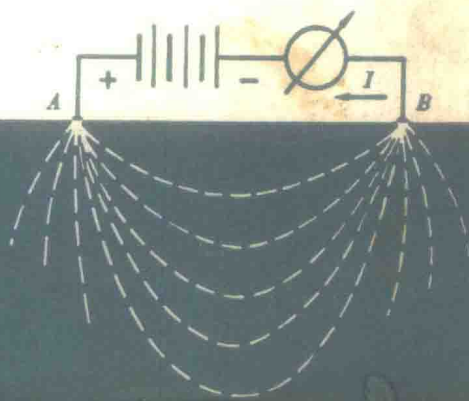


В. Б. Карсентьев | 著
Л. Я. Мейер | 著

何之棣 稅蔚梅 孙克昌译

地球物理勘探用 电子管测量仪器



中国工业出版社

本书系統介紹1953—1955年間烏克蘭蘇維埃社会主义共和国科学院机械自动化研究所試制成功的各种直流电法測量仪器，其中包括电子自动补偿器、直接讀数的仪器、記錄式的电法勘探仪器。对于我国电法勘探人員和电法仪器修造人員以及有关院校物探专业师生都很有参考意义。

本书由稅蔚梅和孙克昌同志譯引言、序言及一、二章，何之棣同志譯三一六章；全书經华凤山、唐光后两同志校閱。

К.Б. Карандеев Л.Я. Мизюк
ЭЛЕКТРОННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
АППАРАТУРА ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ
Госгеолтехиздат Москва 1958

* * *

地球物理勘探用电子管測量仪器
何之棣 稅蔚梅 孙克昌譯

*

地质部地质书刊編輯部編輯(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京修編胡同10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $9^{1/4}$ · 插頁 6 · 字数 239,000

1963年9月北京第一版 · 1963年9月北京第一次印刷

印数0001—1,822 · 定价(10-7)1.75元

*

統一书号: 15165·2334 (地质-232)

引 言

在这本向讀者介紹的书中綜合并系統地敘述了烏克蘭蘇維埃社会主义共和国科学院机械自动化研究所在1953—1955年間試制成功的直流电法測量儀器的有关資料。

书中主要是研究在試制成功的大部分仪器中作为原理基础的电子自动补偿綫路。資料的敘述比較淺显，目的是为了即使是不以电子学和測量技术为主要专业的讀者也能看懂。

烏克蘭蘇維埃社会主义共和国科学院机械自动化研究所的許多工作人員（Г. А. 什塔姆別爾格爾，В. Г. 祖博夫，В. Н. 岡恰爾斯基，И. Г. 米丘欣，Л. Д. 吉克，И. Г. 庫茲涅佐夫，Э. В. 舍列麥齊耶夫，С. К. 庫佐夫金，Л. В. 特拉烏別，А. И. 安東諾夫，Б. М. 查依傑利，А. Ф. 諾維茨基）都参加了电法勘探儀器的試制工作。

Н. Н. 阿尼克耶娃，Н. М. 科乾，О. И. 波德沃洛茨卡婭，Э. В. 舍列麥齊也夫对整理手稿曾給予很大的帮助。审閱手稿时，А. М. 阿列克賽也夫提出了許多有益的意見和建議。作者謹借此机会向这些同志表示衷心的感謝。

如有意見和要求請按以下地址寄郵：利沃夫城，科彼爾尼卡街，15号，烏克蘭蘇維埃社会主义共和国科学院机械自动化研究所（г. Львов, ул. Коперника, 15, Институт машиноведения и автоматики АН УССР）。

序 言

直流电法勘探在整个物探工作中占有重要地位。在苏联，直流电法广泛用于普查和勘探石油、天然气、煤田和金属矿床。利用电法勘探可以解决各种工程地质、水文地质以及其他问题。

在初期，电法用于研究地下不很深处的地质情况，所用的测量仪器是磁电式的毫伏计与检流计、迈格仪和电位计。

随着向解决比较复杂的地质问题的过渡，对电法测量仪器的要求也提高了。迈格仪与毫伏计已经不能保证必要的测量灵敏度和精确度，它们几乎普遍被电位计代替，电位计在很长时期内成了实际上唯一的电法勘探的测量仪器。

在勘探新的石油矿床时，需要进行深部的物探工作。为此，苏联专家在1946—1947年开始采用示波图来记录所测量的值。这样就能大大扩大电法勘探解决问题的范围。

由于电法勘探工作量的增加，工作质量和地质效果的必须提高，新方法的研究和推广以及边荒地区的开发，所以在制造专门的测量仪器前面便提出了许多新任务。近年来随着各种物探方法的作用的显著增大，就特别感到有改进测量仪器的必要。

许多研究所和物探托辣斯都进行了改进旧的、试制新的电法测量仪器的工作。其中，1953年乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院机械自动化研究所接受了试制携带式直流电法自动测量仪的任务。1954年夏，该研究所制成了两台分别用照像记录和用笔记录的自动测量仪器的样品。根据 A. C. 谢苗诺夫，A. B. 魏舍夫和 A. Ф. 佛金的建议，1955年研究所又试制成功了直接读数的仪器。

试验结果，仪器获得了很高的评价并被推荐成批生产。

同时用于大地电流法的高灵敏度双道自动补偿器的可供操作的模型在西西伯利亚也顺利地通过了试验。它为以后试制这种类型的仪器建立了基础。

1956年研究所制成了携带式輕便的单道偶极测深示波仪，此仪器已被建議进行推广。大地电流仪和偶极测深仪的試制人員是地球物理和地球化学勘探方法研究所的研究員 A. M. 阿列克謝也夫，A. M. 查加尔米斯特爾和M. H. 別尔季契夫斯基。

目 录

引 言

序 言

第一章 直流电法勘探的测量任务及所用的测量仪器1

第二章 测量小直流电压线路的分析26

第三章 电子自动补偿器98

第四章 直接读数的仪器 162

 电法勘探的自动补偿器 162

 电法勘探的解算自动补偿器 196

第五章 记录式的电法勘探仪器 233

 双道自动补偿器 233

 ЭШО-56 单道示波仪 245

第六章 自动的电法勘探仪器 260

 用笔记录电子补偿器 260

 照相记录的自动补偿器 273

参考文献 287

第一章 直流电法勘探的测量任务 及所用的测量仪器

§1. 测量的值

大家知道 [25, 21], 直流电法勘探是以研究天然存在的或人工建立的地下电场为基础的。

天然电场可以分为稳定的和不稳定的。

稳定电场常具局部性质, 它主要是由氧化还原作用、地下水的渗滤作用, 饱和岩石水中溶解盐类的扩散作用造成的 [18, 69]。

不稳定电场可以有各种不同的成因 [69]。对地球物理学来说, 最有意义的是大地电场, 一般推测, 这种电场主要是由太阳辐射强度的改变而引起的 [18]。大地电场的变化具有不同的周期性, 通常是区域性的。目前勘探地球物理上利用的只是变化周期为10—60秒的大地电场分量。

用“自然电场法”研究天然成因的稳定电场 [69, 18], 能够普查和勘探作为金属矿物探研究对象的硫化矿床、石墨矿床和煤田, 以及解决某些水文工程地质问题 [69, 18, 14]。

自然电场法的物探工作是用测量测区内一定点之间电位差的方法进行的。为此, 土壤中要插入专门的电极——不极化电极, 用它来测量电位差。电极间的电位差通常由几毫伏至几十毫伏, 偶尔达几百毫伏。电位差在时间上是相当稳定的。

要进行自然电场法研究, 必须要有能够测量较小的直流电压的仪器。由于稳定电场的相当稳定性, 因此希望最好在测电位差时用肉眼来读数。

对大地电流场的研究是在普查油气矿床, 以及测定高电阻层顶部起伏的时候。这时电位差也用不极化电极测量, 研究对象是缓慢变化的电位差 (大地电流的变异)。变化值取决于地电条件。在深处有低电阻岩石分布的地区, 变化的电位梯度由每公里

几十微伏至几毫伏。

在用大地电流法进行工作时〔18〕，需要在测区的几个点上（至少在两个点上）同时记录周期为10—60秒的大地电流变化，且不能有显著的相位和幅度畸变。每一点上必须同时在互成角度的两个测量綫路内进行测量。通常所用的綫路約长0.5—1公里。在这种情况下有效訊号极弱，在大多数情况下不超过1毫伏。因此测量仪器应该具有很高的灵敏度，并应适用于记录緩慢变化的电压。

目前，研究人为的地下电场的各种电法勘探占有相当大的比重。这些方法都以岩石导电率的差异为基础。

在研究人为的电场时，或者测定等位綫（等位綫法和充电法），或者测定岩石的视电阻率（垂向电测深法——BЭЗ 和偶极电测深法——ДЭЗ，以及电剖面法，这些方法常常总称为电阻法）。

应用人工电场能够解决許多构造地质問題，特别是确定岩层的埋藏深度，查明和追踪不同沉积的范围等等〔18〕。人工电场广泛用于修建巨大建筑物，敷設鉄道，研究地下金属构件的腐蝕情况等工程地质中，同时也用于研究地下水状态以及普查地下水的水文地质中〔14, 15, 59, 23〕。

人工电场用直流电源——原电池（当供电綫路的长度很小或中等时）或发电机（当供电綫路很长时）供电。电流通过金属电极——相距有一定距离的供电电极，流入地下。根据电法勘探工作的方法、研究的深度以及研究地区的地质情况，供电电极間的距离可以由几米至几十公里。供电电源的功率和送入地下的电流强度取决于供电綫路的长度、测区岩石的导电率、测量仪器的灵敏度。供电綫路的长度不大时，人工电场的供电电流由几毫安至几安培，功率——由几十瓦至1—1.5千瓦左右。当供电綫路的长度超过5—10公里时，电流强度常要达到几十安培，功率則要达到几十千瓦。

为了研究人工电场，要采用专门的电极系——埋入地下的接收（测量）电极和能够测量这两个电极間电位差的测量仪器。一

般用铜电极作接收电极。电极与土壤的界面上产生的电位差称为电极电位差。其数值取决于电极的材料和其中所含的杂质，取决于土壤中盐类的化学成分和土壤的湿度，取决于温度和其它一系列因素。置于空间一定点上的接收电极，其所处条件并不相同，因此在它们之间便产生不希望有的电位差，妨碍了对人工电场的研究。为了消除电极电位差的有害影响，不得不采用同步断续器，这样便使测量方法变得复杂^①，或者在测量仪器中装一个专门的装置来补偿这一电位差。等位线法或充电法工作中所用的测量仪器应该保证能够测量由几百微伏至几毫伏的直流电电位差。人工电场的供电电流在这种情况下可以是未知的；重要的只是使它在工作过程中保持不变。

在石油和金属物探、工程地质、水文地质工作中，电法勘探的绝大部分工作量都用电阻法（电测深和电剖面）完成。用电测深能获得测点下面整套岩层的垂直地质剖面的概念。用电剖面法能够沿着某一水平方向追踪一定深度内视电阻的变化。

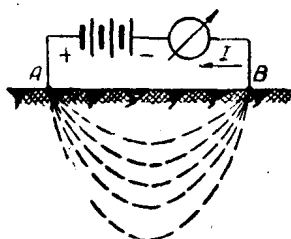


图 1 人工电场地下电流线的分布情况

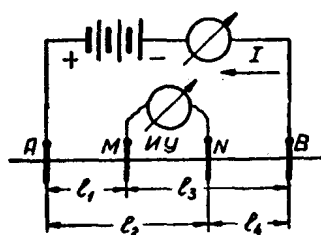


图 2 用于测量视电阻的四极排列原理线路图
HY—测量电位差的装置

使用这些方法时，直接研究的对象是岩石的电阻率。应该指出，由于导体（岩层）的特点，一般测量单向导体电阻的方法在这种情况下就不适用，因为地球是三向导体，其电流密度在各处是不同的，而且长度和横截面的概念也不固定。

① 经常采用脉动器作为同步断续器[18]。

A, B 接地电极与直流电源接通时电流綫的分布情况见图1。电极附近的电流密度很大，距电极远的地方电流密度則很小。可見土壤的电阻率对电极間电阻的影响，要比物探工作所調查的深部岩层的电阻率大得多。因此测量两电极上的电流强度和电压仅仅只能（如見[72]）确定电极总的接地电阻，而不是岩石的电阻。

要测量深部岩石的欧姆电阻，就要测量这种地带的电位差，那里的人工电场可以看成是均匀的。为此，通常采用四极排列（图2）。假如 $AB \gg MN$ ， $M、N$ 电极距 AB 电极相当远，测量結果便与接地电阻无关。

假設地表下的介质电性是均匀的，电流經過点电极流入地下^①，則可得出这一介质的电阻率方程式。

假設与电源負极接通的电极位于无穷远（图3）。这样就可以推想，等位綫相对 A 电极对称分布，电流綫沿半径通过。

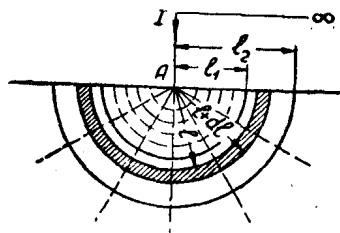


图 3 点电极附近的等电位綫和电流綫图

試求半径为 l 和 $l+dl$ 两个半球体之間岩层（介质）的电阻 dR 。

这个小体积的长度等于 dl ，內表面和外表面的横截面积分别为 $2\pi l^2$ 和 $2\pi(l+dl)^2$ 。求导体横截面时，因 dl 与 l 相比甚小，故可忽略不計，并假設整个岩层的电阻率为 ρ ，可写出求电阻 dR 的等式。

$$dR = \rho \frac{dl}{2\pi l^2} \quad (1)$$

利用此等式得出半径为 l_1 与 l_2 两个半球体之間的电阻值：

① А.И. 查博罗夫斯基[21]指出，当 MN 电极距实际的供电电极相当远时，供电电极形成的电场实际上和点电极所形成的电场相同。

$$R = \int_{l_1}^{l_2} dR = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{l} \right]_{l_1}^{l_2} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} \right) \quad (2)$$

已知电极输出的电流强度和球体间的电阻就很容易求出A电极在M、N点间所产生的电位差:

$$u_A = IR = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} \right) \quad (3)$$

将A电极置于无穷远处,与(3)相类似,可以对同样的点写出电流进入B电极所产生的电位差的方程式。在这种情况下,电位差的符号相反,即:

$$u_B = -\frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_3} - \frac{1}{l_4} \right) \quad (4)$$

式中 l_3 和 l_4 ——M点与N点到B电极的距离(见图2)。

假如A、B两电极距M、N点的距离有限,M、N点上的电位差(ΔU)则等于每一个电极所产生的电位差的总和:

$$\Delta U = u_A + u_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4} \right) \quad (5)$$

由此得出电阻率

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \cdot \frac{2\pi}{\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4}} = \frac{\Delta U}{I} \cdot k \quad (6)$$

式中系数

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4}} \quad (7)$$

因此,为了求得介质的电阻率,必须测量供电线路的电流强度 I , 接收电极上的电位差 ΔU 以及电极间的距离。

在野外条件下,测量在地表进行,在地表面不同的深度埋藏着各种不同的岩石。与均匀介质的区别在于:(6)式在这种情况下求的是所谓岩石视电阻率^[21],它以 ρ_k 表示。

电法勘探中电位差通常以毫伏作单位，电流强度以厘安作单位， $\overline{AB}$ 与 $\overline{MN}$ 距离以米作单位，视电阻以欧姆米作单位。

在最常用的对称四极排列的情况下

$$l_1 = l_4 = \frac{\overline{AB}}{2} - \frac{\overline{MN}}{2},$$

$$l_2 = l_3 = \frac{\overline{AB}}{2} + \frac{\overline{MN}}{2}$$

系数 k 在这种情况下取决于下面的关系式

$$k = 0.1\pi \frac{\overline{AB}^2 - \overline{MN}^2}{4\overline{MN}} \quad (8)$$

对于固定的 $\overline{AB}$ 距与 $\overline{MN}$ 距一般可以预先算好^①。

用这种方法测量视电阻时，测量电极附近的电流密度不大，因此 ΔU 和 ρ_k 不以土壤和土壤下的岩层的电阻率为转移。研究深度大大小于供电电极间的距离。为了增大研究深度，必须增大 $\overline{AB}$ 电极距。测量电极距最好保持最小。然而实际上却不得不逐渐增大，因为随着 $\overline{AB}$ 的增大，电位梯度逐渐减小，因此只有在 $\overline{MN}$ 电极距较大时才能测出 ΔU （由于仪器的灵敏度有限）。且（6）式仅在 $\overline{MN} \leq 0.3 \overline{AB}$ [21] 时才成立。

求视电阻时，测量电流强度（由 5—10 毫安到 2—3 安培，而在深部垂向电测深以及偶极电测深时至几十安培）一般不会遇到甚么困难。电极间的距离可以根据事先准备好的 $\overline{AB}$ 与 $\overline{MN}$ 线路的导线长度直接求出。最大的困难是在测量电位差 ΔU 的时候。

电位差的测量范围一般由一、二百微伏至几百毫伏，但由于外加不稳定电场的存在，测量便变得复杂了。

在作电剖面和小电极距的垂向测深时，大地电流和其他外加电场一般对测量的妨碍不大，因此，

① 在用其他方法进行工作时，常常也可预先确定 k 的数值。

首先，在这些工作中最好采用能用肉眼取得 ΔU 和 I 讀数的測量儀器。在这种情况下視电阻值可以按公式 (6) 計算。

其次，測量电位差的儀器最好能具有尽可能大的灵敏度，因为这样可以縮短測量綫路的长度，同时可以降低各种电性干扰的程度和工作成本。

第三，因为最終求出的值是視电阻，因此最好使儀器讀出的不是电位差和电流强度，而要直接算出視电阻值。視电阻的測量范围應該由百分之几欧姆米到几十万欧姆米。

如果在作电測深时，供电和測量綫路的极距很大，或是作偶极測深时，距供电裝置距离很远，这时由于有許多現象，特别是不稳定電場的迭加（大地电流的变异）、地下電場的形成等而給电位差的測量造成困难。为了消除各种干扰的影响，必須采用一般有两个分开的測量道——电流强度測量道和电位差測量道的測量儀器。进行电測深时，这两个值記錄在一个紙帶上，进行偶极測深时則記錄在两个紙帶上。記錄結果整理之后，求出視电阻值。

这样，綜合上述，可以看出，用自然電場法、电剖面法、充电法和小电极距的垂向測深法工作时，測量儀器應該能够測量大約由 100—200 微伏至 300—500 毫伏的直流电位差和由 5—10 毫安到 2—3 安培的电流强度。在用电剖面法和測深法时最好能直接取得視电阻值。所有上述的参数，最好能在儀器的刻度盘上直接讀出。

在用大地电流法进行工作时，儀器應該有两个独立的測量道，測量电位差的緩慢变化，并应有很高的灵敏度。測量結果應該用适当的示波图記錄下来。

在用大电极距的垂向測深法进行工作时，以及在进行偶极測深时，測量儀器應該包括电流强度的測量部分（其值可达几十安培）和电位差的測量部分（其值可由 100 微伏至 10—30 毫伏）。电流强度和电位差的測量結果必須記錄下来。

除求出应測量的值之外，重要的是确定測量精确度。这里的困难在于未能分別提出各种参量的測量誤差。这个問題暂时还没

有很明确。电法勘探工作规范〔25〕要求测量 ρ_k 的相对误差整个不超过 5%。自然，仪器的误差应该比较小。可以推测，电位差和电流强度的测量误差为 1.5—2.5% 时（这也符合于仪器的精确度），这样的测量是可行的。

§ 2. 测量方法和测量线路图

地下电场（天然的和人工的）的研究是用测量电位差所必需的专门的电极系（图 4）进行的。在测量线路中它们起测量电动势电源接线路柱（阴阳极）的作用。由于岩石的导电率有限，电极与地之间的接触电阻（或者称为过渡电阻）就可能受接地条件的控制而在很大的范围内变化。当导电率很高和土壤潮湿时，接触电阻值约为 1 欧姆。当埋于干燥的土壤、砂或在坚硬的岩石中时，接触电阻则大大增加，达几万、几十万，有时甚至达几百万欧姆。

电极间岩层的电阻通常要比接触电阻小得多。

考虑到有电极的接触电阻和电极间的岩层电阻存在，测量等效电路可以按图 5 连接。这里所测的电位差 ΔU 被电动势电源 $\mathcal{E}$ 所代替，而由 M, N 电极的接触电阻和岩层的电阻所组成的总电阻则为电源的内阻 r_i 所代替。此种等效电路在很大程度上是经过简化的，并且没有考虑研究天然电场和人工电场时所发生的一系列现象。

在研究天然电场时实际上常常要遇到不稳定电场。考虑到，研究自然电场时采用的是不极化电极，因此，等效测量电路可以按图 6 来连接。图 6 中的稳定电位差为电动势 $\mathcal{E}$ 所代替，不稳定电位差为 $\mathcal{E} \sim$ 所代替，接触电阻为内电阻 r_i 所代替^①。

电动势随时间变化的规律不可能用某一分析式来表示，因为，不稳定电场的变化带有统计的性质。

在作自然电场法时，研究的是电场稳定分量，因而，分量 $\mathcal{E} \sim$

① 我们发现，对于图 6 电路每一部分来说， r_i 电阻值都是不同的，并且可能是无功的，而不是有功的。但是考虑到所有的变化中表现得最明显的是长周期变化，因此可以认为对于它们来说和对于直流电来说，内阻是大致相同的。

則成为干扰出現。只有长周期（达数小时或更大）不稳定电場的分量对测量过程不发生影响，因为测量的延續時間不长。电場的高頻分量很容易被滤掉，从而也就易于消除这些分量的作用。最可厌的是周期为零点几秒到10—60秒的分量。它們的出現在相当大的程度上增加了测量的困难。通常由于用自然电場法进行工作时的导綫不长，因而不稳定电場引起的电位差不大，它常常很少对测量結果发生影响。

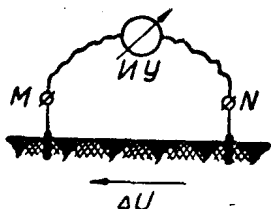


图 4 测量电位差的綫路

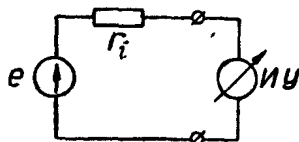


图 5 测量綫路的等效电路

在用大地电流法进行工作时，电場的对象改变了：在这种情况下周期为10—60秒的变化是所要测的电位差，而稳定电場却变成了干扰。由于此电場随時間变化是相当稳定的，因而为了消除这个电場，通常在测量装置中装一个极化补偿器，它能产生相反的电动势，从而补偿稳定电場的作用。极化补偿器能保証大約在±50—100毫伏的范围内均匀地調节电压。

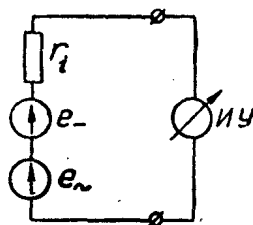


图 6 研究自然电場时的等效测量电路

在研究人工电場时等效电路由于以下原因而复杂化了：首先是由于出現了可以接通或断路的人工电場等效电动势；其次是由于出現了电极电位差，因为工作时用的是极化电极；再其次是由于电极的极化作用，它是电流在测量綫路中流过时发生的，它使电极电位差的內阻和作用值改变。将天然稳定电場所造成的电动势、电极电位差和极化电动势合并为一个等效电动势 e_0 ，則可得出图7的等效测量电路。由于极化电动势的不稳定，在测量过程中的 e_0 就随時間而变化。

在图7的线路中，装上开关 K 就能够接通和断开由人工电场所产生的等效的电动势 e_u 。当开关关闭时，电动势 e_u 断开。这也就相当于外电场断开；当开关开路时，此电动势接通，这也等于接通供电电路。

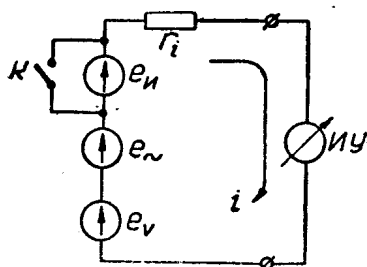


图7 研究人工电场时的等效测量电路

此线路就象上面的线路一样，是经过简化的，并未考虑到人工电场的形成过程。看来，假如在等效电路中装一些补充零件——电容或电感，那么这一现象是可以估计进去的。

在研究人工电场时，测量值是电动势 e_u 。而电动势 $e_{\sim}$

和 e_v 则成干扰出现。为了消除电动势 e_v 的干扰作用，必须在测量仪器中装入一个极化补偿器，在极化稳定的情况下，借助于极化补偿器就能补偿此电动势并消除此电动势的影响。但当极化不稳定时，就无法利用极化电动势补偿器消除这一干扰的影响①。

要消除与不稳定电场作用等效的电动势 $e_{\sim}$ 则更加困难。这一电动势的影响，特别在测量线路很长或有效信号 e_u 很弱时，表现更为强烈。为了消除不稳定极化和不稳定电场的影响，曾提出了特殊的工作和记录信号的方法[80]，按照这种方法，开始是在没有人工电场的情况下（图7中的开关 K 通路）进行记录，然后，在出现出人工电场的情况下（开关 K 断路）进行记录。重复这样的操作，就能获得图8中所示的这种记录。这样可以在开关 K 开路或断路时，即在工作线路中电流接通和断开时，测定 e_u 的值。然而，在实际条件下，记录的性质由于形成电场过程的重迭[18,80]而变得复杂起来。测量结果的整理变得更繁杂，并失掉其

① 为了完全消除极化电动势的影响，可以周期地改变人工电场的方向，并同步转换测量装置输入端接线柱的极性。这可以用专门的换向装置来进行，在物探中采用脉动换向器[18]作为这种装置。但这种方法仅适用于短距离供电电路使用。

单值性。将测量装置与测量电极连接起来，就会在测量电路中产生电流。 MN 线路中电流的存在，使电源的一部分电压，即所测的一部分电位差在内阻中降掉，因此，测量装置所指示的不是被测的全部电位差，而仅是测量电极两端的电压。很明显，测量线路中电流愈大，接触电阻值愈高，仪器上的读数与所求电位差的差值也就愈加明显。当接触电阻的改变范围很大时（这在实际条件下是常遇见到的），测量误差可能达到不能允许的地步。此误差绝不是由于电场因测量电路中分流所引起的电流的畸变而产生的，这在〔5〕中已令人信服地证实了。误差产生的原因是由于测量装置的输入电阻不够的原故。因为，实际上测得的是电压，而不是所求的电位差（即电源电动势）。为了减小误差，就必须减小电源的内阻值，或是增大测量装置的输入电阻使 $R_{ex} \gg r_i$ 。由于仅仅在试制相应的仪器的条件下才能选择第二条途径，因此，在实际工作中通常采用第一途径。为此，将土壤用水浸湿，插入一些并联的铁电极等。但这些措施会降低生产率，并在许多情况下也得不到预期的效果。

除测量电位差外，在人工电场法的工作中，还必须测定产生该电场电流的大小，为了测定电流强度，可以将磁电式安培计接入供电线路中。但是在实际的电法勘探中，电流通常用测量电位差的同一装置来进行测量。为此目的，将标准电阻接入供电线路

中。利用测电流和电位差的同一测量装置能够减少测定视电阻的误差，因为，在（6）式中包括的是 ΔU 被 I 除的商数。

为了避免测量视电阻的误差，必须保证测量线路与电流回路之间以及它们与地之间的高度绝缘〔18〕。

如此一来，不论直流电法勘探工作中所用的方法如何，从电测的观点来看，其主要任务都归结为在干扰很大的条件下和电源

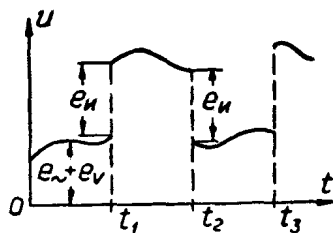


图 8 研究人工电场时消除干扰的原理