

电阻率法地形校正公式的应用条件

张献民

(河北地质学院)

陈文华

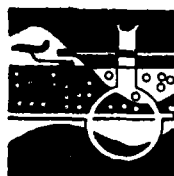
刘国辉

(上海勘察院)

(河北地质学院)

本文对地形校正的除法公式和减法公式, 分别对山谷和山脊地形条件下赋存地电不均匀体时的应用效果, 进行了对比研究。发现两种方法在不同地电断面上的校正效果不同, 据此提出了地形校正的新建议。

关键词: 电阻率法; 地形校正; 建议



物探与化探

在电法勘探中, 地形异常往往歪曲甚至淹没有意义的地电信息。因此, 在成果解释时需进行地形校正, 地形校正的精度将直接影响解释结果。除法

校正和减法校地正是地形校正的主要方法。但由于这两种方法都是近似的, 校正后的结果能否有效地反映地电异常, 一直为人们所关注。

地形校正方法

1. 减法公式

设在起伏地形下均匀半无限大电阻率为 ρ_1 的介质中, 存在电阻率为 ρ_2 的地电不均匀体。若地表为水平状态, 且电阻率各向同性, 测量电极 MN 处的电流密度为 j_0 , 当只有地形存在时, MN 处的电流密度为:

$$j_1 = j_0 + \Delta j_1$$

式中, Δj 为纯地形在 MN 处引起的电流密度畸变值。此时可求出该点的视电阻率值为:

$$\rho_{s1} = \frac{j_1}{j_0} \rho_1 \quad (1)$$

只有地电不均匀体存在时, MN 处的电流密度为:

$$j_2 = j_0 + \Delta j_2$$

式中, Δj_2 为地电不均匀体在 MN 处引起的电流密度畸变值。相应的视电阻率为:

$$\rho_{s2} = \frac{j_2}{j_0} \rho_1 \quad (2)$$

如地形和地电不均匀体同时存在, 则 MN 处的电流密度可写成:

$$j = j_0 + \Delta j_{(1+2)}$$

式中, $\Delta j_{(1+2)}$ 为地形及地电不均匀体在 MN 处引起的电流密度畸变值。且

$$\Delta j_{(1+2)} = \Delta j_1 + \Delta j_2 + \delta j_{12}$$

其中 δj_{12} 为地形与地电不均匀体相互影响产生的电流密度增量。若忽略该项, 则有

$$\Delta j_{(1+2)} \approx \Delta j_1 + \Delta j_2$$

考虑以上各式可得

$$\rho_s \approx \rho_{s1} + \rho_{s2} - \rho_1 \quad (3)$$

由(3)式, 可进而导出

$$\rho_{s1} = \rho_s + \rho_1 - \rho_{s1}$$

或

$$\frac{\rho_{s2}}{\rho_{s1}} = \frac{\rho_s}{\rho_1} - \frac{\rho_{s1}}{\rho_1} + 1 \quad (4)$$

上式即为近似消除地形影响后的纯地电不均匀体的异常表达式,并可推广到多个地电体的情况。

2. 除法公式^[1]

将以上过程略加变化,便可导出除法公式。当只存在起伏地形时,

$$j_1 = j_0 + \Delta j_1 = \left(1 + \frac{\Delta j_1}{j_0}\right) j_0 = k_1 j_0$$

系数 $k_1 = \left(1 + \frac{\Delta j_1}{j_0}\right)$, 上式表示由于起伏地形的存在,使 MN 处的电流密度相对水平地形时增加了 k_1 倍。此时,

$$\rho_{s1} = \frac{j_1}{j_0} \rho_1 = k_1 \rho_1 \quad (5)$$

同理,当只存在地电不均匀体时,

$$j_2 = j_0 + \Delta j_2 = \left(1 + \frac{\Delta j_2}{j_0}\right) j_0 = k_2 j_0$$

上式表示地电不均匀体的存在,使 MN 处的电流密度增加了 k_2 倍。且有,

$$\rho_{s2} = \frac{j_2}{j_0} \rho_1 = k_2 \rho_1 \quad (6)$$

若起伏地形及地电不均匀体同时存在,则有

$$j = j_0 + \Delta j_{(1+2)} = j_0 + \Delta j_1 + \Delta j_2 + \delta j_{12} \\ = \left(1 + \frac{\Delta j_1 + \Delta j_2 + \delta j_{12}}{j_0}\right) j_0 = k_{12} j_0$$

而

$$k_{12} = \left(1 + \frac{\Delta j_1 + \Delta j_2 + \delta j_{12}}{j_0}\right) \\ = \left[\left(1 + \frac{\Delta j_1}{j_0}\right) \left(1 + \frac{\Delta j_2}{j_0}\right) + \frac{\delta j_{12}}{j_0} - \frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}\right]$$

忽略两体间的相互影响和高次项,可得

$$k_{12} \approx k_1 \cdot k_2$$

这样

$$\rho_s = \frac{j}{j_0} \rho_1 = \frac{k_{12} j_0}{j_0} \rho_1 \approx k_1 \cdot k_2 \rho_1 \\ = \frac{\rho_{s1}}{\rho_1} \cdot \frac{\rho_{s2}}{\rho_1} \cdot \rho_1$$

从而

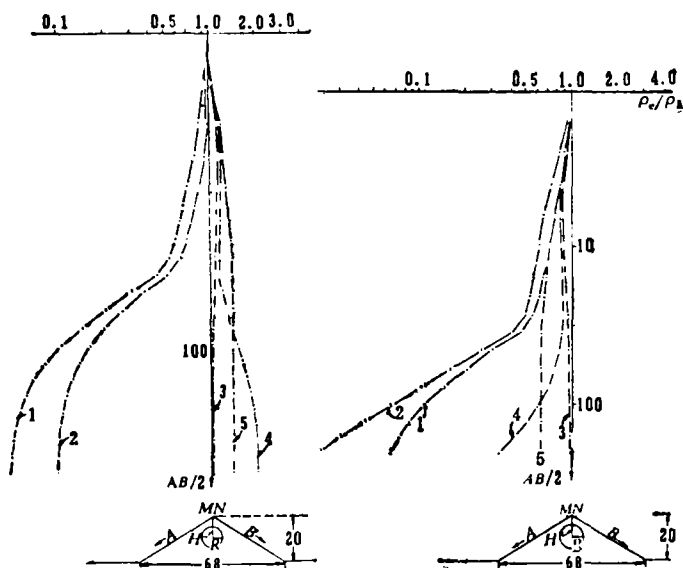
$$\frac{\rho_{s2}}{\rho_{s1}} \approx \frac{\rho_s}{\rho_{s1}} \quad (7)$$

即实测值 ρ_s 比上纯地形值 ρ_{s1} , 便可近似得到纯地电不均匀体的异常值。同理上式可推广到多个地电体的情况。

地形校正精度的评价

为了检验 (4) 式和 (7) 式应用于实际校正的效果,用边界单元法正演电测深曲线^[2]进行了数值模拟。图 1~3 为对称四极和偶极装置在山脊、山谷地形及赋存有高、低阻水平圆柱体时的计算结果,并分别作了减法和除法校正。图中,曲线 1 为纯地形异常的计算结果;曲线 2 为起伏地形及柱体同时存在时的计算结果;曲线 3 是采用减法公式 (4) 校正曲线 2 后所得到的校正曲线;曲线 4 是采用除法公式 (7) 校正曲线 2 后所得到的校正曲线;曲线 5 是地形水平情况下柱体存在时的计算结果。图 4~5 为导电纸上的模拟实验结果。数值模拟及物理模拟中的校正曲线与水平地形下的高阻、低阻纯柱体异常的对比均表明,无论是对称四极装置还是偶极装置,无论是高阻柱体还是低阻柱体,具有如下规律。

在山脊地形条件下,除法校正曲线有效地反映了地电不均匀体的存在,而减法校正曲线则压制甚至淹没了有意义的地电信息;在山谷地形条件下,减法校正曲线有效地反映了地电不均匀体的存在,而除法校正曲线在较大程度上压制了有意义的地电信息。无

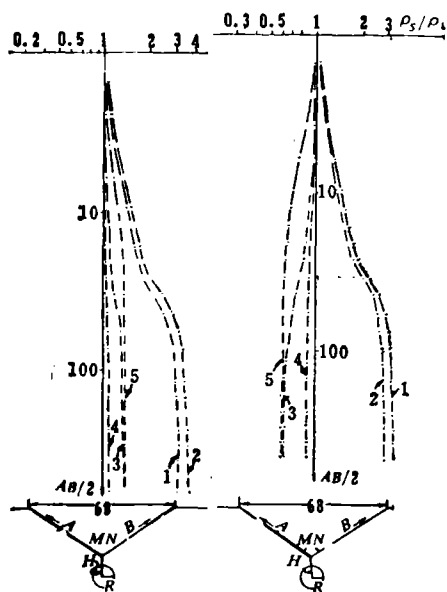


$H = 4.0$; $R = 2.0$; $\mu_2 = 100$

$H = 4.0$; $R = 2.0$; $\mu_2 = 0.01$

图 1 地形校正实例 (对称四极)

1—纯山脊地形; 2—柱体+山脊; 3—减法校正; 4—除法校正; 5—水平地形+柱体

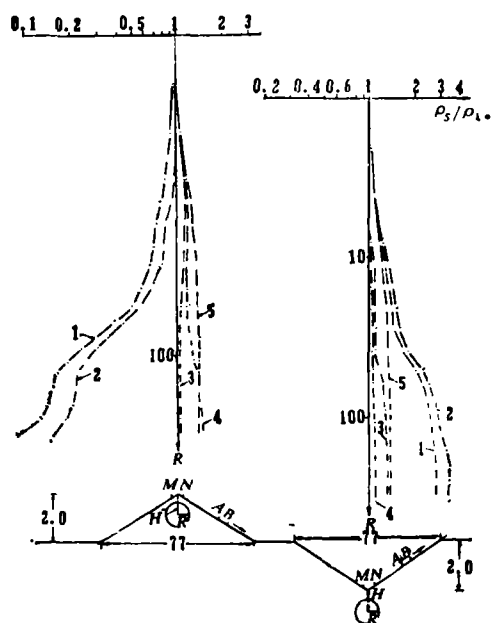


$H = 4.0$; $R = 2.0$; $\mu_2 = 100$

$H = 4.0$; $R = 2.0$; $\mu_2 = 0.01$

图 2 地形校正实例 (对称四极)

1—纯山谷地形; 2—柱体+山谷; 3—减法校正;
4—除法校正; 5—水平地形+柱体



$AB = MN = 1.0$; $H = 4.0$; $R = 2.0$; $\mu_2 = 100$

图 3 地形校正实例 (偶极)

左图: 1—纯山脊地形; 2—柱体+山脊; 3—减法校正; 4—除法校正; 5—水平地形+柱体
右图: 1—纯山谷地形; 2—柱体+山谷; 3—减法校正; 4—除法校正; 5—水平地形+柱体

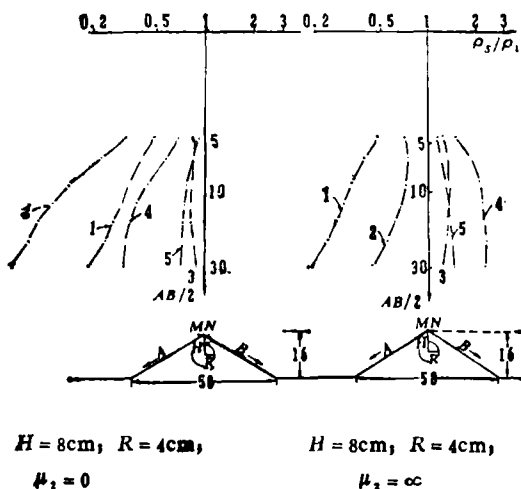


图 4 模拟实验结果

1—纯山谷地形, 2—柱体+山谷, 3—减法校正,
4—除法校正, 5—水平地形+柱体

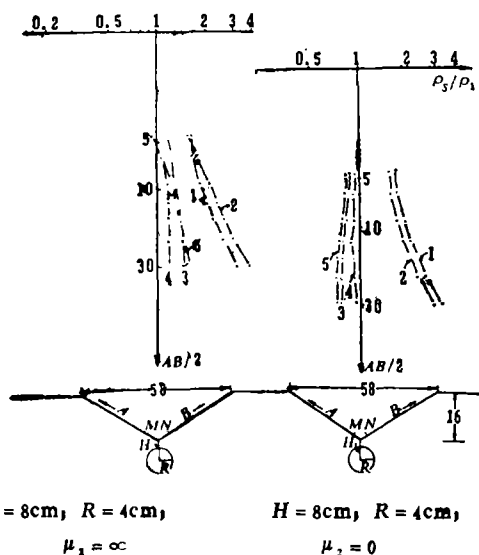


图 5 模拟实验结果

1—纯山脊地形, 2—柱体+山脊, 3—减法校正,
4—除法校正, 5—水平地形+柱体

论是减法校正还是除法校正, 其校正精度均随极距的变化而有所不同, 校正后的曲线也将随极距的不断增大最后趋于饱和值, 亦即校正精度趋于稳定。

由于在减法公式中, 忽略了地形与地质体之间相互影响产生的电流密度增量 δj_{12} ; 而在除法公式中, 除忽略了 δj_{12} 外, 还忽略

了高次项 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$, 因此, 校正后的曲线不

可能与水平地形条件下的柱体异常曲线严格拟合, 而是存在一定的误差, 此误差将随地形与柱体相对位置的变化而有所不同。

在山脊地形条件下, 由于柱体与山脊地形的相互作用较强, 致使 δj_{12} 较大。其地形影响引起的 Δj_1 , 地电不均匀体引起的 Δj_2 , 及其相互作用引起的 δj_{12} 的符号如下:

μ_2	Δj_1	Δj_2	δj_{12}
> 0	< 0	> 0	< 0
< 0	< 0	< 0	> 0

对于减法公式 (4), 其精确结果为:

$$\frac{\rho_{s2}}{\rho_1} = \frac{\rho_s}{\rho_1} - \frac{\rho_{s1}}{\rho_1} + 1 - \frac{\delta j_{12}}{j_0} \rho_1$$

由上述可知, 若忽略掉上式中的 δj_{12} , 必然导致减法校正曲线的异常幅度小于水平地形条件下柱体存在时的异常幅度。由于此时地形与地电不均匀体的相互作用较强, 即 δj_{12} 较大, 致使减法校正曲线几乎淹没了有意义的地电信息。

对于除法公式 (7), 其精确结果为:

$$\frac{\rho_{s2}}{\rho_1} = \frac{\rho_s}{\rho_{s1}} + \left(\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2} - \frac{\delta j_{12}}{j_0} \right) \frac{\rho_1}{\rho_{s1}}$$

在所忽略掉的 $\left(\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2} - \frac{\delta j_{12}}{j_0} \right) \frac{\rho_1}{\rho_{s1}}$ 中, 当极

距较小时, δj_{12} 起主要作用; 而当极距较大

时, 相对来说 δj_{12} 较小, 此时 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$ 起主

要作用, 但这两项符号正好相反, 因此使得校正曲线误差有所减小。因极距较大时,

$\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$ 起主要作用, 此时校正曲线的异常幅度必然大于水平地形条件下柱体存在时的异常幅度, 亦即有效的反映了地电不均匀体存在。

在山谷地形条件下, 当极距较大时, 由于地形与地电不均匀体的相互作用较弱, 即

δj_{12} 较小,致使此时的减法校正曲线精度较高,可有效地反映地电不均匀体的存在。而在除法校正公式中,除忽略掉 δj_{12} 外,还忽略了 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$,而此时 Δj_1 取正值,当 $\mu_2 > 0$ 时, Δj_2 取正值,当 $\mu_2 < 0$ 时 Δj_2 取负值。当 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$ 起主要作用时,除法校正曲线的异常幅度必然小于水平地形条件下柱体存在时的异常幅度。由于在所考虑的地电断面中 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$ 较大,致使除法校正曲线几乎淹没了有意义的地电信息。

结论与建议

数值模拟及物理模拟表明,在山脊地形条件下,无论是高阻柱体还是低阻柱体的存在,采用除法校正均有效地反映了地电不均匀体的存在,而当采用减法校正时,其结果几乎淹没了地电不均匀体的存在;在山谷地形条件下,采用减法校正有效地反映了地电不均匀体的存在,相反采用除法校正其效果较差。上述现象在进行实际解释时,应引起充分注意。若采用方法不当,将会淹没有意

义的地电信息,导致错误的结论。

地形与地电不均匀体的相对位置发生变化时,其校正精度将会随之发生变化。当地电不均匀体相对地形埋深较大时,地电不均匀体与地形的相互作用引起的电流密度增量 δj_{12} 较小。此时,减法校正公式无论是应用于山脊地形还是山谷地形,精度都较高。但在除法公式中除了忽略 δj_{12} 外,还忽略了 $\frac{\Delta j_1 \Delta j_2}{j_0^2}$,若将除法公式应用于山谷地形,则校正曲线将会压制异常信息;若将除法公式应用于山脊地形,则校正曲线将会起到放大异常信息的作用。由于在进行反演解释时,往往不了解地下情况,若地电不均匀体相对地形埋深较小,地形校正方法不当势必会漏掉异常信息。建议在山脊地段用除法公式进行地形校正;在山谷地段用减法公式进行地形校正。

参考文献

- [1] 张献民,河北地质学院学报,1984,第4期。
- [2] 陈文华等,河北地质学院学报,1989,第1期。
- [3] 周熙襄等,《电法勘探数值模拟技术》,四川科技出版社,1986年。

A Study on Conditions for Applying Different Formulas to Topographic Corrections in Resistivity Measurements

Zhang Xianmin, Chen Wenhua, Lu Guohui

If a nonhomogeneous geoelectric body is buried beneath a ridge or a valley, division or subtraction formula could be used to eliminate or reduce the terrain effects in resistivity surveys. The conditions for using these formulas under concrete circumstances and the effectiveness obtained are respectively dealt with in this paper. After a comparison it has been found that the results of these two terrain correction methods are different over different geoelectric sections. Some new suggestions for terrain correction in resistivity survey are put forward.