

瞬变电磁法资料解释及应用实例

1. 资料解释过程

最通常的解释方法是首先识别导电体的类别，包括：文化导体，地形影响、地表导体，地层或区域性导体以及基岩导体等等，在矿产勘探中它们都属于环境噪声。例如地表导体(导电覆盖层)，覆盖范围大，能产生广阔的，强的瞬变响应。地层或区域导体，具有大的走向延伸很广的电导率范围，能产生宽阔的异常幅度。他们包括断层，剪切带岩石（例如页岩，石墨等等），岩石接触面等等。

如果瞬变响应延迟的时间非常短，它可能是浅部响应。在偶极装置情况下，导体的响应是不对称的，而且还依赖于接收机位于发射线圈的哪一边和相对于导体位置。

巨大的瞬变响应常与石墨，富硫化物的页岩，片麻岩以及含水构造（断层，含水层）和风化层有关。

对于相互接近的多个导体的瞬变响应是非常复杂的，因为它们相互感应，此时把个别异体分辨出来是困难的。

在没有浅部风化层的高阻地区，可以直接对目标导体的参数进行评估，但在有浅部高导层情况下就不一样了。

在定性解释中首先应分析每个测点的瞬变曲线随时间是如何变化的（随时间变化），以获得测点下方的地质电性结构和垂直变化以及是否存在异常体等定性信息。然后分析瞬变曲线沿测线方向的

空间变化，包括瞬变场的幅度、形态、异常宽度，梯度和过零点，以获得沿测线方向的电性分层，地质结构以及异常体的形态，边界和深浅等定性信息。三个分量 X ， Y ， Z 的响应是明显不同的，但它们都与电性异常体结构有关。

瞬变场资料解释受不同的装置结构和不同的 EM 系统（发射阶跃波或脉冲波）所牵制，它们决定了地下的电磁响应。例如，在低电导率侵染矿体上方可以观测到很强的脉冲响应，但对于高电导率的块状矿体则没有很强的脉冲响应，然而块状矿体却能产生很强的阶跃响应。

2 不同观测装置下、不同产状导体的瞬变响应

图 22 到图 25 描述了常用的三种观测装置，在有浅部低阻薄层和没有浅部低阻薄层情况下，不同倾向的薄层导体的 Z 分量和 X 分量的瞬变响应断面图，现分析如下：

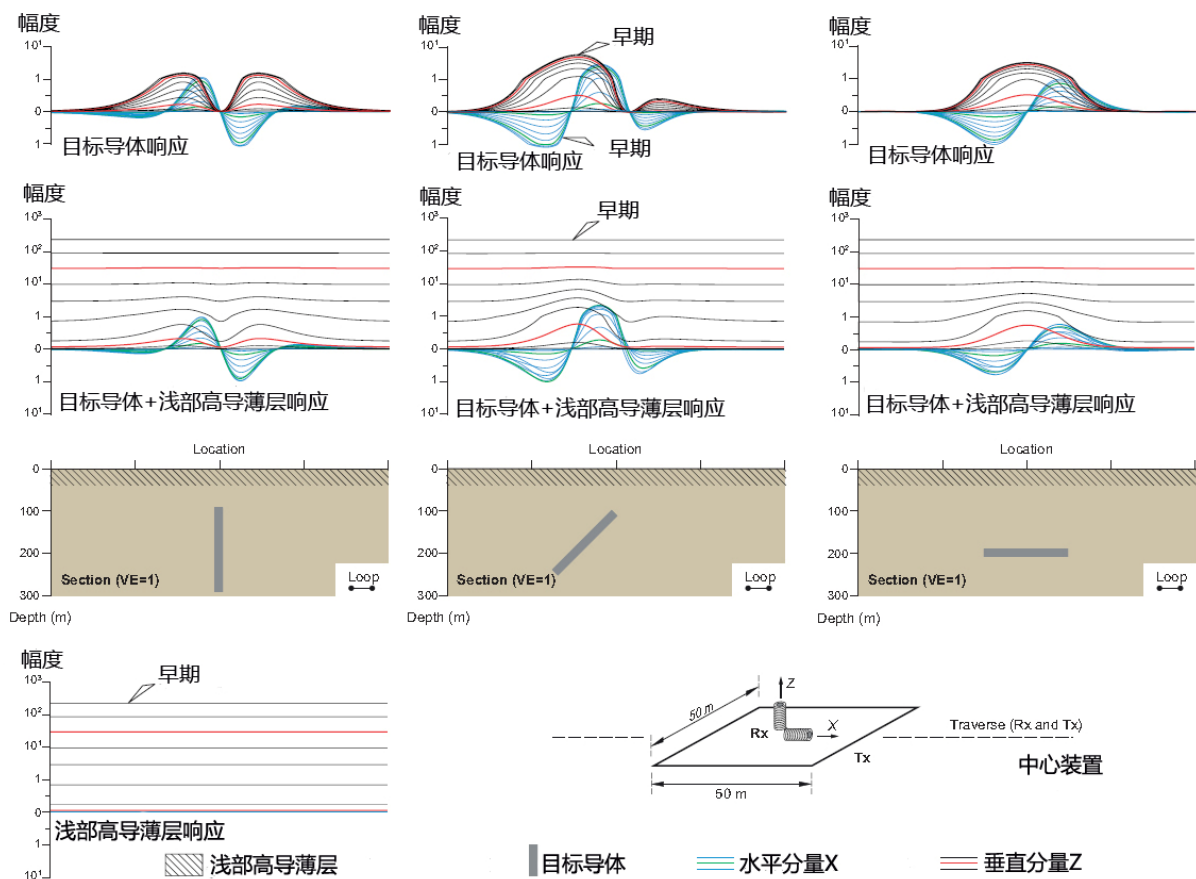


图 22 在中心装置下计算的瞬变响应，包括三种取向的薄板状导体，有无浅部高导薄层

1) 中心观测装置

由上图可见，Z 分量和 X 分量在陡倾角薄板导体顶端为零，这是因为垂直薄板导体位于发射线圈正中心，结果是零耦合，在薄板导体没有涡流产生。Z 分量在垂直倾角导体两侧是对称分量，但 X 分量是反向对称，之所以反向是因为初始场方向在导体两侧正好相反。

对倾斜导体而言，最强的响应出现在倾斜方向。

对于水平薄板导体而言，响应也是对称的，但 Z 分量峰值出现在导体中心，因为是水平产状导体所以在导体中心耦合最强。在水平延伸浅部高导薄层存在时，由于该薄层在每个侧点上均产生很强的早期 Z 分量响应，所以把目标体 Z 分量的早期响应掩盖掉了。

注意：在中心装置情况下，对于水平层状导体和均匀半空间而言，X 和 Y 分量响应是零，所以目标导体的 X 分量响应不受浅部低阻薄层的干扰。有、无浅部高导层存在时，X 分量响应的幅度和形态不受影响（浅蓝色曲线），而 Z 分量响应被显著压底。

2) 偶极装置

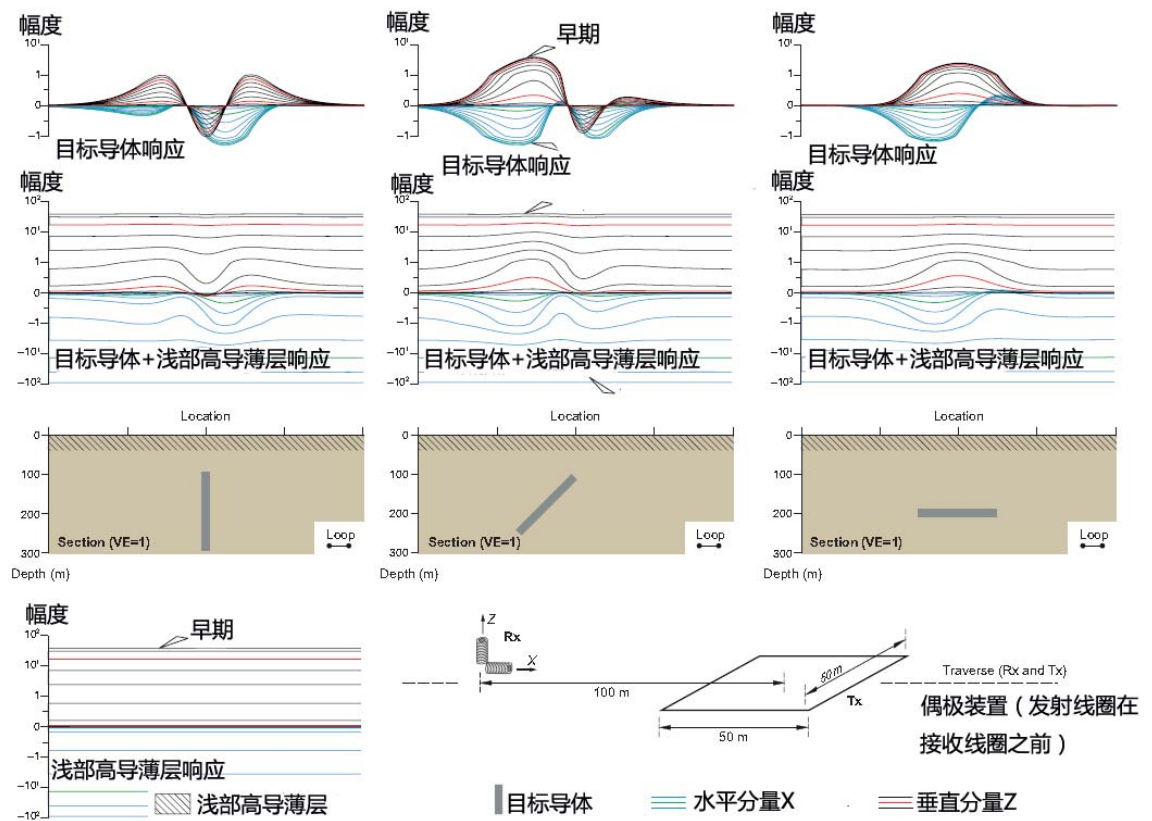


图 23 发射线圈在前，接收机在后的偶极装置下薄板状导体的瞬变响应

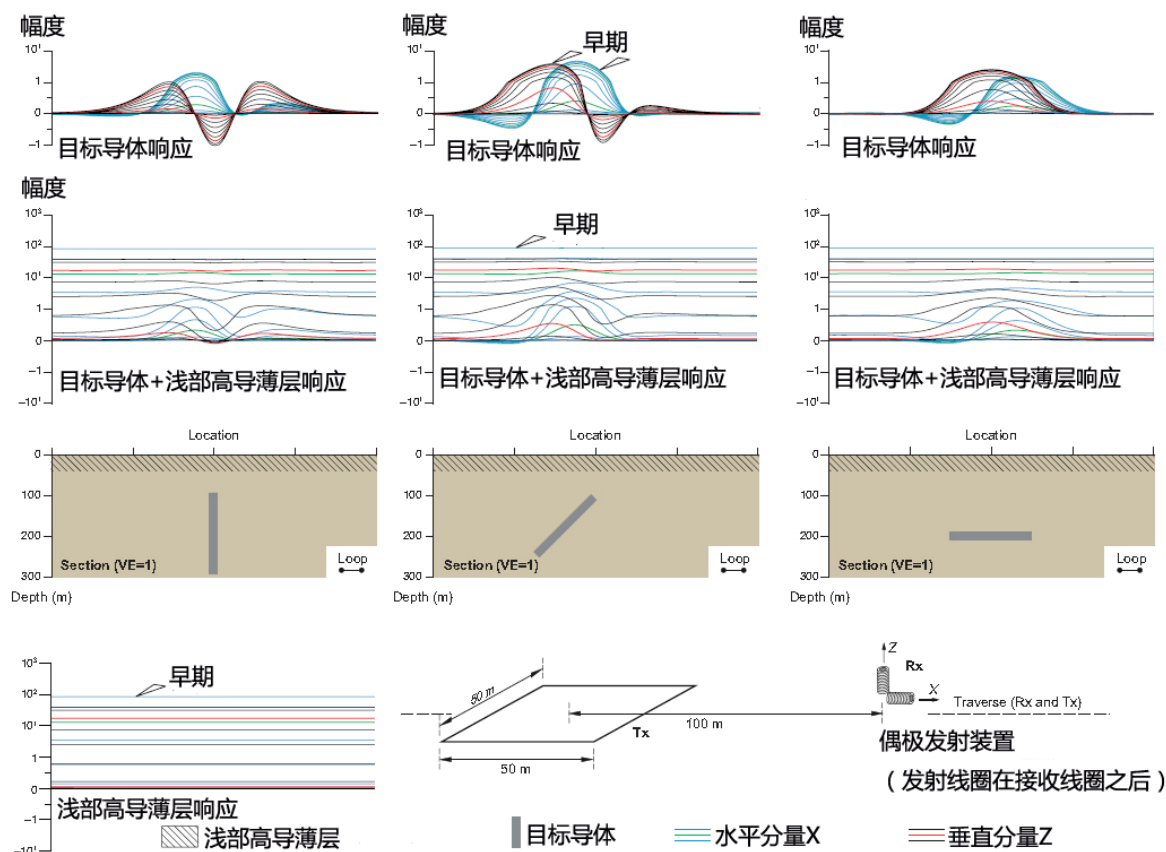


图 24 接收机在前，发射机在后的偶极装置下薄板状导体的瞬变响应

可见偶子装置产生的 Z 和 X 响应是不对称的，对于倾斜导体响应最强，并且出现倾斜导体的下降边。

3) 大定源装置

上述的中心装置沿测线移动，相当于改变一次场与探测目标体之间的耦合关系；偶极装置沿测线移动，也相当于改变一次场与探测目标体的耦合关系，所不同的是观测位置有移动。

大定源装置是一次场与探测目标体的耦合关系是不变的，测点沿测线移动相当于观测在固定耦合情况下二次场沿测线是如何变化的，图 25。大定源装置的探测深度大，但分辨率低于中心装置和偶极装置，因此在使用大定源装置时应测量瞬变场的三个分量，以帮助获得导体的更多信息。要特别注意发射线圈位置要与探测目标体有好的耦合。

现以发射线圈位于水平板导体之上为例：

在发射线圈内 Z 分量很强，因为耦合最好。在发射线圈外 Z 分量变负担幅度仅为发射线圈内的 1/2，这是发射线圈内、外初始场强度差一倍所致。

在发射线圈中点 X 分量为零，两侧正、负相反。这是因为在线圈中点初始场是垂直的，在薄板中产生的涡流体系在板内是水平分布的，所以该涡流产生二次场只有垂直分量（图 9c）。但向两侧移动时，一次场有一定角度与薄板相交，所以薄板内有 X 分量响应。

在有浅部导电薄层存在时，由于它与发射线圈有良好耦合，所以强度很大，并叠加

在地下薄板状导体的响应之上。

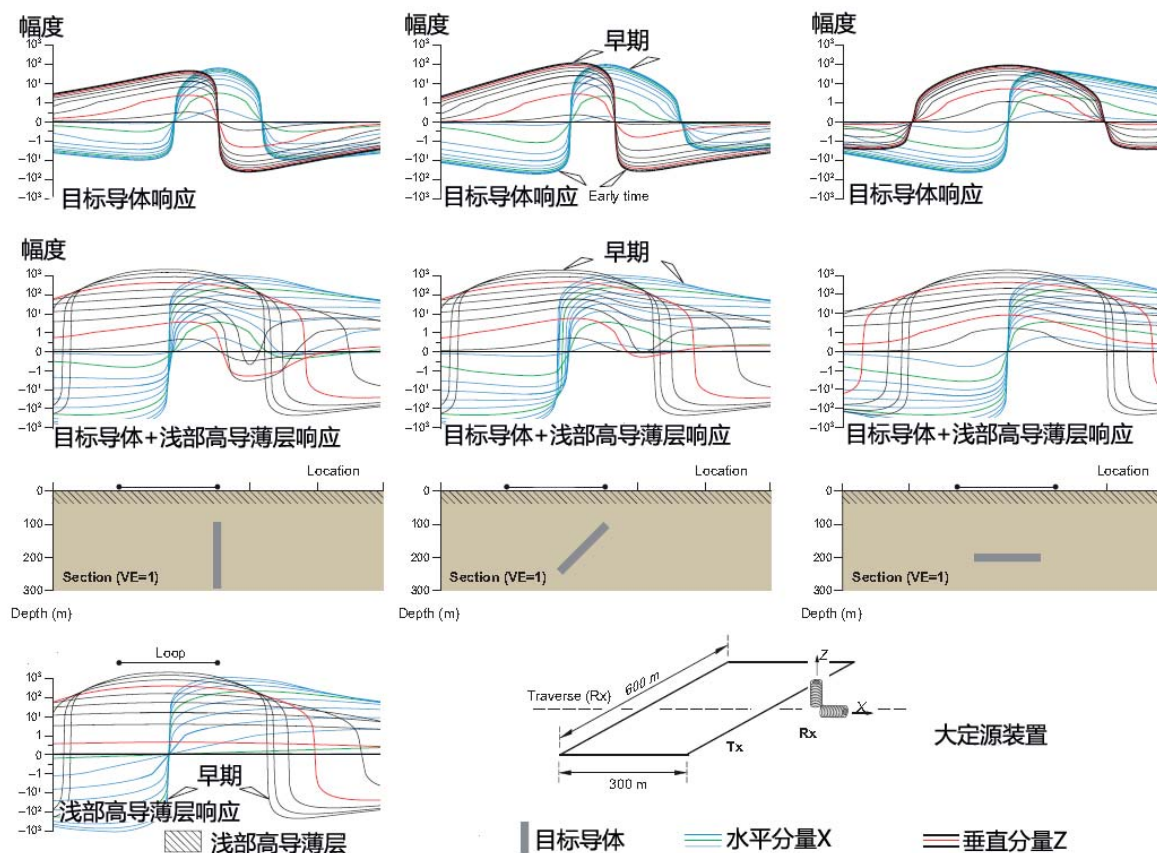


图 25 在大定源装置下计算的薄板状导体的瞬变响应

4) 综上所述:

- (1) 不同探测目的和不同的探测深度要考虑采用不同的装置结构和不同的发射基本频率。
- (2) 不同的装置结构对相同的导体所产生的 Z 和 X 响应是不同的, 移动发射装置目标导体的异常形状比较复杂。
- (3) 联合 Z 和 X 分量有助判断导体的倾向, 顶点或中心的位置。
- (4) 没有地表导电薄层存在时, 即在裸露山区探测时, 地下目标体不受干扰, 探测效果最好, 否则会受强烈影响。
- (5) 在普查和剖面调查中, 在未知目标体倾向和走向情况下采用移动发射装置较好, 但该装置发射磁矩较小, 探测深度小, 然而由于发射磁矩小于地表高导薄层和导电性围岩耦合较弱, 所以目标导体的瞬变响应受畸变较少, 对目标导体分辨率高。移动发射装置要求平铺发射线圈, 并不断移动, 所以在地形切割地区和森林地区工作困难。
- (6) 大定源装置布设发射线框比较费时间, 但对地形要求不严格, 在发射线框内外都可布点观测, 同时勘探深度也大, 所以是面积勘探的主要装置结构。由于发射线圈与目标导体的耦合关系不变, 所以异常形态简单。但由于发射线框面积大, 所以对地表高导薄层和导电性围岩有很强或较强的耦合。它们产生的二次场会掩盖目标导体的瞬变响

应，或使其受到畸变，对目标的分辨率低于移动发射线圈模式，此时可以进行三分量观测可帮助判断目标导体。

3. 影响资料解释的几个问题

瞬变电磁法与其他地球物理方法一样，反演结果具有多解性。

1) 电性环境

地表高导薄层的响应及其对目标体响应的响应，在上节中已经阐述了。地表高导薄层的响应使下伏导体产生的弱的早期响应变得模糊、不易识别，而下伏导体产生的二次场又在高导薄层中感应出新的涡流体系，减弱了或增强了它原有的涡流体系

地表高导薄层的电导率和厚度的变化很容易误解为是下伏高导体所致。初始场关断时间较长，会使场的高频分量降低，从而降低了地表高导薄层和电性围岩的响应。当接收线圈离开地表高导薄层时（如井中瞬变电磁法），它的影响就消失了。

2) 相邻导体相互响应

相邻导体产生的叠加响应改变了目标导体的响应，叠加结果可能被当做一个目标导体的响应。相邻导体的接近程度对于分解弱导体影响巨大。例如大时间常数导体的响应可以淹没掉小时间常数导体的响应。

3) 文化噪声和地形影响

电子设备和功率线都会产生噪声，误认为是瞬变响应。

如果发射线圈位于山底，则山体便成为电性介质，并产生早期的瞬变响应。这种地形响应可从对比瞬变断面图和地形起伏的相关性识别出来。目前还没有特别的方法消除地形响应，当然模型计算是一种手段。

4) 感应极化

一般认为地下介质的电导率是和频率无关的，也即介质电导率不随频率和瞬变场衰减时间而改变。然而如果有可极化的导体或可极化的地下介质，并在早期被涡流充电，那么在晚期，被极化的导体或介质便会通过大地而发电，并产生二次场，此二次场具有反极性，即所谓的感应极化。

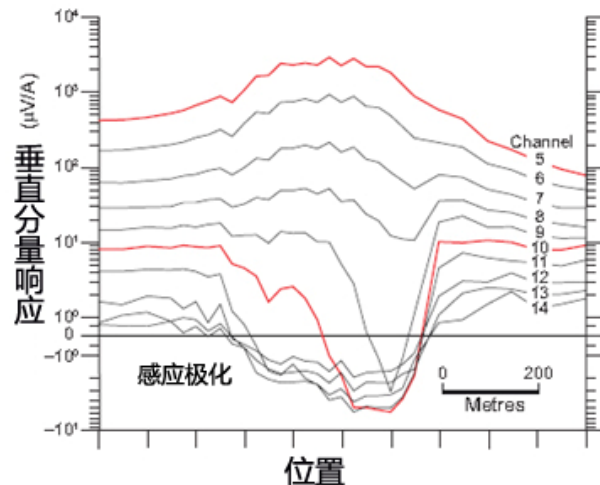


图 26

4. 探测块状硫化物矿床实例

下面给出的四个实例分别是在澳大利亚和加拿大利用瞬变电磁法探测金属矿的瞬变电磁响应断面图和钻孔验证的地质解释断面。

图 27 表示瞬变电磁法在探测四个块状硫化物矿床的应用实例。图 27a 是对澳大利亚 Queensland IDCg 矿床的瞬变电磁法探测剖面。IDCG 是金—铜矿，赋存在角砾火山岩之中，上覆 45m 厚的导电沉积层。应用方形重叠装置，边长 100m，记录 dB/dt 。图中表明，强幅度的局部响应 (A) 是矿化角砾岩产生的，异常特点类似于浅部的倾斜板状体 (图 23)。

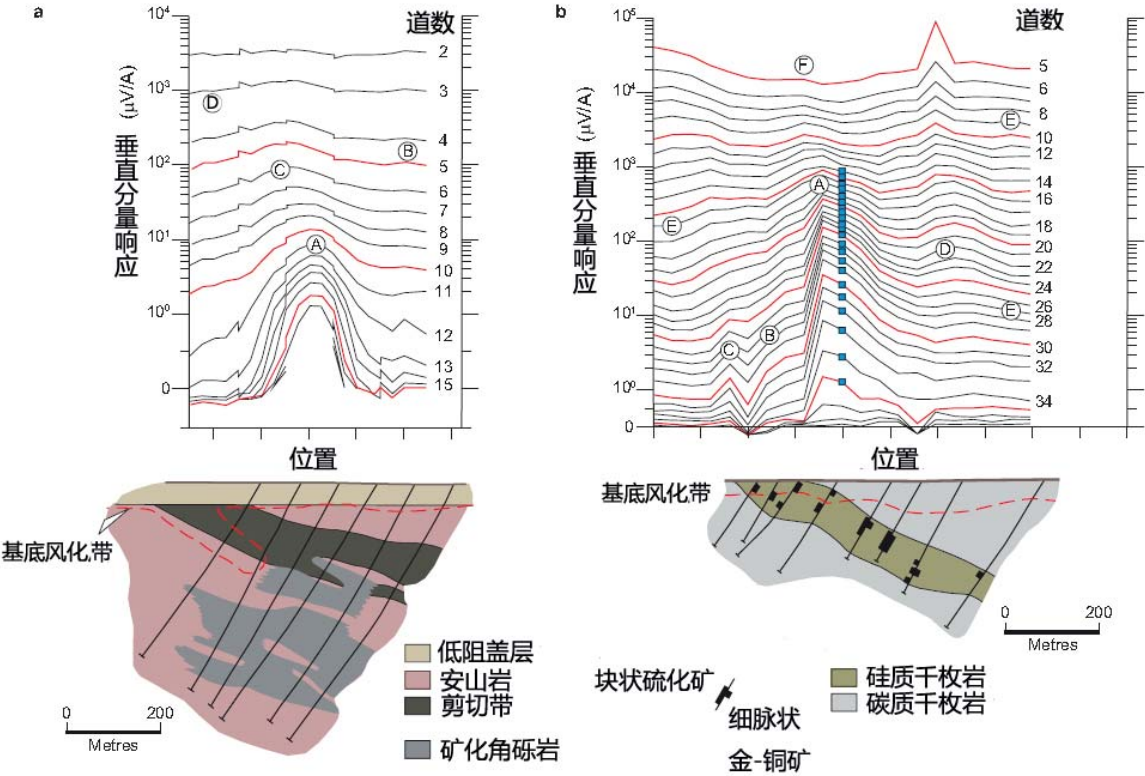
浅部导电沉积层的响应 D 在早期是高强度的、平坦的。次高强度的，宽缓的瞬变响应 (B) 是导电的剪切带引起的，该响应可延伸至第 11 道，形成主异常体 (C)。在主异常体左侧出现的、微幅度峰值异常是基底风化带的反映。

图 27b 是西澳大利亚 Trilogy 矿的瞬变响应和地质断面图。Trilogy 矿是多金属矿床，由产于硅质和千枚岩/板岩之中的亚块状和细脉状矿脉所组成。应用的是重叠装置 80m×80m 方形线圈， dB/dt 观测。一直延续到晚期的，宽缓的瞬变响应 (A) 是由亚块状和细脉状硫化物矿体产生的。响应 (A) 的幅值在断面右方升高后再缓慢消失，表示该矿体向右倾。左边弱的晚期响应 (B) 和 (C) 可能是该矿体的浅部所产生的 (因为矿体的 τ 值大，所以在晚期仍有响应)。响应宽度随延迟时间而增加，最终消失的异常 (D) 应该是浅部基底低阻风化带产生的。低阻风化层，也可能包括千枚岩 (半空间) 控制了响应 (E)。在断面中部早期出现的下降响应 (F) 可能与风化层中的高阻硅质千枚岩有关。

图 27c 是澳大利亚 Queensland 地区 Eloise SEDEX 金—铜矿的瞬变场断面图和地质解释结果。该矿是块状和网脉状金—铜矿，形态为陡倾角板状体，矿体位于古生代褶皱带之内，区内有 50-70m 厚的低阻沉积盖层，观测 dB/dt 。可见晚期响应 (A) 是陡倾角高导矿体产生的。在早期阶段的低阻盖层响应 (B) 向断面右方下降，与低阻盖层向右减薄有关；响应 (B) 是深部导体的响应 (A) 向右偏移的结果 (因为是大定源装置，所以陡倾角高导体响应振幅的最低值应出现在高导体顶部)。

图 27d 是加拿大魁北克地区 Tripod 块状镍硫化矿床的瞬变场断面图和解释结果。在该

矿区即观测了磁场 B ，也观测了 dB/dt 。矿体位于高导的超铁镁质岩之中，这种高导目标体导致其中的感应涡流衰减缓慢，因此发射的基本频率要低（5Hz 和 1.67Hz）。利用中心回线装置，上图磁场 B 的响应（A）延续到最晚期，而 dB/dt 的响应（A）在晚期显著的减弱了。响应的非对称性表明目标体是倾斜的。这里没有浅部低阻薄层，围岩产生的响应导致目标体响应出现畸变。



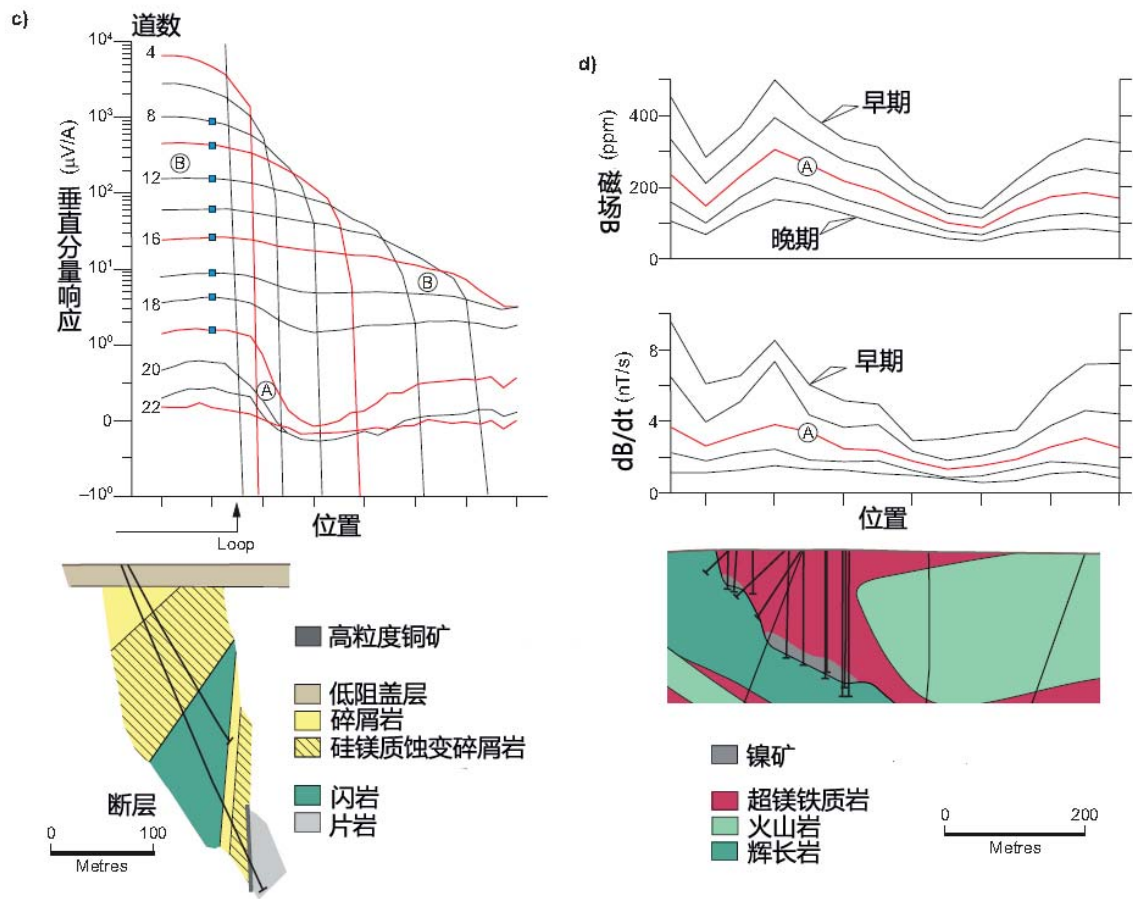


图 27 四个金属矿床的探测实例：(a) IOCG 矿床，(b) Trilogy VMS 矿床，(c) Eloise SEDEX 矿床，(d) Tripod 镍硫矿床

从图 27 可见，利用磁场接收器记录的矿体所产生瞬变磁场响应 (B) 持续的时间长，在晚期仍比较明显，用感应线圈记录的磁场变化率 dB/dt 能较明显地反映矿体形态的局部变化。这是因为该矿床的常数 τ 大，所以其产生瞬变磁场 B 衰减的慢，频率低；而 dB/dt 记录的是磁场变化率，而矿体形态的局部变化可导致 dB/dt 的较明显改变。