

静液驱动二次调节扭矩加载系统实验

战兴群¹, 张炎华¹, 赵克定²

(1. 上海交通大学仪器工程系, 上海 200030; 2. 哈尔滨工业大学机械工程系, 哈尔滨 150001)

[摘要] 静液驱动二次调节技术是一项新颖的液压传动技术, 所描述的二次调节扭矩加载系统是为减速箱、材料等进行不同转速下加载实验而设计的。论述了加载实验台的硬件结构, 包括选用的传感器、电液伺服阀以及计算机数据采集卡的性能指标; 设计了计算机控制系统与传感器、电液伺服阀之间的信号调理板电路, 并编制了基于 Windows 的 Visual C++ 控制程序。在不同压力、不同负载条件下对加载系统中的转速子系统进行了阶跃、方波、斜坡和正弦响应实验。

[关键词] 静液驱动; 二次调节; 加载; 实验

1 引言

静液驱动二次调节加载系统是利用二次调节原理设计而成的。二次调节技术自诞生以来, 在德国和日本等国家已广泛应用。文献[1]从一种新的角度论述了二次调节技术的基本原理。二次调节系统的静态调速特性有别于传统的液压系统, 在典型的重力负载和恒转矩负载的条件下, 表现出类似电机拖动系统的特性^[1,2]。通过理论建模得知, 二次调节加载系统是一个耦合的非线性系统^[3], 其解耦控制可以通过软件和硬件的方式实现^[4,5]。二次调节加载系统的控制有多种方案, 例如, 传统的 PID 控制, 神经网络优化的 T-S 模糊模型控制^[6], 根据加载曲线为特定轨迹模拟特性采用基于神经网络的自学习控制方案^[7,8]。笔者在以上研究工作的基础上, 建立了二次调节加载系统样机, 实现了计算机控制系统, 继而进行了有关的实验研究, 得到了一些有益结论。

2 二次调节加载实验台描述

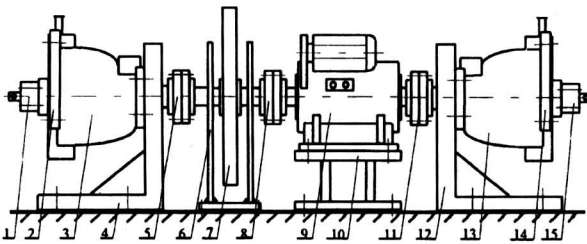
二次调节扭矩加载实验装置由三部分构成: 油源、加载系统和计算机控制系统。油源向系统提供

恒定的工作压力, 主要包括恒压变量泵、电动机、液压蓄能器和油箱等部件。加载系统的功能是进行转矩和转速的调节, 以满足加载件对不同转速、转矩的要求, 主要包括二次元件、转速转矩传感器、直线位移传感器、电液伺服阀和加载件等部分。计算机控制系统完成信号采集、处理和输出等功能, 主要包括一台 PC486 兼容机、输入信号处理电路、数据采集电路以及相应的软件部分。加载系统硬件结构如图 1 所示, 其数学模型描述可参阅文献[3]。

采用一台 PC-486 兼容机作为转矩系统和转速系统的控制机, 同时该机还完成与用户的交互。PC 机与转速转矩传感器、位移传感器以及电液伺服阀等外设的通讯, 通过 HY-8021 数据采集板和自行设计的接口电路实现。

转速转矩传感器的输出电压信号较小, 为保证较高的采样精度, 在其进入数据采集板之前将其进行滤波放大, 其中考虑了信号传输过程中干扰信号的滤除和信号微调功能。

测量二次元件控制油缸位移的差动式直线位移传感器带负载能力很弱, 因此在其电路中另增加一个输入端射极跟随器来提高带载能力。



1—FF102G 电液伺服阀；2, 14—FX61 直线位移传感器；3—ZBY-40 轴向柱塞变量泵（泵工况）；4, 12—弯板；5, 8, 11—联轴器副；6—支架；7—负载盘；9—ZJ 转速转矩传感器；10—底座；13—ZBY-40 轴向柱塞变量泵（马达工况）；15—SFL-5A 电液伺服阀

图 1 二次调节加载实验台结构示意图

Fig.1 Diagram of a secondary regulated loading equipment

加载装置使用的 SFL-5A 和 FF102G 电液伺服阀都具有很大零偏，为消除零偏而又不增加软件计算量，采用了硬件电路调零方式；另外，电路输出级采用共轭推挽功率输出方式，并限制其最大输出电流在 10 mA 以内。

采用 Visual C++ 语言，用 MFC 库编写了基于对话框的 Windows GUI 程序。程序具有以下特点：**a.** 用各种控件接收用户输入程序，指令信号输入、控制器类型、参数都可随时录入并显示；**b.** 为了提高运算速度，A/D、D/A 用汇编语言完成；**c.** 实时控制程序除具有控制功能外，还完成系统运行前后二次元件斜盘的零位调整和超速保护功能；**d.** 系统采样结果实时、分屏显示在显示器上；**e.** 如果需要，采样和控制数据可以按用户指定的路径，存入指定的文件中。定时处理程序的流程图如图 2 所示。

3 不同压力负载下二次调节转速控制实验研究

在恒压网络调定压力分别为 5 MPa、10 MPa，恒转矩负载分别为 5 N·m、10 N·m、30 N·m 情况下，进行了二次调节转速控制系统响应阶跃、方波、斜坡和正弦信号的实验研究。部分实验曲线如图 3 至图 10 所示。

由实验曲线可得以下结果：

1) 超调引起的转速波动会影响测试结果，甚至导致试件不应有的损害。因此，所有实验曲线都是在保证较小超调的前提下，提高系统的性能指标。

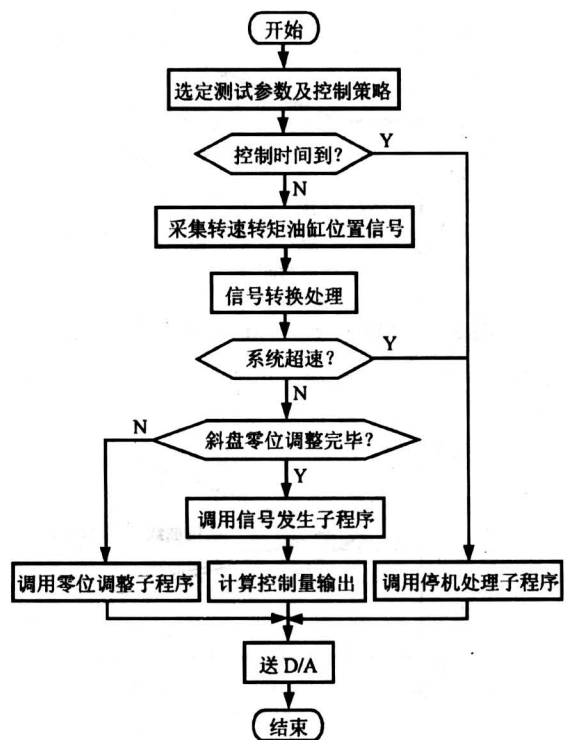


图 2 定时处理程序流程图

Fig.2 Flow diagram for timing processing program

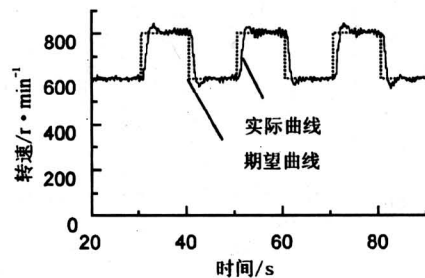


图 3 5 MPa, 5 N·m 方波响应曲线

Fig.3 5 MPa, 5 N·m rectangle response

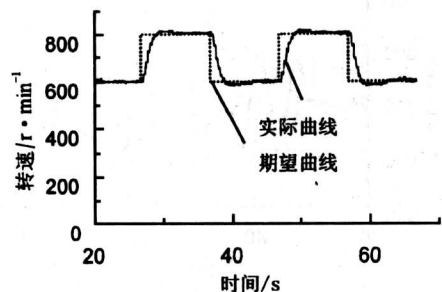


图 4 10 MPa, 30 N·m 方波响应曲线

Fig.4 Rectangle response under 10 MPa, 30 N·m

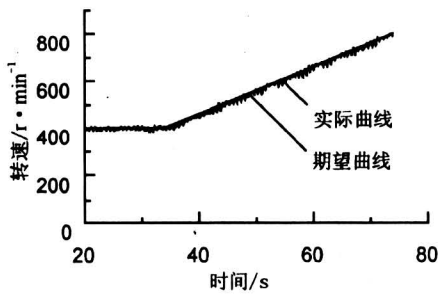


图5 5 MPa, 5 N·m 斜坡响应曲线
Fig.5 Ramp response under 5 MPa, 5 N·m

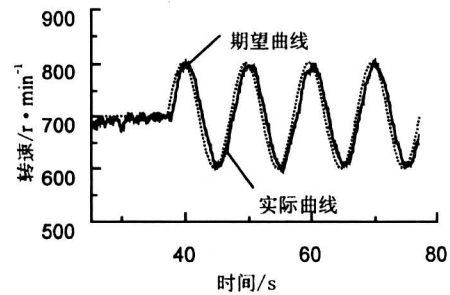


图9 10 MPa, 30 N·m, 0.1 Hz 正弦响应
Fig.9 0.1 Hz response under 10 MPa, 30 N·m

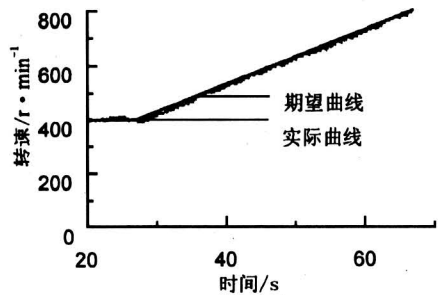


图6 10 MPa, 30 N·m 斜坡响应曲线
Fig.6 Ramp response under 10 MPa, 30 N·m

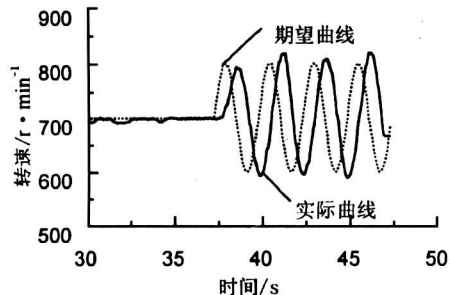


图10 10 MPa, 30 N·m, 0.4 Hz 正弦响应
Fig.10 0.4 Hz response under 10 MPa, 30 N·m

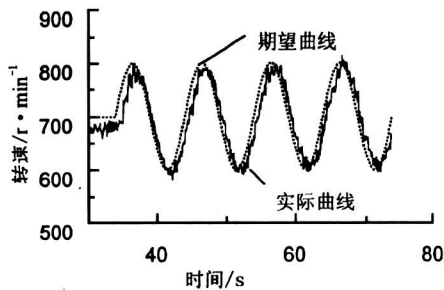


图7 5 MPa, 5 N·m, 0.1 Hz 正弦响应
Fig.7 0.1 Hz response under 5 MPa, 5 N·m

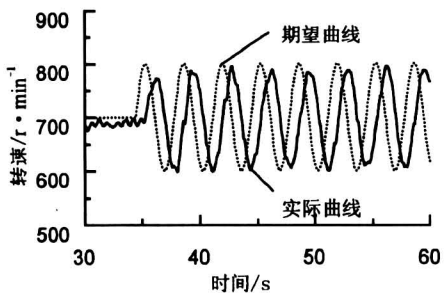


图8 5 MPa, 5 N·m, 0.3 Hz 正弦响应
Fig.8 0.3 Hz response under 5 MPa, 5 N·m

2) 二次调节系统在高压下的响应速度优于低压^[3]。油源压力 5 MPa 时的最短响应时间是 2 s，而 10 MPa 时达到 1.2 s。5 Mpa 时，0.3 Hz 以内的正弦响应能够满足 -90° 相移的要求（见图 8），而 10 MPa 时可以达到 0.4 Hz（见图 10）。其原因是油源压力增高，提高了系统的开环放大倍数。

3) 当负载变大时，阶跃响应速度变慢。例如在 10 MPa 压力、30 N·m 负载下，系统阶跃响应时间减慢到 5 s^[3]。在 5 MPa 压力、10 N·m 负载下，响应速度减慢不明显，其原因是该加载台上二次元件的排量较小，当负载太大时，无法运行，因而实验中设置的负载变化不大（从 5 N·m 到 10 N·m），使得对比效应不明显。负载变大而阶跃响应变慢的原因是，二次元件的排量小，当负载变大时，斜盘调整到最大位置时输出的转矩与负载转矩的差值变小，从而影响了阶跃响应上升段的加速度，使得上升时间变长。

4) 当斜坡响应斜率不太大时，压力变化和负载变化对跟踪效果几乎没有影响（见图 5 和图 6）。其原因是斜盘始终工作于线性区，斜盘变化缓慢。

5) 对于方波响应，当跃变幅度不大时，同样

具有类似的结果 (见图 3 和图 4)。其原因与结果 4 相同。

6) 压力低时, 转速波动较大。这一点在阶跃响应中反映得尤为明显^[3]。其原因是, 该加载装置液压蓄能器的充气压力是 6 MPa, 当压力低时, 蓄能器正处于不稳定工作区, 不仅没有起到吸收压力脉动的作用, 反而加剧了油源的压力波动, 从而导致转速控制失稳。在油源压力调定 5 MPa 做阶跃响应实验时, 也发现油源压力表摆动幅度很大。因此, 如果该装置真正用于实际试件的加载, 必须将油源压力调到液压蓄能器的稳定工作区。

4 结语

设计并提供了较为完整的二次调节加载系统的软硬件实现过程, 并对该装置中的转速系统进行了不同压力、不同负载下的阶跃、方波、斜坡和正弦响应实验研究。实验表明, 二次调节系统在高压下的响应速度优于低压; 当负载变大时, 阶跃响应速度变慢; 当斜坡响应斜率不太大时, 压力变化和负载变化对跟踪效果几乎没有影响; 当液压蓄能器处于不稳定工作区时, 转速控制波动较大。

参考文献

- [1] 战兴群, 张炎华, 赵克定. 重力负载条件下二次调节技术的静态调速特性[J]. 上海交通大学学报, 2001, 35(5): 721~724
- [2] 战兴群, 张炎华, 赵克定. 恒转矩负载条件下二次调节技术的静态调速特性[J]. 机床与液压, 2001, (3): 49~51
- [3] 战兴群, 张炎华, 赵克定. 二次调节扭矩加载系统动态特性的研究[J]. 中国工程科学, 2000, 2(7): 47~54
- [4] 战兴群, 张炎华, 赵克定. 静液驱动二次调节扭矩加载装置解耦控制[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(11): 1501~1503
- [5] 战兴群, 张炎华, 赵克定. 静液驱动二次调节扭矩加载装置的硬件解耦方法[J]. 上海交通大学学报, 2001, 34(11): 1497~1500
- [6] Zhan X Q, Zhai C R, Zhao K D. Neural optimized TAKAGI-SUGENO model control for electro-hydraulic servo systems [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems [C], Vienna, Austria, Sept 1998. 223~227
- [7] 战兴群, 翟传润, 赵克定. 基于神经网络学习控制的液压转台偏载干扰的抑制[J]. 中国惯性技术学报, 1998, 6(4): 109~112
- [8] Zhan X Q, Zhao K D, Wu S L. Iterative learning control for nonlinear systems based on neural networks [A]. Proceedings of the IEEE First International Conference on Intelligent Processing Systems [C], Beijing, China, Oct 1997. 517~520

Experiments on a Secondary Regulated Loading System

Zhan Xingqun¹, Zhang Yanhua¹, Zhao Keding²

(1. Department of Instrumentation Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

[Abstract] With secondary regulation, a novel hydraulic transmission technology, the secondary regulated loading system described here is oriented to rotational speed experiment of reduction gear or material. In this paper, the hardware structure of the system is introduced with specialties of the transducers, electro-hydraulic servo valves and the computer data collector used. Then, signal-adjusting circuit between computer control system and transducers or servo valves is designed. Next, a VC++ control program under Windows operating system is worked out. Experiments on Step, Rectangle, Ramp and Sine Responses of the speed sub-system are done under alternative oil pressure and load. Finally, some meaningful results are given by contrasting the experimental curves.

[Key words] hydrostatic driving; secondary regulation; loading; experiments