

地质科学研究院地球物理探矿研究所 编

地面电磁法实例

地质出版社

31
71

地面电磁法实例

地质科学研究院地球物理探矿研究所 编

地质出版社

地面电磁法实例
地质科学研究院地球物理探矿研究所 编
(内部发行)

•
国家地质总局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•
1975年10月北京第一版·1975年10月北京第一次印刷

印数1—7,750册·定价0.85元

统一书号: 15038·新118

毛主席语录

无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中
对资产阶级实行全面的专政。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，
有所创造，有所前进。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

地面电磁法在我国是五十年代中期为寻找有色金属矿床开始试验的，至今已在十多个省、市、自治区的几十个矿点上进行了试验或试验生产工作。矿种包括硫铁矿、含铜黄铁矿、铜镍矿、铜钼矿、铜铅锌多金属矿、含铜磁铁矿、磁铁矿、铬铁矿、赤铁矿和斑岩铜矿等。使用过的方法，按一次场源形式分，有偶极的和大定源方法；按测量方式分，有绝对测量和相对测量方法；按测量参量分，有倾角法、实虚分量法（单频、双频和多频的）、振幅相位法（双频和多频的）。对以人工场为一次场源的常规地面电磁法，都作了专门试验。

工作结果，肯定了方法的有效性，说明地面电磁法在一定的地质和地球物理条件下，可用来解决以下问题：（1）寻找弱磁性或无磁性良导电矿体；（2）检查磁法异常，区分由磁铁矿体和以剩磁为主的某些岩体引起的磁异常；（3）地质填图，特别是在覆盖区，作用比较大。

目前国内外对这类方法的称呼很不统一，有的称为感应法、低频感应法、低频电磁法、交流电法等。我们把它定名为地面电磁法。对于地面电磁法的各种方案，目前有的以一次场源形式而分为回线法、长导线法、水平线圈法和垂直线圈法等；有的按测量方式和所用仪器分为补偿法、双线圈法、电磁枪、探矿枪等。汇编时我们按测量参量分类，分为倾角法、实虚分量法、振幅相位法、瞬变场法等等。对所用符号作了统一，见符号说明。

书中附图由吉林省物探队清绘，在此谨致谢意。

书中错误之处，敬请读者批评指正。

地质科学研究院物探所

目 录

一、地面电磁法在磁铁矿上的试验实例	1
实例一 (1) 实例二 (3) 实例三 (4) 实例四 (7) 实例五 (8)	
实例六 (9) 实例七 (11) 实例八 (13) 实例九 (17) 实例十 (19)	
实例十一 (21) 实例十二 (22)	
二、地面电磁法在铜矿上的试验实例	23
实例一 (23) 实例二 (25) 实例三 (27) 实例四 (28) 实例五 (29)	
实例六 (31) 实例七 (32) 实例八 (34)	
三、地面电磁法在含铜磁铁矿上的试验实例	35
实例一 (35) 实例二 (37) 实例三 (39) 实例四 (41) 实例五 (42)	
实例六 (43)	
四、地面电磁法在含铜黄铁矿上的试验实例	45
实例一 (45) 实例二 (46) 实例三 (47) 实例四 (51) 实例五 (52)	
实例六 (54) 实例七 (58) 实例八 (59)	
五、地面电磁法在铜钼矿上的试验实例	60
实例一 (60)	
六、地面电磁法在多金属矿上的试验实例	63
实例一 (63) 实例二 (65) 实例三 (68) 实例四 (71) 实例五 (74)	
实例六 (76) 实例七 (81)	
七、地面电磁法在铬铁矿上的试验实例	82
实例一 (82)	
八、地面电磁法在黄铁矿上的试验实例	85
实例一 (85) 实例二 (88) 实例三 (91) 实例四 (96) 实例五 (98)	
实例六 (100) 实例七 (101)	
九、地面电磁法在其他方面的试验实例	104
实例一 (104) 实例二 (107) 实例三 (108) 实例四 (109) 实例五 (111)	
实例六 (113) 实例七 (115) 实例八 (116) 实例九 (117) 实例十 (118)	
符号说明	

一、地面电磁法在磁铁矿上的试验实例

实例一

本矿床为矽卡岩型磁铁矿。围岩磁性可视为零，矿石的磁性为：磁化率 $K=0.15\text{CGSM}$ ，剩余磁化强度 $J_r=0.025\text{CGSM}$ ，剩余磁化强度与感应磁化强度 (J_i) 之比值 $Q = \frac{|\vec{J}_r|}{|\vec{J}_i|} = 0.33$ 。

一九七二年，在本矿区已知 I 号和 II 号矿体上作了定源场多频振幅法试验，目的是试图用人工磁化的方法分辨“矿”与“非矿”磁异常。“矿”与“非矿”指的是强磁性矿石如磁铁矿、铬铁矿等以及足以引起强磁干扰的某些岩类。采用闭合迴线和两端接地的长导线作为场源。长导线的布置方式与通常寻找良导电矿体的方式不同，使长导线与矿体走向垂直，测线平行长导线。只观测场的垂直振幅以与磁法结果相比较。工作频率为 80、220、540、2000 周/秒，最大发射功率为 125 瓦。

观测结果的均方相对误差 $m \leq \pm 1.0\%$ 。

图 1 为 I 号矿体上的观测结果。在迴线场中和在长导线场中均得到了明显的异常，其特征是：1. A_z 异常形态与磁异常 ΔZ 一致，说明矿体以感应磁化为主的特征；2. A_z 曲线与 ΔZ 曲线在整条剖面上可以进行对比；3. 计算得到的 Q' 值与实际的 Q 值接近。 Q' 是按公式

工作频率 (周/秒)	Q'	
	迴线场	长导线场
80	—	0~0.2
220	0.1~0.4	0~0.4
540	0.1~0.4	0~0.4
2000	0~0.2	0~0.2

$$Q' = \left(\frac{Z_a}{Z_0} / \frac{\Delta A_z}{A_{z0}} \right) - 1$$

计算的 (假设 \vec{J}_r 与 \vec{J}_i 的方向一致)。式中： Z_a 为地面磁异常的垂直分量， Z_0 为正常地磁场的垂直分量， $\frac{\Delta A_z}{A_{z0}}$ 为垂直振幅百分异常。

计算的 Q' 值比较接近 Q ，这是矿石的 \vec{J}_r 与 \vec{J}_i 夹角不大时的特点。 Q' 值是分辨磁异常的重要依据。据经验，如果 $Q' \approx 0$ ，则异常肯定为矿引起的，如果 $Q' < 1$ ，则异常一般说来为矿所引起的。

工作频率变化时，异常的幅值和形状变化不大，说明矿石的导电性不高。

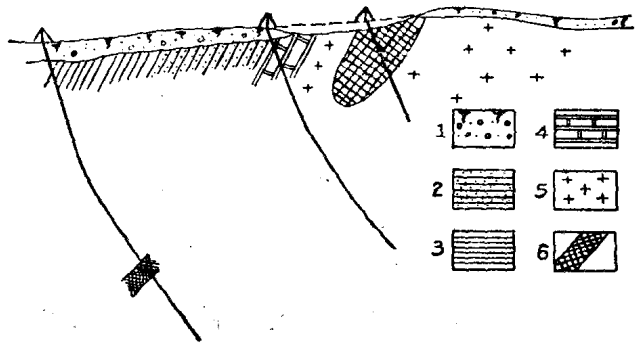
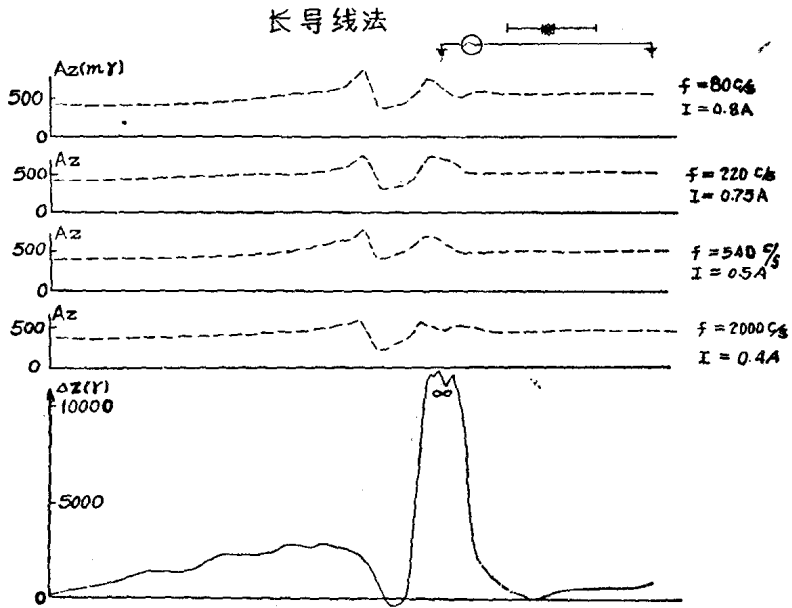
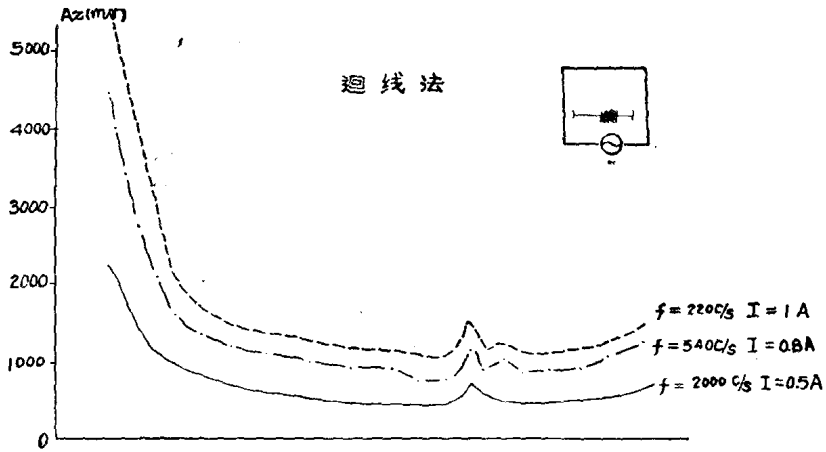


图 1

1—表土；2—砂板岩；3—板岩；4—大理岩；5—花岗岩；6—磁铁矿体。

(黑龙江省地质局物探队供稿)

实例二

本矿区为砂卡岩型磁铁矿。围岩磁性微弱，矿石磁性据Ⅱ号矿体露头采样测定结果为：磁化率 $K=0.016\text{CGSM}$ ，剩余磁化强度 $J_r=0.04\text{CGSM}$ ， $Q \approx 5$ 。这里需要说明一下，在黑龙江地区数十个磁铁矿的统计中，磁铁矿的磁性一般以感磁为主，即 $Q < 1$ 或 $Q \ll 1$ 。即或 $Q > 1$ 时，其磁化率值亦具有一个较大的量级，可区别于火成岩。此例中 $Q \approx 5$ ，为矿异常磁性统计中的唯一例外。但因只在Ⅱ号矿体的一个支脉露头上采取了十块标本作为磁性依据，所以上述数据的代表性是不足的。

一九七二年在本矿区Ⅰ号和Ⅱ号已知矿体上作了定源场多频振幅法试验，以便更进一步确定用本方法来分辨“矿”与“非矿”磁异常的效果。野外工作方法与前例相同。

图1为Ⅱ号矿体上的多频振幅测量结果。在矿体上，闭合回线场与长导线场均有明显的异常。 A_z 曲线与 ΔZ 曲线一致。根据实测曲线计算 Q' 值如下：

工作频率 (周/秒)	Q'	
	廻线场	长导线场
80	0.85	0
220	1.0	0
540	1.3	-0.3
2000	—	-0.2

两种场源所求得的 Q' 均比露头标本测定的 Q 值小得多。估计矿体的平均 Q 值远小于5，这个推测有待验证。

除了 A_z 异常与磁法 ΔZ 异常可以对比显示了磁性矿异常特征外，另一特点是根据剖面上不同测点算得的 Q' 值变化很小，这一点与“非矿”岩石磁异常的通常特点，即在不同测点上计算的 Q' 值变化大，是有区别的。

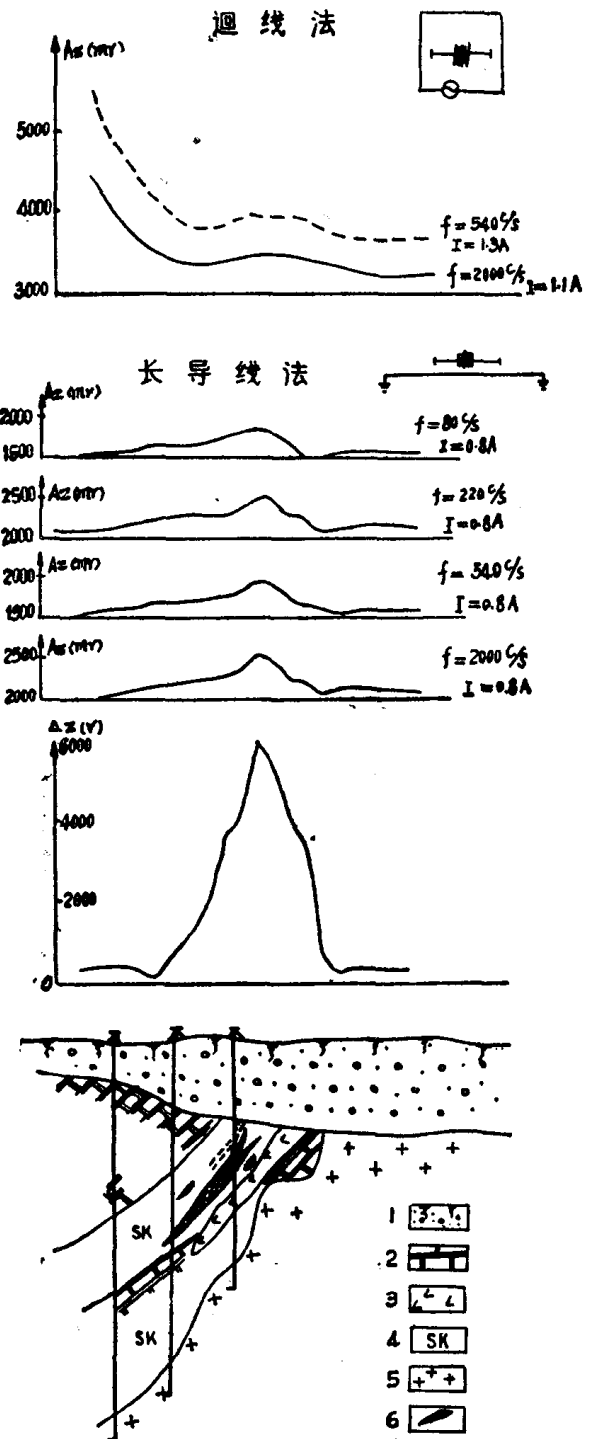


图 1

1—表土；2—大理岩；3—闪长玢岩；4—砂卡岩；
5—花岗岩；6—磁铁矿体。

(黑龙江省地质局物探队供稿)

实例三

本矿床为砂卡岩型磁铁矿。围岩可视为无磁性，矿石磁性如右表。

矿石电阻率为0.02欧姆·米，上部冲积覆盖层电阻率约为30欧姆·米。

一九七三年在本区已知矿体上用定源场多频振幅法作区分“矿”与“非矿”磁异常的试验。野外方法技术与实例（一）的相同。

用长导线场（导线长2100米）和闭合迴线场（934米×900米）作多频垂直振幅测量均得

到了异常。长导线场测量结果因浅部良导电干扰影响而复杂化了，因此主要列举闭合迴线场中58线和50线的测量结果。

由于一次场背景值很高， A_z 异常难于辨认，所以在本矿区的试验中根据实测地形用理论计算和模型实验方法对一次场 A_{z0} 进行了精细的计算，并对实测曲线进行一次场校正，

这样，异常清晰了，计算的百分异常 $\left(\frac{\Delta A_z}{A_{z0}}\right)\%$ 就较准确了。

图1为58线观测结果。80周/秒时垂直振幅百分异常（曲线5）与磁异常 ΔZ 曲线几乎完全一致。320周/秒时曲线（曲线6）仍具有 ΔZ 的基本形态，只是幅度大大降低了。2000周/秒时则完全变为负异常，此负异常应视为矿体良导电性及低阻覆盖层的综合反应。当频率由低往高增加时，场的特征由以导磁性为主（正异常）转而显示为以导电性为主（负异常），这是辨认“矿”异常的又一根据。另外，利用剖面上不同测点的观测结果计算的 Q' 值（见 Q' 曲线）出现了一个有趣的现象，即在260—270点的一段， Q' 值保持一个稳定值（约为0.4），此值与下部对应的富磁铁矿体的实际 Q 值很接近。而在270—280点的另一段，则 Q' 为另一稳定值（约为0.8），比下伏的贫磁铁矿体的实际 Q 值略高一点。计算证明，经过一次场校正，大大提高了计算振幅百分异常的精度，使求得的 Q' 值更接近于实际的 Q 值。

图2为50线观测结果。80周/秒时，垂直振幅百分异常曲线不仅与磁法 ΔZ 曲线一致，而且具有很好的光滑度，这是由于观测精度高和干扰水平低的结果。两种曲线吻合一致，说明磁化方向一致，即地磁场的磁化方向也是近于垂直的，这一点已由岩心的定向磁性测定证实。利用80周/秒结果算得的 Q' 值在整个剖面上稳定于0.4左右，这与埋深约300米以下的主矿体的参数是一致的。振幅百分异常曲线与 ΔZ 曲线一样也是一个叠加异常，270点处次级峰值是由浅部的小磁铁矿体和黑柱石砂卡岩引起的，但异常的主部是由深部大矿体引起的，其峰值约在260点处。振幅百分异常对此矿体的良好反映，显示了方法相当大的勘探深度（300米），从而肯定了本方法的实用价值。这个效果的取得是与进行一次场改正是分不开的。

岩 矿 名 称	K CGSM	J _r CGSM	Q
富磁铁矿 (Fq)	0.165~0.256	0.02~0.03	0.3~0.4
贫磁铁矿 (Fp·F _z)	0.1	0.03	0.6
黑柱石砂卡岩 (SKH) (其中可溶铁30%)	0.04	0.01	0.5

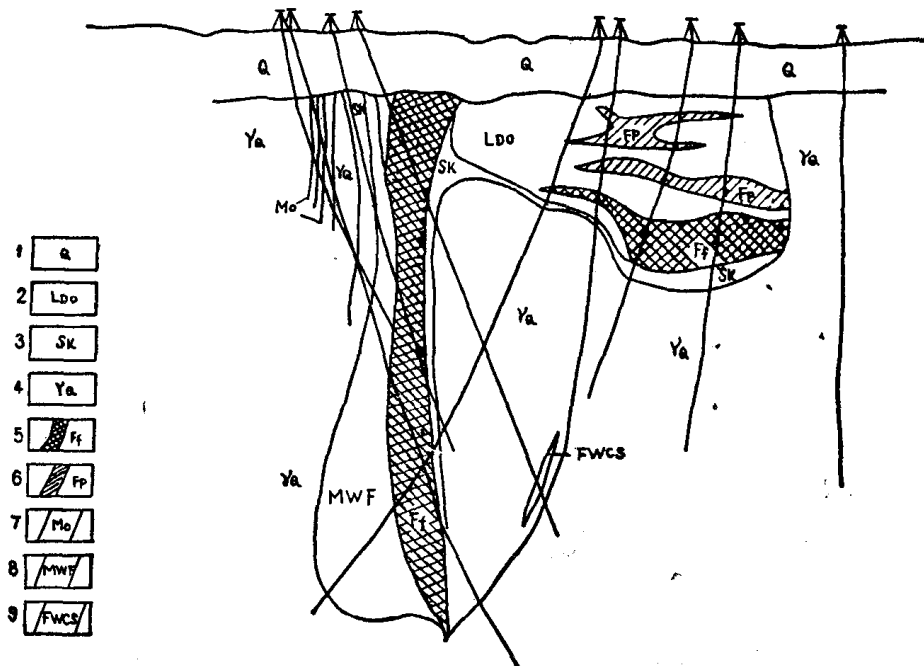
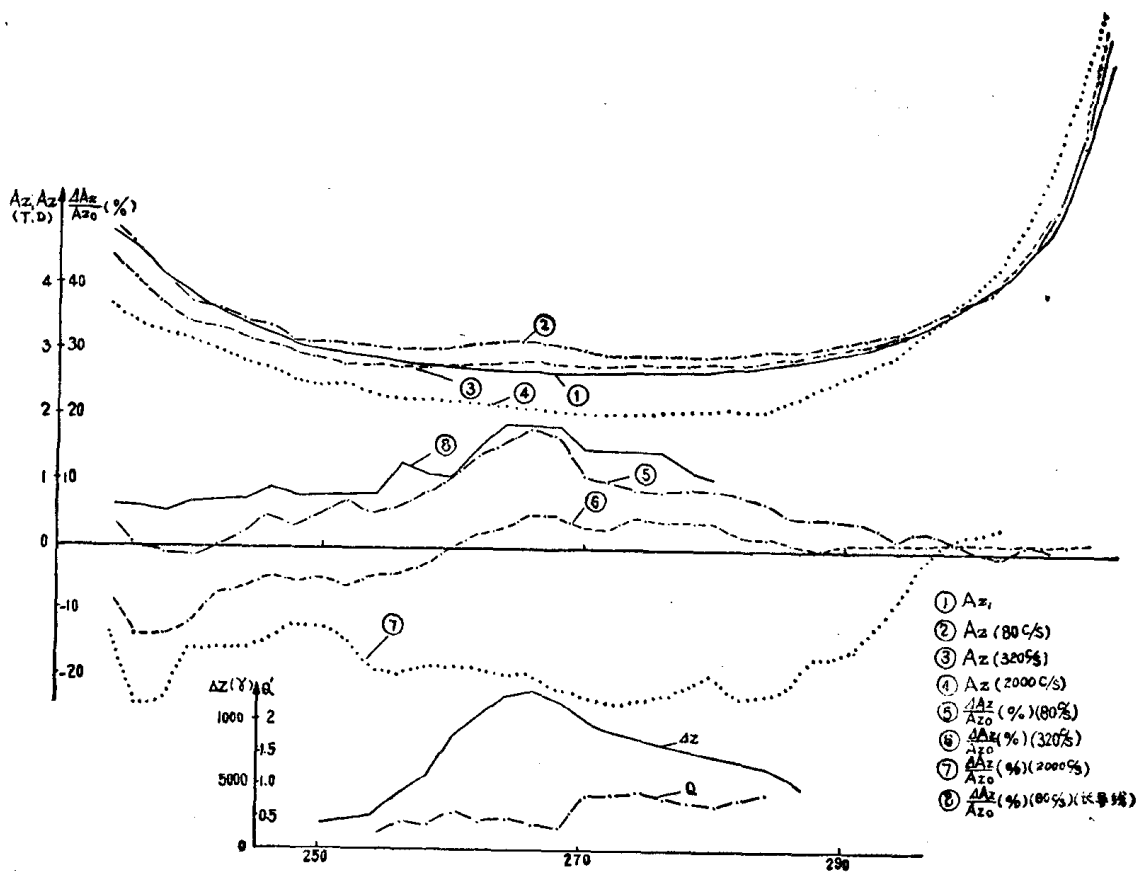


图 1

1—第四系冲积层, 2—灰岩, 3—砂卡岩, 4—白岗质花岗岩, 5—富磁铁矿体, 6—贫磁铁矿体,
 7—钼矿体, 8—钼钨铁矿体, 9—铁钨铜硫矿体。

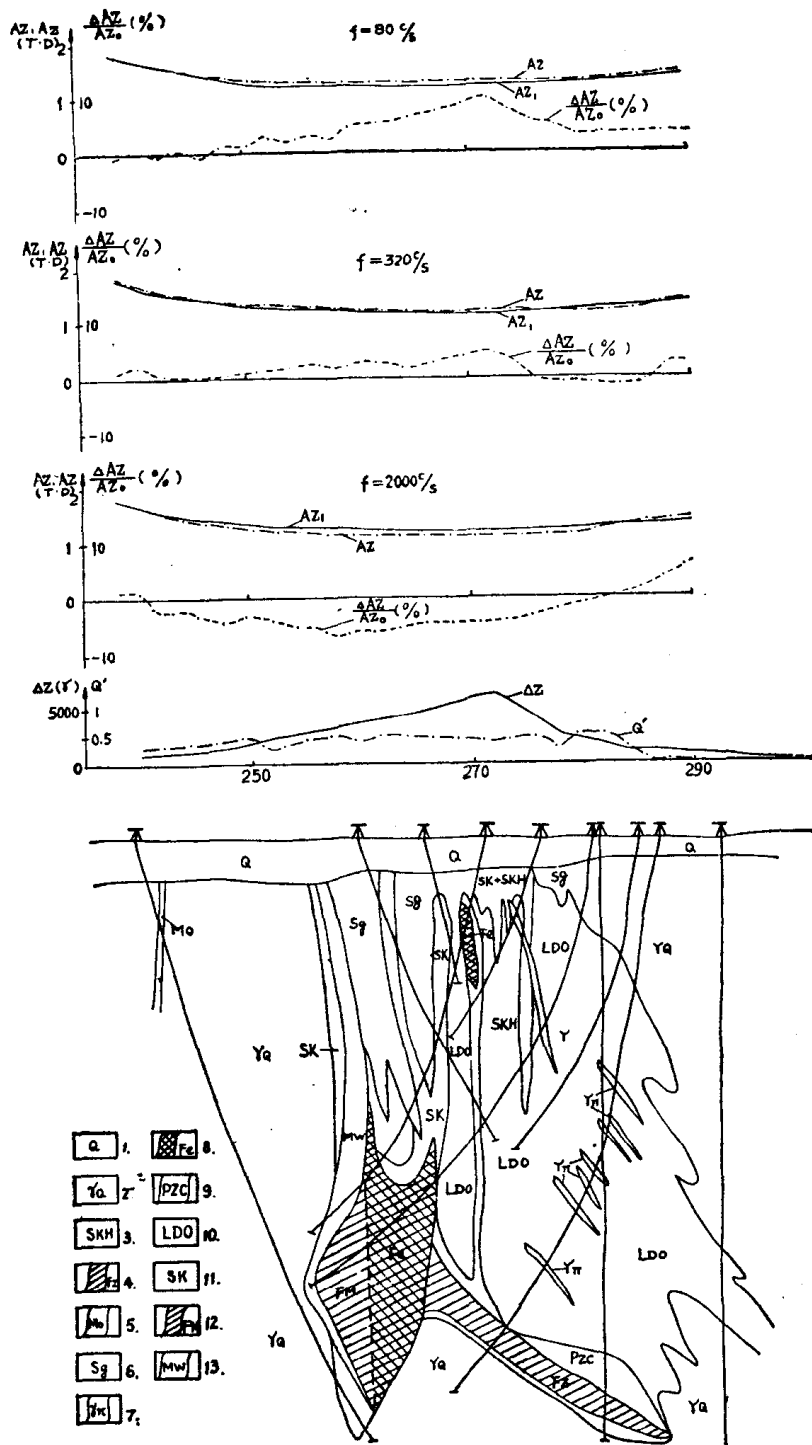


图 2

1—冲积层；2—白岗质花岗岩；3—黑柱石砂卡岩；4—铁铈矿体；5—钼矿体；
6—砂岩；7—花岗斑岩；8—磁铁矿体；9—铅铋矿体；10—灰岩；11—砂卡岩；
12—铁钼矿体；13—钼铋矿体。

(黑龙江省地质局物探队供稿)

实例四

本矿区为一砂卡岩型磁铁矿。工作时在一小而浅的贫磁铁矿上进行了试验工作。以400(米)×1000(米)的矩形迴线作为场源，迴线的长边垂直于矿体走向，观测剖面(66线)位于迴线外部，并平行于迴线的长边。

在66线上的土拉姆法观测结果，如图1所示。220周/秒的 R_f 曲线幅值很大，最大值超过30%，而 $\Delta\varphi$ 异常很小，不超过1°。矿体位于 R_f 曲线和 $\Delta\varphi$ 曲线梯度最大点的下方。 R_f 曲线梯度大、异常值大、异常宽度小，正反映了小而浅磁铁矿的特征。660周/秒的 R_f 曲线和 $\Delta\varphi$ 曲线，与220周/秒的基本相同，且 $\Delta\varphi$ 异常也很小，说明异常源的参数很小，位于参数特性曲线的左渐近线部分。由此估计，该磁铁矿的导电性较差。 R_f 异常值大且不随频率而变化， $\Delta\varphi$ 异常很小或没有，这是高导磁劣导电异常源的特征。

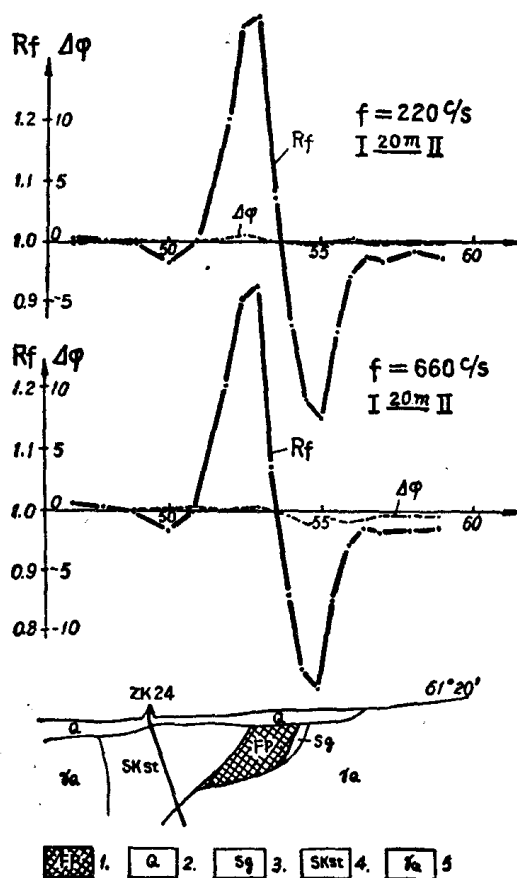


图 1

1—贫铁矿；2—第四纪覆盖；3—变质砂岩夹砂质板岩；4—砂卡岩；5—白岗质花岗岩。

(地质科学研究院物探所交电组)

实例五

本矿区为一砂卡岩型磁铁矿，小而富，出露地表。结构致密，导电、导磁性良好，经矿石标本测定电阻率为 5×10^{-3} 欧姆·米，磁化率达 120000×10^{-6} CGSM。

图1为矿区50线上两种方法的观测结果。50线位于矿体中部，基本上垂直矿体走向。土拉姆法以长约900米的长导线，两端接地为场源，布置在矿体倾向相反之一侧。其他技术条件都注在图上。

从图可见，土拉姆法经过归一化的振幅比 R_d 异常曲线梯度最大的点位于矿顶，这反映了磁极化二次场的特点。相位差在矿体上有极大值，220周/秒时为 -4° ，660周/秒时达 -14° ，说明导电性的最佳异常频率尚未达到。总之，对此小浅富的矿体，导电、导磁性都能引起较好的反映。

倾角法的工作频率最低为1200周/秒，比土拉姆法最高频率为高。四种频率的异常都是电性特征，说明临界频率在660—1200周/秒之间。异常清楚地反映了矿体的存在，并确定出矿体的顶部位置。

此结果启示这种可能性，即在磁异常源埋深较浅时，亦可用此法来分辨磁异常的性质。

(地质科学研究所物探所交电组)

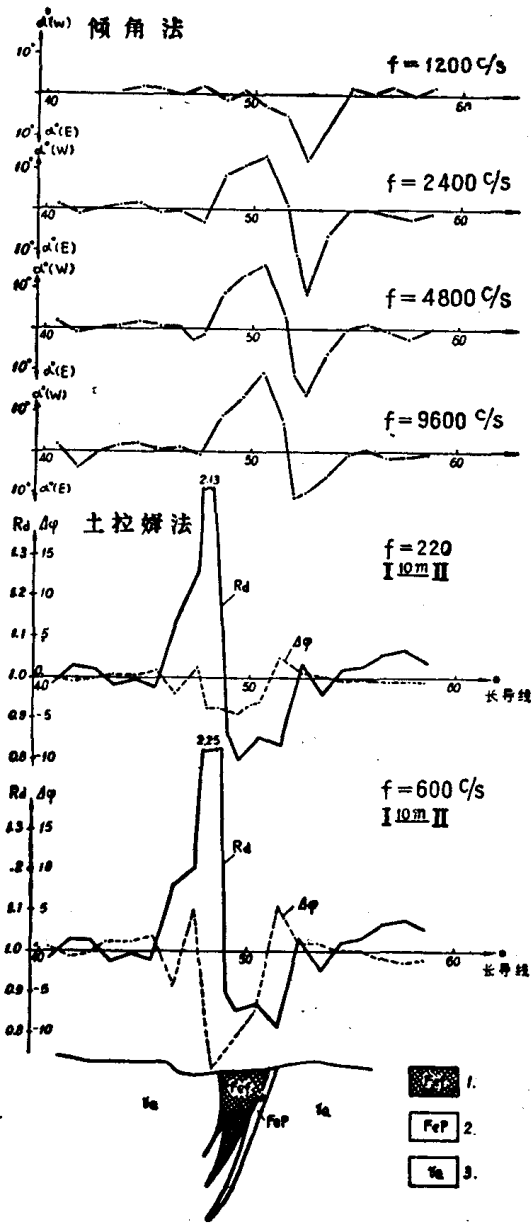


图 1

1—富铁矿；2—贫铁矿；3—白岗质花岗岩。

实例六

磁铁矿赋存于花岗闪长岩与大理岩、灰岩、砂页岩接触而形成的断续分布的砂卡岩带中，为接触交代砂卡岩型矿床。矿体为似层状，走向长几十米至100多米，厚度几米至十几米。矿石成分以磁铁矿为主（致密状），次为赤铁矿、褐铁矿。除局部地段风化较浅外，大部分风化深度达70米以上。大理岩多风化成白色粘土状，风化深度达40米左右。

电剖面法在花岗闪长岩上为高阻反映，视电阻率为500欧姆·米以上。大理岩视电阻率为100~200欧姆·米；风化砂卡岩视电阻率为几十欧姆·米。磁铁矿电阻率为100欧姆·米左右，磁化率 $K=1.5 \times 10^5 (10^{-6} \text{CGSM})$ ，剩余磁化强度 $J_r=2 \times 10^4 (10^{-6} \text{CGSM})$ ；花岗闪长岩磁化率 $K=2.1 \times 10^3 (10^{-6} \text{CGSM})$ ，剩余磁化强度 $J_r=1.46 \times 10^3 (10^{-6} \text{CGSM})$ ；其他岩石均无磁性。

一九七一年二月，在已知磁铁矿体上布置了700（米）×500（米）迴线内观测和700（米）×300（米）的迴线外观测。观测分量：垂直振幅（ A_z ）、垂直虚分量（ $I_m H_z$ ）、水平振幅（ A_y 和 A_x ）。观测结果示于图1—A和B。

当在700（米）×500（米）的迴线内部观测时，在矿顶的178点上，垂直振幅（ A_z ）各频率都有明显的高于正常场的正异常，而且频率增到540周/秒时，异常幅度已稍有减小。垂直虚分量（ $I_m H_z$ ）在接触带的阶梯状异常的背景上，尚可见各频率均有局部异常，但由于接触带的影响，局部异常不明显。水平振幅（ A_y 和 A_x ）各频率都有规则而明显的异常，随着频率增高，极大值点往大号点位移，反映异常为矿体和接触带的综合影响。频率越高，接触带的影响越大，故极大值点往低阻一侧位移。

700（米）×300（米）迴线布置在接触带高阻一侧，接触带低阻一侧距迴线较远，故在此迴线外观测时接触带影响明显减小，垂直虚分量（ $I_m H_z$ ）就不存在阶梯状异常，矿上的局部异常更为明显。

垂直虚分量局部异常的存在和垂直振幅异常随频率增高而减小，反映了磁铁矿除了有导磁性外，还具有一定的导电性。

磁法（ ΔZ ）异常梯度很陡，正异常高达13000伽侖，负异常达-5000伽侖，为浅部之磁铁矿引起。

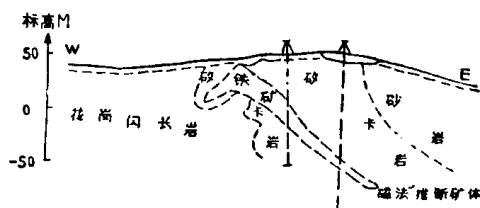
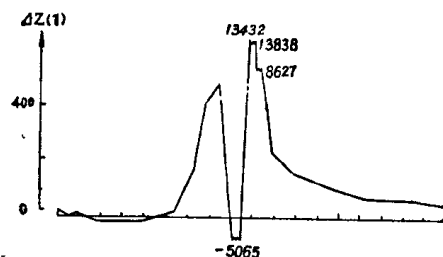
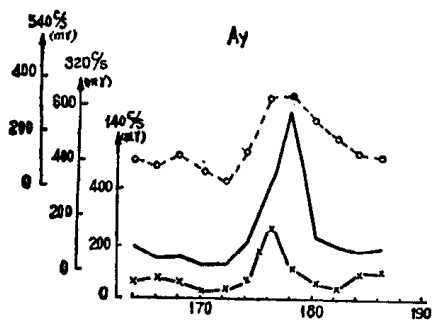
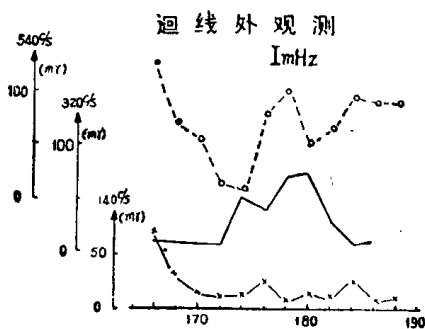
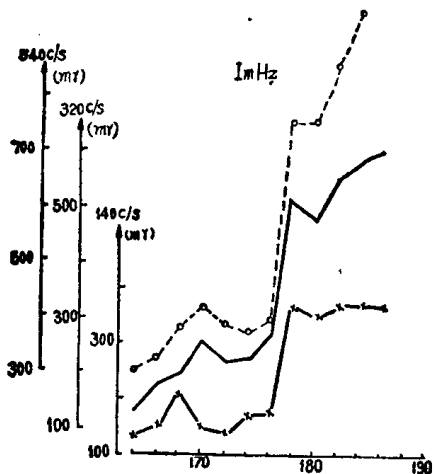
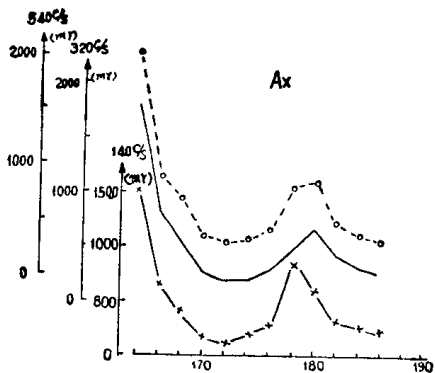
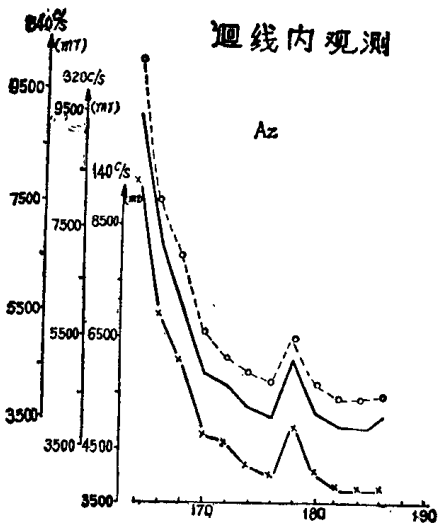


图 1-B

(注: 图例同图 I-A)

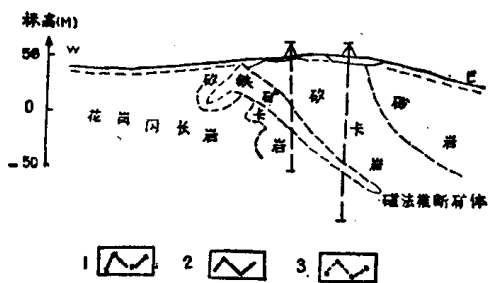


图 1-A

1-f = 140C/S, 2-f = 320C/S, 3-f = 540C/S

(广东省地质局物探队供稿)

实例七

矿区位于花岗闪长岩与大理岩的接触带上，带上发育有厚度不等的石榴石透辉石矽卡岩带，局部富集成含铜磁铁矿和矽卡岩型铜矿。矿体呈囊状、透镜状、薄板状，产状与接触面一致。其分布受接触面和围岩控制，当接触面为岩体凹陷、围岩为白云质大理岩时，矿体增厚，而当接触面为岩体突出部、围岩角闪岩成分增多时，矿体变薄或尖灭。大理岩电阻率为几千到几万欧姆·米，风化后变为几十欧姆·米。花岗闪长岩电阻率为一千多欧姆·米，风化后变为几十到一百多欧姆·米。矽卡岩电阻率为几百欧姆·米。这几种岩石都是弱磁性。矿体分为高硫富铁矿、高硫含铜富铁矿和高硫贫铁矿、高硫含铜贫铁矿。前二种为致密块状，电阻率为几十欧姆·米；后二种为浸染状，电阻率稍高。矿体上部风化成粉末状磁铁矿褐铁矿，风化深度自十几米到五十多米不等，电阻率降低到十欧姆·米左右。各种矿体（包括风化不完全的）均为强磁性。

一九七二年十二月至一九七三年一月，为了对比各种方法的效果，在主矿体的10线上，进行了以下几方面观测：用偶极场同点装置（水平发射、垂直接收）观测振幅 A_{xx} 和虚分量 $I_m H_{xx}$ ；旁线排列（水平发射、垂直接收，收发距10米）观测虚分量 $I_m H_{xx}$ ；用迴线场在迴线中线观测了垂直、水平振幅 A_z 、 A_x 和虚分量 $I_m H_z$ 、 $I_m H_x$ 。考虑到风化层导电性较好，故迴线选500(米)×200(米)。观测结果如图1所示。各种方法在矿体上都有明显异常显示。从同点偶极装置和迴线场中的振幅异常来看，异常不随频率变化，且在迴线内观测的振幅异常为正值，说明异常是由磁性体引起的。从虚分量异常来看，异常随频率增高有明显衰减，表明异常体还有较好的导电性。从迴线场垂直虚分量异常位于水平虚分量异常的右边，表明异常体向右倾。异常体顶端位置则可根据偶极场各分量异常极大值点及迴线场水平虚分量极大值点确定(图上44号点)。这些都与矿体的物性及空间位置一致，证明异常为矿体的反映。在同点装置虚分量曲线上，除矿体异常外，地表电性不均匀使曲线发生跳跃，而旁线排列虚分量曲线仅反映矿体异常，对地表不均匀性有较强压制。高低阻岩石之接触带仅在迴线场垂直虚分量曲线上得到明显反映，曲线呈台阶形，接触带处之矿体异常和它叠加在一起，形成局部隆起，在220周/秒时表现最明显。水平虚分量曲线仅表现为随频率增高而衰减的局部良导体异常。