

# 浅谈 20 kN 动三轴试验机控制系统抗干扰

王平<sup>1</sup>, 王兰民<sup>1</sup>, 董海峰<sup>2</sup>, 杨江<sup>3</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 天水红山试验机有限公司, 甘肃天水 741000; 3. 中国地震局地震研究所, 湖北武汉 430071)

**摘要:**以天水红山试验机有限公司生产的 20 kN 动三轴试验机为例, 分析了动三轴试验机控制系统的主要干扰因素, 尝试从硬件和软件两方面采取抗干扰措施, 为解决同类试验机设备控制系统中的干扰提供了参考。

**关键词:** 动三轴试验机; 控制系统; 抗干扰; 硬件; 软件

**中图分类号:** TM873; P315.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2007)02-0141-04

## Discussion on Anti-interference of the Computer Control System in 20 kN Dynamic Triaxial Apparatus

WANG Ping<sup>1</sup>, WANG Lan-min<sup>1</sup>, DONG Hai-feng<sup>2</sup>, YANG Jiang<sup>3</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Tianshui Hongshan Testing Machine Ltd., Gansu Tianshui 741000, China;

3. Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** Taking the 20 kN dynamic triaxial apparatus made by Tianshui Hongshan Testing Machine Ltd. as an example, the main interference factors in the control system of this machine are analyzed, and some anti-interference measures from both hardware and software are adopted. The work can provide a method for anti-interference of control system in similar testing equipment.

**Key words:** Dynamic triaxial apparatus; Control system; Anti-interference; Hardware; Software

### 0 引言

目前国内不少高校、科研所在土的动三轴试验中采用了先进的计算机控制方法。如图 1 所示的 20 kN 动三轴试验机由兰州地震研究所与天水红山试验机有限公司共同研制, 其电气控制原理如下: 首先根据试验要求向试样施加负荷, 负荷通过力传感器、位移传感器, 压力传感器转变为电信号, 经过电气放大后输出; 一路作为闭环控制输出信号, 另一路输出到计算机 D/A 板, 用于计算机数据处理和控制 D/A 板产生输出试验要求的给定信号, 该给定信号与反馈信号在伺服控制器中进行比较, 其差值即

为误差信号; 此误差信号经过功率放大器放大后用来驱动电液伺服阀, 完成系统的闭环控制<sup>①②</sup>。

计算机控制的引入, 为三轴试验带来了一场革新。首先可以获得高质量的试验数据, 同时克服了手动操作给试验过程带来的许多不利因素。但在实际的试验中, 动三轴试验机的计算机控制系统设备和工作信号极易受到试验现场的各种因素的干扰, 大量干扰信号存在, 将会给整个控制系统带来很大影响。具体表现在: 数据受干扰而发生变化; 数据采集误差增大; 采集信号失真; 程序运行失常; 控制状态失灵。本文以天水红山试验机有限公司生产的

收稿日期: 2007-01-15

基金项目: 科技部社会公益专项(2004DIB3J130); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20070039

作者简介: 王平(1977-), 男(汉族), 陕西神木人, 研究实习员, 主要从事仪器维护。

① 天水红山试验机有限公司. 20 kN 动三轴试验机使用说明书, 2001.

② 天水红山试验机有限公司. 20 kN 动三轴试验机研制报告, 2001.

20 kN 动三轴试验机为研究对象,分析其主要干扰因素,并从软件和硬件两方面采取抗干扰措施。

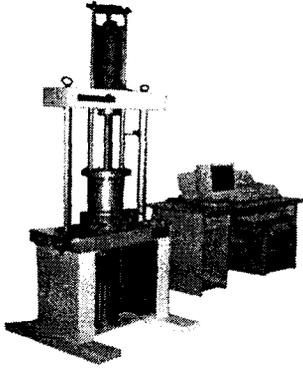


图1 20 kN 动三轴试验机

Fig. 1 The 20 kN dynamic triaxial apparatus.

## 1 动三轴试验机控制系统的主要干扰

### 1.1 液压装置的干扰

液压装置在相对运动过程中磨损产生的固体颗粒以及液压油在工作过程中由于物理化学变化产生的污染物,将加速阀类元件(本试验机采用的电液伺服阀为喷嘴挡板式)的磨损和腐蚀;空气的混入降低油液的体积模量,引起气蚀,降低了油液的润滑性,加速了元件的磨损,同时会产生噪音。



图2 阀芯表面腐蚀及磨损形貌<sup>[3]</sup>

Fig. 2 The photo of erodent and wearing on the spool face.

电液伺服阀的磨损和腐蚀见图2,图右侧粗大的平行条纹为摩擦损伤痕迹,左侧为局部腐蚀的显微形貌特征。磨损导致了元件自身的性能下降,甚至引起泄漏失效,主要体现为电液伺服阀的压力增益(压力放大系数)过小,影响伺服阀的响应速度,从而影响整个控制系统的性能。

在试验过程中,由于液压源设计的原因自身会产生振动,经测量振幅 $\geq 1$  mm。而相关的规范规定

三轴试验机工作时的噪音应低于75 dB,台面的振幅应低于0.003 mm。当液压源与工作台之间距离过近,液压装置的振动将传递给试验机工作台,振动和液压源噪音、元件本身的气穴现象产生噪音,数据采集后放大后将对试验结果产生不利的影响。由于噪音、振动对试验机控制系统的干涉,往往会出现试验结果误差过大,这种现象的存在对试验机的精准控制是不利的<sup>[4]</sup>。

### 1.2 电源的干扰

控制系统中电源被污染是对系统最严重的干扰。我国工频电采用的标准50 Hz,在电网中由于使用各种用电设备带来的各种干扰源会使电源波形发生畸变,并伴随磁场在电路导线中产生交变的电动势,电源中会含有多种高次谐波。高次谐波容易使电机颤振,用电设备过热,直接干扰和破坏控制系统中仪表、电气元件的电路特性,影响其性能的正常工作的,甚至会造成计算机和仪表的损坏。

### 1.3 地线的干扰

接地设计的目的在于消除各电路电流流经公共地线阻抗时所产生的共阻抗耦合干扰,避免使电路受磁场和地电位差的影响,即不使其形成地电流环路,从而避免地环路电流与其它电路产生磁耦合干扰。

控制系统的接地与一般电器设备的接地有很大的差别,不良和方法不正确很容易产生地线间压降。一般来说,设备各组成部分如控制系统、动力系统、执行系统等如果地线共线,公共地线各点电位不均将产生干扰。多点接地如图3所示,干扰源 $e_{AB}$ 与信号源 $e_x$ 同时被送入电测量放大电路进行放大,然后又送至记录仪表进行记录,这样所得到的测量结果就有可能完全失真,致使测量无效。此外干扰可通过地线穿入控制系统,干扰整个系统的正常运行。

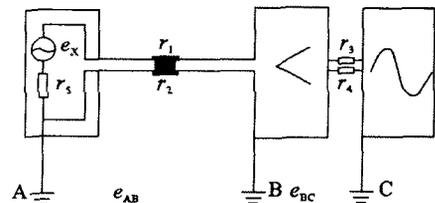


图3 多点接地等效电路图

Fig. 3 The multipoint earthing equivalent circuit diagram.

经过对试验机全面分析,发现该试验机测量结果受液压装置振动干扰比较大;由于电液伺服阀工作性能的降低,影响了试验机工作稳定性;同时试验

机存在电源干扰,大功率设备接入会使采样波形发生畸变。上述问题解决好坏将直接影响到测量结果的准确性和试验机工作的稳定性。

## 2 控制系统的硬件抗干扰措施

一般来说,防止干扰的措施包括两种形式:一种是对干扰源采取防止措施;另一种是被干扰一方采取防止措施。

### 2.1 液压元件的抗干扰

对油源、滤清器定期作彻底的检查,做好密封,能有效地减少液压元件的磨损,提升其电液伺服阀的工作性能。

为了减轻振动干扰、噪音干扰对试验结果的影响,可在能有效减小油源振动对试验结果影响的前提下,缩短油源与工作台的距离。

对于液压部分可采取以下措施减小其振动和噪音:在保证所需的功率和流量的前提下选转速低的液压泵,消除泵内部的液压里的急剧变化;给装有泵的油箱增加橡胶垫来减振消音;通过采用直径较大的吸油管减小管道局部的阻力来提高泵的自吸性能;采用大容量的吸油滤油器等方法防止产生气穴现象。

上述方法的实施使控制系统受振动影响得到了明显的减小,同时通过对电液伺服阀参数的优化和保养、工作环境的改善,伺服阀工作的稳定性也得到了明显的提高。

### 2.2 电源的抗干扰设计

#### 2.2.1 在试验装置内部采取的抗干扰措施

##### (1) 滤波器的使用

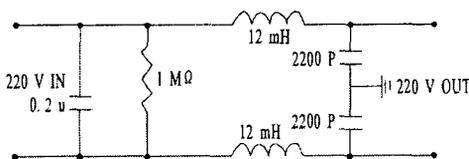


图 4 50 Hz 电源滤波电路图<sup>[5]</sup>

Fig. 4 The 50 Hz source filter circuit diagram.

为防止电力线上侵入电力谐波,可以采取在装置内部增加滤波电路,通过带通、低通等滤波器的滤波作用达到减少或降低电力谐波的干扰的目的。首先要通过干扰仪器来检测了解干扰源的频谱、干扰源在频带中的分布情况、干扰波的幅值等,以便有针对性地选择滤波器的种类或者针对性地设计滤波器。对于 220 V 交流电源,一般推荐使用图 4 所示电路图滤除高次谐波。

##### (2) 前置差动放大器的使用

在微小信号放大仪器中,微弱信号放大器对电网谐波的干扰更为敏感。来自电源的干扰一般可看成是一种共模干扰,为了有效地抑制它在这一类仪器的放大电路中一般在输入级采用了差动放大器,因其具有良好的共模抑制比(一般达 80~90 dB)。

##### (3) 芯片滤波器的使用

由于印刷电路板连接线电感的存在,使得电流在突变的情况下将产生相当大的电压降,特别是随着印刷电路板上元器件密度的增加,以及大规模集成电路、高速电路的广泛使用,电路工作时电流突变将更为严重,所产生的噪音电压也将更大。要有效地抑制这种电源线上的电压波动,需要在电源线上加上旁路电容。芯片滤波电容的接法是在芯片供电的电源端和地之间按就近原则跨接,达到较好的滤波效果。

#### 2.2.2 在实验装置外部采取的措施

对电网电压波动产生的干扰如过压和欠压、浪涌和下跌等,采用交流稳压设备是解决问题的非常有效的办法之一。在如图 5 所示的抗电源干扰电路中采用了具有多个抽头的超级隔离变压器,每个抽头都由一个电子开关来控制,所有电子开关的输出都接在一起,并连在稳压器的输出端子上。电子开关的工作受输出控制电路控制,保证任何时候只有一个电子开关处在接通状态,同时保证稳压器的输出电压最接近于额定输出电压。

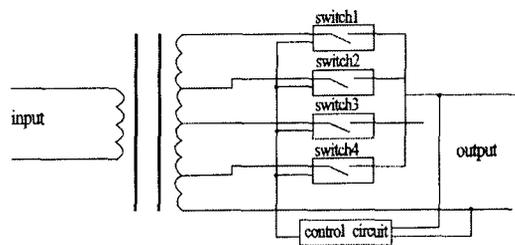


图 5 稳压电路

Fig. 5 The stabilivolt circuit diagram.

一般来说,设备地线可采取以下几条接地方式:一条是低电平电路地线(即信号地线),包括数字地、模拟地、信号地和直流地等;一条是噪声地线,即继电器、电动机、高功率电路的地线;还有一条是机壳接地点,专供机械外壳、机身、机架、底盘使用,此地线应该和交流电源的地线相接,公共地线各点电位不均将产生干扰将被有效的消除。

对图 3 所示的电路,我们可采取在 B 点一处接地的方法,截断干扰源进入电测量系统、特别是进入测量系统输入回路的通道。

### 3 控制系统的软件抗干扰

动三轴试验机软件抗干扰研究的内容主要是消除模拟输入信号的噪声(或干扰)。根据数据受干扰性质及干扰后结果的不同,可采取不同的软件对策。

在具体的操作过程中数字滤波是一种较为常用的对策。数字滤波即运用 CPU 的运算和控制功能实现频率滤波,完成模拟滤波器类似的功能,近些年计算机运算速度的大幅提高使数字滤波在实时数据采集系统中的应用愈来愈广泛。通常在数据采集系统中采用以下一些简单的数值、逻辑运算处理来达到滤波的效果<sup>[9]</sup>。

#### (1) 算数平均值法

对于一点数据连续采样多次,计算其算数平均值,以平均值作为该点采样结果。这种方法可以减少系统的随机干扰对采集结果的影响。一般 3~5 次即可。

#### (2) 比较取舍法

当控制系统测量结果的个别数据存在偏差时,可采用比较取舍法,即对每个采样点连续采样几次,根据所采数据的变化规律确定取舍,从而剔除偏差数据。

#### (3) 中值法

根据干扰造成采样数据偏大或偏小的情况,对一个采样点连续采集多个信号,并对这些采样值进行比较,取中值作为该点的采样结果。

#### (4) 一阶进推数字滤波法

这种方法是利用软件完成 RC 低通滤波器的算法,实现用软件方法代替硬件 RC 滤波器。一阶进推数字滤波公式为

$$Y_n = QX_n + (1 - Q)Y_{n-1}$$

式中  $Q$  为数字滤波器时间常数; $X_n$  为第  $n$  次采样时的滤波器输入; $Y_n$  为第  $n$  次采样时的滤波器输出。

以上方法经过实践证明其可行性,数字滤波的

采用可进一步提高仪器数据采集的稳定性。

### 4 结语

本文提出的干扰问题是类似设备的使用中经常遇到的问题,是造成设备不能正常工作主要原因之一。通过对以上抗干扰措施的部分实施,目前本设备受干扰的影响已经较好的得到解决。

对于控制系统的抗干扰问题,可通过采取硬件措施和软件措施来解决。从根本上来说,硬件抗干扰是主动的,而软件是抗干扰是被动的。硬件抗干扰效率高,但要增加系统的投资和设备体积;软件抗干扰方法投资低,但降低了系统的工作效率。在具体的实施过程中,采用硬件抗干扰措施和软件抗干扰措施相结合的方法来解决具体的问题。

#### [参考文献]

- [1] 章宏甲,黄谊. 液压传动[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 许同乐,马金英. 液压系统中产生噪声的原因分析[J]. 煤矿机械,2005(9):125-126.
- [3] 杨振国,张鉴,陈伟庆,等. 大型火电机组油液伺服阀的失效分析与预防[J]. 华东电力,2002(3):18-22.
- [4] 中华人民共和国水利部. 土工试验专用仪器校验方法[M]. 中国水利水电出版社,1995.
- [5] 刘书明,肖科. 强弱电一体化中的防强电干扰技术[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑,2001(10):26-33.
- [6] 王峻,王兰民,李兰. 饱和砂土液化的动三轴试验判断与评价[J]. 西北地震学报,2004,26(3):285-288.
- [7] 李英,张淑贞,许康生. 小波降噪方法在地震信号处理中的应用[J]. 西北地震学报,2006,28(2):159-162.
- [8] Zhengxi Li, Jie Liu, Dehui Sun, et al. A complex control system based on the fuzzy PID control and state predictor feedback control[J]. Journal of university of Science and Technology, 2004, 11(1): 90-93.
- [9] 牛洪涛. 工控软件的抗干扰设计[EB/OL]. <http://www.xinxihua.cn/Automation/2005-09/38297.htm>