

基于 CAN 总线的拖拉机机组作业性能分析

刘洪利 王 熙
(黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

摘要: 为了准确评价拖拉机作业性能及操作人员的技术水平,利用拖拉机 CAN 总线数据解析存储系统,获得 John Deere 7830 型拖拉机在一定作业幅宽内,以回耕法进行整地时的作业参数信息,利用 ARCGIS、Matlab 与 Excel 对数据进行可视化处理并对其进行分析。结果表明,利用高斯投影算法将 GPS 接收机采集到的经纬度转换成平面坐标,能够更加精确地计算出有效作业面积;拖拉机扭矩合理系数占总输出扭矩的 27.01%,发动机负荷率偏低,燃油经济性差,操作手作业技术有待改进;拖拉机发动机作业实际转速为 1 700 r/min,超过发动机满负荷标定转速(1 600 r/min),动力匹配性良好;通过转速、扭矩和油耗可以判断发动机怠速状态,从而计算出有效的作业时间。
关键词: 拖拉机; CAN 总线; 作业性能; 机组匹配性
中图分类号: S232.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0030-05

Analysis of Tractor Working Performace Based on CAN Bus

Liu Hongli Wang Xi
(College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the performance of the tractor and the technical level of the operator, the CAN bus data analysis and storage system were used to acquire work parameter information of John Deere 7830 type tractor in certain operating width with returning cultivation method. ARCGIS, Matlab and Excel were used to visualize and analyze the data. The results showed that GPS receiver acquisition of latitude and longitude can be changed into plane coordinates with Gauss projection algorithm that can be more accurate to calculate the effective work area (18.56 hm²); reasonable coefficient of tractor torque was 27.01% of total output torque; engine load rate and fuel economy were relatively low and manual operation technology need to be improved; the actual speed of the tractor was 1 700 r/min which was 1 600 r/min more than rated speed at engine full load and power match was good. Based on the speed, torque and fuel consumption, the engine idling state and the effective operation time (2.75 h) could be calculated.
Key words: tractor; CAN bus; working performance; unit match

引言

近年来,黑龙江垦区大量运用进口大马力拖拉机机组作业,大大提高了粮食产量和农业生产效率,但其受机组操作人员技术水平、作业条件、机具性能、机组匹配等因素的影响,使机组负荷条件下的工作效率和经济效益问题日益凸显^[1-2],因此拖拉机

机组作业性能的研究尤为重要。
国外对于这方面的研究,如美国的凯斯(CASE)公司、约翰迪尔(John Deere)公司利用大马力拖拉机自带的传感器通过 CAN 总线传输,减少作业环境对数据的干扰,所得数据准确,用于机组配备和发动机改进等相关研究^[3];KICHLER 等^[4]利用拖拉机实时作业数据对比分析不同厂家深松铲在不同

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-24
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200600)
作者简介: 刘洪利(1990—),男,博士生,主要从事精准农业技术装备研究,E-mail: lx5402123@163.com
通信作者: 王熙(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事精准农业技术装备研究,E-mail: ndwangxi@163.com

耕深时的油耗、扭矩变化情况,得到不同发动机动力与机具的匹配方法。国外研究主要采用试验方法,且数据采集靠拖拉机自身传感器采集,可靠性及稳定性较好。国内由于国产拖拉机还没有自身携带传感器,因此研究多集中于变速箱及作业面积等方面^[5-7],拖拉机机组作业性能、机组匹配性和工作效率的研究报道较少。且研究方法主要采用仿真分析和室内模型^[8-10],其结果与大田实际作业情况存在差异。

本文利用拖拉机 CAN 总线数据采集记录器进行田间试验,获取拖拉机作业经纬度、高程、发动机油耗、发动机转速、发动机转矩百分比、后悬挂状态以及发动机总工作小时等数据,分析机组作业有效面积,拖拉机与机具的匹配性,操作人员有效作业时间,操作人员的技术能力,以期为拖拉机 CAN 总线数据和拖拉机作业效率等相关研究奠定基础。

1 拖拉机 CAN 总线网络

CAN(Controller area network) 总线即控制器局域网,属于现场总线的范畴,是为解决现代汽车中各种测量控制部件之间的数据传输问题而开发的一种串行数据通信总线,拖拉机 CAN 总线如图 1 所示。



图 1 拖拉机 CAN 总线网络解析示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CAN bus system of tractor

1. 发动机 CAN ECU
2. 变速箱 CAN ECU
3. 液压系统 CAN ECU
4. 自动导航 CAN ECU
5. CAN 接口
6. CAN 总线网络

其主要原理是通过 CAN 总线将车身上相关控制器相互联系起来,组成一个网络,实现发动机、变速箱、车身以及其他各单元控制器的通信^[11-12]。基于 CAN 总线技术,使拖拉机上各个控制系统之间的信息完成有序的交互,从而完成信息共享,解决拖拉机仪表精度低、可视化程度低和难扩展等缺点。同时 CAN 总线的数据通信具有较高的可靠性、实时性和灵活性,是获取拖拉机作业数据的有效方法之一。

2 拖拉机 CAN 总线数据采集解析记录器

拖拉机 CAN 总线数据采集解析记录器是基于 CAN 总线技术和农机 ISO11783 标准搭建的数字式

模块化数据采集解析平台。拖拉机 CAN 总线网络中的整个系统由数据采集模块、数据传输模块以及 U 盘存储模块等几部分组成,如图 2 所示。拖拉机 CAN 数据解析器记录数据频率为 1 次/s,输出电压 12 V,每分钟记录数据文件大小平均为 2.15 KB。实现拖拉机作业经纬度信息、作业地块的高程、发动机油耗、发动机转速、发动机转矩百分比、后悬挂状态以及发动机总的工作小时数等参数的同步采集、解析和记录^[13]。



图 2 拖拉机 CAN 总线数据解析记录器

Fig. 2 CAN bus data analysis recorder of tractor

3 试验

3.1 试验时间地点

拖拉机田间试验时间为 2015 年 10 月 21 日,试验地点位于黑龙江农垦总局九三分局荣军农场十五连队的第九号地,进行整地作业,地块面积 30 hm²。

3.2 试验仪器及设备

系统试验车型选用 John Deere 7830 型拖拉机,机车编号为:7830RM7830A023925,作业速度 0 ~ 49.89 km/h,额定功率 278 kW,最大扭矩 957 N·m (转速 1 600 r/min),配备 CAN 总线网络、CAN 物理接线口。STAR FIRE 3000 型 GPS 导航设备,拥有 66 个跟踪通道,定位精密为厘米级。使用 John Deere 670 圆盘耙,前后两排缺口耙,共 26 片,作业幅宽 6 m,如图 3 所示。



图 3 拖拉机整地作业

Fig. 3 Tractor ploughing operation

3.3 数据获取

机组采用回耕法进行整地作业。将 CAN 数据解析存储系统通过 CAN 接口与拖拉机链接,实时采集拖拉机的作业数据,包括日期、时间、经度、纬度、高程、发动机油耗、转速、发动机负荷率、后悬挂状态以及发动机工作小时数,如图 4 所示。解析后的数据如表 1 所示。

4 数据分析

通过分析拖拉机作业经纬度信息、扭矩、转速、



图4 数据记录
Fig.4 Data record

表 1 解析数据
Tab.1 Analytical data

序号	时刻	经度/(°)	纬度/(°)	高程/m	油耗/(L·h ⁻¹)	转速/(r·min ⁻¹)	扭矩/%	后悬挂状态/%
1	06:57:36	125.351293E	48.829546N	336.37	11.55	1 048	60	100
2	06:57:37	125.351280E	48.829549N	336.50	16.15	1 083	77	100
3	06:57:38	125.351268E	48.829551N	336.37	29.35	1 474	108	100
4	06:57:39	125.351253E	48.829555N	336.50	21.35	1 471	79	100
5	06:57:40	125.351234E	48.829558N	336.37	28.30	1 253	116	100
6	06:57:41	125.351219E	48.829562N	336.37	33.05	1 417	121	100
7	06:57:42	125.351197E	48.829567N	336.50	35.75	1 563	120	100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11999	11:19:19	125.334993E	48.810368N	332.35	5.55	1 183	34	98
12000	11:19:20	125.334990E	48.810377N	332.35	12.15	995	63	98

油耗变化趋势,得到拖拉机实际作业面积,同时评价操作手的作业能力和机组匹配性。

4.1 实际作业面积分析

由表 1 得到单位时间机组作业的经纬度信息,利用高斯投影坐标正算公式^[14-15],将经纬度转换为大地坐标

$$\begin{cases} x = C + \frac{N}{2}l^2\sin B\cos B + \frac{N}{24}(5 - t^2 + 9\eta^4)l^4\sin B\cos B + \\ \quad \frac{N}{720}N(6 - 58t^2 + t^4)l^6\sin B\cos^5 B \\ y = N\cos B + \frac{1}{6}(1 - t^2 + \eta^2)l^3N\cos^3 B + \\ \quad \frac{1}{120}N(5 - 18t^2 + t^4 - 58t^2\eta^2)l^5\cos^5 B \end{cases}$$

(1)

其中

$$\begin{cases} \eta^2 = e^2 \cos^2 B \\ N = \frac{C}{\sqrt{1 + \eta^2}} \\ t = gB \end{cases}$$

(2)

式中 B ——大地纬度
 l ——中央子午线的经差
 C ——由赤道至纬度 B 的子午线弧长
 e ——第二偏心率
 g ——自由落体加速度
由于高斯投影产生长度变形,因此需要进行分

带。一般分为 3°带和 6°带,应尽量使经纬度转换到分带的对称轴两边,降低形变。由于本文经度数据在 127°左右,因此选用 6°带的第 21 带进行投影,如图 5 所示。

利用 Matlab 软件生成机组作业轨迹,如图 6 所示。



图5 经纬度转换为大地坐标

Fig.5 Conversion of latitude and longitude to geodetic coordinates

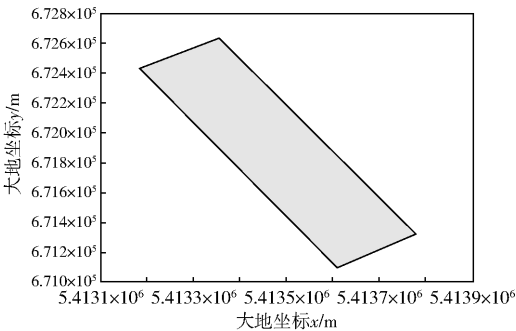


图6 拖拉机作业轨迹

Fig.6 Tractor working track

已知拖拉机的作业幅宽为 M , 则实际作业面积 S 为

$$S = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} M \quad (3)$$

式中 x_i, y_i ——测点大地坐标, m
计算得到作业面积为 18.56 hm²。

4.2 拖拉机发动机负载分析

在拖拉机耕整地作业时, 当外加负荷低于标定扭矩时, 发动机有效功率下降, 油耗上升, 经济性差; 当外加负荷超过发动机标定扭矩, 则发动机超负荷工作, 虽然扭矩增加, 但转速下降过快, 发动机有效功率迅速下降, 使机组生产率下降, 油耗亦增大。陈济勤研究表明耕整地时拖拉机发动机的扭矩比合理范围为 78% ~ 94% [16], 由图 7 可知在此范围内的扭矩比占总扭矩比的 27.01%, 表明发动机负荷率偏低, 燃油经济性差, 操作手作业技术有待改进。根据拖拉机理论, 可以适当提高拖拉机行驶速度, 增加发动机负荷, 提高拖拉机燃油经济性。

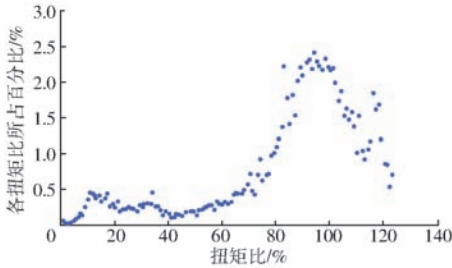


图 7 发动机扭矩比分布图

Fig. 7 Distribution diagram of engine torque ratio

4.3 有效工作时间

通过对比分析扭矩变化、油耗变化和转速变化可知, 当转速低于 1 200 r/min 时, 相应时间段的扭矩和油耗也较低 (扭矩小于 20 N·m, 油耗小于 5 L/h), 变化趋势基本相同, 此时可判定为拖拉机怠速, 机组没有工作。由此可以通过计算怠速时间占整个作业时间的百分比, 得到机组作业有效时间。根据扭矩数据进行计算, 如图 8 所示, 扭矩小于 20 N·m 时的时间为 1.35 h, 因此计算操作人员的实际工作时间为 2.75 h。根据后悬挂升降率的百分比和实地作业情况可知, 后悬挂状态始终处于 98% ~ 100%, 说明圆盘耙没有抬起, 排除机组空行时间。通过实地作业情况可知田间停车主要是由于机组的故障排除, 因此前期的机组检测和维护是提高机组作业效率的有效途径之一。

4.4 耗油量分析

由图 9 拖拉机作业瞬时油耗变化曲线可知, 拖拉机油耗呈周期性波动, 其与发动机机械式供油系、输油泵和回油通路结构为以及作业地面高低变化有关。

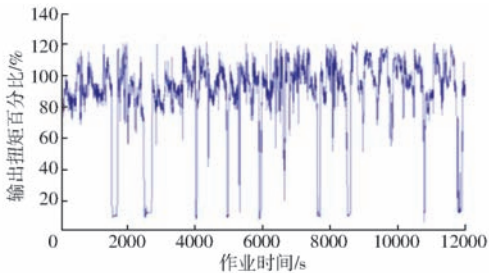


图 8 不同作业时间输出扭矩百分比变化曲线

Fig. 8 Change of output torque percentage in different operation time

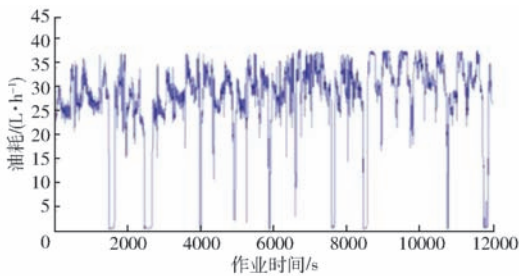


图 9 不同作业时间油耗变化曲线

Fig. 9 Fuel consumption change in different operation time

试验累计总耗油量 X

$$X = \sum_{i=1}^n a_i \quad (4)$$

式中 a_i ——每秒钟的瞬时油耗

计算得到总的耗油量为 93.26 L, 平均油耗 28.27 L/h, 量化了不同操作手作业情况下的瞬时油耗变化, 准确评价操作手耕地作业燃油消耗量。

4.5 机组匹配性分析

在负荷不变的条件下, 利用全自动无级换挡变速箱特点, 发动机采用最大油门位置达到最高转速规范, 使发动机接近满负荷工作, 更有利于提高机组生产率。John Deere 7830 型拖拉机标定满负荷转速为 1 600 r/min, 在最大油门位置输出功率一定, 且作业幅宽和行走速度无影响的前提下, 拖拉机发动机转速为 1 700 r/min 左右, 高于标定转速 1 600 r/min, 如图 10 所示, 输出扭矩较小。表明此拖拉机匹配 John Deere 670 圆盘耙进行整地作业时, 动力满足机组作业要求, 机组匹配性良好。

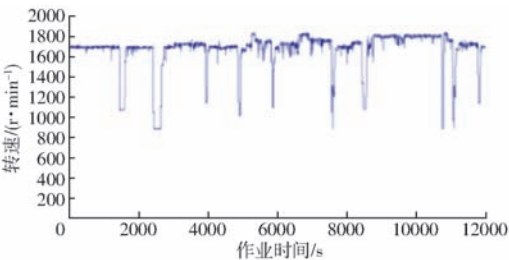


图 10 不同作业时间转速变化曲线

Fig. 10 Speed change in different operation time

5 讨论

整地作业的效率与操作手的技术水平及机组工作可靠性有关。而机组的匹配性和拖拉机的动力,与相匹配农具的作业要求和性能相关。通过本研究可以评价操作手的作业效率和驾驶技术,从而提高作业效率和质量。本研究基于 CAN 总线技术,采集数据相对准确,但由于 CAN 数据解析方面的研究还存在许多壁垒,解析的数据类型还是不够全面,比如机器作业速度、挡位的变化及土壤情况,利用这些数据可以分析不同土壤情况下,速度、挡位、转速和扭矩间的关系,评价不同类型拖拉机的作业性能和效率,研究不同作业条件下的拖拉机匹配性等问题。

6 结论

(1) 基于拖拉机 CAN 总线实时数据,利用高斯

投影算法将 GPS 接收机采集经纬度转换成平面坐标能够更加精确地计算出有效作业面积,有效作业面积为 18.56 hm^2 。

(2) 根据耕整地时拖拉机发动机的扭矩比合理范围,分析得到拖拉机扭矩比合理范围占总输出扭矩的 27.01%,表明发动机负荷率偏低,燃油经济性差。拖拉机作业实际转速为 1700 r/min ,超过发动机满负荷额定转速 1600 r/min ,拖拉机动力能够满足相匹配机具的正常工作要求。发动机怠速时转速、扭矩和油耗变化的规律无明显差异,有效的作业时间 2.75 h ,作业效率 79.25%。

(3) 拖拉机 CAN 总线技术可量化实时数据,得到每秒钟的转速、油耗、扭矩等数据,直观地反映出作业的信息,可用于指导实际农业生产以及相应的研究。

参 考 文 献

- 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)
- 毛鹏军, 高文杰, 李水良, 等. 大马力拖拉机发展现状研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2011, 49(7): 1–3.
- XIA J, ZHANG C, BAI R, et al. Real-time and reliability analysis of time-triggered CAN-bus[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26(1): 171–178.
- KICHLER C M, FULTON J P, RAPER R L, et al. Spatially monitoring tractor performance to evaluate energy requirements of variable depth tillage and implement selection[C]//2007 ASABE Annual International Meeting, ASABE Paper 071028, 2007.
- 王光明, 朱思洪. 拖拉机液压机械无级变速箱效率特性的仿真与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 42–48.
WANG Guangming, ZHU Sihong. Simulation and experiment on efficiency characteristics of hydraulic mechanical continuously variable transmission for tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15): 42–48. (in Chinese)
- 鲁植雄, 钟文军. 基于拖拉机作业轨迹的农田面积测量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 169–176.
LU Zhixiong, ZHONG Wenjun. Measurement of field area based on tractor operation trajectory[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(19): 169–176. (in Chinese)
- 吴媿, 刘鹏飞, 张小龙. 拖拉机经济性虚拟综合测试系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 117–123.
WU Ti, LIU Pengfei, ZHANG Xiaolong. Design and field test of integrated virtual test system for tractor economy performance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 117–123. (in Chinese)
- 孔德刚, 张帅. 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. 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)
- 王光明, 张晓辉, 朱思洪, 等. 拖拉机液压机械无级变速器加速换段过程动力学仿真[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 30–39.
WANG Guangming, ZHANG Xiaohui, ZHU Sihong, et al. Dynamic simulation on shift process of tractor hydraulic power split continuously variable transmission during acceleration[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(9): 30–39. (in Chinese)
- 伊力达尔·伊利亚斯, 朱思洪, 徐刚, 等. 拖拉机前桥悬架参数匹配及其对振动特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 29–36.
YILIDAER·Yiliyasi, ZHU Sihong, XU Gang, et al. Front axle suspension parameters match and its impact on vibration characteristics of tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(10): 29–36. (in Chinese)
- 李俐, 谢显中. 基于 CAN 总线的行车记录仪设计[J]. 计算机工程与设计, 2009(22): 5120–5123.
- 马培锋. CAN 总线电能质量监测系统通信的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
MA Peifeng. Research on communication of power quality monitoring system of CAN bus[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese)
- 刘传茂. 基于 CAN 总线的拖拉机作业数据解析[J]. 农机化研究, 2015, 10(10): 254–256.
- 张小龙, 盛丹丹, 夏萍. 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. 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)
- 张林林, 陈树人. 基于 ARM7 和 GPS 的农田作业面积测量系统开发[J]. 农业工程学报, 2009, 25(13): 83–86.
ZHANG Linlin, CHEN Shuren. Development of operating field area measurement system based on ARM7 and GPS[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(13): 83–86. (in Chinese)
- 陈济勤. 农业机器运用管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 9–44.