

电磁测深中视电阻率假异常现象分析^①

苏 发 汤井田 何继善 温佩琳

(中南工业大学地质系,长沙 410083)

摘 要 通过电磁场在导电介质中的性质及三层 K 型断面与二层 D 型断面视电阻率曲线的对比分析,探讨了假异常现象产生的物理机制,为正确识别真假异常及地电断面的解释作了有意义的工作。

关键词 视电阻率 假异常 测深曲线 电磁感应

电磁测深是一种利用电磁感应原理,通过研究电磁场的空间和时间分布规律来达到探测地下电性分布特征的方法。实际测量中,视电阻率曲线总会存在一些假异常现象。而假异常问题又一直是电磁测深领域一个棘手的问题,它直接影响到电磁测量结论的解释。能否正确认识真假异常是实际测深工作能否顺利进行的一个关键,同时也关系到测深工作的成败。因此,分析假异常出现的物理机制,从本质上了解假异常存在的原因显得尤为重要。本文从三层 K 型断面和二层 D 型断面的两组视电阻率测深曲线的对比入手,分析产生假异常的物理背景,找出产生假异常的物理机制。

1 视电阻率

本文以层状大地近区场为讨论对象,采用近区组合波频域电磁测深理论中视电阻率的表示式^[1]:

$$\rho_s = \mu_0 \omega_1 \left[\frac{\sqrt{2} I a^2 (1 - \sqrt{A})}{30 \Delta Q H z} \right]^{2/3}$$

其中 $A = \omega_2 / \omega_1$

$$\Delta Q H z = Q H z(\omega_1) - \frac{\omega_1}{\omega_2} Q H z(\omega_2)$$

为层状大地表面上半径为 a 的载流线圈在大地表面任意点对应于不同频率 ω_1 和 ω_2 的磁场垂直分量正交部分的频差值。 $Q H z$ 由下式给

出^[1]:

$$Q H z = \frac{I a}{2} \int_0^{\infty} m Q R_0(m) J_1(m a) J_0(m r) d m$$

其中 $R_0(m)$ 为层状大地的层状因子。对于不同的地电模型,利用分段 Simpson 近似积分法^[1]就可得到不同地电断面的视电阻率曲线。

2 场及测深曲线分析

2.1 场分析

电磁测深主要是借助于导电介质的电磁感应现象来达到探测地下不均匀性的目的。因高导介质对电磁波的反映比较灵敏,故电磁测深曲线对低阻层的反映较好。低阻层的电性参数及几何参数的任何变化都会影响到感应场的强度,因而导致场的很大变化,进而导致视电阻率的变化。这从含低阻中间层的 H 型断面的正演曲线(图 1)可明显地看出。

图 1 是三层 H 型断面在 ρ_2 变化下的视电阻率曲线。由图可见,曲线对低阻层的反映比较理想。高阻介质对电磁场的反映很差,不灵敏,给出的感应场很弱。电磁能量的传播主要靠高阻层外围的低阻介质中形成的涡旋电流产生的感应作用,这时高阻层的电性参数在某一范围的变化对场量的影响很小。所以,高阻层在以感应场为主要探测手段的电磁测深中不能给出较多的地电信息。高阻介质使得电磁波在

^① 国家教委博士基金资助项目 收稿日期:1994-07-11

传播过程中一穿而过，几乎不留下痕迹。这从本文的图2可明显地看出。

图2是三层K型断面在不同 ρ_2 情况下的视电阻率曲线。从曲线知，在不改变其它参数的情况下，K型断面的视电阻率曲线与 ρ_2 的变化无关，且曲线中间隆起很不明显，这体现了电磁感应的性质。

2.2 曲线对比分析及假异常现象

在对各种地电断面视电阻率正演曲线的分析中，我们发现K型断面视电阻率曲线中存在一个有趣的现象。即当底层为良导电介质时，视电阻率曲线对中间高阻层的反映似乎较强，

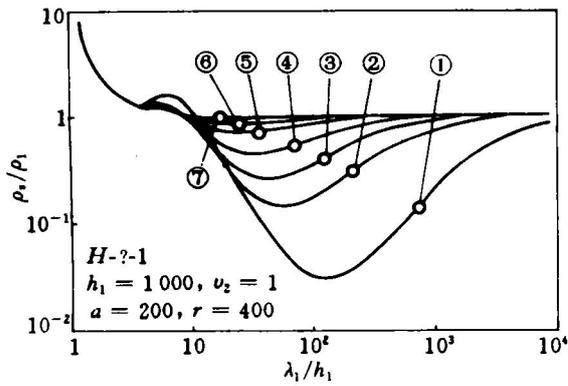


图1 三层H型断面中间层电阻率不同情况下视电阻率曲线

- ①— $\frac{1}{100}$; ②— $\frac{1}{2}$; ③— $\frac{1}{10}$; ④— $\frac{1}{5}$;
- ⑤— $\frac{2}{5}$; ⑥— $\frac{3}{5}$; ⑦— $\frac{4}{5}$

从曲线上可明显看出有中间高阻层的存在。图3(a)是K型断面在底层电阻率 ρ_3 由小到大变化的情况下的视电阻率曲线。从图中看出，底层为理想导体($\rho_3 = 0$)时的视电阻率曲线(曲线1)似乎可以正确地给出K型地电断面的变化规律；中间层似乎可以提供比较多的地电信息。但随 ρ_3 的增大，中间凸起越来越小。通过与二层D型断面不同 ρ_2 下视电阻率曲线对比不难发现，K型断面在 $\rho_3 = 0$ 情况下视电阻率曲线的中间隆起不是由于中间高阻层的反映，而是由于底层理想导电介质($\rho_3 = 0$)引发的。

图3(b)是二层D型断面在 ρ_2 由小到大变化情况下的视电阻率曲线。通过与三层K型断面的图3(a)比较不难看出，两组曲线的形态几乎一样；且图3(b)曲线的中间隆起也和图3(a)的相同。这进一步说明了K型断面视电阻

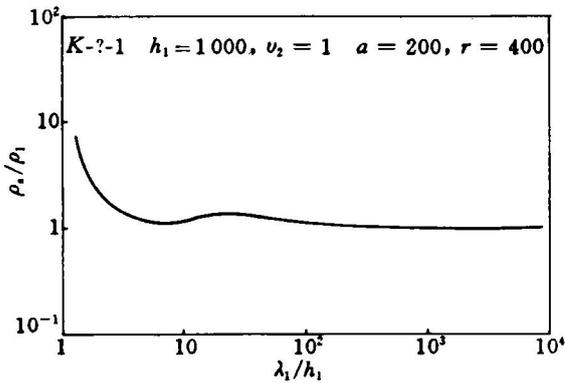


图2 三层K型断面中间层电阻率不同情况下视电阻率曲线

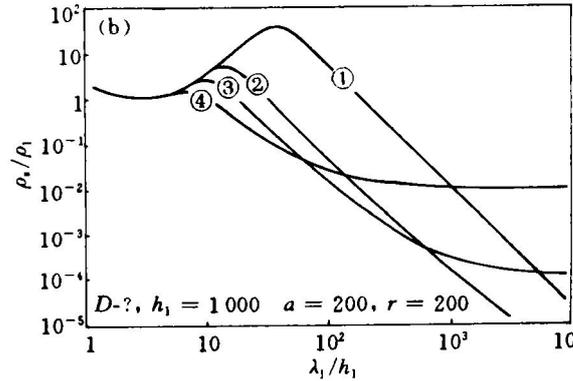
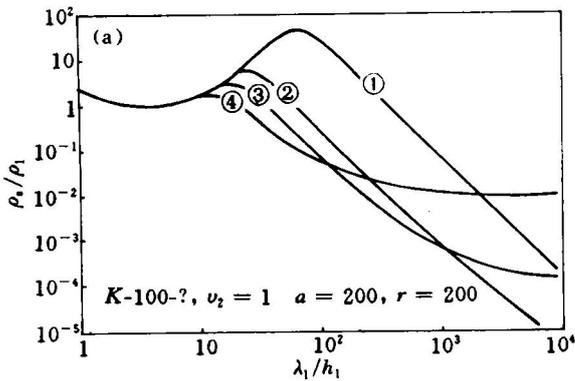


图3 三层K型(a)与二层D型(b)地电断面视电阻率对比

- (a): $\mu_3 =$ ①—0; ②— 10^{-6} ; ③— 10^{-4} ; ④— 10^{-2} ; (b): $\mu_2 =$ ①—0; ②— 10^{-6} ; ③— 10^{-4} ; ④— 10^{-2}

率曲线1中的凸起不是因为 ρ_2 为高阻造成的，而是由于底层电阻率 $\rho_3 = 0$ 而引发的。就象图3(b)的D型断面的视电阻率曲线一样，本来没有中间层的二层断面，在 ρ_2 由大到小的变化中出现了中间隆起。这显然是由于 ρ_2 很小导致的。由图可见，底层电阻率越低，中间隆起就越高；因而不难确定这是一种假异常。

再分析另一组曲线，图4是在 $\rho_3 = 0$ 情况下， $\rho_2 = \infty$ 和 ρ_2 为有限值时的K型断面的视电阻率曲线。从图中看出它们完全重合。这也说明：曲线的中间隆起不是由于 $\rho_2 \rightarrow \infty$ 引起的，且这种隆起与 ρ_2 无关；它的产生是由于 $\rho_3 = 0$ 的缘故，这是一种畸变现象。这个结论显然与认为这种中间凸起是由于 $\rho_2 \rightarrow \infty$ 造成的观点^[2] 不一样。本文认为这是一种假异常。要了解这种现象产生的原因，需从基本的电磁规律来分析。

2.3 假异常现象物理机制探讨

电磁感应是电磁测深法中的一个基本物理现象。在交变电磁场的作用下，导电介质中就会形成感应电流，从而产生二次场。电磁测深就是利用了这种物理现象来实现探测的目的。导电介质中的趋肤效应又是另一明显的物理现象，随着介质电阻率 ρ 的降低，导电介质的趋肤效应就越明显。当 ρ 很小时，由于趋肤效应感应电流只分布在导电介质表面一很薄的表层内，同时在表层还积累了大量的感应电荷。当

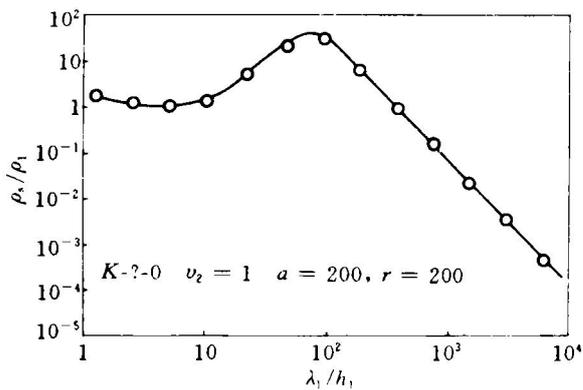


图4 三层K型断面不同 ρ_2 情况下视电阻率曲线对比
“o” ρ_2 有限；“—” $\rho_2 = \infty$

两种电阻率不同，且差异比较大的介质相交时，就会在两种介质的分界上积累过多的剩余电荷和感应电流。由于这种电阻率在界面分布的不均匀，使得电流密度在界面两侧发生突变。因而场量在两种介质的交界面处发生突变，导致视电阻率畸变。导电介质的电阻率越小，且两种相邻介质电阻率的差别越大，这种突变就越强。同时在两种介质交界面处有剩余电荷存在，导电介质的 ρ 越小，电荷面密度就越大，因而两介质界面处的电荷分布突变就越强。在电磁感应测深中，以第一种因素的影响较大。我们认为：由高阻到低阻的电流密度突变是引起视电阻率曲线畸变的主要原因。电阻率越低，两种介质电阻率差异越大，电流密度在界面的突变越强，引起曲线的畸变就越严重。随电阻率增加，场的趋肤深度增加，感应电流的分布范围扩大，从而使界面处的突变异常效应降低，导致视电阻率曲线隆起变小，这从视电阻率曲线(图3)的变化规律可明显看出。总之，介质界面处的感应电流密度及电荷密度分布突变是引起视电阻率曲线畸变的主要原因。

3 结论

通过上面的对比分析，我们认为：电磁测深中视电阻率假异常现象是低阻介质与高阻介质在界面处电流密度和电荷密度突变造成的。这结论虽是从K、D型断面视电阻率曲线的对比得到，仍不失一般性。例如图1的H型断面视电阻率曲线1的中间隆起也是假异常，同样是由于上述原因造成的。了解假异常现象的物理根源无疑对电磁测深的解释具有重要意义。

参考文献

- 1 苏 发. 中南工业大学博士学位论文, 1994.
- 2 刘国栋, 陈乐寿. 大地电磁测深研究. 北京: 地震出版社, 1984.

(编辑 何学锋)