

硫化物矿床, 导电, 板岩, 分辨③

地质勘查 容矿岩石

91-100 能将硫化物与导电的板岩分辨开吗?

—Dugald River 勘查史·

p618-208

James Macnae, Andrew Mutton 著

张生辉 译
彭齐鸣 校

1 引言

Macnae, J

大多数火山成因块状硫化物矿床赋存于相对电阻性的容矿岩石中; 在北半球常见的冰雪覆盖区, 使用电磁法 (EM) 勘查这类矿床多年来成了一种例行公事。这类目标的电磁响应和探测相对简单 (Nabighian 和 Macnae, 1991)。在象澳大利亚那样的地区, 分布广泛而具导电性的风化覆盖层在目标物和地表 (或航空) 电磁系统之间产生一道屏障。这些结果的解释比单一的孤立导体更为复杂, 因为“初始”波形在被下层目标物接收之前已被覆盖层延迟和平滑 (West 和 Macnae, 1991; Liu 和 Asten, 1993)。

在容矿沉积岩石 (导电性中等) 中用电磁法勘查硫化物并没有受到如同火山成因情况下那样大的注意, 一个主要的原因是背景导电性; 尤其是如果背景导电性不均匀, 会引起两种复杂情况。可变化的背景本身能导致容易与想要获得的异常相混淆的响应, 电流聚集效应则可以导致降低其与中等导电性目标之间原本明显的差别 (West 和 Macnae, 1991)。

本文描述为确定 Utem 系统可以在多大程度上从昆士兰西北部 Dugald River 锌-铅-银矿周围导电的容矿板岩中分辨矿脉硫化物而进行的实验测试结果。也引用了一些航空和地表电磁数据以及早期常规测井的 Sirotem 钻孔数据, 以便与 Utem 结果进行比较。

我们将从与在勘查过程中通常的数据采集顺序相反的顺序对数据进行讨论。首先分析钻孔电磁数据, 然后是地表结果, 最后讨论航空物探的含义。

2 Dugald River 矿床地质和岩石物理

Dugald River 矿床是一条产于元古界芒特艾萨构造东部沉积岩中的锌-铅-银矿脉。Dugald 矿化脉长约 2km (图 2), 平均宽 10m, 延深超过 1000m。矿化脉受层位控制, 向西陡倾。矿床产出在黑色碳质板岩底部, 但限于板岩单元内, 底板为钙质泥岩。顶板由一套钙硅酸盐岩、片岩、块状厚层石英岩以及砾岩透镜体组成。地层层序可能是倒转的, 那么上面描述的地层顺序就要反过来。硫化物氧化深度大约 20m。

Dugald River 矿床岩石物理测量表明, 板岩矿石的电导率为 4-80S/m, 块状角砾岩矿石的电导率为 200-700S/m。

* Can sulphides be discriminated from conductive slates? A case history at Dugald River

3 块状硫化物导体

已发表的块状硫化物矿床整体电导率数值显得变化很大,从某些铅-锌矿床的不足 10mS/m,到一些黄铜矿或磁黄铁矿富矿石的大于 10000S/m (Telford 等, 1976)。许多普通硫化物矿物的电导率(闪锌矿是众所周知的例外)大于 10000S/m。有两个问题很重要:第一,为何矿石整体电导率通常比矿物电导率低得多;第二,是什么因素控制观察到的衰减量?之后还有一个附带但很重要的问题将被提出:电磁法系统到底能从多大程度上精确测量块状硫化物整体电导率的可能范围中的响应?

如同 Grant and West 所描述的,岩石整体电导率与其组成矿物电导率之间有很强的矿物“拓扑学”函数关系。概念很简单:考虑一种由两种成分组成的复合物质,含量较少的成分是电阻性的,而主要成分是导电性的,其结构变化可以看出,由于导电颗粒在一种情况下相互隔离而在另一种情况下不是,整体导电性将发生显著变化。

普通硫化物矿物中,方铅矿和黄铁矿两者都结晶良好,在高度富集状态经常都是不良导体。另一方面,黄铜矿和磁黄铁矿则倾向于变化不定,矿物颗粒之间存在良好的电性联系是极其常见的。结果,黄铜矿和磁黄铁矿富矿石都曾被报道具有极高的整体电导率(如 king, 本期)。变质作用和构造运动/剪切可以导致硫化物的重结晶(可能降低或增加导电性)或扭曲以至导致硫化物矿物颗粒之间的电性接触。在某些情况下黄铁矿或方铅矿富集的块状硫化物的整体导电性可能接近矿物的导电性。

良导体的探测

决定一个板状体的电磁响应的主要物理性质是这个物体的导电性或者电导率-厚度乘积。EM 系统对块状硫化物电导率测量的典型范围从小于 0.1 到几千西门子。由于磁黄铁矿整体电导率超过 10 万 S/m,即使一个只有 10cm 厚的层片其导电性也将超过 10000S。如同 Nabighian 和 Macnae 所讨论的,一个板状体中观察到的电流衰减时间常数大致由下式给出:

$$t \text{ (ms)} = 0.3DS$$

这里 D (km) 指导体中诱发的电旋流的展幅,通常用延深深度或走向长度中的较小值;S 指板状体的电导率,单位为西门子 (S)。当导体比 EM 系统的“范围”大很多时,诱发的电流展幅更多地由 EM 系统而不是板状体的边界限定,这时 D 值等于一个可与发射环尺寸中的较大者或 Tx-Rx 分隔间隔比较的长度值。

对实际概括的几种“块状硫化物”目标或处于非常电阻性介质中的其他地质导体类型预期的时间常数详细列于下表。

Stolz and Macnae (1996) 分析了矿产勘查中通常使用的三种波形对一定范围时间常数的敏感性。这三种波形理想化地等同于 Utern 波形(锯齿状电流波形或交变“阶跃”系统响应)、Sirotern 波形(交流开关电流或交变“脉冲”系统响应)和 Geotern 波形(交流半正弦开关电流或“双脉冲”系统响应)。他们的结论是,为探测最长衰减必须使用实时测量,这与 West 等 (1984) 较早出版的著作一致。

目标物	D (km)	S (西门子)	时间常数
铅-锌矿石	1.0	10m@0.01 S/m	0.03ms
页岩	1.0	100m @0.33 S/m	1ms
黄铁矿目标	0.5	10m @1 S/m	1.5ms
黄铁矿/黄铜矿	0.5	10m @10 S/m	15ms
碳质板岩	1.0	100m @1 S/m	30ms
Dugald 矿石	1.0	10m @ >300 S/m	>1s
黄铜/斑铜矿石	0.5	10m @3000 S/m	5s
磁黄铁矿层片	0.5	1m @100000 S/m	15s
镍矿石 (Voisey Bay?)	1.0	60m @100000S/m	1800s

用以为本文搜集数据的标准 UTEM3 系统测量处于基频矩形波之内的 10 个二进制间隔时窗的总场, 基频可在 5—50Hz 范围内调节; 而二次场则通过减去计算或估计的初始场获得。这一系统可获得的在波形阶跃之后的最长时间延迟大约为 60ms。Sirotem2 系统测量脱时二次场, 有许多不同的准对数间隔时间频道, 其范围最大可达到约 140ms。作为以 75Hz 基频操作的航空测量系统, Geotem 被限制在发射脉冲结束之后大约 4.5ms 的时间延迟之内。很显然, 这些系统中没有一种能够测出可与表所估计的一些矿石预期时间常数相比较的延迟时间。在对 Dugald River 的地质进行研究时, 问题因块状硫化物导体位于导电的板岩

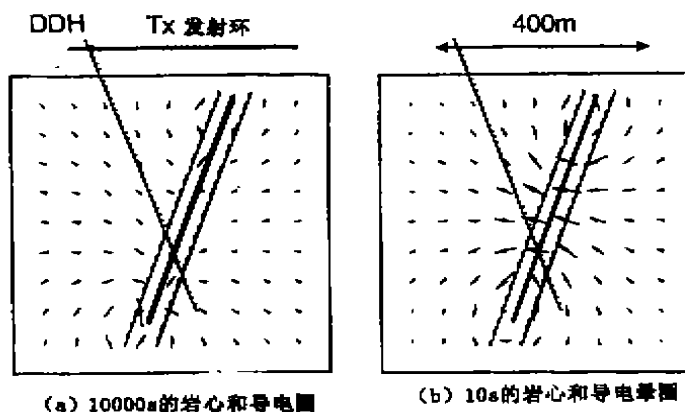


图 1 处于导电性晕圈 (双虚线) 中的导电性目标物 (实线) 剖面上 Multiloop 模型几何特点 图示在 2ms 延迟时间的 Sirotem 响应矢量

介质中而变得很复杂。Multiloop 模拟程序被用来试图对 Dugald River 的情况进行模拟; 该程序精确模拟相互不接触的板状导体的响应。图 1 表示了这些推测模型的几何图象。图中显示了三种导体, 都向左 (西) 倾。模型所选用的顶板电导率为 10S (可能是 100m 厚的 0.1S/m 的板岩), 矿石电导率为 10S 或 10000S (可能是 10m 厚的“矿脉”或 1m 厚的磁黄铁矿层), 底板电导率为 5S (可能是 50m 厚的 0.1S/m 的板岩)。发射环直接置于导体顶面。在这种几何条件下, 电流聚集效应可能是最小的, 因此与假定电流聚集为零的 Multiloop 程序相适应。如果发射机的位置偏向一边, 电流聚集效应将会更明显。如图 1 所示, 一个钻孔在深部与导体相交。

如果目标物仅仅由岩心矿体组成, Utem 和 Sirotem 两种系统都可以测到地面和钻孔中的响应, 只要目标物具 10S 的电导率以及 2ms 的衰减时间常数。对于 10000S 电导率 (地球物理的“超导体”), 计算的衰减常数达到 2 秒级, 如此长的衰减将明显高于专为实时 Utem 系统设计的噪声电平。这种响应与初始场“同相”出现, 只有具备一定的几何知识才能够通过与计算的初始场比较而探测到。如果考虑恰好在一个“超导体”目标物上测

到的最大的可能二次异常，实时系统与脱时系统之间的相似性是令人感兴趣的：对一个垂直导体表面的组成单元，实时 EM 系统与脱时 EM 系统两者都会测出零总场。不过，对于实时系统，初始场的某些成分预期将会出现，因此零信号的测量结果是反常的。

如果外部“晕圈”被模拟，则实时 EM 系统和脱时 EM 系统两者的响应都很明显。当加入 10S 的岩心时，总响应发生变化以反映稍稍降低的衰减，但在实际上，与其他可能的比如由于晕圈的导电性或厚度改变所引起的响应变化相比较还难以确切地说是否探测到了矿石。但是，10000S 的岩心对模型有显著的影响，Sirotem 系统的响应在很早期延迟时间就被迫衰减到接近于零，而 Utem 系统的响应则似乎由岩心响应所主导。

钻孔最深读数的瞬间衰减绘于图 2。Sirotem 衰减中良导体的出现产生将早期延迟时间（经常假定是介质响应）的拟合表面时间常数减少 3 个数量级的效果。这一行为与简单的直观相矛盾，但事实上很合逻辑：在很早期延迟时间 EM 场还没有穿透晕圈，岩心只起很小的作用；一旦电磁场开始明显穿过晕圈，良导体将迫使总场比正常的 EM 衰减快得多地趋向零。图 1a 绘出了 2ms 时 Sirotem 二次场的矢量图，以显示导电性很好的岩心如何迫使二次场与其表面平行，而使垂直方向为零。Utem 波形的行为表现出相同的基本效果，但不是近乎戏剧性，因为阶跃响应系统波形的动态范围被减低。物理学表明邻近“超导体”的总场为零，这意味着必须存在一个与初始场相等、方向相反的大的、非衰减的二次场。这个二次场可以在减去计算的初始场之后绘出。

众所周知，与“阶跃”系统相比较，诸如 Sirotem 的“脉冲”系统优先夸大弱导体的响应而减低良导体的响应。此次模拟中，电导率为 10000S 的岩心的衰减只是在 10ms 之后数次直接明显出现，而其信号电平仅仅为 0.01nV/Am²，大约比通常钻孔测量所获噪声基底低一个数量级。但是岩心良导体在降低外围晕圈响应的表面时间常数方面的间接效应将远远在噪声电平之上。

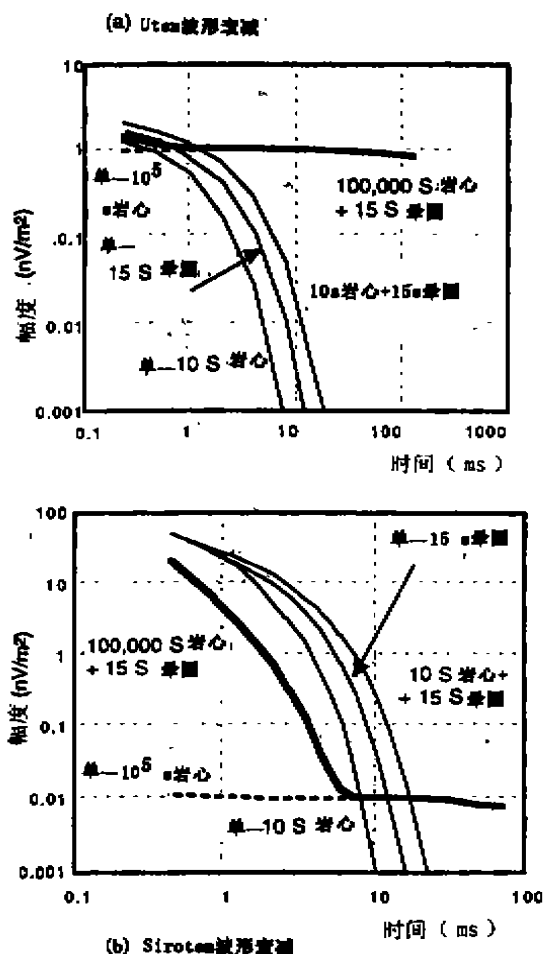


图 2 Utem 和 Sirotem 对数—对数衰减图，显示导电性极好的矿石（粗线）可以减弱而不是增强表面时间常数，特别是 Sirotem 系统

4 Dugald River 的 EM 数据

Dugald 导电性板岩形成围绕块状硫化物矿脉的“晕圈”这一地质情况大致地与所描

述的模型相似。我们可以获得两种钻孔 EM 系统即 Sirotem 和 Utem 的数据。本文的目的之一是确定每种 EM 系统能够从碳质板岩背景中区分矿脉硫化物的程度。

4.1 测量设计

不同 EM 系统具有不同的设计特性, 决定其不同的最佳发射环设定。具体说来, Utem 系统具有为其外形较大、电阻性的线圈最优配置的高电压发射装置, 而 Sirotem 系统则具有为其外形较小、相对导电的线圈最优配置的低电压强电流装置。Dugald River 最先使用的钻孔 EM 测量是 Sirotem, 用小发射环。通过那次工作的结论是, 不能明确地把矿化从具有如此外形的碳质板岩中分辨出来。因为 Dugald River 进行 Utem 测量的基本目的是看看系统能否将硫化物响应从板岩响应中区分出来, 所以发射环的大小是为 Utem 系统最优配置的。如果现场测量仅仅被设计成系统波形比较, 就象上述所模拟的, 各发射环应该同样定位。

本文所引用的钻孔 EM 数据取自 DR152 钻孔, 设计在 14400N 线上, 大致在矿床主要

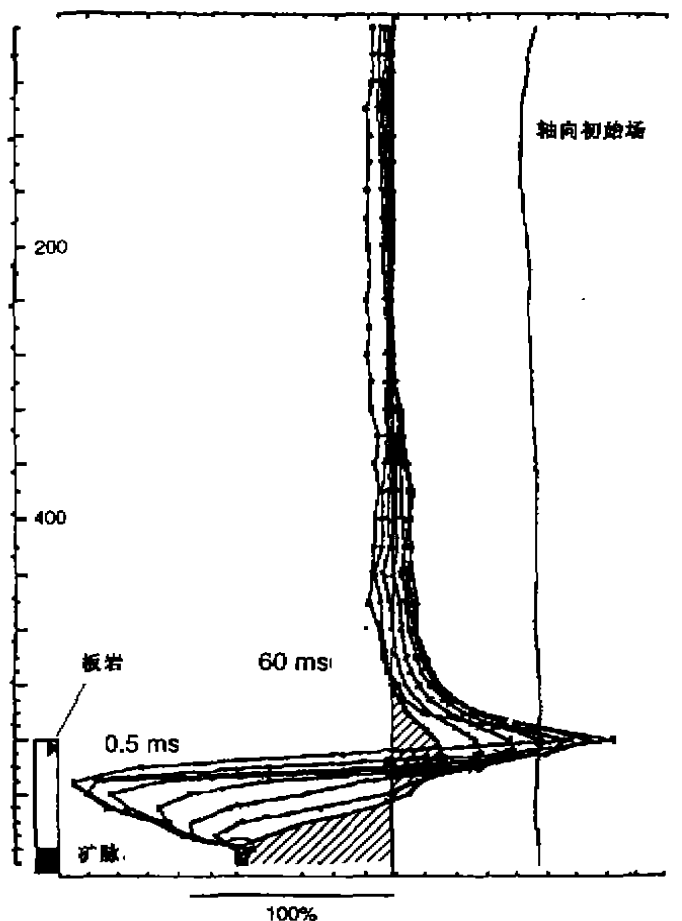


图3 钻孔 152、发射环 3 的 Utem 数据

部分的中心。该地区产状向西陡倾, 但倾角通常在深部和向矿床南端变缓。

在下述数据中, 我们应该注意 Utem 和 Sirotem 系统的轴向分量数据信号约定是相反的。这是因为 Utem 探测器轴向分量被定义为指向“钻孔下方”。换句话说, 在同等的 EM 系统几何特点和地面感应电流模式下, 一种系统测出的正异常等同于另一种系统的负异常。

4.2 钻孔 Utem

现场数据图中有标为初始场的迹线, 显示轴向分量中局部初始场的百分比 (图 3)。现场数据被绘成二次场; 如果二次场信号与初始场相反那么极性表示“孔内”目标, 而二次场信号等同于初始场的极性则表示“孔外”目标。这一约定从感应物理学角度是容易理解的, 导体中的感应电流产生作用以反抗切割它的初始场 (楞次定律)。

钻孔 EM 数据以二次场给出; 计算的初始场已从观察到的总场中减去。数据被连续不断地标准化, 以至每个观察点上的值都以计算的初始总场百分比的形式来表达。如果观察到的总场为零, 则二次场与计算的初始场相等、方向相反。

4.3 发射环3

设计的 DR152 孔完全处于这个发射环之内。总的来说这已经导致通过钻孔上部的背景相对较小 (图 3)。当探头靠近板岩时响应增强, 显示一种通过板岩本身的交迭迁移模式。在矿脉中, 所有频道紧密聚敛。在聚敛点上, 二次场表现出 -70% 的振幅, 与初始场相等、方向相反; 在所有延迟时间这一振幅大体相等。这事实上意味着矿脉中的总场 (初始场 + 二次场) 为零, 与 Sirotem 测量的总场一样。图绘二次场的显著差别是因为 Utem 实时系统“期望”探测到被测轴向分量中 70% 的初始总场。

因为电流聚集效应被通过将发射环安放在陡倾导体上方而最小化, Multiloop 模拟软件包预期将提供合理的结果, 并被用来检验这一数据能否拟合。

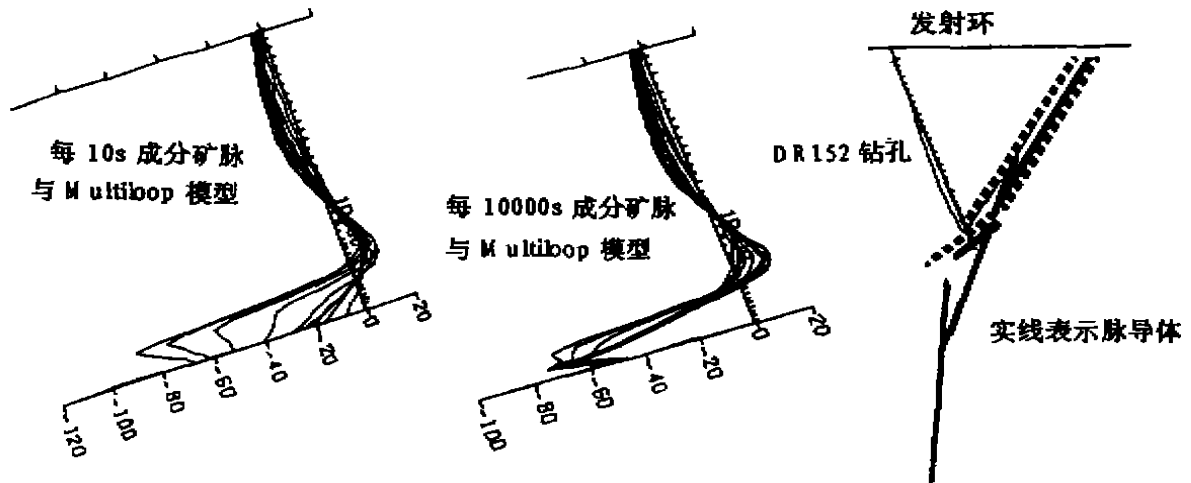


图 4 发射环 3 Utem 钻孔数据的最佳拟合 Multiloop 模型

最初我们试图使观察到的 Utem 数据与两三个较大的导体相拟合, 以重现 Dugald 矿脉的总体形状。在这一企图被证明是失败的之后, 接下来的步骤是修改导体模型, 把将矿脉分割成段的断裂包括进去。以详细的钻探为基础, 根据板岩和矿体的出现位置建立起导体模型 (图 4)。电导率也做了修改, 以图拟合观察到的数据。图 4 也显示了在两天精心试验和错误校正中得出的最好拟合, 当然这种拟合仍然不能与图 3 的数据很好地匹配。要得到任何一种合理的拟合, 都必须要求紧邻矿脉存在一种电导率在 600S 以上的导体。这是迫使晚期延迟时间总场趋于零 (这里二次场为 -70% , 与轴向分量中初始场的 70% 大小相等、方向相反) 所要求的。拟合的 600S 电导率可能高得似乎令人惊奇, 但与物理性质测量结果是一致的。物性测量显示, 矿脉电导率在 $20\text{—}80\text{S/m}$ 和 $200\text{—}700\text{S/m}$ 的范围, 结合考虑 10m 的矿脉代表厚度, 则矿脉的电导率在 $500\text{—}4000\text{S}$ 之间。这种一致性也部分地说明物性测量结果在整体上代表了矿脉。

4.4 发射环 4

这个发射环所得数据 (图 5) 显示响应中两个分离源物体各自的影响可容易地识别出来。在孔内极性的最后一个延迟频道明显有一个宽大的响应 (以阴影表示), 叠加其上的二次响应在约 350m 深处与拟合的大约 20ms 时间常数交叠。相互交叠响应的源物体模拟

时被限制在钻孔上方，可能反映板岩响应；地表数据将在稍后讨论。在钻孔底端，在 60ms 的最后延迟时间总的响应仍在增大。因此孔内源物体的时间常数必须至少达到几百毫秒。用以拟合发射环 3 数据（图 4）的 Multiloop 模型并不与最大耦合的发射环 4 数据很好地匹配，可能是由于初始场的不同耦合和电流聚集效应。但随后对表面数据和发射环 4 数据两者都得到了合理的匹配（图 5 和图 6）。

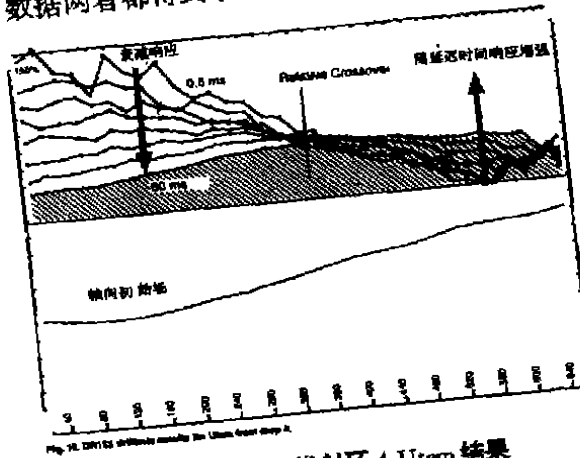


图 5 钻孔 DR152 的发射环 4 Utem 结果

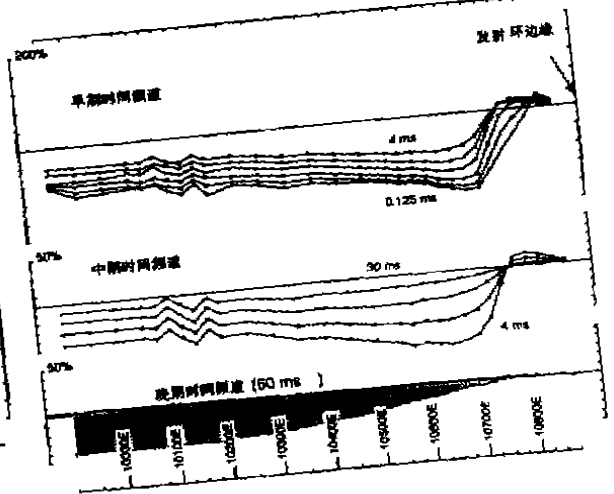


图 6 14400N 线上的表面 Utem 数据

4.5 钻孔 Sirotem

DR152 钻孔的 Sirotem 响应从两个不同的发射环搜集，示于图 7 和图 8。只表示了后期延迟时间 20—38 频道的测量结果，相应于 6—140 μ s 的延迟时间。计算的 Sirotem 发射环 1 初始场与同 DR152 钻孔相交处的矿脉局部（断层围限的）地段最大程度地耦合，发射环 2 最小程度地耦合。

4.6 发射环 2

发射环 2 数据（图 7）显示，钻孔底部最后几个测站（探头置于矿脉内）在所有延迟时间都有弱响应。在任何本身时间常数比 EM 系统可测延迟范围大得多的极良导体内部，预期所有延迟时间都将出现“零”响应（等同于厚度远远大于频率磁畴表皮深度的导体内部的零响应）。除了在矿脉内部“零”响应，最后几个延迟时间响应一般为负值（或孔外极性）；但早期频道显示从浅—中深的孔外极性到与页岩交点相对应深度的孔内极性的交叠，转换向钻孔深部迁移。在板岩边缘出现一些短空间波长的复合物和局部信号反转。

4.7 发射环 1

发射环 1 Sirotem 数据（图 8）再次显示了矿脉中的弱响应。但脉内响应比发射环 2 的更大是令人惊奇的，因为计算的初始场耦合更差。在矿脉上方有两个早期时间频道与晚期时间频道交叠的响应；其一包含在深度为 600m 左右的板岩之内，另一个深 200m、较浅较平滑，似乎反映了在与背景涡流分布耦合时的变化。

至于对响应不同分量的源物体的讨论将在关于模拟的下一部分进行。图解现场数据的大小以 μ V/A 的单位给出，这一单位在校正传感器有效范围时与 Multiloop 模拟所用图表中 10nV/Am² 值相对应。

4.8 Sirotem 模拟

在用 Multiloop 对 Utem 数据进行十分成功地模拟之后，Sirotem 波形和发射环定位被

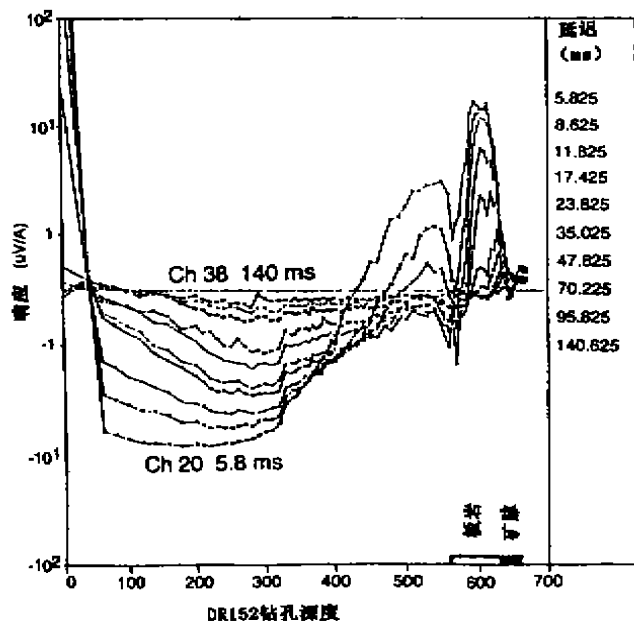


图 7 钻孔 DR152 的发射环 2 Sirotem 数据

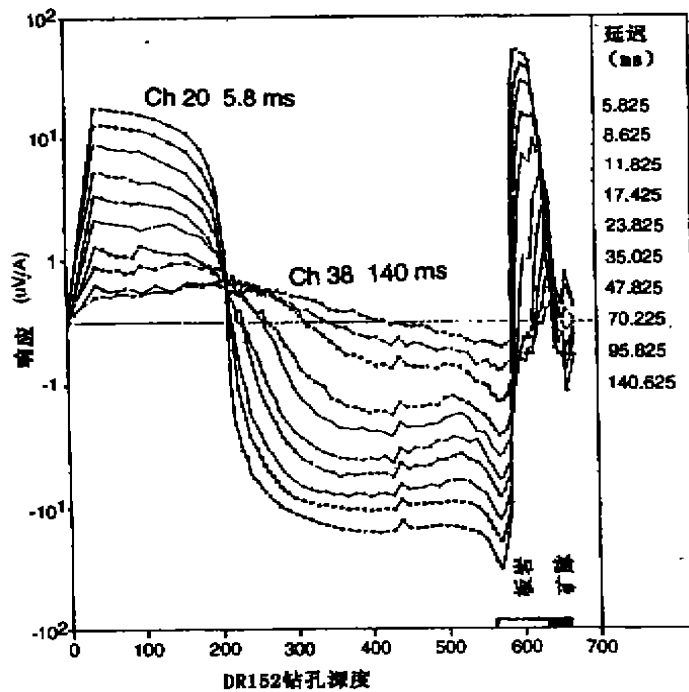


图 8 钻孔 DR152 的发射环 1 Sirotem 数据

但在本质上, 关系到标准化的关键因素是模拟数据和现场数据二者必须以同样的方式表示。

用来确定同样的导体是否能够拟合观察数据。在晚期延迟时间 (6—140ms), 模型对数据得到合理拟合 (图 8 和图 9), 只要包括了电导率为 10000S 的矿脉导体。模型和数据的主要差别在于交叠点位置, 模拟的深度为 300m, 而现场数据为 200m。即使经过两小时的“精心试验和改错”, 仍不能通过输入模型的简单改变来正确地模拟这个交叠点位置。尽管 Sirotem 系统没有明显的由电导率大于 1000S 的孤立导体反映出来的处于噪声电平之上的衰减 (如图 2 中每个例子), 仍然需要非常高的矿脉电导率以使模拟的异常形态与现场数据拟合 (图 9)。

4.9 地面 Utem

地面 Utem 数据通常用一系列交替的标准化手法来制图: 空间的 (“连续” 或 “单点”) 和时间的 (“频道 1” (晚期) 或 “初始的”)。本质上, “连续” 标准化方法通过对初始场的衰减量用相对于发射机装置的距离进行校正保证异常的强度不会变化, “单点” 标准化保证异常的绝对值或形态不会变化。其他校正方法关系到实时初始场的扣减问题。“频道 1” (晚期) 标准化方法假定最后的延迟时间是对所测分量初始场的精确测量, 并从所有早期时间频道中减去这一测量值。“初始的” 标准化方法在将结果绘成二次场之前从所有的测量值中减去计算的初始场。这里给出的地表数据是经过 “连续” 和 “频道 1” 标准化的, 因此得到保留的是异常的强度而不是形态, 且仅有最后一个延迟频道显示出几何误差的效应。

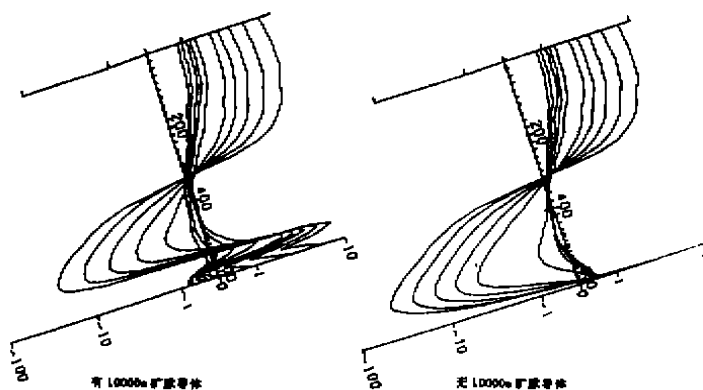


图 9 拟合发射环 1 Sirotem 数据的 Multiloop 模型

向西几百米之内，异常的负突出部分感应振幅大大减小，表明这一响应的源物体大小有限（或是深度或是走向长度）。最后一个延迟频道本身表现出发射环附近的几何误差（初始场误算），但再往西有一个宽大得多的延伸 1km 左右的负值区。这一最后频道响应的源物体其顶点埋深和延伸都必然比衰减响应的源物体大得多。DR152 钻孔孔口就在这条线上 10200E 附近。

通过把观察到的响应（图 6）模拟以及地质情况比较，响应迁移似乎发生在浅层矿脉（氧化）和板岩层的上方。在最后延迟频道所见更宽大的、低衰减的响应向西延伸更远。结合发射环 4 的钻孔 Utem 数据，很明显那些最低的衰减有导电性极好的矿脉作为源物体。假定最后延迟时间的响应出自感应，模型拟合就要求“矿脉”导体延深超过 2km、电导率超过 600S。

4.10 发射环 4

Utem 地表数据显示一种在早期延迟时间从发射环边缘向外迁移的交叠模式（图 6），并于 2—15ms 之间的中期延迟时间在位于 10775E 测点的一个交叠点上达到稳定。这一响应的负值顶点在交叠点以西 50—75m 处，按标准拇指法则推断，从这一点到导体的深度也大约为 50—70m。这明显大于观察到的 20m 氧化深度。再

5 航空 EM

在 Dugald River 地区使用 75Hz 基频进行航空 EM（Geotem）测量所获数据示于图 10 和图 11。由于 Geotem 系统存在一种“派生脉冲”系统响应，进一步加强了弱导体的响应强度，代价是漏掉良导体。经过简单模拟，结合考虑沿走向的变化情况，确认观察到的 AEM 系统响应（时间常数最大几毫秒）纯粹由导电的板岩引起。

6 模拟调试

为拟合不同发射环定位所获数据，要求不同的 Multiloop 模型，即使所使用的是相同的 EM 系统。单个剖面或钻孔所得出的对矿脉几何学的结论也必须慎重对待。但 Sirotem 和 Utem 两种数据都探测到 Multiloop 模型所要求的导电性极好的矿脉层，与物性测量结果一致。数据和模型相比较表明，导电性极好的矿脉积极地迫使邻近矿脉地区的总磁场趋于零，结果是异常更明显，而且实时系统比脱时系统更容易探测到。

7 结 论

如果良导体处在导电的介质或晕圈中，就可以看见脉冲响应结果中的反直观效应。

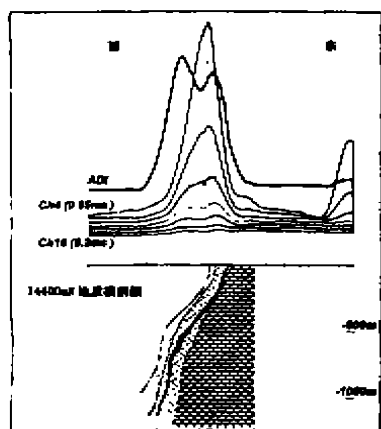


图 10 14400N 线上的航空 Geotem 响应

导电性极好的矿石的存在可以显著地减低在早-中期延迟时间观察到的衰减的拟合时间常数，而由矿石中电流的缓慢衰减所引起的

响应可能并不变得占优势，直到信号电平可能已低于噪声电平的很晚期延迟时间。如果是实时系统，尽管“总”响应可能也低于可观察的噪声电平，仍然可以很容易地推断出一个可探测的二次场，因为测得的总场明显不同于初始场。Dugald River 的钻孔 Utem 和表面 Utem 都能很清楚地把导电性极好的硫化物从导电性较差的板岩中分辨开来。这种系统可以探测距离很大的异常。钻孔 Sirotem 数据要求模型中有导电性极好的矿脉硫化物来与紧邻矿脉附近的观察曲线形状相对应，但在距钻孔一定距离的地方导电性极好的矿脉只有很弱的效应。从 EM 数据模拟的电导率与物性测量得出的电导率和已知的矿脉几何特性相符合。使用 75Hz 基频的 Geotem 数据不能把导电性极好的矿脉从板岩中区分开来。

(参考文献 12 则从略)

译自《Exploration Geophysics》Vol.27, p.119—130, 1996

DUGALD RIVER
PROJECT
GEOTEM SURVEY
MULTI-CHANNEL PROFILE
LINE 191E
(Processed Located Data)



图 11 Dugald River 矿床 Geotem 频道 12

响应数据综合

粗实线为矿脉露头；虚线为推测矿脉。

到地表垂距近 400m