

高密度电法中的“异常扩展效应”及归位计算方法

冯兵¹,张兴安²,李有青¹

(1. 长安大学,陕西 西安 710054; 2. 陕西省水电设计院地质勘查总队,陕西 西安 710000)

摘 要: 对高密度电法勘探的异常扩展效应问题进行了较深入的分析;提出了利用相关分析进行归位计算的方法。通过对球体及板状体的 Pole-Pole、Wenner-alpha 装置的异常归位计算,表明该方法对复杂异常的解释具有效果。

关键词: 高密度电法;异常扩展效应;相关分析;归位方法

中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2004)04-0349-03

在高密度电法资料的解释中,人们注意到地下地质体的大小与其所形成的异常范围差别较大,当极距增大时,异常范围按一定的方向在扩展。为了更好地进行异常解释,有必要研究其规律性及处理方法。随着高密度电法被广泛应用于工程、环境、资源等勘查领域,这种方法增加了极距的密度(线性增加),减小了点距,信息量增加,在一定程度上突出了异常的扩展效应,其图像特征似绕射现象。

1 异常扩展效应的表现

异常放大效应在视电阻率剖面曲线上有明显的表现。图 1a 是二极装置下低阻球体的理论正演曲线,当极距 $R = 2\text{ m}$ 时,异常的宽度远大于实际地质体的大小;当极距 $R = 10\text{ m}$ 时,地质体两侧的异常大且远离地质体,异常向两侧扩展,表现为随着极距的增大,异常的范围在变宽。

图 1b 是二极装置下低阻球体的测深曲线。其中,低阻球体的位置在 25 号测点的正下方。把各点测深曲线中的极小值连接,在图上明显可以看出,高

密度电法勘探中的异常放大效应与地震勘探中的绕射现象有一些共同的表现形式:双曲线。称这种异常扩展现象为高密度电法中的异常“绕射”现象。在等值线图中,异常“绕射”现象也相当明显。

图 1c 是四极装置(Wenner-alpha 装置)下低阻板状体 ρ_s 等值线。低阻板状体的异常表现为在板状体的顶部和底部的 4 个角产生 4 个异常扩展的分支,相当于出现了 2 个异常点“绕射”现象,使异常表现比较复杂,非常不利于高密度电法解释工作。

2 归位计算方法原理

2.1 相关分析方法

作者探讨了用相关分析的方法进行归位计算。考虑一个线性系统,其脉冲响应为 $h(t)$, 谱函数为 $H(\omega)$, 输入 $x(t)$ 的谱 $X(\omega)$, 则输出 $g(t)$ 为:

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau,$$
$$G(\omega) = H(\omega) X(\omega)。$$

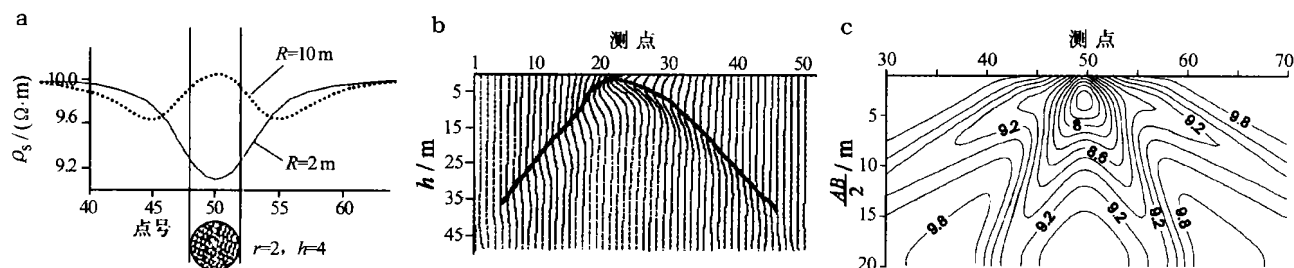


图 1 低阻体的异常扩展效应

a—二极装置下低阻球体的剖面曲线;b—二极装置下低阻球体的测深曲线;c—四极装置下低阻板状体的等值线

现在考虑 $x(t)$ 和 $h(t)$ 的互相关, 则有

$$R_{hx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) x(t + \tau) dt,$$

$$S_{hx}(\omega) = X(\omega) \cdot H(\omega)。$$

比较以上两式可以发现, 任意输入 $x(t)$ 与任意函数 $h(t)$ 的互相关等价于 $x(t)$ 通过一个滤波器, 该滤波器的振幅响应等于 $h(t)$ 的振幅响应, 相位响应是 $h(t)$ 的负相位响应, 因此可以把相关看成滤波。我们知道, 实测数据是由信号和噪声组成的, 可以假定记录 $x(t)$ 是由信号 $s(t)$ 和随机噪声 $n(t)$ 两部分组成: $x(t) = s(t) + n(t)$, 噪声 $n(t)$ 的均值为零, 与 $s(t)$ 不相关。由相关定义, $x(t)$ 的自相关函数为

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) h(t + \tau) dt =$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [s(t) + n(t)] [s(t + \tau) + n(t + \tau)] dt =$$

$$R_{ss}(\tau) + R_{nn}(\tau) + R_{sn}(\tau) + R_{ns}(\tau)。$$

由于 $s(t)$ 和 $n(t)$ 不相关, 上式中后两项为零。由于 $n(t)$ 为非周期函数, 所以 $R_{nn}(\tau)$ 随 τ 的增大而减小。因而, 当 τ 在比 τ_1 大时, 有 $R_{xx}(\tau) \approx R_{ss}(\tau)$, $\tau \geq \tau_1$ 。所以, 对记录 $x(t)$ 作自相关相当于滤去噪声 $n(t)$ 。

由相关定义, 如果让 $x(t)$ 与具有同样周期的周期性信号 $v(t)$ 互相关, 则 $x(t)$ 的互相关函数为

$$R_{xv}(\tau) = R_{sv}(\tau) + R_{nv}(\tau),$$

忽略 $R_{nv}(\tau)$, 则有 $R_{xv}(\tau) \approx R_{sv}(\tau)$, 这样就可以把信号 $s(t)$ 提取出来。对记录 $x(t)$ 做互相关就相当于滤波。当信号 x_n, y_n 为能量有限信号时, x_n 与 y_n 的相关系数为

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n y_n}{\sqrt{\sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n^2 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} y_n^2}},$$

由于 x_n 与 y_n 的能量往往是确定的, 因此从上式可以看出, ρ_{xy} 的大小就由 $r_{xy} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n y_n$ 决定。我们称 r_{xy} 是 x_n 与 y_n 的未标准化的相关系数, 或简称为相关系数。

对于电法勘探中的异常扩展效应, 以测深曲线图中的表示为例, 可以认为是由多道能量组成的。在 2 个不同的测点, 或者说两道之间, 其能量 x_n 与 y_n 都是由同一地电体产生的, 由于测深点的位置不同和地电体对电流的吸引或排斥作用, 异常的表现

在两道波形 x_n 和 y_n 中出现的位置是不相同的。在这种情况下, 必须考虑多测点之间的相关性, 多测点之间存在着“位移”(AB/2), 把 y_n 延迟一定“位移”(τ) 变为 $y_{n-\tau}$, 计算 x_n 与 $y_{n-\tau}$ 的相关系数

$$r_{xy}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n y_{n-\tau},$$

当 τ 从 $-\infty$ 变到 $+\infty$ 时, $r_{xy}(\tau)$ 就是 τ 的一个函数, 称 $r_{xy}(\tau)$ 是 x_n 与 y_n 的互相关系数, 其中 τ 为 y_n 的“延迟位移”。

2.2 相关因子的选择

若用期望地质体异常表现最显著的测深曲线作为相关因子, 与实测的多道数据做相关, 观察 $r_{xy}(\tau)$ 的变化情况, 就可以了解到各道的信号与期望地质体的相关性。当与期望地质体的测深曲线具有最大正相关性时, 则说明该道产生的信号与期望地质体的信号最为接近, 极有可能是期望的地质体; 当消去相关系数阵中负值和零值的信号后, 即相当于滤去与期望地质体负相关和无关的地质信号, 从而确定地下地质体的位置和范围。

3 归位计算结果分析

图 2 是二极装置下低阻球体的理论正演等值线和归位计算结果的对比分析, 其中球体的半径为 2 m, 埋深为 4 m, 球体位于 25 号测点的下方。从图中可以看出, 球体的低阻表现, 除在 25 号点表现突出外, 还分别向下、向两侧延伸到 20 m 和 10、40 号点附近, 异常的扩展相当明显。经过归位计算后, 如图 2 下图, 异常的两翼得到很好的归位, 将其缩减到 22 ~ 27 号测点之间, 并且还消除了由装置类型(二极)产生的附带高阻异常。对比上下图可以发现, 归位计算后的异常相关表示, 能够更好地说明异常的范围和实际地质体的地球物理特征。

图 3 是 Wanner-alpha 装置下地下赋存 2 个低阻板状体时的结果对比, 板状体的埋深为 2 ~ 3 m。图 3a 中 2 个板状体相距较远, 分别位于 40 号和 60 号测点, 可以看出, 两地质体的异常表现形态大致相同, 在两板状体之间有比较微弱的叠加异常出现, 每个地质体的异常的“绕射”现象都比较明显。观察经归位计算后的异常, 在 40 号和 60 号测点附近存在异常, 但扩展的异常消失, 并且滤去由于地质体之间相互干扰造成的假异常。图 3b 的 2 个地质体分别位于 45 号和 55 号测点, 除表现出各地质体的“绕射”异常外, 在 2 个板状体之间的叠加异常也相当

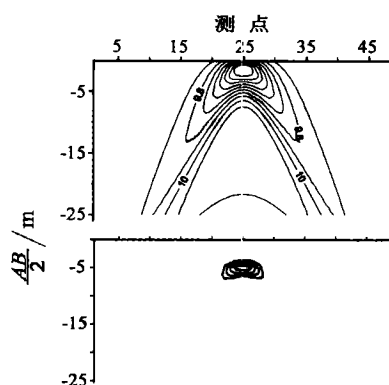


图2 低阻球体的理论正演归位计算结果对比

明显;经归位计算后,2个板状体异常的两翼得到归位,两地质体之间的叠加异常也得到了明显的削弱,降低了异常表现的复杂度,从而更好地表现出地电体的空间分布特征。

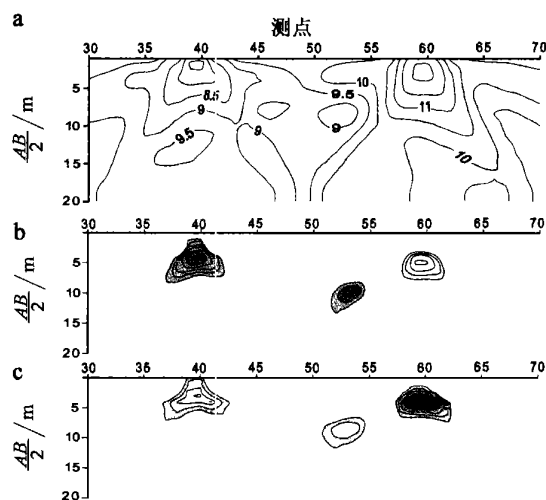


图4 低阻、高阻板状体的计算结果对比

图4是在Wanner-alpha装置下,2个电性不同的板状体的计算结果对比,其中低阻体位于40点附近,高阻体位于60点附近。图4a是等值线,图4b是以低阻板状体上方40测点的测深曲线作相关因子,做归位计算后的异常相关结果,图4c是以60点上的测深曲线作相关因子,计算后所取得的结果。可以看出,图4b以低阻板状体作相关因子计算时,低阻体表现最大正相关性,而高阻体则表现为最大的负相关性;当以低阻体的测深曲线作相关因子时,两地质体之间的叠加异常没有完全被滤去,只是有一定程度的削弱,表现为正相关;而在图4c中,它们之间的叠加异常表现为负相关。

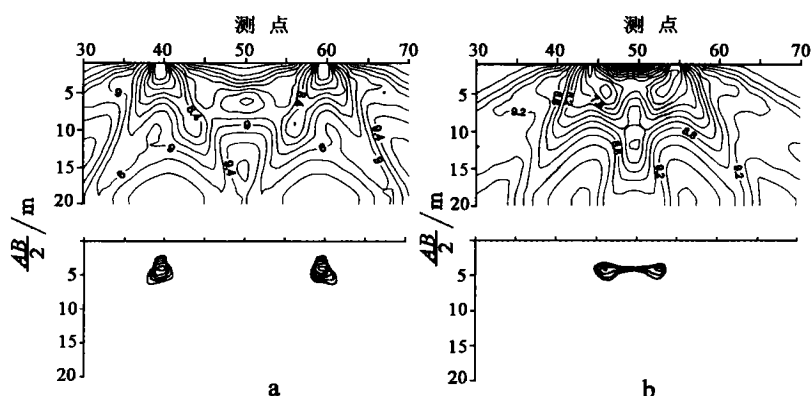


图3 四极装置下2个低阻板体的理论正演归位计算结果对比

4 结论

通过以上讨论,我们认为,用相关分析的方法进行异常“绕射”现象的归位计算,对复杂异常的解释具有重要意义。

(1)对于单一对称性地质体,无论是低阻还是高阻,都可以在归位计算后确定目标体空间位置。

(2)当地下有2个同为低阻的地质体时,经相关分析后,能够使绕射的异常得到归位,并消除或削弱各地质体的扩展异常产生的相互叠加干扰的现象;对于埋深不同的地电体,采用相关分析的方法进行归位计算也取得了一定的效果。

(3)存在2个电性不同的地质体时,取不同地质体的最大异常测点的测深曲线作为相关因子,在该地质体上表现为最大的正相关性,而在另一地质体上表现为最大的负相关性。这能帮助我们推断出该地质体与期望地质体电性之间的关系,从而达到解决地质问题的目的。

参考文献:

- [1] Loke M H. Electrical imaging surveys for environment and engineering studies[EB/OL]. <http://www.agiusa.com>, 2000, 2.
- [1] 董敏煜. 地震勘探[M]. 北京:石油大学出版社, 2000.
- [2] 傅良魁. 应用地球物理教程——电法 放射性 地热[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [3] 程乾生. 信号数字处理的数学原理[M]. 北京:石油工业出版社, 1979.
- [4] 邓治真. 数字信号处理基础[M]. 北京:地震出版社, 1988.
- [5] 潘锦平, 施小英, 姚天. 软件系统开发技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1997.
- [6] 黄德济, 包吉山. 地震勘探资料数字处理[M]. 北京:地震出版社, 1990.
- [7] 李祺. 物探数值方法导论[M]. 北京:地质出版社, 1997.

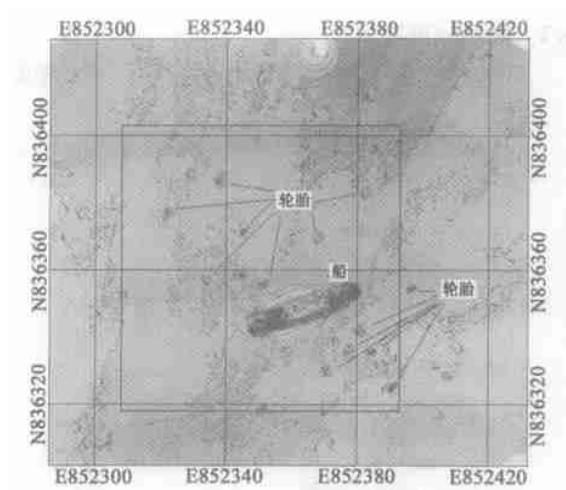


图3 TCY-10 目标测区海底地形勘察结果

4 结论

多波束测深是一项高新技术,安装、标定、测线设计、野外施工、数据处理每一个环节的工作都必须科学、严谨的进行,才能尽可能少地引入误差,取得真实可靠的高精度水深数据,最大程度地发挥多波束系统的效能。

通过上述工程实例表明,多波束测深技术具有精确、高效、快速的特点,必将在海洋基础调查、海洋工程勘察的各个领域得到更为广泛的应用。

参考文献:

- [1] 李家彪.多波束测深原理技术与方法[M].北京:海洋出版社,1999.

THE APPLICATION OF MULTIBEAM SOUNDING TO MARINE ENGINEERING EXPLORATION

LI Wen-jie, HU Ping, XIAO Du, LIU Chun-lei

(Exploration Geophysics Open Laboratory of Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CAGS, Langfang 065000, China)

Abstract: This paper sums up in brief the basic principle of multibeam sounding technique and, exemplified by some typical marine exploration cases, describes the application of this technique to such fields as marine environmental exploration and fill-in-the-sea engineering in Hong Kong. Some practical experience gained in applying this technique to engineering is also given in this paper.

Key words: multibeam sounding; multibeam calibration; acoustic velocity profile correction; tide level correction

作者简介: 李文杰(1971-),男,高级工程师,1993年毕业于长春地质学院地质仪器系地质仪器与测量技术专业。现供职于中国地质科学院地球物理地球化学勘探研究所,从事物探仪器研发工作。

上接 351 页

THE “ANOMALY SPREADING EFFECT” IN HIGH DENSITY ELECTRIC METHOD AND THE TECHNIQUE FOR RETURN-TO-THE-ORIGINAL-POSITION CALCULATION

FENG Bing¹, ZHANG Xin-gan², LI You-qing¹

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Geological Exploration Party, Shaanxi Water and Electric Designing Institute, Xi'an 710000, China)

Abstract: This paper has discussed and analyzed the anomaly spreading phenomena in high density electric survey, and put forward the return-to-the-original-position method by means of correlation analysis. The calculation indicates that the return-to-the-original-position method is of great significance in the interpretation of complex anomalies, as evidenced by the application of the return-to-the-original-position method to sphere and plate on Pole-Pole and Wenner-alpha arrays.

Key words: high density electric method; anomaly spreading effect; correlation analysis; the return-to-the-original-position method

作者简介: 冯兵(1962-),男,长安大学地球探测系副教授,发表论文十余篇,获二等奖2项。