

三维地电模型数值模拟中视电阻率真假异常特征分析

强建科^{1, 2)} 阮百尧²⁾ 熊彬¹⁾

1) 中国地质大学, 武汉, 430074; 2) 桂林工学院, 桂林, 541004

摘要 本文概要介绍了三维数值模拟中双网格系统的剖分方法, 并通过几种典型模型的有限单元法三维数值模拟计算(网格单元电导率分块均匀、电位三线性变化), 充分揭示了对称四极电阻率测深法三维地电模型视电阻率真假异常的分布规律, 分析了产生真假异常的原因, 并研究了真异常的形态与引起真异常的地质体位置的关系。

关键词 对称四极测深, 假异常, 异常圈闭, 三维数值模拟, 直流电阻率法

ISSN 文章编号: 1004-4140(2002)01- 0006-04 中图分类号: P315.3+1 文献标识码: A

The Character Analysis of True and False Approximate Resistivity Anomaly in Numerical Modeling of 3-D Geo-electrical Model

QIANG Jianke^{1,2)}, RUAN Baiyao²⁾ and XIONG Bin¹⁾

1) China University of Geosciences, Wuhan, 430074

2) Guilin Institute of Technology, Guilin, 541004

Abstract This paper presents a dissection method with the double net system in the finite element method for 3-D numerical modeling of resistivity sounding. By the computation of several typical models using 3-D FEM with homogeneous conductivity and potential interpolated with a trilinear function in each block, we gave the distribution rules of true and false approximate resistivity anomaly with symmetrical four electrodes, analyzed the cause of true and false anomaly, and studied the relation both the general shape of the true anomaly and the position of geological body which produced true anomaly.

Key words: symmetrical four electrodes resistivity sounding, false anomaly, closed anomalous circle, 3-D finite element method, DC resistivity method

1 前言

在直流电法勘探中, 对称四极测深是常用的一种装置形式, 主要用来了解目标区纵深方向电性分布情况。如果地下介质为层状或近似层状, 在地表所测得的电测深曲线, 基本反映该测深点下方地质体的电性特征, 但当地下介质为二维或三维地质体时, 有的测深曲线只揭示了地下部分电性特征, 而有的测深点曲线却丝毫没有反映出实际地电情况, 因为它的“异常信息”大多由邻近二维、三维地质体边界引起的。对这个问题, 由于过去计算手段的限制, 以往人们的认识不够充分, 以致在实际应用中只对单条曲线作定量解释后, 就认为没问题了, 其实, 电测深资料的解释还需要考虑测深点周围空间介质的影响。

傅良魁^[1]在应用地球物理教程中, 讨论了低阻球体上方的理论电测深曲线, 他认为球体正上方电测深曲线为二层曲线(解析法计算), 在旁侧为三层曲线, 但对形状更为复杂的三维模型的电测深曲线异常没作进一步分析。Pridmore^[2]、Holcombe^[3]、徐世浙^[4]等都曾作过有限单元法三维电测深的理论研究, 但由于当时计算机内存和速度的限制, 没能发展到实用的水平。阮百尧^[6]成功实现了微机上有限单元法三维地电断面的数值模拟, 从而为研究复杂形体上的电测深异常规律提供了手段。本文在此基础上, 采用双网格的方法, 实现了对称四极测深剖面测量的数值计算, 进而对各种复杂三维地质体上的电阻率异常作数值模拟, 并对异常特征作了分析, 为电测深曲线的正确解释提供了有力的依据。

2 三维数值模拟中网格剖分问题

2.1 沿测线(x)方向网格的剖分

在电阻率测深的有限单元法数值模拟中, 往往要计算同一剖面上多个测深点的电阻率

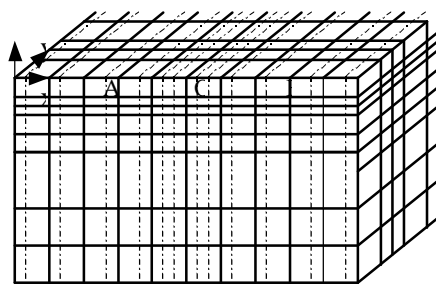
本研究内容受到国家自然科学基金项目(40064001)“激发极化法/电阻率法数据的三维正演模拟和反演成像方法”的资助。

*收稿日期:2001-11-28

测深曲线,这就要求设计有限单元网格时,既要考虑地下目标体的空间分布,又能方便正演计算。通常做法是使用一个网格系统,但在对称四极测深中,为了通过有限的极距个数达到一定的勘探深度,供电电极距常采用对数作不等间距移动,这种做法无法实现一次建网、多测点的剖面测量。

本文采用三维双网格系统来进行横向网格的剖分,用大网格反映地下电性变化和测深点的位置,小网格进行实际有限元数值计算,从而很好的解决了横向网格剖分。三维双网格系统网格剖分做法如下:如图 1 所示,实线为大网格,虚线为小网格。

大网格剖分成等间距(如 10m 或 20m),用来确定测深点的位置。大网格中各单元的电阻率(或电导率),在正演前按模型填入。大网格在横向要足够大,一般要使剖面上最边上测点的 $AB/2$ 能够覆盖到即可。



--- 三 维 — 三 维

图 1 大小网格剖分示意图

小网格主要用于有限元数值计算,横向网格可按常规对数极距分布,测点两侧对称剖分。正演计算时将小网格的中心逐个移到大网格的测深点上,然后根据大网格的电性分布自动给小网格各单元装入电阻率值,之后就可进行有限单元数值计算。

2.2 垂直测线(y)方向和深度(z)方向的网格剖分

为了使计算方便,大网格和小网格在 y 方向和 z 方向设计相同,也就是说,网格剖分在这两个方向上既可等间距变化,也可不等间距变化,主要取决于模型所定义的地质体在这两个方向上的延伸情况。

3 模型计算

3.1 低阻长方体模型

该模型沿测线方向长 20 米,垂直测线方向 10 米,向下延伸 10 米,顶部埋深 10 米,围岩电阻率 ρ_1 为 $100 \Omega \cdot m$,低阻体的电阻率 ρ_2 为 $10 \Omega \cdot m$,如图 2 中 M 为模型,点距 10 米。

图 2 为通过该模型主剖面上的视电阻率断面等值线图,在主剖面上共有 9 个测深点。从图上可以看出,视电阻率断面等值线异常以 36 号测点为中心对称分布;中间为“低阻异常”,电测深曲线类型为两层特征(D 型);两侧为“高阻异常”(假异常),电测深曲线类型为三层特征(K 型)。产生以上异常的原因是:当供电电极距很小时, ρ_s 接近 ρ_1 ;随着供电电极距增大,低阻体影响增大,使 ρ_s 小于 ρ_1 ;当 $AB/2$ 趋于无穷远时,相当于均匀场中的低阻体, ρ_s 接近 ρ_2 。当测深点位于低阻体侧方,有一供电电极接近低阻体时,将使 ρ_s 减小,而越过低阻体之后 ρ_s 又升高。

3.2 倾斜高阻板模型

该模型沿测线方向长 5 米,垂直测线方向 10 米,向下延伸 10 米,顶部埋深 5 米,倾斜方向如图 3 中 M 模型所示,围岩电阻率 $\rho_1=50 \Omega \cdot m$,高阻体的电阻率 $\rho_2=500 \Omega \cdot m$,点距 5 米。

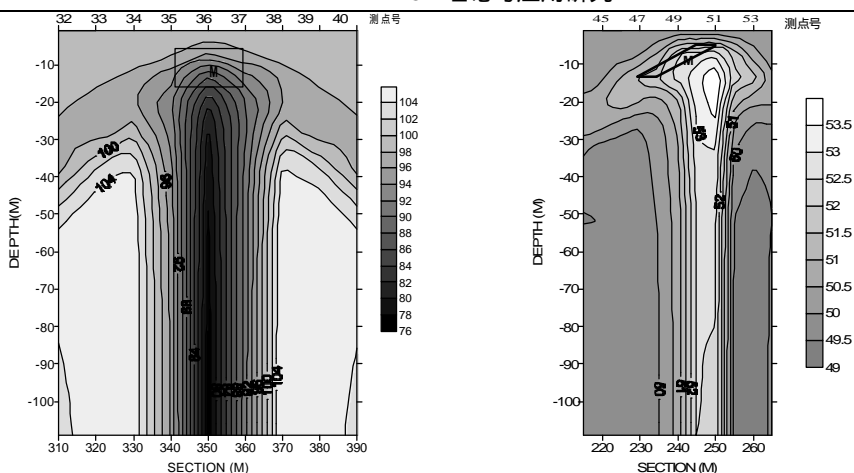


图 2 低阻长方体模型上三维视电阻率断面等值线图 图 3 倾斜高阻板模型上三维视电阻率断面等值线图

从图 3 的视电阻率等值线图中看出, 异常形态大体为中间高两边低, 高阻异常虽有圈闭, 但主体异常仍为从上至下的带状, 即近似两层曲线。52, 53 和 54 测点下的低阻则为假异常, 51 和 52 测点之间等值线密集, 反映了高阻板对电流的排斥作用强烈。由于高阻板是倾斜的, 从 47 至 51 测点, 高阻异常也是倾斜的。

3.3 水平低阻薄板模型

该模型沿测线方向长 20 米, 垂直测线方向为 10 米, 向下延伸 2 米, 顶部埋深 5 米, 围岩电阻率 $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$, 低阻体电阻率 $\rho_2=10\Omega\cdot\text{m}$, 点距 10 米, 如图 4 中 M 模型所示。

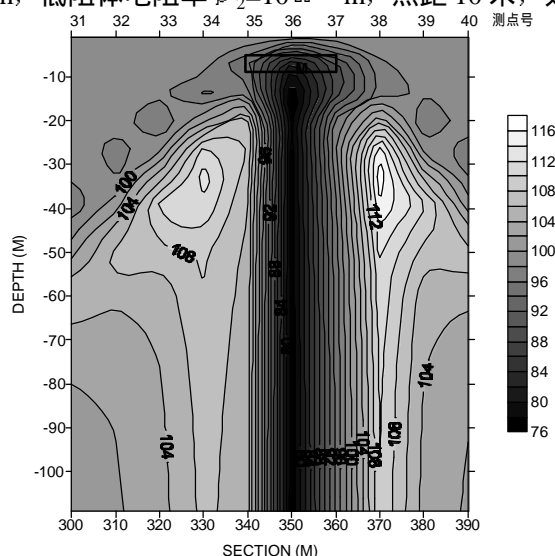


图 4 水平低阻薄板模型上三维视电阻率断面等值线图

由图 4 视电阻率等值线显示, 整体异常稍有不对称 (由于小网格从大网格读单元参数时插值不均), 但不因影响分析异常特征。象模型一一样, 异常以 36 测点为中心对称, 中间低两边高, 且两边“高阻”已形成圈闭, 其圈闭中心位于 34 号测点和 38 号测点正下方, 这就是“假异常”。35, 36, 37 测点下是低阻带状异常, 从上至下, 没有形成闭合异常, 测深曲线形态为两层特征。真假异常产生的原因同模型一相似, 只是在模型外侧, 小极距时电阻率低阻薄板影响大, 供电极距一旦跨过薄板的范围, 电阻率立刻回升, 形成三层曲线。

3.4 高阻体与低阻体组合模型

该模型在 48 和 49 测点之下为一低阻体, 在 52 和 53 测点之下为一高阻体, 两异常体水平相距 15 米, 模型大小为边长 5 米的立方体。围岩的电阻率为 $50\Omega\cdot\text{m}$, 低阻体的电阻率为 $5\Omega\cdot\text{m}$, 顶部埋深 10 米; 高阻体的电阻率为 $500\Omega\cdot\text{m}$, 顶部埋深 5 米。沿主剖面

共布置 19 个测深点, 点距 5 米。如图 5 所示, M1 为高阻模型, M2 为低阻模型。

从图 5 看出, 低阻体和高阻体异常明显, 水平位置基本正确, 且异常体正上方均为两层曲线特征。而前面三种模型所反映的假异常特征似乎没有出现, 其实, 假异常仍然存在, 只不过大部分互相抵消罢了。

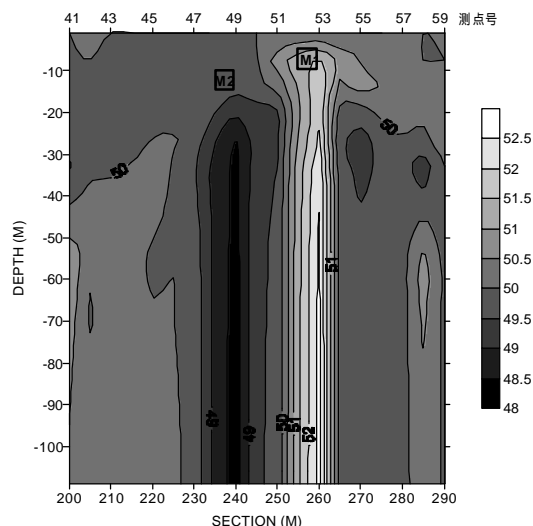


图 5 高阻体与低阻体组合模型上三维视电阻率断面等值线图

4 结论和建议

4.1 上述模型计算表明: 在有限大小的地质体上进行电测深时, 视电阻率曲线形态较水平层复杂。如机械地搬用水平层上电测深曲线结果, 会误认为在低阻体正上方将得到 H 型或高阻体正上方将得到 K 型三层曲线, 事实上应是两层曲线, 但在地质体外侧可得到三层曲线, 此三层曲线却没有反映该测深点以下的地质信息, 属假异常, 这点必须引起注意。因此, 在非层状介质情况下, 逐条解释电测深曲线的方法须慎之又慎。

4.2 建议在作电测深资料的解释前: 必须详细分析断面等值线图及相关地质资料, 对初步解释结果作二维或三维正演, 以便验证是否合乎实际情况。

4.3 在有异常圈闭的等值线图上: 电测深数据的解释必须作二维或三维反演, 否则, 将得不到正确的结果。

参考文献

- [1] 傅良魁. 应用地球物理教程——电法、放射性、地热. 北京: 地质出版社, 1991
- [2] Pridmore D F, Hohman G W, Ward S H and Sill W R. An investigation of finite element modeling for electrical and electromagnetic data in three dimensions. Geophysics, 1981, 46: 1009~1024
- [3] Holcombe H T, Jiracek G R. Three-dimensional terrain correction in resistivity surveys. Geophysics, 1984, 49(4): 436~452
- [4] 徐世浙. 地球物理中的有限单元法. 北京: 科学出版社, 1994
- [5] 罗延钟, 张桂青. 电子计算机在电法勘探中的应用. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1987, 160~170
- [6] 阮百尧. 三维地电断面电阻率测深有限元数值模拟. 地球科学, No.1, 2001

作者简介 强建科, 男, 1967-02 月出生, 陕西省岐山县人。毕业于中国地质大学本科, 在中国地质大学从事电法研究工作, 任讲师, 正在阮百尧教授指导下攻读硕士学位。

作者简介 阮百尧, 男, 1962 年生, 教授, 研究生导师, 1982 年毕业于中南矿冶学院应用地球物理专业, 1995 年获青岛海洋大学博士学位, 主要从事电磁场模拟和反演成像的研究。已结题基金项目为“电阻率测深正演模拟和反演成像”; 现有项目为“高等学校骨干教师资助项目”、承担国家自然科学基金(40064001)、广西自然科学基金(桂科自 0007024)资助项目、广西培养新世纪学术和技术带头人专项资金资助部分项目。