

邹凡, 肖茂华, 傅秀清. 新型南方水田喷杆喷雾机液压系统的设计与分析[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 220-224.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.032

新型南方水田喷杆喷雾机液压系统的设计与分析

邹凡, 肖茂华, 傅秀清, 宋绪成

(南京农业大学工学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 针对传统自走式喷杆喷雾机机械传动结构自质量较大, 在南方水田中作业时易发生下陷、打滑等问题, 设计了一种基于 HST 全液压驱动技术传动系统方案, 并在 AMESim 软件中仿真分析该液压系统。结果表明, 与传统机械传动系统相比, 本方案简化了底盘及整机结构, 提高了自走式喷雾机适应南方水田的能力; 仿真液压主泵的稳定输出流量为 78.8 L/min, 负载稳定转速与负载转矩分别为 33.2 r/min、772.6 N·m; 传动系统传动稳定, 响应快速, 能较好地适应南方水田作业的要求。

关键词: 自走式喷雾机; 南方水田; 静液压无级变速传动系统(HST); 传动系统; 液压传动

中图分类号: S491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)01-0220-05

Design and analysis of hydraulic system of a new type of spray bar sprayer for paddy fields in South China

ZOU Fan, XIAO Mao-hua, FU Xiu-qing, SONG Xu-cheng

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional self-propelled sprayer adopted the heavier mechanical transmission and the subsidence and slipping were caused in the paddy field in the south, a transmission system based on the hydrostatic static transmission(HST) hydraulic drive technology was designed. In the AMESim software, the simulation of the hydraulic system was analyzed. Compared with the traditional mechanical transmission, this scheme simplified the chassis and the whole structure, and improved the self-propelled sprayer ability to adapt to the southern paddy field. The stable output flow simulation of hydraulic pump was 78.8 L/min. The load stable speed and load torque were 33.2 r/min and 772.6 N·m, respectively. The transmission system has stable transmission and quick response. It can meet the requirements of paddy field operation in the south.

Key words: self propelled sprayer; southern paddy field; hydrostatic static transmission(HST); transmission system; hydraulic drive

收稿日期: 2017-06-07

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20140728); 江苏省工业支撑计划项目(BE2014034); 江苏省六大人才高峰项目(2015-ZBZZ-011); 南京农业大学工学院优秀青年人才科技基金项目(YQ201605); 南京农业大学大学生创新训练计划项目(1630B16)

作者简介: 邹凡(1997-), 男, 江苏盐城人, 本科生, 研究方向为农业机械设计, (E-mail) zoufan1997@126.com

通讯作者: 肖茂华, (E-mail) xiaomaohua@njau.edu.com

水稻是中国主要粮食作物, 种植地区大多位于南方。在南方稻区, 水田作业状况复杂, 缺乏有针对性的大中型植保机械, 水稻植保机械化水平一直较低^[1]。因此, 研制基于南方水田状况的喷杆喷雾机具有重要意义。

静液压无级变速传动系统(Hydrostatic static transmission, HST)因体积小、重量轻、操作方便而被欧美国家、韩国、日本等广泛地用于农业机械中^[2-3]。

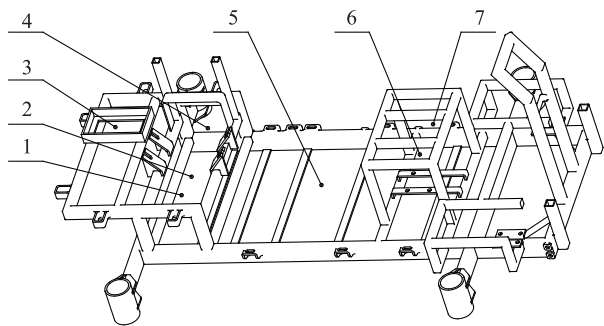
以往中国 HST 技术主要应用在收割机与拖拉机上^[4-5]。应用 HST 技术的喷雾机具有在南方水田作业不易陷落的独特优势,近几年成为研究热点。例如张磊江^[6]对基于 HST 技术的喷雾机进行了整体设计和研究。但中国喷雾机液压系统大多为进口产品,这极大地制约了国产喷雾机机械化水平的提高^[7]。

与传统的机械式传动相比,基于 HST 液压全驱动的传动方式具有整机重量轻、传动性能稳定、便于保养维修等优点^[8]。采用 HST 传动方式可以大大降低喷雾机自身质量,提高喷雾机在水田行走时的性能^[9]。因此,本研究拟设计一种基于 HST 技术的质量小、传动性能稳定的传动方案,并通过 AMEsim 软件对其进行仿真分析。

1 整机的布置方案与技术要求

1.1 整机的布置方案

采用重心较稳定的药箱中置式整机布置方案(图1)。液压中置的布置方案可以使喷雾机在路况复杂多变的水田中运行平稳,有效地降低侧翻等事故的风险^[10]。



1:驱动液压泵;2:柴油箱;3:液压油箱;4:柴油机;5:药箱架;
6:施药液压泵;7:座椅。

图1 喷雾机整机布置方案图

Fig.1 Layout scheme of sprayer

1.2 技术要求

根据南方水田特点^[11]以及喷雾机的实际工作性能需求,参考传统喷杆喷雾机设计方案,确定喷雾机主要技术参数:整机质量 900 kg,工作压力 0.4~1.0 MPa,最大喷幅 12 m,离地间隙 100 mm,理论作业速度 1~5 km/h,药桶容量 500 L,最大爬坡度 20°。

2 喷雾机液压行驶系统分析及设计

2.1 液压系统的负载分析

作为一种轮式移动机械,喷雾机的运动过程可以分为 4 个主要类型:爬坡、启动加速、稳定运行和减速停止。对各个阶段进行分析,推导出马达总负载(M_t)公式:爬坡时, $M_t = M + M_f + M_a$;启动加速时, $M_t = M + M_f + M_a$;稳定运行时, $M_t = M + M_f$;减速停止时, $M_t = M + M_f - M_a$ 。上述公式中 M_t 为马达克服的总负载($N \cdot m$), M 为工作载荷力矩($N \cdot m$), M_f 为转动部分对马达轴径的力矩($N \cdot m$), M_a 为车轮和马达内液压在启动和停止时的惯性力矩($N \cdot m$)。则行驶过程中最大牵引力约为: $F_t = G \cdot \sin\alpha + G \cdot f \cdot \cos\alpha$,式中 G 为为喷雾机重力, α 为最大坡度, f 为地面摩擦系数。最大扭矩为: $M_z = F_t \cdot R / \eta_s$,式中 η_s 为喷雾机的机械效率, R 为车轮半径。

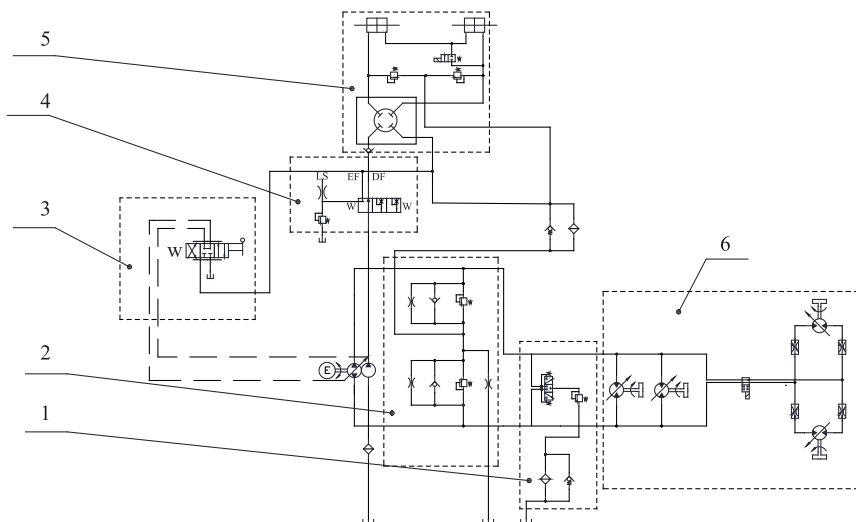
根据计算所得的负载值与马达体积选择液压系统的工作压力,以及考虑经济因数和现有液压元件的规格^[12],最大牵引力计算结果为 5 718.34 N,初选工作压力为 19 MPa。

2.2 液压行驶系统的设计方案

采用闭式液压回路。相比于开式系统,闭式系统虽然结构复杂,需单独设计散热装置,但油箱体积小、结构紧凑,油液不易被污染且工作性能稳定。液压系统采用双联泵,主泵为斜盘式轴向柱塞变量泵,辅泵为单向定量液压泵,同时与 4 个变量马达组成闭合回路。变速装置为手动伺服阀。液压行驶系统的整体方案见图 2。

一般农业四轮全驱动机械的功率质量比范围为 0.45~0.70 kw/kg^[13],本研究选用常柴 3M78 柴油机。此柴油机结构紧凑、重量轻、节能节材,由于采用了低排放设计技术和隧道式结构,排放少、污染低,振动小、噪声低。

本系统的辅泵内液压油通过优先阀补油、转向与伺服控制回路供油,即液压油过进油口进入优先阀体,然后由出油口 EF 进入补油回路。当发生转向时,优先阀优先将液压油由 DF 口供给转向回路,且转向回路的液压油最后直接流入补油回路中,实现补油功能。当需要变速时,辅泵供压力油至手动伺服阀,然后进入柱塞泵的伺服液压缸操纵斜盘摆动,调节泵或马达的排量,从而达到喷雾机以不同速度行驶的要求。



1:冷却回路;2:补油回路;3:手动伺服阀;4:优先阀;5:转向回路;6:容积调速回路。

图2 液压系统的总体原理图

Fig.2 Schematic of hydraulic system

由于泵和马达上集成了各种阀,液压系统结构紧凑。又由于采用了闭式回路,因而油箱体积较小,油箱的全封闭可减少污染。变量泵和变量马达调节方便,仅由一根操纵杆即可实现前进、后退及无级变速,泵与马达组成的闭式回路系统还可实现双向可逆传动。容积调速回路中液压马达采用并联回路,用分流阀实现前轮两个液压马达同步运行。喷雾机在水田行驶时,因道路泥泞异常需要采用四轮驱动以增加牵引力,回路中变量泵通过常开阀,供油给后轮两个马达,并通过调速阀实现与前轮同步驱动。当出现打滑、陷落等状况时,可通过关闭常开阀,停止给后轮供

油,从而锁住后轮,提高喷雾机的通过性能。

3 喷雾机液压系统的 AMESim 建模仿真与验证

3.1 建立仿真模型

基于以上设计和分析,在 AMESim 软件中搭建了喷雾机液压传动的仿真模型(图 3)。主要仿真参数:发动机转速 3 600 r/min,液压主泵的排量 21.8 ml/r,补油泵排量 4.1 ml/r,马达排量 380 ml/r,马达最高转速 800 r/min,负载转动惯量 $35.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,负载转矩 $739.44 \text{ N} \cdot \text{m}$,安全阀临界压力 25 MPa。

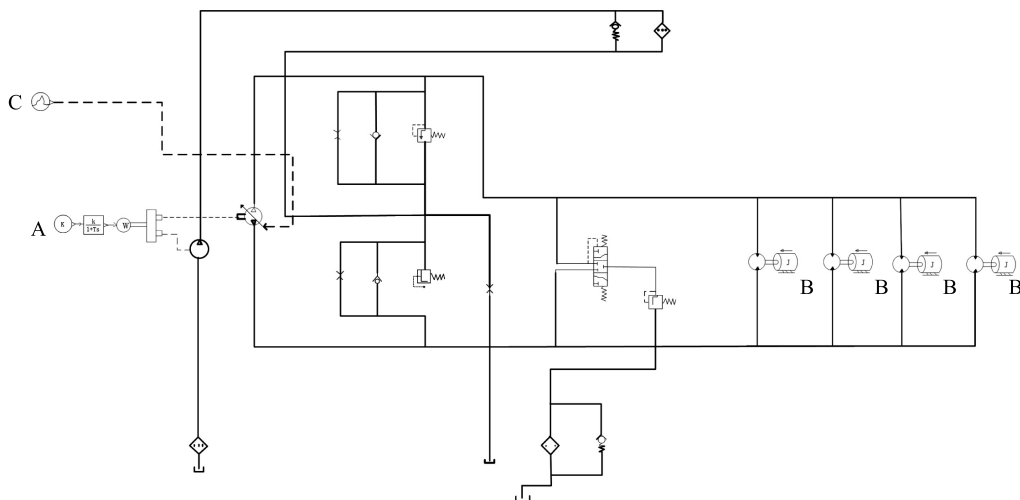


图3 喷雾机液压传动仿真模型

Fig.3 Simulation model of hydraulic transmission of sprayer

由于液压库中没有双联泵模型,本研究将主泵和辅泵分开,分别连接至发动机。信号源 A 发出常量信号,通过信号转换器转换为发动机的转速输出,然后由分别连至两泵的转速输入端;用负载旋转动力学模型 B 等效替代车轮,设置等效转动惯量、滑动摩擦与静摩擦等;用信号源 C 等效替代手动伺服阀,控制变量泵或马达的排量,控制喷雾机的行走速度^[14]。

3.2 仿真分析

3.2.1 HST 性能测试仿真 赋予各个元件首选子模型,输入仿真参数。设置仿真时间为 15 s,仿真间隔为 0.01 s^[15]。仿真完成后,得到双向液压主泵与辅泵的流量、液压马达流量和压力、负载的转速与扭矩曲线(图 4、图 5、图 6)。由图 4 可知,液压主泵的稳态输出流量为 78.8 L/min,略大于设计最大输出流量,但考虑到在建模仿真时,忽略了液压泵等存在液压油泄漏的情况,仿真结果满足使用条件。由图 5、图 6 可以看出,马达的稳定输出流量与压力的大小也在正常运行范围之内,负载稳定转速大于 30.8 r/min 以及负载转矩大于 739.4 N·m,符合设计要求。仿真结果表明满足所设计的转速要求。

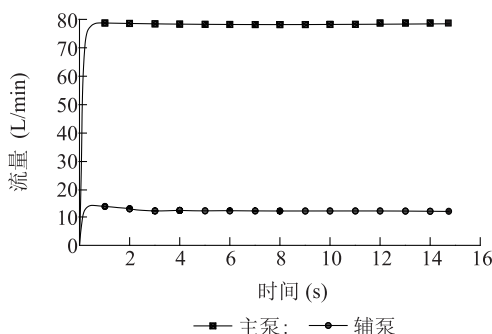


图 4 双向液压主泵与辅泵的流量

Fig.4 Flow rate of two-way hydraulic main pump and auxiliary pump

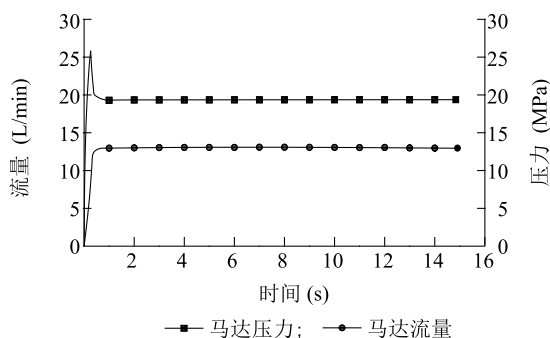


图 5 马达流量与压力曲线

Fig.5 Motor flow and pressure curve

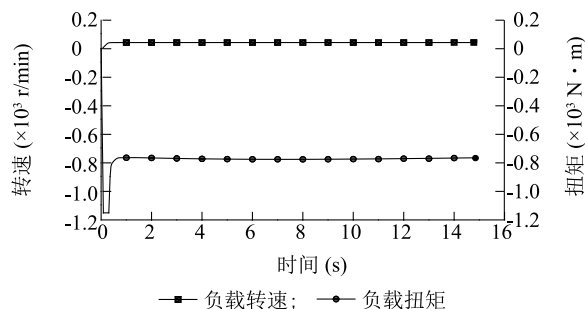


图 6 负载的转速与扭矩曲线

Fig.6 Speed and torque curve of load

3.2.2 调速分析 本系统通过手动伺服阀改变泵的斜盘倾斜角度,从而改变液压泵的排量,以达到速度调节的目的。由于 AMESim 液压库中没有手动伺服阀模型,故采用信号源 C 输出变量泵的控制参数改变主泵的排量。主泵输入的控制参数见表 1。

表 1 变量泵控制参数

Table 1 Control parameters of variable pump

初值	终值	运行时间	阶段
0	+1	5	加速起步
+1	+1	10	正向匀速
+1	-1	10	由正向到反向
-1	-1	10	反向匀速
-1	+1	10	由反向到正向

设置仿真时间为 60 s,仿真间隔为 0.01 s。点击开始,仿真完成后,得到主泵变量系数、液压马达和流量、负载转速、负载扭矩等曲线(图 7、图 8、图 9、图 10)。由图 8 可知,马达的流量与压力在变速的各个阶段基本稳定,且与速度的变化趋势相吻合,在排量接近于 0 时,马达流量与转速在某一阶段内恒为 0,这也与马达具有临界转速的特点相吻合。对比图 7 与图 9、图 10 可知,负载转速与扭矩的变化与以改变主泵排量而实现的速度变化而相吻合,且变化相对平稳。仿真结果表明本液压传动系统的变速性能相对稳定,且能适应喷雾机的变速要求。

4 结论

(1) 运用 HST 全液压传动的原理设计出了适用于南方水田喷杆式喷雾机的液压系统方案,实现了

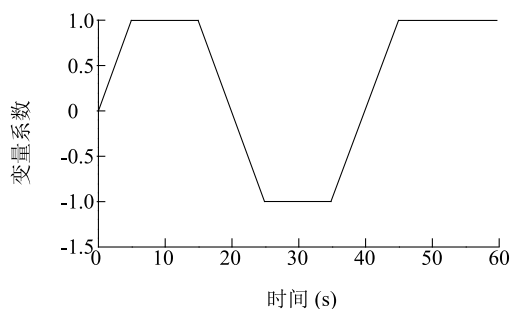


图7 主泵变量系数曲线

Fig.7 Variable coefficient curve of the main pump

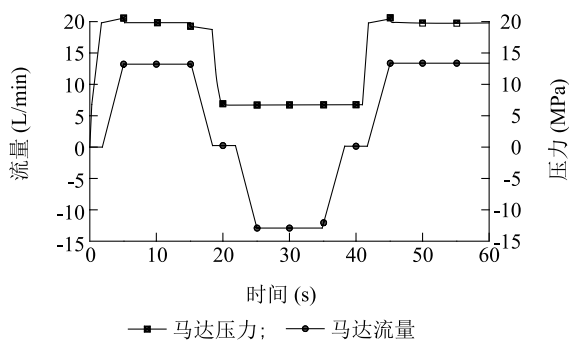


图8 马达流量与压力曲线

Fig.8 Motor flow and pressure curve

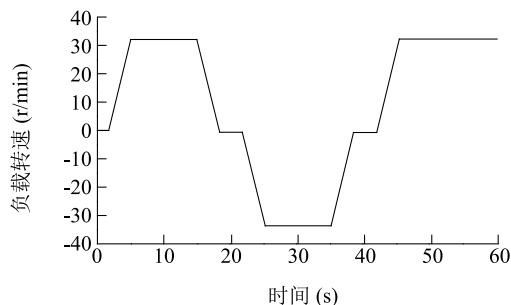


图9 负载转速曲线

Fig.9 Curve of the load speed

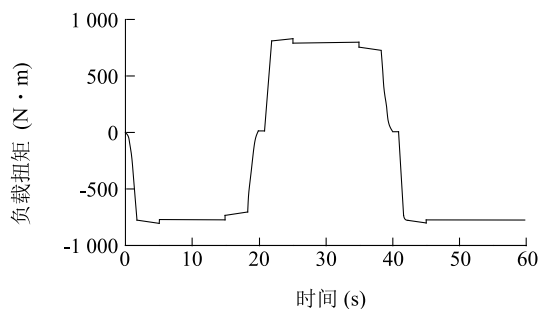


图10 负载扭矩曲线

Fig.10 Curve of the load torque

(2)在 AMESim 软件中搭建模型并进行分析,性能试验和调速分析结果表明所设计的液压方案准确、快速、稳定,符合设计要求。

(3)本研究将有利于水田喷雾机液压传动系统的优化,降低整机质量,对南方水田农业机械设计和 HST 技术在农业中的应用具有参考价值。

参考文献:

- [1] 古德祥,张古忍,张润杰,等. 中国南方害虫生物防治 50 周年回顾[J]. 昆虫学报, 2000, 43(3):327-335.
- [2] 高翔,郭静,朱镇,等. 高地隙自走式喷雾机动力传动系统的设计[J]. 农机化研究, 2017, 39(4):247-268.
- [3] ZAMAN Q U, ESAU T J, SCHUMANN A W, et al. Original papers: Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields [J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2011, 76(2):175-182.
- [4] BATTE M T, EHSANI M R. The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers [J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2006, 53(1):28-44.
- [5] 孙书民,王进戈,柯坚. 收割机中新型 HST 优化设计及试验 [J]. 机械设计, 2014(5):34-38.
- [6] 张磊江. 自走式水田喷杆喷雾机的设计与性能分析 [D]. 镇江:江苏大学, 2014.
- [7] 刘雪美,李扬,李明,等. 喷杆喷雾机精确对靶施药系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(3):37-44.
- [8] HUANG K J, SU H W. Approaches to parametric element constructions and dynamic analyses of spur/helical gears including modifications and undercutting [J]. Finite Elements in Analysis & Design, 2010, 46(12):1106-1113.
- [9] 王潇楠,何雄奎,ANDREAS H,等. 喷杆式喷雾机雾滴飘移测试系统研制及性能试验 [J]. 农业工程学报, 2014(18):55-62.
- [10] DU J, ZHANG G, LIU T, et al. Improvement on load performance of externally pressurized gas journal bearings by opening pressure-equalizing grooves [J]. Tribology International, 2014, 73(5):156-166.
- [11] 姬长英,鲁植雄,潘君拯. 中国南方水田土壤的承载能力和粘附性能预测 [J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(4):105-108.
- [12] 智友海,史向平,刘永寿,等. 液压/燃油管道系统的管径及其支撑的动力优化设计 [J]. 机械设计, 2010, 27(3):75-79.
- [13] 路江涛. 欧美农用发动机减排技术应用发展状况及趋势 [J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1):46-49.
- [14] 袁士豪,殷晨波,刘世豪. 基于 AMESim 的平衡阀动态性能分析 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(8):273-280.
- [15] 章韬韬,陈明,陈海明. 基于 Matlab 的装载机全液压行走控制系统的设计与优化 [J]. 机械设计, 2010, 27(3):58-61.

转向、调速、冷却等功能。

(责任编辑:张震林)