

地电测量中的干扰和抑制

赵家骝 陈才军

(兰州地震研究所)

引 言

地电在地震前兆测量中是一个重要的手段。对地电测量的干扰可分为两类，一类是非地震因素引起的地电阻率的变化，一类是地电测量过程中一些不需要的信号引起的干扰。本文只是论述后一类干扰即地电测量过程中的干扰。地电测量中存在的各种干扰影响着地电测量的精度。在这些干扰中，有的是和一般电气测量中存在的干扰相同，有的则是在地电测量的特定条件下产生的。过去地电测量中主要的仪器是DDC—2A，它虽具有一定的抗干扰能力，但不理想而且精度低。近年来为了提高地电测量的精度，我们所和其它一些队曾采用高精度的直流数字电压表进行观测。仪器的精度比DDC—2A高得多，但由于这些仪器是通用的仪表，没有考虑地电测量的特殊要求，致使测量精度大大降低，甚至不能正常工作。

地电测量中干扰的表现形式是多样的，试举几例：

1. 在天水地电台用DDC—2A测量某道自然电位。当5 A稳流电源不对AB供电，而将其输出接在室内的电炉上时，只要一开电源就会在DDC—2A上读出20多mV的直流电位。可是该道在AB供电时人工电位才只有10多mV。

2. 在临夏台用Pz5直流数字电压表测自然电位时，正负极性的数值相差可达100%，有时甚至连极性都不改变。

3. 在兰州观象台用Pz13单积分式直流数字电压表测供电电流时，仪器呈现超载指示不能工作；用一日本产数字万用表测量供电电流时误差达20%；用两台校准好的精度为0.02%的Pz8数字电压表测同一道的自然电位时相差达50%。

需要指出的是仪器在测量地电阻率时由于对自然电位进行了补偿或相减最后算出的地电阻率值有时并不表现出很大的误差。因此往往不引起人们的重视。但是这些干扰毕竟是外界客观因素造成的、这些条件是变化的、结果总会产生测量上的误差。有些地电台换新仪器时会出现数据不连续。若把它完全归结于仪器的系统误差是不客观的，因为有时误差已超出仪器的精度范围。还有一些台在换供电电源、改变供电电流大小、换供电线时，电阻率会发生变化。这些在理论上是无法解释的，都可能是由于外界干扰条件改变造成的。

因此弄清地电测量中干扰的由来，对保证地电测量的正常进行，提高观测精度以及研制新的地电仪器都是很重要的。

一、地电测量的等效电路

地电测量的原理大家都很清楚。为了便于叙述，还是先简述一下。地电测量的示意图如图一所示：

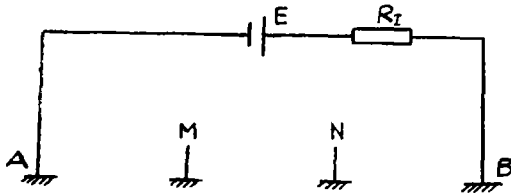


图1 地电测量示意图

E为供电电源，一般在几十伏至几百伏。
 R_T 为测量电流用的标准电阻，一般为0.1欧姆。
 A、B为供电极，距离约1000~1500米。
 M、N为测量极，距离约300~500米。

测量过程可简化为图二所示

R_A 、 R_B 、 R_M 、 R_N 分别为测量仪器到A、B、M、N极导线电阻和该极接地电阻之和，一般为数十欧至数百欧。

Z_{i1} 和 Z_{i2} 为仪器输入端至仪器接地处（交流供电仪器的零线，接地外壳）的阻抗或仪器输入端对地的漏阻抗。

地电测量的最大特点是被测信号源以不同的方式和大地相接，而接地点又是远离测量仪器的。在这儿需要说明的是在电气工程上一般是不考虑大地电场的。因为

大地电场是很微弱的。因此都认为大地是一个等位体，大地上各点间的电位差为零。但事实上，任何一个物体接地时都存在接地电阻。当有电流从接地点流到大地时，这个接地点的电位就不等于大地的电位。另一方面接地点电位所形成的电场，其场强是和距接地点的距离r的平方成反比的。所以在距接地点一定距离之外，例如当r大于电极尺寸两个数量级时，电场就很微弱了。这就是说各接地点一般不能看成是等电位的。也就是地电测量系统中各电极接地处的电位即使不考虑大地电场也是不等的。但各接点之间由于有接地电流而引起的电位差，主要是降在有接地电流的电极附近。

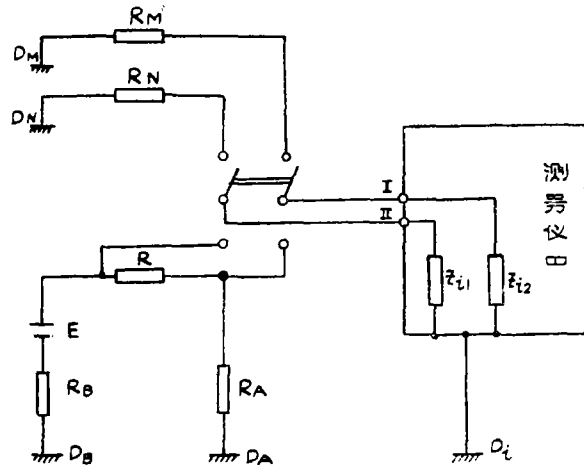


图2 地电测量的等效电路

D_A 、 D_B 、 D_M 、 D_N 分别为A、B、M、N电极接地点。
 D_i 为仪器的接地点或仪器所在处的地电位点。

二、地电测量中的干扰

根据我们的观察，地电测量中的干扰有以下两种：

1. 串模干扰——直接掺杂在信号源中的干扰，即和信号源串联在一起的干扰。这种干扰又可以分为交流和直流两种。如图三所示。

交流干扰主要是从测量线上感应进来的工频和高压电压；测量线在地磁场中作切割磁力线运动所产生的频率较低的感应电压；MN电极间的交流电位差（主要是50周工频电压）以及地电场的扰动。

直流干扰主要是电极的极化电位产生的。

2. 共模干扰——并联在仪器输入端和地之间的干扰，即被测信号源相对于测量仪器的地之间的干扰。如图四所示。这种干扰在某些条件下会转化成串模干扰而影响仪器正常工作。这种干扰也可分为交流和直流两种。

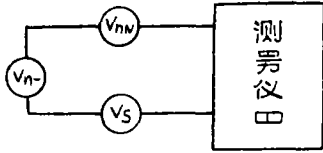


图 3 串模干扰示意图

V_S 为被测信号。
 V_{nM} 为交流干扰信号。
 V_{n-} 为直流干扰信号。

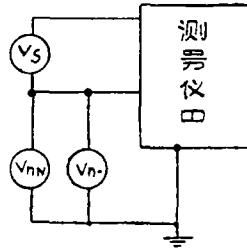


图 4 共模干扰示意图

交流干扰有从测量线上感应来的，也有从电极上来的。从线上来的主要是感应进来的高频电压。（例如兰州观象台在电台广播时，这种干扰的幅度可达几十伏）。从电极上来的主要是50周的工频干扰，它是由于仪器所在处的地电位和电极M、N处的地电位不等造成的。在电极位置不合适，测量仪器接地不当，交流电网三相不平衡零线电流较大的地方，这种干扰也是很大的，可达几十伏。用交流电源的仪器，测量地电时尚有一特有的共模干扰，即仪器的电源变压器初级的高压对M、N之间的共模电压干扰。

直流共模干扰主要是在测供电电流时产生的。它的数值约为供电电压的一半，即几十伏到几百伏之间。在刚开始供电时，由于过渡过程的存在，这种干扰中还包含有交流的成份。

三、干扰对测量的影响及抑制方法

1. 串模干扰的影响及抑制：串模的直流干扰直接影响测量所得的数值这是很明显的。因为它在被测直流信号上又附加了一个直流信号。但在我们的测量中这种干扰主要是电极极化电位和地电场的极低频率分量组成的。在测量的过程中，因时间短它们基本上是稳定的。所以可以用补偿的办法或用两次测量相减的办法来消除。

串模的交流干扰对测量的影响随仪器的不同而不一样。总的来说，我们采用的虽然都是直流仪表，但任何仪表都有一定的响应速度，也就是说有一定的频带。因此，虽然仪器对交流分量有一定的抑制能力例如对50周工频有40db的抑制能力，但在输入交流信号达到一定程度时仪器上也会有有一定的显示。在DDC-2A上表现为指针抖动，在数字电压表上表现为数字乱跳。另一方面仪器的线性范围是有限的。当过大的交流信号送到仪器输入端时，仪器内部的放大器会出现失真，结果就产生了直流分量而影响最后的测量结果。

排除串模交流干扰影响的方法首先是尽量避开干扰源。另外是提高仪器对干扰的抑制能力。具体办法分述如下：

(1) 仪器输入端接一个RC滤波器。一般在仪器输入端都接有RC滤波器。RC越大滤波效果越好，但RC过大会降低响应速度。所以一般情况下RC不宜太大。这种方法在地电测量中对50周工频干扰的抑制能力约能达30db。

(2) 提高仪器的线性范围。用这种办法避免输入到仪器的交流信号在仪器放大器内失真。这是一种比较有效的办法。但这个办法受到仪器供电电压和功耗的限制。

(3) 采用积分的方法。即在一个时间 T 内对被测信号进行积分测量其平均值。当积分时间 T 取为干扰信号周期(T_1)的整数倍时($T = nT_1$)，只要在积分器的线性范围内干扰信号的积分平均值为零。用这个方法在理论上可以获得对某些特定频率(如50周及谐波)有无限大的抑制能力。但实际上，由于干扰信号的频率不是稳定的，所以尽管采用锁相、正反向两次积分、起点同步等改进措施也无法获得无限大的抑制能力。目前一般可做到40db以上。

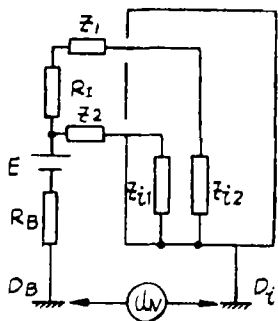


图5 仪中测供电电流的简图

E 为供电电压的一半。

R_I 为测电流的标准电阻，一般是0.1欧姆。

Z_1, Z_2 为 R_I 两端到仪器等效输入端I和II的等效电阻。

U_a 为供电电极的接地点和仪器接地点之间的电位差。

Z_{i1} 和 Z_{i2} 为仪器等效输入端到 D_I 的漏电阻抗。

对频率很低的串模交流干扰，由于其频谱和被测信号太相近了，目前仪器本身尚无很好的抑制办法。但改善极板的接地条件使其极化稳定以及紧固测量线使其不受风的影响。这些办法可以在一定程度上消除这种极低频率的干扰。

致于地电场的低频扰动，可以用改进测量方法来消除。这方面有待于进一步的研究。

2. 共模干扰的影响及抑制：

共模干扰是在一定条件下转换为串模干扰而影响测量的。现以测供电电流为例来说明这种影响。测电流的简图如图(五)所示

因为 R_I 很小，可以认为是短路的。所以图5可简化为图6。

从图6可以看出若 $Z_1 \cdot Z_{i2} \neq Z_2 \cdot Z_{i1}$ ，在I和II之间就会产生由 E 和 U_a 所引起的干扰电压。

实际上 Z_1, Z_2, Z_{i1}, Z_{i2} 不仅取决于集中参数还取决于分布参数。所以 $Z_1 \cdot Z_{i2}$ 和 $Z_2 \cdot Z_{i1}$ 是不可能相等的。

因此这种干扰的产生是必然的。另外， E 和 U_a 的数值都可能很大(远大于串模干扰的数值)，特别是 E 通常总是很高的，在用 5^A 电源供电时约为 $>200V$ ；在用 2^A 电源供电时约为 $>100V$ ，这样高的电压甚至能导致输入端和地之间的绝缘破坏，而使仪器不能正常工作。

排除共模干扰的办法首先应避开干扰源。但在许多条件下，例如测供电电流时，共模干扰电压是无法避开的。因此在仪器上要设法破坏共模干扰转化成串模干扰的条件。因为共模电压要先转换成共模电流才能形成串模干扰。一般情况下是在设计仪器时尽可能加大 Z_{i1} 和 Z_{i2} ，但这不是最佳的办法。目前认为最好的办法是“浮地法”也有叫“保护屏蔽法”或“屏蔽罩法”。

“浮地法”的原理是在测量仪器的接地外壳内再装一个内屏蔽盒(一般称为G)，将测量仪器的测量部分置于内屏蔽盒内。并保证内屏蔽盒和外壳之间的高绝缘阻抗以及内屏蔽盒和共模干扰源保持

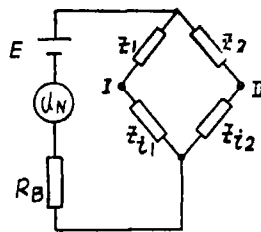


图6 图5的等效电路

等电位。这样共模干扰电源就不会影响到仪器的测量部分。如图 7 所示。

很显然共模干扰电压产生在G和 D_i 之间而不进入G中。这种方法实质上是把仪器的测量部分浮在共模干扰源上而不受其影响。理论上说这种方法可以完全不使共模干扰转化为串模干扰。但实际上有两个困难。

(1) 因为干扰源一般距测量仪器很远，特别是在我们的条件下。因此要保证G和干扰源等电位是困难的。从图中看出只有当 $Z_i = \infty$ 时才能使G和干扰源等电位。

(2) 这种方法要求内屏蔽盒里面和外面没有任何电的联系。这对用交流电作电源和对外输出信息的仪器来说就更困难了。目前一般采用电磁转换的办法通过变压器对内屏蔽盒中的电路供电。而信息的输出则采用电磁(变压器)或光电(光电耦合器件)的方法进行耦合。

其中很重要的一点是对电源变压器的要求很高。采用一般的工艺绕制是不行的。最好能采用图 8 a所示的结构。变压器接法如图 8 b所示。

初级屏蔽接地可保证初级绕组中的高压不影响仪器；次级屏蔽接屏蔽盒内的最低电位点使次级绕组电压不影响屏蔽盒内的部件工作。中间的隔离屏蔽层接到G上，可以使屏蔽保护

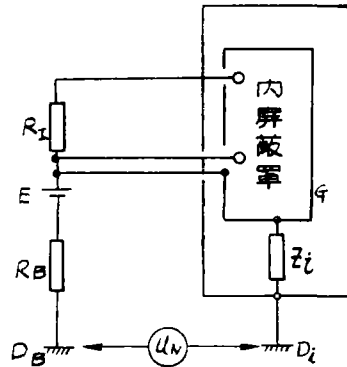


图 7 保护屏蔽测量的示意图

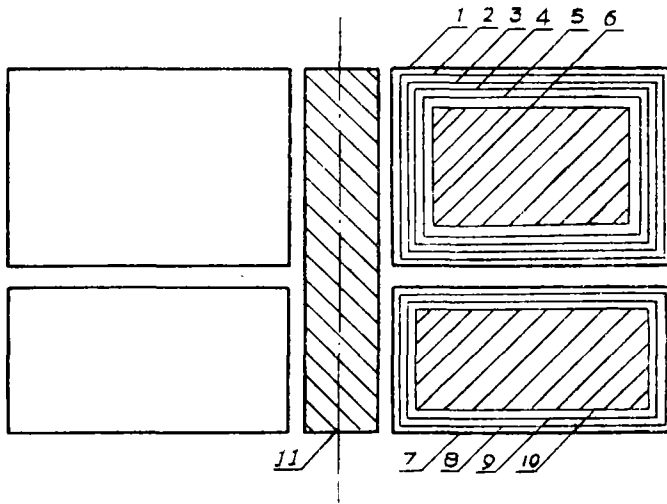


图 8a 隔离变压器结构示意图

- 1. 绝缘层 2. 金属膜(G) 3. 绝缘层
- 4. 金属膜 5. 绝缘层 6. 次的绕组线包
- 7. 绝缘层 8. 金属膜 9. 绝缘层
- 10. 初级绕组线包 11. 铁芯

4.对测量线上感应进来的高频电压如电台广播,在测量仪器没有保护屏蔽或用保护屏蔽尚不能解决问题时可采用以下措施,见图11和图12。

图12中的LC调谐到干扰频率。

因为测量线上感应的高频干扰是一个内阻很高的共模干扰源。所以在信号输入端对 D_i 加一个小电容后即可使共模干扰信号大大减小。同时小电容对低频仍有很高的阻抗,也不会对低频共模干扰的抑制能力有很大的影响。

5.测量仪器使用时应注意以下几点:

(1)测电流用的标准电阻应串在供电极接地电阻小的一侧,以减小测电流时的直流共

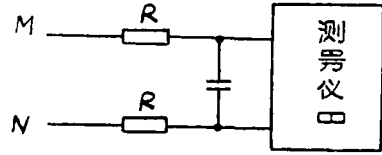


图10 对称RC滤波

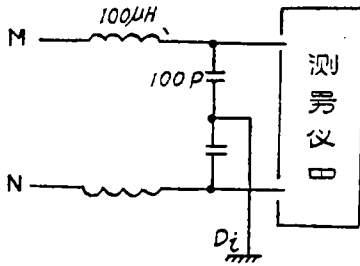


图11 抑制高频干扰的方法之一

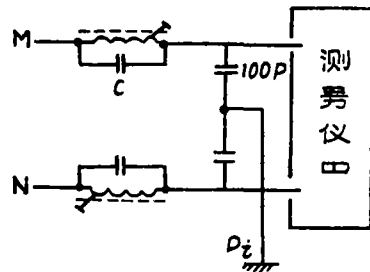


图12 抑制高频干扰的方法之二

模干扰电压。

(2)给仪器供电的电网必须有良好的接地线。电网无地线时应另加接地线,不允许将电网的中线当零线使用。测量仪器的电源插头必须使用带地线的插头。从图13可看出如果把

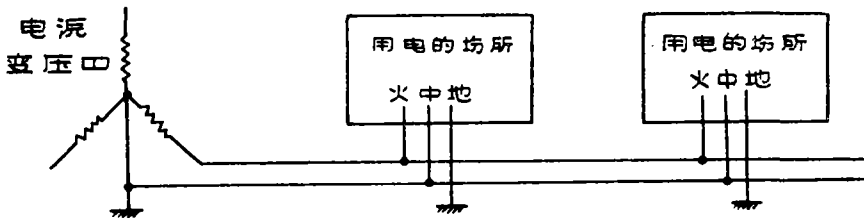


图13 配电系统示意图

中线当零线使用,由于中线和地线的电位是不等的,这就必然会引进较大的共模干扰。

(3)在使用带“屏蔽保护”的仪器时G应接在最大的干扰源上。一般情况下,可将仪器的低端和G接在一起。

(4) 若仪器没有“屏蔽保护”或虽有“屏蔽保护”但不足以抑制干扰时(特别是在测供电电流时会反映出来)则可以自己绕制一个隔离变压器(如图8a)将仪器的电源进线接在隔离变压器的次级上。

五、结 束 语

地电测量中的干扰是比较复杂的。我们仅在我局所属的几个台站,而且是在试制新仪器的过程中对干扰进行了一些观测和研究,并没有作为一个专门的课题对地电测量中的干扰作全面深入的调查研究。因此本文只能说是我们对地电测量中的干扰及抑制的初步认识和尝试,尚有一些问题有待于进一步研究。

朱振卿、曲正杰、淮淑琴、王燕琼同志参加了部分实验和资料整理工作,谨表感谢。