

电法勘探中起伏基底条件下 覆盖层厚度确定方法的研究

张 献 民

(河北地质学院)

陈 文 华

(上海地质勘察院)

通过电流分布特征的研究,给出了覆盖层厚度确定的方法。利用数值模拟计算进行了误差分析,给出了不同地电断面情况下的误差方向。与常规的电测深法相比,本法要求的野外工作量小,解释方法简单,精度较高。

关键词: 电法勘探; 覆盖层厚度确定法



物探与化探

非规则基底覆盖层厚度的确定,是工程中经常遇到的问题。对于水平基底,问题不难解决;而实际工作中,常常地形起伏或基底起伏。对于前者,可用地形校正来提高解释精度;对于后者,确定覆盖层厚度用常规方法则难以解决。一般是引用理论条件的解释方法求一近似解,其误差较大,不能满足工程要求。因此,如何有效确定基岩起伏条件下覆盖层的厚度,是人们十分关心的一个问题。

覆盖层厚度的确定

1. 基本理论

设在地面上的任意两点A和B供电,在另外两点M、N用两个测量电位极测定电位差 ΔU_{MN} ,所确定的视电阻率值 ρ_s 可写成:

$$\rho_s = \frac{2\pi}{(\Delta U_{MN}/I)} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (1)$$

式中 r_{AM} 、 r_{AN} 、 r_{BM} 、 r_{BN} 分别为AM、AN、BM、BN之间的距离, I 为电流强度。

当测量电极的间距(相对供电电极间距而言)很小时,设 $AB/2=L$, $MN=\Delta r$,对于对称四极装置,可以写出:

$$\rho_s = \frac{\pi L^2}{I} \left(\frac{\Delta V}{\Delta r} \right) \quad (2)$$

此外,如果两供电电极靠得很近,并且离测量电极很远,此时测量的实际是场的二次微商。对于偶极排列来说,在MN中点由A引起的电位梯度只是 $\frac{\Delta V_A}{\Delta r}$ 。式中 Δr 为测量电极的间距。同样由B引起的电位是 $\frac{\Delta V_B}{\Delta r}$ 。于是,测量的电位随 $\Delta r \rightarrow 0$ 而趋于某个极限,即

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{\Delta r} &= \frac{\Delta V_A - \Delta V_B}{\Delta r} = \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)_A \\ &\quad - \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)_B = \Delta r \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} \right) \end{aligned}$$

或
$$\Delta V = (\Delta r)^2 \frac{\partial^2 V}{\partial r^2}$$

根据位的一般表达式, 当 $r_{AM} = r_{BN} = r$,
 $r_{BM} = r - \Delta r$, $r_{AN} = r + \Delta r$ 时

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{I \rho_s}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + \Delta r} - \frac{1}{r - \Delta r} + \frac{1}{r} \right) \\ &= -\frac{I \rho_s}{\pi} \frac{(\Delta r)^2}{r^3} \end{aligned}$$

于是

$$\rho_s = -\frac{\pi r^3}{I} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} \right) \quad (3)$$

对于温纳排列, 即 $r_{AM} = a$, $r_{AN} = 2a$,
 $r_{BM} = 2a$, $r_{BN} = a$, $r_{MN} = a$, 则

$$\rho_s = \frac{2\pi a \Delta V}{I} \quad (4)$$

在二层介质的情况下, 当电极距很大时, 视电阻率实际上等于下层的电阻率。如果下层为高阻基岩, 视电阻率将随电极距无限增大。由于全部电流在上层流动, 故可通过计算供电电极中点的电场来确定 ρ_s 值。当供电电极距比上层的厚度大许多时, 可认为从顶部到底部电流密度是均匀的。于是通过对半径为 r , 高为 z 的圆柱等位面积分, 便可求得任何一个电极的电流, 从而

$$I = \int_0^{2\pi} \int_0^z J r d\theta dz = 2\pi r z J$$

对于两个供电电极, 电流密度要加倍, 即

$$E = 2\rho_1 J = \frac{\rho_1 I}{\pi r z}$$

式中 J 为电流密度, ρ_1 为覆盖层电阻率, E 为电场强度。

对于对称四极排列

$$\rho_s = \frac{\pi L^2}{I} \frac{\partial V}{\partial r} \bigg|_{r=L} = \frac{L \rho_1}{z} \quad (5)$$

对于偶极排列

$$\rho_s = -\frac{\pi r^3}{I} \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = \frac{r \rho_1}{z} \quad (6)$$

式中 r 为供电电极中心和测量电极中心之间的距离。

对于温纳排列

$$\begin{aligned} \rho_s &= \frac{2\pi a \Delta V}{I} = \frac{2\pi a}{I} \int_a^{2a} E dr \\ &= \left(\frac{2a \rho_1}{z} \right) \ln 2 = 1.386 \left(\frac{a \rho_1}{z} \right) \quad (7) \end{aligned}$$

在这三种排列中, 方程式 (5)、(6)、

(7) 中视电阻率与电极距之比等于 $C \left(\frac{\rho_1}{z} \right)$,

式中常数 C 随电极排列类型而变。有

$$\frac{\rho_s}{\rho_1} = C \left(\frac{R}{z} \right) \quad (8)$$

式中 R 为电极距。

2. 覆盖层厚度的确定

显然, 利用扩展排列能够求得覆盖层的厚度。但基岩表面不规则, 则需作大量的测点, 将耗去不少时间和费用。在许多工程问题中, 覆盖层的电阻率往往比基岩低很多。在基岩起伏的条件下, 对如何取得覆盖层厚度数据, 提出如下设想。

对基岩呈水平的情况, 两种电极距 (其中一种小于覆盖层的厚度, 一种大于覆盖层的厚度) 侧向移动, 便能相当精确地求得覆盖层的厚度。由于用较大电极距测得的视电阻率值落在剖面 45° 上升部分, 而用较小电极距测得的 ρ_1 值, 根据方程式 (8) 则有:

$$z = C \rho_1 R / \rho_s \quad (9)$$

上式右边的各量均可测得。

如果基岩界面不规则, 当用较大的电极距时, 电流全部在上层流动, 基岩的凸凹将导致电流密度变大、变小。由 (9) 式求出的覆盖层厚度将相应变小和变大, 所求取的分界面深度与基岩的凸凹相对应。因此, 将 (9) 式近似地应用于基岩起伏的情况, 有一定的合理性。为了研究 (9) 式近似应用于非规则基底条件下求覆盖层厚度的精度, 我们利用边界单元法正演电测深曲线, 进行

了数值模拟。

数值计算和应用实例

图1为水平地形条件下 ρ_1 与 ρ_2 分界面倾斜时的计算实例。首先用计算机自动完成地电模型的划分,然后在不同位置进行正演计算,根据其正演计算结果,决定 ρ_1 层的厚度。图中 H 为初始地电模型的 ρ_1 层厚度, H_c 为其计算结果。为了保证 ρ_s 的取值范围能够满足电流呈水平稳定流动的条件,一般取 $AB/2 > 2H$ 时的 ρ_s 参与计算。计算结果表明,在倾斜界面情况下,利用(9)式求得的覆盖层的厚度,精度较高。

图2与图3均为基岩呈台阶状,并具有相同的落差,只是覆盖层 ρ_1 厚度不同的计

算结果。从图2可以看出,当测点在中点时,计算结果与精确值偏差较小;当测点向 ρ_1 层厚度较大一侧偏离时,计算深度相对精确值变小;当测点向 ρ_1 层厚度较小的一侧偏离时,其计算深度相对精确值变大;当偏离台阶较远时,由于受台阶影响变小,此时的计算深度精度较高。上述现象从定性上是容易解释的。

在起伏基底变化率较大的地方,用所介绍的方法确定基底界面与实际情况相比,较为平缓。由于误差是基底起伏造成的,因此该误差不能作为深度的相对误差来论。图3为厚度加大时的计算结果,为了更直观地与图2中的结果对比,现列表如下。

不同 H 值时的 计算精度

测 点	-90		-50		-20		0		20		50		90	
模 型	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
H	10	15	10	15	11.7	16.7	15	20	18.4	23.4	20	25	20	25
H_c	10.3	15.3	10.5	15.5	12.1	17.0	14.8	20.1	16.9	22.5	18.5	23.7	18.9	24
$\delta = H - H_c $	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	1.5	0.9	1.5	1.3	1.1	1.0
误差方向	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-

表中I代表图2中的地电模型,II为图3中的地电模型。从表中可以看出,当 ρ_1 层加大时,所得计算结果不仅没有使误差加大,反而有所降低。误差与基岩的起伏直接相关,而与 ρ_1 层的厚度关系不大。对于同样的基岩起伏情况,随着覆盖层厚度的加大,其误差变为绝对误差。误差方向 H 较小时为正,即 $H_c > H$; H 较大时,误差方向为负,即 $H_c < H$ 。

图4是基岩呈不同下凹时的计算实例。图中正演的视电阻率曲线1、2、3分别与下凹深度不同的1、2、3三种地电模型对应。计算结果表明,随着下凹深度的不断加大,用所介绍的方法求得的深度值,其误差也愈来愈大。在偏离中心为70和40个单位长

度处,深度值的最大绝对误差分别为0.9和2.6,在中心点处深度值的最大绝对误差为1.5。在这三点深度误差方向均为负。由于在偏中心为40个单位长度处,测点正处在下凹地堑的角部,电流流经此处时不可能严格按角度形状分布,而是变缓。因此,利用(9)式确定此处的深度误差较大。此外,尽管下凹落差达9个单位长度,其绝对误差仅为1.5。这在实际解释中精度是较高的。

上述计算实例表明,由于用本方法所确定的深度值的误差只与基底界面的起伏有关,因此,当用一起伏界面埋深较大时,其绝对误差基本不变,而相对误差大大减小。在实际工作条件下,界面起伏往往不是太大,而是比较平缓,所以用本法所取得的解

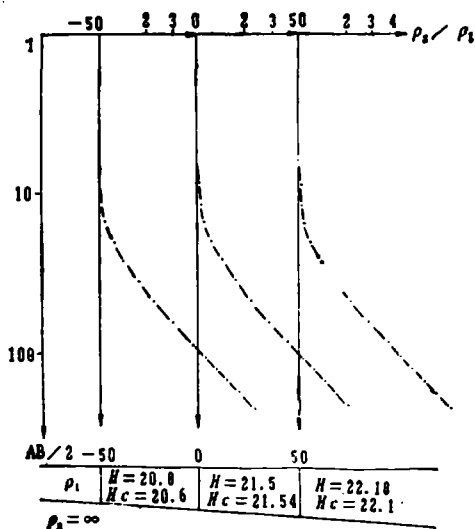


图 1 覆盖层厚度的确定计算实例

(对称四极法) H —精确值; H_c —计算值

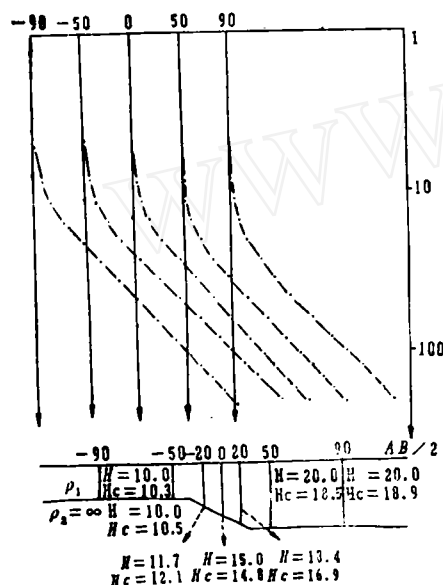


图 2 覆盖层厚度的确定计算实例

(对称四极法, ρ_1 厚度不同) H —精确值; H_c —计算值

释成果, 精度将更高, 本法所要求的野外工作量比较小。即使在基底呈水平的情况下, 采用本法也有很大的经济意义。在某一工区开展工作前, 只要是用扩展排列进行实验, 确定出最大和最小的电极极距。然后, 就可以象剖面法一样, 同步地移动电极, 快速地

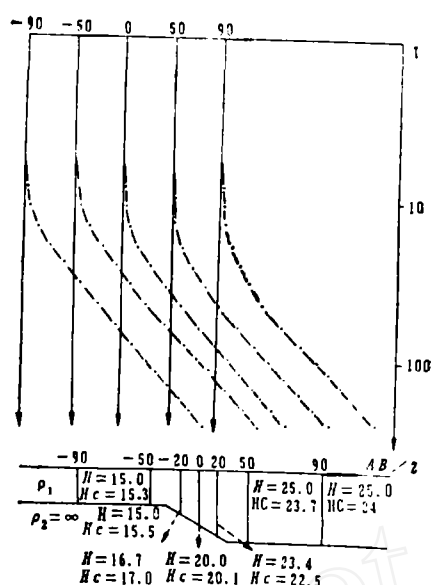


图 3 覆盖层厚度的确定计算实例

(对称四极法, 厚度加大) H —精确值; H_c —计算值

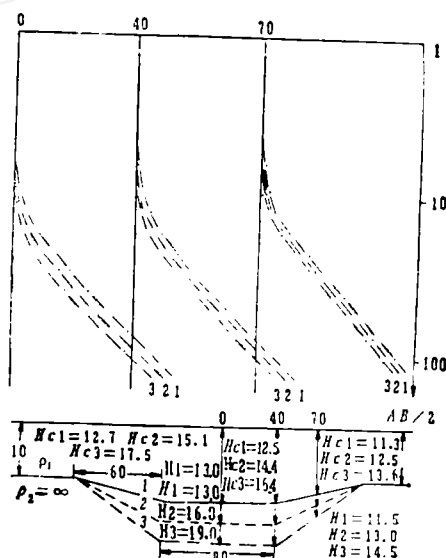


图 4 覆盖层厚度确定计算实例

(对称四极法, 基岩下凹)

H —精确值; H_c —计算值

获取基岩深度值的信息。由于本文给出了不同地电断面情况下的误差方向, 将本法应用于实际解释时可以适当地提高解释精度。

对于起伏地形, 在采用本方法进行解释

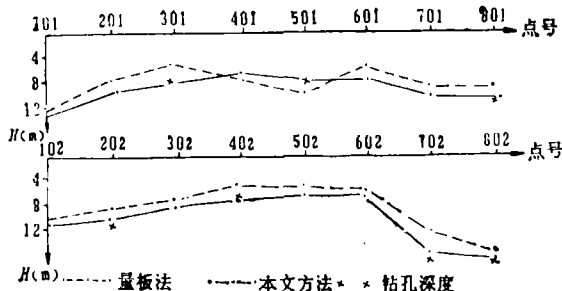


图 5 河北某水库坝址基底起伏解释结果

时,不必作地形校正,直接进行解释即可。其解释深度为地表测点到基底的深度。因为地形起伏与基底起伏对于本法来说是等同的,这是不难理解的。

为了验证本法用于实际的可行性,对河北某水库坝址的电测深资料作了对比。该区的工作目的是确定河床的深度和基岩起伏的情况。区内覆盖层主要为砂土、卵石和泥砂,从其电性方面考虑,基本上可作为一层来处理。基岩为串岭沟组板岩。图 5 分别表示了用量板法和用本文所介绍的方法的推断

解释结果,以及钻孔的验证资料在两条测线上的对比。结果说明,在基底起伏的情况下,用本法得到的解释结果与钻孔结果比较接近,而且精度高于用量板法的解释结果。由此证明,本法是有应用实效的。

结 论

数值计算及应用实例表明,与常规的电测深方法相比,本文介绍的方法解释简单、精度较高,要求野外获取的信息少,有较大的经济意义。解释误差的大小与基底起伏落差的大小对应。还给出了不同地电断面的误差方向。这对适当提高解释精度有指导意义。本方法适用于解决浅部工程问题,对确定多层介质的覆盖层厚度还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 陈文华等,河北地质学院学报,1989年,第1期
- [2] 薛琴坊,《场论》,地质出版社,1978年
- [3] Telford, W.M.等, Applied Geophysics, Cambridge University Press, 1976

Geophysical Method for Thickness Determination of Overburden over a Relief Bedrocks

Zhang Xianmin Chen Wenhua

Based upon a study on the current distribution characteristics, a method for determining thickness of the overburden over a relief bedrock was developed. An error analysis has been made by using numerical simulation and an error distribution direction for different geoelectric sections could be obtained. In comparison with conventional apparent resistivity sounding methods, our method is simple in interpretation technique and high in precision. In addition, only a small amount of field work is required.

