

引用本文格式 王扬光, 韩晓荣, 王庆厚, 等. 基于 OECD 规则试验报告的轮式拖拉机牵引性能研究[J]. 农业工程, 2024, 14(2): 81-85. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.02.013. WANG Yangguang, HAN Xiaorong, WANG Qinghou, et al. Tractive performance of wheeled tractor based on OECD code test reports[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(2): 81-85.

基于 OECD 规则试验报告的轮式拖拉机牵引性能研究

王扬光¹, 韩晓荣², 王庆厚¹, 刘德普¹

(1. 农业农村部农业机械化总站, 北京 100122; 2. 山东潍坊鲁中拖拉机有限公司, 山东 潍坊 261021)

摘要: 拖拉机是农机工业的核心, 牵引性能是拖拉机的重要性能之一。对 OECD 规则试验报告牵引性能研究分析表明, 四轮驱动、无配重状态下, 85.1%的拖拉机最大牵引力比值 >400 N/kW、86.5%的拖拉机最大牵引功率百分比 $>75%$ 、最大牵引比油耗平均值 274.59 g/(kW·h)。重型拖拉机牵引性能优于大型拖拉机, 也优于中型拖拉机。94.6%的拖拉机最小使用比质量 >44 kg/kW、最小使用比质量 $50\sim 55$ kg/kW 是发挥拖拉机牵引性能最优区间。不同换挡方式影响拖拉机牵引性能, 无级变速传动拖拉机最大牵引力比值更大, 动力换挡传动拖拉机最大牵引比油耗更低, 二者牵引性能均优于机械传动式拖拉机。

关键词: 轮式拖拉机; 牵引性能; 牵引功率; 动力换挡; OECD 规则

中图分类号: S219 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2024)02-0081-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.02.013

Tractive Performance of Wheeled Tractor Based on OECD Code Test Reports

WANG Yangguang¹, HAN Xiaorong², WANG Qinghou¹, LIU Depu¹

(1. Chinese Agricultural Mechanization Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100122, China;

2. Shandong Weifang Luzhong Tractor Co., Ltd., Weifang Shandong 261021, China)

Abstract: Tractor is core of agricultural machinery industry, and tractive performance is one of important performance of tractor. Through research on tractive performance of OECD code test reports, it was shown that, under four-wheel drive and no counterweight conditions, 85.1% of tractors have a maximum traction ratio greater than 400 N/kW, 86.5% of tractors have a maximum traction power percentage greater than 75%, and average maximum traction ratio fuel consumption was 274.59 g/(kW·h). Heavy tractors have better traction performance than large tractors and also better than medium-sized tractors. 94.6% of tractors have a minimum usage specific mass greater than 44 kg/kW, and a minimum usage specific mass of 50 kg/kW to 55 kg/kW was optimal range for maximizing tractor traction performance. Different gear shifting methods affected traction performance of tractors. The maximum traction ratio of continuously variable transmission tractors was greater, and the maximum traction ratio fuel consumption of power shift transmission tractors was lower. Both traction performance was better than mechanical transmission tractors.

Keywords: wheeled tractor, tractive performance, drawbar power, power shift transmission, OECD code

0 引言

“十四五”时期, “三农”工作重心转向全面推进乡村振兴、加快农业农村现代化新阶段, 对农机的需求, 正由部分品种生产的局部需求, 转变为种养加全链条的需求, 从非刚性需求转变为离不开、还要好的刚性需求^[1]。拖拉机作为农业机械化生产最主要动力机械, 在犁耕、深松、旋耕、播种和田间管理等工作过程中扮演着非常重要角色, 其技术水平在很大程

度上体现一个国家的农业现代化程度和农业机械化水平^[2-3]。

牵引性能是指在规定条件下拖拉机所发挥的牵引工作能力及其效率, 它是拖拉机的重要性能之一, 直接关系到拖拉机的动力性和经济性, 影响作业质量和作业效果^[4]。装配相同功率的发动机时, 具有大的牵引力和牵引功率的拖拉机作业时会更加轻便省力^[5]。拖拉机牵引性能通常通过牵引功率试验来评价, 本研究通过分析 OECD 拖拉机试验规则(以下简称 OECD

收稿日期: 2023-06-30 修回日期: 2023-10-28

作者简介: 王扬光, 硕士, 高级工程师, 主要从事农机试验鉴定和技术推广工作
E-mail: wygcau@163.com

在线投稿
www.d1ae.com

规则)下检验报告中牵引功率相关数据,研究拖拉机牵引性能特点,为我国轮式拖拉机研发、设计、生产和推广应用提供参考[6]。

1 OECD 规则及试验方法

1.1 OECD 规则

OECD 规则是经济合作与发展组织 (Organization for Economic Co-operation and Development) 属下的拖拉机官方试验标准规则组织制订的用于拖拉机试验的一系列标准,是国际上最先进、应用最为广泛的拖拉机试验规则,对推动不同国家拖拉机试验方法和试验结果互认,促进拖拉机国际贸易发挥重大作用[7-8]。目前,OECD 拖拉机官方试验标准规则组织共发布 OECD 规则 10 个,其中 OECD 规则 2《农业和林业拖拉机性能试验》规定了轮式和履带式拖拉机整机动力输出轴、液压提升、牵引功率等试验的试验要求、程序和试验报告格式等内容[9]。

1.2 牵引功率试验方法

OECD 规则 2 规定:拖拉机为无配重状态(带配重试验为选做试验),在清洁、水平、干燥和接缝尽可能少的混泥土路面或沥青路面上进行,轮胎的胎纹高度至少为全新轮胎的 65%,环境温度 $\leq 35^{\circ}\text{C}$,大气压力 $\geq 96.6\text{ kPa}$,牵引杆的高度应使拖拉机发出最大牵引功率时不失去对拖拉机方向的控制,并且高度保持固定不变。试验要至少在比拖拉机能发出最大牵引功率的挡位高一个挡位到比能发挥最大牵引力的挡位低一个挡位之间的各挡位进行,记录拖拉机各挡位的最大牵引功率、牵引力、行驶速度、滑转率、牵引比油耗及环境条件等数据。整个试验过程中,调速器应置最大功率位置,轮式拖拉机轮胎平均滑转率 $\leq 15\%$ 。对于无级变速轮式拖拉机,则在 2.5~17.5 km/h 速度范围内选取至少 7 个速度大小间隔均匀的前进速度(传动比)进行试验。

2 试验数据来源及处理

2.1 试验数据来源

查阅了近年依据 OECD 规则 2 批准的动力输出轴功率 47.04 kW 以上、安装安全驾驶室的四轮驱动轮式拖拉机试验报告(以下简称试验报告),共计 74 份。从试验报告中提取拖拉机动力输出轴标定功率、无配重状态下最大牵引力、最大牵引功率和最大牵引功率下牵引比油耗等试验数据和试验拖拉机换挡方式、无配重质量(最小使用质量)、发动机标定功率等技术规格参数[10]。

2.2 试验数据处理

试验报告中,发动机标定功率有 31 份,动力输出

轴标定功率与发动机标定功率百分比均值 86%。动力输出轴标定功率是在发动机标定转速时拖拉机动力输出轴对外输出的最大功率。动力输出轴试验是将拖拉机通过动力输出轴与测功机相连,在发动机充分预热达到稳定工作状态、发动机标定转速下,进行的 2 h 试验。试验环境和工况可控性高,检测结果与发动机标定功率相关性强,因此以 86% 为系数,推算出没有明示发动机标定功率的发动机标定功率,结果保留 2 位小数[11-12]。

2.3 试验数据描述性分析

试验数据统计情况如表 1 所示,试验拖拉机技术规格方面,最小使用质量最大值 24 514.00 kg、最小值 2 595.00 kg,最大值是最小值的 9.4 倍;发动机功率范围从 60~414 kW,覆盖范围大。受技术规格影响,试验拖拉机牵引性能输出也存在较大差异,动力输出轴标定功率、最大牵引力、最大牵引功率最大值分别是最小值的 7.0、9.1 和 9.6 倍。最大牵引功率工况下牵引比油耗均值 274.59 g/(kW·h)。试验拖拉机中动力换挡拖拉机 31 台,无级变速拖拉机 27 台,合计占比达到 78.4%。

表 1 OECD 规则试验数据统计
Tab. 1 Statistics of OECD code test data

项目名称	最大值	最小值	平均值	标准差
最小使用质量/kg	24 514.00	2 595.00	7 428.28	4 251.95
发动机标定功率/kW	413.93	60.09	135.69	81.96
动力输出轴标定功率/kW	360.32	51.80	118.07	80.29
最大牵引力/kN	242.69	26.53	70.62	44.12
最大牵引功率/kW	410.31	42.80	111.82	78.57
牵引比油耗/ [g·(kW·h) ⁻¹]	350.00	233.00	274.59	28.47

3 牵引性能分析

3.1 不同标定功率下牵引性能

拖拉机上所有能量的本质来源是发动机的工作,因此以发动机标定功率为基准,研究每单位标定功率下最大牵引力(最大牵引力比值)、每单位标定功率下最大牵引功率(最大牵引功率百分比)和最大牵引功率比油耗情况[13]。

不同标定功率试验拖拉机最大牵引力比值、最大牵引功率百分比和牵引比油耗如图 1 和图 2 所示。由图 1 和图 2 可知,试验拖拉机最大牵引力比值最小值 373.92 N/kW,63 个试验拖拉机最大牵引力比值 $>400\text{ N/kW}$,占比 85.1%。64 个试验拖拉机最大牵引功率百分比 $>75\%$,占比 86.5%,其中最大牵引功率百分比在 79%~84% 之间的试验拖拉机数量 37 个,占比达到 50%。在拖拉机标定功率 $>140\text{ kW}$ 后,牵引比油耗趋于

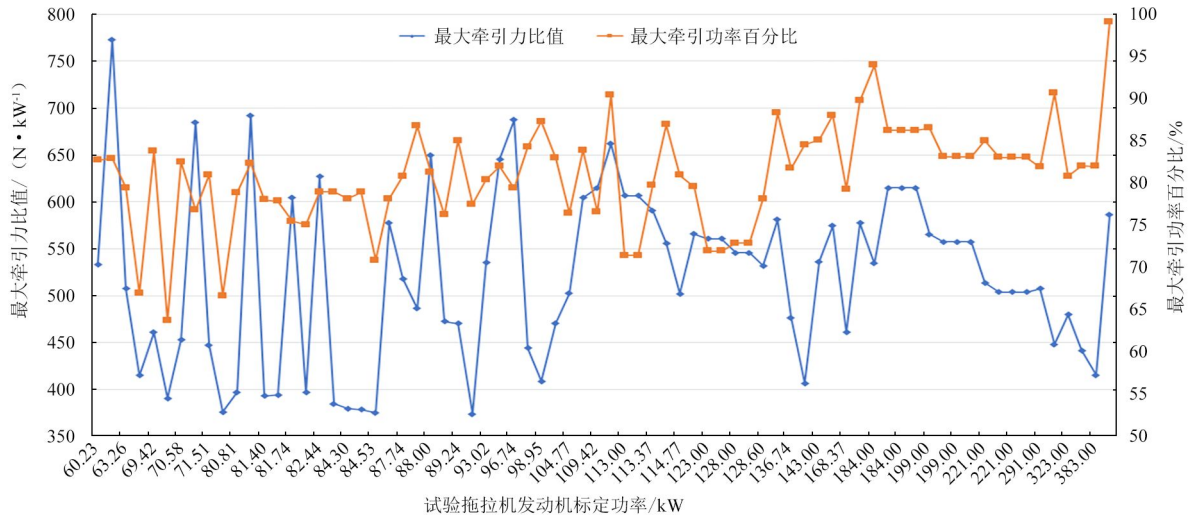


图 1 不同标定功率下最大牵引力比值、最大牵引功率百分比

Fig. 1 Maximum drawbar pull ratio and maximum drawbar power percentage with rated power

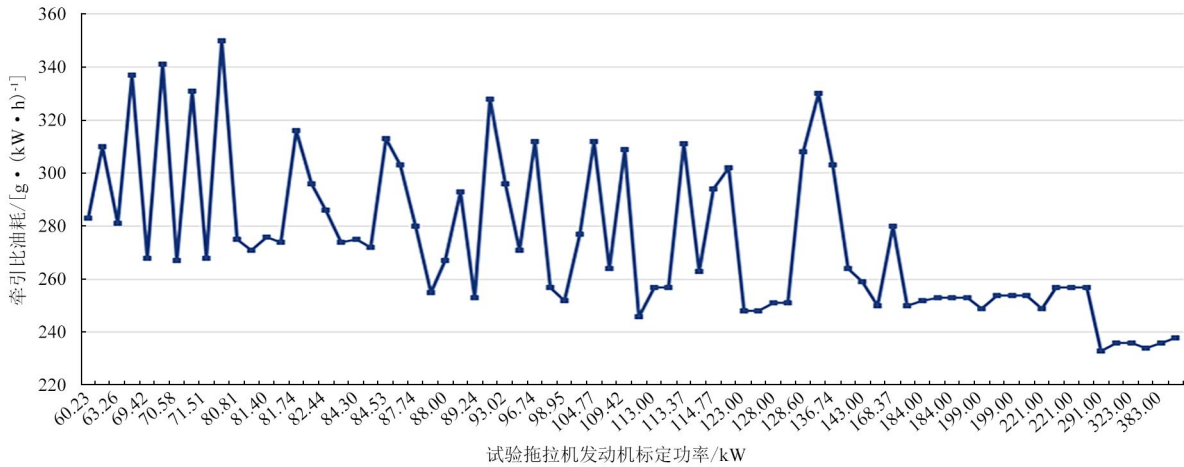


图 2 不同标定功率下牵引比油耗

Fig. 2 Specific fuel consumption with rated power

平稳，稳定在 250 g/(kW·h)；拖拉机标定功率 >220 kW 时，牵引比油耗下降至 235 g/(kW·h)。除个别点外，拖拉机标定功率 >110 kW 时，随着标定功率增大，试验拖拉机最大牵引力比值、最牵引功率百分比、牵引比油耗趋于平稳，当标定功率 >180 kW 时，最大牵引力比值、最牵引功率百分比、牵引比油耗集中趋势更加明显，并且最大牵引力比值有下降趋势。

按照拖拉机功率分类方法，将试验拖拉机分为中型、大型和重型 3 类，得到试验拖拉机牵引性能如表 2 所示^[14]。由表 2 可知，重型拖拉机各项牵引性能

指标均优于大型拖拉机；大型拖拉机与中型拖拉机相比，虽然最大牵引力比值均值比中型拖拉机小 0.25%，但是最大牵引功率百分比均值较中型拖拉机提高 2.17%，牵引比油耗均值较中型拖拉机降低 5.81%，因此大型拖拉机综合牵引性能优于中型拖拉机。

3.2 不同使用比质量下牵引性能

拖拉机使用质量直接影响拖拉机附着力，进而影响拖拉机牵引性能^[15-16]。不同标定功率拖拉机的最小使用比质量如图 3 所示，试验拖拉机最小使用比质量平均值 56.19 kg/kW、最小值 37.64 kg/kW，70 个试验拖拉机的最小使用比质量均 >44 kg/kW，占比 94.6%；

表 2 不同功率类型试验拖拉机牵引性能

Tab. 2 Tractive performance for different powers of tested tractors

拖拉机类型	功率 K/kW	最大牵引力比值均值/(N·kW ⁻¹)	最大牵引功率百分比均值/%	牵引比油耗均值/[g·(kW·h) ⁻¹]
中型	K<73.5	518.39	77.76	298.44
大型	73.5≤K<147.0	517.13	79.45	281.09
重型	K≥147.0	527.96	85.42	249.25

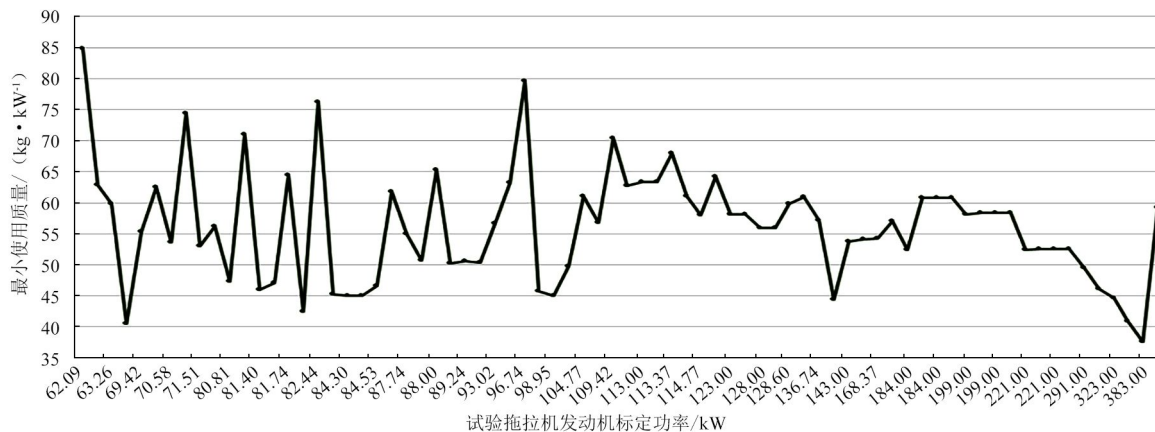


图3 不同标定功率下最小使用比质量

Fig. 3 Specific minimum operation mass with rated power

拖拉机标定功率 >110 kW, 最小使用比质量波动收窄。综合牵引性能随功率变化情况可以得出, 随着拖拉机标定功率增加, 拖拉机设计生产更加科学合理, 拖拉机综合性能更好。

将最小使用比质量聚类划分后, 牵引性能如表3所示。由表3可知, 最大牵引力比值均值、牵引比油耗均值随着最小使用比质量增大而增大, 最大牵引功率百分比均值先增大后减小。其中, 牵引比油耗均值在最小使用比质量 ≥ 60 kg/kW时增大幅度较高。经征求行业多位专家意见, 最大牵引力比值、最大牵引功率比值和牵引比油耗比值指标权重依次确定为0.3、0.4、0.3。将不同最小使用比质量下的牵引性能指标归一化后, 得到相应的得分。从得分可以看出, 50~55 kg/kW是发挥最优牵引性能的最小使用比质量区间, 其次可以选择55~60 kg/kW。

3.3 不同换挡方式下牵引性能

传动系由机械换挡向动力换挡、无级变速转变是

实现农机自动控制, 发展智慧农业、无人农场的基础关键技术^[17]。

不同换挡方式试验拖拉机牵引性能如表4所示。从统计数据来看, 机械换挡传动应用于中、大型拖拉机, 动力换挡传动应用于大、重型拖拉机, 无级变速传动应用于更大功率拖拉机。无级变速传动拖拉机与动力换挡传动拖拉机相比, 最大牵引力比值均值提高6.3%, 牵引比油耗均值增加3.4%, 最大牵引功率百分比均值基本无差异, 因此动力换挡和无级变速传动拖拉机牵引性能各有优势, 动力换挡传动拖拉机有较低的燃油消耗量(即较好经济性), 无级变速传动拖拉机有很强的动力性(即大负荷通过性)。动力换挡、无级变速传动拖拉机与机械式传动拖拉机相比, 最大牵引力比值均值、最大牵引功率百分比均值分别提高15.5%、22.9%和5.1%、4.6%, 牵引比油耗分别降低8.8%、5.7%, 表明动力换挡和无级变速传动拖拉机较机械式传动拖拉机具有更好牵引性能。

表3 不同最小使用比质量牵引性能及得分

Tab. 3 Tractive performance and scores at different specific minimum operation mass

最小使用比质量范围	最大牵引力比值均值/ $(N \cdot kW^{-1})$	最大牵引功率百分比均值/%	牵引比油耗均值/ $[g \cdot (kW \cdot h)^{-1}]$	牵引性能得分
比质量 <45	415.01	78.12	264.40	0
$45 \leq$ 比质量 <50	420.11	80.74	265.62	19.50
$50 \leq$ 比质量 <55	490.41	83.38	267.00	46.83
$55 \leq$ 比质量 <60	533.83	80.53	270.06	27.76
$60 \leq$ 比质量 <65	578.35	80.35	282.67	20.99
比质量 ≥ 65	665.11	79.75	299.63	12.40

表4 不同换挡方式试验拖拉机牵引性能

Tab. 4 Tractive performance of different gear shifting methods

换挡方式	发动机标定功率 均值/kW	最大牵引力比值 均值/ $(N \cdot kW^{-1})$	最大牵引功率百分比 均值/%	牵引比油耗 均值/ $[g \cdot (kW \cdot h)^{-1}]$
机械式	84.22	454.63	77.97	290.67
动力换挡	127.55	525.21	81.96	265.07
无级变速	178.75	558.56	81.59	274.11

4 结束语

研究 OECD 规则试验报告数据可以得出, 无配重状态下, 四轮驱动轮式拖拉机最大牵引力比值 >400 N/kW 的试验拖拉机占比 85.1%; 最大牵引功率百分比 $>75\%$ 的试验拖拉机占比 86.5%, 试验拖拉机最大牵引功率工况下牵引比油耗最小值 233.00 g/(kW·h)、平均值 274.59 g/(kW·h); 随着拖拉机标定功率增大, 最大牵引力比值、最大牵引功率百分比、牵引比油耗波动范围收窄; 重型拖拉机牵引性能最好, 大型拖拉机牵引性能次之。94.6% 的试验拖拉机最小使用比质量 >44 kg/kW, 发挥最优牵引性能的最小使用比质量区间 50~55 kg/kW。动力换挡、无级变速传动拖拉机具有更好的牵引性能。

拖拉机是农机工业核心, 当前, 在加快建设农业强国, 补短板、强弱项, 促进农业机械化高质量发展背景下, 研究 OECD 规则试验报告中拖拉机牵引性能, 对推动国产拖拉机产品技术进步具有重要借鉴意义。

参考文献

- [1] 张桃林副部长在全国农业机械化工作会议上的讲话及典型发言材料[EB/OL]. (2022-03-21). http://www.njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202203/420220321_6393117.htm.
- [2] 谢斌, 武仲斌, 毛恩荣. 农业拖拉机关键技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 1-17.
XIE Bin, WU Zhongbin, MAO Enrong. Development and prospect of key technologies on agricultural tractor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 1-17.
- [3] 白学峰, 马立新, 乔璐, 等. 国内外农用拖拉机先进技术研究及对比分析[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(9): 199-205.
BAI Xuefeng, MA Lixin, QIAO Lu, et al. Research and comparative analysis of advanced technology of agricultural tractors at home and abroad[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(9): 199-205.
- [4] 汪漫, 孙德超, 屈年全. 轮式拖拉机牵引性能的影响因素及改善方法[J]. 农机化研究, 2004, 26(3): 258-259.
- [5] 李涛, 安长江, 康璟. 轮式拖拉机牵引试验方法研究[J]. 农机质量与监督, 2018(3): 26-28.
- [6] 畅雄勃. 机械变速拖拉机牵引功率试验研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(3): 128-131, 161.
CHANG Xiongbo. Experimental research on drawbar power for tractor with mechanical transmission[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(3): 128-131, 161.
- [7] 孙震东, 任越光, 关朋, 等. OECD 拖拉机试验规则及其发展动向简介[J]. 拖拉机与农用运输车, 2012, 39(3): 1-6.
SUN Zhendong, REN Yueguang, GUAN Peng, et al. Brief introduction to OECD tractor test codes and development[J]. Tractor & Farm Transporter, 2012, 39(3): 1-6.
- [8] 畅雄勃. 无级变速拖拉机牵引性能测试技术[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 161-164, 188.
CHANG Xiongbo. Research on drawbar power test for tractor with stepless transmission[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(2): 161-164, 188.
- [9] 任越光, 李京忠. 农业和林业拖拉机 OECD 官方试验标准规则[M]. 北京: 中国质检出版社, 2018.
- [10] 拖拉机术语 第 1 部分 整机: GB/T 6960.1—2007[S].
- [11] 姚飞, 马博帅, 李凯, 等. 农业拖拉机各项性能评价指标及试验方法[J]. 农机化研究, 2021, 43(6): 247-252.
YAO Fei, MA Boshuai, LI Kai, et al. Performance evaluation and test methods of agricultural tractors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(6): 247-252.
- [12] 赵亮, 卢贵忠. 四轮驱动拖拉机的牵引动力学分析研究[J]. 机械工程师, 2017(12): 66-68, 72.
ZHAO Liang, LU Guizhong. Study on traction dynamics of four-wheel drive tractor[J]. Mechanical Engineer, 2017(12): 66-68.
- [13] 农业部农垦局. 拖拉机[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [14] 拖拉机 功率分类及型谱: JB/T 11320—2013[S].
- [15] 韦红美, 廖应学. 拖拉机牵引装置的优化性能研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(2): 255-258.
WEI Hongmei, LIAO Yingxue. Research on improved performance of tractor draft gear[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(2): 255-258.
- [16] 杜建刚, 韩兴昌. 拖拉机、工程机械车辆牵引负荷车工作机理的研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2020, 58(7): 57-60.
DU Jiangang, HAN Xingchang. Research on working mechanism of tractor and construction machinery traction load vehicle[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2020, 58(7): 57-60.
- [17] 尹永芳, 鲁力群, 赵静, 等. 拖拉机全动力换挡自动变速器技术应用现状与展望[J]. 拖拉机与农用运输车, 2019, 46(2): 1-5.
YIN Yongfang, LU Liqun, ZHAO Jing, et al. Application status and trend of tractor full-power shift transmission technology[J]. Tractor & Farm Transporter, 2019, 46(2): 1-5.