

# 一种用于高频疲劳试验机的程控系统

杨桥生 李鹤喜

(兰州铁道学院机械系, 兰州, 730070)

## A PROGRAM-CONTROLLED SYSTEM FOR THE HIGH FREQUENCY FATIGUE TESTING MACHINE

Yang Qiao-sheng, Li He-xi

(Lanzhou Railway Institute, Lanzhou, 730070)

**摘要** 本文介绍了一种用于高频疲劳试验机的程控系统, 阐述了系统的性能特点、工作原理、硬件结构和软件设计方法, 同时对载荷的模糊控制进行了讨论。

**关键词** 程控系统, 动载, 静载, 模糊控制

**Abstract** A program-controlled system used for the high frequency fatigue testing machine is introduced in this paper. The 8031 single chip microcomputer is taken as the kernel of control elements in the developed system, it will transform the static and dynamic load data inputted by users on keyboard into the load control signals of the fatigue testing machine with two 12-bit D/A converters and simultaneously sample the load signals from the prior amplifier through a multiplexer, a sample-hold and a 12-bit A/D converter, then make the automatic regulation of the dynamic and static loads based on the load errors and load error rates in accordance with the fuzzy principle so that the closed-loop controls to the dynamic and static loads are realized. The counting of the dynamic load cycles is made by INT1 interruption activated by the prior amplifier signal processed through regulation and differentiation circuits.

**Key words** program-controlled system, dynamic load, static load, fuzzy control

在疲劳与断裂力学实验中, 往往需要按一定的载荷谱对试件进行加载, 这就要求疲劳试验机要具备程控加载功能。为此我们研制了以 8031 单片机为核心的高频疲劳试验机程控系统, 与旧式程控装置相比该系统具有以下特点: (1) 采用 8031 单片机控制不但扩展了原机的功能而且消除了分立元件与继电器触点易出故障的弊端, 提高了可靠性; (2) 由于该系统不但可以动载程控也可以静载程控, 故可实现多种分级载荷谱, 例如恒应力比载荷谱; (3) 载荷级数不受 8 级限制, 可以任意多; (4) 操作简单易学, 体积小, 价格低。

## 1 系统组成与工作原理

整个程控系统由 8031 主机板、A/D-D/A 转换接口板、计数中断单元、键盘与

数码显示器以及微型打印机组成, 通过屏蔽电缆与高频疲劳试验机相连, 如图 1 所示。当接通系统电源时, 监控程序进行服务, 显示 PC-1 提示符, 表示程控系统处于待命状态, 这时用户就可以从键盘输入分级载荷谱。本系统提供了 5 种载荷谱工作方式: (1) 给定动载  $D$ 、静载  $S$  和循环次数  $N$  简称 DSN; (2) 给定各级的应力比  $R$ 、静载  $S$  和循环次数  $N$  简称 RSN; (3) 给定各级的最大载荷  $M$ 、最小载荷  $M$  和循环次数  $N$  简称 MMN; (4) 给定首级静载动载  $S$ 、步长  $S$ 、循环次数  $N$  简称 SSN; (5) 单级输出方式 SSO (相当于手动)。用户根据自己的试验需要选择一种载荷谱, 输入相应的数据后, 就可启动程控系统投入运行, 其工作过程是: 8031 单片机将用户从键盘输入的动静载荷通过 12 位 D/A 转换器送到高频疲劳试验机, 同时通过多路转换器、保持器和 12 位 A/D 转换器采集并处理从前置放大器输入的载荷信号, 与给定载荷比较从而实现了动静载荷的闭环控制。循环计数是将高频疲劳试验机的正弦动载信号经过计数单元整形微分送到 8031 单片机的 INT1 ( $P_{3.3}$ ) 脚完成的。在整个运行过程中, 数码管循环显示动静载荷, 并同时打印过程参数, 主要包括: 动载  $D$ 、静载  $S$  和循环次数  $N$  的给定值与检测值。在各循环次数控制点, 单片机自动切换动静载荷, 从而实现了用户要求的分级载荷谱实验。

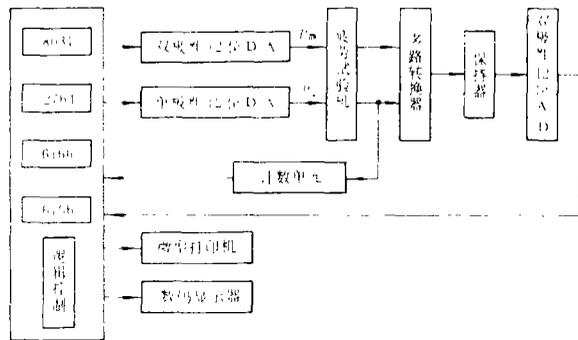


图 1 程控系统组成

## 2 硬件接口

程控系统主机板由 8031 单片机<sup>[1]</sup>、EPROM 2764、程序存储器、SRAM6116 数据存储器以及译码、定时、键盘、串行显示等逻辑控制电路组成。限于篇幅这些电路不作介绍了, 这里只介绍 12 位 D/A、A/D 转换接口的硬件结构以及它们与主机的连接方法。

### 2.1 D/A 转换接口

如图 2 所示, D/A 转换接口由两片 DAC1210 组成。由于静载输出有正负之分故采用的是双极性接法, 而动载输出仅是正信号故采用的是单极性接法。每片 DAC1210 的数据分高 8 位和低 4 位两次打入, 直接挂在主机板的数据总线上。单片机的写信号  $\overline{WR}$  与 DAC1210 的写信号  $WR1$  和  $WR2$  相连。HA 为主机板的高地址译码信号, 这里当高地址为 80H 时 HA 低电平有效。A0、A1、A2 为主机板地址总线的低三位。 $\overline{CS}$  为片选。B1/B2 为数据高 8 位与低 4 位的打入控制端,  $\overline{XF}$  为 12 位数据锁存并转换输出控制端。两片共用一个基准电源  $V_{REF}$ 。对应静载的高 8 位口地址为 8000H, 低 4 位口地址为 8001H; 对应动载的高 8 位口地址为 8002H, 低 4 位口地址为 8003H。静载的满量程与 0 位是通过 K1 和 K2 电位器调节的, 保证输出正负对称; 动载满量程靠调节 K3 完成。K4、K5、K6、K7 为运放调零电位器。有关 D/A 转换接口的访问指令:

```

输出静载: MOV DPTR, #8000H
           MOV A, #DH8
           MOVX @DPTR, A
           INC DPTR
           MOV A, #DL4
           MOV @DPTR, A
输出动载: MOV DPTR, #8002H
           MOV A, #DH8
           MOVX @DPTR, A
           MOV A, #DL4
           INC DPTR
           MOVX @DPTR, A

```

其中 DH8 表示高 8 位数据, DL4 表示低 4 位数据。

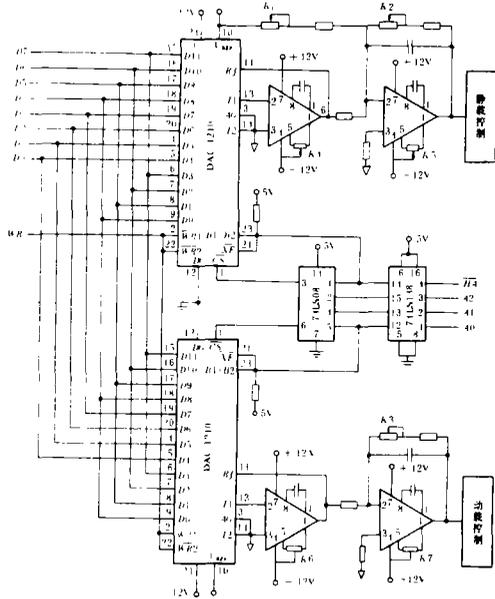


图 2 双路 12 位 D/A 转换接口电路

### 2.2 A/D 转换接口

如图 3A/D 转换接口由 AD574、CD4051 多路转换器、LF398 采样保持器等组成。采用双极性接法, 量程为  $\pm 5V$ 。HC 是主机板上 RD 读信号和 WR 写信号相与后再和高地址 90H 的译码信号逻辑或的输出, 低电平有效, 可直接作为外设地址选通信号。A0、A1、A2、A3 为主机板地址总线的低 4 位。74LS123 用于展宽启动脉冲。CS 为片选, R/C 为读与启动信号, STS 为转换结束信号。AD574 的 12 位数据线直接挂在主机板的数据总线上, 分高 8 位低 4 位两次读出转换数据。通道选择地址为 9002H, 启动 A/D 转换地址为 9000H, 读高 8 位数据口地址为 9001H 低 4 位为 9009H。主机通过查询 P<sub>1.0</sub> 位决定何时读出 A/D 转换数据。

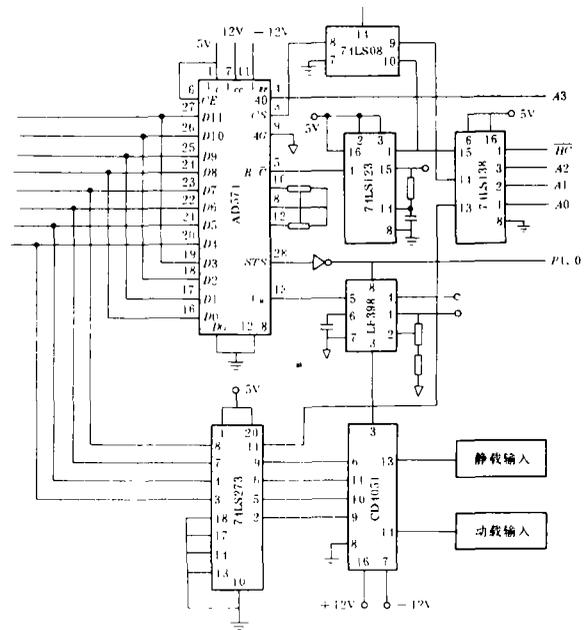


图 3 12 位 A/D 转换接口电路

有关 AD574 启动、读以及通道选择

指令如下:

```

通道选择: MOV DPTR, #9002H
           MOV A, #CH
           MOVX @DPTR, A
启动转换: MOV DPTR, #9000H
           MOVX @DPTR, A
           LAB: JNB P1.0, LAB
读高 8 位: MOV DPTR, #9001H
           MOVX A, @DPTR
           MOV 51H, A
读低 4 位: MOV DPTR, #9009H
           MOVX A, @DPTR
           MOV 50H, A

```

其中 CH 为通道选择数 00H 或 01H, 51 单元存放高 8 位数据, 50 单元存放低 4 位。

### 3 控制原理

本程控系统没有采用传统的数字 PID 调节而是应用了模糊控制原理<sup>(2)</sup>, 就是根据载荷 (包括动载与静载)  $P$  的偏差  $\Delta P$  与偏差变化率  $\Delta \dot{P}$  的大小, 按模糊规则搜索二维决策表格, 决定 D/A 的控制电压输出量, 当偏差  $\Delta P > \delta$  (载荷允许偏差, 实际上为 A/D 的最小载荷分辨率) 时, 进行模糊调节, 当偏差  $\Delta P < \delta$  时不进行调节。整个模糊控制原理如图 4 所示。

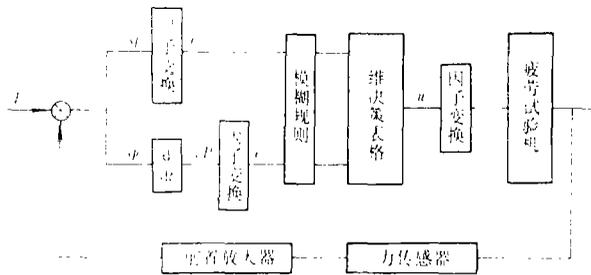


图 4 动静载荷模糊控制原理

其中:  $\Delta P$  代表载荷偏差;  $\Delta \dot{P}$  代表载荷偏差变化率;  $e$  代表规则化的  $\Delta P$ ,  $\dot{e}$  代表规则化的  $\Delta \dot{P}$ ,  $u$  代表规则化的 D/A 输出电压;  $U$  代表 D/A 实际输出电压。

这里载荷包括动载、静载两种形式, 其控制方法完全类似。设第  $i$  次采样的载荷值为  $P_i$ , 第  $i-1$  次为  $P_{i-1}$ , 第  $i-2$  次为  $P_{i-2}$ , 采样周期为  $T$ , 则第  $i$  次载荷偏差  $\Delta P_i$ , 与偏差变化率  $\Delta \dot{P}_i$  分别为

$$\Delta P_i = P_i - P_{给定} \tag{1}$$

$$\Delta \dot{P}_i = \frac{P_i - 2P_{i-1} + P_{i-2}}{T} \tag{2}$$

将  $\Delta P_i$  与  $\Delta \dot{P}_i$  规则化, 变化到  $(-6, +6)$  区间上, 利用简单的比例关系

$$y = \frac{12}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right) \quad (3)$$

这里  $x$  代表  $\Delta P_i$  或  $\Delta \dot{P}_i$ ;  $y$  代表  $e_i$  或  $\dot{e}_i$ ;  $a$  与  $b$  为  $\Delta P_i$  或  $\Delta \dot{P}_i$  的上下限。

这样通过式 (1) ~ 式 (3) 的计算就可得到  $e_i$  与  $\dot{e}_i$  值, 根据这两个值搜索控制决策表格就可得到输出量  $u$ , 将  $u$  乘上一个变换因子就得 D/A 的实际输出电压  $U$ 。

通过单片机仿真器与程控系统及高频疲劳试验机联机调试, 最后确定的控制决策表格如表 1 所示。

表 1 二维输出控制决策表

$\begin{matrix} u \\ e \end{matrix}$	$e$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6	5	6	5	6	6	6	6	3	3	1	1	0	0
-5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	1	0	0	0
-4	6	5	6	5	6	6	6	6	3	2	1	0	0	0
-3	5	5	5	5	5	4	2	1	0	0	0	-1	-1	-1
-2	4	3	3	4	3	3	3	0	0	0	0	-1	-1	-1
-1	3	3	3	4	3	3	2	0	0	0	0	-1	-1	-1
0	3	3	3	4	1	1	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3
1	2	2	2	2	0	0	-1	-3	-3	-3	-2	-3	-3	-3
2	1	1	1	-1	0	-2	-3	-3	-3	-3	-2	-3	-3	-3
3	1	0	0	0	-1	-2	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5
4	0	0	0	-1	-2	-3	-6	-6	-6	-6	-5	-6	-5	-5
5	0	0	0	-1	-3	-3	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-6
6	0	0	0	-1	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-5	-6	-5	-6

需要说明一点的是并不是一开始就进行模糊控制, 而是直接从 D/A 输出动静载荷的电压控制信号, 使其基本上等于给定动静载荷, 然后在较小的偏差范围内加入模糊控制, 这样会取得较快的动态响应。

## 4 软件设计简介

本系统开发了 6K 的监控管理软件, 占用 8031 单片机的 0000H~017FFH 地址空间, 由键盘管理、控制算法、程控载荷谱和子程序库 4 部分组成。整个软件流程如图 5 所示,  $\delta$  表示载荷允许偏差, 对于动载 (范围 0~49000N)  $\delta=49\text{N}$ ; 对于静载 (范围 -98000N~98000N)  $\delta=98\text{N}$ 。

软件设计的几个特点:

- (1) 软件开发程度较高, 能够产生 5 种分级载荷谱, 用户不需要编程, 只按提示输入有关数据就可实现预定的分级疲劳载荷谱。
- (2) 采用黑板系统与模块化结构, 层次比较清晰, 易于改动与移植。
- (3) 软件尽量使数据的输入、修改及过程参数的显示、打印简单方便, 一目了然。

(4) 软件使操作者可以随机进行键盘干预，这样就可以进行动静载荷与循环次数的动态修改，以及中止系统运行或启停打印机。

(5) 软件可以封锁误操作，而不需要任何其它处理。

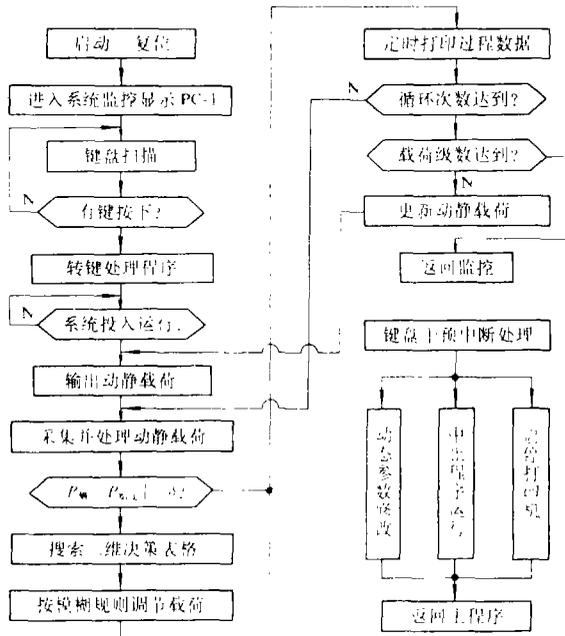


图 5 系统软件流程简图

## 5 结束语

高频疲劳试验机单片机程控系统是在我们研究开发的 Z-80 单板机程控系统 与 AP- PLE-II 系统机程控系统基础上进行改进的，经过实验室调试，其总体功能、载荷控制精度以及循环计数都达到了我们的设计要求，我们希望配上相应的传感器，将系统功能进一步扩展，使其不但具有程控加载功能而且能够进行疲劳参数的自动测试，以满足高频疲劳试验机用户的需要，

## 参 考 文 献

- 1 MCS-51™ Family of Single Chip Microcomputers User's Manual. Intel Corporation. 1981
- 2 王学慧, 田成方. 微机模糊控制理论及其应用. 电子工业出版社, 北京, 1987