

邵 堃. 联合收割机传动效能动态测量与试验分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 261–264.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.068

联合收割机传动效能动态测量与试验分析

邵 堃

(河南职业技术学院机电工程系, 河南郑州 450046)

摘要: 由于联合收割机的各部件机械设计和实际工况直接影响着其传动效能, 为了提升联合收割机的传动效能使其工作在最佳状态, 利用应变片电桥方式对主传动轴、第 1 滚筒、第 2 滚筒及割台等 4 个传动轴的扭矩进行测量, 通过静态标定后得到扭矩与输出电压的关系方程, 并利用开关霍尔传感器测量对应传动轴的转速, 并通过无线装置发送到上位机进行处理和显示, 从而得到各耗能部件的实时功耗, 即可得到对应的传动效能。利用设计的系统对沃得巨龙 280 型联合收割机进行田间试验, 结果表明, 系统工作稳定可靠, 能够测得各功能部件的实时功耗, 为产品质量检测、研发改进、在线故障诊断提供强有力的技术支持, 同时得出在进速度为 1.5 m/s 时, 传动效能最高可达 66.94%, 研究结果能为指导科学收割作业提供依据。

关键词: 联合收割机; 传动效能; 传动轴; 扭矩与转速测量; 静态标定; 故障诊断

中图分类号: S225.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0261-03

联合收割机能够将收割、脱粒、分离茎秆、清除杂物等工序进行集中作业, 大大提升了农业生产率, 也节省了大量的人力物力, 是现代农业机械的重要组成部分^[1-3]。联合收割机兴起于西方发达国家, 我国对联合收割机的设计起步较晚, 主要是模仿国外的机型进行制造。同时, 联合收割机属于高耗能设备, 由于对一些关键机械部件的参数设计是否合理没有标准, 往往会导致各部件工作不协调, 在没有提高生产效率的情况下增加了不必要的功率消耗, 传动效能明显较低^[4]。为了将其功率损耗控制在最低, 须要了解影响旋耕机传动效能的因素, 主要有 2 个方面: (1) 旋耕机本身的设计合理性, 包括滚筒大小、作业幅宽、刀片组合结构及锋利程度、传动系统(齿轮箱等)等; (2) 工况条件, 包括土地平整度、作业行进速度、刀辊转速等情况, 其中, 最直接的方法是通过控制行进速度来提高传动效能。

由于联合收割机的工作载荷较大且作业环境复杂, 在连续长期的工作过程中容易出现故障, 例如(1)传动部件(齿轮箱)过度磨损、润滑不良, 从而导致旋转阻力过大; (2)滚筒和筛面堵塞, 导致载荷异常, 影响正常作业; (3)切割遇到石块、木桩、铁丝等异物, 导致割钝化或者变形; (4)链条断裂, 滚筒等主要部件停止工作。这些故障主要表现为对应机械部件载荷的骤增或骤减, 轻则影响收割作业, 重则会给收割机造成致命性的损害^[5]。扭矩和转速是传动功率的直接参数^[6]。本研究通过应变片电桥测量联合收割机各主要机械部件传动轴的扭矩, 利用开关霍尔传感器测量传动轴的转速, 从而得出各主要机械的实时功率情况。通过对巨龙 280 型联合收割机进行改进, 增加各主要传动部件的功率进行在线检测, 得出其传

动效能, 同时, 在遇到突发故障时, 能够及时发现并停机检查处理, 能够有效避免更大损害设备的事故发生。

1 联合收割机传动系统

1.1 联合收割机组组成

以沃得巨龙 280 联合收割机为对象进行研究, 其为双滚筒横轴流型联合收割机, 由发动机提供动力, 经由主传动轴输入, 主要机械部件有行走地盘、第 1 滚筒、输出槽、割台、第 2 滚筒、割草器、振动筛、风机等^[7]。联合收割机传动系统如图 1 所示。

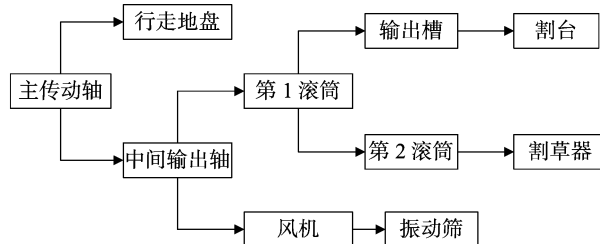


图1 联合收割机传动系统

对于该机型来说, 有效功率的消耗主要来自第 2 滚筒、割草器、第 1 滚筒、割台, 也是易出现故障的主要部件。为了降低功耗并优化产品设计, 须要监测各环节的实时功率, 以便了解各机械部件的运行状态。

1.2 传动效能的计算

传动效能是衡量机械设计优劣的重要参数之一, 结构设计的越合理功率损耗就越少^[8]。传动效能最直接的计算方法为实际消耗的功率与总功率之比, 而对于旋转部件来说, 功率 P (kW) 可直接体现在传动轴的扭矩 T (N·m) 和转速 S (r/min) 上, 可通过公式(1)来表达:

$$P = \frac{TS}{9549} \quad (1)$$

因此, 通过测量主传动轴和各分传动轴上的扭矩和转速

收稿日期: 2017-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 60974005); 国家科技支撑计划(编号: 2014BAH09F00)。

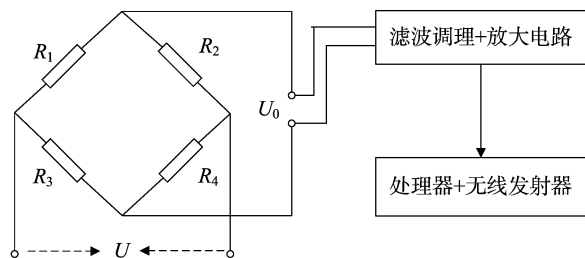
作者简介: 邵 堃(1969—), 男, 河南商丘人, 副教授, 主要从事机械设计与制造研究。E-mail: shaokun1969@126.com。

就可以计算出传动效能,即可得载荷的具体分配情况。

2 传动轴扭矩与转速测量原理

2.1 扭矩的测量

轴上的扭矩是指作用在轴上的力与其作用线到轴中心距离的矢量积的总和^[9-10]。传动轴受到旋转力作用后会产生微小的形变,且在与中心轴线 $\pm 45^\circ$ 的方向上发生的形变最大,即剪应力最大。本研究采用应变片电桥来测量扭矩,将 4 片等电阻应变片沿传动轴中心线 $\pm 45^\circ$ 方向贴敷在传动轴的表面,并组成平衡电桥,利用电阻应变片随自身的形变量而发生阻值的变化特性计算出扭矩,如图 2 所示。



R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 均为电阻; U 代表电桥两端电压

图2 电阻应变片电桥

对电阻应变片来说,最大剪应力可以表示为公式(2):

$$\varepsilon_{45^\circ} = \frac{8T}{\pi d^3 G} \quad (2)$$

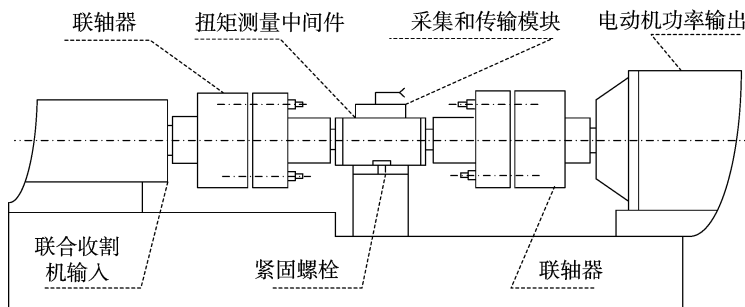


图3 扭矩测量中间件

2.2 转速测量

转速主要有机械式、电磁式、电光式等 3 种测量方式,由于联合收割机的作业环境非常复杂,利用电磁式开关霍尔传感器对传动轴的转速进行测量,工作原理如图 4 所示。

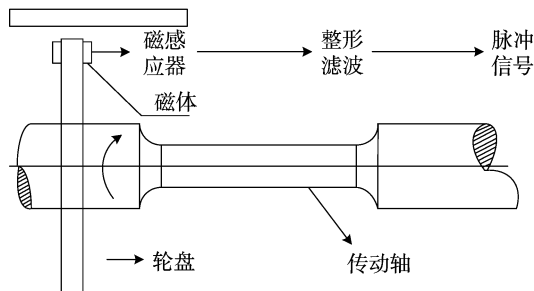


图4 转速测量原理示意

在旋转轴的轮盘上固定 1 对(或均匀角度的多对)磁体,并在轮盘附件安装开关霍尔传感器,当传动轴转动时,磁体经过霍尔传感器(磁感器)后会产生 1 个高电平信号,经过整形滤波后,输出一定频率的脉冲信号,脉冲频率即为转速^[11]。

此时,传动轴上产生的扭矩 T 可表示为

$$T = \frac{\pi d^3 G}{8} \varepsilon_{45^\circ} \quad (3)$$

式中: ε_{45° 是沿传动轴 45° 上的最大应变变量; d 为传动轴的直径; G 为弹性模量。

假设电阻应变片长度为 L ,受力后的长度变化量为 ΔL ,对应的形变量为 ε ,电阻值为 R ,则有关系式:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K \varepsilon \quad (4)$$

式中: K 表示应变的灵敏系数。

那么电桥输出的电压 U_0 可表示为

$$U_0 = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot U = \frac{1}{4} K \varepsilon U = \frac{1}{4} K U (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (5)$$

式中: ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 分别代表电阻应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 产生的应变变量; ΔR 为电阻变化量。

根据式(3)、式(5)即可求出传动轴上的扭矩。由于从电桥输出的电压 U_0 非常微弱,须要对其进行滤波和调理放大处理,最后转化为 $0 \sim 5 \text{ V}$ 的电压送给处理器进行计算。

由于电动机输出的功率较大,在主传动轴的扭矩测量上设计专用的扭矩测量中间件(图 3),只须通过简单的固定(联轴器)就可实现电动机与收割机的连接,也可方便静态标定和拆卸安装。

最后,将采集到的扭矩和转速信息通过无线模块传送到上位机进行处理。

3 扭矩的静态标定

重点研究联合收割机主传动轴(总功率)、第 1 滚筒及割草器、第 2 滚筒、割台 4 个位置的功率消耗情况,采用第 2 节的设计方法对这 4 个传动轴进行安装。在投入使用前还须要对其进行静态标定,获取扭矩与输出电压的关系,才能在后续的测量中得出准确的扭矩数值^[12-14]。

考虑到动态标定难度较大,且容易导致测量误差,故在实验室扭矩平台进行静态标定。在标定的过程中采用正、反 2 个方向进行加减标准砝码($0 \sim 1\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$)的方法,每次加减 $100 \text{ N} \cdot \text{m}$,重复 5 次,并记录每个量程的平均值,分别得到联合收割机主传动轴、第 1 滚筒及割草器、第 2 滚筒和割台 4 个传动轴的试验结果(表 1)。

表 1 中, V_1 表示联合收割电动机在主传动轴上的扭矩传感器输出的电压值; V_2 表示第 1 滚筒及割草器传动轴上扭矩测量装置输出的电压值; V_3 表示第 2 滚筒传动轴上扭矩测量

表 1 4 个传动轴扭矩标定结果

理论值 (N·m)	V ₁ (mV)	V ₂ (mV)	V ₃ (mV)	V ₄ (mV)
0	0.007	0.005	0.004	0.011
100	0.398	0.366	0.318	0.459
200	0.810	0.730	0.636	0.907
300	1.205	1.119	0.947	1.372
400	1.613	1.455	1.255	1.803
500	2.005	1.811	1.570	2.269
600	2.397	2.206	1.884	2.702
700	2.803	2.535	2.199	3.210
800	3.212	2.916	2.493	3.616
900	3.635	3.302	2.808	4.102
1 000	4.137	3.687	3.148	4.568

装置输出的电压值;V₄ 表示割台传动轴上扭矩测量装置输出的电压值。

将表 1 中的数据标注在坐标系中,得到 4 条扭矩与电压的关系曲线(图 5)。

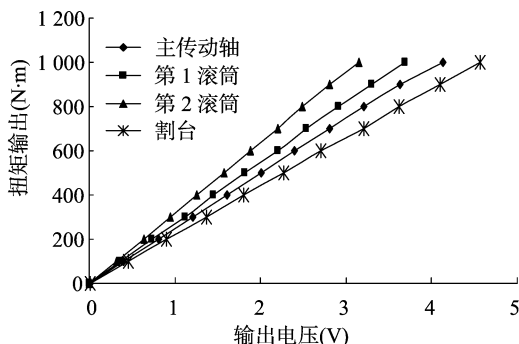


图5 传动轴扭矩与电压的关系曲线

由图 5 可以看出,扭矩与输出电压呈良好的线性关系,可以分别拟合方程式。

联合收割机主传动轴扭矩与输出电压关系式可表示为

$$y = 248.50x + 1.74。 \quad (6)$$

第 1 滚筒传动轴扭矩与输出电压关系式可表示为

$$y = 273.80x + 1.50。 \quad (7)$$

第 2 滚筒传动轴扭矩与输出电压关系式可表示为

$$y = 297.90x + 1.05。 \quad (8)$$

割台传动轴扭矩与输出电压关系式可表示为

$$y = 219.30x + 2.45。 \quad (9)$$

通过静态标定找出输出电压与扭矩的关系式,并设定在上位机的运行程序中,即可实现测量各功能部件的实时功率。本方案没有对转速进行标定,原因为在高转速的情况下,采用开关霍尔传感器测量转速误差非常低,可通过在轮盘上固定多对磁体来提高转速的准确度。

4 田间试验与结果分析

为了检验设计的功率测量系统的工作稳定性,以沃得巨龙 280 联合收割机为研究对象,作业幅宽为 2.8 m,在地面平整的成熟水稻田中进行收割试验,测量各主要功能部件的实时功耗,进而计算传动效能。首先将静态标定完的传动轴安装在联合收割机上,并加装开关型霍尔传感器来测量对应的

转速,通过无线装置实时传送至上位机进行处理^[15]。主要观察各主要耗能部件的实际功率,并研究在不同行进速度(1.0~1.9 m/s)下,各主要功能部件的实时平均功耗,在每档行进速度下运行 5 min 得到平均功耗(kW),试验结果如表 2 所示。

表 2 田间测试结果

序号	速度 (m/s)	总功率 (kW)	滚筒 1 功 率(kW)	滚筒 2 功 率(kW)	割台功率 (kW)	传动效能 (%)
1	1.00	13.28	2.67	4.23	1.45	62.88
2	1.10	15.33	3.32	4.84	1.60	63.67
3	1.20	17.39	4.08	5.35	1.74	64.23
4	1.30	19.44	4.53	6.36	1.91	65.84
5	1.40	21.43	5.28	6.78	2.15	66.31
6	1.50	23.02	5.94	7.09	2.38	66.94
7	1.60	25.57	6.33	7.53	2.56	64.22
8	1.70	27.21	6.61	7.90	2.85	63.80
9	1.80	29.85	7.09	8.69	2.75	62.08
10	1.90	33.09	7.66	9.45	3.07	60.99

表 2 呈现了联合收割机在不同行进速度下传动系统各主要功能部件功率的分配和效能情况,说明设计的测量系统工作稳定可靠。在对产品进行设计和优化时,可提供重要的数据支持,同时,该系统还可以辅助在线故障诊断,当发现某个部件的功耗骤然增加或者降低时,说明该部分可能遇到了异常,导致阻力过大(润滑不良、滚筒和筛面堵塞、割刀遇到异物)或者传动失效(链条断裂)。各主要部件总的传动效能如图 6 所示。

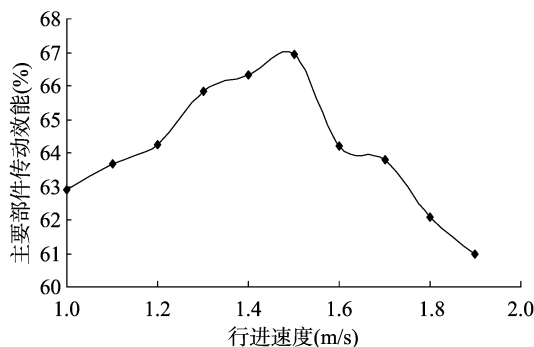


图6 行进速度与传动效能的关系

由图 6 可知,行进作业速度在 1.5 m/s 的工况下,传动效能最高,可达 66.94%,通过测试可以指导在最优的工况下进行作业,从而降低总的功耗。

5 结论

利用应变电桥实现了传动轴的扭矩测量,并用开关霍尔传感器完成了传动轴转速的测量,经过静态标定后,得到联合收割机各传动部分的实时功率,可对联合收割机机械结构设计的合理性进行评估,为产品研发改进及质量检测提供有力的数据支持。同时,还可以辅助进行在线故障诊断,避免故障的进一步升级。通过田间试验结果表明,设计系统工作非常稳定,在 1.0~1.9 m/s 行进速度下,对联合收割机主传动轴、第 1 滚筒、第 2 滚筒、割台的功率消耗情况进行分析,得出在 1.5 m/s 时,总的传动效能最高,可达 66.94%,为指导合理作业和降低功耗提供科学依据。

易 宁,刘有珠. 基于物联网的水稻大田智能预警监控系统[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):264-268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.069

基于物联网的水稻大田智能预警监控系统

易 宁¹,刘有珠²

(1. 南昌大学分析测试中心,江西南昌 330047; 2. 南昌工程学院信息工程学院,江西南昌 330099)

摘要:为提高水稻生产调控管理水平,以湖北省荆门市屈家岭中国农谷“隆平高科”500 亩(33.33 hm²)超级稻为研究对象,采用客户/服务器(client/server,C/S)和浏览器/服务器(browser/server,B/S)相结合的开发方式,以 4 层架构为软件框架,结合地理信息系统(geographic information system,GIS),设计和实现了基于物联网技术的水稻大田智能预警监控系统。通过监控节点实时获取影响水稻苗情生长的关键参数和直观图像,并结合专家系统及历史灾害指标等,依据监控数据超出阈值的严重程度进行智能分级预警,从而提高监控水稻苗情生长和气象灾害及病虫害防治决策的准确性和实时性,系统具有直观、实时的大屏显示,就地、移动互联的访问方式及智能的报表输出等特点。长期的示范结果表明,系统在提高水稻苗情的精准监测和智能管理等方面具有良好的推广前景。

关键词:无线传感器网络;物联网;管理信息系统;水稻苗情;远程监控;智能预警;监控系统

中图分类号:S126; TP273+.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)19-0264-05

水稻是我国三大粮食作物之一,我国以稻米为主食的人口约占总人口的 65%^[1]。2007 年我国水稻种植面积占全国作物种植面积的 18.84%,稻谷产量占全国粮食总产量的 37.09%^[2],稻谷约占我国口粮比例的 60%^[3-4]。因此,水稻在我国的农业生产及粮食安全保障体系中占有十分重要的地位。

水稻在田间的生长要经过插秧期、够苗期、分蘖期、扬花期到成熟期几个时期^[5],不同生长期、不同稻种、不同水稻类

型(早稻和晚稻)对养分的需求、光照以及病虫害的防治不尽相同^[6-10]。因此,及时准确地获取影响水稻生长的关键参数从而进行科学调控,是水稻高产稳产的重要保障^[11-16]。

1 物联网

物联网概念于 1999 年由美国麻省理工学院提出^[17]。农业物联网是物联网技术在农业生产、经营、管理和服务中的具体应用,是用各类感知设备采集农业生产过程、农产品物流以及动植物本体的相关信息,通过无线传感器网络、移动通信无线网和互联网传输,将获取的海量农业信息进行融合、处理,最后通过智能化操作终端,实现农业产前、产中、产后的过程监控、科学决策和实时服务^[18]。随着传感器技术与通信技术的不断发展,农业物联网的研究与应用方兴未艾。设施温室环境监控是农业物联网早期应用最具代表性的领域之

收稿日期:2017-05-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:61401189);江西省科技支撑计划(编号:20142BBE50019、20161BBE50093)

作者简介:易 宁(1971—),女,江西南昌人,硕士,实验师,主要从事环境监测研究。E-mail:yin@ncu.edu.cn。

通信作者:刘有珠,硕士,教授,主要从事无线传感器网络研究。E-mail:lyzcn@126.com。

参考文献:

- [1] 张晓云,王丽娟,熊 琼. 联合收割机最短路径设计——基于禁忌搜索和 PID 算法的[J]. 农机化研究,2017,39(8):53-57.
- [2] 臧世宇,吴崇友,伍扬华. 谷物联合收割机脱粒机机架有限元分析及优化[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):347-349.
- [3] 潘远香,尹 健,肖龙祥. 小型半喂入水稻联合收割机电驱式扶禾系统的设计研究[J]. 机械设计与制造,2016(5):79-82.
- [4] 胡文彪,王智勇,吕照瑞. 感应电机故障诊断中的电机转速自动测定方法[J]. 电机与控制应用,2015,42(12):74-78.
- [5] 彭 凯,蒋 蘋,胡 文,等. 旋耕机三点悬挂机具调平机构的研制与试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(6):676-679.
- [6] 郑海亮,项昌乐,韩立金,等. 双模式机电复合传动功率分配策略优化[J]. 中国机械工程,2015,26(10):1415-1419.
- [7] 王 瑞,李耀明,唐 忠,等. 联合收割机载荷测试系统构建与影响因素分析[J]. 农机化研究,2016,38(4):152-157.
- [8] 胡青春,李剑英,段福海. 带有圆锥齿轮的复合行星传动功率流

- 与传动效率分析[J]. 机械工程学报,2015,51(21):42-48.
- [9] 彭先龙,张 乐. 面齿轮功率分支传动系统的转矩分配研究[J]. 机械传动,2016,40(11):117-122.
- [10] 孙永厚,张 骥,刘夫云,等. 基于扭矩轴坐标系的动力总成悬置系统解耦优化[J]. 组合机床与自动化加工技术,2016(7):8-10.
- [11] 周 浩,胡 炼,罗锡文,等. 旋耕机自动调平系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2016,47(增刊1):117-123.
- [12] 刘孟楠,徐立友,周志立,等. 增程式电动拖拉机及其旋耕机组仿真平台开发[J]. 中国机械工程,2016,27(3):413-419.
- [13] 赵华慧,李云伍,曾庆庆,等. 基于 MATLAB 的旋耕机运动仿真分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(1):230-234.
- [14] 张海军,王成飞,肖茂华,等. 中间轴式液压机械无级变速箱设计与传动特性分析[J]. 机械设计,2015,32(9):44-49.
- [15] 陶 润,侯之超. 发动机前端附件带传动系统功率损失的仿真分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),2015,55(7):790-796.