

可控深度电法对水平柱体和垂直界面的计算和实验

包本刚, 黄志平

(零陵师范高等专科学校物理系, 永州 425006)

[摘 要] 球状地质体可控深度电法的效应系数可近似地全面表达可控深度电法的各种效应。通过点源二度体的电算模拟实验, 证明了该方法在水平柱状体和地下存在电阻率垂直界面的条件下, 也是有效的。

[关键词] 可控深度电法 效应系数 水平柱状体 地下电阻率垂直界面

[中图分类号] P631.3 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2002)02-0071-04

李治华先生提出的“可控深度电法勘探”, 其思路巧妙, 既可提高勘探深度, 又能压制浅部干扰异常, 并且在实际的勘探中也取得了良好的效果(例如在内蒙古某铬铁矿床上, 取得了比较好的结果)。但文献[1]和[2]中研究的可控深度电法具有一定的应用条件: 1) 地面水平的均匀或层状大地; 2) 物性体是球状的。在实际工作中我们经常遇到物性体是有明显走向延伸的, 如水平柱状体, 或地下又有电阻率垂直界面的情况。本文对这两种条件做了比较详细的计算和实验研究。

1 对球状物性体增益系数 D 的拓展

李治华先生在 1983 年曾在球状物性体的情况下, 提出了定深度(即可控深度)电法相对于常规四极法的增益系数 $D = \lambda^2 / (\lambda^2 - \tau)$, 式中 $\lambda = l / L$, $\tau = I^{AB'} / I_{AB}$ 。这里的 D 只表达了可控深度装置在 MN 中点处地表电流密度减少的增益效应, 并未包括地下 h 处减少的“减益效应”, 现在考虑这两个效应的基础上推导效应系数, 为区别起见, 用 D 表示。

把文献[1]中的(3)式改写成:

$$\begin{aligned} \frac{\rho'_s - \rho_0}{\rho_0} &= \left[2 \frac{\mu - 1}{1 + 2\mu} \left(\frac{a}{h} \right)^3 \right] \cdot j'_h \cdot \left[\frac{I}{\pi L^2} \left(\frac{\lambda^2 - \tau}{\lambda^2} \right) \right]^{-1} \\ &= \left[2 + \frac{\mu - 1}{1 + 2\mu} \left(\frac{a}{h} \right)^3 \right] \frac{j'_h}{j'_0} \end{aligned} \quad (3')$$

式中 ρ'_s 为可控深度装置在 MN 中点的视电阻率, ρ_0 为均匀大地的电阻率, j'_h 及 j'_0 为可控深度装

置 MN 中点地下深度为 h 及地表处的电流密度。

由文献[1]中的(2)式可知:

$$j'_h = \frac{I}{\pi L^2} \left\{ \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} - \lambda \tau \cdot \left[\lambda^2 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (1)$$

$$j'_0 = \frac{I}{\pi L^2} \cdot \frac{\lambda^2 - \tau}{\lambda^2} \quad (4)$$

将(1)及(4)代入(3)得:

$$\begin{aligned} \frac{\rho'_s - \rho_0}{\rho_0} &= \left[2 \frac{\mu - 1}{1 + 2\mu} \left(\frac{a}{h} \right)^3 \right] \cdot \left[\frac{I}{\pi L^2} \cdot \frac{\lambda^2 - \tau}{\lambda^2} \right]^{-1} \cdot \frac{I}{\pi L^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} - \lambda \tau \cdot \left[\lambda^2 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (3'')$$

由(1)及(4)可知:

$$j_h = \frac{I}{\pi L^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \quad (1')$$

$$j_0 = \frac{I}{\pi L^2} \quad (4')$$

式中 j_h 及 j_0 为常规四极法在 MN 中点地下深度为 h 及地表处的电流密度。又考虑[1]中(5)式:

$$\frac{\rho'_s - \rho_0}{\rho_0} \approx \left[2 \frac{\mu - 1}{1 + 2\mu} \left(\frac{a}{h} \right)^3 \right] \frac{j_h}{j_0}$$

则(3'')式可改写成:

$$\begin{aligned} \frac{\rho'_s - \rho_0}{\rho_0} &= \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \cdot \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \tau} \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \left[\lambda^2 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} - \lambda \tau \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (A)$$

[收稿日期] 2001-08-06; [修订日期] 2001-08-31; [责任编辑] 曲丽莉。

试论提高电法勘探深度压制干扰的途径, 定深度电法勘探. 中国地球物理学会勘探地球物理综合性学术讨论交流会资料, 1983。

[第一作者简介] 包本刚(1976年-), 男, 1999年毕业于湖南师范大学, 获理学学士学位, 主要从事教学工作, 致力于计算技术在物理学中的应用研究工作。

式中 ρ_s 为常规四极装置在 MN 中点测得的视电阻率。(A) 式全面表达了在 MN 中点, 可控深度四极法与常规四极法测定中心埋深为 h 的球状导体的视电阻率相对异常 $\frac{\rho_s' - \rho_0}{\rho_0}$ 与 $\frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0}$ 的比值同 λ, τ 及 h/L 三变量之间的关系, 由 (A) 式效应系数 $D'(\lambda, \tau, h/L)$ 可定义为:

$$D'(\lambda, \tau, h/L) = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \tau} \left\{ 1 - \left[\lambda^2 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \cdot \lambda \cdot \tau \left[1 + \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (B)$$

由上式可知 $D'(\lambda, \tau, h/L)$ 的取值可为正或为负或为零。当 $D'(\lambda, \tau, h/L) = 0$, 则 $\lambda, \tau, h/L$ 须满足:

$$\frac{h_0}{L} = \frac{\sqrt{(\lambda \cdot \tau)^{\frac{2}{3}} - \tau^2}}{\sqrt{1 - (\lambda \cdot \tau)^{\frac{2}{3}}}} \quad (8)^{(1)}$$

式中 h_0 为 j'_h 为零时的深度, 显然, 在实际应用中, 我们须找使 j'_h 取极大值时的 $\lambda, \tau, h/L$ 之值, 当 j'_h 取极大值时,

$$\frac{h_m}{L} = \frac{\sqrt{(\lambda \cdot \tau)^{\frac{2}{5}} - \lambda^2}}{\sqrt{1 - (\lambda \cdot \tau)^{\frac{2}{5}}}} \quad (6)^{(1)}$$

式中 h_m 为 j'_h 取极大值时所对应的深度, 将 (6) 式代入 (B) 式则 $D'(\lambda, \tau, h_m/L)$ 取极大值:

$$D'(\lambda, \tau, h_m/L) = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \tau} \left[1 - (\lambda \cdot \tau)^{\frac{2}{5}} \right] \quad (C)$$

当 $\tau > \lambda^2$ 时, $D'(\lambda, \tau, h_m/L)$ 还可出现负极大值。 $D'(\lambda, \tau, h_m/L)$ 的表达式虽然是一级近视的, 但它可以全面地表达可控深度四极法相对于常规四极法的各种效应。

2 水平柱状体可控深度电法的特点

在“可控深度电法勘探”中只对点电源-球状物性体作了理论分析, 同时辅以二维电阻网络模拟(线电源-水平柱状体), 尚未涉及点源-水平柱状体的情况, 对此我们用点源二维体程序进行了电算模拟实验。下面是取中心埋深 $h = 7 \text{ m}$ 的 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 二维水平柱状体当 $L = 30 \text{ m}$, $l = 15 \text{ m}$, $\lambda = 0.5$, MN 和点距等于 1 m , $\rho_1 = 3\rho_0$ 时, τ 取不同值的可控深度电法和常规四极法的实验结果。

图 1(a) 是采用常规四极法装置的结果, 图 1(b) 是采用可控深度电法的实验结果。图 1(b) 中的正异常(即同号异常)为最大, 此时实验得出 $\tau = 0.09$, 当实验中 $\tau = 0.32$ 时, 得到负异常(反号异常)为最大, 在实验中异常接近为 1(即异常消失)时 $\tau = 0.6$ 。由球状物性体的可控深度电法理论可知: 当异常为最大时, 根据 (6) 式计算得到的 $\tau = 0.09$, 这与实验一致, 这时根据 (B) 式得 $D'(\lambda, \tau, h_m/L) =$

2.96, 而实验结果为 1.33; 当异常消失时, 即 $D'(\lambda, \tau, h_0/L) = 0$ 时可根据 (8) 式计算得 $\tau = 0.32$, 但此时水平柱状体的可控深度装置的实验结果却为负的最大。经多次电算模拟实验都得到与图 1(a) 和图 1(b) 相近的结果。

对于同样条件下的低阻水平柱状体的实验结果见图 2。

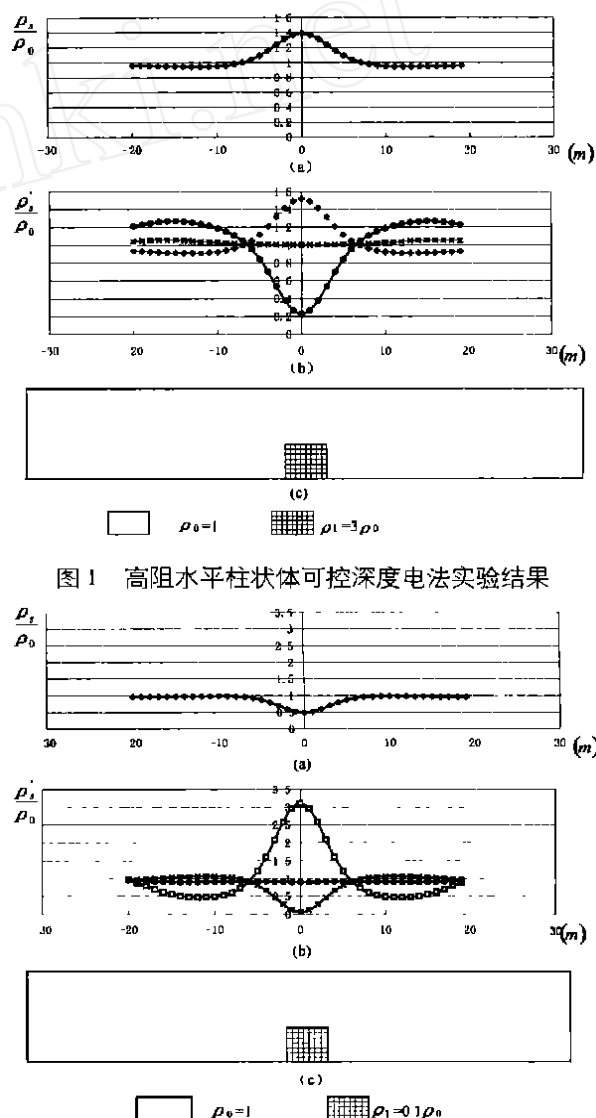


图 1 高阻水平柱状体可控深度电法实验结果

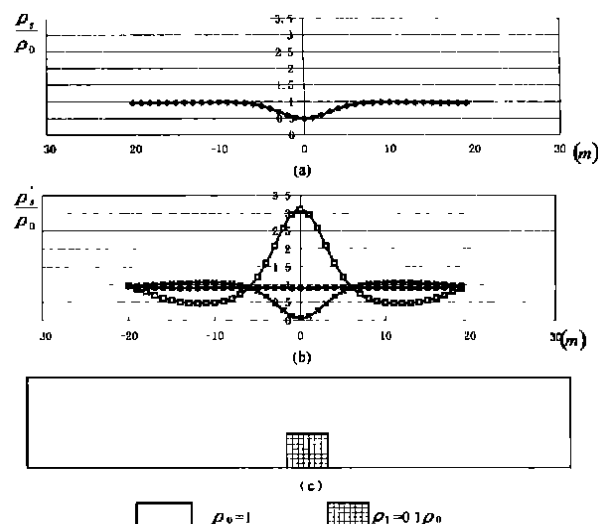


图 2 低阻水平柱状体可控深度电法实验结果

图 2(a) 是常规四极法的结果, 图 2(b) 是可控深度电法的实验结果, 其中异常为正(即反号)最大时 $\tau = 0.3$, 异常接近 1(即异常消失)时 $\tau = 0.6$, 异常为负(即同号)最大时 $\tau = 0.06$ 。

对比图 1 和图 2 中的实验结果, 可见其特点基本相同: (1) 可控深度电法的原理对水平柱状体仍然适用, 选择合适的 λ 和 τ 值, 可使异常增大为同号或异号异常, 也可使异常消失; (2) 不论高阻或低阻水平柱体与常规四极法同号异常取最大值时, 其 λ, τ

值与(6) 式计算结果基本一致,效应系数与(B) 式计算的结果有一定的差别;(3) 用(8) 式计算出的异常消失的 τ 值,恰好对应反号异常的最大值;(4) 异常消失的 τ 值都较大,且在异常反符号区内;(5) 反号异常的幅度都大于同号异常的幅度。

3 地下不同电阻率垂直界面在定深度电法中的影响

在可控深度电法中,考虑的是水平的均匀大地,但实际工作中会碰到地下具有电阻率不同的垂直界面。那么,在这种情况下,可控深度电法是否还适用呢?下面我们仍采用点源—二维体电算模拟实验来探讨可控深度电法在地下具有电阻率不同的垂直界面下的适用性。

首先考虑纯界面的影响:取 $L = 15\text{ m}$, $l = 9\text{ m}$, $\lambda = 0.6$ 。图 3(a) 是常规四极法的结果,图 3(b) 是可控深度电法的结果,其中曲线 1 的 $\tau = 0.5$,曲线 2 的 $\tau = 0.12$ 。由图 3(b) 可知:在可控深度电法中,对纯界面来说,只要 λ, τ 取值近似满足(6) 式,可控深度电法是可以取得类似常规四极法的异常。

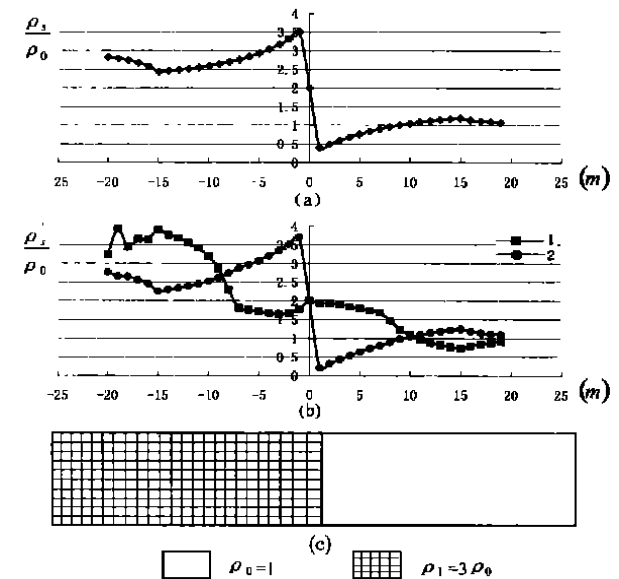


图 3 地下有电阻率垂直界面时的实验结果

其次在垂直界面一侧放一个 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 的低阻水平柱状体研究其异常的情况(取 $L = 15\text{ m}$, $l = 9\text{ m}$, $\lambda = 0.6$, $\rho_0 = 1, \rho_1 = 3\rho_0, \rho_2 = 0.07\rho_0, h = 7\text{ m}$),结果如图 4。

图 4(a) 是常规四极法的结果,图 4(b) 是可控深度电法的结果,其中的曲线 1, $\tau = 0.12$,曲线 2, $\tau = 0.5$ 。由图 4(b) 可知:在可控深度电法中,对在纯界面一侧存在物性体的情况来说,只要 λ, τ 取得恰当(λ, τ 的取值近视满足(6) 式),可控深度电法也可以取得比较好的效果。

下面我们研究消除电阻率不同界面的影响方

法:图 5(a) 是具有水平柱状体的垂直界面可控深度电法的曲线;图 5(b) 是纯垂直界面可控深度电法的曲线;图 5(c) 是改正后的曲线,采用的改正方法是用具有水平柱状体的垂直界面可控深度电法的除以对应的纯垂直界面定深度电法的 ρ_s' 。

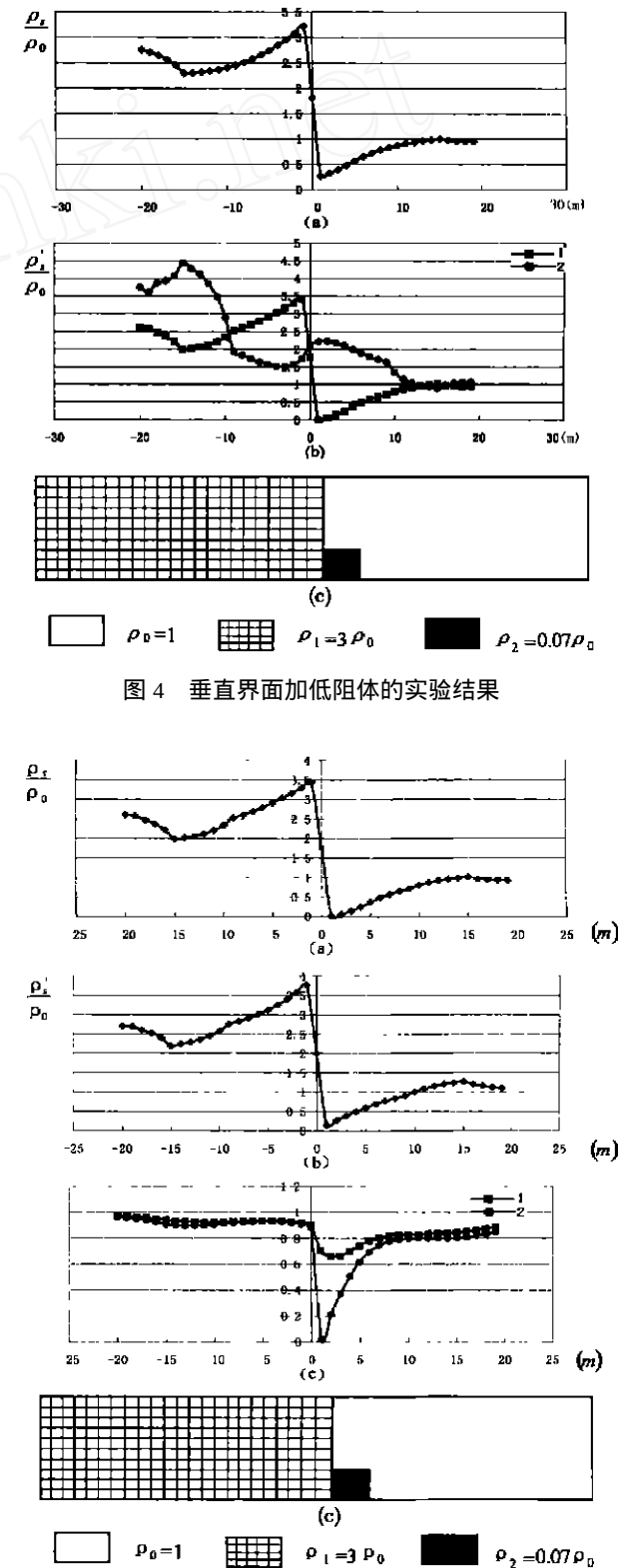


图 5 存在水平柱体的垂直界面模型 ρ_s' 曲线的改正效果(一)

在图 6 中, (a) 为存在水平柱体的垂直界面可控深度四极法的 ρ_s' 曲线, (b) 为纯垂直界面的可控深度四极法 ρ_s' 曲线, 图 6(c) 为图 6(a) 除以图 6(b) 后的比值曲线。由此例可知: 如果定深度参数 λ, τ 取得不恰当, 则可控深度电法在垂直断面的情况下就不能取得如图 5 中的直观、明显的良好效果, 图 6 中改正的效果只是在 15 号点处有一近 1.5 的异常。这个正异常是当 A 极位于分界处或其附近, 地下电流受高阻界面屏蔽作用被低阻柱体减弱的结果。

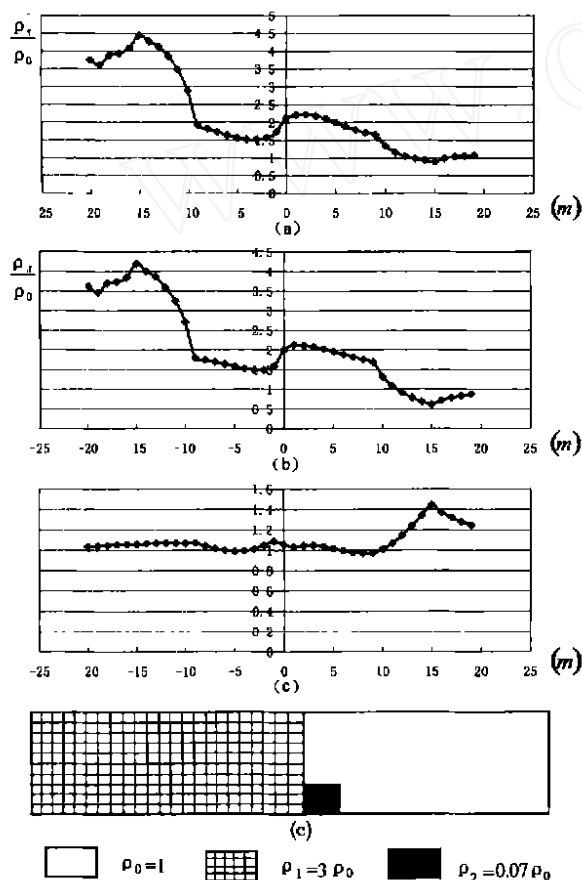


图 6 存在水平圆柱体的垂直界面模型 ρ_s' 曲线的改正效果(二)

在图 5 我们取 $L = 15 \text{ m}$, $l = 9 \text{ m}$, $\lambda = 0.6$, $\tau = 0.12$, $\rho_0 = 1$, $\rho_1 = 3\rho_0$, $\rho_2 = 0.07\rho_0$, $h = 7 \text{ m}$, 很

显然取得了比较好的垂直断面改正后的效果(图 5 (c) 中曲线 1 为常规四极法的改正结果, 曲线 2 为可控深度电法的改正结果), 这说明了可控深度电法可以适用于地下存在垂直界面的情况。但是 λ, τ 的取值须恰当, 不然也不能取得比较好的效果。下一例图 6 就不能取得比较好的效果, 其原因就是 τ 的取值不恰当, 其它参数都同上例, 只是 $\tau = 0.5$ 。

4 结 语

1) 本文推导出了点源球状物性体可控深度电法的效应系数 D', D'' 的表达式(B) 可取大于或小于 1 的正值、大于或小于 -1 的负值以及零值, 故可全面说明可控深度电法相对于常规四极法的各种效应。但(B) 式基于“可控深度电法勘探”中的一级近似公式(2), 故(B) 式也是一级近似的。

2) 本文的实验结果证明可控深度电法对水平柱状物性体同样有效, 在选定 L 及 λ 值的条件下, 它与常规四极法同号的最大异常的 τ 值, 可参照(6) 式来选取。

3) 对于地下存在电阻率非均匀的不同电阻率垂直界面时, 实验证明可控深度电法结果经过垂直界面异常的改正后, 仍可突出低阻水平柱状体的异常, 且也与 λ, τ 的取值密切相关。根据上述之结果, 可推测在起伏地形条件下, 可控深度电法经过地形改正后也会有相当的效果, 这是有待进一步研究证实的课题。

4) 可控深度电法不仅在找矿中可扩大试用或推广, 还建议在浅层物探—工程物探中试用或推广。在实际工作中应用可控深度电法, 必须十分注意提高数据的精度或信噪比。

本文承王继伦教授的大力指导, 谨此致谢!

[参考文献]

- [1] 李治华. 可控深度电法勘探[J]. 地质与勘探, 1994, (6).
- [2] 吕桂玉. 一种新的电测深拟断面编绘方法[J]. 地质与勘探, 1988, (5).

RESEARCH AND DISCUSSION ON DEPTH- CONTROLLED ELECTRIC METHOD

BAO Ben - gang, HUANG Zhi - ping

(Department of Physics, Ling ling Normal College, Yongzhou 425006)

Abstract: In the paper, the effect coefficient of spherical body by depth - controlled electric method has been got, which can be approximately and wholly expressed as a variety of effects of depth - controlled electric method. This method is proved to be efficient with a horizontal cylinder or an underground vertical boundary of resistivity by the computer imitation of the point source 2D - body.

Key words: depth - controlled electric method, effect coefficient, horizontal cylinder, an underground vertical boundary of resistivity