

大型拖拉机动力换挡变速箱试验台*

朱思洪¹ 朱永刚¹ 朱星星¹ 邓晓亭¹ 何华林² 高辉松¹

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 常发集团, 常州 213000)

【摘要】 根据拖拉机动力换挡变速箱试验要求, 设计了大型拖拉机动力换挡变速箱试验台。设计了装夹装置、驱动装置、加载装置及其能量回馈系统, 开发了电子控制单元和电子测量系统。试验结果表明: 试验台功率大, 达 250 kW; 实现了能量闭环回馈, 重载工况下的节能率高达 80%; 检测系统功能全, 能检测驱动和加载电动机转矩、转速、液压系统压力和流量等 16 个信号。试验台运行平稳, 达到设计要求。

关键词: 拖拉机 动力换挡变速箱 试验台

中图分类号: S219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)04-0013-04

Test-bed of Power Shift Transmission for Large-scale Tractor

Zhu Sihong¹ Zhu Yonggang¹ Zhu Xingxing¹ Deng Xiaoting¹ He Hualin² Gao Huisong¹

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Changfa Group, Changzhou 213000, China)

Abstract

According to the testing requirements of tractor power shift transmission, a power shift transmission test bed for large-scale tractor was designed. The power shift transmission, drive motor, loading motor and energy feedback system were designed. The electronic control unit and electronic measurement system were developed. The overall scheme of tests for power shift transmission was determined and tested. The test results showed that the power of proposed test bed was up to 250 kW. A closed-loop feedback of energy was achieved thus energy-saving rate in overload operating conditions reached to 80%. The input speed and torque, output speed and torque, hydraulic system flow and pressure could be tested with the system. The test bed was operated steadily and could meet the design requirements.

Key words Tractor, Power shift transmission, Test bed

引言

动力换挡变速箱具有操作简单和工作效率高的优点, 自 1959 年应用于 Caterpillar 公司的 D9D 型拖拉机以来, 欧美许多大型拖拉机都采用了半动力换挡或全动力换挡技术。为了缩短与欧美国家的差距, 一拖集团、北汽福田、常发集团和东风农机等大型拖拉机制造企业开始研制动力换挡变速箱, 其中动力换挡变速箱试验台成为重要研究工作。

近年来, 围绕动力换挡变速箱试验台关键技术, 北京理工大学、中国农业大学、河南科技大学、重庆大学和洛阳拖拉机研究所等高校和科研院所开展了

多方面的研究^[1-5]。

尽管如此, 到目前为止适于大型拖拉机动力换挡变速箱的全自动控制试验台在国内还是空白。为此, 本文研制适于 180 kW 以上大型拖拉机动力换挡变速箱的试验台。

1 动力换挡变速箱技术特点

与传统手动换挡变速箱不同, 动力换挡变速箱的换挡操作由换挡离合器控制, 换挡离合器的结合与分离由液压系统驱动, 而液压系统受电子控制单元 (TCU) 控制。动力换挡变速箱的突出特点是换挡时动力不中断, 从而简化了驾驶员的

收稿日期: 2010-04-29 修回日期: 2010-05-19

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD11A02)

作者简介: 朱思洪, 教授, 博士生导师, 主要从事车辆系统动力学及控制研究, E-mail: zhushihong@njau.edu.cn

操作过程,改善了拖拉机的操纵性能,提高了工作效率。

典型的拖拉机动力换挡变速箱如图 1 所示,主要由机械传动系统、液压控制系统和电子控制系统组成。机械传动系统又分为动力换挡区、爬行挡区和 6 挡主变速箱区。动力换挡区有低挡(L)、中挡(M)、高挡(H)和超高挡(S)4 个挡位,通过 A、B、C、D、F、G 6 个多片湿式离合器实现挡位的切换。爬行挡区有普通挡(NO)和爬行挡(KR)2 挡,由人工操纵。主变速箱分为 3 组:Ⅰ挡/Ⅱ挡、Ⅲ挡/Ⅳ挡和Ⅴ挡/Ⅵ挡,均采用同步器换挡。主离合器位于爬行挡和主变速箱之间,PTO 和 4WD 均采用多片湿式离合器控制。制动器布置在后桥左右驱动轮轮边减

速器前端。由于增加了动力换挡区,变速箱的挡位密集,共有 40 个前进挡和 40 个倒退挡,行驶速度范围 0.3 ~ 50 km/h。液压控制系统除对变速箱强制润滑外,还控制换挡离合器、主离合器、PTO 和 4WD 离合器的分离和结合,以及制动器的制动。变速箱的主要性能参数,包括发动机输入转速、变速箱输入转速、液力变速箱输出转速、主离合器转速、离合器踏板位置、离合器位置、主变速箱挡位、PTO 转速、变速箱温度、润滑系统油压等,通过各类传感器传递至变速箱电子控制单元(TCU),TCU 根据驾驶员输入指令,控制液压系统中的电磁阀和对应的换挡离合器实现换挡,同时对转速、转矩、压力、流量、温度等进行监测。

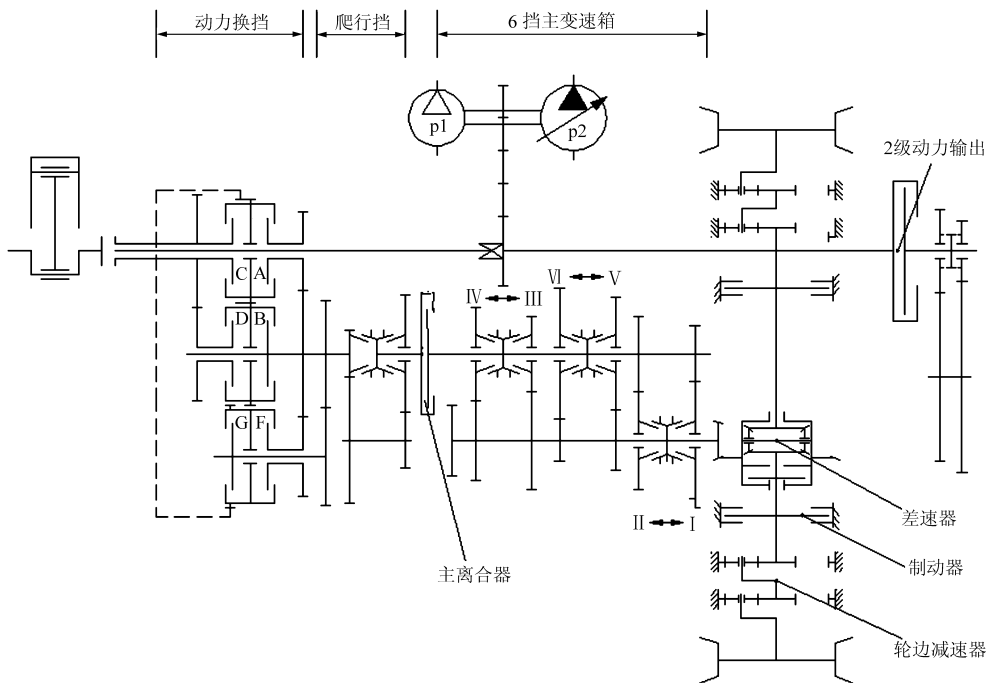


图 1 ZFT7336 型拖拉机动力换挡变速箱结构简图

Fig. 1 Gear box diagram of tractor power shift transmission (ZFT7336)

2 试验台设计

试验台用于大型拖拉机动力换挡变速箱性能和可靠性试验,试验内容包括传动效率试验、液压系统动态特性试验、TCU 性能试验等。要求试验台功能全、能耗小,装夹、驱动和加载装置可调节,控制系统操作简便、响应快,信号采集测量系统性能稳定、精度高。

2.1 试验台总体结构

图 2 所示为拖拉机动力换挡变速箱试验台示意图,主要由动力换挡变速箱及其装夹装置、驱动装置、加载装置及能量回馈系统、试验台电子控制单元、变速箱电子控制单元、电子测量系统等组成。根据变速箱倒“T”字型结构特点,设计了三点装夹装

置,3 个装夹装置分别位于变速箱前端和后桥左、右轴端,通过螺栓与变速箱箱体连接,且水平位置和高度均可调。驱动装置选用 YJTG355M2-4A 型变频调速三相异步电动机,额定功率 250 kW,额定转速 1 440 r/min,调速范围 0 ~ 3 000 r/min,外特性为硬特性,与拖拉机常用柴油发动机外特性一致,调速范围基本覆盖了拖拉机常用柴油发动机额定转速。在变速箱后桥左右轴端各安装一台电动机为变速箱加载,电动机功率选择的原则是:保障左右加载电动机功率之和大于驱动电动机功率。据此原则,选择 YJTG355M3-8A 型交流变频调速三相异步电动机,电动机的额定功率 132 kW,额定转速 720 r/min,调速范围 0 ~ 3 000 r/min。加载电动机起发电机作用,在加载回馈控制装置的控制下,所产生的三相交流

电经加载逆变器变换后回馈至驱动电动机。考虑到低挡时变速箱后桥输出轴转速低,在加载电动机和后桥输出轴之间设计了传动比为 1:18 的增速箱,使得加载电动机最小输入转速满足发电机发电的要求。

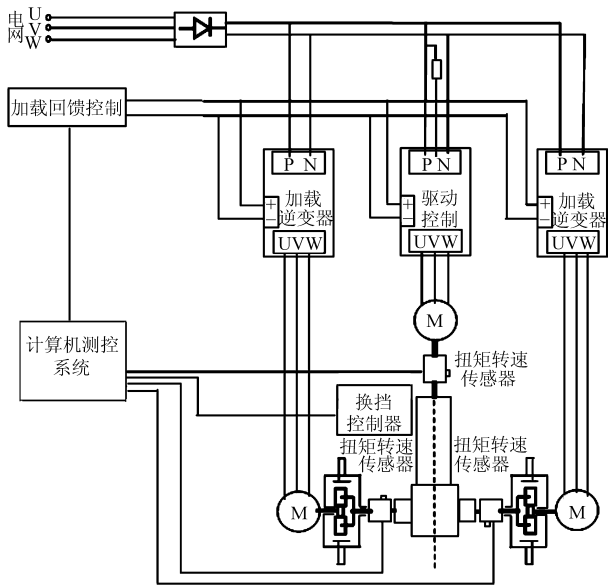


图 2 动力换挡变速箱试验台原理图

Fig. 2 Schematic of power shift transmission test bed

2.2 试验台电子控制单元

针对试验台的控制要求,设计了试验台电子控制单元。试验台电子控制单元由驱动电动机转速控制单元、加载电动机转矩控制单元、变速箱动力换挡控制单元和变速箱温度监控单元组成。选用西门子的 S7-300 型 PLC 控制器,设计了试验台电子控制单元控制软件。其中,驱动电动机转速控制单元和加载电动机转矩控制单元的执行元件均选用 ABB 公司的 ACS800 型变频器,PLC 控制器分别向驱动电动机变频器和加载电动机变频器发出“f”或“t”指令,调节电动机的频率或电流,达到改变驱动电动机转速和加载电动机转矩的目的。为了提高响应速度,采用基于电动机转矩转速反馈信号的 PID 控制策略。当在操作面板上给驱动电动机设定转速或给加载电动机设定转矩后,试验台电子控制单元能在 3~4 s 内将电动机转速或转矩调节到设定值。变速箱动力换挡控制单元是在变速箱电子控制单元(TCU)的基础上开发的。通过操作面板上旋钮的顺时针和逆时针旋转,控制电磁阀 Y1、Y2、Y3、Y4、Y6 和 Y7 的通电或断电,进而控制驱动油缸压力实现换挡。

2.3 变速箱测试系统

为了检测变速箱性能,设计了试验台动态测量系统。系统由 9 个压力传感器、3 个转矩转速传感器、2 个流量传感器和数据采集器组成。压力传感

器用于动力换挡过程中各个换挡离合器驱动油缸压力的测试,选用 TQ-557 型压力传感器,测量范围 0~5 MPa,测量精度 0.5% FS,供电电压 24 V。转矩转速传感器型号为 TQ-660,分别用于测量驱动电动机的驱动转矩转速以及加载电动机的加载转矩和转速,驱动电动机转矩转速传感器测量范围为 0~±2 000 N·m,精度为 0.5% FS,频率响应为 100 μs,加载电动机转矩转速传感器测量范围为 0~±30 000 N·m,精度为 0.5% FS,频率响应为 100 μs。流量传感器型号为 LW-20-4 MPa,分别用于液压油泵出口流量和强制润滑系统流量的测量,测量范围 0.8~8 m³/h。数据采集卡型号为 TQ-001,编写了基于 LabView 的动力换挡变速箱测试专用软件,用于系统参数的采集、显示和存储。

3 试验与结果分析

3.1 试验方案设计

根据动力换挡变速箱试验台设计要求,对其进行了试验检测。综合考虑各种因素,设计了动力换挡变速箱试验台试验方案。选取驱动电动机转速、加载电动机转矩和变速箱挡位为试验因素。根据动力换挡变速箱试验标准,驱动电动机转速取 800、1 600 和 2 000 r/min 3 个水平。加载电动机转矩水平的选取要兼顾低速大转矩和高速小转矩两种典型工况,故设计了 3 000、6 000、12 000、18 000、21 000 和 24 000 N·m 6 种加载载荷。变速箱的挡位分为 L 挡、M 挡、H 挡和 S 挡 4 个动力挡,Ⅰ挡、Ⅱ挡、Ⅲ挡、Ⅳ挡、Ⅴ挡和Ⅵ挡共 6 个机械挡,每个动力挡和机械挡的组合都进行测试,共有 24 个挡位组合。作为评价指标,测取驱动和加载电动机转矩转速、液压系统压力和流量,以及试验台节能率等评价变速箱及试验台的性能参数。

3.2 试验结果分析

对上述四因素的所有水平组合都进行了试验,每组试验重复 3 次。试验结果表明,ZFT7336 型动力换挡变速箱和动力换挡变速箱试验台在试验过程中运行平稳可靠,测试系统精度高,典型工况下的性能指标如图 3~8 所示。

图 3 所示为不同变速箱输出转矩下,变速箱传动效率随拖拉机行驶速度变化的规律。从图中可以看出,动力换挡变速箱传动效率较高,在 85%~95% 之间变化。在同一输出转矩下,随着拖拉机行驶速度的提高,变速箱的传动效率降低。而变速箱输出转矩的增大也导致传动效率的降低,这种变化规律从图 4 可以看出:当拖拉机行驶速度分别为 3.31、5.72、9.87 及 12.00 km/h 时,变速箱传动效率

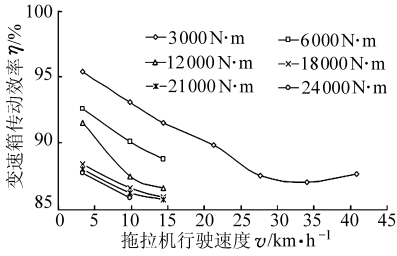


图 3 变速箱传动效率随拖拉机行驶速度变化曲线

Fig. 3 Relationship between the transmission efficiency and the tractor speed

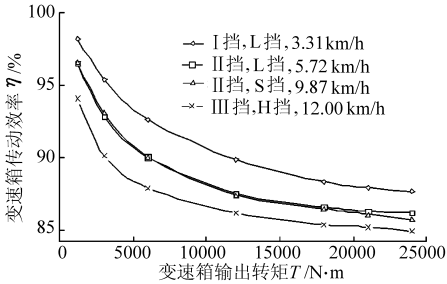


图 4 变速箱传动效率随变速箱输出转矩变化曲线

Fig. 4 Relationship between the transmission efficiency and the output torque of the transmission

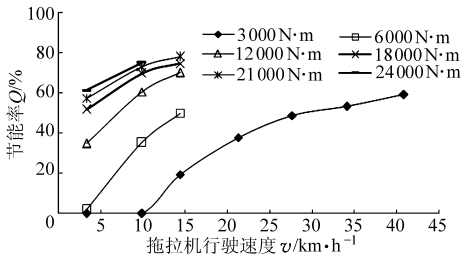


图 5 试验台节能率随拖拉机行驶速度变化曲线

Fig. 5 Relationship between the test bed energy saving rate and the tractor speed

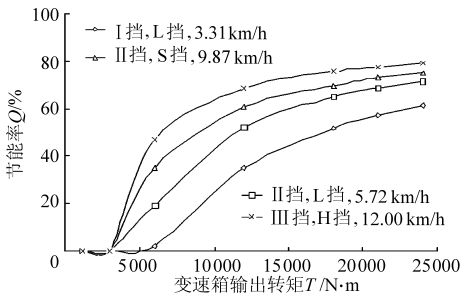


图 6 试验台节能率随变速箱输出转矩变化曲线

Fig. 6 Relationship between the test bed energy saving rate and the output torque of the transmission

随着输出转矩的增大按双曲线规律减小。

图 5 和图 6 分别为试验台节能率随拖拉机行驶速度和变速箱输出转矩变化的规律。图 5 显示,变速箱输出转矩不同时,试验台节能率随拖拉机行驶速度的提高而增大,随着变速箱输出转矩的增大,节能率增大。从图 6 中可以看出,在拖拉机不同行驶

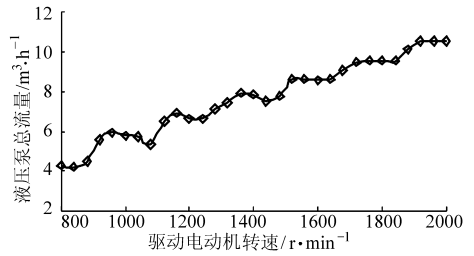


图 7 液压泵总流量随驱动电动机转速变化曲线

Fig. 7 Relationship between the hydraulic pump total flow and the rotation speed of the drive motor

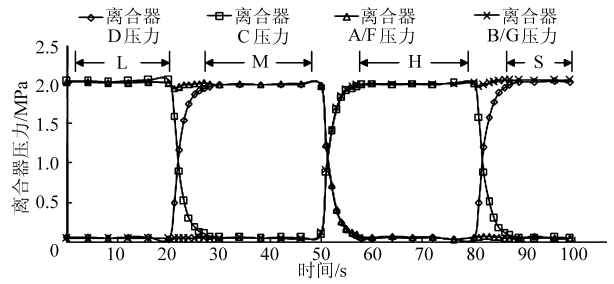


图 8 离合器驱动油缸压力变化曲线

Fig. 8 Cylinder pressure curves of clutch drive

速度下,节能率随着变速箱输出转矩的增大而增大。在高速和大转矩工况下,试验台节能效果非常明显,节能率高达 80%。

图 7 为液压泵总流量随驱动电动机转速变化的规律,可以看出,液压泵总流量随着驱动电动机转速的增大而增大。当驱动电动机转速由 800 r/min 增加到 2 000 r/min 时(间隔 200 r/min),液压泵总流量由 4.2 m³/h 增加到 10.6 m³/h。

图 8 为驱动电动机转速 1 600 r/min、机械挡 III 挡、动力挡 H 挡、加载转矩 12 000 N·m 时,离合器 A、B、C、D、F、G 的压力随时间变化的规律。由图可以看出,在 H 挡时,离合器 B/G 和 C 的压力为 2 MPa,而离合器 A/F 和 D 的压力近似为 0 MPa,即在 H 挡时,离合器 B、C 结合或 C、G 结合,离合器 A/F 和 D 分离。

4 结束语

研制了大型拖拉机动力换挡变速箱试验台,其主要特点是功率大,达 250 kW,达到国内同类型试验台功率最大;实现了能量闭环回馈,重载工况下节能率达 80%。加载和固定装置位置可以调节,满足各种型号动力换挡变速箱性能和可靠性测试要求。测试过程由电子控制单元自动控制,操作简便,能测试包括驱动电动机转矩转速、加载电动机转矩转速、液压系统流量和压力在内的 16 个参数。试验结果表明,该试验台运行平稳,测试结果准确可靠。

- 6 陈柏仲. 扭力转换器扁平化设计的数值模拟分析[D]. 台南: 成功大学, 2009.
Chen Baizhong. Numerical simulation of torque converter squashing design[D]. Tainan: National Cheng Kung University, 2009. (in Chinese)
 - 7 魏巍, 闫清东. 液力变矩器叶栅系统样条拟合参数设计体系[J]. 农业机械学报, 2009, 40(2): 22 ~ 26.
Wei Wei, Yan Qingdong. Parameterization design architecture of cascade in a hydrodynamic torque converter based on spline fit curve[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 22 ~ 26. (in Chinese)
 - 8 朱经昌. 液力变矩器的设计与计算[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
 - 9 王彦, 王玉鹏, 马文星. 液力变矩器循环圆的综合描述及导数修正法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2002, 32(1): 80 ~ 82.
Wang Yan, Wang Yupeng, Ma Wenxing. Synthetic description of circulatory circle of hydrodynamic torque converter and method of differential amendment[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2002, 32(1): 80 ~ 82. (in Chinese)
 - 10 闫清东, 魏巍. 液力变矩器变宽循环圆设计方法研究[J]. 工程机械, 2006, 37(1): 47 ~ 49.
Yan Qingdong, Wei Wei. Research on design of width-variable circulatory circle of torque converter[J]. Construction Machinery and Equipment, 2006, 37(1): 47 ~ 49. (in Chinese)
 - 11 闫清东, 魏巍. 液力变矩器宽度比敏感性数值研究[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(5): 413 ~ 416.
Yan Qingdong, Wei Wei. Width sensitivity numerical simulation of torque converter[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2006, 26(5): 413 ~ 416. (in Chinese)
 - 12 Jandasek V J. Design of single-stage, three-element torque converter[M]. SAE. Design Practice: Passenger Car Automatic Transmissions (AE-18), 3rd edition, SAE International, 1944: 75 ~ 102.
-

(上接第 16 页)

参 考 文 献

- 1 蔡萍, 何玉林, 吴茂盛. 汽车变速器机械能封闭式负荷试验台设计[J]. 压电与声光, 2008, 30(3): 291 ~ 293.
Cai Ping, He Yulin, Wu Maosheng. The design of automobile gearbox load test bed with machine energy return[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008, 30(3): 291 ~ 293. (in Chinese)
- 2 葛楠, 彭光正, 余麟, 等. 基于直流调速技术的变速箱加载试验台[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(1): 70 ~ 74.
Ge Nan, Peng Guangzheng, Yu Lin. Gearbox loading test bench based on DC speed regulation[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2008, 28(1): 70 ~ 74. (in Chinese)
- 3 满益明, 陈慧岩, 龚建伟, 等. 自动机械变速器试验技术及联调试验台设计[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(6): 500 ~ 504.
Man Yiming, Chen Huiyan, Gong Jianwei, et al. Design of a test bench system for automated mechanical transmission[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2008, 28(6): 500 ~ 504. (in Chinese)
- 4 程广伟, 周志立, 邓楚南. 履带车辆液压机械无级变速器试验台测控系统研究[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 31(4): 656 ~ 659.
Cheng Guangwei, Zhou Zhili, Deng Chu'n. Research on tracked vehicles HMT test-bed measure and control system[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 31(4): 656 ~ 659. (in Chinese)
- 5 郁飞鹏, 贾鸿社. 基于 LabVIEW 的车辆动力换挡变速箱测试系统[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2006, 27(3): 15 ~ 17.
Yu Feipeng, Jia Hongshe. Test system of tractor power shift transmission based on LabVIEW[J]. Journal of Henan University of Science & Technology: Natural Science, 2006, 27(3): 15 ~ 17. (in Chinese)