

34-39

不均匀介质中定深度的方法技术

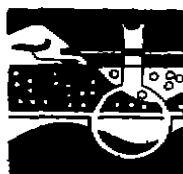
p622.2

杨宏勇

(冶金工业部地质勘查总局·北京·100711)

利用定深度电法理论对水平层状介质找矿方法、水平方向不均匀介质中的找矿方法技术及用定深度装置研究矿体产状和形态进行了理论和方法的研究, 从电阻网络模拟成果、野外方法的实践等对该方法作了进一步的验证和补充。

关键词 电法 定深度 非均匀介质 找矿方法技术



电法与找矿

定深度电法勘探在均匀介质中的理论、方法与技术已基本清楚, 从电阻网络模拟到水槽的模型试验都取得了显著的效果, 定深度电法勘探应用到非均匀介质当中的效果是人们较为关注的问题, 因为野外工作中均匀介质的情况是很少见的, 李治华教授在“试论提高电法勘探深度压制干扰的途径”一文中, 从理论到实践对该问题进行了研究, 本文在学习的基础上试图对李教授提出的某些问题作进一步的说明, 以加深对定深度电法勘探的理解。

1 水平层状介质中找矿的方法技术

在电阻网络模拟低阻复盖层下的方柱定深度异常的实验中, 模拟低阻层厚 $1h$, 方柱为 $4 \times 4h$, 中心埋深 $H_0 = 7h$, 复盖层电阻率 ρ 同方柱电阻率 ρ_1 , 是介质电阻率 ρ_0 的十分之一, 即 $\rho = \rho_1 = 0.1\rho_0$, 采用 $AB = 2$, $A'B' = 36h$, 如图1所示。在进行定深度观测时, 首先用 $n = 0.5$ ($n_0 = 0.4984498799$) 进行测量, 我们知道当没有复盖层时, 用上述选择进行测量, 异常将非常突出, 但在有复盖层时, 异常如图1曲线①所示, 在方柱

体上方异常很微弱。当改变 n 值用非均匀介质选择 n 值的公式 $n = \frac{K'}{K} \cdot \frac{\rho_1^{AB}}{\rho_1^{A'B'}}$ 重新选择 $n = 0.65$ 时, 异常如曲线②所示, 在方柱体的上方出现很明显的异常。为什么有低阻复盖层时, 同样选择均匀介质的 n 时异常不明显了呢? 我们从定深度装置地表中心一点视电阻率一级近似表达式

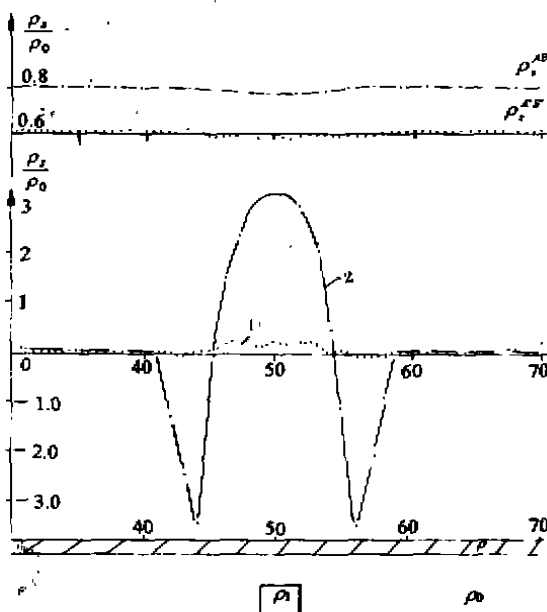


图1 电阻网络实验对比图

本文1996年3月收到, 张旭明编辑。

* 定深度电法是李治华教授70年代提出的一种提高电法勘探深度、压制干扰的新方法。后又改名为可控深度电法。

$$\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} = 2 \frac{\mu - 1}{1 + 2\mu} \cdot \left(\frac{a}{H}\right)^3 \cdot \frac{j_h}{j_0}$$

中可知:地质体几何参数已定,视电阻率大小就决定于 j_h/j_0 的大小,并且和 j_h/j_0 成正比,现在选择均匀介质的 n 值,异常不明显,很大成分是 j_h/j_0 比值发生了变化,定深度电法为突出异常,采用了减小 j_0 的办法,如果是 j_h/j_0 发生了变化,也就是 j_0 相对地变大而引起,使异常变的不明显。复盖层为低阻层这样当供电时就要吸引电流,使地表电流密度增加,极距中心点电流密度值加大,改变了原来 j_h/j_0 的比值, j_0 相对地增大,使 j_h/j_0 比值减小,异常变小。在有低阻复盖层的非均匀介质当中,为突出异常,同样使 j_0 变小趋近于零,异常就又突出出来了,如图 1 曲线②所示。办法就是改变 n 值,这个新的 n 值的求得就是设定深度中心点的电位差为零推导而出:

$$n_0 = \frac{K'}{K} \cdot \frac{\rho_i^{AB}}{\rho_i^{A'B'}}$$

当用该公式计算,选用 $n = 0.65$ 时,使 j_0 又重新恢复到零值附近,克服了低阻层的作用,使异常重新突出。从电阻网络低阻复盖层电流密度分布曲线就可进一步证明这个问题。如图 2 所示。曲线在 $n = n_0$ 时的

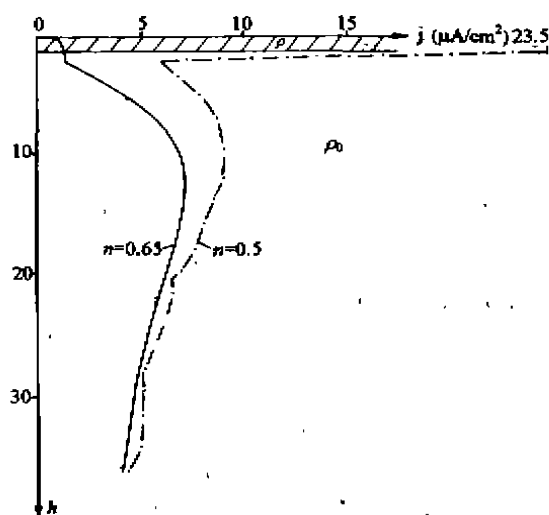


图 2 电阻网络低阻复盖层电流密度分布曲线图

电流密度分布的情况和 $n > n_0$ 时电流密度分布的情况,在表层显然有很大区别,当采用均匀介质的 n 值即 $n = n_0$ 时,由于低阻复盖层的存在,吸引电流,使定深度装置地表中心点电流密度值达 $23.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,而在埋深 $H_0 = 7h$,即方柱中心深度处,电流密度为 $8.75 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, $j_h/j_0 = 8.75/23.5 = 0.37$ 。当用非均匀介质的 n 值即 $n = 0.65$ 观测 $j_0 = 0.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,方柱中心埋深处的电流密度为 $5.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, j_h 值虽然低了,但 j_0 很小, $j_h/j_0 = 6.4$ 。后者远远大于前者,用非均匀介质的 n 值观测的 j_h/j_0 是用均匀介质 n 值观测 j_h/j_0 的 17 倍,由定深度电阻率的表达式可知,二者的异常值也应相差 17 倍。由图 1 可看出,用均匀介质的 n 值观测异常最大为 0.3,一般在 0.2;用非均匀介质的 n 值观测异常值达 3.3,是均匀介质 n 值观测一般异常值(0.2)的 16.5 倍,基本和理论符合。

水平层状介质中的 n 值的选择是很重要的,用均匀介质的 n 值在水平层状介质中应用不能取得好的效果,只有应用 $n_0 = \frac{K'}{K} \cdot \frac{\rho_i^{AB}}{\rho_i^{A'B'}}$ 公式重新选择的 n 值才能获得好的效果。由公式可以看出,当在均匀介质时 $\rho_i^{AB} = \rho_i^{A'B'}$, $n_0 = \frac{K'}{K} = m^2 = \frac{A'O^2}{AO^2}$;当在层状介质时,如下部为高阻,上面电阻率较低时, $\rho_i^{AB} > \rho_i^{A'B'}$, $n_{\text{非}} > n_{\text{均}}$,当上面为高阻时, $\rho_i^{AB} < \rho_i^{A'B'}$, $n_{\text{非}} < n_{\text{均}}$,显然,如还是采用均匀介质当中的 n 时,就不能使地表装置中心点电流密度为零,为了重新校正过来,就要把均匀介质的 n_0 值乘以一个改正系数即 $\rho_i^{AB}/\rho_i^{A'B'}$,用新的 n 值进行计算,也就是将非均匀介质当作均匀介质看待了。这时如有地质体,便能清楚反映出来。

对于多层介质,当进行测深工作时,随着 AB 的增加勘探深度在不断增加,这时 ρ_i^{AB} 反映的也就越来越深,但视电阻率必定是观测装置下各种不同介质的综合反映,虽

然 ρ_i^{AB} 较多地反映了某一介质的电阻率,但也有上面介质的成分, $\rho_i^{A'B'}$ 反映的深度要小一些,但它也是一个综合的反映,在大极距选择 n 值时,虽然也是均匀介质的 n_0 乘以一个 $\rho_i^{AB}/\rho_i^{A'B'}$ 这个系数,但这时的内容已不是单纯的两层介质的情况了。它的实质还是通过 n 值的改变,而使地表电流密度在这种情况下趋近于零,使 j_h/j_0 值增大,突出异常。

在均匀介质中,当 m 值 ($m = \frac{A'O}{AO}$) 固定后,极距中心点下方不同深度的电流密度曲线告诉我们:随着 n 值的增大,电流密度极大值的位置越来越深,电流密度的极值越来越小,相对勘探深度越来越深。在非均匀介质中,也同样有如上的规律,那么我们用均匀介质计算电流密度极大值的深度公式来计算非均匀介质电流密度极大值的深度,结果会怎样呢?我们将电阻网络试验结果列表如下:

n	$Z/j_{\max}$		百分误差 (%)
	试验结果	理论计算	
0.4	19	17.7	6.8
0.43	20	18.3	8.5
0.5	21	19.8	5.7
0.52	21	20.2	3.8
0.55	22	20.8	5.4
0.6	23	21.7	5.6

该结果是在有低阻复盖层时试验的数据,从上表看,试验结果比理论计算的 $Z/j_{\max}$ 都稍深了一些,但误差不大,百分平均误差为 6%。

综上所述,在水平层状介质即非均匀介质中, n 值的选择是个关键,我们主张用 $n = \frac{K'}{K} \cdot \frac{\rho_i^{AB}}{\rho_i^{A'B'}}$ 来选择 n 值。但也有人提出用 $n = \frac{c+1}{c} m^2$ 来选择; c 是灵敏度系数, $c = -\frac{m^2}{m^2-n}$ 。我们将两个公式对比一下就会看

出:

如果 $\frac{c+1}{c} = \frac{\rho_i^{AB}}{\rho_i^{A'B'}}$ 那么两个求 n 值的式子就一样, (因为 $\frac{K'}{K} = m^2$)

$$\frac{c+1}{c} = \frac{-\frac{m^2}{m^2-n} + 1}{-\frac{m^2}{m^2-n}} = \frac{n}{m^2}$$

$$\frac{\rho_i^{AB}}{\rho_i^{A'B'}} = \frac{K \cdot \frac{\Delta V}{I}}{K' \cdot \frac{\Delta V'}{n \cdot I}} = \frac{n}{m^2} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta V'}$$

显然在均匀介质当中是可以 $n = \frac{c+1}{c} m^2$ 来选择的。但在非均匀介质中,如 c 值选择的好,也同样可以获得好的结果,如“试论提高电法勘探深度压制干扰的途径”一文中的实例“ $\times \times$ 铜矿区定深度测深 ρ_s, η 拟断面图”所示。该图在选择放大系数 c 时是为某一负值,也就是 $n > m^2$, 过 n_0 装置,即地表反向电流大于正向电流,该矿区地表层为浮土,电阻率较低,由于过 n_0 装置(也就是负装置)克服了地表低阻体对电流的吸引,使极距中点 j_0 的值接近于均匀场时的值,即趋近于零,所以取得了效果,另外该断面用同一个放大系数也是取得效果的原因之一。由此看来用 $n = \frac{c+1}{c} m^2$ 来选择 n 值有进一步研究的必要。

2 水平方向不均匀介质中的找矿方法、技术

水平方向不均匀介质的存在,同样可以改变定深度装置的异常特征,在进行剖面定深度方法的工作中我们使用两种办法来突出异常。一是 n 值的选择:一般 n 值的计算是以正常场的点为准。这样在进行定深度剖面工作时就能将局部物性体放大,可从中解释地质问题;有时 n 值的选择就要和工作的目的结合起来,如要想突出低阻,那么就要把高阻区作为正常场选 n 值,这样在进行剖

面定深度工作便能将低阻突出。如果想突出高阻,就要在低阻背景区选择 n 值。二是根据所要探测地质体的深度来选择 m 值,也就是根据选定的 n 值来计算在所要探测地质体的深度上, m 选择多大时才能使电流密度达到极大值。如果 n 和 m 选择的好,将取得好的效果。

如图 3,为内蒙某地铬铁矿床常规电法资料,用定深度方法整理后的结果,铬铁矿

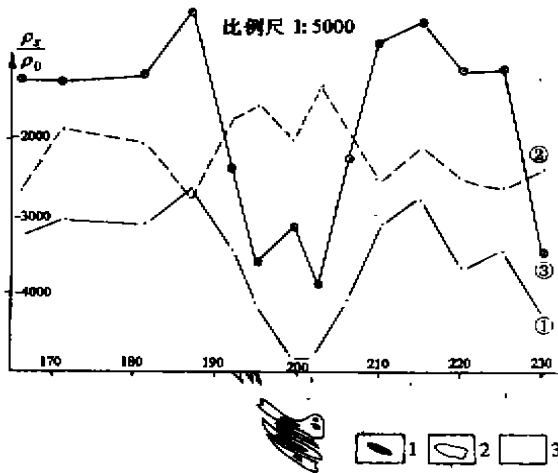


图 3 内蒙某地铬矿床定深度法实验图

1—铬铁矿,2—纯橄岩,3—斜辉辉橄岩

① ρ_{x0}^{40-65} 定深度装置, $AO=340$, $A'O=65$, n = 均匀介质 $n_0 \times 0.95$; ② ρ_{x0}^{40-150} 定深度装置, $AO=340$, $A'O=150$, n = 均匀介质 $n_0 \times 0.95$; ③ ρ_{x0}^{220-40} 定深度装置, $AO=220$, $A'O=40$, n = 均匀介质 $n_0 \times 0.95$

产于斜辉辉橄岩内的纯橄岩当中,纯橄岩向南东方向倾斜,产状较陡,从电参数测定知道,纯橄岩电阻率为 $600\Omega m$,斜辉辉橄岩电阻率为 $2400\Omega m$ 左右,铬铁矿电阻率在 $1500\Omega m$ 左右,但矿体很小,并在低阻纯橄岩当中,较大的纯橄岩包着铬铁矿可当作等效低阻体的组合,以正常场 166 号点计算 n 值,因 166 号点在大片的斜辉辉橄岩当中, ρ_{x0}^{AB} 和 $\rho_{x0}^{A'B'}$ 几乎相同,所以就用了均匀介质的 n 值, $AB/2=340m$, $A'B'/2=65m$, $m=0.19$,在低阻体上方出现很明显异常,如曲线①所示。如 m 选择不当,同样用均匀介质

的 n 值, $AB/2=340m$, $A'B'/2=150m$, $m=0.44$,曲线②反映就不明显,根据公式我们计算 $\frac{Z}{L}=0.52$, $L=177m$,显然极距最佳响应深度已超过地质体等效干扰中心。根据以上所述,同样还采用均匀介质的 n 值,计算一个相当于矿体埋藏中心位置的 m 值,应当得到满意效果,低阻体埋藏中心在 80m 左右,用 $AB/2=220m$, $A'B'/2=40m$, $m=0.182$ 计算的 $L=82m$,异常如曲线③所示,在低阻体上方出现很明显的反映。

3 用定深度装置研究矿体产状及形态

定深度的方法研究表明,无论是电阻率法还是激发极化法,其异常特点与 n 值关系很大。当 $n=n_0$ 时,异常为无穷大,所以实际工作中 n 值的选择不是大于 n_0 ,就是小于 n_0 。当 $n < n_0$ 时,其异常特点与常规电法结果类似,但当 $n > n_0$ 时,由于地下半空间不同深度电流方向不同,异常特征也不同。异常特征取决于地质体的空间位置,当地质体等效中心埋深正处在 $j_k=0$ 的位置时,异常为零,(因为 $j_k/j_0=0$)当地质体等效中心埋深小于 $j_k=0$ 点的深度时,其异常特点与 $n < n_0$ 时相同。如果中心埋深大于 $j_k=0$ 点的深度,其特点与前者正相反,低阻体上得高阻异常,高阻体上得低阻异常。

电阻网络的试验结果也说明了这一点,置倾斜模型为 5×2 个 h 单位,顶深为 $2h$,倾角 45° ,如图 4 所示,极距比 $e/L=0.5$, $MN=2h$,电流比为 0.5,观测采用了 $n > n_0$,并分别观测 ρ_{x0}^{AB} 和 $\rho_{x0}^{A'B'}$,最后计算定深度电阻率值。按观测时的 n 值计算定深度视电阻率在低阻导体的上方出现正异常(因为 $n > n_0$)为了和实际相符,又重新计算了 $n \times 0.9(n < n_0)$ 的定深度视电阻率值,并在拟断面勾绘等值线,由图可以看出,低阻体引起低阻异常,倾向也较清楚。

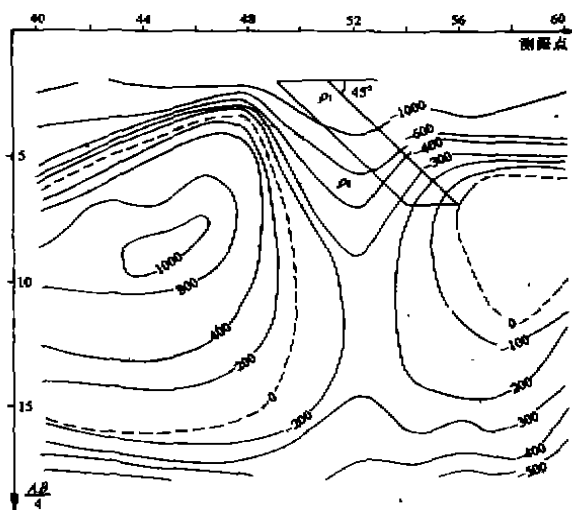


图4 倾斜地质体拟断面图

置倾斜模型 5×2 , 顶深 $2h$; $\rho_1 = 0.1\rho_0$, $AB = 2A'B'$;

$$n = n_0 \times 0.9$$

当 $n > n_0$ 时, 即负装置情况下, 地下某深度 Z_0 处电流密度为零, 在该位置所有地质体产生的异常均被屏障掉, 电阻网络实验

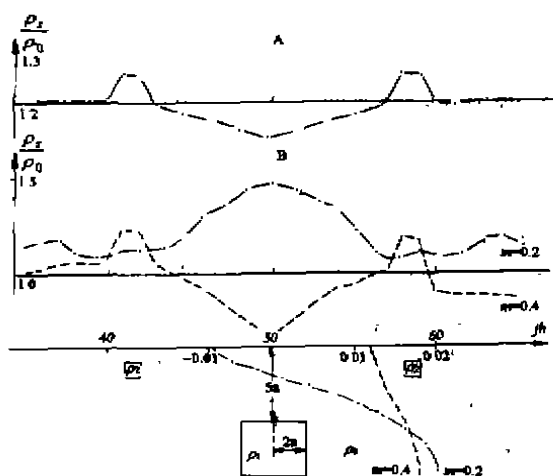


图5 水槽实验定深度法与常规四极法对比图

$n = 0.25$, $\rho_2 = 5\rho_0$, $\rho_1 = 0.1\rho_0$, a = 基本步长; A—常规

对称四极法; B—定深度对称四极法

结果如图5所示, 已证明这一问题。在边长为 $4a$, 中心埋深为 $7a$ 的低阻方柱的上方两侧各放一个边长为 $1a$ 、中埋深为 $1.5a$ 的高阻小方柱, 普通四极法结果均明显将高阻小

方柱反映出来, 低阻大方柱埋深较大, 虽有反映, 但普通四极法的结果反映不明显如图5A所示。用定深度方法观测, 当 $m = 0.2$, $n = 0.25$ 时, 在低阻大方柱的上方出现明显高阻异常, 而高阻小方柱没有反映, 从电流密度曲线可知, 在该深度处电流密度为零, 所以高阻小方柱被屏障掉。当 $m = 0.4$, $n = 0.25$ 时, 因 $n < n_0$, 异常特征和普通四极法相同, 在低阻大方柱上出现低阻异常, 在高阻小方柱上方出现高阻异常。

根据定深度的这一特点即电流密度为零处所有地质体被屏障掉, 便可来定地质体的深度; 当异常被发现后, 在异常上我们能动地改变 n 值, 改变 $j_k = 0$ 这点的位置, 再将异常屏障掉, 可根据公式:

$$\frac{Z_0}{L} \Big|_{j_k=0} = \sqrt{\frac{(m \cdot n)^{2/3} - m^2}{1 - (m \cdot n)^{2/3}}}$$

便可求得这个深度。如果我们能作一条剖面就能确定地质体的产状, 如果能作一块面积, 那么就可将地质体的空间位置定出来。

定深度装置可以使地下某深度处电流密度较为集中, 出现极大值, 我们能动地改变 m 和 n 值, 就可使电流密度极大值也发生位移和变化, 或者保持 m 和 n 值不变, 而使极距 e 和 L 同时增大或减小, 观测不同深度即不同电流密度极大值的位置地质体引起的变化, 在拟断面图上也能得到较好的结果。电流密度极大值的位置可由下式求得:

$$Z_{j_{\max}} = \sqrt{\frac{(m \cdot n)^{2/3} - m^2}{1 - (m \cdot n)^{2/3}}} \cdot L$$

图6为黄铜球定深度激电在水槽当中的模拟结果, 球的半径为 6.7cm , 中心入水深度为 20cm , 采用同时不断加大 e 和 L , 而保持 $n = 0.28$, $m = 0.5$ 不变的测深方法, 按上式计算出各不同极距电流密度极大值的位置, 在拟断面上勾绘 η 等值线。由于是在 $n > n_0$ 即负装置情况下, 观测各电流密度极大值位置引起的异常, 所以极化率为负值,

这和定深度理论是一致的。由图可见上面负值(-10)等值线和球体的位置及形态都吻合的较好,这是由于定深度装置可以使电流密度在某固定位置上相对地集中,这样就突出了该位置地质体的异常,而其它位置受到压制,甚至使影响等于零,这样就可以只反映我们所需位置地质体的异常,当然这就使解释简单化并一目了然。

至於球体下部的负极化率异常是何原因引起,有待进一步研究。

图6是在均匀介质中观测的结果,这种

方法也完全可以应用到非均匀介质中去,并能取得理想的效果。在非均匀介质当中,应用定深度电法勘探, n 值的选择是个关键。因为 n 值的大小直接影响到 j_0 的大小, j_0 的大小影响到异常的大小,但 n 值又是一个和 m 值相匹配的一个值,只有正确地选择 m 和 n 值,才能在希望的带域内得到理想的效果。这方面的实例可从李治华教授在“试论提高电法勘探深度压制干扰的途径”一文中,内蒙古某斑岩型钼矿床上定深度测深的结果进一步证实。

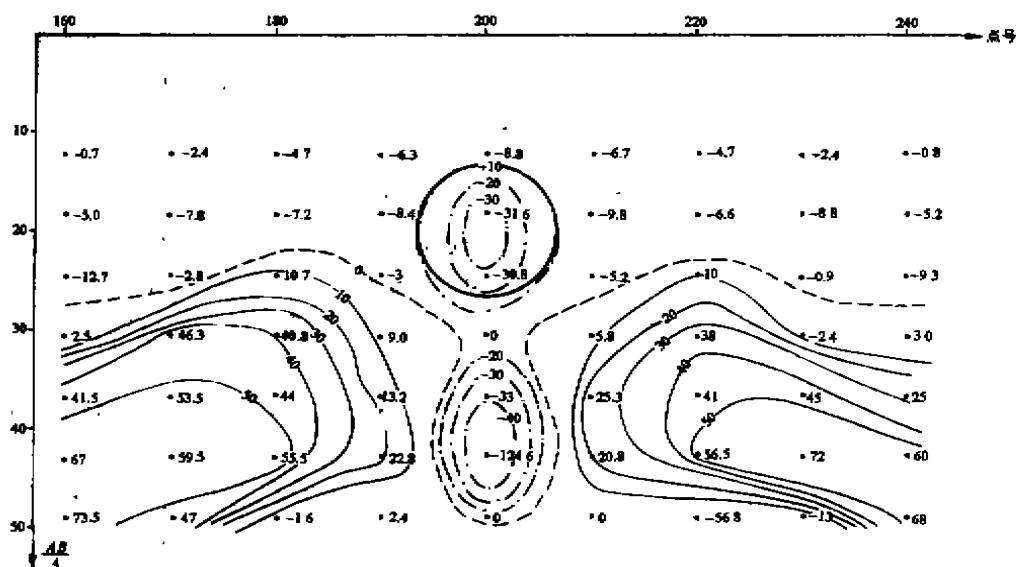


图6 黄铜球体定深度法拟断面图

$AB/2=20,30,40\cdots\cdots 80\text{cm}$; $A'B'/2=10,15,20\cdots\cdots 40\text{cm}$; $MN=4\text{cm}$, $n=0.28$, 黄铜球 $\gamma=6.7\text{cm}$, $H_0=20\text{cm}$

综上所述,由于定深度电探能够提高异常强度,增大勘探深度,并能够根据人们的意愿选择不同深度的带域去进行找矿和研究工作,因此,定深度电法勘探一出现就引起了人们的注意和兴趣,并在野外实验中取得了一些效果,但定深度电法勘探的应用才刚刚开始,问题很多,困难不少,但由于定深

度的独特优点,必将吸引更多的地球物理工作者去工作、去研究,定深度电法勘探必将以一种新的找矿方法而发挥更大作用。

本文是在李治华教授亲自指导下学习定深度电法勘探的一点心得体会,由于水平有限可能有些观点不一定理解正确,敬请指教。

METHOD AND TECHNOLOGY OF DEPTH CONTROLLED IN NONAFFINE MEDIUM

Yang Hongyong