垂直,施肥机构喷肥针肥路接口作周期性的摆动运动,摆动幅度为 73.72°。

1.2 转换器工作原理

图 4 为 K-H 型差动轮系示意图^[20]。行星轮的转动中心 A 是行星架上的一点,行星架绕着中心

O_1 转动,因此行星轮的转动中心 A 的运动为绕着转动中心 O_1 ,半径为 L_{O_1A} 作圆周运动。轨迹为以 O_1 为圆心,半径为 L_{O_1A} 的圆,其轨迹方程为

$$\begin{cases} x_A = L_{O_1A} \cos\theta \\ y_A = L_{O_1A} \sin\theta \end{cases} \quad (1)$$

式中 x_A ——行星轮转动中心 A 的 x 轴坐标,mm
 y_A ——行星轮转动中心 A 的 y 轴坐标,mm
 L_{O_1A} ——行星架转动中心与行星轮转动中心间的距离,mm
 θ ——行星架初始位置相对于 x 轴正方向间的夹角,(°)

图 4 中的 1、2、3 分别与图 5 中的 10、8、6 相对应,图 4 中的 A 点与图 5 中的序号 14 相对应,工作时将 A 点通过输肥软管与图 1 中的 N 点相连。从式(1)及上述分析可知,行星轮转动中心 A 的运动轨迹为绕着某个固定点作圆周运动形成的封闭曲线,喷肥针肥路接口 N 点运动轨迹也为绕着某个固定点作圆周运动形成的封闭曲线,两者运动轨迹相一致。由于差动轮系具有复合运动的特性,通过合适的传动比便可以将行星轮的角位移变化与施肥机构中喷肥针肥路接口的角位移变化相一致,因此采用 K-H 型差动轮系能够解决输肥管路的缠绕问题。

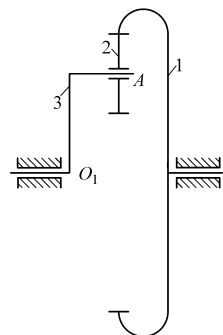


图 4 K-H 型差动轮系

Fig. 4 K-H type differential gear train

1. 太阳轮 2. 行星轮 3. 行星架

空间凸轮机构与差动轮系配合能够实现液态肥的分配,可以替代原有的分配器,简化管理路结构,实现无拐点式输肥,减少能量损失^[21-23]。因此采用 K-H 型差动轮系和空间凸轮机构设计液肥转子式转换器,其结构如图 5 所示,其中空间凸轮轮廓采用 VB 进行参数化编程设计^[21,24-25]。工作时,将转换器液肥入口与液泵的液肥出口相连,转换器管路接口(M 点)通过螺纹与齿轮轴相连,转换器中输肥软管的一端与转换器管路接口(M 点)相连,另一端与施肥机构的 N 点相连。链轮主轴、齿轮轴与内齿圈链轮构成差动轮系,圆柱凸轮与顶杆构成圆柱凸轮

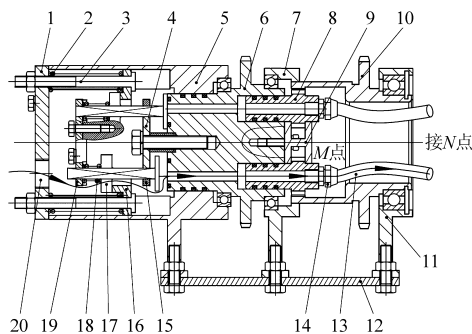


图5 液肥转子式转换器结构图

Fig. 5 Structure of rotary converter of liquid fertilizer

1. 端盖 2. 第一压力弹簧 3. 凸轮调节杆 4. 顶杆定位板
5. 主轴套 6. 链轮主轴(行星架) 7. 左支座 8. 齿轮轴(行星轮) 9. 齿轮轴支架 10. 内齿圈链轮(太阳轮) 11. 右支座
12. 定位板 13. 输肥软管 14. 转换器管路接口(M点) 15. 顶杆右支座 16. 圆柱凸轮 17. 顶杆 18. 第二压力弹簧 19. 顶杆左支座 20. 转换器液肥入口

顶杆机构,链轮主轴与内齿圈链轮分别通过链传动按一定的传动比进行驱动。作业时,旋转的链轮主轴带动齿轮轴周向旋转,与链轮主轴旋转方向相同且成一定速比旋转的内齿圈链轮使齿轮轴绕其本身轴心反向旋转,使齿轮轴的运动方式与施肥机构中喷肥针的运动方式相一致,防止输肥软管的缠绕。链轮主轴的旋转同时带动两根顶杆周向运动,在第二压力弹簧的配合下,固定的空间凸轮使顶杆在顶杆左支座和顶杆右支座孔内作左、右往复直线运动,实现链轮主轴内的液肥流孔打开和闭合。打开时液肥的流动路线如图5中带有箭头的曲线所示,经端盖的进肥孔进入链轮主轴内的液肥流孔内,再经齿轮轴的中心孔排入输肥软管,最后至喷肥针排肥至土壤中。

1.3 防缠绕机构传动比的确定

液肥转子式转换器中K-H型差动轮系,可以采用转换机构法计算齿轮的传动比^[26],机构中太阳轮与行星轮的齿数分别为51、17,行星轮与太阳轮的传动比为

$$i_{21}^H = \frac{\omega_2^H}{\omega_1^H} = \frac{\omega_2 - \omega_H}{\omega_1 - \omega_H} = \frac{z_1}{z_2} = 3 \quad (2)$$

式中 i_{21}^H ——行星轮与太阳轮的传动比

ω_1^H ——转换机构中太阳轮转速, (°)/s

ω_2^H ——转换机构中行星轮转速, (°)/s

ω_H ——行星架转速, (°)/s

ω_1 ——太阳轮转速, (°)/s

ω_2 ——行星轮转速, (°)/s

z_1 ——太阳轮齿数 z_2 ——行星轮齿数

施肥机构N点连接的输肥软管的另一端与行星轮上的M点连接。因为N点角位移是摆角为

73.72°的周期性变化,为解决缠绕问题M点即行星轮的角位移变化也应为周期性摆动变化,摆动幅度可为0~360°内任意值,此处选为0°。即行星轮的角速度 ω_2 为零。因此根据式(2)得

$$\omega_1 = \frac{2}{3} \omega_H \quad (3)$$

2 新管路系统的设计

新管路系统中各个部件的连接顺序依次为液肥箱、过滤器、液泵、液肥转子式转换器、施肥机构,转换器的管路接口(M点)与施肥机构喷肥针管路接口N点用输肥软管相连,在液泵与肥路转换器间安装含有溢流阀的限压、溢流管路,限压、溢流管路的另一端与液肥箱相连,含有转子式肥路转换器的管路系统的结构示意图如图6所示,新管路系统试验装置如图7所示。

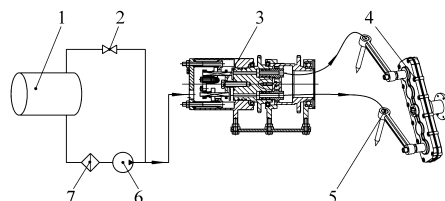


图6 新管路系统

Fig. 6 New piping system

1. 液肥箱 2. 溢流阀 3. 转换器 4. 施肥机构 5. 喷肥针管路接口N点
6. 液泵 7. 过滤器

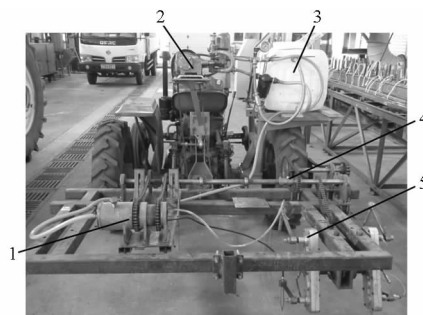


图7 新管路系统试验装置

Fig. 7 New piping system test device

1. 液肥转子式转换器 2. 液泵 3. 液肥箱 4. 输出轴 5. 施肥机构

3 喷肥试验与性能检测

3.1 试验条件与方法

原管路系统试验装置按文献[13]中所述连接方式连接。新管路系统中转换器的链轮主轴、内齿圈链轮和施肥机构的链轮通过链连接到试验台架的输出轴上,同时保证链轮主轴与内齿圈链轮的转速比为3:2,链轮主轴与施肥机构的转速比为1:1。防缠绕性能检测时从图7所示初始位置(施肥机构与水平面呈90°)开始,施肥机构每旋转45°记录一次

转换器与施肥机构间输肥软管的状态用以查看其防缠绕性能。喷肥试验时,使系统连续工作 4 h,进行喷肥性能试验,试验中每间隔 30 min 测量一次流量,每次测量取喷肥针 10 次的施肥量,查看流量的稳定性。流量试验中通过拖拉机的驱动轮带动试验装置的转动,喷肥针孔直径为 2.5 mm,液态肥为将尿素溶于水配成。流量试验采用二因素五水平正交旋转试验,因素为液泵压力和输出轴转速,指标为施肥量,试验因素水平如表 1 所示。各水平均进行 5 次重复试验,每次试验量取喷肥针喷肥 10 次的施肥量,施肥量取其平均值。每次施肥量的计算公式为^[19]

$$q = \frac{\sum_{i=1}^5 q_i}{50} \quad (4)$$

式中 q_i ——每次试验的施肥量, mL
 q ——喷肥针每次施肥量, mL

表 1 因素水平编码

Tab. 1 Coding of factors level

编码	液泵压力 p_b /MPa	输出轴转速 $n/(r \cdot \text{min}^{-1})$
1.414	0.54	102.63
1	0.5	93
0	0.4	69.75
-1	0.3	46.5
-1.414	0.26	36.87

3.2 试验结果与分析

喷肥性能试验中,各个时间测量的施肥量基本相同,说明系统在工作过程中并无堵塞及断流的情况,输肥管路系统能够满足实际作业的需求。原管路系统与新管路系统施肥量数据如表 2 所示。从表 2 中数据可知,在试验条件相同时新管路系统施肥量明显高于原管路系统施肥量。根据农艺要求,每次施肥量应在 20 ~ 30 mL 之间,运用 Design-Expert 6.0.1 对表 2 中数据进行分析,满足施肥量条件的输出轴转速与液泵压力的范围如图 8 所示,即输出轴转速为 69.9 ~ 102.63 r/min,液泵压力为 0.26 ~ 0.37 MPa。当施肥量确定为 20 ~ 20.5 mL/次时,运用 Design-Expert 确定两种管路系统的最佳参数组合,选择压力与流量相同的一组数据将其列于表 3 中。从表 3 中数据可知,新管路系统输出轴的转速是原管路系统的 2.63 倍,即工作效率是原管路系统的 2.63 倍。

新管路系统工作效率较高的原因是新管路系统液肥的水头损失低于原管路系统。总水头损失包括沿程阻力损失和局部阻力损失,局部阻力损失包括

表 2 原管路系统与新管路系统施肥量

Tab. 2 Fertilizer data of original piping and new piping system

试验序号	因素		施肥量 $q/(mL \cdot \text{次}^{-1})$	
	液泵压力 p_b /MPa	输出轴转速 $n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	原管路	新管路
1	0.3	46.5	16.6	66.6
2	0.3	93	10.3	24.6
3	0.5	46.5	20.6	116.2
4	0.5	93	12.9	54.2
5	0.26	69.75	12.3	31.8
6	0.54	69.75	16.3	90.6
7	0.4	36.87	24.0	130.9
8	0.4	102.63	10.7	28.6
9	0.4	69.75	14.6	61.2
10	0.4	69.75	14.5	61.2
11	0.4	69.75	14.6	61.1
12	0.4	69.75	14.7	61.3
13	0.4	69.75	14.6	61.2
14	0.4	69.75	14.5	61.3
15	0.4	69.75	14.6	61.2
16	0.4	69.75	14.6	61.2

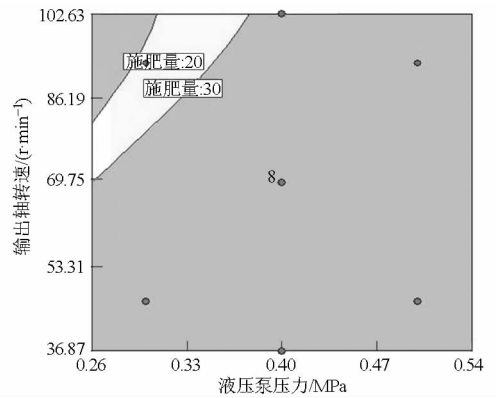


图 8 可用参数组合区域

Fig. 8 Available parameter combinations' area

表 3 优化参数组合

Tab. 3 Optimized combination of parameters

管路	因素		施肥量 $q/(mL \cdot \text{次}^{-1})$
	液泵压力 p_b /MPa	输出轴转速 $n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	
原管路	0.31	37.88	20.32
新管路	0.31	99.67	20.32

突扩管、突缩管、渐扩管、圆弯管、圆角分流三通管、截止阀等^[27],水头损失计算可通过伯努利方程求得,取两个断面 1 与 2,令 $\alpha = 1$,则两断面上的伯努利方程为^[28]

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (5)$$

式中 Z ——位置水头, m p ——流体静压, Pa
 ρ ——流体密度, kg/m^3

g ——重力加速度, m/s^2

v ——流体流速, m/s

h_w ——液肥总水头损失, m

采用水头损失的叠加原理, 得出管路中液肥总水头损失为

$$h_w = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} = \left(\zeta_e + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

式中 λ ——沿程阻力系数

l ——管长, m d ——管径, m

$\sum \zeta$ ——各种不同管路附件局部阻力系数和

ξ ——管路总阻力系数

ζ_e ——沿程阻力的当量局部阻力系数

即总水头损失为各个局部水头损失之和。

本文所述管路系统局部阻力损失形式仅包括突扩管、突缩管、90°圆弯管、90°直角管和细长管引起的沿程损失, 新管路系统与原管路系统局部水头损失形式的数量如表 4 所示。从表 4 的数据对比可知, 新管路系统中突扩管的数量相等, 其他局部损失形式数量均少于原管路系统, 因此新管路系统局部水头损失之和小于原管路系统局部水头损失之和, 即新管路系统水头损失小于原管路系统。两种管路系统取液泵出口为断面 1, 施肥机构液肥出口为断面 2, 忽略液泵与转换器间输肥管及液泵与分配器间输肥管的水头损失情况下, 试验时两种管路系统的位置水头 Z_1 与 Z_2 分别相等; 由于 p_2 为施肥机构液肥出口的压力, 施肥机构液肥出口液肥的流动为自由出流, 因此 p_2 为零。当两种管路系统的 p_1 相同时, 根据式(5)可知新管路系统液肥出口流速大于

原管路系统, 即新管路系统施肥量高于原管路系统。因为新管路系统液肥出口流速大于原管路系统, 两种管路系统若要使液肥流量相同, 新管路系统所需时间较短, 即施肥机构的转速较高, 所以新管路系统的工作效率高于原管路系统。

表 4 新管路与原管路能量损失形式数量

Tab. 4 Number of energy loss form in new and original pipeline

管路	突扩管	突缩管	90°圆弯管	直角管	沿程损失
新管路	1	2	0	0	0
原管路	1	3	7	4	1

4 结 论

(1) 喷肥针肥路接口仅在 XOY 平面内绕着某个固定点作轨迹为腰子形的圆周运动且在 X 、 Y 轴方向位移幅度分别为 399、445 mm。施肥机构运动的过程中, 在 Z 方向喷肥针肥路接口角度无变化, 施肥机构喷肥针肥路接口与 X 轴夹角呈周期性变化, 幅度为 73.72°。

(2) 液肥转子式转换器中行星轮肥路接口的轨迹变化可与喷肥针肥路接口轨迹变化达到一致。太阳轮与行星轮齿数比为 3:1 时, 为保证行星轮的运动姿态能够与喷肥针肥路接口的运动姿态保持一致, 太阳轮与行星架转速比应为 2:3。

(3) 系统工作时液肥转子式转换器可较好地解决施肥机构输肥软管的缠绕问题, 新管路系统工作稳定, 无堵塞及断流现象。转换器的应用简化了管路结构, 减少了能量损失, 提高了施肥机构的工作效率。当施肥量为 20.32 mL/次, 液泵压力为 0.31 MPa 时, 新管路系统的工作效率是原管路系统的 2.63 倍。

参 考 文 献

- 1 王洪强, 林涛, 鞠传波, 等. 施肥新器械——液体施肥枪[J]. 烟台果树, 2005(1): 28-29.
- 2 王金峰. 液态施肥关键部件的设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
Wang Jinfeng. Study on working principle and experiment of key components of deep-fertilization liquid fertilizer[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 3 王云霞. 液体肥料的应用现状与发展趋势[J]. 化肥设计, 2003, 41(4): 10-13.
- 4 汪家铭. 液体肥料的应用[J]. 四川化工, 2000(1): 31-33.
- 5 Chen Y, Samson R. Integration of liquid manure into conservation tillage corn systems[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(6): 1729-1736.
- 6 Nyord T, Sogaard H T, Hansen M N, et al. Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquid fertilisers applied to growing crops[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(2): 235-244.
- 7 Morris D K, Ess D R, Hawkins S E, et al. Development of a site-specific application system for liquid animal manures[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1999, 15(6): 633-638.
- 8 Chen Y, Ren X. High performance tool for liquid manure injection[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 67(1): 75-83.
- 9 Chen Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(6): 1729-1736.
- 10 Womac A R, Tompkins F D. Probe-type injector for fluid fertilizers[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1990, 6(2): 149-

- 154.
- 11 王金武,纪文义,冯金龙,等.液态施肥机的设计与试验研究[J].农业工程学报,2008,24(6):158-159.
Wang Jinwu, Ji Wenyi, Feng Jinlong, et al. Design and experimental investigation of the liquid fertilizer applicator[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 158-159. (in Chinese)
- 12 张义峰,杨景波,衣淑娟.牧草免耕播种与液体施肥机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(4):20-22.
Zhang Yifeng, Yang Jingbo, Yi Shujuan. Design on machine of fodder grass zero tillage seeding and liquid apply fertilizer[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2011, 23(4): 20-22. (in Chinese)
- 13 何剑南.液肥注射式工作部件的工作机理与试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.
He Jiannan. Study on working principle and experiment of work components of liquid fertilizer injection type[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 14 王金武,刘亚华,王金峰,等.全椭圆齿轮行星系液肥深施机构优化设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(10):60-65.
Wang Jinwu, Liu Yahua, Wang Jinfeng, et al. Optimization design and experiment of liquid-fertilizer applying deep-fertilization mechanism for planetary elliptic gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 60-65. (in Chinese)
- 15 俞高红,赵凤芹,武传宇,等.正齿行星轮分插机构的运动特性分析[J].农业机械学报,2004,35(6):55-57.
Yu Gaohong, Zhao Fengqin, Wu Chuanyu, et al. Analysis of kinematic property of separating-planting mechanism with planetary gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(6): 55-57. (in Chinese)
- 16 张敏,周长省,吴崇友.椭圆齿轮行星系分插机构运动轨迹分析与仿真[J].农机化研究,2011,33(1):92-94.
Zhang Min, Zhou Changsheng, Wu Chongyou. Kinematic trajectory analysis and emulation of separating-planting mechanism with planetary elliptic gears[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(1): 92-94. (in Chinese)
- 17 赵凤芹,张布,于文翠.基于 ADAMS 的椭圆齿轮传动运动学分析[J].新技术新工艺,2008(6):30-32.
- 18 季顺中,李双,陈树人,等.基于 ADAMS 的高速插秧机三插臂分插机构的运动仿真[J].农业机械学报,2010,41(增刊):82-85.
Ji Shunzhong, Li Shuang, Chen Shuren, et al. Kinematical simulation of three separating planting bars of high-performance rice transplanter based on ADAMS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 82-85. (in Chinese)
- 19 Ying Yibin, Zhao Yun. Research in dynamic simulation of separating-planting mechanism of rice transplanter[J]. AMA, 1997, 28(3): 15-19.
- 20 段钦华.周转轮系的演化与组合研究[J].煤矿机械,2004(11):29-31.
- 21 王金武,何剑南,潘振伟,等.液态施肥机液肥分配器凸轮运动学分析与仿真[J].农业机械学报,2013,44(4):77-82.
Wang Jinwu, He Jiannan, Pan Zhenwei, et al. Kinematic analysis and simulation of liquid fertilizer distributor's cam for liquid fertilizer applicator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 77-82. (in Chinese)
- 22 吕长生,姜大成,杨培滋,等.基于 Pro/E 的圆柱凸轮机构设计与运动仿真[J].机械研究与应用,2009,22(2):96-98.
Lü Changsheng, Jiang Dacheng, Yang Peizi, et al. Design and motion simulation of the cylindrical cam based on Pro/E[J]. Mechanical Research and Application, 2009, 22(2): 96-98. (in Chinese)
- 23 张俊,张晓婷.流体传输中流体阻力和水头损失的计算[J].流体传动与控制,2011(4):24-27.
Zhang Jun, Zhang Xiaoting. The analysis of the fluid resistance and the pressure loss in fluid transmission system[J]. Fluid-power Transmission and Control, 2011(4): 24-27. (in Chinese)
- 24 罗新俊,刘德福,易文.基于 SolidWorks 的圆柱凸轮 CAD/CAM 系统的研究[J].现代制造工程,2011(7):54-57.
Luo Xinjun, Liu Defu, Yi Wen. Research of cylindrical cam CAD/CAM system based on SolidWorks[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(7): 54-57. (in Chinese)
- 25 冯立艳,刘迎娟,谢文志,等.基于 VB 和 PRO/E 的凸轮机构三维参数化建模和运动仿真分析[J].制造业自动化,2013(4):68-71.
Feng Liyan, Liu Yingjuan, Xie Wenzhi, et al. Three-dimensional modeling and movement simulation analysis of cam mechanism based on VB and PRO/E[J]. Manufacturing Automation, 2013(4): 68-71. (in Chinese)
- 26 马六小.迭加法在周转轮系传动比计算中的应用[J].南通航运职业技术学院学报,2010,9(4):123-125.
Ma Liuxiao. Application of superposition method to epicyclic gearing transmission ratio[J]. Journal of Nantong Vocational & Technical Shipping College, 2010, 9(4): 123-125. (in Chinese)
- 27 谷广伟.供水管道水头损失产生原因及计算[J].科技资讯,2006(27):76.
- 28 李启麟,刘红霞.液压传动中的能量损失与压力损失[J].液压与气动,2002(5):29-30.
Li Qilin, Liu Hongxia. The loss of energy and the loss of pressure in hydraulic transmission[J]. Hydraulics and Pneumatics, 2002(5): 29-30. (in Chinese)

- 14 李颖慧, 李民赞, 邓小蕾, 等. 基于无线传感器网络的温室栽培营养液电导率监测系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 170 - 177.
Li Yinghui, Li Minzan, Deng Xiaolei, et al. Monitoring system for electrical conductivity of greenhouse nutrient solutions based on WSN[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(9): 170 - 177. (in Chinese)
- 15 闫秋艳, 夏士雄. 一种无限长时间序列的分段线性拟合算法[J]. 电子学报, 2010, 38(2): 443 - 448.
Yan Qiuyan, Xia Shixiong. An piecewise linear fitting algorithm for infinite time series[J]. Chinese Journal of Electronics, 2010, 38(2): 443 - 448. (in Chinese)

PWM Variable Spray Control Based on Kalman Filter

Jiang Huanyu Zhou Mingchuan Tong Junhua Liu Yan

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: A platform was built up to collect the pressure data near the nozzle. The instantaneous flow data was calculated based on the relationship between pressure and flow by using Kalman filtering algorithm, and the average spray flow rate was obtained by integrating over the instantaneous flow, then an automatic piecewise linear fitting method was designed after considering the relationship between the duty cycle of PWM signal and the average spray flow rate. In order to verify the control effects of the spray flow rate model, the PWM spray flow rate models based on Kalman filtering were established under the spray pressure of 0.2, 0.3 and 0.4 MPa, respectively, and the experiments of spray flow rate control accuracy were performed under the same conditions. The results showed that the coefficient of determination (R^2) in the models above were all more than 0.995 under the three spray pressures, and the spray flow rate control error was within $\pm 6\%$. This method provides a reference of building spraying control model for rapid and online use.

Key words: Variable spray Pulse width modulation Kalman filtering Piecewise linear fitting

(上接第 115 页)

Design and Experiment of Rotary Converter of Liquid Fertilizer

Wang Jinwu Pan Zhenwei Yang Xinlun Liu Yongjun Zhang Chunfeng Wang Jinfeng

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: There are a lot of problems in deep application-type liquid fertilizer such as large energy loss, low efficiency, transporting liquid fertilizer hose winding, etc, because of intricate piping in splitter and fertilization institutions of deep application-type liquid fertilizer. Hence, we designed a rotor type liquid fertilizer converter by theoretical analysis and Adams simulation method in order to solve the above problems. Using the converter, which could replace original splitter and any original tubing of fertilization institutions, we designed the pipe system of transporting liquid fertilizer. We used the new pipeline system with the converter in an anti-winding test. We also used the new one and the original pipeline for a comparative fertilization experiment. When finished the anti-winding experiment we found that when the sun gear and the planetary gear ratio was 3:1 and the sun gear and the planet carrier speed ratio was 2:3, the converter applications could better solve the transporting liquid fertilizer hose winding problem of fertilization institutions. When finished the comparative fertilization experiment we found that the new pipeline system efficiency was 2.63 times of the original pipeline system when fertilizer was 20.32 mL/time and pump pressure was 0.31 MPa.

Key words: Converter Liquid fertilizer Pipeline system