



MR Fluid 测试系统说明书

中国科学技术大学电磁流变液实验室

2005 年 10 月 30 日



一、 系统介绍

(一) 硬件部分

1. 系统装置和原理图:

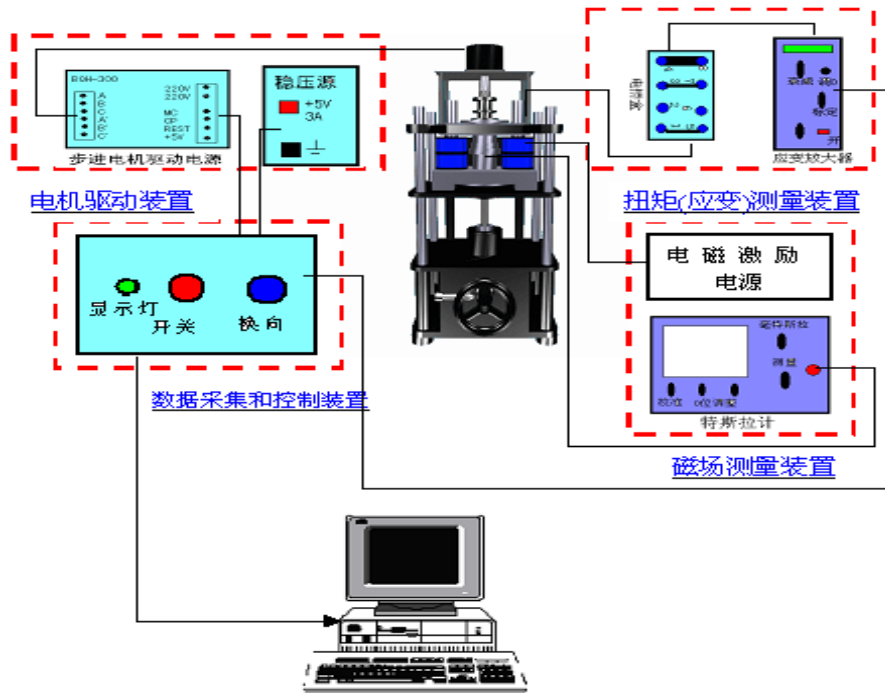


图1 磁流变液测试装置图

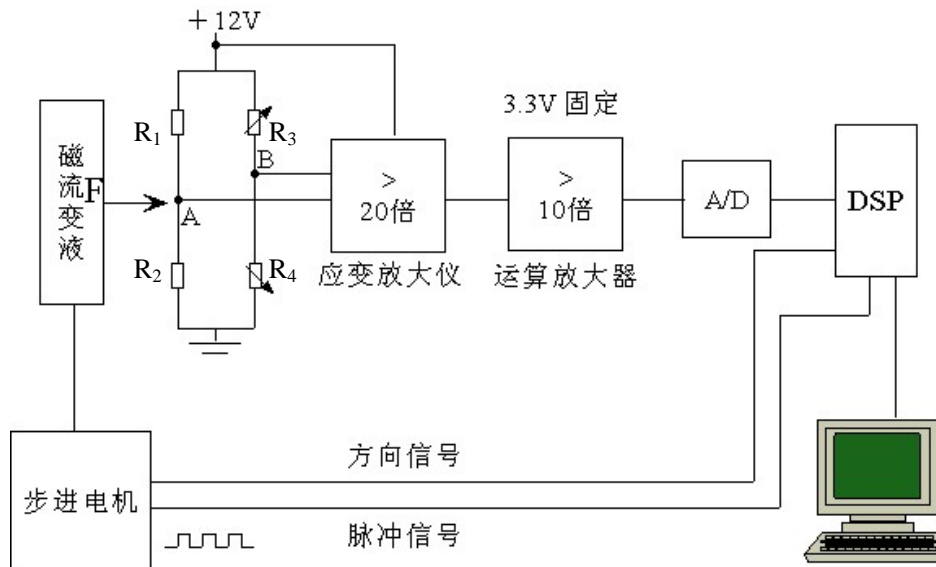


图2 基于DSP的磁流变液测试系统的测试原理

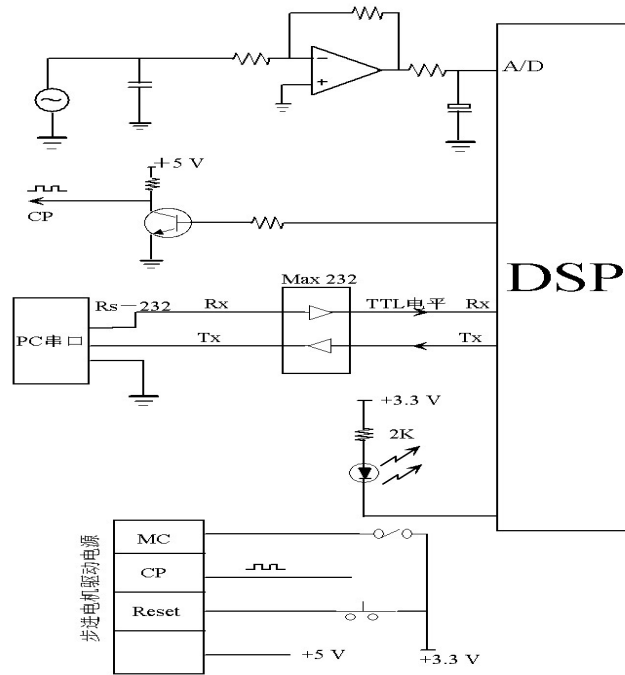


图3 采集和控制装置的电路原理示意图

2. 测试原理:

上碟片角速度为 ω ，上下碟片间隙为 h 时，在MR内某一点 (r, θ) 处，剪切屈服应力为：

$$\tau(r, \theta) = \tau\left(B, \dot{\gamma}\right) = \tau\left(B, \frac{\omega r}{h}\right) \quad (1)$$

作用在轴上的扭矩为：

$$M_t(B, \omega) = 2\pi \int_0^R \left(B, \frac{\omega r}{h}\right) r^2 dr \quad (2)$$

两边对 ω 取偏导：

$$\frac{\partial M_t}{\partial \omega} = 2\pi \int_0^R \frac{\partial \tau\left(B, \frac{\omega r}{h}\right)}{\partial \omega} r^2 dr = 2\pi \int_0^R \frac{\partial \tau\left(B, \frac{\omega r}{h}\right)}{\partial \dot{\gamma}} \frac{r^3}{h} dr$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial r} = \frac{\partial \tau\left(B, \frac{\omega r}{h}\right)}{\partial \dot{\gamma}} \frac{\partial \dot{\gamma}}{\partial r} = \frac{\partial \tau\left(B, \frac{\omega r}{h}\right)}{\partial \dot{\gamma}} \frac{\omega}{h}$$

由以上两式可得：

$$\frac{\partial M_t}{\partial \omega} = 2\pi \int_0^R \frac{\partial \tau}{\partial r} \frac{r^3}{\omega} dr \quad (3)$$

对(3.4)分部积分得：



$$\begin{aligned}\omega \frac{\partial M_t}{\partial \omega} &= 2\pi \left[r^3 \tau \left(B, \frac{\omega r}{h} \right) \Big|_0^R - \int_0^R 3r^2 \tau \left(B, \frac{\omega r}{h} \right) dr \right] \\ &= 2\pi \left[R^3 \tau \left(B, \frac{\omega R}{h} \right) - \int_0^R 3r^2 \tau \left(B, \frac{\omega r}{h} \right) dr \right] \\ \tau \left(B, \dot{\gamma} \right) &= \tau \left(B, \frac{\omega r}{h} \right) = \frac{1}{2\pi R^3} \left(\omega \frac{\partial M_t}{\partial \omega} + 3M_t \right)\end{aligned}\quad (4)$$

实验测试采用的计算公式:

$$\tau \left(B, \dot{\gamma} \right) = \frac{1}{2\pi R^3} 3M_t \quad (5)$$

所以实验拟测参数为: ①扭矩 M_t ; ②磁感应强度 B ; ③角速度 ω 。

在该系统中,数据的流程是一个闭环系统。对于测量而言,是通过分别固定变量磁感应强度 B 和频率 f , 来考察剪切屈服强度 τ 与剪切率 $\dot{\gamma}$ 以及剪切屈服强度 τ 与磁感应强度 B 之间的关系。

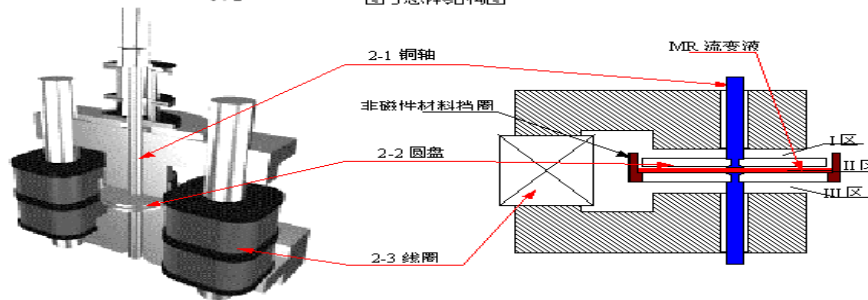
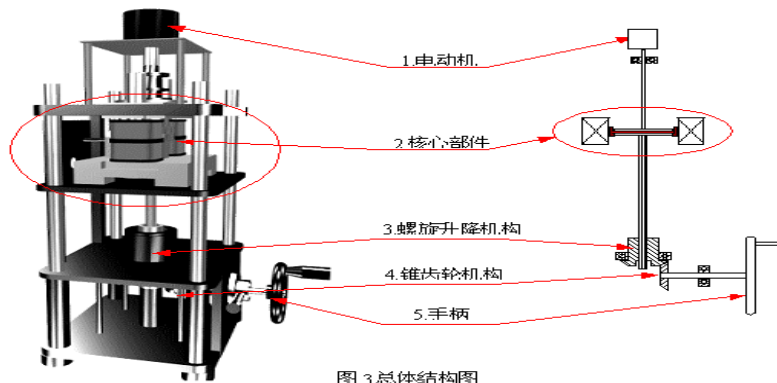
1. 扭矩的测量 图 2 中电桥上的可变电阻 R_3 和 R_4 都调节为 90Ω , 故电桥左右的比值关系固定, 扭矩 M_t 信号经过电桥的转换成相应比例关系的电压差值。在磁场作用下, 磁流变液产生的剪切力作用在下碟片, 使与下碟片刚性连接的铜轴发生扭转变形。引起贴在铜轴上成 45° 一组应变片电阻的变化, 应变放大器接收到的电压信号随之改变, 经 20 倍放大后, 进入数据采集和控制装置(电路原理如图 3 所示)。由于数据的 A/D 转换器以及 DSP 芯片的输入电压范围要求, 故输出的电压信号通过放大器进行调整, 使其能够以合适的电压大小输入数据采集和控制装置, 因此信号再次经过 10 倍放大, 并经过一个较大的电容对放大的信号进行滤波, 然后输入到 A/D 转换器, 把模拟信号转换为数字信号。数字信号进入 DSP 芯片 TMS320LF2407, 2407 将采集的数据通过收发器 MAX232 由双路 RS-232 数据线送进 PC 串口 COM1。

2. 角速度 ω 的确定 计算机产生的 TTL 信号由串口反向从双路 RS-232 数据线经收发器 MAX232 送进 DSP 芯片 TMS320LF2407, 由 2407 发送到一个三极管, 将该信号放大到 3.3V~5V, 再进入步进电机驱动电源的 CP 处来驱动电机的旋转。该 TTL 频率的数值由人工输入计算机, 一个方波脉冲可使选用的步进电机旋转 0.72° , 上碟片旋转的角速度 ω 与 TTL 频率 f 存在如下的关系: $\omega = \frac{0.72 \times 2\pi \times f}{180}$ 。

3. 磁感应强度 B 的测量 磁感应强度的数值由特斯拉计直接读出。

3.系统主要部件图:

本磁流变液材料性能测试系统的外形尺寸为：长 34.0cm,宽 28.4 cm,高 84.0 cm.，结构如图 4：在图示结构中，摇动手柄，则螺旋升降机构上下运动，圆盘外露露、，从而可以将磁流变液加入到圆盘中。线圈通电以后，磁流变液即处于线圈之间的磁场中，发生磁流变效应。电动机带动铜轴旋转，贴上应变片、加上必要的测试仪器后，磁流变液剪切率大小、阻尼力矩大小即可测出。



4. 性能指标：

一般情况下，测试系统转速为大约 0~1 r/s，磁流变液工作区域的磁场为 0~750 mT。利用本测试系统测得的科大 1 号（KD1）磁流变液性能曲线如下：

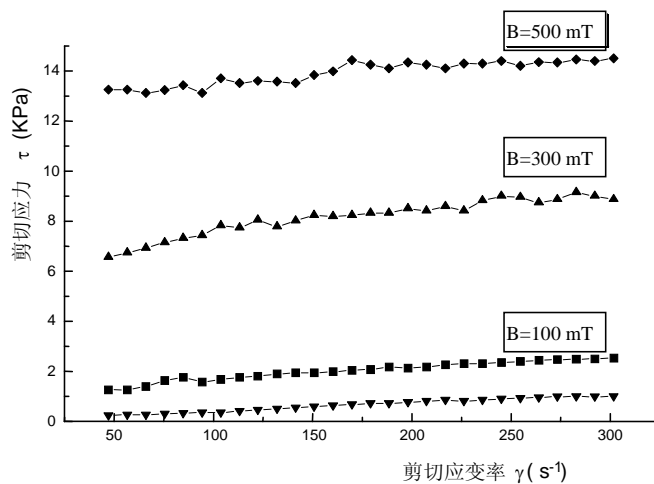


图 5 KD1 MRF 剪切应力对剪切率关系



图 6 是剪切应力对磁感应强度曲线,其中图 2 中上方曲线 I 是 KD1MRF 曲线,下面曲线 II 是 LORD 公司 MRF 曲线;

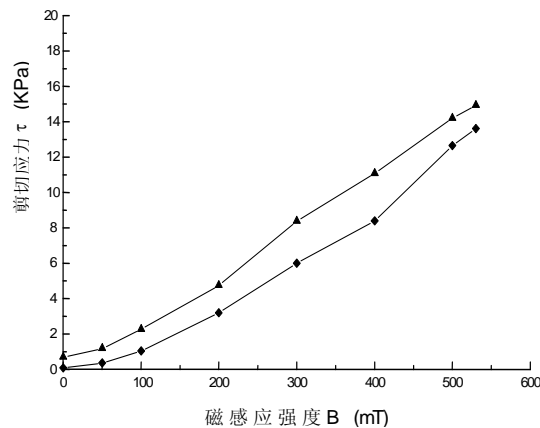


图 6 KD1 和 LORD 公司产品剪切应力与磁感应强度关系

(二) 软件部分

1. 软件功能介绍:

实现数据采集和分析的自动化; 实现对电机转数的控制。

2. 安装和注册:

首先在 VB 安装目录下找到下列三个文件:

Mscomm.reg, Mscomm32.ocx, Mscomm32.dep ,

把这三个文件拷贝到 Windows 的 system 目录下(注意 WinNT 下是 System32)。然后用 Windows 下的注册工具 regsvr32 注册该 OCX 控件, 例如: Regsvr32 ... system 目录\Mscomm32.ocx .

注册成功后用记事本打开 Mscomm.reg, 可以看到类似下面的内容:

```
[HKEY_CLASSES_ROOT\Licenses\4250E830-6AC2-11cf-8ADB-00AA00C00905]
```

@ = "kjlvjjjoquqmjjvpqqkqmkykypoqqjquoun", 为了能正确使用该控件, 需要修改注册表的信息, 在注册表的在



(二) 实验步骤

1. 按图 7 连接好电路，并检查；

2. 进行系统标定，用 3 千克的力拉下碟片的侧面。由于施力点到轴心线的距离为 35mm，因此对该旋转轴产生一个 10.29Nm 的扭矩。这一扭矩引起贴在铜轴上电阻的变化，在计算机计算程序界面上呈现出一个数值为 X 的变化，10.29 除以 X 所得的量设为 K。用 K 乘以加载时扭矩测量的数值就是实际测出的扭矩值。

3. 摇动手柄使两块旋转碟片分离，在下碟片上加注磁流变液。加注完毕后，摇动手柄使两旋转碟片的间隙为 1mm。加注量为使两旋转碟片间隙为 1mm 时，磁流变液不溢出为准。

3. 在下碟片中插入霍尔片，同时用弹簧秤对应变片进行标定，记录标定值；按应变放大器的调零按钮调零，其表现为绿色的灯发亮。

4. 打开所有用电器电源，电机开始旋转；按下控制开关的停止键，电机停止转动。给线圈通电，这时磁流变液收到磁场的作用。松开停止键，两碟片之间产生相对旋转运动，磁流变液产生的磁流变效用就会使万用电表的读数发生变化。记录没加磁场和加磁场的相对变化数值，同时用特斯拉计读出此时的磁场强度的大小。

5. 固定剪切率 $\dot{\gamma}$ ，测量剪切屈服强度 τ 与磁感应强度 B 的关系；

1) 在计算程序的界面中输入 TTL 的频率为 500Hz。这时，步进电机的角速度为 $2\pi/s$ ，磁流变液的剪切率为 $188.5s^{-1}$ ；

2) 从磁感应强度 B 为 0 开始，每 50mT 一个步长，测出一个对应的剪切屈服强度 τ 。这样计算程序可自动算得若干组数据，并将它们存盘；

3) 利用 Matlab 软件对所得的数据进行拟合和绘图。

6. 磁感应强度 B ，测量剪切屈服强度 τ 与剪切率 $\dot{\gamma}$ 的关系；

1) 在计算程序的界面中输入磁感应强度 $B = 500mT$ 。

2) 驱动步进电机的 TTL 的频率从 370Hz 开始，每 50Hz 一个步长，测出一个对应剪切屈服强度 τ 。这样计算程序可自动算得若干组数据，并将它们存盘；

3) 利用 Matlab 软件对所得的数据进行拟合和绘图。

7. 实验后，及时切断各路电源，取出废旧的实验样品，整理好实验器材，撰写实验报告。

(三) 数据处理：

已知：碟片直径为 60mm；数据记录处理：其中样品 y1、样品 y2、样品 y3、样品 y4 为科大自制的磁流变液，样品 y5 为美国 Lord 公司的产品。

表一：当剪切率 $\dot{\gamma} = 188.5s^{-1}$ 时，五种磁流变液的磁感应强度 B 与剪切屈服强度 τ 的测试数据，最后，由计算机根据式(5)进行处理，得出剪切屈服强度 τ 。



	样品 y1		样品 y2		样品 y3		样品 y4		样品 y5	
	B (mT)	τ (kPa)	B (mT)	τ (kPa)	B (mT)	τ (kPa)	B (mT)	τ (kPa)	B (mT)	τ (kPa)
1	0	0.50	0	0.82	0	0.41	0	0.80	0	0.43
2	50	2.25	50	2.11	50	2.27	50	3.13	50	0.92
3	100	2.96	100	2.88	100	3.83	100	2.31	100	3.20
4	150	3.71	150	4.49	150	3.86	150	3.69	150	4.38
5	200	3.94	200	4.55	200	4.95	200	5.38	200	6.60
6	250	5.51	250	5.82	250	7.12	250	6.85	250	8.89
7	300	6.91	300	5.89	300	7.89	300	8.35	300	12.40
8	350	6.83	350	8.27	350	9.46	350	10.49	350	14.89
9	400	7.65	400	10.03	400	11.24	400	11.84	400	16.27
10	450	11.36	450	9.98	450	13.61	450	14.56	450	19.81
11	500	12.37	500	10.90	500	14.66	500	16.03	500	23.44
12	550	14.41	550	12.01	550	16.43	550	20.38	550	25.15
13	600	18.20	600	14.55	600	17.72	600	22.98	600	27.16
14	640	19.73	630	17.75	630	19.24	660	25.73	680	28.47

表二：当磁感应强度 $B = 500mT$ 时，五种磁流变液的磁感应强度 B 与剪切屈服强度 τ 的测试数据

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
样品 y4	$\dot{\gamma}$ (s^{-1})	137.44	157.08	176.71	196.35	215.98	235.62	255.25	274.89	294.52
	τ (kPa)	17.61	17.02	16.46	15.61	17.27	15.76	16.80	16.14	18.01
样品 y5	$\dot{\gamma}$ (s^{-1})	137.4	157.08	176.71	196.35	215.98	235.62	255.25	274.89	294.52
	τ (kPa)	24.50	22.58	22.15	21.79	22.00	21.10	22.30	22.44	22.79

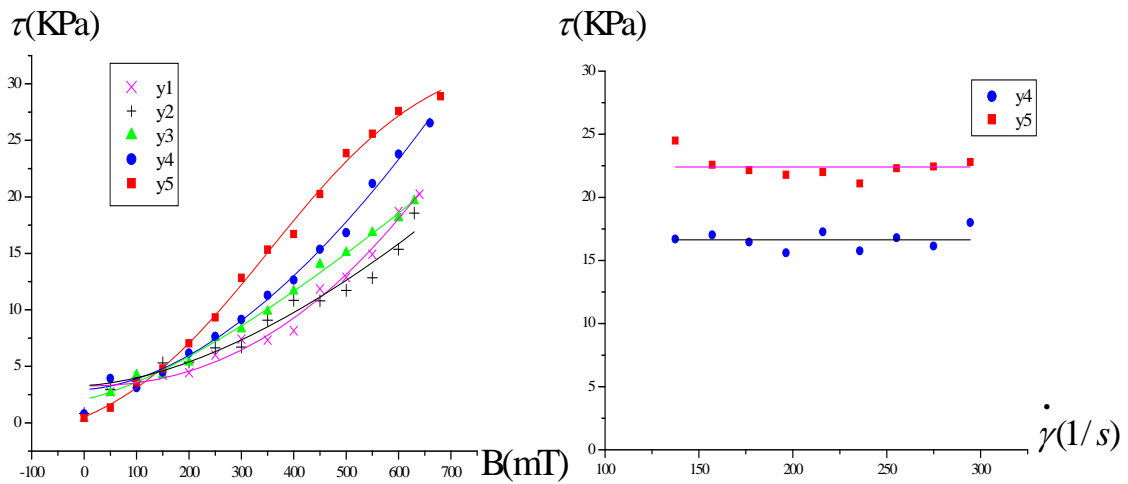


图 8 磁流变液在不同磁场下的剪切屈服应力 图 9 磁流变液在不同剪切率下的剪切屈服应力

(四) 实验分析和结论

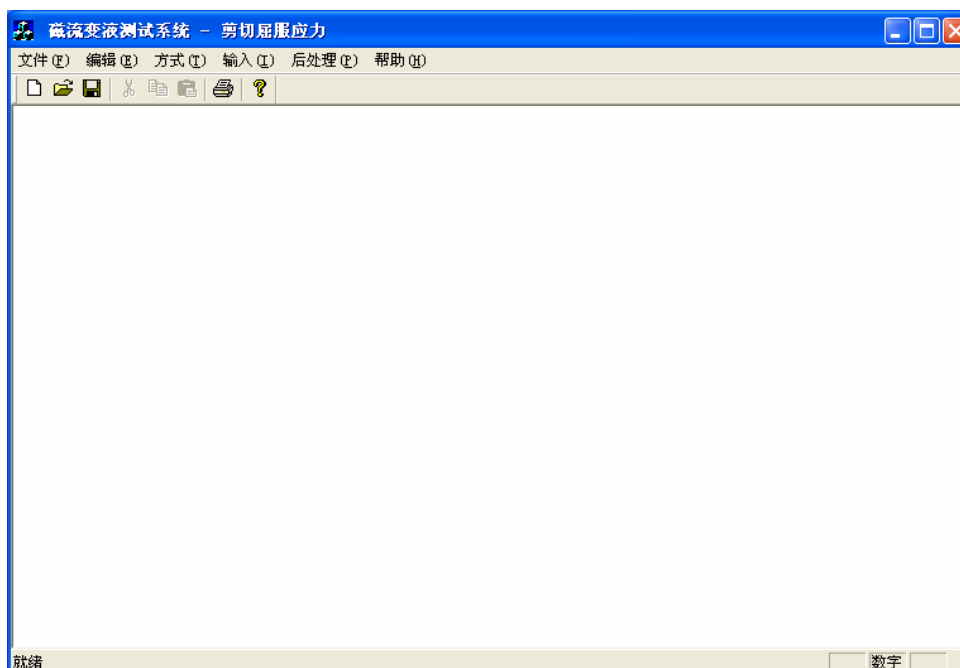
图 8 中的 5 种磁流变液剪切屈服应力随磁感应强度变化的趋势相同, 近似地呈现二次函数关系, 与理论推导的关系相一致, 因此该测试系统具有较好的可靠性。但 Lord 公司的产品无论在 0 场时的粘性, 还是在磁场作用下的磁流变效应都稍好于科大自制样品。而样品 y4 的性能与 Lord 公司产品的性能较为接近。

图 9 中的两种磁流变液的剪切屈服应力不随剪切率的变化而变化, 基本为一常数。但 Lord 公司的产品在有场的流变效应还是好于样品 y4。

三、常见故障

磁流变液测试系统软件说明书

一、认识软件

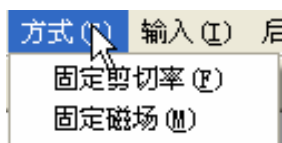


以上即为该软件的初始化界面，主要由文件、编辑、方式、输入、后处理和帮助这几个菜单项组成，其中文件和编辑菜单项与一般的大众软件相似，实现一些最基本的保存、读取、粘贴及复制等功能。本软件的核心主要为方式、输入以及后处理三项内容。需要说明的是，本软件的内部选项相互制约，在不同的工作模式下，不同的菜单项有效。

二、软件的使用

1、方式的选择

我们进行实验的第一步就是选择相对应的实验方式，选择不同的实验方式将激活输入与后处理菜单中不同的菜单项。该软件支持在两种方式下进行实验，即固定剪切率和固定磁场，



如右图所示：

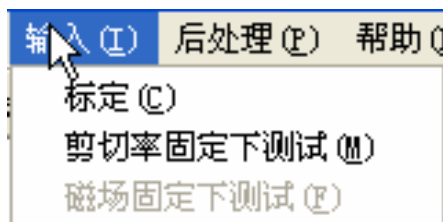
所谓固定剪切率，即为在固定电动机的旋转速率的情况下，改变所施加的磁感应强度的大小来进行实验，从而得到某磁流变液材料的磁感应强度与剪切应力之间的关系；所谓固定磁场，即为在固定磁感应强度的情况下，改变电动机的旋转速率来进行实验，从而得到某磁流变液材料的剪切率与剪切应力之间的关系。

在选择固定剪切率后，程序会弹出如下图所示窗口，要求你输入电机频率。选择合适的电机频率（300-800Hz，必须为整数）输入后，点击“发送频率”则电机就以你输入的频率进行工作了。



2、实验

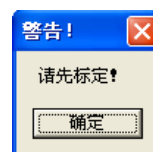
由于在固定磁场的情况下，剪切率对磁流变液剪切应力的影响不大，故而本说明书仅介绍在固定剪切率的情况下如何进行实验。固定磁场的情况下的实验方法与固定剪切率类似。在方式菜单中选择“固定剪切率”，则可进行固定剪切率的实验了。接下来点选“输入”菜单项，可以发现“剪切率固定下测试”选项为可选状态，而“磁场固定下测试”为不可选状态。如下图所示：



1) 标定

实验的第一步为标定，标定的目的是为了消除系统本身对实验的影响。如果不进行标定，而直接选择“剪切率固定下测试”，则会出现如图所示的警告窗口：

标定的程序窗口如下图所示：



其中，输入衰减因子项默认为1，无需改动。初始值即为在系统不受任何外载的情况下所采集的值，直接点击开始采样即可。点击开始采样后会弹出采样对话框：



采样时波特率为 9600，采样间隔为 10ms。数据分析时截取 5s 内的采集数据。采样数据

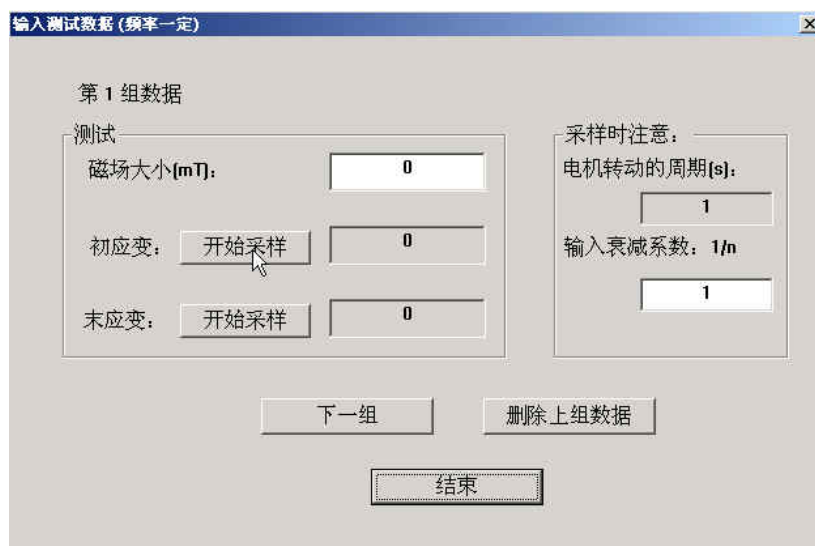


不够时程序会提出警告：

点击“开始采样”即可采样数据，它上面的编辑框会实时显示采样的数目及结果；点击“停止采样”即停止接收数据，它上面的编辑框会显示已采样的数目；点击“数据分析”会对已采样的结果进行处理，并显示平均值及标准方差。

11) 剪切率固定下测定

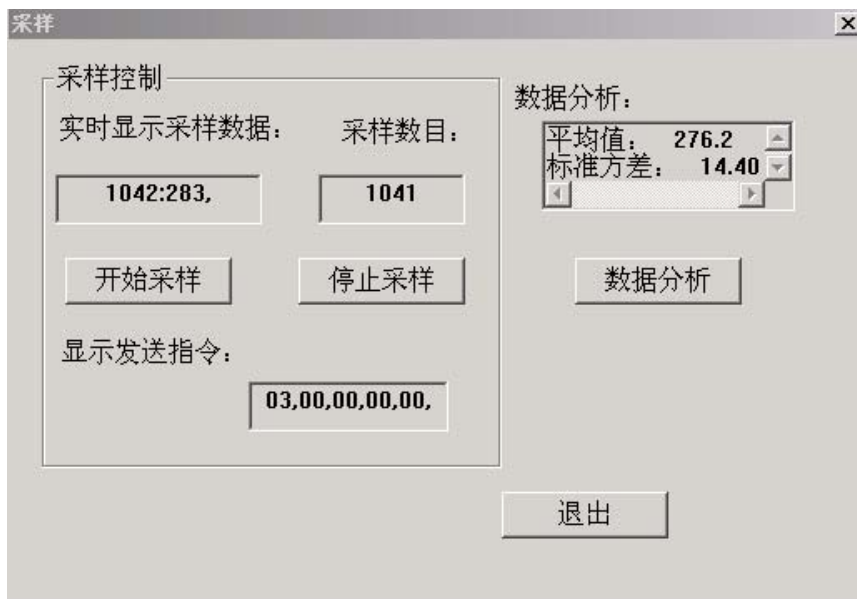
在标定完成以后，就可以进行实验了，在输入菜单下选择“剪切率固定下测试”就可以了。此时会弹出以下窗口：



电机转动的周期根据步进电机的频率计算得到。每测定一个磁场，点击“下一组”，保存本次结果并开始下组测试；如果是最后一组，点击“结束”，即保存最后一组数据；点击“删除”，即删除上次已保存的一组，若想继续测试，点击“下一组”；如果刚测的一组尚未

保存，不想要这组数据可点击“开始采样”覆盖它。

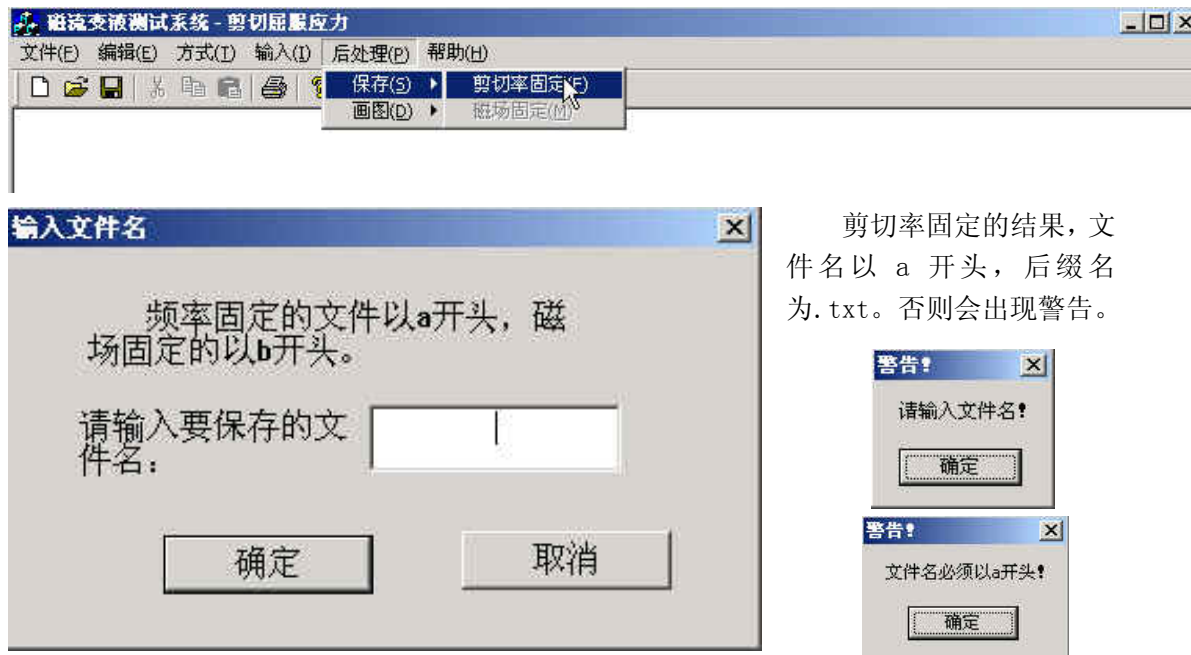
以下为正在采样时的对话框：（采样时间为电机转动周期的5倍。）



3、后处理

1) 保存

在实验结束后，我们所需要的就是保存数据。如下图所示：



剪切率固定的结果，文件名以 a 开头，后缀名为 .txt。否则会出现警告。

11) 绘制曲线



图有三种方式：

- ✓ 快速绘图根据最近一次的结果画图，不需要从文件中读取。
- ✓ 剪切率固定画图通过读取保存的文件中的数据画图
- ✓ 磁场固定画图通过读取保存的文件中的数据画图

i) 快速绘图:

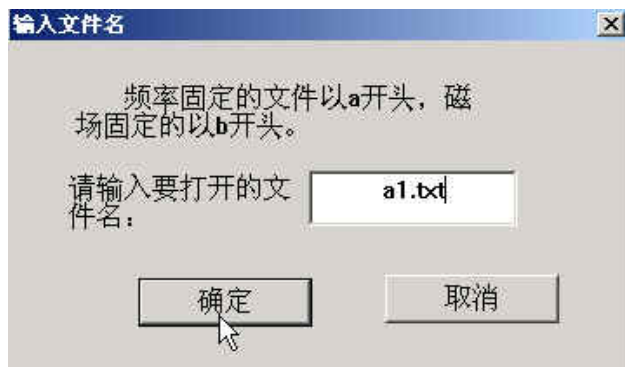
只有选择了“方式”且刚测试过才能快速绘图，否则会提示警告。点击绘图后会出现坐标系设置对话框。



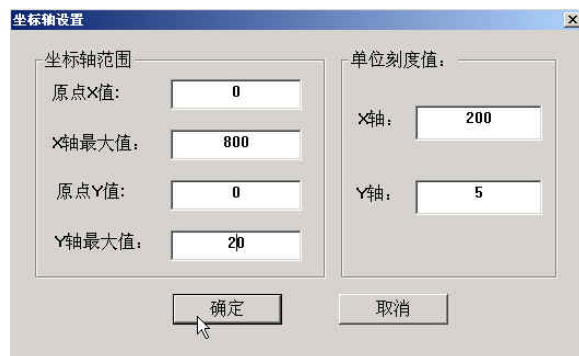
坐标轴对话框用来定义 x 轴, y 轴的显示范围, 以及单位刻度值。用户可以根据测试结果的大小自定义。

ii) 剪切率固定绘图

点击剪切率固定画图后提示输入文件名且以 a 开头:

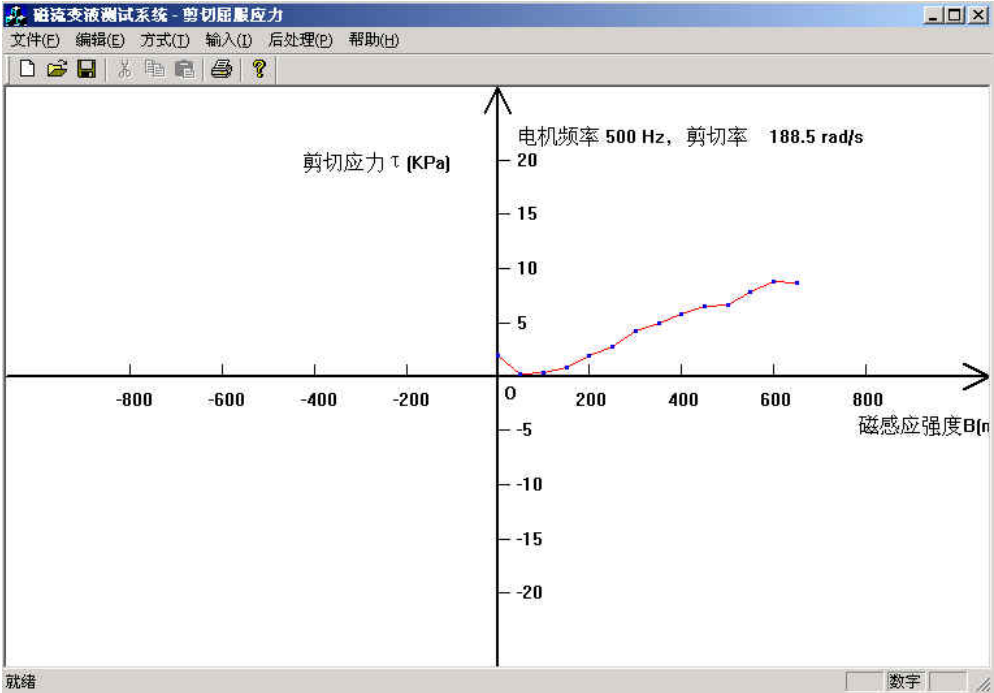


坐标轴设置:



磁流变液测试系统软件说明书

根据保存的文件绘图如下：



该图上给出了电机频率，剪切率等数据，用户可以加以核对。

制作：钱林俊
2005.10.16