

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.017

拖拉机经济性虚拟综合测试系统设计与试验

吴 媿 刘鹏飞 张小龙

(安徽农业大学工学院,合肥 230036)

摘要: 基于虚拟仪器构建了拖拉机经济性综合测试系统,以满足拖拉机节油节能技术、动力总成设计优化、农艺规范优化等研究测试需要。首先在分析拖拉机油耗测试要求的基础上,对硬件进行选型,设计了以美国 NI cRIO 控制器为核心的测试系统,实现对瞬时和百公里油耗、行驶速度和轨迹、发动机工作点等信号同步采集。给出了测试系统的虚拟软件设计方案,包括 FPGA 软件、实时软件和上位机数据采集与分析软件等。对油耗流量传感器输出的两路正交编码 TTL 信号进行 X4 编码编程,将有效方波信号计数分辨率提高到 0.25 个方波。编程实现系统对燃油正、回流识别和计数,采用 FPGA 精确定时技术确定计数脉冲边沿跳变时刻,有效提高了瞬时油耗测试精度。将发动机 OBD 接口中的 CAN 和 K 线接入系统,并编程实现对发动机输出扭矩、转速等信号的同步采集,以分析发动机工作状态。最后进行了对比试验和场地试验,验证了本系统瞬时油耗采样和数据处理方法的准确和实时性,以及整个系统功能和可靠性。研究为拖拉机经济性综合评估和分析提供了有效手段。

关键词: 拖拉机; 经济性; 测试系统; 瞬时油耗; 虚拟仪器

中图分类号: S219; U467.5⁺21 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)03-0117-07

Design and Field Test of Integrated Virtual Test System for Tractor Economy Performance

Wu Ti Liu Pengfei Zhang Xiaolong

(School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The integrated virtual testing system for tractor economy performance was designed, which aimed to meet the research requirements on the tractor fuel and energy saving technology, the power assembly design optimization, the agricultural operation standard determination, etc. Firstly, the hardware lectotype was determined based on the requirement analysis of tractor fuel consumption test. Then the test system based on NI cRIO controller was designed, which can complete the synchronous acquisition of instantaneous fuel consumption, fuel consumption per 100 km, velocity, driving path and engine working state parameters, etc. Consequently, the virtual software design of the test system was described in detail, including FPGA software, real-time software and PC data acquisition and analysis software. The X4 encoding programming technology was used to acquire the double TTL signals output by the fuel flowmeter, and the resolution ration for the effective impulse signal could be increased by four times. By means of the determination for fuel forward and backward moving, and the FPGA precisely timing capture for the jump or down edge of the TTL signal, the test accuracy for the instantaneous fuel consumption could be improved effectively. In order to analyze the engine work state, the CAN and K line from OBD interface were connected to the test system and the relative programming was made to acquire the engine output torque, the engine speed, etc. Finally, according to the comparison tests and field tests, the samples and data processing methods employed in the system for instantaneous fuel

收稿日期: 2015-12-26 修回日期: 2016-01-11

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1608085ME109)和国家自然科学基金项目(51105001)

作者简介: 吴媿(1990—),女,助理研究员,主要从事虚拟测试系统研究,E-mail: wuti@ahau.edu.cn

通信作者: 张小龙(1976—),男,教授,博士,主要从事车辆测控与动力学研究,E-mail: xlzhang@ahau.edu.cn

consumption were accurate and in real-time. Besides, the whole system function and reliability were also validated. The study of this paper provides an effective means to comprehensively evaluate and analyze the tractor economy performance.

Key words: tractor; economy performance; test system; instantaneous fuel consumption; virtual instrument

引言

近年来,大功率拖拉机需求量逐年增加,对环境和资源造成的压力也逐年增加,其带负荷实时工作效率和经济性问题也越来越突出^[1]。在拖拉机实际作业中测试和评价整车燃油经济性,特别是不同作业、不同驾驶操作水平时的发动机工作点分布、瞬时油耗和百公里油耗等,是探究拖拉机节油节能技术^[2-3]、动力总成设计优化^[4-7]、农艺规范优化^[8-9]等的有效手段,需要构建满足这一要求的拖拉机田间作业经济性综合测试系统。

测试发动机油耗主要有基于油耗仪的燃油质量(体积)法^[10]、基于排气成分分析的碳平衡法^[11]、基于动力输出的间接测试法^[12]等。后2种方法属于非直接测量,对瞬时油耗测试精度不高,且对拖拉机结构改动较大,田间作业难以实现。当前油耗仪法主要采用的是高精度流量计,一般串联在油箱和输油泵之间,性能好的流量计具有正交方波信号输出以表征发动机供油系统中燃油流动方向^[13]。对于高压共轨回油量大的柴油发动机需要选带回油冷却功能的便携式流量计^[14]。当前拖拉机综合性能测试研究中主要关注拖拉机台架检测线研制^[15]、拖拉机车速测试^[16]、轮胎滑移率测试^[17]等,采用虚拟仪器技术等手段有效提高了开发效率,而对于拖拉机田间作业时含瞬时油耗、百公里油耗、发动机工作点等经济性能的综合测试系统研究与应用鲜有报道。

本文针对拖拉机经济性实时测试研究需要,基于cRIO虚拟仪器构建综合测试系统,完成田间作业拖拉机瞬时油耗、百公里油耗、行驶车速、运动轨迹、发动机转速和扭矩、驾驶动作等信息的测试和分析。

1 基于cRIO的测试系统硬件设计

1.1 测试系统硬件架构

综合考虑系统功能和可靠性要求,构建的测试系统硬件架构如图1所示,包括传感器、数据采集器和上位机便携式计算机3部分,实现拖拉机瞬时油耗、车速、轨迹、发动机信息和驾驶动作等信息的实时同步采集、记录和分析。具体选型传感器及设备如表1所示。

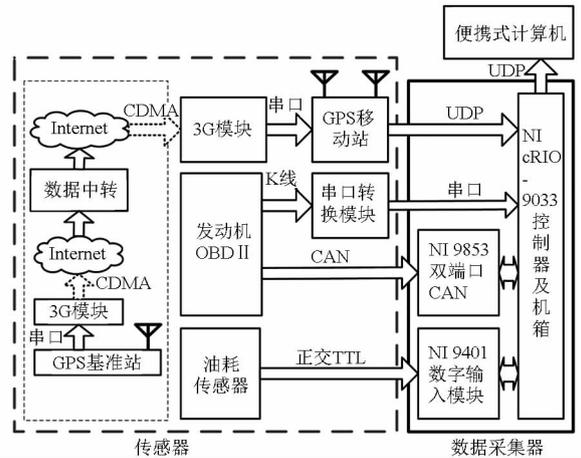


图1 测试系统硬件结构框图

Fig.1 Scheme of test system structure

1.2 数据采集器

数据采集器是整个测试系统的核心。拖拉机工作振动强度大、环境恶劣,车载测试需要选型可靠性高的数采设备。系统中需要准确测试瞬时油耗,对油耗仪输出的方波信号要准确计数和计时,要求数采中运行实时系统,最好提供FPGA编程功能。

最终选用美国NI公司的cRIO 9033作为数据采集器控制器,其基于LabVIEW可重配置I/O架构,工业级可靠性,封装坚固耐用,运行实时系统^[18]。对应选型2个C模块NI 9853和NI 9401插入控制器机箱^[19-20],分别实现对发动机OBD CAN信号和油耗流量传感器信号的采集。如果有的发动机只有K线,可以通过控制器串口连接模块ELM327实现对发动机转速、扭矩信息的采集。控制器通过网口与上位机相连。

数据采集器通过软件编程实现既定功能。

1.3 主要传感器选型

选用日本小野容积式流量计FP-2240H作为系统油耗流量传感器^[13],体积小,实车安装方便。在传感器底部布置有4个活塞,当燃油流过时燃油驱动活塞运动,将流量信号转变为轴转动角位移方波信号输出,为2路正交编码方波脉冲信号,可同时表征燃油流量和流动方向。

拖拉机行走速度、轨迹(距离)、航向角等信息的测量,选择美国Trimble GPS接收机组成的载波相位差分系统来实现,由移动站、基准站和差分信号传输3G模块组成。其中移动站选用的BD982板卡支

表 1 测试系统性能参数
Tab.1 Performance parameters of test system

传感器与设备	厂家/型号	精度与性能	主要数据 I/O 端口	供电形式
数据采集器	美国 NI cRIO-9033	Intel 1.33 GHz 双核处理器;8 GB Flash, 2 GB DDR3 RAM; 160T FPGA;工作温度范围 -40 ~ 70℃	2 个 LAN, RS232, RS485	DC9 ~ 30V
油耗传感器	日本小野 FP-2240H	量程 0.3 ~ 120 L/h;相对精度 ±0.2% ; 可同时测量燃油的温度及压力	2 路 TTL 正交方波	DC12V
油耗采集模块	美国 NI 9401	8 通道,10 MHz TTL 数字 I/O; 工作温度范围 -40 ~ 70℃	DB 25	机箱供电
GPS 基准站和 移动站接收机	美国 Trimble BD982	RTK 精度水平 8 mm,垂直 15 mm; 航向角 0.1°;位置更新频率 50 Hz	RS232, LAN, CAN	DC12 ~ 24V
3G 通信模块	上海颐通 ET1030	空中接口 CDMA 2000;传输速度:前向 153.4 kb/s, 后向 53.4 kb/s;接收灵敏度 -104 dBm	RS232,RS485	DC7 ~ 36V
K 线转串口模块	ELM 公司 ELM327	支持标准 KWP2000 协议	RS232	DC5V
CAN 采集模块	美国 NI 9853	双端口高速 CAN,符合 ISO 11898 标准	DB9	机箱供电

持双天线姿态解算,可实现拖拉机航向角测试。采用 2 个 3G 模块实现较远距离下的差分信号传输,其数据服务器可布置在具有公网接口的计算机上。移动站通过网线与数据采集器相连。整个 GPS 系统可实现厘米级的定位精度和 0.1°定向精度^[21]。

2 系统软件设计

测试软件基于美国 NI LabVIEW 开发,包括运行在数据采集器中的 FPGA 软件、实时 RT 软件和运行在上位机中的数据采集与分析软件。

2.1 FPGA 和实时软件架构

FPGA 和实时软件架构如图 2 所示。FPGA 软件实现油耗信息和发动机 CAN 信息采集。实时软件同步读取 FPGA 软件中采集的信息、通过串口采集的 K 线信息,以及通过 UDP 采集的 GPS 信息,并通过 UDP 向上位机传送数据和接收控制指令。软件利用 cRIO 多线程工作优势,将各项采集任务通过独立的 While 循环分别实现,保证各通道数据采集及上位机通信独立工作,互不干扰。

油耗和车身 CAN 数据量较大,在 FPGA 和实时程序间通过 FIFO 传递数据,防止数据丢包。实时程序中通过“队列”缓存打包后的数据,在与上位机

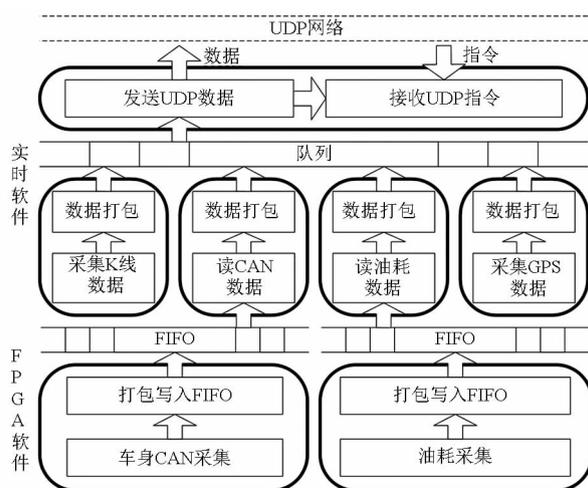


图 2 数据采集器软件结构框图

Fig.2 Software architecture of data acquisition instrument

UDP 通信程序中循环检测队列中数据的数量,并及时读出向上位机发送,保证数据采集和传输的可靠性。

2.2 瞬时油耗信息采集编程

图 3 是实际采集的油耗传感器两路方波脉冲信号,当燃油消耗时传感器 1 针信号超前 2 针信号,回流时 1 针信号滞后 2 针信号。软件通过 FPGA 编程采集 2 路油耗传感器信号,采样周期 10 μs。对油耗

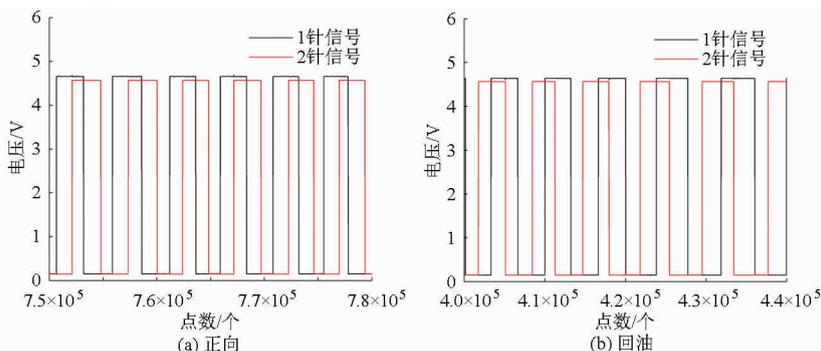


图 3 油耗传感器输出脉冲信号

Fig.3 Pulse signals of fuel flowmeter

脉冲计数采用 X4 编码方式,当两路方波脉冲的任意一路信号发生边沿跳变时即进行计数判断,计数方向通过逻辑门运算比较各路脉冲当前电平值和历史电平值得到。这里每个有效脉冲周期进行了 4 次计数,有效提高了油耗采集精度。

油耗计数结果保存为 U64 格式,其中高 32 位为 FPGA 时间,低 32 位为油耗有效脉冲计数值,数据保存周期为 0.25 个有效脉冲周期。这种方式记录下了每次油耗发生变化时的油耗和时间信息,可据此观测油耗瞬时特征。

2.3 GPS 数据采集

GPS 数据采集通过 UDP 方式实现。解析数据时先根据 GPS 语句头标志识别语句内容,再根据分隔符“,”从语句中相应位置提取数据,这里提取 UTC 时间、经度、纬度、卫星数量、高度、GPS 状态、差分龄期、速度方向、车速和 HDT 航向角信息。软件根据经度、纬度和高度信息进行高斯投影运算得到三维空间定位坐标,进而计算得到水平行驶距离^[22]。

2.4 车身 OBD 信号采集

通过 FPGA 编程采集发动机 CAN 信号,CAN 波特率在 CAN 模块属性设置。采集数据时首先在 FPGA 软件中判断数据的标识符,再读取特定标识符的 CAN 数据内容存储到 DMA FIFO 中,这里为了方便数据传送,将 8 个字节的 U8 格式数据转换成 U64 格式。软件在 FPGA 软件中只采集数据,对数据的解析在实时程序完成。

对于没有 CAN 总线的发动机,如果其具有 K 线,可在实时软件中通过串口编程实现 K 信号采集。在启用诊断服务前先对 ECU 进行初始化建立通信连接,具体为发送特定指令,检查返回的数据是否符合协议格式要求。初始化成功后以 1Hz 频率发送询问指令并解析返回数据。

2.5 数据打包和发送

实时程序向上位机发送油耗、GPS、CAN、K 线 4 种数据,采用 UDP 广播方式。油耗数据包包含油耗计数和 FPGA 时间信息,每 5 ms 数据打成一包上传。GPS、CAN 和 K 数据打包成簇格式,数据包中嵌入接收到数据时的 FPGA 时间,用于数据同步,这些数据量相对较小,可以在接收 GPS 数据时向上位机发送。

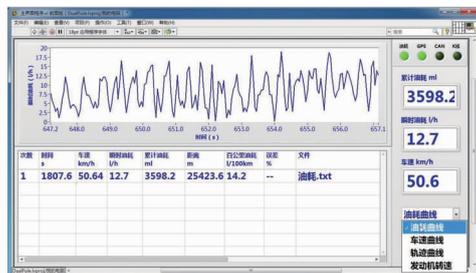
2.6 基于状态机架构的上位机软件设计

上位机软件基于状态机架构设计,通过 3 个独立的 While 循环分别实现数据接收功能,数据解析、显示、记录功能,人机交互命令功能。数据接收和数据解析循环间通过“队列”缓存数据,防止数据丢

包。

软件设置多种触发方式实现数据自动记录。数据记录时根据文件大小控制指示灯闪烁,从而实时监控各通道数据采集是否正常工作。数据保存为 txt 格式,数据内容通过制表符间隔,可使用 Excel 直接打开。油耗、GPS、CAN、K 线数据分别记录成 4 个独立的文件,根据数据中的 FPGA 时间同步数据。

图 4a 为上位机软件主界面,控制命令输入通过菜单栏和快捷键方式,界面简洁、控制简单。



(a) 主界面



(b) 参数配置界面

图 4 上位机软件界面

Fig. 4 Interface example of PC software

3 试验

3.1 油耗采集精度对比验证试验

使用 NI 公司的 PXI 数据采集平台和小野油耗传感器配套的二次仪表 DF-210A 与本测试系统进行油耗采集对比,搭建试验系统如图 5 所示。使用 NI PXI 数据采集平台同步采集油耗传感器 2 路脉冲和二次仪表输出 Pout、Vout 信号,采集板卡使用 NI PXIe-6368,模拟电压输入,采样频率 50 kHz。

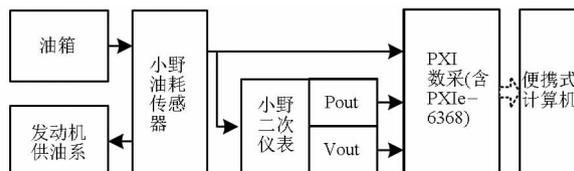


图 5 油耗采集方法验证试验方案

Fig. 5 Verification scheme for fuel acquisition algorithm

对某汽油发动机进行实车试验,使用二次仪表和 PXI 同步采集油耗信息。试验时车辆静止,驾驶员控制油门踏板保持怠速工况和中高负荷 2 个状态。对 PXI 采集的油耗传感器原始信号数据文件,

通过 Matlab 编程计算累计油耗和瞬时油耗。基于 Matlab 计算、小野二次仪表采集和本测试系统采集的 3 组数据进行对比分析。

3.1.1 累计油耗对比

采集累计油耗曲线如图 6 所示, 3 条曲线几乎完全重合, 说明 3 种测试方法对累计油耗的测试一致, 本测试系统对累计油耗的测试准确。

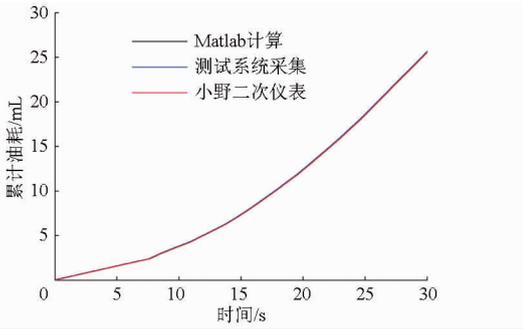
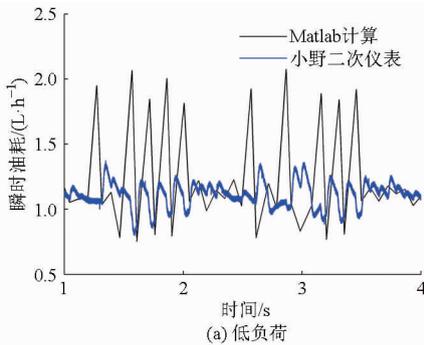


图 6 累计油耗对比

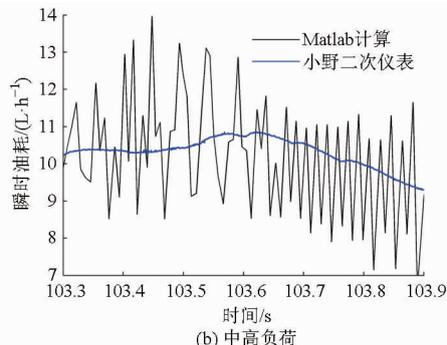
Fig. 6 Comparative curves of cumulative fuel consumption

3.1.2 瞬时油耗对比

Matlab 计算和本测试系统实时采集得到的累计



(a) 低负荷



(b) 中高负荷

图 8 Matlab 计算和二次仪表测量瞬时油耗对比

Fig. 8 Comparative instantaneous fuel curves of Matlab calculation and flowmeter instrument

油耗和瞬时油耗结果如图 7 所示, 采样频率设置为 20 Hz。在两种工况下本测试系统采集的瞬时油耗和 Matlab 计算结果完全重合。

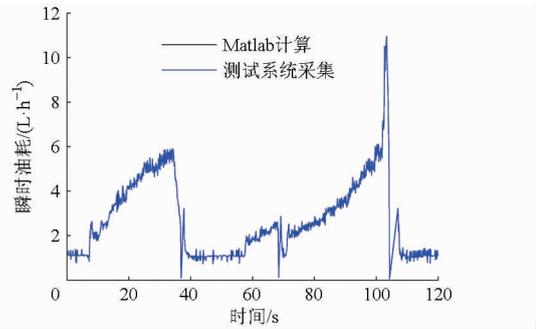


图 7 Matlab 计算和测试系统采集的瞬时油耗对比

Fig. 7 Comparative instantaneous fuel curves of Matlab calculation and test system

两种工况下 Matlab 计算瞬时油耗与小野二次仪表输出瞬时油耗如图 8 所示。可以看出, 图中 Matlab 计算的瞬时油耗有瞬时波动, 但小野二次仪表始终保持比较平缓的趋势, 且输出有延时, 对瞬时油耗的表征不准确。

3.2 拖拉机实车试验

在安徽农业大学机电工程园使用本测试系统对东方红-LX754 型拖拉机进行经济性试验测试, 驾驶拖拉机在场内绕圈行驶。

试验设备安装实物如图 9 所示。该拖拉机供油系为传统机械式(非高压共轨式), 油耗传感器串联在拖拉机油箱和输油泵之间。基准站天线固定于办公楼三楼天台, 基准站接收机和 3G 模块安放在实验室内, 通过蓄电池供电, 同时在实验室中通过 PC 机连接互联网(实验室有电信宽带), 运行 3G 数据转发程序。移动站接收机、cRIO 数据采集器、另一 3G 模块布置在拖拉机驾驶室内, 通过 12 V 锂电池供电。2 个移动站 GPS 天线平行于车身纵轴线安装在拖拉机车顶外侧。

配置基准站接收机串口输出载波相位差分 CMR 数据, 更新频率 1 Hz。移动站接收机通过 UDP

广播方式输出标准 NMEA 格式数据, 包括位置(GPGGA)、速度(GPVTG)、航向角(GPHDT)、定位精度(GST), 更新频率 20 Hz。

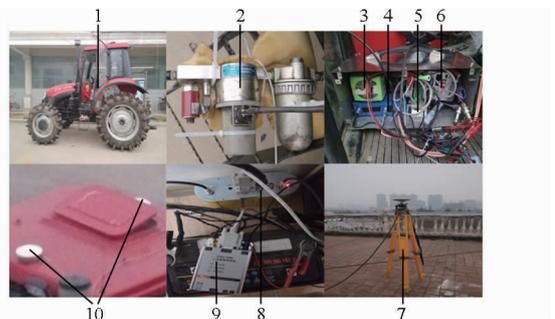


图 9 试验设备安装实物图

Fig. 9 Pictures of test equipments

1. 拖拉机 2. 油耗传感器 3. 锂电池 4. GPS 移动站接收机
5. 移动站 3G 模块 6. cRIO 数据采集器 7. 基准站 GPS 天线
8. 基准站接收机 9. 基准站 3G 模块 10. 移动站 GPS 天线

驾驶拖拉机在不同的挡位和车速下行驶,记录数据文件。数据丢包测试通过相邻2点UTC时间差来判定^[22]。截取某次试验200s数据,部分曲线如图10a~10h所示。测试累计油耗180.470mL,行驶距离388.6566m,计算得到百公里油耗为46.4343L/(100km)。由图10a累计油耗曲线和图10b累计油耗细节图可知:拖拉机累计油耗总体呈现上升趋势,但有周期性波动,其和发动机机械式燃油系、输油泵和回油通路结构有关。考虑到燃油周期性波动,计算瞬时油耗频率不能太高,经过测试发现取4s内的平均油耗效果较好,计算结果如图10c所示。图10d为通过GPS的GPVTG语句得到的车速信息,对比图10c可知,拖拉机由5km/h加速到

20km/h时,瞬时油耗由约3L/h增加至约8L/h,量化了不同行驶工况下的瞬时油耗变化。在试验开始60s和110s左右两次速度快速下降时刻累计油耗有明显下降,主要原因是在突然松开加速踏板时供油回路有较大流量回油发生。图10e为根据GPGGA语句高斯投影后得到的拖拉机行驶轨迹。图10f为根据GST语句采集的定位误差信息,这里给出水平方向上精度,东向和北向精度都在8mm以内,表明GPS工作在RTK差分模式,定位精度高。同步测得的拖拉机航向角和差分龄期如图10g、10h所示。

该拖拉机没有OBD接口,将系统应用于某带K线发动机的汽车,一次试验得到的发动机转速曲线如图10i所示,表明该功能能够正常运行。

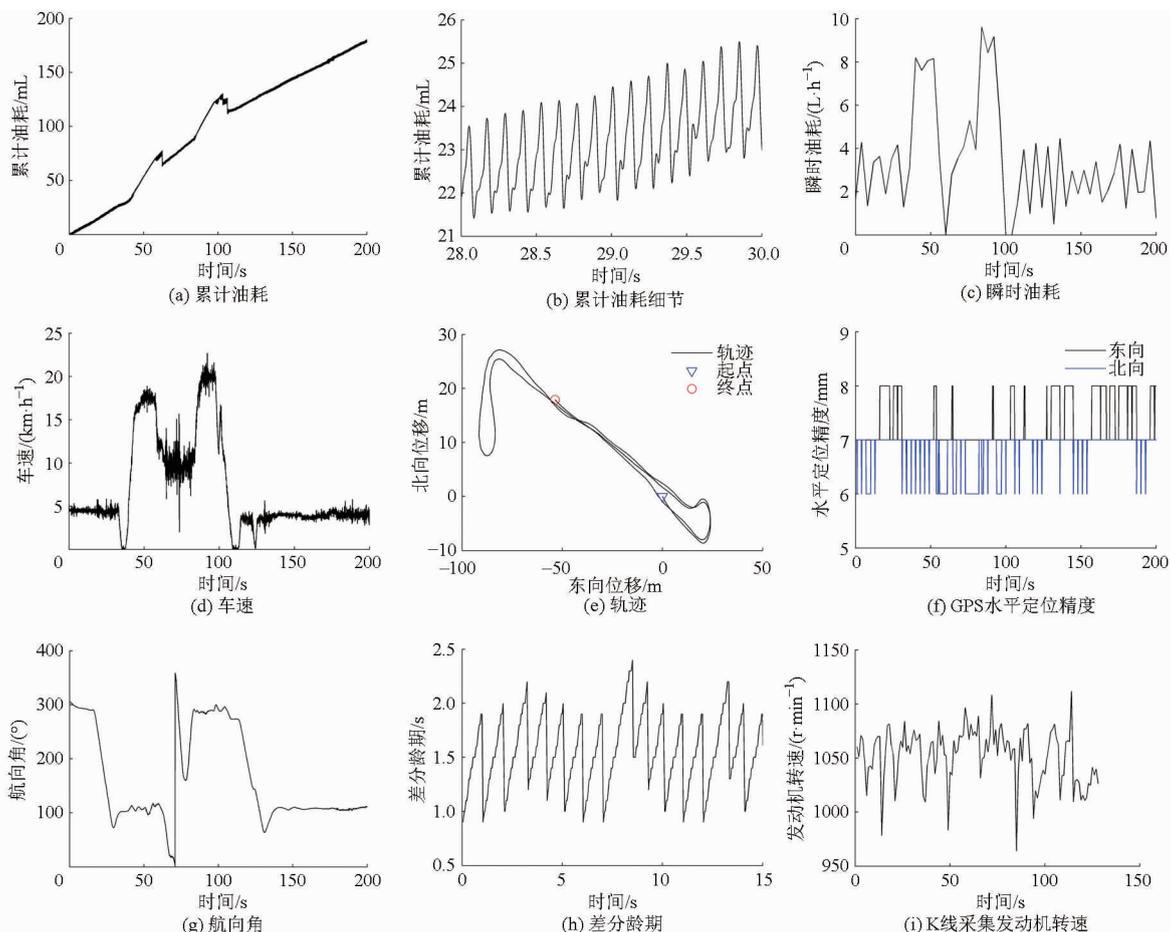


图10 场地试验曲线

Fig.10 Group of field test curves

4 结论

(1)基于虚拟仪器搭建拖拉机经济性综合测试系统,实现对拖拉机瞬时油耗、百公里油耗、行驶轨迹、速度等参数测试和分析。油耗测试可对回油进行补偿,脉冲计数精确到0.25个有效脉冲,测试精度高。对比和场地试验表明系统工作可靠、测试精

度和实时性好。

(2)本测试系统可进一步拓展对高压共轨柴油发动机进行发动机工作点测试和分析,如发动机输出扭矩、瞬时油耗、转速、制动踏板和离合踏板状态等,为拖拉机不同作业时的经济性分析提供了有效手段。

参 考 文 献

- 1 朱思洪, 缪小红, 尹文庆, 等. 德国拖拉机发展现状与趋势[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 111 - 114.
ZHU Sihong, MIAO Xiaohong, YIN Wenqing, et al. Development trend of tire tractor in Germany[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 111 - 114. (in Chinese)
- 2 NEEL C M, JOHNSON D M, WARDLOW G W. Performance, efficiency, and NO_x emissions of a compact diesel tractor fueled with D2, B20, and B100 under steady-state loads[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(6): 717 - 721.
- 3 MARIANO Gonzalez-de-Soto, LUIS Emmi, ISAIAS Garcia, et al. Reducing fuel consumption in weed and pest control using robotic tractors[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 114: 96 - 113.
- 4 王东青. 拖拉机负载换挡变速箱性能的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
WANG Dongqing. Study on the performance of agricultural tractor power shift transmission [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 5 邓晓亭, 朱思洪, 钱忠祥, 等. 混合动力拖拉机动力耦合装置的研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 29 - 34.
DENG Xiaoting, ZHU Sihong, QIAN Zhongxiang, et al. Research and development on power coupling device of hybrid electric tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 29 - 34. (in Chinese)
- 6 Pranav P K, Tewari V K, Pandey K P, et al. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 84: 1 - 6.
- 7 白学峰, 鲁植雄, 常江雪, 等. 基于滑转率的拖拉机自动耕深模糊控制仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 6 - 10.
BAI Xuefeng, LU Zhixiong, CHANG Jiangxue, et al. Fuzzy control algorithm simulation of automatic control of tilling depth for tractor based on slip rate [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 6 - 10. (in Chinese)
- 8 韩豹. 东北垄作株间机械除草关键部件研究与整机设计[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
HAN Bao. Study on key components and holistic device of intro-row mechanical weeding of the ridge cropping system in northeast of China[D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
- 9 孔德刚, 张帅, 杨明东, 等. 大功率拖拉机播种作业效率与经济性的测试分析[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(4): 7 - 13.
KONG Degang, ZHANG Shuai, YANG Mingdong, et al. Study on work efficiency and economy of import large power tractor in sowing work [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(4): 7 - 13. (in Chinese)
- 10 郑贺悦, 陆红雨, 戴春蓓, 等. 实验室内车辆油耗测量影响因素研究[J]. 汽车工程, 2004, 26(3): 279 - 282.
ZHENG Heyue, LU Hongyu, DAI Chunbei, et al. A study on the factors affecting vehicle fuel consumption measurement in laboratory[J]. Automotive Engineering, 2004, 26(3): 279 - 282. (in Chinese)
- 11 方茂东, 郑贺悦. 基于碳平衡法的汽车油耗测量方法[J]. 汽车工程, 2003, 25(3): 295 - 299.
FANG Maodong, ZHENG Heyue. Fuel consumption measurement for motor vehicle based on carbon balance method [J]. Automotive Engineering, 2003, 25(3): 295 - 299. (in Chinese)
- 12 何勇, 鲁西海, 寿明耀, 等. 25型拖拉机野外功率油耗检测仪的研制[J]. 浙江农业大学学报, 1995, 21(4): 349 - 352.
HE Yong, LU Xihai, SHOU Mingyao, et al. Study on the brake dynamometer of 25 type tractor [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1995, 21(4): 349 - 352. (in Chinese)
- 13 Ono Sokki Technology Inc. High-Precision Fuel flow meters, FP/FX/FZ series detectors, FM/DF series display units [M]. Addison IL: Ono Sokki Technology Inc, 2014.
- 14 Gregory Technology GmbH. Operation manual_FCS - D - 190 - 700_150dpi [M]. Mainz: Gregory Technology GmbH, 2011.
- 15 鲍一丹, 王立大, 蔡建平. 虚拟仪器技术在拖拉机性能测试中的应用[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(3): 335 - 338.
BAO Yidan, WANG Lida, CAI Jianping. The application of virtual instrument technology to design of a performance inspect system of tractor[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2003, 29(3): 335 - 338. (in Chinese)
- 16 孟志军, 刘卉, 付卫强, 等. 农田作业机械测速方法试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 141 - 145.
MENG Zhijun, LIU Hui, FU Weiqiang, et al. Evaluation of ground speed measurements for agricultural machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 141 - 145. (in Chinese)
- 17 钟文军, 高强, 鲁植雄, 等. 路面行驶工况下拖拉机驱动轮滑转率的测试与分析[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(4): 130 - 136.
ZHONG Wenjun, GAO Qiang, LU Zhixiong, et al. Test and analysis of the slip rate of tractors driven on roads [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(4): 130 - 136. (in Chinese)
- 18 National Instruments Corporation. NI cRIO - 9033 operating instructions and specifications [M]. Austin, TX: National Instruments Corporation, 2014.
- 19 National Instruments Corporation. NI 9401 operating instructions and specifications [M]. Austin, TX: National Instruments Corporation, 2012.
- 20 National Instruments Corporation. NI 9853E operating instructions and specifications [M]. Austin, TX: National Instruments Corporation, 2015.
- 21 Trimble Navigation Limited. Trimble BD982 data sheet [M]. Sunnyvale, CA: Trimble Navigation Limited, 2015.
- 22 张小龙, 盛丹丹, 夏萍, 等. 拖拉机导航作业中虚拟无线通讯系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 190 - 195.
ZHANG Xiaolong, SHENG Dandan, XIA Ping, et al. Virtual wireless communication realization in agricultural tractor navigation system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 190 - 195. (in Chinese)