

网络出版时间:2012-11-19 16:44

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20121119.1644.004.html>

电动水稻插秧机功率分配与参数优化

闫国琦, 张铁民, 温利利, 廖懿华

(华南农业大学 南方农业机械与装备关键技术重点实验室, 广东 广州 510642)

[摘要] **【目的】**研究电动水稻插秧机功率分配和参数优化等关键技术,探索并分析分布式电机驱动水稻插秧机存在的主要问题和发展趋势,为电动水稻插秧机的设计提供依据。**【方法】**以适合电力驱动的手扶式水稻插秧机为研究对象,通过仿形试验、分插机构试验和牵引试验,得到插秧机各主要工作机构实际功率,并确定各驱动电机的参数。通过牵引试验的载荷和速度分析,进一步优化该类型插秧机蓄电池容量和作业速度等参数,并提出最大连续作业面积节能设计方案。**【结果】**在试验样机机型下,双行进水轮驱动电机为 2×500 W,分插机构驱动电机为 300 W,仿形机构驱动电机为 350 W;当采用 48 V 铅酸蓄电池组,在理论额定容量为 $83.3 \text{ A} \cdot \text{h}$ 、行进速度为 0.5 m/s 时,可以获得最大连续作业面积;当采用同电压锂离子蓄电池组,在理论额定容量为 $100 \text{ A} \cdot \text{h}$ 、行进速度为 0.5 m/s 时,可以获得单位蓄电池质量最大连续作业面积。**【结论】**分布式电机驱动的水稻插秧机具有机械传动机构简化、整体质量轻、低噪音振动和无尾气排放等优点。

[关键词] 水稻插秧机;驱动功率;电机;蓄电池

[中图分类号] S223.91⁺2

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)12-0225-05

Power allocation and parameter optimization of electric rice transplanter

YAN Guo-qi, ZHANG Tie-min, WEN Li-li, LIAO Yi-hua

(Key Laboratory of Key Technology on Southern Agricultural Machine and Equipment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: **【Objective】** The key issues of power distribution and parameter optimization of electric rice transplanter were studied, the distributed motor-driven rice transplanter was explored and the main problems and trends of the electric rice transplanter were discussed. This study provided informations for designing electric rice transplanter. **【Method】** Taking power driven walking transplanter as the object, the actual power needed for each major operating mechanism of transplanter and operation parameters of each engine were obtained by profiling mechanism experiments, separating-planting mechanism experiments and traction experiment. Through analyses of the loads gained from traction experiments and the speeds collected, not only battery capacity of this transplanter and parameters of operating speed were optimized, but also the energy-saving scheme of maximum continuous operating area was proposed. **【Result】** Based on the type of test transplanter, The powers of processing wheel motors, separating-planting mechanism motor, and profiling mechanism motor of the test transplanter were 2×500 W, 300 W, and 350 W, respectively. The biggest continuous operation area per unit mass of battery was obtained when rated voltage of batty with

[收稿日期] 2012-04-11

[基金项目] 广东省教育部产学研结合项目(2010B090400454);广东省农业机械化发展议案专项(粤财农[2010]605号);广东省扶持农业机械化发展专项(粤农计[2011]150号)

[作者简介] 闫国琦(1978—),男,河北邯郸人,讲师,在职博士,主要从事电动农业机械研究。E-mail: ygq1978@scau.edu.cn

[通信作者] 张铁民(1961—),男,黑龙江安达人,教授,博士生导师,主要从事农业电气化与自动化研究。
E-mail: tmzhang@scau.edu.cn

theoretical rated capacity of 83.3 A · h was used at a working speed of 0.5 m/s.【Conclulsion】 Advantages of distributed motor-driven rice transplanter include simple mechanical transmission agency, light total mass, low vibration noise and no exhaust.

Key words:rice transplanter;driving power;motor;battery

水稻是主要的粮食作物之一,其产量和消费均居世界首位,水稻生产机械化意义重大^[1]。水稻机插秧稻田抗倒伏性好,生长期抵抗自然灾害能力强,规则成行种植利于接受光照和通风并提高产量,也便于除草和机械化收割,降低生产成本^[2-3]。

传统燃油动力的水稻插秧机经过几十年的发展,目前在机构上较为成熟,性能较为可靠。但随能源和环境问题的日益突出,电动力驱动技术受到世界各国的重视,以电动汽车为例,电机和电池等关键性技术得到快速推进,并已进入应用推广阶段。目前受到国家政策扶植的水稻插秧机械,引入电力驱动将具有更大的技术和政策优势^[4]。传统水稻插秧机械传动机构复杂,运动执行机构较多,如行走机构、仿形机构和插秧机构等^[5-7],且体积质量较大,能耗较高,具有一定程度的废气和噪音污染。电动力驱动的水稻插秧机的优势在于采用多个电机直接驱动运动执行部件,能量以电能形式传递,大大简化了传动机构^[8],使整机质量减轻,损耗和排放减少,而且电动机调速性能强,增强了插秧机的操控性;同时还具备电动机械的一般优点,如噪音小、无废气污染和不消耗二次能源等^[9]。在山区、丘陵地区,中小功率、轻型化插秧机具有较显著的优势^[10-11],而电动插秧机具备了这些特点。笔者所在研究团队长期致力于水稻插秧机的研究^[12-15],近年来系统开展了电动

力水稻插秧机的研究和试验,通过几款试验机型的研制,证明中小功率水稻插秧机的电动化是可行的。

对于电动水稻插秧机,掌握插秧机各个运动执行机构的实际功率是电机分布式配置的前提,其载荷与作业行进速度等参数的确定,是深入研究与设计电动力水稻插秧机的基础。本研究试图通过对适合电力驱动的手扶式水稻插秧机的系列试验,确定该插秧机各主要工作机构的实际功率及驱动电机参数,并优化该类型插秧机的蓄电池容量和作业速度等,以期电动水稻插秧机的设计提供参考。

1 电动插秧机的设计

目前市场上较为成熟的水稻插秧机型有以下几种:(1)4 轮乘坐式。一般插秧行数在 6 行及其以上,动力大,效率高,价格较贵;(2)无驱动力步进式。靠人力拖动,机动插秧,一般插秧行数为 2 行,功率小,工作效率低,整体质量轻,便于搬运;(3)2 轮手扶式。一般以 4 行插秧为主,性能介于以上两种机型之间。根据目前市场上的电机和蓄电池性能,并综合性价比和推广价值,本研究选择 2 轮 3 浮板手扶式自动水稻插秧机为研究对象,选用具有一定市场占有率的东洋 PF455S 型水稻插秧机为试验机型(图 1),并对其进行电气化设计。该试验样机插秧作业 1 年期,无机械故障,正常保养。

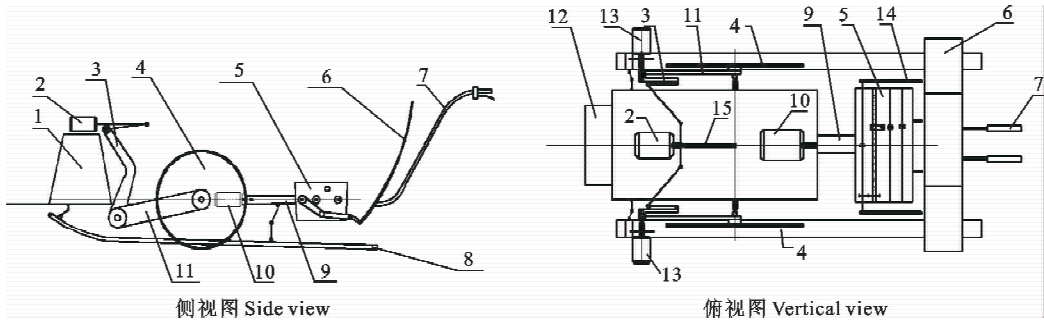


图 1 电动插秧机结构原理图

1. 控制器;2. 仿形机构驱动电机;3. 仿形机构传动臂;4. 行走水轮;5. 插秧机构传动箱;6. 秧苗板;7. 手柄;8. 侧船板;9. 插秧机构传动链条;10. 分插机构驱动电机;11. 行走水轮支撑臂;12. 中船板;13. 行走水轮驱动电机;14. 秧针;15. 丝杆

Fig. 1 Structure schematic of electric transplanter

1. Controller;2. Profiling mechanism driving motor;3. Profiling mechanism transmission arm;4. Walking water wheel;5. Transplanter mechanism wheel box;6. Seedling board;7. Handle;8. Lateral ship plate;9. Transplanter mechanism driving chain;10. Separating-planting mechanism seedling driving motor;11. Walking water wheel supporting arm;12. Middle ship plate;13. Walking water wheel driving motor;14. Planting needle;15. Silk pole

如图 1 所示,本研究改装设计的多电机驱动插秧机采用 2 轮 3 浮板手扶式自动水稻插秧机的主机架,由 4 台直流电机代替汽油机和总变速箱(包含仿形机构动力液压泵),总机质量约 125 kg。2 个行走水轮各用 1 个电机驱动,仿形机构采用 1 个电机驱动,插秧机构采用 1 个电机驱动。除动力机构之外,其余执行机构保留不变。

图 1 中,仿形机构驱动电机(2)通过转动丝杆(15)带动仿形机构传动臂(3)转动,实现仿形动作;行走水轮驱动电机(13)安装在行走水轮支撑臂(11)的固定转轴端,通过其内部的链条驱动行走水轮(4),使 2 个水轮独立工作;分插机构驱动电机(10)根据插秧机行进速度驱动分插机构工作,实现插秧作业。

2 电动插秧机牵引力及功率分析

2.1 牵引力

该试验在南方农业机械与装备关键技术重点实验室的土槽试验场中进行,试验区泥脚深 15~25 cm,水层均深 2 cm。为等效实际插秧时秧盘的平均质量,试验时初始负荷 20 kg,该质量不计入后续试验负荷值。在无动力驱动情况下,测取插秧机在水田作业中不同速度和不同载荷时所需的牵引力,分析插秧机在水田实际工作时需要的行走驱动功率。

该试验机型原质量 170 kg,最多可承载 8 个秧盘,估算承载质量 40 kg,满载时总质量 210 kg;经改装后整机质量 125 kg,牵引试验时初始负荷 20 kg,合计总质量 145 kg,较原机满载时低 65 kg。根据原机机构和试验观察,超载上限质量在 40 kg 以下时,机器工作较为正常,所以改装后牵引试验的载荷上限设为 100 kg。试验机型为 2 轮 3 浮板手扶式插秧机,由于其低速行进时浮板压在排水层上,使得浮板与泥面的黏滞阻力较大,测得速度在 0.25 m/s 以下时的牵引力偏大;当机具行进速度大于 0.3 m/s 之后,浮板与泥面之间形成水层,减少了泥面阻力,牵引力大致与速度成正向关系。为了接近实际作业效果,试验速度选择 0.3~0.6 m/s。具体试验数据见表 1。

由表 1 试验数据可知,插秧机在水田中行走时,牵引力与载荷关系较大,由于试验的速度范围整体较低,牵引力受行进速度的影响较小。

2.2 仿形机构和分插机构功率

在最大设计负荷(100 kg)情况下,仿形机构以 0.15 m/s 速度提升插秧机机身,测得平均功率为

315 W;分插机构驱动电机直接驱动分插变速箱,由机械联动装置带动秧针和秧苗板工作,在满载秧盘情况下测得驱动功率为 250 W。

表 1 供试插秧机在不同载荷和行进速度时的牵引力

Table 1 Traction force of test transplanter in different loads and velocity kg				
载荷/kg Load	行进速度/(m·s ⁻¹) Speed			
	0.3	0.4	0.5	0.6
0	73.2	73.6	75.6	80.6
20	80.4	78.1	80.4	86.2
40	83.6	83.7	84.2	90.4
60	108.2	107.5	108.3	108.5
80	120.6	123.8	126.5	128.2
100	158.1	158.6	162.4	178.5

2.3 驱动电机功率分配

根据以上试验数据,按照计划最大载荷 100 kg 估算,在最大试验速度 0.6 m/s 情况下,需要 178.5 kg 的牵引力,推算水田中插秧机所需最大行进驱动功率约为 1 050 W。手扶插秧机实际作业时,可人力辅助克服特殊行进障碍,行进驱动电机采用 2×500 W;仿形机构驱动电机采用 350 W,留有一定裕量;分插机构驱动电机采用 300 W,以便于在加大插秧密度时提高电机转速。由此可得电动力水稻插秧机电机功率分配方案如表 2 所示。

表 2 供试插秧机驱动电机的功率分率方案

Table 2 Distribution of driving motors powers		
功率分配部位 Point of power	功率/W Power	动力来源 Power source
行进轮 Processing wheel	1 000	48 V 直流无刷电机 48 V brushless dc motor
分插机构 Separating-planting mechanism	300	48 V 直流电机 48 V dc motor
仿形机构 Profiling mechanism	350	48 V 直流电机 48 V dc motor
合计 Total	1 650	48 V 蓄电池电源 48 V battery

3 动力试验分析与参数优化

目前市场上主流蓄电池有铅酸蓄电池和锂离子蓄电池。以上 2 种蓄电池的输出电流一般可以满足较大范围的使用条件,但其质量与容量大致成正比关系,而根据牵引功率试验可知,载荷质量对电动力水稻插秧机的连续作业时间、行进速度和牵引功率等参数有一定影响。经过对蓄电池能量密度 ρ_b 的调研,可知铅酸蓄电池的 ρ_b 平均为 40 (W·h)/kg,常见锂离子蓄电池的 ρ_b 一般为 120 (W·h)/kg。

3.1 铅酸蓄电池参数优化

仿形机构启动情况与水田硬底平整度有关,不计此功率时,插秧机在水田中的功率函数为:

$$Q_t = F_d v + p_t(v).$$
 (1)

式中: Q_t 为插秧机作业功率; F_d 为行进牵引力; v 为行进速度; $p_t(v)$ 为插秧机构功率速度函数。

根据试验数据推得该机型功率速度函数的经验公式(试验测试范围内)为:

$$p_t(v) = 157v + 148.8.$$
 (2)

根据式 1、式 2 和表 1 数据,得到该机型插秧机的功率特性分布情况如表 3 所示。

表 3 供试插秧机在不同载荷和行进速度时的功率
Table 3 Power characteristics of test transplanter at different loads and velocities W

载荷/kg Load	行进速度/(m·s ⁻¹) Speed			
	0.3	0.4	0.5	0.6
0	411.1	500.1	597.7	716.9
20	432.3	517.8	621.3	749.9
40	441.7	539.7	639.9	774.6
60	514.0	633.0	758.0	881.0
80	550.5	696.9	847.2	996.8
100	660.7	833.3	1 023.1	1 292.6

铅酸蓄电池整体价格较为便宜,若不考虑价格因素,而以最大可连续作业面积为优先考虑因素时,铅酸蓄电池作为载荷变量,根据其能量密度和插秧机功率特性,可以得到连续作业面积的函数式为:

$$S = v \frac{G_t \rho_b}{Q_t} d.$$
 (3)

式中: S 为连续作业面积, v 为行进速度, G_t 为蓄电池质量, ρ_b 为蓄电池能量密度, d 为插秧机作业宽度。本研究选用的试验机型为平行 4 行插秧机,行距 0.3 m, d 取值 1.2 m。

由此可以得到不同载荷和行进速度时,供试插秧机以铅酸蓄电池为动力时的连续作业面积如表 4 所示。

表 4 采用铅酸蓄电池动力不同载荷和行进速度时供试插秧机的连续作业面积

Table 4 Continuous working area of test transplanter with lead-acid battery at different loads and velocities m²

载荷/kg Load	行进速度/(m·s ⁻¹) Speed			
	0.3	0.4	0.5	0.6
20	2 398.5	2 670.0	2 781.4	2 765.3
40	4 694.8	5 122.8	5 401.0	5 354.3
60	6 051.3	6 551.7	6 839.3	7 061.2
80	7 534.0	7 934.6	8 159.1	8 320.9
100	7 846.1	8 294.6	8 445.3	8 021.2

在本研究测试条件下,供试机型的插秧机配置 100 kg 的铅酸蓄电池,当行进速度为 0.5 m/s 时,得到较大的连续作业面积为 8 445.3 m²,连续作业时间为 3.9 h,插秧机作业功率为 1 023 W(不计仿形机构功率)。若采用 48 V 的蓄电池组,其理论额定容量为 83.3 A·h。

3.2 锂离子蓄电池参数优化

由于蓄电池能量密度为定常数,使用锂离子蓄电池时电动插秧机功率特性与使用铅酸蓄电池时相同,最大连续作业面积与之相似。但锂离子蓄电池价格较贵,市场常见规格的价格与容量(质量)大致成正比关系,可按照单位容量(质量)最大作业面积优先考虑。选用锂离子蓄电池时,不同载荷和行进速度条件下单位蓄电池质量的作业面积如图 2 所示。

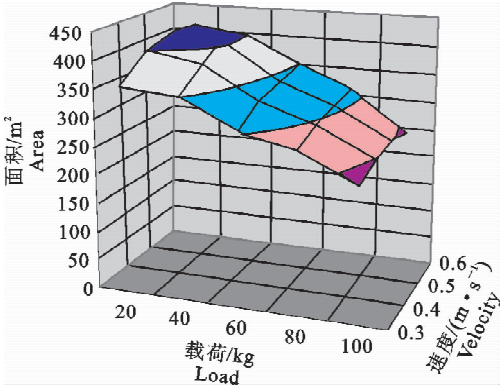


图 2 不同载荷和行进速度时锂离子蓄电池单位蓄电池质量的连续作业面积

Fig. 2 Continuous working area per unit mass of lithium ion battery at different loads and velocities

综合可连续作业时间因素,选取蓄电池质量为 40 kg,配合 0.5 m/s 的行进速度时工作效率较高。在本研究测试条件下,试验机型的插秧机配置质量 40 kg 的锂离子蓄电池,在 0.5 m/s 的行进速度下,蓄电池单位质量可连续作业面积为 405 m²,连续作业时间为 7.5 h,插秧机作业功率为 640 W(不计仿形机构功率)。若采用 48 V 的蓄电池组,理论额定容量为 100 A·h。

4 结论与讨论

1) 针对选定机型的水稻插秧机进行电气化设计和改进,实现了该机型插秧机多电机驱动、整体质量减轻及机械传动结构的简化,并拓宽了调速范围和控制方式,工作时噪音和污染大大减小,且各种性能达到了实际应用要求。

通过仿形、分插机构功率试验和牵引力试验,掌握了该机型插秧机各个主要工作机构的实际功率,为多电机驱动设计提供了依据;进一步分析了插秧机在不同载荷和行进速度下的牵引功率,分析了使用铅酸蓄电池情况下的最大可连续作业面积和使用锂离子蓄电池时单位质量最大可连续作业面积。由于该研究尚处于探索阶段,目前尚未考虑电动插秧机在非插秧作业时的耗电情况,故还需要进一步完善。

2)电动插秧机对蓄电池和电机的防水绝缘工艺要求较高,如采用永磁电机时应注意避免剧烈碰撞。插秧作业现场充电等配套设施的研究目前尚基本属于空白,但可采用备用电池方法解决。随着电动汽车技术以及配套设施的大力推进,农用电动机械充电环节也将会不断完善。电力驱动的水稻插秧机容易实现智能化控制,这可能是该领域今后研究的热点。

3)电动水稻插秧机局部优势突出,但根据目前电源和电机的应用技术现状,在中小功率水稻插秧机实现动力电气化具有现实意义,特别针对小地块水田和丘陵地区,水稻插秧机轻型化意义重大。采用锂电池等较高能量密度的蓄电池作为电源,电动插秧机的动力性能可以得到明显提升,但目前价格因素会限制其的实际应用。可以预见的是,随着电动力技术的快速发展,蓄电池的性价比会进一步提高,电动插秧机具有十分广阔的应用前景。

[参考文献]

- [1] 杨宝珍,安龙哲,李会荣. 水稻插秧机的现状及发展展望 [J]. 农机化研究,2009,31(7):237-238.
Yang B Z, An L Z, Li H R. The present situation and development prospects of rice transplanter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 237-238. (in Chinese)
- [2] 王琳,臧英,罗锡文. 我国水稻生产机械化发展对策 [J]. 农机化研究,2009,31(6):1-4.
Wang L, Zang Y, Luo X W. Development countermeasure of rice production mechanization in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(6): 1-4. (in Chinese)
- [3] 庄永春. 机插秧与手插秧经济效益对比试验分析 [J]. 农业装备技术,2007,33(3):21-22.
Zhuang C Y. Contrast test analysis of economic benefit in mechanism transplanting and handing transplanting [J]. Agricultural Equipment & Technology, 2007, 33(3): 21-22. (in Chinese)
- [4] 张铁民,闫国琦,温利利,等. 中国电动力农业机械发展现状与趋势 [J]. 农机化研究,2012,34(4):236-240.
Zhang T M, Yan G Q, Wen L L, et al. Current situation and development of electric agricultural machinery in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(4): 236-240. (in Chinese)
- [5] 陈建能,赵匀. 水稻插秧机分插机构的研究进展 [J]. 农业工程学报,2003,19(2):23-27.
Chen J N, Zhao Y. Research advances in transplanting mechanism of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 23-27. (in Chinese)
- [6] 赵匀,赵雄,张玮炜,等. 水稻插秧机现代设计理论与方法 [J]. 农业机械学报,2011,42(3):65-68,43.
Zhao Y, Zhao X, Zhang W W, et al. Modern design theory and method of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 65-68, 43. (in Chinese)
- [7] 杨文珍,杨友东,张毅,等. 高速水稻插秧机四轴移箱机构原理设计 [J]. 中国农机化,2005(5):67-69.
Yang W Z, Yang Y D, Zhang Y, et al. Design of four-axes seeding feeder mechanism of high-efficient rice transplanter [J]. Chinese Agriculture Mechanization, 2005(5): 67-69. (in Chinese)
- [8] 高辉松,朱思洪. 电动拖拉机传动系设计理论与方法研究 [J]. 南京农业大学学报,2009,32(1):140-145.
Gao H S, Zhu S H. Study on design theory and method for driving line of electric tractor [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2009, 32(1): 140-145. (in Chinese)
- [9] 田安乐,郭小龙,冯宏波. 1GD-40 型直流电动多功能微型耕作机的设计研究 [J]. 农业机械,2007(16):86-87.
Tian A L, Guo X L, Feng H B. 1GD-40 DC multi-function electric micro-farming machine design research [J]. Farm Machinery, 2007(16): 86-87. (in Chinese)
- [10] 李渤海,张希志,李瑞川. 丘陵山地独轮驱动插秧机的总体设计 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2011,22(5):25-27.
Li B H, Zhang X Z, Li R C. Overall design for the hilly single wheel drive of the planting movement of rice transplanter [J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2011, 22(5): 25-27. (in Chinese)
- [11] 郭小锋,李祥,杜光艳,等. 西南丘陵山区插秧机推广存在的问题及对策 [J]. 农业机械,2011(7):88-89.
Guo X F, Li X, Du G Y, et al. The problem and solution of transplanter promotion in southwest hill and mountain [J]. Farm Machinery, 2011(7): 88-89. (in Chinese)
- [12] 陆华忠,罗锡文. 水田驱动叶轮轮叶下土壤流动特性与动力性能研究 [J]. 农业机械学报,2010,41(7):50-53.
Lu H Z, Luo X W. Experiment research on the dynamic performance of a single lug [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 41(7): 50-53. (in Chinese)