



地球物理勘探方法小丛书

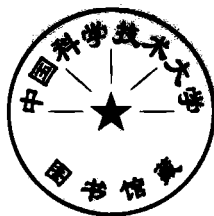
電子自动补偿器

地質部地球物理探矿局編

577

D

地 質 出 版 社



地球物理勘探方法小丛书

电子自动补偿器

編 者 地 質 部 地 球 物 理 探 矿 局

出 版 者 地 質 出 社 版

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可證出字第050号

发 行 者 新 华 書 店

印 刷 者 地 質 出 版 社 印 刷 厂

北京市安定門外六鋪炕40号

印数(京)—5,000册 1958年10月北京第1版

开本31" × 43" 1/32 1958年10月第1次印刷

字数 10,000 印张7/16

定价(8) 0.07元 統一書号T15038·587

目 录

出版者的話.....	1
一、 引言.....	3
二、 对电法仪器的要求.....	4
三、 現有仪器的主要缺点.....	6
四、 自动补偿电位計的原理.....	8
五、 仪器的結構.....	10
六、 仪器的性能和使用方法.....	14

出版者的話

自从党在八届二次代表大会上提出鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线以来，全国各地每一项建设工作都不断出现了大跃进，大丰收。在总路线的光辉照耀下，全党办地质、全民办地质的响亮号召，使地质工作紧密结合了群众，从而也出现了前所未有的力量和规模。目前全国各省、自治区、市、专区，正以大力组织队伍，发动群众上山找寻资源。相信在很短时间内，我们将取得较第一个五年期间更为辉煌的成果。

地球物理探矿方法，是地质工作中的一种新技术、新方法。它根据地底下岩石矿物物理性质的变化，使我们有可能了解更多的深部情况。人们单纯依靠肉眼从地表去观察地质的时代已经过去。人们不仅要向出露地表部分索取资源，同时也要向被掩盖了的矿体索取储量。物探在这一方面具有尖兵的作用，它可以提高普查勘探的效率，大大节约布置山地工作的费用。

物探方法需要仪器，从仪器取得物理数据，最后再把数据转译成为地质语言，这样一个过程，就显得比一般地质工作要复杂一些。所以某些人往往有一种错觉，认为物探太科学，不好懂，或多或少存在一些神秘思想。为了破除迷信，解放思想，大力配合物探事业的发展，我们就着手编写“地球物理勘探方法小丛书”，内容力求简明易懂，使具有初中文化水平的人可以自行阅读。这些小册子，可以作为培训干

部的教材，也可以作为地質人員了解物探工作的參考資料。
我們想通过陸續出版這些小冊子，使地質部門的物探工作更易为人了解，使大家都可以購置儀器，大家都有可能建立物探隊伍的力量

這些小冊子，除了在文字上要求簡明易懂外，力求消除过于繁雜的物理計算，着重明确所能解决的主要任务。因此，它并不能完全包括方法本身的工作內容，例如磁法，除了找磁鐵礦，目前还更廣泛地用来进行地質填图性的工作，在磁法找磁鐵礦一書中，就沒有必要加以叙述，余者类推……。

閱讀這些小冊子后，如果感到叙述不清楚，要求进一步給予帮助和解答时，請函本社，以便作复。如有錯誤，請随时函告本社，以便改正。

地質出版社

电子自动补偿器

地質部地球物理探矿局

一、 引 言

电法勘探是以研究天然电场或是人为电流所产生的电场为基础进行矿床勘探和解决地質构造的地球物理方法。根据电流的种类不同，在电法勘探中可分成：(1) 交流电法和(2) 直流电法。由于交流电法在测量过程中，容易产生线路感应和受工业电力网的干扰等缺陷，因此到目前为止，直流电法的应用在电法勘探中还佔有重要的地位。特别是在解决水文地質、工程地質等地質构造的問題中，直流电法还具有相当大的比重。可以肯定的說，如果在直流电法勘探中能够拥有更完善、測量精度更高的仪器的話，那么它的应用范围和它的作用也必将增大。目前我們应用在电法勘探中的一些仪器，无论在測量精度方面或是在生产效率方面不是都很令人滿意的。特别是在高接地电阻区进行長距离电測时，这种缺点表現得更为明显。最近几年来，苏联地球物理仪器制造工作者在这方面作出了很多卓越的貢獻。我們現在在这本小冊子里所介紹的最近在地質部物探仪器所試制成的电子自动补偿器，基本上也是学习苏联先进經驗和参考了其他国家的一些仪器試制成功的。无疑的，这个直流电法新仪器的

一 試制成功將為配合當前地質工作的大躍進起着它應有的作用。

二、 对电法仪器的要求

在使用直流电法进行矿床勘探的时候，就需要对天然的或是用人为电流所产生的电场进行研究。研究天然电场（即自然电流法）的时候，只要沿着已定的测线来测量MN二点间的电位差就可以了；但是在研究人为电流所产生电场（即电阻率法）的时候，除去需要测量MN二点间的电位差以外，还需要对AB供电线路中的电流进行测量。显然，在这种方法中为了仅仅测得人为电流所引起的电位差时，在测量电极MN间的自然电位时首先应该用极化补偿器来进行补偿。

在野外电测的实际工作中可以清楚的体会到，工作中主要的困难，发生在测量条件比较差的情况下（也就是外界干扰大，和接地电阻大的情况下）来测量微小电位差（低于1毫伏）时。这种情况下引起测量困难的原因，不外乎下面所谈到的几点：

（一） 被测电位差不稳。这主要是在地壳中存在着低频率的交变电场所引起的。并且它是引起测量干扰的主要部分。这种交变电场的频率范围是很广的，它可以从阻碍测量工作最厉害的百分之几赫开始直到几赫为止，在个别情况下，也有比这更高的频率。

（二） 在测量线路中的接地电阻变化大。根据地区不同

这个MN測量綫路中的接地电阻的变化可以从十分之几欧开始到最大的几十万欧，甚至有几百万欧的。

(三) 被測量电位差的数值范围极廣。如果一个能够适合各种測量条件的仪器，它应该具有最小从100微伏开始到1伏的电压測量范围。

(四) 接通或断开AB供电綫路时，在MN測量綫路中所引起的暫态过程。

(五) 測量电路和供电电路間的絕緣不良。

(六) 野外工作时溫度和湿度的剧烈变化。

(七) 需要进行高精度測量时，要求进行大数量的重复測量（即檢查測量）。

由于上述对野外条件的分析，并加上我們对可能在某些場合下遇到的特殊情况的估計，我們不难提出对一个完善的直流电法仪器的要求。这个新仪器应该具备下列的一些技术特性：

(一) 在測量范围方面。在測量电位差方面，具有100微伏至1伏的測量范围。在測量电流方面，能从1毫安測至5安。

(二) 仪器在MN端的輸入阻抗不低于 $5 \cdot 10^5$ — $5 \cdot 10^7$ 欧。

(三) 在一般干扰的条件下，仪器測量誤差保証在1.5%以下，也就是相当于一个1.5級精度的电磁仪表。

(四) 为了补偿自然电位，仪器应该具有一个可以在正負500毫伏內連續变化的极化补偿器。

(五) 即使在干扰很大的情况下，仪器还能保持正常的

一 測量工作。

(六) 儀器能承受野外條件下的強烈的溫度和濕度變化。

(七) 必須保證在供電電路和測量電路間具有良好的絕緣。

(八) 必須使儀器在不影響其工作性能的情況下盡量地減少消耗功率，並可使用蓄電池或干電池作為電源。

(九) 為了適應野外的條件，儀器一方面應該是非常輕便，但另一方面還應該具有足夠的機械強度。

三、 現有儀器的主要缺點

從上述的對電法勘探儀器的要求來看，不难看出目前電法勘探中一些儀器的缺點。我們現有的儀器不外乎(1) 用人工補償的 $\Theta\Pi-1$ 型電位計和(2) 使用在電測站中作自動記錄的 $\Theta\Pi O-4$ 型示波儀。雖然這些儀器可以相互補償的解決電法勘探中的一些問題，但是還遠遠不能滿足一些困難條件下的測量工作。當然拿 $\Theta\Pi-1$ 來講，它具有一定的優點，它在一般條件下進行測量工作讀數也可靠，體積和重量都比較小，但是如果在高接地電阻區域進行小電位測量時，那麼測量誤差就將迅速的增加。這由於在 $\Theta\Pi-1$ 中用來作為零點指示器的 $M\Pi\Pi-3$ 型檢流計，僅具有較高的電流靈敏度，因此當外界接地電阻增加時，儀器的靈敏度就顯著的降低了，同時儀器的輸入阻抗也顯著下降。靈敏度和輸入阻抗的降低將導致測量誤差的增加。為了更清楚地闡明這個問題，我們

可以用一些具体的数字来举例。首先假定如果用放大鏡来观察 MПГ-3 型电表零点时, 可以达到最高的精度为 $\alpha^{\circ} = \pm 0.05$ 格 (MПГ-3 的灵敏度 $S = 4.5$ 格/微安)。这时相当在测量綫路中的电流

$$I^{\circ} = \frac{\alpha^{\circ}}{S} = \frac{0.05}{4.5} 10^{-6} \approx 10^{-8} \text{ a.}$$

如果將 E_{MN} 代表被測量电位差, 并估計測量綫路中电流为 I° , 这很容易計算出測量綫路中的总阻抗。这个阻抗应该是由 R_{BX} ——电位計的輸入阻抗, 和 R_i ——綫路接触电阻所組成的。这样可以写出

$$R_{BX} + R_i = \frac{E_{MN}}{I^{\circ}}$$

$$\text{即 } R_{BX} = \frac{E_{MN} - R_i I^{\circ}}{I^{\circ}} = \frac{E_{MN}}{I^{\circ}} - R_i$$

$$\delta \% = \frac{E_{MN} - I^{\circ} R_{BX}}{E_{MN}} \cdot 100 = \frac{R_i I^{\circ}}{E_{MN}} \cdot 100$$

从上面的公式中我們可以清楚看出, 儀器的輸入阻抗是随着被測量电位差減少而降低, 和这同时測量誤差确將迅速的增加起来。如果我們再假定 $E_{MN} = 1 \cdot 10^{-3}$ 伏, $R_i = 50,000$ 欧, $I^{\circ} = 10^{-8}$ 安, 代入上式

$$R_{BX} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{10^{-8}} - 5 \cdot 10^4 = 50000 \text{ 欧}$$

$$\delta \% = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2}{1 \cdot 10^{-3}} = 50 \%$$

- 一 如果在实际測量中遇到比上述更恶劣情况的话，那么測量誤差还将比50%更大。显然这样的測量就失去它实际的意义了。除此以外ЭП-1型电位計还有一系列缺点，如不能直接讀数，操作复杂，尤其是操作同步开关时还需要一定的技巧和經驗，仪器結構也比较嬌嫩，特别是电表容易损坏等，这些都給測量工作带来了更多的困难。

拿苏联1951年出品的ЭРС-23电測站来講。它主要依靠ЭО-3型示波仪来进行測量，虽然它在較低接地电阻的情况下可以除去外界干扰进行測量，并且还可以將記錄紙保存下来作为資料，但确有二个主要缺点限制了它的使用范围。首先是因为MN端的測量电位直接接入檢流計測量綫圈，因此輸入阻抗极低，仅仅是200—500欧。这就使仪器在不同接地电阻的情况进行測量的时候都必须重新校正仪器，并且如果接地电阻超过几万欧时，仪器就很难进行工作了。其次是必須在每一点选择对檢流計最好的工作情况。这些都將使測量工作复杂化，并使工作效率显著降低。

四、自动补偿电位計的原理

由上所述，电法勘探所采用的仪器，是存在着一系列的缺点。为使电法勘探的应用范围更加扩大，勘探效果更可靠，不得不在測量仪器上作进一步的改良。自动补偿电位計是針對着前面所提到的問題进行改进的。可以这样說，自动补偿电位計是比较完善的測量仪器。本文从其原理、結構、及其使用方法来作簡單的介紹。

首先，来研究自动补偿的工作原理见图 1。

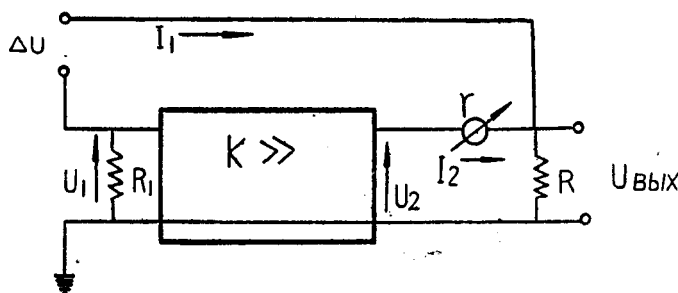


图 1

ΔU 是被测电压， U_1 是放大器输入电压， I_1 是 ΔU 通过 R 及 R_1 所产生的电流， U_2 是放大器输出电压， I_2 是 U_2 通过检流计 r 及 R 所产生的电流， U_{BX} 是输出补偿电压。

当被测电压加入 ΔU 端上， R_1 上产生了电压 U_1 ，此电压经放大器放大，输出电压 U_2 ，电流 I_2 经电流表 r ，在 R 上产生了电压 U_{BX} 。我们使这电压与 ΔU 相位差 180° ，因此自动的进行补偿，直至 U_{BX} 十分接近 ΔU 为止。

从图 1 进一步来研究，

$$U_1 = \Delta U - U_{\text{BX}} \dots\dots\dots (1)$$

真空管放大器放大系数

$$K = \frac{U_2}{U_1} \dots\dots\dots (2)$$

将 (1) 式代入 (2) 式得

$$U_2 = KU_1 = K (\Delta U - U_{\text{BX}}) \dots\dots (3)$$

放大器输出端的电流

$$I_2 = \frac{U_2}{r + R} \dots\dots\dots (4)$$

—因此輸出电压

$$U_{BMX} = I_2 R = \frac{R}{r+R} U_2 \dots\dots\dots (5)$$

(由于 I_1 极小可以不考虑)。

將(5)式代入(3)式得

$$U_2 = \frac{K}{1 + K \frac{R}{r+R}} \Delta U \dots\dots\dots (6)$$

將(6)式代入(4)式得

$$I_2 = \frac{\Delta U}{\frac{r}{K} + R \left(1 + \frac{1}{K} \right)} \dots\dots\dots (7)$$

如果 $K \gg I$ 及 $r \ll K$ 的情况下

$$I_2 = \frac{\Delta U}{R} \dots\dots\dots (8)$$

根据公式(8) ΔU 与 I_2 是成正比的, 因此电流表所通过的电流, 是随着 ΔU 的变化而变化, 并且是綫性的。如果將电流表的刻度改为 M.V., 則其所讀的数即是被测的电压。

五、 仪器的結構

自动补偿电位計全机电路如图 2, 大致可分为五部分:
一, 变流及同步整流部分。二, 放大器(包括电压放大及电力放大)。三, 补偿部分。四, 极化补偿部分。五, 电源部分。

一、变流及同步整流部分——这部分由功率管 $2\Pi 2\Pi$ 作单级低频振荡器，其交流变压器也就是振动子的激磁线圈，振动子是极化型。振荡频率约为 150—200 週，其工作情况参阅图 3。

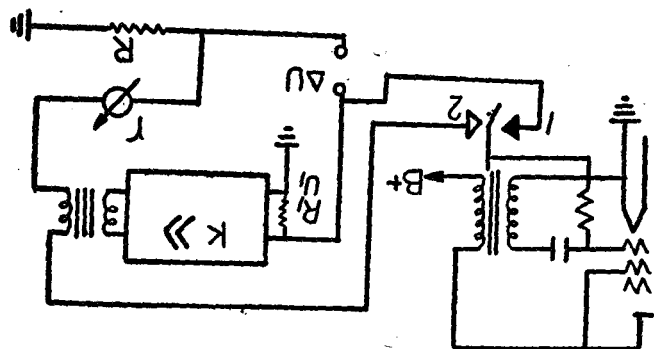
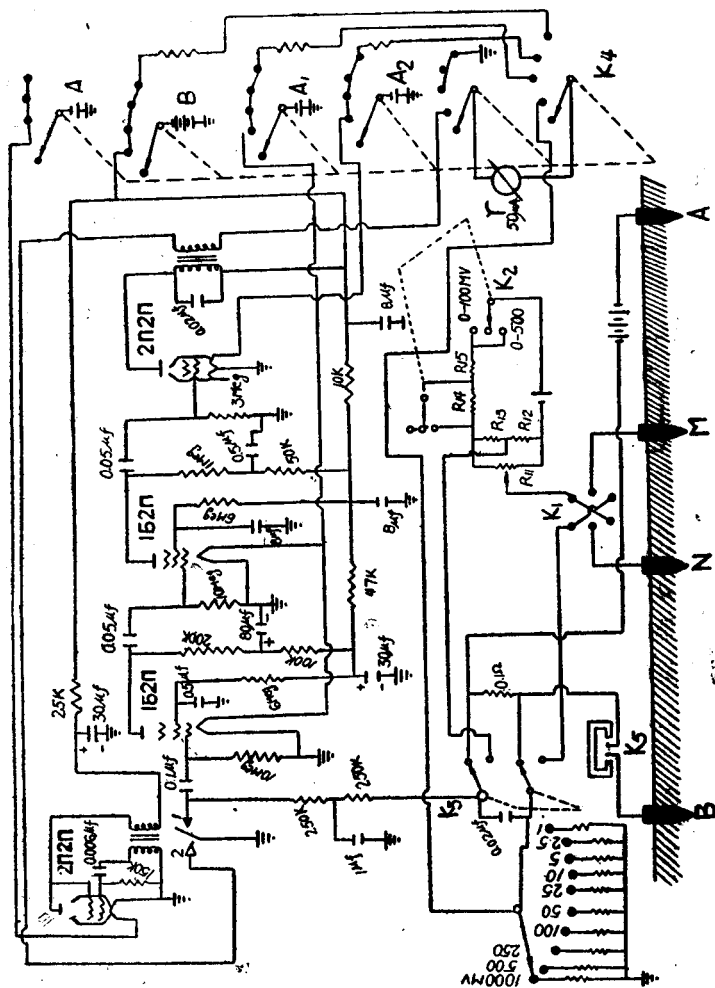


图 2

当振动子接触点向 1 接触时， R_1 上的电位差等于零值，当振动子接触点向 2 接触时，在 R_1 上就有电位。这时输出变压器也由于振动子的接触而完成通路，使 U_2 通过检流计 r 在负荷电阻 R 上产生补偿电压，其单向的脉冲电流，可在电流表上读得。

二、放大器——放大器是由 2 只 $1B 2\Pi$ 作为电压放大，以 $2\Pi 2\Pi$ 作为电力放大，其全部零件装在仪器底板的中間部分，与振荡器及电源部分都有隔离装置。第一级放大所用的零件都需良好的隔离，真空管需用較厚的軟鉄作为隔离罩。为了每级放大器不致干扰，必須有良好的退交連装置，零件的安排必須适当，以免各部分互相干扰，产生寄生振荡，影响读数。仪器的放大系数是相当高的，对外界干扰方面来说也是較灵敏的，因此在放大器輸入端裝有 T 型的濾



波器。

三、补偿部分——自动补偿器的补偿部分，也就是测量范围部分，可以自 0—1000MV，分为十档。测量电流时可以自 0—5000mA，分为九档。电流表 r 的满格灵敏度是 50 微安，所以补偿电压可以用欧姆定律计算。

$$\text{补偿电压 (MV)} = 0.05\text{MA} \times \text{负荷电阻}$$

下面的表是测量范围的分档，与各档负荷电阻的数值。

补 偿 电 压	负 荷 电 阻
0—1000MV	20K Ω
0—500	10K Ω
0—250	5K Ω
0—100	2K Ω
0—50	1K Ω
0—25	500 Ω
0—10	200 Ω
0—5	100 Ω
0—2.5	50 Ω
0—1	20 Ω

四、极化补偿——为了测量 ΔU 必须补偿极化电位，本仪器的极化补偿器是由 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 、 R_{14} 、 R_{15} 等，组成桥式电路，因此可以正负方向都能补偿，其补偿范围自 0—500MV，分为二档， K_2 是补偿范围及其电源开关。

五、电源部分——为了避免仪器内部各级的干扰，真空管发热器电源是分别供给的，二级电压放大合用一个电源，振荡器与电力放大器各单独供给，这样也可以使电池放电电流减少，延长更换电池的时期。

六、仪器的性能和使用方法

在自动补偿电位计的面板上有 MN、AB 的插座，左面有：反向开关、极化补偿开关、极化补偿旋钮、测程开关，右面有：测量选择开关、供电按钮开关、电流表短路开关、仪器电源及其测量电源开关，中间是四吋的方形电流表。工作时可将仪器放在三脚架上，接妥 MN 及 AB 插头，将测程置于需要的范围内，测量选择开关置于“MN”的位置，然后将仪器电源开关置于“开”，稍待片刻，电流表就出现读数。这是自然电位，用极化补偿将它补偿至读数为零。最后按下供电开关，从电流表就可以读得被测的电压。如发现电流表指针往反方向偏转，可用反向开关使它改正。测量供电电流时，先将电流表短路，然后将测量选择开关置于“A B”，即可测量。这里必须注意的是不论在变换测程、或变换测量选择开关时，必须先要将电流表短路，以免电流表指针激烈跳动。在有工业干扰的情况下，可在仪器外，加接滤波器。如果仪器内的电池使用已久，则在测量前，要先检查仪器的电源电压。检查时，将开关分别置于 A_1 、 A_2 、B 等三个位置上。当开关置于 A_1 及 A_2 时，电表指针应在蓝色线以上。若不到蓝色线，就必须更换 A 电池。开关放在“B”的位置时，电流表指针，必须位于红色线以上，否则表示 B 电源不足，必须更换 B 电池。

总结一下，自动补偿电位计可以有下列优点。第一，自动补偿电位计的灵敏度较高，它可以有把握的测量 50—100