

群来圈定矿体。金伯利岩火山筒和磷酸盐矿床等一些矿床,伴生有特殊的植物,反映出源岩释放出的主要元素和/或由风化作用而产生的特殊的水系条件。此外,植被也可以揭示控制矿床位置的地质构造。

指示性植物种类的大小和性质随矿床的性质和环境而变化。有时,一种异常的植物群可以圈定出露头下矿体的位置;有时,又可反映出从一个矿床散发出的迁移的地球化学异常,根据区域地貌的研究就能够发现矿床的位置。与矿床伴生的异常植物群,在具有夏季降雨体系的半干燥地区特别发育(例如在矮树和灌木丛生的草原地区)。这些植物群在毒害很严重的环境内发育,如英国和西欧的热带雨季森林和温带落叶及松柏林地和草地。根据航空测量,在某些情况下甚至根据卫星象片都能鉴别出深部构造的大型地植物异常和地植物特征,而一些小的和零星

的异常则需要进行野外调查才能辨认出。

在澳大利亚昆士兰西部新发现的莱迪洛雷塔和斯奎雷尔希尔斯铅—锌矿床和凯利山铜矿床证明了矿体的地植物表现,1968~1970在西南非和博茨瓦纳圈定的铜矿化也证明了这一点。也曾提到在北威尔士的科迪—布雷宁地区有指示性的植物群。昆士兰西部的莱迪安尼和杜切斯地区的大型磷酸盐矿床和委内瑞拉的塞罗博利瓦尔—圣伊西德罗的铁矿体都有植物表现。在昆士兰西部和博茨瓦纳西部地区还证明了,褶皱构造、断层和其它大型区域断裂线上的地植物表现对指示矿体的重要性。

叶之译自:《Institution of Mining & Metallurgy, Transactions/Section B》, vol.86,1977, pp.165~169

复电阻率法简介

在常规激发极化法(IP)所取得的数据中,实际上还包含有直流电阻率的信息。但如果要求获得的电性信息量达到最大,则必需在额外的交流电频带上测量电阻率的实、虚两个分量。这种测量方法称为复电阻率法,要求对输出和输入波形的振幅和相位进行比较,经过中间变换,频率域和时间域都被采用。这就可以对整个线性地电系统进行研究。

所以,复电阻率(CR)法是一种变频的接地电法,借助于分析大地总电阻率的实分量和虚分量来研究大地的电性。因为这种方法可以得出激发极化的不同参数、电阻率和有关大地的电性和电磁性,区分它们各自的作用,而且把结果显示出来,供观察分析和推断解释,所以在电法勘探中复电阻率法是向前迈进了一大步。如果不采用先进的电

子测量装置和连接的计算机设备,就很难在单个宽的测程内把取得的不同参数分开。虽然现在通用的常规IP测量,今后还可在野外使用若干年,不过电法勘探未来的发展趋势是趋向复电阻率测量这个方向的。

方法的发展史

理解了复电阻率法的工作方法、原理以及可能的应用范围以后,人们对这种方法为什么未能更广泛地使用,会感到奇怪。答案是,设备的发展和理论的理解还赶不上技术的进展。CR法是一种新方法,在地球物理文献首先提到这种方法的是1971年冯沃里斯等人所发表的一篇论文。1967年肯尼科特勘探公司在霍尔默指导下开始研究这个方法。1973年冯沃里斯等人报道了他们的初步研究结果,似乎并没有得出明确的结论。在设备

和技术上都存在着困难,而且所研究的岩石样品也不多。冯沃里斯得出结论,在很宽的频率范围内,矿化岩石的电阻率谱的特征是,相移不变,振幅与频率的对数近似地呈直线关系,并认为这种特征可用来消除电磁耦合效应。事实上这是一种突破,因为在这以前,电磁耦合效应在IP测量中一直是一个严重问题。但是当时在岩石比较平缓的频谱特征中并未发现有任何变化。

麦克法尔地球物理公司制造出两种复式IP相位测量系统(哈洛夫,1973、1974),采用了相似的测量相位的方法来消除电磁(EM)耦合效应。这种方法基于广义的(均匀大地)理论耦合模型。1972年钟奇(Zonge)在测量和区分电磁感应耦合和矿体反应方面,取得了显著效果,他认为有可能区分不同类型的岩石之间和不同金属矿物之间的差异。

对复电阻率法成功持乐观看法的理由是,它与反射地震法由于仪器小型化、信息论的应用、野外工作方法的改进以及计算机化,所带来的革命性的进展,颇为类似。已积累了大量信息,其电学意义尚在研究中。

复电阻率测量

复电阻率测量可看成是常规IP测量进一步的改进。在复电阻率法中所测量的几乎是一个连续的频率谱,不是只测量几个基本的输出电压的幅值。最近钟奇所设计的复电阻率测量系统,是测量0.01~11.0赫范围内的离散频率效应,利用了0.01、0.1、1.0和10.0赫十进间隔频率的全方波的1、3、5、7、9、11等奇次谐波。利用11次谐波以便与下一段十进位频率覆盖,可以检查数据的直线性。

仪器内部装有计算机,对

发射机下达指令,对输入波形采样,并采用快速富里叶变换(FFT),使输入波形与采样所得的接收波形对比。通过这种变换,这种仪器真地实在频率域和时间域工作,从实分量和虚分量可求得相位角。

常规频率域激发极化和复电阻率的关系示于图1。数据标绘在复平面图上,横轴为实分量,纵轴为虚分量。所给的几乎是一个连续的谱,最低的频率从谱曲线的右边开始。这种绘图法显示出最大量可供推断解释的信息。没有相位信息,只能知道电压的绝对值,也就是只能知道电压矢量的长度。频率效应实质上是一种同相测量,其绝对值与实(同相)分量的值非常相近。相位角和充电率都是一种异相测量。或许会提出这样的问题,用测得的数据绘出的图形,能否解释岩石性质及矿物成分所引起的那些有意义的响应。其中可能确实有经验的相关关系存在,但是为什么绘出的复电阻率数据,确实能显示出这些关系,直到现在还没有充分理解。

充电率和相位角的异常图通常都十分吻合,而频率效应异常图可能与它们不一样,特别是在有人工导体(如铁丝网、地下管道等)的情况下,频率效应异常受到较大的干扰。因此测量相位角(或充电率)和频率效应,就可以得知所测数据中有没有耦合效应的影响存在。可用图2来说明,在图1上所表示的剖面中,有三条管道和一条铅皮铠装的

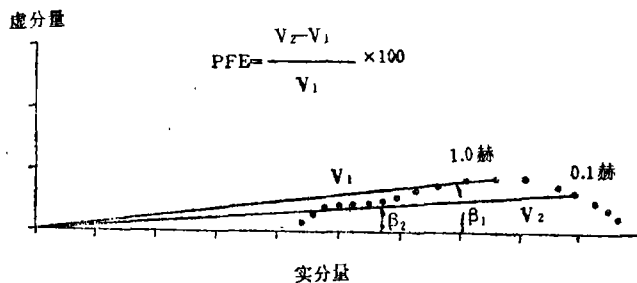


图1 频率域激发极化与复电阻率的关系

电话电缆穿过。识别铁丝网、管道和其它人工导体异常的另一种方法，就是利用它们的非线性响应特征，也就是极化强度随电流密度的变化，这种特征可以在所显示的复电阻率数据中看出来。

在野外通常用轻便示波仪监控电压讯号和干扰，用视觉方法检验所接收的波形。然后计算机按谱的顺序下指令进行工作，轻便的野外电传打字机，以表格的形式，将结果打印出来（见图3）。最后成果可用图形显示，也可用表格表示（图4），或绘成如图5的振幅相位图。这些野外数据可以在实验室内加以处理，进一步提高数据的质量，以便区分开CR谱和电磁耦合效应，并作出推断解释。

围岩响应和CR谱

曾注意到在CR谱特征和不同岩石之间，有一种可确认的、但还无法解释的关系。有A、B、C三种类型反应，其理想形式示于图6。

A型响应表示虚分量随频率增高而减小，在有石墨、硫化矿或侵入岩粘土蚀变的地方，可见到这种响应。B型响应的特征是，在所有频率上虚分量均保持不变。在热液蚀变程度不大，以及在硫化物矿化比产生A型响应的硫化物矿化弱的地方，可以见到这种响应。C型响应表示随频率的提高，虚分量增大。这在有冲积层、灰岩或新鲜火山岩绿泥石化的地方才能够见到。这几种谱的

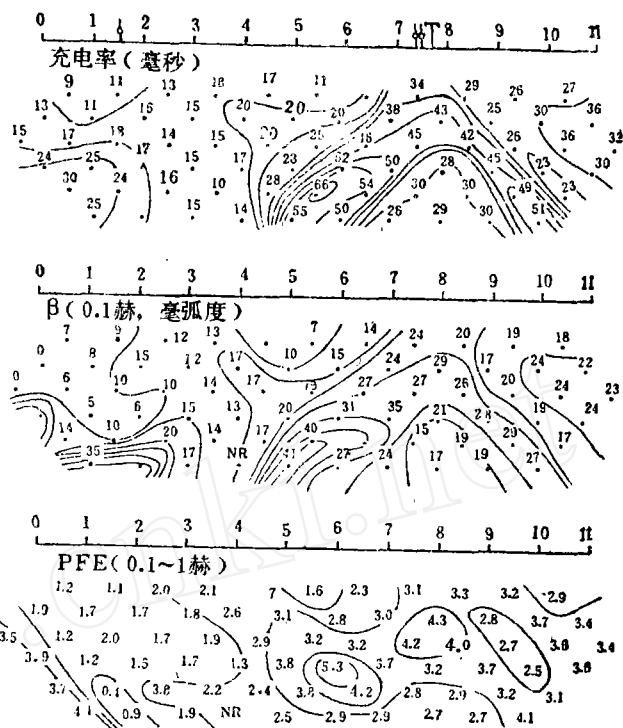


图2 表示有人工导体电磁感应耦合影响的充电率、相位角及频率效应的假剖面

趋势特征与相位、充电率和频率效应的大小无关，但它们可能和电阻率有关。

根据复电阻率数据区分电磁耦合效应

岩石实际的极化响应与可能存在的电磁耦合效应，看来是可以区分的。J.C.温(1974)曾提出了分析电磁耦合谱的理论。他注意到，电磁耦合现象呈线性，利用相互作用（即入-机对话式的）数字计算机将谱曲线显示在阴极示波器上，可以达到消除电磁耦合效应的目的（图7）。

电磁感应耦合效应的数据从极化效应谱分离出来以后，可以凭自身的能力分析，得出地下导电率和界面深度的推断解释结果。另外，还有一种可识别的电磁反射系数参数，它可能与比用常规IP-电阻率测量一般能探测的界面还要深的界面有关。

```

I
XMTR-I=1.
*G
GAIN=120.
*F
FREQ-E 10.0HZ
*A
AVGS= 1024

1 0.9696      0.0294
3 0.9512      0.0249
5 0.9433      0.0231
7 0.9379      0.0223
9 0.9344      0.0201
1 0.9301      0.0190
*F
FREQ-A 1.0HZ
*A
AVGS= 128
MAV, -14*SP,
1 1.0137      0.0481
3 0.9842      0.0379
5 0.9733      0.0338
7 0.9667      0.0315
9 0.9621      0.0300
1 0.9585      0.0289
*F
FREQ-I 0.1HZ
*A
AVGS= 16
MAV, 3*SP,
1 1.0951      0.0654
3 1.0481      0.0592
5 1.0290      0.0545
7 1.0174      0.0520
9 1.0093      0.0487
1 1.0029      0.0462
RHO-A      PHASE
443.0      59.7
PFE
8.6
*F
FREQ-M      .01HZ
*A
AVGS= 4
MAV, 27*SP,
1 1.1894      0.0441
3 1.1462      0.0622
5 1.1233      0.0655
7 1.1082      0.0667
9 1.1978      0.0665
1 1.0874      0.0669

```

```

HZ      REAL      IMAG
0.01    0.9993    0.0369
0.03    0.9627    0.0515
0.05    0.9439    0.0543
0.07    0.9309    0.0548
0.09    0.9227    0.0542
0.11    0.9136    0.0542
0.10    0.9180    0.0548
0.30    0.8782    0.0497
0.50    0.8626    0.0460
0.70    0.8525    0.0437
0.90    0.8469    0.0415
1.10    0.8413    0.0393
1.00    0.8433    0.0398
3.00    0.8188    0.0312
5.00    0.8098    0.0277
7.00    0.8044    0.0255
9.00    0.8006    0.0241
11.00   0.7977    0.0229
10.00   0.7987    0.0242
30.00   0.7836    0.0205
50.00   0.7773    0.0192
70.00   0.7729    0.0185
90.00   0.7700    0.0167
110.00  0.7668    0.0160

0.075    ****    0.045    ****    0.030    ****
****    0.179    ****    0.442    ****    0.487
RHO-A=    260.9    OHM-METERS
0.1HZ    PHASE=    59.7
0.1-1.0HZ    PFE=    8.6
PLOT IN MAG/PHASE?

```

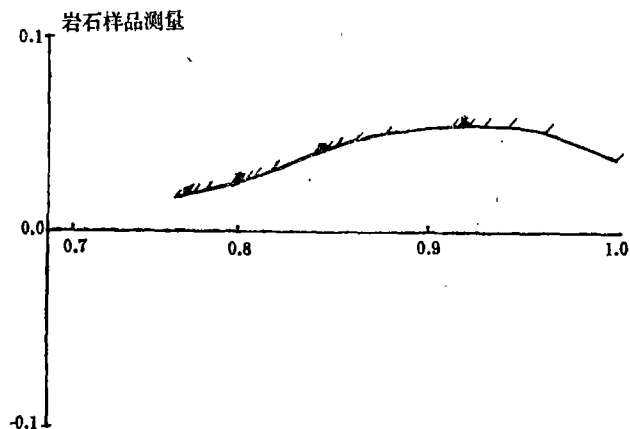


图 4

最后的复电阻率结果(上表所列为数据,下面是根据数据绘制的图),是在自然铜样品上测量的结果,在0.01~1.0赫频率范围内由实轴0.75~0.92显示出A型反映

图 8 电传打字机打印出的复电阻率原始数据图

HZ	MAG	PHASE	LOSS— TANGENT
0.01			
HZ	REAL	IMAG	
0.01	0.9993	0.0369	
0.03	0.9627	0.0515	
0.05	0.9439	0.0543	
0.07	0.9309	0.0548	
0.09	0.9227	0.0542	
0.11	0.9136	0.0542	
0.10	0.9180	0.0548	
0.30	0.8782	0.0497	
0.50	0.8626	0.0460	
0.70	0.8525	0.0437	
0.90	0.8469	0.0415	
1.10	0.8413	0.0393	
1.00	0.8433	0.0398	
3.00	0.8188	0.0312	
5.00	0.8098	0.0277	
7.00	0.8044	0.0255	
9.00	0.8006	0.0241	
11.00	0.7977	0.0229	
10.00	0.7987	0.0242	
30.00	0.7836	0.0205	
50.00	0.7773	0.0192	
70.00	0.7729	0.0185	
90.00	0.7700	0.0167	
110.00	0.7668	0.0160	

0.075 0.045 0.030
 0.179 0.442 0.487
 RHO-A = 268.9 OHM-METERS
 0.1HZ PHASE = 59.7
 0.1-1.0HZ PFE = 8.6
 PLOT IN MAG/PHASE

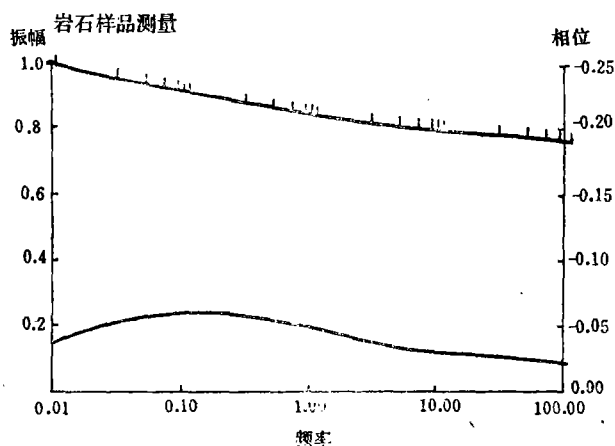


图5 根据图4中样品测量结果计算得出的振幅和相位结果(图是根据上表中的数据绘制的)

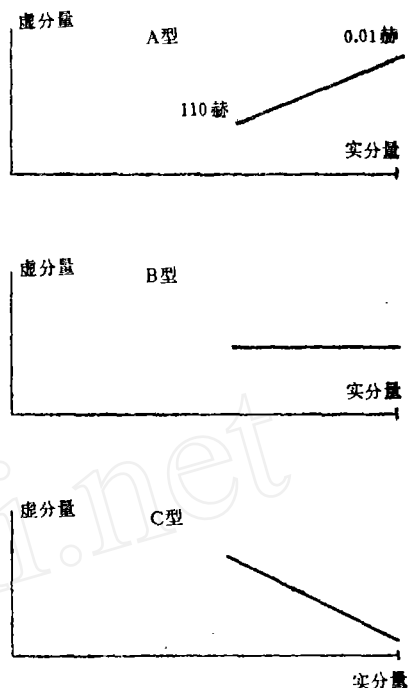


图6 基本的三种复电阻率谱反应型

金属离子类型的识别

根据大量岩石样品测定结果和野外测得的CR谱图, 钟奇(1972)认为, 可以在数据中看出有某些常见的硫化矿物存在, 特别是在有黄铜矿存在时, 在频率10赫的反应上,

有一小的正异常, 可在图1谱线的左端见到。而黄铁矿则在1.0赫的频率上也有个小的正异常。产生这种谱曲线的岩石是从美国亚利桑那州比斯比采来的, 含大约5~7%的硫化物(按体积计算)。

复电阻率法检测信号的能力

CR法是用数字采样, 并利用快速富里叶转换将波形由一个时间序列转换成离散的频率, 来比较接收(输出)的信号和发射(输入)的信号

与相位。这种转换过程是一种强有力的滤波方法。虽然在通常的意义上它并不是一种电子滤波器，但它可以从数据中滤去不需要频率的干扰。在这种过程中，采用了数据平均和叠加的方法，可抑制常规 IP 测量遇到的大部分干扰电压。

复电阻率法的缺点

目前 CR 法的主要缺点是，为了精确地比较输出和输入的波形，需要在发射机和接收机之间有电的连接，因为遥测线路和定时线路对完成操作和数据处理，还不完全有效。这意味着在野外在发射和接收装置之间还必须额外加一根联线。另外，电子测量仪器和电子计算机都比常规 IP 测量所用的仪器要复杂得多，因此，CR 法在野外及室内都需要受过训练的物探人员来担任野外操作、仪器调节以及数据的处理和数据分析工作。

这样，CR 测量比其它方法费用大得多，不过这一缺点由于能获得大量高质量的信息而得到补偿。而且将来的发展可能会克服这些缺点，而有利于推广 CR 法。但现在它主要是用在矿化导电性高、干扰多、地电特征

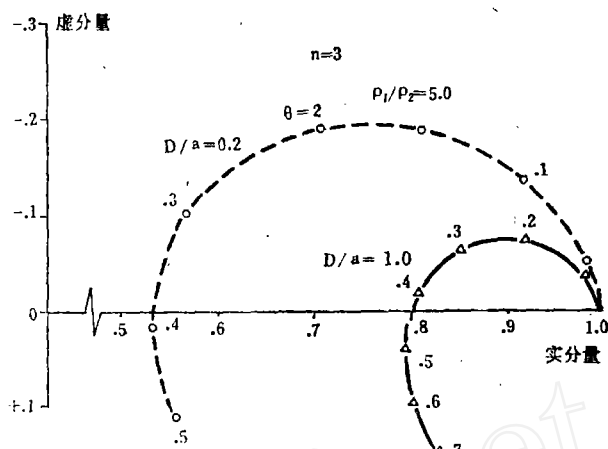


图7 在层状地层上理论的电磁耦合效应对共线的偶极—偶极电极排列的影响

不寻常而在地质上有特殊意义的地区，为详细勘探。

CR法最严重的一个缺点或许是，它研究大地电性所取的新途径，远比某些类似的物探方法复杂，需要多学习才能领会。所以克服这个困难问题就是不断学习和累积经验。

摘译自 J.S. 萨姆纳著：《Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration》一书中的第10章（华佳译，陈玲校）

化探岩样粉碎联动机

为减轻样品加工劳动强度、克服岩粉污染、提高生产效率，陕西冶金地质勘探公司物探队试制了化探岩样粉碎联动机样机。

岩样粉碎过程中，利用该装置可依次进行粗碎、中碎、细碎、清扫、吸尘和排尘等工序。重100克的样品，粒度以120目计，细碎时间为42

~60秒。即将进行生产试验。

联动机有待解决的主要问题是，增设样品搅拌装置，解决细磨部分样品沾污，增设缩分器等问题。

（据“冶金系统化探座谈会”资料）