

拖拉机功率与深松作业效率关系研究

王 培^{1,2} 孟志军¹ 安晓飞^{1,2} 陈竞平¹ 李立伟¹

(1. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 为了研究农机实际作业过程中的农机功率与深松作业效率之间的关系,以山东省深松作业为研究对象,选取323台福田雷沃重工生产、功率范围为52.20~197.61 kW、装载农机深松作业远程监测终端的拖拉机,采集2015年4月到2017年4月之间深松作业运行轨迹数据37 981条,计算深松作业面积、作业时间和效率。将数据集按照无放回抽样方法分为建模集(80%)和验证集(20%),通过线性回归分析,建立了基于拖拉机功率的深松作业效率模型,拖拉机功率与深松作业效率有明显的线性关系,其 R^2 达到0.914 7,均方根误差为0.168 4 hm^2/h ,模型验证结果均方根误差为0.339 6 hm^2/h 。拖拉机作业效率模型可为拖拉机服务组织在拖拉机作业时间窗口条件下进行拖拉机作业的合理调度与分配提供科学依据。

关键词: 拖拉机; 农机功率; 深松作业; 作业效率

中图分类号: S126; F323.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0087-04

Relationship between Agricultural Machinery Power and
Agricultural Machinery Subsoiling Operation

WANG Pei^{1,2} MENG Zhijun¹ AN Xiaofei^{1,2} CHEN Jingping¹ LI Liwei¹

(1. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: With the development of informatization, China has promoted “Internet + agricultural machinery operation”, which accelerated the promotion of agricultural machinery operation monitoring and the agricultural machinery monitoring & scheduling platform, and improved the quality and efficiency of agricultural machinery operation. Massive data of agricultural machinery operation was accumulated at the same time. In order to research on the relationship between the power of agricultural machinery and agricultural machinery in the process of subsoiling efficiency, the subsoiling operation data in Shandong Province was taken as the research object. In the research, totally 323 tractors installed subsoiling agricultural machinery remote intelligent monitoring terminal were selected as analysis samples (produced by Foton Lovol Corporation). The experiment data included 37 981 sets about the operation area, duration of the operation and efficiency of agricultural machinery operation from April 2015 to April 2017. The agricultural machinery power range was from 52.20 kW to 197.61 kW. All the experiment data were divided into two parts: calibration set (80%) and validation set (20%) by sampling without replacement method. The agricultural machinery subsoiling efficiency model was established based on agricultural machinery power. The correlation coefficient between agricultural machinery power and subsoiling operation efficiency was 0.914 7, and RMSE was 0.168 4 hm^2/h . The RMSE of validation set was 0.339 6 hm^2/h . The agricultural machinery subsoiling efficiency model provided a new method for agricultural machinery service organization to allocate agricultural machinery and assign tasks reasonably.

Key words: tractors; agricultural machinery power; subsoiling operation; operation efficiency

收稿日期: 2019-04-20 修回日期: 2019-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700300-2016YFD0700303、2017YFD0700604)

作者简介: 王培(1983—),男,高级工程师,主要从事农业大数据与人工智能研究,E-mail: wangp@nrcita.org.cn

通信作者: 安晓飞(1986—),男,副研究员,主要从事农机智能装备研究,E-mail: anxf@nrcita.org.cn

0 引言

目前,国外应用的很多大型农业机械已安装了远程实时监控系统,系统的车载终端通过无线通信网络向监控管理中心服务器实时传输农机作业位置、工作状态、工况等信息,对农机作业进行全方位的监控与管理。随着“互联网+”信息化农业的快速发展,国内逐渐开始了农机监控调度平台(Agricultural machinery monitoring & scheduling platform, AMMSP)的研究,运用物联网信息化技术进行农机作业远程监控与调度,提高了农机作业质量和农机装备的智能化水平^[1-2]。从2010年起,我国开始推广深松整地技术,2015年开始尝试利用信息化手段对深松作业的面积和质量进行自动监控,各地建立农机深松作业远程监测系统^[3],综合传感器技术、计算机测控技术、卫星定位技术和无线通讯技术,实现了深松作业质量和作业面积的准确监测,为深松作业补助提供量化依据^[4]。

目前,农机信息化技术装备已经能够实现作业的定位追踪和面积计量^[5],较好地满足了农场和农机服务组织对所属农机实施作业实时监管的应用需求^[6-16,18-20],对农机作业的面积和质量进行一定的监管,并开始对农机空间运行产生的实际数据进行分析,研究农机作业状态^[6-7]、农机作业效率^[8]、田间作业路径规划^[9-13]。农机作为田间作业的主体,对作业效率有直接影响,但是现有农机动力研究仅着眼于农机总动力需求预测、农机总动力影响因素及农机动力对粮食产量的影响等宏观尺度^[14],也注意到农机动力与农机具的不匹配会导致作业效率降低等问题^[15],但并未对作业效率作进一步的研究,对农机动力和农机田间作业效率关系的研究较少。本文针对实际农机深松作业,通过研究拖拉机功率与作业效率的关系,建立基于拖拉机功率的深松作业效率模型,以期为农机服务组织农机作业任务分配、作业质量评价提供理论支持。

1 农机智能监测终端及数据获取

1.1 远程监测装置

北京农业智能装备技术研究中心设计了农机作业监控服务平台,截至2018年12月,累计推广了农机智能监测终端3万多套,用于监控农机深松作业的面积和质量等。

农机智能监测终端主要包括全球导航卫星系统(Global navigation satellite system, GNSS)模块、作业状态传感器模块和无线传输模块,如图1所示。其中GNSS模块定位精度2.5 m,测速精度0.1 m/s,采

集农机作业的空间运行轨迹数据,包括GNSS时间、经纬度、海拔、速度、方向角等信息;作业状态传感器模块采用姿态传感器确定作业状态和作业深度等作业信息;无线传输模块将采集的空间运行轨迹信息和作业信息无线传输至服务器^[4,16]。



图1 农机智能监测终端

Fig. 1 Intelligent monitoring terminal of agricultural machinery

1. 监测主机(包含无线传输模块) 2. GNSS 3. 摄像头 4. 作业状态传感器 5. 机具识别传感器

1.2 深松作业数据获取

为了分析拖拉机功率与作业效率之间的关系,选择山东省为试验地点,该地区位于华北平原,是我国主要的农业生产区之一,属于暖温带半湿润季风气候区,气候温和,四季分明;该地区粮食作物一般实行一年两熟制,其中冬小麦、夏玉米轮作是主要的轮作方式^[17]。

选取该区域323台安装有北京农业智能装备技术研究中心设计的农机智能车载终端的拖拉机,作为试验对象。为了减少品牌之间的差异性,全部选择为福田雷沃重工的拖拉机,对其深松作业的数据进行分析。拖拉机功率及作业数据如表1所示,拖拉机功率范围为52.20~197.61 kW,基本覆盖了我国深松作业农机的动力范围;功率范围集中在74.57~100.67 kW;深松机具作业幅宽范围为1.8~4 m。数据选择从2015年4月到2017年4月的深松

表1 拖拉机功率和作业数据

Tab. 1 Distribution of tractor power

序号	拖拉机功率/kW	数量/台	作业数据量/条
1	52.20	3	673
2	59.66	16	1 519
3	67.11	15	1 908
4	74.57	35	4 777
5	82.03	12	2 393
6	89.48	21	1 780
7	96.94	128	16 247
8	100.67	56	6 405
9	123.04	13	1 123
10	164.05	12	573
11	197.61	12	583

作业数据,主要集中在秋季深松作业,每台拖拉机每天产生1条作业数据,该区域农机深松作业深度不低于25 cm 视为作业合格。

2 结果讨论与分析

2.1 数据预处理

农机装载的智能终端包括 GNSS 模块和作业状态传感器模块,GNSS 传感器采集协调世界时(Universal time coordinated,UTC)、经纬度、海拔、方向角和速度,作业状态传感器利用组合角度传感器判定作业状态。通过无线模块传输至服务器,服务器对数据进行存储、清洗和运算。

数据处理流程包括数据清洗、数据存储和数据运算,整个流程如图2所示。数据清洗主要对作业数据进行完整性检查,去除数据重复、深度属性缺失、轨迹数据缺失、轨迹静态漂移等异常值;清洗完的结构化数据存储到关系型数据库;服务器每天定时对数据库中的数据进行运算,每台拖拉机每天作业产出1条数据记录,包括拖拉机编号、功率、作业面积、作业时间和作业效率等信息,共计数据37 981条,数据分成训练数据集(30 384条)和验证数据集(7 597条)。作业面积和作业效率计算公式为

$$A = WL \tag{1}$$

$$E = A/t \tag{2}$$

式中 W ——深松机具作业幅宽
 L ——作业距离
 A ——作业面积
 t ——作业时间

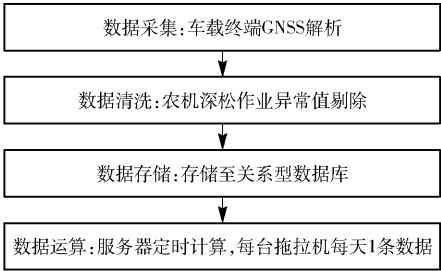


图2 拖拉机作业数据预处理流程图

Fig. 2 Operation flow chart of data processing

表2是拖拉机作业数据统计信息,建模集功率、作业面积、作业时间平均值分别为97.8 kW、0.97 hm²、

表2 拖拉机作业数据统计

Tab.2 Statistics of tractor operation data

参数	建模集(80%)			验证集(20%)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
功率/kW	52.2	197.6	97.8	52.2	164.1	96.4
作业面积/hm ²	0.13	20.33	0.97	0.13	19.23	0.91
作业时间/h	0.1	14.5	1.7	0.1	12.5	2.1

1.7 h;验证集功率、作业面积、作业时间平均值分别为96.4 kW、0.91 hm²、2.1 h。

2.2 基于拖拉机功率的农机深松作业效率模型

选择训练数据集,统计每种功率的平均深松作业效率,代表该功率条件下的农机深松的作业效率,如表3所示。

表3 拖拉机功率与作业效率分析

Tab.3 Analysis of tractor power and operation efficiency

功率/ kW	作业效率/ (hm ² ·h ⁻¹)	预测效率/ (hm ² ·h ⁻¹)	残差/ (hm ² ·h ⁻¹)	标准残差/ (hm ² ·h ⁻¹)
52.20	0.886 4	0.839 6	0.046 8	0.277 8
59.66	1.042 3	0.931 1	0.111 2	0.660 1
67.11	0.954 0	1.022 6	-0.068 6	-0.407 2
74.57	0.851 9	1.114 0	-0.262 1	-1.555 6
82.03	0.932 6	1.205 5	-0.272 9	-1.620 1
89.48	1.546 8	1.297 0	0.249 8	1.482 6
96.94	1.472 5	1.388 4	0.084 1	0.498 9
100.67	1.431 5	1.434 2	-0.002 7	-0.016 2
123.04	1.919 0	1.708 6	0.210 4	1.248 6
164.05	2.202 9	2.211 7	-0.008 7	-0.051 8
197.61	2.536 1	2.623 3	-0.087 1	0.277 8

对拖拉机功率和作业效率进行回归分析,结果如图3所示。

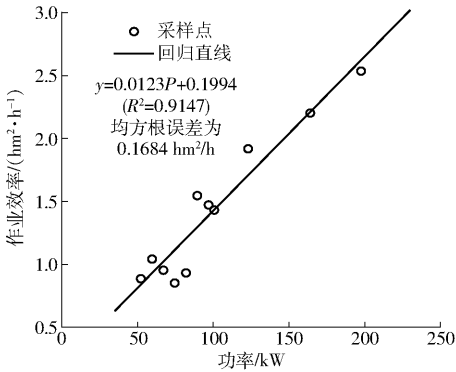


图3 拖拉机功率与作业效率回归分析

Fig.3 Regression analysis between tractor power and operation efficiency

由图3可知,拖拉机功率与作业效率呈明显的线性关系,农机深松作业效率随着功率增加呈线性增长。模型 F 检验值96.55,通过了 F 检验。模型 t 检验值远小于0.05,说明模型整体显著。模型 R^2 为0.9147,均方根误差为0.1684 hm²/h。

选择验证集,将数据输入模型进行精度评价,比较模型计算值和实际作业值,平均误差为0.2001 hm²/h,均方根误差为0.3396 hm²/h,总体来看模型能够较好地反映拖拉机功率与深松作业效率之间的关系。

3 结束语

针对深松作业,建立了基于拖拉机功率的深松作业效率模型,两者之间呈显著的线性关系,深松作业效率随拖拉机功率增加呈线性增长,其 R^2 达到

0.914 7,均方根误差为 $0.168\ 4\ \text{hm}^2/\text{h}$,验证集均方根误差为 $0.339\ 6\ \text{hm}^2/\text{h}$ 。农机服务组织在进行深松作业规划时,在农机作业时间窗口条件下,可根据深松作业总量,依据拖拉机功率与深松作业效率模型,合理规划农机动力与数量,进行农机作业的调度与分配。

参 考 文 献

- [1] WANG Z, CHEN L, LIU Y. Design and implementation of agricultural machinery monitoring and scheduling system[J]. Computer Engineering, 2010, 36(11): 232–234, 237.
- [2] 史国滨,王熙. 基于 ASP.NET 的农机监控 WebGIS 系统性能优化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 2821–2823.
SHI Guobin, WANG Xi. Optimization of performance of agricultural machinery monitoring WebGIS system based on ASP.NET [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(5): 2821–2823. (in Chinese)
- [3] 刘阳春,苑严伟,张俊宁,等. 深松作业远程管理系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 43–48.
LIU Yangchun, YUAN Yanwei, ZHANG Junning, et al. Design and experiment of remote management system for subsoiler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 43–48. (in Chinese)
- [4] 孟志军,尹彦鑫,罗长海,等. 农机深松作业远程监测系统设计与实现[J]. 农业工程技术, 2018, 38(18): 34–37.
- [5] 刘卉,孟志军,王培,等. 基于农机空间轨迹的作业面积的缓冲区算法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 180–184.
LIU Hui, MENG Zhijun, WANG Pei, et al. Buffer algorithms for operation area measurement based on global navigation satellite system trajectories of agricultural machinery[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 180–184. (in Chinese)
- [6] 王培,孟志军,尹彦鑫,等. 基于农机空间运行轨迹的作业状态自动识别试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 56–61.
WANG Pei, MENG Zhijun, YIN Yanxin, et al. Automatic recognition algorithm of field operation status based on spatial track of agricultural machinery and corresponding experiment [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 56–61. (in Chinese)
- [7] CAI Y, WU C, LUO M, et al. Automatic recognition method of operation status for agricultural machinery based on GNSS data mining[C]//China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2012 Proceedings, 2012: 135–145.
- [8] HUANG P, LUO X, ZHANG Z. Headland turning control method simulation of autonomous agricultural machine based on improved pure pursuit model[C]//IFIP International Federation for Information Processing 2010, 2010: 176–184.
- [9] ZHOU K, LECK J A, SØRENSEN C G, et al. Agricultural operations planning in fields with multiple obstacle areas[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 109: 12–22.
- [10] HAMEED I A, BOCHTIS D D, SØRENSEN C G, et al. Automated generation of guidance lines for operational field planning [J]. Biosystems Engineering, 2010, 107(4): 294–306.
- [11] PALMER R J, WILD D, RUNTZ K. Improving the efficiency of field operations[J]. Biosystems Engineering, 2003, 84(3): 283–288.
- [12] BOCHTIS D D, VOUGIOUKAS S G. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern[J]. Biosystems Engineering, 2008, 101(1): 1–12.
- [13] BOCHTIS D D, SØRENSEN C G. The vehicle routing problem in field logistics part I[J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(4): 447–457.
- [14] 张燕,徐华君. 中国农业机械动力空间格局分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(11): 12–16.
- [15] 袁伟. 上海崇明地区农机动力与农机具配套发展策略[J]. 南方农机, 2016, 47(5): 23–28.
- [16] 尹彦鑫,王成,孟志军,等. 悬挂式深松机耕整地耕深检测方法研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 68–74.
YIN Yanxin, WANG Cheng, MENG Zhijun, et al. Operation quality measurement method for tilling depth of suspended subsoiler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 68–74. (in Chinese)
- [17] 李健敏,赵庚星,李涛,等. 山东省小麦施肥特征与评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(12): 2322–2335.
- [18] 王玲,王新,刘健,等. 基于虚拟仪器的柔性化农机机群远程监测系统研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 34–39.
WANG Ling, WANG Xin, LIU Jian, et al. Research on flexible remote monitoring system of agricultural machinery based on virtual instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 34–39. (in Chinese)
- [19] 吴才聪,蔡亚平,罗梦佳,等. 基于时间窗的农机资源时空调度模型[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 237–241, 231.
WU Caicong, CAI Yaping, LUO Mengjia, et al. Time-windows based temporal and spatial scheduling model for agricultural machinery resources[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 237–241, 231. (in Chinese)
- [20] 赵世卿,吴永峰,李光林,等. 丘陵山区农机深松作业深度和面积远程监测系统[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(12): 22–29.
ZHAO Shiqing, WU Yongfeng, LI Guanglin, et al. A remote monitoring system for depth and area of agricultural machinery subsoiling in hilly regions [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 40(12): 22–29. (in Chinese)