

YJD - 27 型电阻应变仪系统与在岩石力学测量中的误差分析

徐 航 吴瑞珍

(辽宁地质矿产勘查开发局区域地质调查队)

YJD - 27 型静动态电阻应变仪是由上海华东电子仪器厂生产的应变测量仪器。该机采用微电脑控制,具有较强的环境适应能力,配合电阻转换箱、压力机等设备即为新一代的岩石力学测试设备,具有集成化高、适应力强、功能多样的特点,尤其适合野外队工程地质勘察配备使用。YJD - 27 型电阻应变仪具有自诊断功能,能判断自身故障所在。标定、衰减和灵敏度可直接校验,因此维修校验极为方便。仪器具有时钟显示,可进行自动多点测量,同时该机还能与打印机相连并能方便地与具 232 接口的计算机进行联机,使得各种复杂的测量数据由机来完成。该套设备可完成工程勘察中所需的多种岩石力学性质的数据的测量。现以测量岩石抗压强度的试验为例,对该机使用过程中的工作流程及误差来源与消除作以分析。

一、系统分析

1. 原理基础

YJD - 27 型应变仪本身即为一套常规的电子数据采集实时处理系统。在该系统中应用了电桥平衡理论。

如图 1,为电桥原理图。其平衡条件为 $R_a \cdot R_d = R_b \cdot R_c$

当 $R_a = R_b = R_c = R_d = R$ 时,电桥输出 $U_o = 0$

设电桥 fd 臂电阻改变为 $R_d + \Delta R$ 时,电桥输出则如下式:

$$\begin{aligned}
 U_o &= U_e - U_f = \frac{U_i}{R_a + R_b} \cdot R_b - \frac{U_i}{R_c + R_d} \cdot R_d \\
 &= \frac{U_i}{2R} \cdot R - \frac{U_i}{2R + \Delta R} \cdot (R + \Delta R) \\
 &= U_i \left(\frac{1}{2} - \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} \right)
 \end{aligned}$$

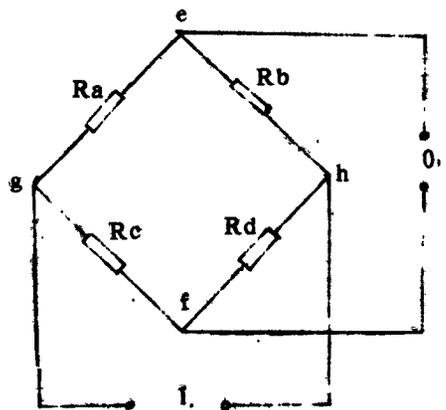


图 1 电桥原理图

由上式可看出,当电阻改变量为负时, $U_o > 0$;当应变电阻变化为正时, $U_o < 0$ 。即输出电压 U_o 应变电阻向非线性变化。

该原理应用在岩石力学测量中就是:将应变片粘贴在被测岩石试件的表面,当岩石受力发生形变时应变片随之发生形变,导致其阻值随岩石受力的变化而变化。电阻应变仪通过测量此阻值的变化而测出岩石在不同压力下所产生形变程度。

2. 工作流程

由电原理框图(图 2)可以看出,电桥源电路产生的桥路电源 U_i 送入电阻转换箱。如前所述由转换箱及与其连接的应变片产生一随岩石形变而变化的模拟电压 U_o ,此电压经过放大后送入 A/D 转换器 7135 转换为数字信号存入 8155 中,由 CPU 对该数字信号进行计算处理,其结果通过 8279 缓冲显示。该仪器 CPU 采用 8031,内贮程序固化在 EPROM 2764 中。仪器接通电源后,CPU 对仪器的各部分进行自检,如果发现问题则显示出错代码,等待维修(出错代码见附表 1)。这里需要特殊说明的是,当出现超量程错时,应先仔细检查应变片连线及电阻箱接线是否接好,有条件的应焊接,因为存在接触电阻时将引起较大误差。若检查良好仍超量程,多数原因为电阻箱内元件尤其是干簧管性能不好所致,应着重检查。

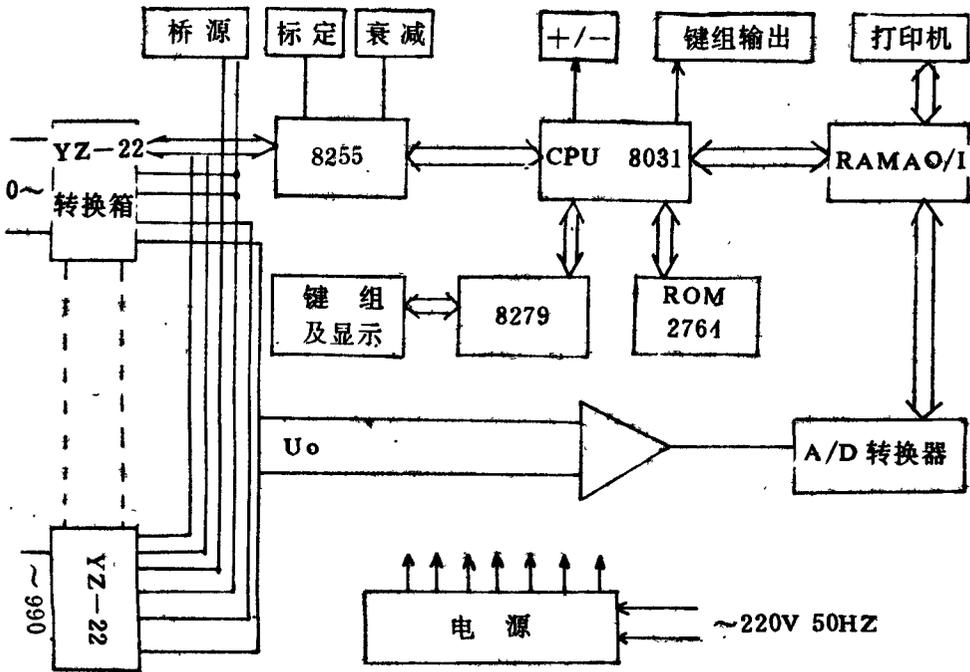


图 2 电原理框图

仪器通过自检后,接收键组输入的各种设定。而“#”键为第二功能键,如“衰减/打印”,不按“#”输入设定为“衰减”,而按“#”再按此键则为“打印”功能设定。由主程序流程图(图 3)可知,对双功能键每按动一次都要先判断是否已按了“#”键。

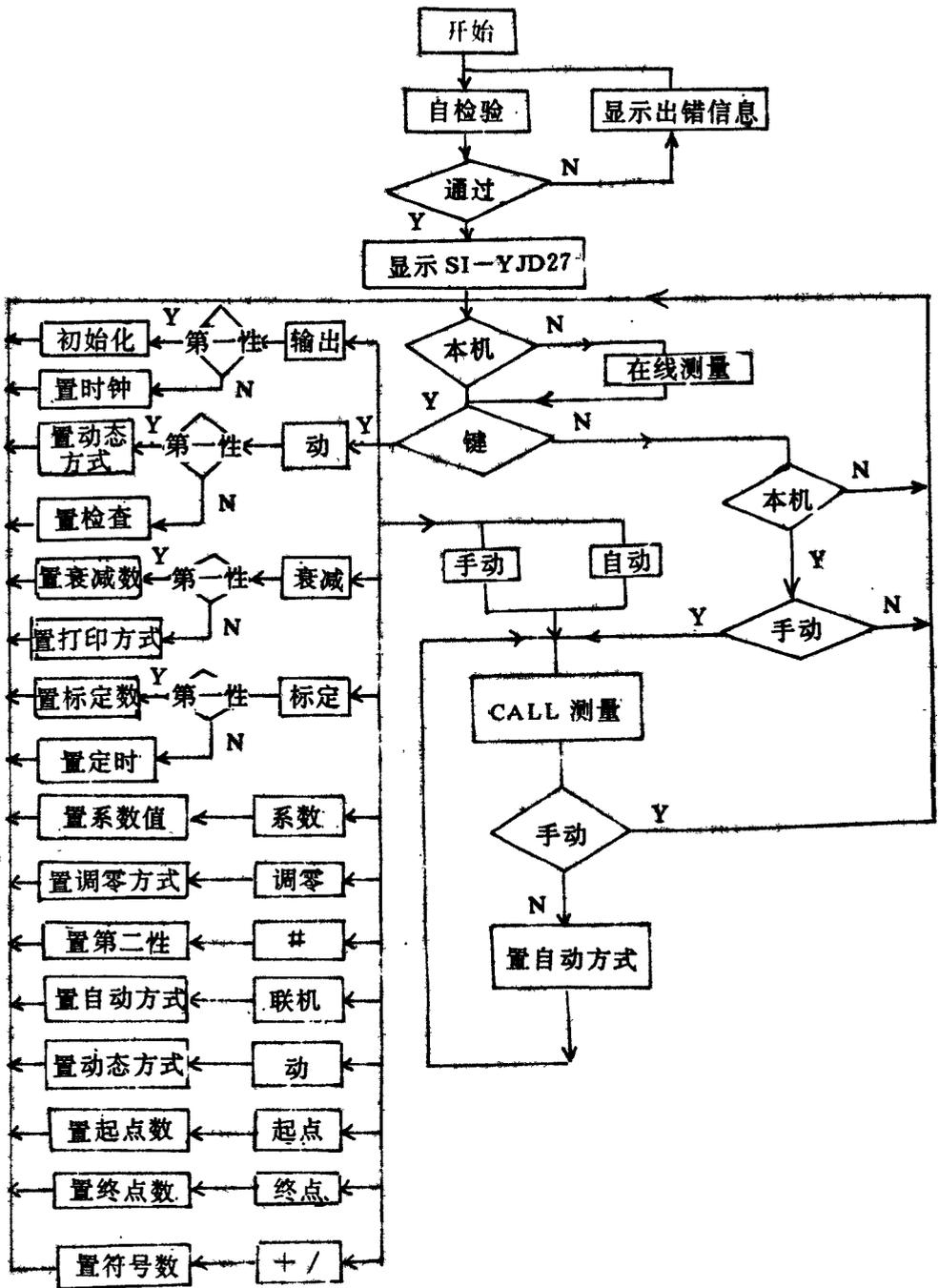


图 3 主程序流程图

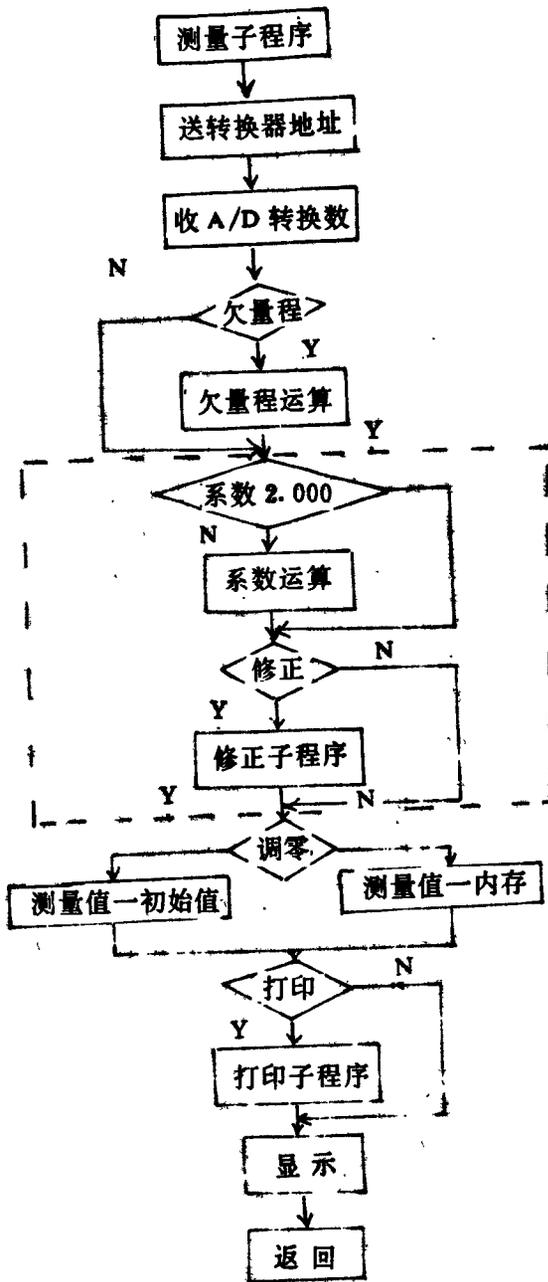


图 4 测量子程序流程图

各种预置功能输入完毕后进行测量,调用测量子程序。由原理框图(图 2)及程序流程图(图 3、图 4)分析,该仪器的长导线补偿是由调零功能来完成,因此测量开始前调零非常重要。线路连通后岩石试样未加压前应逐点测量一遍,仪器将每点所得测量结果做为初始值存入内存中,按调零键一次,仪器自动将每一点的当前测量值减去各自初始值再存入内存,也即按一次调零,各测量点均调零。因此此步骤不能重复进行,又由岩石力学特征,当岩石加载后不能返回重新调、重新测量。另外由于程序框图(图 4)可以看到,每调一次子程序均需进行系数运算(如图 4 中虚线框内部分)。由于每一次测量均需调用该段程序,如测量点多时将会影响测量速度,同时使程序变得繁杂。因此原设计是否应对此加以考虑。

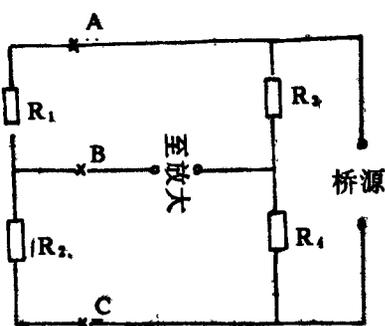
测量处理完毕后,数据送显示或送打印,主程序返回接受键组命令进行下一次测量。

二、误差分析

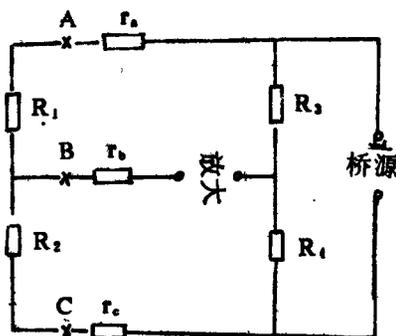
同其它测量系统的误差一样,该套应变测量系统也存在系统误差和偶然误差。系统误差包括仪器自身的精确度、应变计的灵敏系数、应变计的横向效应、长导线电阻等。偶然误差如周围环境温度、湿度的影响、振动及其他各种干扰等。现就实际工作中遇到的几种情况加以分析。

1. 长导线引起的误差

应变计与应变仪测量时必须用较长的导线联接,由于导线本身存在一定的电阻(包括接触电阻),它和应变计是一起串联在桥臂上的,所以导线的电阻也成了桥臂的一部分,而它本身又不参加变形,如图 5(a)为接触电阻和导线电阻为 0 时的情况,A,B,C 为结点。当它们不为 0 的情况如图 5(b),其中 r_a, r_b, r_c 为等效电阻。因 B 点接于 R_1, R_2 之间,不影响电桥的平衡(可在调零时补偿掉)。因其有一定的时变性,当进行第二次平衡时,等效电阻变为 r'_a, r'_b, r'_c 。设 $R_1 = R_2 = R$, 则引起零漂:



(a)长导线电阻为零时电桥原理图



(b)长导线电阻不为零时电桥原理图

图 5 长导线电阻影响下电桥原理图

$$e_0 = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{K} \cdot \frac{(r'_a - r_a) - (r'_c - r_c)}{R} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta r_a - \Delta r_c}{R}$$

设 $K = 2R = 100 \Omega$, $\Delta r_a = 0.001 \Omega$, $\Delta r_c = -0.001 \Omega$

则 $e_0 = 10 \mu \epsilon$

由此可见,其等效电阻的影响是很大的。

如附表 2, 数据取自辽宁核电站工程勘察中岩石试样 ZK15 1-6 分析的原始数据, 表中 1, 3 和 2, 4 为两组分别贴于试件两侧的应变片测得。由表中可以看出, 1, 3 组数据正常, 2, 4 组数据变化的趋势是对的, 只是起点由负值开始, 且幅度较小。

由于本文属初次尝试, 加之水平有限, 错误之处在所难免, 敬请批评指正!

本文编写过程中, 得到韩锦波高级工程师的热情帮助与指导, 在此深表感谢!

注: 文中图 2, 3, 4 及表 1 取自该仪器的配套说明书。

表 1 错误代码表

出错代码	出错原因	修理方法
Er 8155	RAM A/D	更换 8155 总片
Er 8255	标定 衰减 序号转换	更换 8255 芯片
Er 2764	ROM	更换 2764 芯片
Er AP	放大器 电桥盒	更换放大器及电桥盒
Er Pr	打印机	检验打印机是否连通
Er 7135	A/D 转换	更换 7135 或 8155 芯片
Er 8279	显示、键盘	更换 8279 芯片
Er OUT	输出送数出错	输出键重新输入
Er AEE	衰减送数出错	衰减键重新输入
Er CAL	标定送数出错	标定键重新输入
XX Or	XX 通过超量程	检查应变计及接线

附表 2 岩石抗压强度参数记录表

垂直荷重 P (KN)	应力 δ (MPa/cm ²)	纵向应变(εh)		横向应变(εd)	
		1	2	3	4
5	1.17	-55	18	-5	-23
10	2.34	-110	18	-4	-21
20	4.68	-151	-1	-1	-18
30	7.02	-206	-25	2	-14
50	11.70	-305	-76	10	7
70	16.37	-346	-103	15	9
100	23.39	-394	-137	25	15
130	30.41	-472	-170	36	20
160	37.43	-513	-180	40	33
180	42.11	-580	-190	49	36
200	46.78	-690	-215	55	40
220	51.46	-772	-226	61	45
250	58.48	-896	-241	72	54
300	70.18	-1010	-301	85	56
350	81.87	1260	-360	101	63
400	93.57	1500	-409	112	71