

拖拉机作业负荷仿真装置

庞昌乐 鄂卓茂

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为将拖拉机作业机组室内仿真控制研究中模拟的作业阻力转化为拖拉机作业负荷,设计了一种拖拉机作业负荷仿真装置,由拖拉机动力输出轴、万向节传动轴、增速箱和电涡流测功机、模拟犁架和液压加载器几部分组成。试验结果表明,阻力模拟加载系统中牵引力和电涡流测功机产生的制动转矩变化规律与耕深阶跃信号变化规律相同,测功机产生的制动转矩实测值与设定值变化趋势一致。该装置能在计算机控制下实现拖拉机作业负荷的实时模拟和对机组进行各种加载试验研究。

关键词 拖拉机;作业负荷;模拟

中图分类号 S 219.1; TP 391.9

文章编号 1007-4333(2004)06-0027-04

文献标识码 A

Simulation apparatus for tractor working load

Pang Changle, E Zhuomao

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To convert the resistance from the simulated unit of the tractor-implement combination to tractor working load, a simulated unit of tractor working load is designed. It was composed of the power transmission output, universal joint and propeller shaft, acceleration gearbox and electric eddycurrent dynamometer, simulated plough and hydraulic loading device. The experiment results showed that change trend both traction produced by resistance of the simulated loading system and brake torque produced by the electric eddycurrent dynamometer were same as jump signal of plough depth. The measured value changes with setting value of braking torque. This device could realize real-time simulation of tractor working load and take many loading studies on implement units.

Key words tractor; working load; simulation

动态负荷模拟加载试验是进行拖拉机、汽车及其他工作机械试验研究的重要手段。对机器的动力输出轴施加转矩载荷以达到模拟加载目的的手段,目前国内外常用的主要有各种类型测功机(如电涡流、水力、摩擦、交直流测功机)^[1]和液压泵^[2]等。在动态负荷模拟加载中,低转速大转矩的动态负荷模拟是拖拉机、车辆传动及工程机械等一类作业机械控制研究的重要方向。对低速大转矩输出轴加载时,使用电涡流测功机需要附加一个增速箱,增加了成本,但其综合性能较好因而得到广泛应用。为了简化结构,降低成本,人们研究了一些性能较好的加载系统,如湿式多片机械摩擦式加载器^[3]和液黏测功机^[4]等,都是利用摩擦片来传递加载阻力矩的,

噪音较小,具有过载保护功能。

在以往的拖拉机作业机组优化匹配控制室内仿真研究中,拖拉机是静止的,发动机负荷与悬挂农具模拟加载系统没有直接的联系,不能反映拖拉机作业机组的负荷动态特性,因此需要把它们集成为一个关联的系统才能实现拖拉机作业机组的综合控制仿真研究。为此,笔者研究并设计了可以实现拖拉机作业负荷模拟的仿真机构。

1 作业机组仿真试验系统的组成

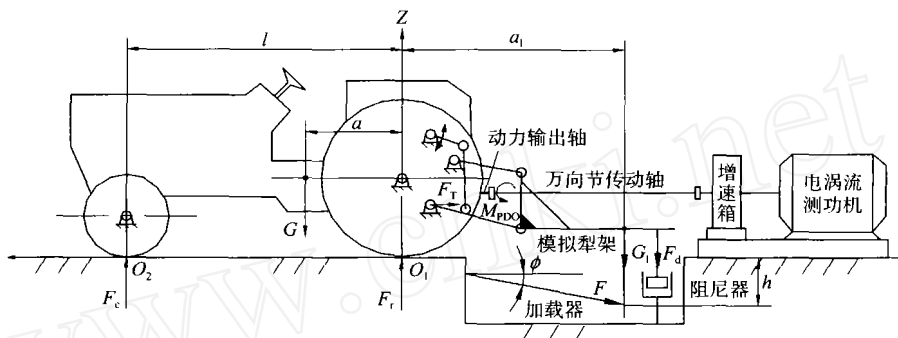
本文中以典型的拖拉机犁耕机组为例,图1示出其仿真试验系统的组成。系统由拖拉机动力输出轴、万向节传动轴、增速箱和电涡流测功机、模拟犁

收稿日期:2004-05-11

作者简介:庞昌乐,副教授,博士,主要从事智能交通及车辆智能控制、机电一体化研究。

架和液压加载器等组成。拖拉机用支架固定在地面上,电涡流测功机通过万向节传动轴和增速箱连接到拖拉机动力输出轴上,模拟犁架通过三点悬挂装

置连接在拖拉机上,其下端与液压加载器相连。由加载器施加力模拟农具的作业阻力,由电涡流测功机产生的制动转矩模拟拖拉机阻力负荷。



F_c, F_r —从动轮和驱动轮垂直反力; F —加载力; F_d —阻尼力; F_T —拖拉机牵引力;
 G —拖拉机使用重量; G_1 —模拟犁架重量; M_{PTO} —动力输出轴制动转矩

图 1 拖拉机作业机组仿真试验系统示意图

Fig. 1 Diagram of tractor-implement combination simulation test system

2 拖拉机作业负荷的实时模拟

由于拖拉机是静止的,作业机组前进速度为 0,由加载器施加给模拟农具的力只通过悬挂机构作用在拖拉机机体上,并没有通过传动系传给发动机而形成发动机工作负荷,即没有形成拖拉机真实的作业阻力。可通过一个负荷模拟转换器实现发动机负荷随模拟农具上施加的力的动态变化,在仿真控制中,它实际上是由一系列数学模型组成的。

2.1 仿真机组受力模型的建立

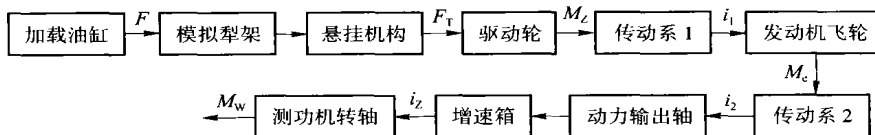
拖拉机犁耕机组实际受力情况比较复杂^[5],理论分析和仿真控制研究时,一般把受力分析简化到拖拉机的纵向对称平面进行^[6]。本设计的仿真控制中也采用此方法对问题进行适当简化(图 1)。土壤阻力的合力作用在假想的中间犁铧上,土壤对农具垂直和水平方向摩擦阻力(包括土壤对犁侧板的

摩擦阻力)的综合影响用 2 个油缸来模拟,垂直方向的摩擦阻力由加载油缸的垂直分力和阻尼油缸的阻尼力综合模拟,水平方向的摩擦阻力由加载油缸的水平分力模拟,加载油缸与水平方向的夹角 ϕ (即加载力 F 与水平方向的夹角)可调, ϕ 值一般在 15° 以内。

仿真机组受到以下外力的作用:拖拉机的使用重量 G, N ; 模拟犁架重量 G_1, N ; 加载油缸施加的加载力 F, N ; 阻尼力 F_d, N , 可调; 电涡流测功机加给动力输出轴的制动转矩 $M_{PTO}, N \cdot m$; 前轮和后轮的垂直载荷, N 。

2.2 发动机负荷模拟转换器数学模型的建立

对加载力 F 进行一系列转换计算后,得到等效到电涡流测功机转轴上的等效转矩 M_w , 即电涡流测功机应施加的制动转矩。阻力转换传递路线见图 2。



F_T —拖拉机牵引力; M_z —驱动轮驱动转矩; M_e —发动机输出转矩。传动系 1 为驱动轮—变速箱—发动机飞轮的主动动力传动路线,总传动比 i_1 ; 传动系 2 为发动机飞轮—变速箱—动力输出的轴动力输出传动路线,总传动比 i_2 。

图 2 阻力转换传递路线示意图

Fig. 2 Diagram of resistance conversion transfer route

1) 驱动轮驱动转矩的数学模型。

加载油缸施加给模拟犁架的加载力 F , 可以分解为水平分力 F_x 和垂直分力 F_z

$$\begin{cases} F_x = F \cos \phi \\ F_z = F \sin \phi \end{cases}$$

式中: ϕ 为加载油缸轴线与水平方向的夹角。从驱动轮和驱动轮的垂直反力

$$F_c = \frac{G \cdot a - (G_1 + F_z) \cdot a_1 + F_x \cdot h}{l}$$

$$F_r = \frac{G \cdot (l - a) + (G_1 + F_z) \cdot (a_1 + l) - F_x \cdot h}{l}$$

式中: a 为拖拉机重心至后轮轴心的水平距离, m; a_1 为模拟犁架重心至后轮轴心的水平距离, m; l 为拖拉机前后轮轴心的水平距离, m; h 为耕作阻力合力作用点到驱动轮接地点的垂直距离, m。驱动轮的驱动力

$$F_q = F_x + f(Z_f + Z_r)$$

式中: f 为滚动阻力因数; Z_f, Z_r 分别为前后轮垂直正压力, N。则驱动轮驱动转矩 M_z 的数学模型为

$$M_z = F_q r_q$$

式中: r_q 为驱动轮动力半径, m。

2) 电涡流测功机制动转矩的数学模型。

将 M_z 转换到发动机飞轮上, 得到

$$M_e = \frac{M_z}{i_b i_c i_s}$$

式中: M_e 为发动机输出转矩, N·m, 它与驱动轮转矩 M_z 对应; i_s 为轮边减速行星齿轮系传动比; i_c 为中央传动锥齿轮副传动比; i_b 为拖拉机变速箱当前挡传动比; η 为发动机至驱动轮总传动效率。将 M_e 转换到测功机转轴上, 得到电涡流测功机制动转矩

$$M_w = M_e \times i_d i_z$$

式中: i_d 为动力输出轴传动比; i_z 为增速箱传动比 ($i_z < 1$); η 为发动机至测功机的总传动效率。

M_w 作为测功机的设定制动转矩, 通过调节测功机的励磁电流产生, 并通过动力输出轴施加给发动机, 形成发动机的阻转矩, 这样就可以利用测功机的制动转矩模拟实际作业中拖拉机作业机组的各种负荷情况。

3 仿真试验与结果分析

3.1 仿真试验

为检验发动机负荷模拟转换器数学模型的正确性和电涡流测功机跟随加载载荷变化的动态响应情况, 进行了拖拉机作业负荷模拟仿真试验。

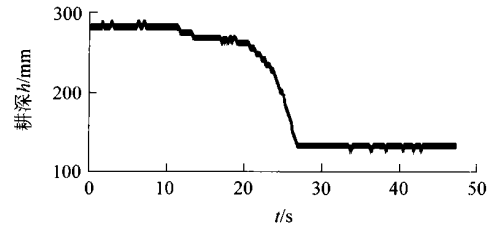
给定耕作阻力一个输入信号, 观察机组的动态响应; 测功机控制方式为恒转矩方式, 由计算机进行外部设定控制。

加载系统有位调节、力调节和力位综合调节 3 种调节模式, 仅以位调节模式介绍发动机负荷仿真试验结果^[7]。

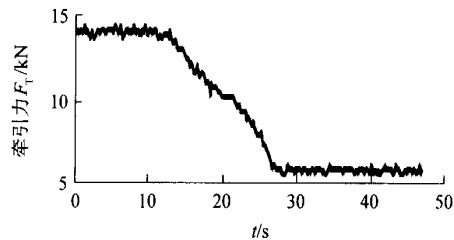
阻力模拟加载系统在耕深稳定于 280 mm 后, 给一个负阶跃 (调至 130 mm) 输入信号, 计算机测出整个负荷模拟系统的瞬态响应特性 (图 3)。

3.2 结果分析

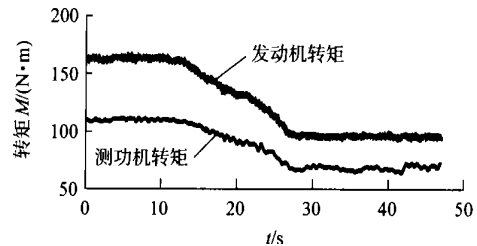
从图 3 可以看出, 阻力模拟加载系统中牵引力



(a) 耕深响应曲线



(b) 牵引力响应曲线



(c) 电涡流测功机动态响应曲线

图 3 拖拉机仿真机组负荷模拟试验曲线

Fig. 3 The load curve of the simulated tractor unit

和电涡流测功机产生的制动转矩变化规律与耕深阶跃信号变化规律相同。图 3(c) 中, 发动机转矩根据牵引阻力由数学模型计算得到, 作为设定值加给电涡流测功机产生制动转矩; 测功机产生的制动转矩实测值与设定值变化趋势一致, 相位有较小的滞后(测功机系统固有的响应特性所致), 幅值相差 i 倍(变速箱至增速箱总传动比与传动效率的乘积)。

4 结 论

1) 采用电涡流测功机可以方便地对拖拉机的动力输出轴加载;

2) 本文中所建立的负荷模拟数学模型是正确的, 电涡流测功机产生的制动转矩能够实时地跟随牵引阻力的变化, 真实地模拟拖拉机作业负荷;

3) 所建立的试验系统能满足机组综合控制的试验要求。

参 考 文 献

- [1] 刘庆丰. 南峰 CW 系列测功机市场分析与营销策略研究[D]. 北京:北京航空航天大学, 2000
- [2] 马越. 大功率综合传动试验台控制系统研究[D]. 北京:北京理工大学, 2002
- [3] 苗香雯, 崔绍荣, 何法才. 低速大扭矩室内动态模拟加载器及其控制系统[J]. 农业机械学报, 1993, 24(2): 91~94
- [4] 蔡笃景. 液体粘性(HVD)的转速闭环控制和动态稳定性研究[D]. 北京:北京理工大学, 1990
- [5] 周志立. 拖拉机犁耕机组系统性能分析和匹配方法研究[D]. 吉林:吉林工业大学, 1993
- [6] 周一鸣主编. 拖拉机理论[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1993
- [7] 庞昌乐. 拖拉机作业机组仿真系统控制策略和模糊综合控制的研究[D]. 北京:中国农业大学, 2002

科研简讯 ·

我校三项“跨越计划项目”通过农业部验收

2004 年 10 月 19—21 日, 农业部在呼和浩特市和西安市组织了“跨越计划项目”的验收, 我校承担的 3 个项目均通过验收。

工学院刘德旺教授承担的“饲草、秸秆机械化加工技术与机具的中试示范”项目全面超额完成合同规定的技术经济指标, 取得了饲草秸秆高温快速干燥、大截面压块等核心技术的重大突破。

工学院高焕文教授承担的“机械化保护性耕作技术及关键机具中试与示范”项目全面完成并部分超额完成了合同规定的各项任务。完成 4 种免耕播种机, 达到了定型产品要求; 完成了配套技术体系, 提出了适合 4 种类型区的 8 种机械化保护性耕作体系, 形成了小麦机械化保护性耕作技术体系、旱地玉米机械化保护性耕作技术规范; 完成中试面积 4 900 hm^2 , 带动山西省 24 万 hm^2 , 向周边省区辐射 35 万 hm^2 。

动科学院李德发教授承担的“安全高效微生物饲料添加剂生产与使用技术中试”项目摸清了核心技术产品由 0.5 t 级到 5 t 级放大过程的适宜工艺参数; 采用微胶囊包衣等后续工艺保证了产品的稳定性, 通过动物实验确定了该产品在畜禽饲料中的最佳添加量; 生产性能指标高于使用抗生素群体的效果; 通过技术的有机整合, 制定并推广了无抗生素饲料加工、猪鸡饲养管理技术和利用产品处理秸秆技术操作规程等系列技术操作规程; 建立了安全无公害饲养技术体系。

(科技处供稿)