

# 電法勘探的現狀和發展遠景

克維亞特柯夫斯基

北京地質勘探學院翻譯室譯

傅良魁校

电法勘探是調查矿床用的最“老”地球物理方法之一。

我们知道，研究金属矿床上的自然电场初次試驗是在十九世纪中叶。实际上較广泛地应用电法勘探以找寻矿床是在二十世纪初年，用来找石油矿是在二十世二十年代。換句話說，电法勘探已有近半世纪的历史了。

現在，电法勘探最广泛是用在金属矿区，恐怕在金属矿床的找矿和勘探方面它是佔主要位置的，如果不談地球化学方法，因后者有一系列历史上的原因，故至今有許多物探家們認為是特殊的地球物理方法。研究石油矿区時，电法勘探的作用稍小，但亦很重要。还应当指出，在解水文地质和工程地质任务，找寻和勘探煤矿時，电法勘探大约是一种主要的地球物理調查方法。可是从电法勘探总的工作量来看，上述对象只佔次要作用，所以下面我們主要只談研究石油和金属矿区時的电力勘探方法。

## I. 研究石油矿区時的电法勘探

我们知道，現在研究石油矿区時所有的电力勘探方法中应用最广的是垂向电测深法（B. 3. 3）。用得較少的是各种剖面法，更少用到的是大地电流法和线圈法。

1. 电测深法。油矿区电测深法比其他电力勘探方法的主要优点是：用电测深法可以定量估計沉积岩层下伏岩基的深度。此外，在一系列情况下，电测深法可以把沉积岩层各层位划分出来。应当指出，大家常常对解决第二种任务不加应有的注意，虽然它有很大的意义，因为能判断厚度，尤其重要的是判断各层位的岩相成分。

可是，現在应用最广的一种电测深方法是对称装置的电测深法，它有許多重要缺点，其中包括以下几点：

a) 解釋的精确度低，在相当程度内与所謂断面等值原理的

作用有关，若鬆疏沉积各层位的岩相成分不稳定时，等值原理有着特别重要的作用；

5) 观测效率很低，特别在调查地下深处，需用极笨重的装置时，效率尤其低；

6) 存在很难估计的“侧面”影响，使用大的供电电极距装置时，这种影响实际上是不可避免的；

2) 调查地下深处时各种干扰（感应电动势，电流场的建立，大地电流等）的影响很强烈；

探测方法今后的发展和改进，自然应该是消除或无论如何是大大缩小上述缺点。

例如，调查超过 500 米的深处时，用所谓“电测站”代替电位剖就可大大地减小各种干扰的影响，并同时提高观测质量，

从对称测深 ( $B \ni B$ ) 变为偶极测深 ( $\Pi \ni \Pi$ ) 可大大“减轻”装置的负担，与使用电测站的同时可提高观测的效力。此外在许多情况下偶极测深的应用可以更可靠地把沉积岩层划分成各个层位（因为  $\Pi \ni \Pi$  曲线分辨性较高），虽然偶极测深 ( $\Pi \ni \Pi$ ) 比之对称测深 ( $B \ni B$ ) 有某些缺点（对表面不一致的灵敏度过高，使地形测量复杂化，必需用较强的电源等），近年来偶极测深方法则在实践中越来越推广，而对称测深则逐渐被排挤。推广  $\Pi \ni \Pi$  法的主要障碍现在是缺乏解释时所必需的，足够数量的  $\Pi \ni \Pi$  理论计算曲线（量板）。这种困难可能在最近几年内消除， $\Pi \ni \Pi$  法在调查地下深处时将起着比  $B \ni B$  法更重要的作用。

据许多研究者的意见，今后电测深法的改进是往利用低频交流电的方向走。战后，苏联一系列科学研究组织从事探讨低频偶极测深的工作，近年来理论和实验调查证明，用固定频率的交流电能根本缩小等值原理的作用，即提高方法的分辨能力，减低干扰的影响。此外，用交流电时，若各层内存在无穷大电阻层的鬆疏沉积时，可研究其岩的顶板。

电测深法转变为所谓“频率测深”的希望更大。理论上表明用数个频率的交流电时，基本上可以避免等值原理的作用，即互不依赖地确定各层的厚度和电阻率。然后，由于频率测深时发射和接收装置可以固定不动，且相互紧密贴近而有一切先决条件以根本增加观测效力，减少“侧边”影响，减低干扰的级次。

交流电的测深理论，特别是频率测深的理论的探讨，也像仪器一样，目前还完全没有足够地广泛应用于实践中。自然，转向交流电的测深，关系着制造复杂仪器和探讨出很可靠而方便的整理观测结果的方法。还需要许多年。虽然交流电测深法有很大的前景但在许多情况下它比起直流电测深法来还是不大有效的，首先，这种情况发生在疏松沉积层盖基岩顶部；而沉积层中有导电很好的层位，它对交流电“屏蔽效应”大于直流电的时候。由此可见，交流电测深法不见得能完全代替直流电  $B\gamma\gamma$  法或  $A\gamma$  法。

2. 剖面法，主要是用两种供电电极的对称剖面法，战前苏联研究构造翼倾角很大的油矿区时，应用这种方法特别广泛。在战后年代找油矿工作的重心移到了深处平缓构造的区域，因此完全趋向于用测深法、排挤，剖面法，甚至在踏勘阶段亦如此。在我们看来，这远远不是始终合理的。的确，在很多情况下上述区域内用剖面法的效率要比测深法高得多，也可以解决同样问题。如果因为某些原因而不可能对  $B\gamma\gamma$  曲线作定量解释的话，在这样情况下，一般根据测深资料而编制各种等欧姆图、 $S_K$  剖面等等，这些图的解释比根据剖面资料所编的类似的图解稍多。

可是，虽然程度差些，但也像测深方法一样，探测时的观测效率在调查深度增加时就大大降低，因为这是需要用供电电极距越来越大的装置的。根据这一原因近来已开始更多地注意大地电流法了，这种方法原则上很不同于用  $AB$  线很大的剖面法。

3. 可以追溯到，最近几年来因出现测站及零内的不设备

作为装备，故在調查油矿区時大地电流法將愈来愈非剖面法，尤其是測深法。如果考虑到，目前后者在一系列情况下的应用都是根据很大的話，大地电流法的观测方法、结果的整理和解釋的进一步改进，可以不仅能判断基岩頂板变化的性質，而且能确定其深度。

在研究較小的深处時，大地电流法不見得能賽过剖面法，剖面法有許多优点：效力大，仪器简单，“分辨”能力較大，观测结果的整理简单等。

4. 线圈法。我们知道，只有存在特殊的地質环境下才能用这种方法，而在油矿区这种环境又是很少見的。因此没有特别的根据可以进一步发展和广泛应用线圈法。

## II. 研究金属矿区时的电法勘探。

我们知道：調查金属矿区時可用二十种以上的电法勘探方法。这一方面解釋为金属矿床是多种多样的，而調查矿床時生产的任务又有許多。另一方面金属矿床的找矿和勘探時电法勘探的效力較低是重要因素。

因坚持希望提高研究金属矿区时电法勘探的效力，故出现了愈来愈新的方法和种类，据这些方法种类的發明者的意見，它們应当比过去已知的方法能更順利地解决问题。总的說来，无疑地，出現愈来愈新的方法和种类，以及改进已前已知方法，是会稍有提高电法勘探的效力的，可是所提出的全部方法和种类在实践中推驗过这不是都经得起效驗的。

一个报告不可能把現有的全部已知方法和种类都說清楚，并且也没有特别的必要，所以下面我们只分析目前实践中較常用的若干金属矿床电法勘探的方法和种类，并按最普遍採用的分类法来排列：

### 1. 自然电场法；

2. 直流电法勘探;
3. 低频率交流电法勘探;
4. 高频率交流电法勘探。

1. 自然电场法，是电力勘探方法中最老的一种方法。虽然如此，但至今发生自然电场过程的许多方面还不清楚，如果 20—30 年以前认为，自然电场主要是在硫化物矿床氧化过程中产生的，那么随着实际资料的积累和调查面积的增加，无论在矿体近旁或是硫化物矿床范围以外很远处都愈益明显，与硫化物矿床的氧化作用有关的天然电场远非自然界分佈最广的。与石墨化岩石、土壤水渗透及暂时还未足够研究详细的其他作用有关的自然电场分佈要广得多。在许多区域内开始发现了在时间上不稳定的自然电场，不仅大小改变，而且异常符号也改变。上面指出的这种自然电场，也像时间上稳定的正异常一样，至今还未得到满意的解释，使产生自然电场的作用，它们的复杂性和多样性使得某些物探人员对这种方法产生否定的态度，因为在绝大多数情况下，调查结果对一个问题得不到一致的回答——被调查地区内是否有硫化物矿床呢，而且自然电场的无数异常中哪些是“有矿的”异常呢。自然电场法的勘探深度较低，最多不过数十米，这也是它的缺点，水文地质及地貌环境的影响也是相当大的。

考虑到上面所讲的，可以指出，在绝大多数情况下自然电场法从直接找硫化物矿床来说是效力很低的，可是若很仔细地研究观测结果，这个方法对被调查区域的地质构造的研究有着极重要的帮助。无论从解决“直接”找矿任务或是从研究区域的地质构造来说，如果较完全地研究产生自然电场的作用，则自然电场法的效力无疑是会增加的，因而，最近的任务，大多也是最主要的任务就是在现在要较深刻地研究产生自然电场的原因，解决了这个任务，自然电场法的效力就能提高，此外，因在时间上不稳定的自然电场分佈很广，所以应当在野外观察方法中引入相应的权

正，使这种电场更确切地确定。

2. 直流电法勘探，我们知道，在调查金属矿区时，上面所指的一组方法中，应用最广的是各种剖面法（对称和不对称剖面、中间梯度）和等位线法。这些方法根据都是利用岩石和矿石电阻率的差，而且利用直流电时，导电的性质（电子和离子）对于观察结果没有任何影响，尤其是大多数情况下观察结果不是决定于各种岩石和矿石的电阻率绝对值，而是一方面决定于它们的比例，另一方面决定于各地质对象的纵向电导之总和或横向电阻。等位线法是物理勘探老方法中的一种，是基于利用岩石和矿石导电性的相对差的，因为用这些方法观察的结果，甚至连各种岩石电阻率的大致数值也不能确定。在这方面，剖面法却能提供较完整的情况，虽然在大多数情况下，各较大地质对象的电阻率的数值也不能确切地确定。

考虑到上面所说的，可以得出结论，直流电法勘探比起自然电场法来，更不适用于“直接”找金属矿床，除了在特别有利情况以外。但是这些方法用来研究被调查区域的地质结构的可行性也並不比自然电场法，以及大多数其他的物探方法（磁法勘探、重力勘探等）为广，因为各种岩石和矿石的  $\rho$  的变化范围非常大（自 0.01 欧姆到  $n \cdot 10000$  欧姆），可是应当指出，岩石的  $\rho$  主要决定于它们的湿度，而湿度又首先决定于孔度和裂隙度。这就使解释结果时造成了新的困难，因为两相邻地段岩石成分一样的岩石可以具有不同的裂隙度和孔度，因而也有不同湿度，相反不同的岩石会有相同的湿度。在个别情况下潮湿程度可能很高，甚至使这些地段的电阻率很大，区别于导电很好的硫化物矿体，虽然它们两者的导电性质不一样（离子和电子的），最后岩石的裂隙度和孔度既与其岩石成分有关，又与区域的结构构造有关。所以总的可以说，直流电法勘探主要适用于地质构造制图。

比起剖面法来，等位线法具有较高的效力，这就是它的主要

优良，可是它的分辨能力及调查深度则大大次于剖面法。只是指出，等位线法只适用于发现导电很好的地质对象，并根据观测结果只能得到很粗略的概念（一般分出所谓“异常轴”），各种各样的剖面法——联合剖面法，对称剖面，中间梯度等等——即能发现导电好的，也能发现导电不好的各种各样形状和大小的对象。在这方面用途最广的是联合剖面，可是这种剖面方法的效力最低，大约这就是阻碍推广到实践中去的主要障碍了，特别调查大面积时，偶极剖面的特点是效力较高，从它的可能性来说很接近于联合剖面法，虽然它也有一些缺点。

3. 低频率交流电法勘探法，和直流电法勘探一样是以利用岩石和矿石在电阻率上的差别为基础，但是，与直流电法相比它们却具有一系列很重要的优点，最主要的，也是有决定意义的优点是它们具有不可比拟的高生产率，这是因为利用了比较完善的仪器，可能从电流法激发地对象转为感应法和测量电磁场来代替电场，这就不要接地装置了。至于低频率交流电法勘探方法的生产能力和勘探深度（引用几十个赫芝级的频率），在仅研究电磁场强度的时候（振幅测量）这些方法实际上与直流电法勘探是没有什么不同的。譬如，交流电的等位线法和强度法实际上得出的结果与直流电的等位线法是完全相同的，只不过是第一种方法生产率好些，电位差比法，双框法等按生产能力和研究的深度来看与直流电剖面的各种变种很少有区别。但是其生产率几乎与等位线法和强度法的相同，在这方面，无疑它们是比直流电方法优越。

进一步提高低频率交流电法勘探方法的效率还不仅只在于研究电磁场振幅的特性，而且要研究位相的构造。可以指望，场的位相构造研究，尤其是在激发电磁场频率变化的情况下对位相移观察可以比较准确地区分具有离子和电子传导性的物体或在一般的情况下，可以比较有把握地判断物体的传导性。



这个问题的解决无疑会大：提高电法勘探工作的效率，虽然在这种情况下直接普查矿体的任务还是悬而未决，可是未必这个任务只有用电法勘探才能解决。

不过考虑上述情况可以肯定，目前金属电法勘探发展的基本方向是研究和实际运用低频率交流电方法和电磁场的振幅位相测量，这些方法中有大家所熟知的“哥拉姆” (Турман) 法，有许多国家在普查金属矿床时都曾广泛地应用过这种方法。

下面应当研究关于应用航空电测可能性的问题。

毫无疑问，根据无线电技术工业发展的现代水平，目前在制造从飞机上进行地球场振幅位相测量的通用仪器方面是不存在有原则上的困难的，这种仪器的第一批模型已经在加拿大制成并在一些专门的杂志里也都曾描述过。航空电测法的生产率将不成比例地高于地面电测方法也是不容争辩的。可见航空电测的应用将可以研究大片的面积，而且，很显然，与航空磁测和航空伽玛测量联合使用航空电测将是最合理的。在特别有利的情况下航空电测方法是可能发现规模很大的硫化矿床的。但是这些方法的主要意义将在于探测面积的构造地质填图方面比起地面电测方法恐怕还要大得多。

4、高频率交流电法勘探方法，这些方法中包括，大家所知道的，一般相当广泛使用过的感应法，其他一些方法一般都总称作“波浪”法（干扰法，回波法等）都是20多年前提出的，因此在实际工作中实质上并未采用。感应法目前也是很少使用的。无线电波法（“радиокон”）的原理是利用 Beuquiedbubble 无线电台的无线电波，实际上还在试验工作阶段就遭到了否定的估计，因此对其进一步的研究也就放弃了。

所有高频率交流电法方法的根本缺点是它们比起直流电测方法和低频率交流电法，其研究深度过于小。基于生产率和生产效果的观点，这些方法与直流电法尤其是与低频率交流电法相比没有任何优点。因此，有理由肯定，倘所谓其电容传导性 索引証

这些方法有发现金属矿床的可能性是没有根据的。其次，在最近的刊物里登载了許多討論关于选择电磁场最适宜的激发电率的文章。在这种频率下良导体的异常达到最大值。在这篇文章中根据理论计算和实验研究做出结论：对在自然界最普遍的情况来讲，最适宜的频率是在低频率的范围内。在所有的情况下这个频率都相当低于在高频率交流电测中所使用的频率（ $\approx 10,000$  赫兹）。

所有这些都说明，高频交流电法勘探的进一步发展是不会有什么特别的远景，虽然在这一些个别情况下采用这些方法也可能比其他方法好一些。

最后应当简短地讨论一下金属矿床的几个电测的专门方法，这些方法由于一系列的原因分别加以研究是比较方便的。

1、为了解决提高研究深度的问题，首先应当说明几句关于所谓的“纯异常方法”。众所周知，在研究金属矿床时电测方法的深度具有很重要的意义。在绝大多数情况下电测方法研究的深度在矿化区内是不超过几十公尺的，在良好的情况下可达一百余公尺。当然，研究深度的某些提高是可以提高测量的精确度来达到的，如果在提高测量精确度的同时消除正常场的影响，也就是观测仅由矿体或其他地质体影响所引起的异常部份，则似乎研究深度应当更能提高。因为“纯异常”将比在各种强度的正常场背景上的异常更加清楚。

近几年来无论是在直流电方面和低频率的交流电方面都提出了一系列的“纯异常”方法，其中包括，譬如，MIV法、补偿法（增加有第三个供电电极的弄位线法的变种）、电位差比法等。当周围的介质（水、空气、黏土等）是极均匀的质体时“纯异常”方法在实验室条件下的检查在多数情况下都能证实；利用“纯异常”可以大大提高研究深度的结论是正确的，当矿体围岩不很均匀的时候，在野外条件下应用“纯异常”法得到的是另一种情况。在天然的地质情况中表明，研究深度的提高是受所谓的“干扰水”

平”限制的，这种干扰水平在矿化区域内有时是很高的。因此，打算利用“纯异常”法来显著的提高研究深度是没有基础的，如果这些方法不具有比其类似的一般方法较高的生产率（剖面法、等位线法），则可以說，它们仅适用于个别异常的詳查阶段，而不是大面积性的研究。

2、简短地說一下在勘探金属矿床阶段所采用的两种电测方法，即充电法和阴影法。目前这两种方法还未得到广泛的应用，因为，地球物理勘探队一般都是在矿区未勘探之前或在所有的情況下都是在矿区未开采之前就结束了自己的工作。组织專門的地球物理勘探队用上述方法来进行工作在经济方面是不合适的，因为这种方法的工作量一般是比较不大的，此外，研究的时间要很长，停息的时间也很大，要随着新的山地工程所揭露的矿床来不断的进行，因此可見，从工作组织的观点出发最好是把这两种方法与电测井研究联合起来使用。

至于这两种方法的现状和發展远景，可以談以下几点。充电法研究得已经很好了，现在的任务是把它有效地运用到实践中去。阴影法无疑是比较充电法复杂的，目前可以說为，这种方法还未走出实验研究的阶段，方法的理論，应当說也是相当复杂的，須要给予大力的發展。在制造可靠的工作仪器方面，特别是井内的研究仪器，也是有很大困难的。

3、最后简短地談一下激发电位法，大约在10年前有一些地球物理学家曾认为激发电位法是电测方法中最有远景的第一种方法。在推測，这种方法将最后能解决区分“矿”异常和“非矿”异常的任务或在极端的情况下还可以根据导电性的特点把地質体划分成电子导体和离子导体。但是，在野外条件下做过試驗工作后表明，第一，为了創造由埋藏在深几十公尺的矿体而引起的足够强度的激发电位异常，必須向地下輸入有几十个安培强度的电流。第二，發現，激发电位异常不仅电子导体（硫化矿体，石墨、岩

石等)可以引起而且离子导体(不同岩石的接触带,破碎带等)也可以引起。根据激发电位法的生产率比较低,必须利用笨重的供电装置和所得结果的不稳定性,丝毫也不亚于利用直流电测方法时的情况,因此可以得出结论:激发电位法未必象在研究的初期所推测的那么有远景。但是如果现在提出完全停止这一方法的进一步研究的问题也未必是正确的。因为,这还不是所有的问题都已经清楚了,特别是,根据许多地球物理学家的意见来看,还是可以指望激发电位法能够有益于硫化矿浸染矿床的研究,这种类型的矿床对所有其他电测方法采矿都有很大的困难。

## 总 结

1. 首先应当指出,电测方法效率的提高主要是在于对有关地质填图资料的完整利用和在研究矿区时对矿体构造的研究,在研究含油区域时很大的注意应当放在如何利用有关研究起伏基岩的松散岩层相成份的电测资料上。

2. 至于新方法的研究,则目前电测装置的基本路线在于如何利用低频率交流电(其单位次序,是几10赫芝,最大是一百余赫芝)。因此在金属电法勘探中目前最有远景的是以利用电磁场振幅相测量为基础的方法。在油田电法勘探中——是低频率电磁测深法和大地电流法。

3. 进一步提高观测生产率是一项很重要的任务,当然这无疑是与拟制最完善的仪器和利用无线电技术及电子学方面的最新成就有关。从大力提高观测生产率的要求出发,研究航空电测方法是最有远景的。

4. 进一步研究电测方法的理论也是有很大意义的,这一点对低频率交流电测方法和自然电场法来讲就更为重要。

57年6月19日

克维亚特柯夫斯基  
北京地质勘探学院翻译室译  
傅良超校

