

张量可控源 TCSMT 和标量可控源 CSAMT 观测结果对比

1.视电阻率和阻抗相位曲线对比分析

云南省遮放地区曾做过标量可控源法（CSAMT）测量，为了两者对比 TCSMT 测点选在 CSAMT 测点的相同位置上。两个方法的收发距均为 6km。

为了提高工作效率，在此次调查中张量可控源法采用了交替偶极发射装置，该装置分别向两对相互垂直的电偶极子发射电流，产生两组不同极化方向的磁场信号，根据公式（5）和（6）可以求取四种张量阻抗要素值，对其旋转后解出主轴方向上的 TE 模式和 TM 模式下的视电阻率曲线 ρ_{xy} ， ρ_{yx} 和视电阻率曲线 ϕ_{xy} ， ϕ_{yx} 。

在此我们仅选择两个相同测点上的张量 TCSMT 曲线和标量 CSAMT 曲线进行对比分析。

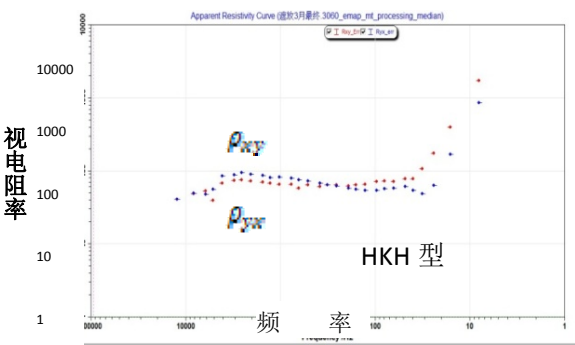


图 25a 3060 测点的张量 TCSMT 视电阻率曲线

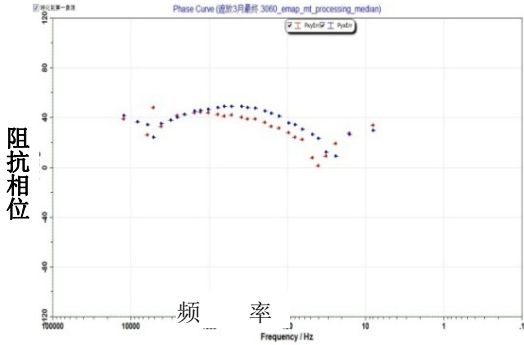


图 25b 3060 测点的张量 TCSMT 阻抗相位曲线

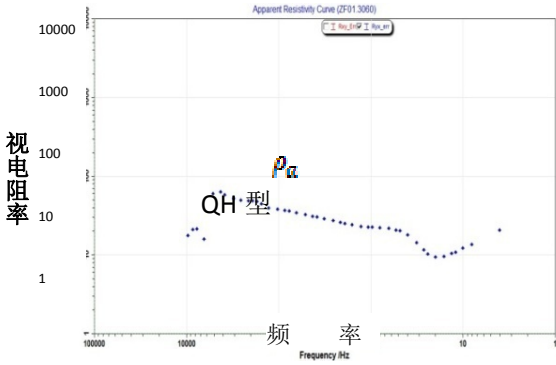


图 26a 3060 测点的标量 CSAMT 视电阻率曲线

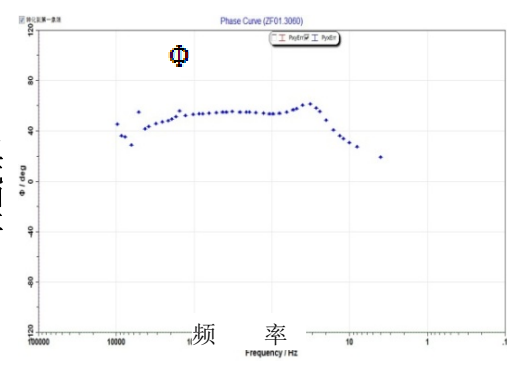


图 26b 3060 测点的标量 CSAMT 阻抗相位曲线

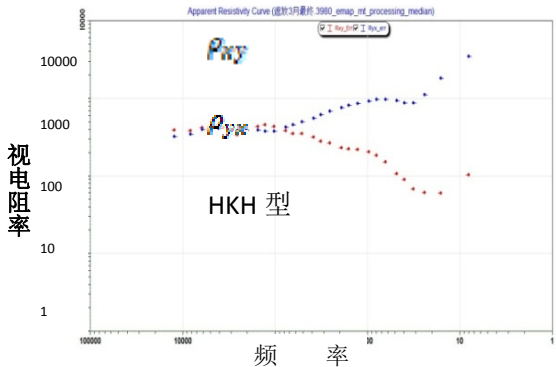


图 27a 3980 测点张量 TCSMT 视电阻率曲线

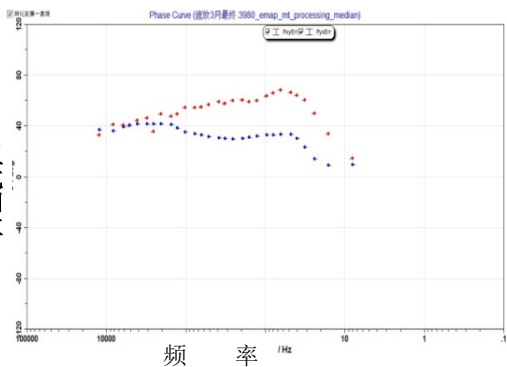


图 27b 3980 测点的张量 TCSMT 阻抗相位曲线

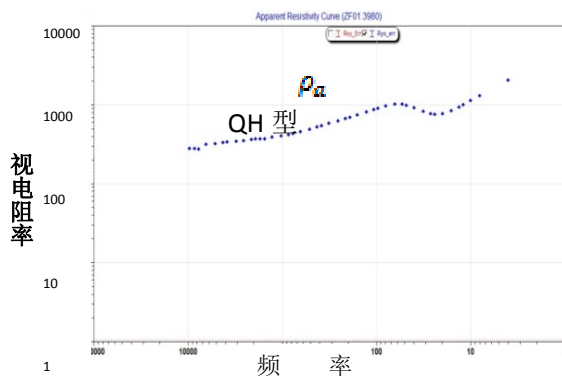


图 28a 3980 测点的标量 CSAMT 视电阻率曲线

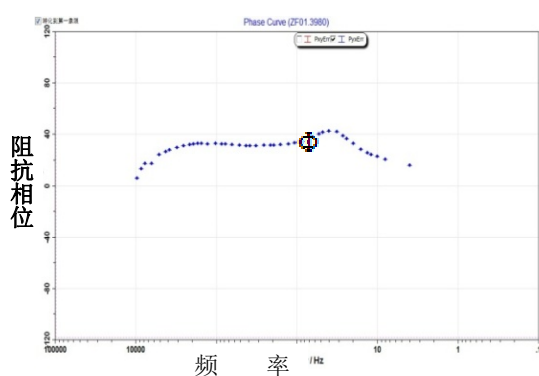


图 28b 3980 测点的标量 CSAMT 相位曲线

测点 3060 位于盆地边缘，图 25a 是 3060 测点上的张量 TCSMT 视电阻率曲线，可见从 15000Hz—30Hz 曲线非常圆滑，观测误差很小，30Hz 以下进入进场区，曲线呈 45°上升。TE 模式的视电阻率曲线 ρ_{xy} 为 HKH 型，TM 模式视电阻率曲线 ρ_{yx} 也是 HKH 型，但两者在低频段出现的极小值频率有明显差异，说明地下构造在深处是非一维的。 ρ_{xy} 曲线和 ρ_{yx} 曲线沿纵坐标轴有偏移值，可能是表层非均匀体引起的静位移。图 25b 的张量阻抗相位曲线与视电阻率曲线有类似特征。

图 26a 是 3060 测点上的 CSAMT 视电阻率曲线 ρ_a ，可见从 5000-30Hz 曲线非常圆滑，观测误差很小，30Hz 以下进入近场区，曲线急速下降。标量视电阻率曲线 ρ_a 为 QH 型，曲线特征与张量视电阻率曲线有显著差异，它不同于 ρ_{xy} ，也不同于 ρ_{yx} 曲线。图 26b 的标量阻抗相位曲线与标量视电阻率曲线有类似特征。

测点 3980 已进入山区，图 27a 是 3980 测点上的张量 TCSMT 视电阻率曲线，从 15000Hz—30Hz 曲线非常圆滑，观测误差很小，30Hz 以下进入近场区，曲线呈 45°上升。TE 模式视电阻率曲线 ρ_{xy} 为 HKH 型，TM 模式的视电阻率曲线随频率降低急剧下降，与 ρ_{xy} 明显分开，表明在深处地质构造是二维或是三维的。图 27b 的张量阻抗相位曲线有类似特征。

图 28a 是 3980 测点的标量 CSAMT 视电阻率曲线 ρ_a ，在 10000Hz—30Hz 曲线非常圆滑，观测误差很小，30Hz 以下进入近场区。标量视电阻率曲线 ρ_a 为 AH 型，曲线特征与图 26a 的两条张量视电阻率曲线均有明显差异。图 28b 的标量阻抗相位曲线与标量视电阻率曲线有类似特征。从上述可见：

- 1) 无论是张量可控源法（TCSMT）还是标量可控源法（CSAMT）都能获得高质量的观测数据，这是因为可控源电磁法是人工发射场源，场源强度大，电磁信号强，能有效地压制人文电磁噪声干扰。
- 2) 张量可控源的分辨率高于标量可控源的分辨率，例如 3060 测点上的 ρ_{xy} 和 ρ_{yx} 视电阻率曲线为 HKH 型，而标量视电阻率曲线为 QH 型；3980 测点上的 ρ_{xy} 视电阻率曲线为 HKH 型，而标量视电阻率曲线 ρ_a 为 AH 型。这是因为在二维介质中的电磁场不仅沿深度 Z 变化，而且也沿倾向 X 方向变化，而在用标量方式进行观测时忽略了电磁场 Z 分量（Hz 和 Ez）沿 X 方向变化所引起的电磁感应，所以它无法清晰分辨二维介质中的分层。
- 3) 张量可控源的视电阻率和阻抗相位曲线客观地反映了地下构造特征，例如 3060 测点位于盆地边缘，有一定厚度的低阻沉积层覆盖，所以张量视电阻率曲线的高频段视电阻率值显著降低至 40 欧姆.米以下（图 25a）；相反，标量视电阻率曲线 ρ_a 在高频段呈上升趋势，其视电阻率左技渐进线趋近于 100 欧姆.米，这显然与低阻层覆盖区不符。

3980 测点已进入山区，测点附近有基岩出露，有转薄的风化层，张量视电阻率曲线高频段呈 HKH 型，左技渐进线趋于 300 欧姆.米，在低频段 ρ_{xy} 和 ρ_{yx} 显著分开，这些特点反应

了表层是相对低阻的风化层，下伏高阻基底，在更深处有低阻层存在。而标量视电阻率曲线 ρ_a 从高频—低频呈线性上升，反映不出风化层的存在。

测点 3060 和测点 3980 相距 900m，属于同一构造单元，只是前者浅部有较厚低阻沉积层，后者浅部是相对低阻的风化层。两个测点的张量视电阻率曲线均为 HKH 型，但前者视电阻率曲线值明显低于后者，这些特点反应了两个测点的地质情况。但两个测点的标量视电阻率曲线类型和特征截然不同，一个为 QH 型，视电阻率值随频率降低而快速下降，一个为 AH 型视电阻率值随频率降低而快速上升，不能反应两个测点的情况。

2. 探测结果与已知地质资料的对比分析

1) 某矿区沉积变质铁矿张量与标量探测结果对比

该矿区属沉积变质型铁矿，主要工业矿体多分布在变粒岩及片岩向大理岩过度的部位。矿体呈南北向延伸，多呈似层状、透镜状，矿体单层厚度数米~数十米，单孔见矿最大厚度为 97 米。

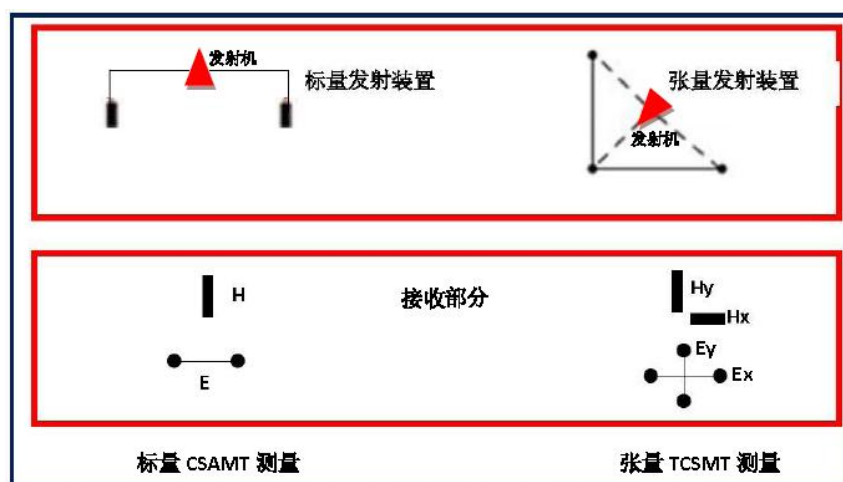


图 29 标量可控源（左）和张量可控源（右）野外布置示意图

为查明该区矿体分布，安徽省地球物理地球化学勘查技术院早期进行过标量 CSAMT 勘探，2012 年又进行了张量 TCSMT 勘探，野外布置图如图 29 所示，收发距 10km。CSAMT 只能观测互为垂直的磁场分量 H 和电场分量 E，TCSMT 必须观测磁场分量 Hx，Hy 和电场分量 Ex，Ey 四个分量。

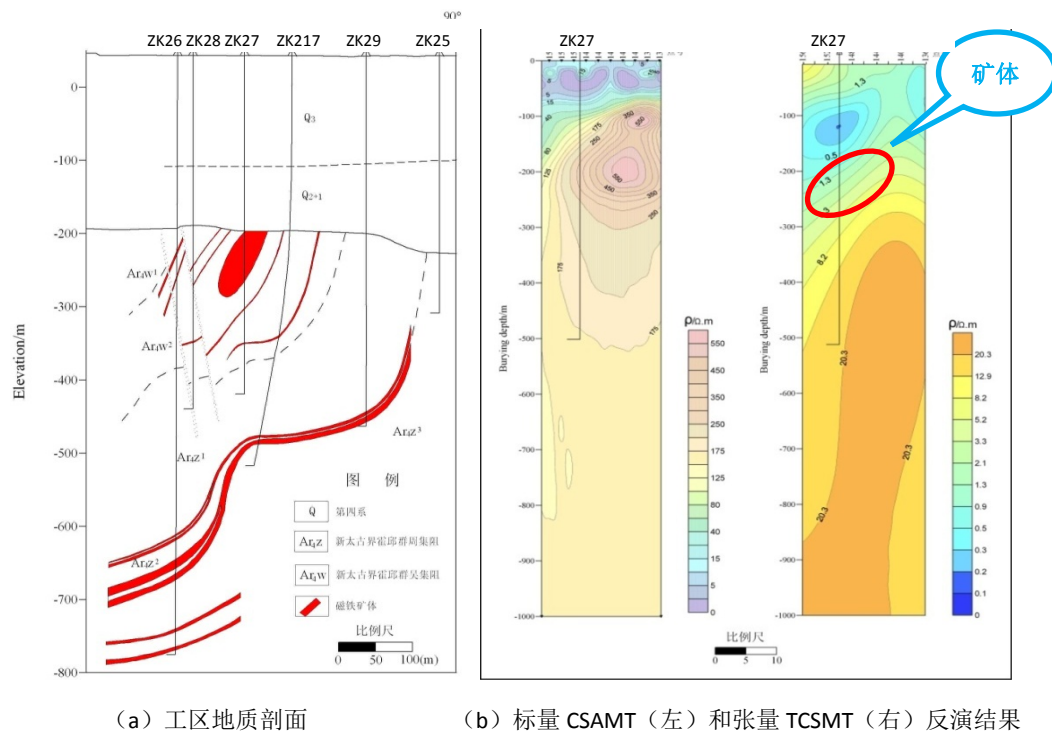
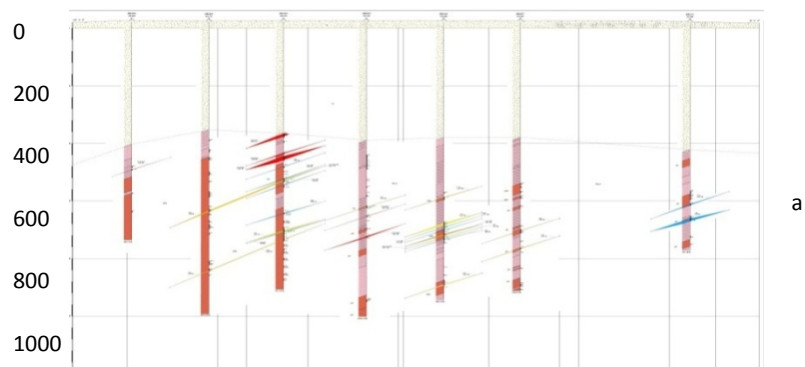


图 30 标量 CSAMT 和张量 TCSMT 测量反演结果对比

图 30a 是根据钻孔资料编制的工区地质剖面图，地表至—200m 深是第四系粘土层，下伏太右界变质岩系。浅部厚度较大的透镜状铁矿（红色）埋藏在变质基岩面上，深部呈弓形展布厚度薄，延伸大的铁矿（红色）分布在变质岩系内部。厚度较大的透镜状矿体在反演剖面上位于高低阻过渡带上，这是因为上覆第四系粘土层孔隙率大，充水后电阻率非常低，仅为几欧姆米至十几欧姆米；而下伏的变质岩系是高阻层，进入该层后电阻率迅速升高，矿体虽然具有低阻特征但由于相对厚度小，通常不会在电性上表现出明显低阻特征；然而矿体正好位于高低阻过度带上即电阻率梯度带。张量可控源反演结果中(右图)的电阻率梯度带（红色圆圈定部分）和钻孔 ZK27 揭露的矿体位置具有很好的对应性；呈弓形展布的深部矿带与高阻分界面比较吻合，该分界面可能是变质岩的岩相分界面；整体反演结果所显示的电性结构特征与工区地质剖面基本一致。标量可控源反演结果（左图）梯度带深度在 100 米左右，与钻孔揭露的矿体埋深有很大差异，而整体反演结果与工区地质剖面图很不一致，甚至高阻和低阻分界面都不吻合，这主要因为本区是复杂的二维—三维构造，而标量可控源仅适合探测一维构造。

2) 某地区热液型多金属矿张量与标量探测结果对比



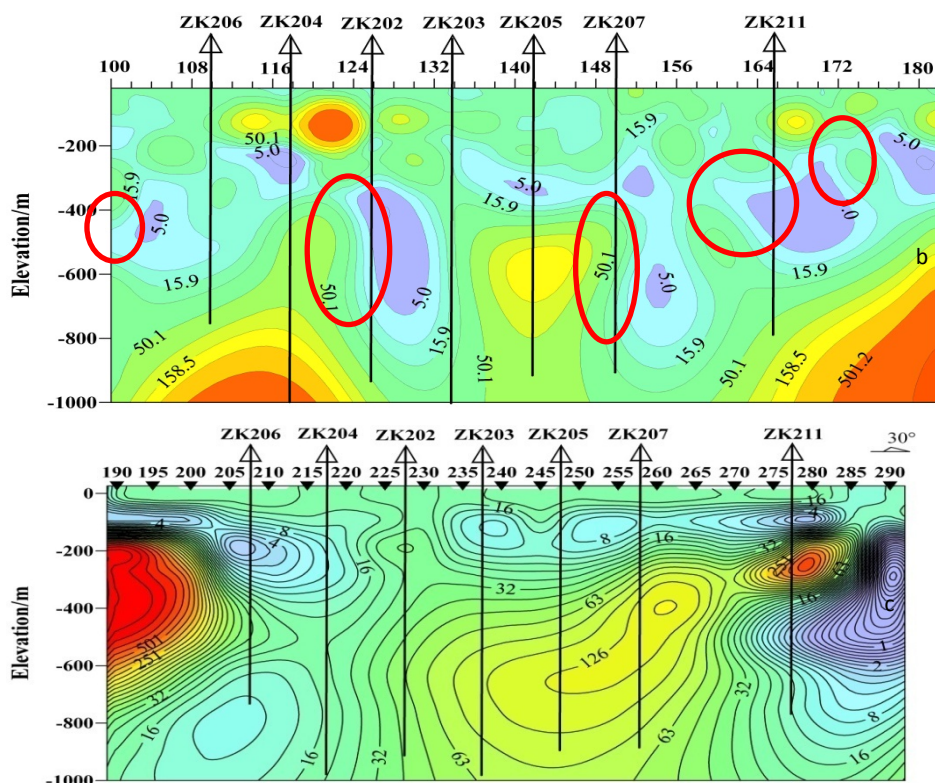


图 31 标量和张量 CSAMT 反演结果对比图

A 工区矿脉分布图, b 张量可控源反演结果, c 标量可控源反演结果

安徽省地球物理地球化学勘查技术院早期在该矿进行过标量可控源勘探, 2012 年又进行了张量可控源勘探。图 31a 是根据钻孔资料编制的工区矿脉分布图, ZK202 孔钻于多条矿脉, 矿脉分布在 400 米至 600 米深度, ZK211 孔在 600 米深度附近见矿脉分布。图 31b 是张量可控源反演结果, 可见图中有五个电阻率仅有 5 欧姆米的低阻体, 其中被钻孔 ZK202 和 ZK211 穿透的低阻体是多条金属矿脉的总体响应。根据从已知推未知的原则, 其它三个低阻体也应该是多条矿脉的总体响应 (图中红色圈定区域)。然而标量可控源反演结果图 31c 则完全不同, 与工区矿脉分布图没有对应关系。该热液型多金属矿区地质构造复杂, 横向和纵向上岩性变化快, 属二维或三维地质结构。只适合探测一维地质构造的标量可控源法 CSAMT 无法取得客观结果。

根据上述的张量可控源观测结果、AMT 观测结果, 标量可控源观测结果的分析 and 相互对比可做如下结论:

- 1) 张量可控源电磁法的观测结果精度最高, 能够有效压制人文电磁噪声干扰, 能够有效解决 AMT 法在天然场源“死区”不能工作的问题, 能够清晰地显示地下电性结构的微小变化, 二维反演结果与实际地质情况比较一致。勘探深度一般可达 3000m 以上。所获得的视电阻率和相位曲线与不受干扰的 AMT 法一致。
- 2) 在上述三个对比区仅记录 20 分钟的 AMT 数据, 时间很短, AMT 获得的视电阻率和相位曲线不太规则, 误差较大而且在 1-3000Hz 和 1-10Hz 左右曲线严重歪曲, 原因是三个对比区的测点分别位于高压线附近 (遮挡), 市区 (兴城) 和矿山附近 (明水乡), 人文电磁噪声干扰大, 另一个原因是在天然电磁场“死区”场强活动信号水平往往很低, 如果

延长记录时间或者测区没有人文电磁噪声 **AMT** 的观测误差会很小。但在上述对比区 **AMT** 获得的视电阻率和相位曲线在形态上和幅值上与张量可控源获得的视电阻率和相位曲线是一致的，这表明 **AMT** 法和张量可控源法两者是兼容的。张量可控源设备中的接收系统也是标准的 **AMT** 仪和 **MT** 仪。

- 3) 标量可控源电磁法 (**CSAMT**) 观测精度也高，也能有效压制人文电磁噪声干扰，有效解决“死区”问题，但它不能识别二维或三维的地下地质构造，在构造复杂地区的反演结果与实际地质情况不符。