

PZ40型数字地电仪

陈才军 (兰州地震研究所) 杨永生 (上海电表厂)

赵家骝 (兰州地震研究所) 黄弘 (上海电表厂)

一、前言

地电方法测量的物理量实际上是一个直流电压(供电电流也是通过标准电阻转换成电压的)为了提高观测精度,实现地电测量的自动化,67年原兰州地球物理所邢台队试用过直流数字电压表;72年以后兰州地震大队和宁夏地震队先后使用过PZ 5型、PZ 8型、PZ13型等直流数字电压表,这些仪器在地电测量中往往因为抑制不住外来的干扰而使仪器的精度大大降低甚至不能正常工作。73年昆明地震大队、74年兰州地震大队先后都试制成数字式的地电仪。并在77年1月由国家地震局鉴定通过。76年底兰州地震研究所和上海电表厂协作试制能供固定台站和传输台网使用的地电专用仪器—PZ40型数字地电仪,后来考虑到固定台站使用的地电仪不需要串行码输出信息,为此又引伸出仅有并行代码输出信息的PZ40—1型数字地电仪。该仪器于79年底通过鉴定,80年小批量投产。

PZ40型数字地电仪采用双积分原理实现模数转换,并采用浮地屏蔽技术,所以具有较好的抗干扰性能;另外仪器采用集成运算放大器和C—MOS中规模集成电路因而仪器的功耗较小,可靠性较好。

二、主要技术指标

1. 仪器使用条件

(1) 环境温度 $-15^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$

(2) 环境相对湿度 $\leq 85\%$

3. 电源 交直流两用,并能自动切换

交流电压 $\sim 220\text{V} \begin{matrix} +10\% \\ -20\% \end{matrix}$ $50\text{HZ} \pm 1\text{HZ}$

直流电压 $24\text{V} \begin{matrix} +10\% \\ -20\% \end{matrix}$

2. 消耗功率 $\leq 20\text{W}$

3. 数字表部分的精度和稳定性

(1) 在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温室内通电预热 1 小时, 调零校准后在 7 小时内的主要技术性能见表 (1)

表 1

量 程	测 量 范 围	零 电 流	输 入 阻 抗	分 辨 率	准 确 度
40mV	$0 \sim \pm 39.99\text{mV}$	$\leq 1 \times 10^{-9}\text{A}$	$> 100\text{M}\Omega$	$10\mu\text{V}$	$\pm 0.05\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$
400mV	$0 \sim \pm 399.9\text{mV}$	$\leq 1 \times 10^{-9}\text{A}$	$> 1000\text{M}\Omega$	$100\mu\text{V}$	$\pm 0.05\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$
4V	$0 \sim \pm 3999\text{mV}$	$\leq 1 \times 10^{-9}\text{A}$	$> 1000\text{M}\Omega$	1mV	$\pm 0.05\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$

(2) 在环境温度为 $-15^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 开机预热约 10 分钟, 调零后, 在 30 天内主要技术性能见表 (2)

表 2

环 境 温 度 \ 精 度 量 程	40mV	400mV	4000mV
$0^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5\%(\text{读数}) \pm 3\text{字}$	$\pm 0.5\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$	$\pm 0.5\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$
$-15^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 以下 $+40^{\circ}\text{C}$ 以上 $\sim +45^{\circ}\text{C}$	$\pm 1\%(\text{读数}) \pm 4\text{字}$	$\pm 1\%(\text{读数}) \pm 3\text{字}$	$\pm 1\%(\text{读数}) \pm 2\text{字}$

零电流 $\leq 2 \times 10^{-9}\text{A}$

4. 仪器允许超量程运用並有一定的耐过载能力

表 3

量 程	40mV	400mV	4V
超量程工作范围	$\pm 40.00 \sim \pm 100.00\text{mV}$	$\pm 400.0 \sim \pm 1000.0\text{mV}$	$\pm 4000 \sim \pm 10000\text{mV}$
允许过载冲击电压	400mV	4V	40V

5. 显示内容:

(1) 工作时间 (小时数) $0 \sim 23$

(2) 被测数据序号 $1 \sim 9$

(3) 被测电压的极性、数据和小数点。

6. 串模干扰抑制能力:

对叠加在输入直流信号上的 50Hz 交流信号的抑制能力不低于 40db。

7. 共模干扰抑制能力:

在输入端有 $1\text{K}\Omega$ 的失衡时, 对直流和工频电压的抑制能力不低于 120db。(共模直流电压或工频峰—峰值电压不大于 300 伏)

8. 测量方式:

PZ40 型可单独作为数字电压表使用。在作为数字地电仪使用时测量方式可为在外脉冲作用下定时测量或手动测量。

9. 输出信息:

(1) 并行码: 一工作时间、测量序号、被测数据及其极性、小数点都以二—十进制 8、

4、2、1 代码输出。

(2) 串行码: 一九个测得并存放在移位寄存器中的数据可在外脉冲作用下从最低位串行输出。

10. 测量道: 三道

三、工作原理

PZ40 型数字地电仪实质上为一台可由外信号控制启动, 按一定程序工作的自动直流数字电压表。(原理方框图见图 1)

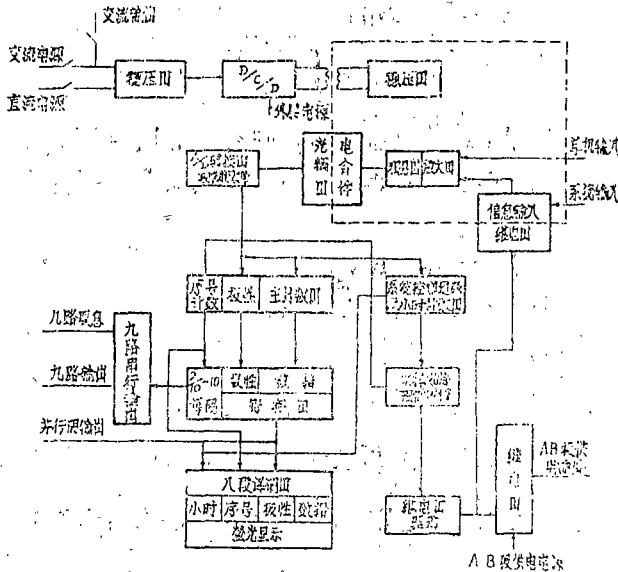


图1 PZ40工作原理图

采样周期脉冲倍频而成。计数器在机器启动、预热后开始工作, 按所编的工作时序将计数器的一些状态译出并驱动相应的继电器工作, 达到在不同测量道上测量的目的。系统控制部分由门控双稳、预热延时单稳、启动双稳、电流换向双稳等部分组成, 使机器能在外脉冲作用下启动工作。

数字电压表部分采用双积分型。它的简化方框图见图 2。

由于积分器的输入阻抗较低而且要求被积分的信号源内阻很小。因此不能满足一般测量需要, 为此在输入信号与积分器之间增加前置放大器。前放的作用就在于它有很高的输入阻抗、极低的零输入电流和极低的输

工作程序为: 一 在外脉冲作用下(一般为一小时一次)仪器启动→预热约 7—10 分钟→测量第一道的自然电位→第一道 A、B 极供电→稳定 3~10 秒(按实际情况连续可调)→测第一道的人工电位→立即测量供电电流→停止供电→等待 20 秒左右→按上述程序测第二道→等待 20 秒左右→按上述程序测第三道→关机。

程序部分(包括采样顺序控制和系统控制两部分)均由 C-MOS 集成逻辑电路组成。采样顺序控制由计数器、译码器、驱动器组成。控制采样顺序的节拍脉冲由数字表部份的

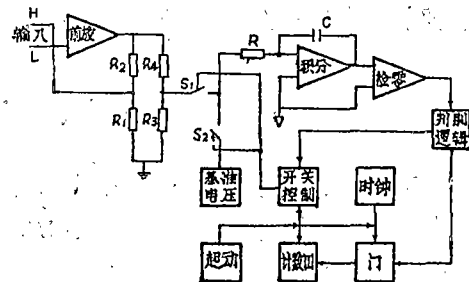


图2 A/D 转换器简化方框图

出阻抗。这样既满足了积分器的要求,也满足了输入信号的要求。它的另一作用是将输入电压归一化,即将不同量程上的分辨率归一为同一个积分灵敏度。输入电压经过前置放大器放大后从 R_3 和 R_4 的交点处输出。放大器的输出电压

$$V_{AO} = K \cdot V_i \quad K = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

积分器、鉴零器和相应的控制、计数电路是将积分器的输入电压变成数字。它的原理是在控制电路的作用下积分器在 $t = 0$ 时刻开始对被测电压 V_{AO} 进行积分($t = 0$ 时积分器输出为0)同时打开计数门,时钟脉冲进入计数器,进行计数。当计数器计到一个预定的数 N_1 时,积分器的输入转到一个和 V_{AO} 极性相反的基准电压(V_f)上并对该电压进行积分。此时计数器从头开始计数。当积分器的输出达到零时由检零器送出信号,计数器停止计数。此时计数器所计的数为 N_2 。积分器的输出波形见图3。

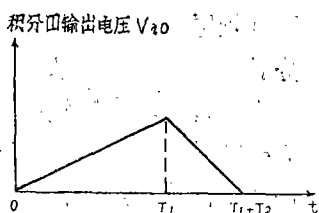


图3 积分器的输出波形图

从图中可以看出:

$$\int_0^{T_1} V_{AO} dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_f dt = 0$$

如果 V_{AO} 是直流电压,则有 $V_{AO}T_1 = -V_fT_2$

如果时钟脉冲的周期为 T ,则有 $T_1 = N_1T$, $T_2 = N_2T$

又由于 $V_{AO} = KV_i$

所以有 $KV_i \cdot N_1T = -V_fN_2T$

$$V_i = -\frac{V_f}{N_1} \cdot \frac{1}{K} \cdot N_2$$

因为 N_1 、 V_f 、 K 都是固定数,适当选取 V_f 、 N_1 、 K 可使 $\frac{V_f}{N_1} \cdot \frac{1}{K}$ 在某一单位(如 $mv/$ 字)下为1($mv/$ 字),则被显示出来的数字 N_2 即代表了 V_i 的大小。 V_f/N_1 为积分器的积分灵敏度, $\frac{1}{K} \cdot \frac{V_f}{N_1}$ 即为仪器的分辨率。本仪器中 $V_f = 6V$, $N_1 = 12000$ 所以积分灵敏度为 $0.5mv/$ 字。分辨率随不同的量程分别为 $10\mu V$ 、 $0.1mV$ 、 $1mV$ 。

因为 N_2 反映的是输入电压 V_i 在 T_1 时间内的积分均值,所以周期等于 T_1 或比 T_1 小整数倍的正弦电压加在积分器输入端时,只要不超过积分器的线性区,那么在 T_1 时刻内该电压的积分输出为零。为此选择 $T_1 (= N_1T)$ 为工频电压周期 $20ms$ 的整数倍,就可以达到对工频干扰的抑制。本仪器选 $T_1 = 120ms$,时钟频率为 $100KHz$ 。

四、主要技术措施

1. 由于地电测量的输入信号是通过很长的引线接地的。因此测量中存在着强烈的串模和共模干扰,这种干扰有交流的也有直流的。所以仪器必须有较强的抗串模、共模干扰的能力。本仪器采取的措施如下:

(1) A/D转换器采用双积分型。为了使 T_1 严格等于工频干扰电压周期的整数倍,时钟脉冲发生器采用晶体振荡器其稳定性达 10^{-5} 以上。

(2) 电源变压器初次级分别双层屏蔽并且测量部分的电源经过直—交—直变换器供给, 使测量部分和电网的大地之间绝缘阻抗增高, 这就提高了抗输入端共模干扰的能力。同时也减小了因测量部分输入和大地相通而使电网中的电压通过电源变压器漏到测量部分来的交流电压的干扰。

(3) 采用浮地屏蔽技术。将仪器的测量部分置于一密闭的金属屏蔽盒内。该盒可按需要接在共模干扰源上。这样使仪器的测量部分浮在干扰电压上而不致影响测量。为了达到完整的屏蔽, 测量部分用的从直—交变换器来的电源绕组单独屏蔽, 并将这层屏蔽接到屏蔽盒上; 仪器作系统工作时切换输入电压的继电器采用上海电表厂特制的FY39型继电器, 它的驱动绕组可在屏蔽盒外而触点在盒内。屏蔽盒内外的信息转换采用了输入输出之间电阻大于1000MΩ的光电耦合器件。该器件优于脉冲变压器之处是可以直接传递电平。

2. 输入放大器的质量直接影响到整个机器的质量。为了达到放大器增益稳定(优于0.01%), 零漂小、有较快的响应速度和足够的输出线性范围等要求, 我们采用了动态校零斩波式放大器。它的方框图见图4

输入信号经过 A_1 和 A_2 放大后再入 A_3 进行放大。

A_1 和 A_2 是两并行的通路。 A_1 为交流放大器, 只能放大信号的交变分量; A_2 为斩波式直流放大器, A_2 中的“斩波放大”采用了动态校零技术, 因此 A_2 的直流漂移(V_{os2})是很小的。 A_2 的响应速度不够快是由 A_1 补偿的。整个放大器的直流漂移(V_{os})为:

$$V_{os} = V_{os2} + \frac{1}{K_2} V_{os3}$$

V_{os2} 为 A_2 的直流漂移, V_{os3} 为 A_3 的直流漂移 K_2 为 A_2 的增益。

因为 K_2 很大所以 $V_{os} \approx V_{os2}$, 整个放大器的直流漂移就很小。

为了使放大器达到所需的精度, 其开环增益高到约 $10^7 \sim 10^8$ 倍。闭环增益最大为100倍。反馈网络采用高精度的线绕电阻。为了避免激励源尖峰对放大器的影响, 斩波器选用了夹断电压很小的3D02B MOS场效应管以尽量减小激励电压的幅度。印刷板布线上也尽量避免激励源的大信号对小信号部分的影响。交流前放和斩波前放都采用场效应管来减小放大器的零输入电流。整个放大器的通带约为直流~5KC。

3. A/D转换器的线性度问题。A/D转换器的非线性主要产生在满量程的大信号输出和输入很小的零区附近。解决大信号输入时的非线性问题主要采取以下措施: 保证积分器有足够的开环增益; 选择适当的积分增益; 选择动态范围大的运算放大器; 选择在前放最大输出电压时都能保持良好开关状态的场效应管作为积分器的输入开关等。零区附近的非线性问题是比较复杂的。产生的原因是积分电容的吸附效应、检零器和光电耦合器件的延时。我们从本仪器试制的经验中认为检零器的延时是主要的。为了提高检零器的灵敏度和响应速度。在积分器输出和检零器之间加上一个 $\times 10$ 放大器。另外在检零器上采用偏置技术即检零器的基准不是零而是一个相当于 ± 20 个字的电压。换言之, 检零器的翻转是在其输入电压过了零之后, 然后在 N_2 计数中减掉20字。实际上检零器的基准是一个在一定范围内连续可调的电压。(见图5所示), 调节这个电压即可校正零区的非线性。见图六。

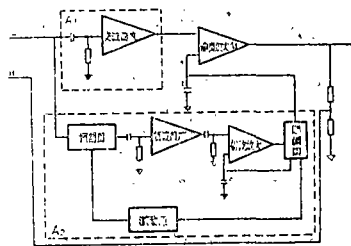


图4 前置放大器的方框图

表 4

输入电压	误差字数									
	20℃		-15℃		+45℃		20天以后(20℃)		30天以后(20℃)	
	正	负	正	负	正	负	正	负	正	负
00.00 mV	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0
39.95	1	1	-8	-8	8	8	0	1	0	1
35.95	1	1	-8	-8	8	8	0	1	0	1
31.95	1	1	-8	-8	8	8	0	1	0	1
27.95	1	1	-2	-8	8	3	0	1	0	1
23.95	1	1	-2	-2	2	2	0	1	0	1
19.95	1	1	-2	-2	2	2	0	1	0	0
15.95	1	0	-2	-2	2	2	0	1	-1	0
11.95	0	0	-2	-2	2	1	0	0	-1	0
7.95	0	0	-1	-1	1	1	0	0	-1	0
3.95	0	0	-1	-1	1	1	0	0	-1	0
零电流	$2.2 \times 10^{-11} \text{ A}$		$2.3 \times 10^{-10} \text{ A}$				$6 \times 10^{-12} \text{ A}$		$5.7 \times 10^{-11} \text{ A}$	
串模抑制比	62db									
共模抑制比	直148.2db 交146db									
输入阻抗	1668MΩ									

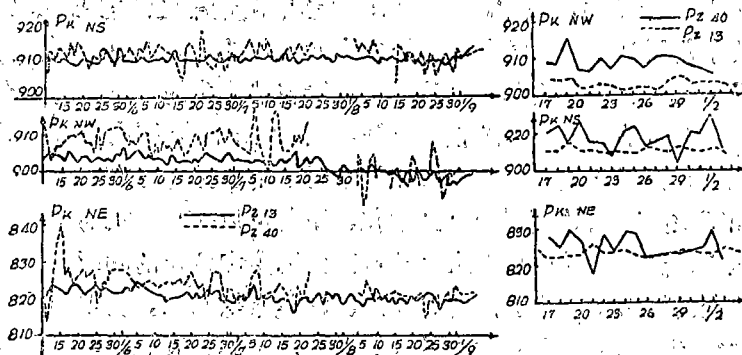


图 8 a

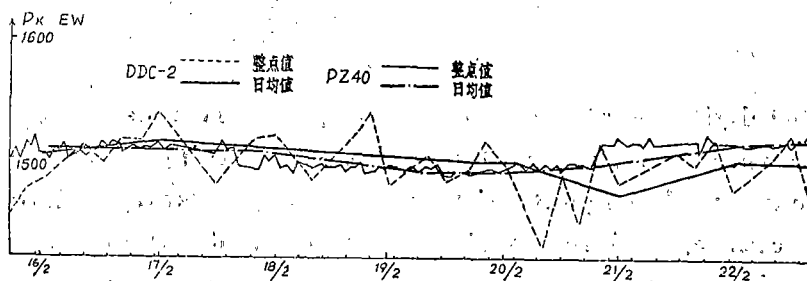


图 8 b

(3)自然电位比人工电位大1~2个数量级以及三个道的读数也相差一个数量级。因此自动观测用同一档量程测量各道和各数时末位数的跳动在测量值中占的百分比就相对增大了。

从通海台的对比曲线上看到结果恰恰与兰州观象台的对比结果相反。其原因如下:

(1)人工电位与自然电位在同一数量级上,而且人工电位大于自然电位,因此PZ40型可以用同一档量程的满量程进行测量。

(2)人工观测每次每道也是只读一个数,而且DDC-2A只能读三位数。比自动观测少一位数。

PZ40型数字地电仪在兰州观象台长期对比观测试验结束后,仍继续对比观测了一段时间,后于1980年4月开始正式使用该仪器进行观测。至今已有一年多时间,在这一年多中PZ40型本机未出现任何故障。实践证明该仪器工作稳定,可靠性良好。

六、存在的问题和今后设想

从目前PZ40型使用的情况来看尚存在以下二个问题。1.PZ40型的输入端没有直流补偿装置。因此不能象DDC-2A那样在测人工电位差之前将自然电位补偿掉。这样在一些直流自然电场比较大的地方限制了仪器使用的灵敏度。2.PZ40型每次测量只有一组数据。由于自然电场的影响使单次测量的精度不够高(目前使用的都是日均值)。

我们认为PZ40型用于地电测量中,自然电位是影响测量精度的主要原因。在目前这种四极对称测量方式中仪器是无法随时跟踪、补偿自然电位的。只有改变测量方式如加补偿道、用不对称布极补偿等。用多次测量平均也可消除自然电位的影响。将PZ40型改为多次测量是很容易的,但大量的数据使处理很费时间,因此给PZ40型配上经过改装的小计算器(价格不高、而且可省掉目前使用的数字打印机)可以解决上述存在问题。

我们认为研制带微处理器的新型数字地电仪、不仅可以提高单机的精度,而且可以对测量结果进行各种运算、判别、从而可以大大提高观测精度和仪器的功能。

参加本仪器研制的还有上海电表厂的蒋知之、江美娥等同志。在仪器的初样、正样试记过程中得到兰州观象台、通海地震台同志的大力协助。在此仅表感谢。

(本文1981年12月19日收到)

MODEL PZ40 DIGITAL EARTH-RESISTIVITY EQUIPMENT

Chen Cai-jun Zhao Jia-liu Yang He-sheg Huang Hong

(The Seismological Institute of Lanzhou) (The Shanghai Electrical Meter Works)

Abstract

Model PZ40 digital earth-resistivity equipment is a new automatic equipment for the measurement of the earth-resistivity.

The present article emphatically elucidates the main techniques for improving accuracy and restraining interfere, and introduces the general usage of the equipment, its main technical indications, its principles of work and its effects for use, etc.