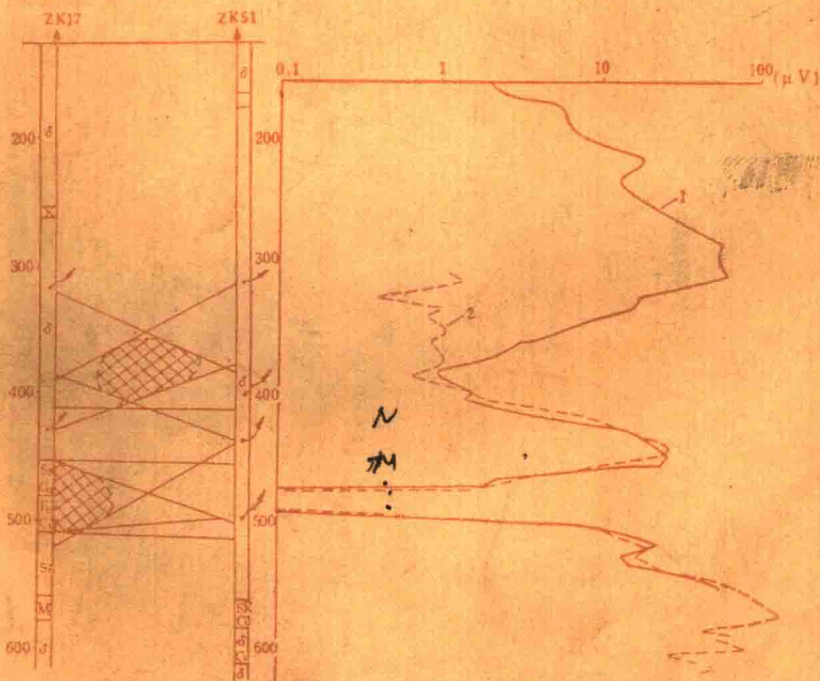


604062

高等学校教材

钻孔地球物理 勘探

蔡柏林 主编



地质出版社

高等学校教材

钻孔地球物理勘探

蔡柏林 主编

地质出版社

* * *

本书经佟文琪主审，经地矿部钻井地球物理编审委员会于1984年9月召开的第四次教材编审委员会审定，同意作为高等学校教材出版。

* * *

高等学校教材
钻孔地球物理勘探

蔡柏林 主编

责任编辑：刘金意

地质出版社出版

(北京西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：9³/₄ 字数：224,000
1986年9月北京第一版·1986年9月北京第一次印刷

印数：1—2,670册 定价：1.55元

统一书号：13038·教256

前 言

钻孔地球物理勘探,简称井中物探,主要用来解决井周围的地质问题,其探测范围为几十米至几百米。原则上所有的地面物探方法都可应用于井中,但近二十多年来,国内外实际应用于生产并已取得一定地质效果的只是磁法和电法,其中如井中三分量磁测,井中电阻率法,自然电场法,激发极化法,低频电磁法以及钻孔电磁波法等。近年来,井中脉冲电磁法,井中声透视,井中压电法和一些井中电化学活动性方法(如接触极化曲线法等)也获得了发展。井中重力测量,用来寻找井周围致密金属矿(如富铜矿、磁铁矿、铬矿等)看来是很有前景的,但由于已制成的井中重力仪的外径过大(11—15cm)所以在金属矿钻孔中的应用受到限制。至于井中地震法,则尚需进行一定的试验研究,才能确定适合于固体矿产普查勘探的方法技术和仪器设备。

井中物探方法的突出优点是可以把场源或测量装置通过钻孔放入地下深处,使其接近探测对象。再则它研究的是地下全空间的物理场的分布特征,可以从不同高度和方位对被探测对象进行观测,因而增大了有用信息份量,减小了地表种种干扰因素,所以它发现深部矿的能力往往比地面物探方法要大。在固体矿产普查勘探中,合理地应用井中物探方法,可在验证地面物化探异常,普查评价矿区远景阶段和勘探阶段发挥显著的作用;诸如发现井周、井底盲矿,确定其空间位置(埋深、离井距离、方位)、形状,产状,追索和圈定矿体或矿化带范围,研究钻孔间矿体的连续性等。藉此,可用它来指导钻进,合理地布置钻孔网。因此它是一种有效而又经济的普查勘探手段。

本书系高等地质院校应用地球物理学专业教材,也可供地球物理勘探工程技术人员使用。在本书中对国内常用的或具有发展前景的井中物探方法理论,工作方法技术及成果解释应用作了较系统的叙述。

本书由蔡柏林主编,黄南晖编写第三章、王惠濂编写第四、第五两章。全书由长春地质学院佟文琪审订。在编写过程中,吴以仁、黄智辉、徐顺、肖慈询、周小翠等同志提出了许多宝贵意见,谨致谢意。并希读者对书中不足之处给予批评指正。

编 者

1985年5月

目 录

前 言

第一章 井中激发极化法	1
第一节 地-井工作方式.....	1
一、地-井方式的工作方法技术.....	1
二、地-井方式的背景场和使用参数.....	3
三、地-井方式的正反演问题.....	6
四、应用实例.....	13
第二节 井-地工作方式.....	16
一、井-地剖面测量.....	17
二、井-地激电测深.....	24
第三节 井中电对比法.....	25
一、井间矿层的电对比理论.....	26
二、井间低阻和高阻岩矿层的电相关性.....	29
三、井间低阻和高阻岩矿层的电不相关性.....	31
思考题.....	33
参考文献.....	33
第二章 井中三分量磁测	34
第一节 地球磁场和岩矿石磁性.....	34
一、地球磁场.....	34
二、岩矿石的磁性.....	35
第二节 井中测磁原理.....	36
一、测量系统的定向问题.....	36
二、测磁原理.....	37
第三节 仪器和野外工作方法技术.....	40
一、JSZ型井中三分量磁力仪.....	40
二、野外工作方法技术.....	41
三、资料整理及成果图示.....	43
第四节 井中三分量磁测的成果解释.....	46
一、两种磁性介质分界面处和有限厚磁性层上的磁场.....	47
二、若干规则形态磁性体的正反演问题.....	50
三、研究磁性体产状的方法.....	72
思考题.....	74
参考文献.....	74
第三章 井中低频电磁法	75
第一节 方法的理论基础.....	75

一、均匀无限介质中低频磁偶极子的场·····	75
二、二次场的频率特性·····	79
三、二次场异常曲线的变化规律·····	81
第二节 模型实验·····	84
一、偶极剖面法·····	84
二、回线法·····	88
第三节 井场测量的仪器·····	90
第四节 井中低频电磁法在金属矿床上的应用·····	92
一、前提条件和能解决的地质任务·····	92
二、技术条件的选择·····	92
三、应用实例·····	94
思考题·····	95
参考文献·····	95
第四章 钻孔电磁波法 ·····	96
第一节 理论基础·····	96
一、振动与波·····	96
二、均匀无限岩石介质中的波·····	97
三、非均匀岩石介质中的波·····	101
第二节 方法技术·····	121
一、测量原理·····	121
二、仪器原理·····	123
三、工作技术及解释·····	125
第三节 方法应用·····	131
一、钻孔电磁波法在金属矿上的应用·····	131
二、钻孔电磁波法在水文、工程上的应用·····	135
三、电磁波法在煤矿井下的应用·····	137
思考题·····	139
参考文献·····	140
第五章 声透视法 ·····	141
第一节 方法的物理基础·····	141
一、脉动声球源的辐射·····	141
二、岩石中声波的吸收·····	142
第二节 工作方法和技术·····	145
一、探测原理和仪器原理·····	145
二、现场工作方法·····	146
第三节 应用·····	147
一、金属和非金属矿方面的应用·····	147
二、水文地质和工程地质方面的应用·····	148
思考题·····	149
参考文献·····	149

第一章 井中激发极化法

井中激发极化法是地面激发极化法在井中的探测和应用，它们的基本原理是相同的。所以有关岩矿石激发极化机理等，本书中不再叙述，读者可参阅地面或井中激发极化法有关教科书和专著。

地面激发极化法由于种种原因其勘探深度受到一定限制。如在低阻厚覆盖的金属矿区，在目前的技术条件下，用它来探查深或小的金属矿体会十分困难，应用井中激发极化法就可弥补这一缺陷。因为它把供电或测量装置放入井中，使其接近矿体，以加强对矿体的激发，或使测量装置接近矿体，增大所观测的异常信号，并可能在矿体的不同高度和各个侧面进行探查。井中观测的另一优点是降低了地形影响，减少了覆盖层的不均匀性对结果的歪曲。异常强度增大，干扰因素降低，最终结果是增大了勘探深度，因此一般说，应用井中激发极化法发现深或小的金属矿体会比地面探测的要大。

根据供电电极和测量电极位置不同(在地面或在井中)井中激发极化法可分为三种工作方式

1. 地表-井中工作方式，简称地-井方式，它是将供电电极布置在地面，测量电极放入钻孔中，沿井深移动电极进行观测。

2. 井中-地表工作方式，简称井-地方式，它是将供电电极 A 置于井中某一深度(或沿井深改变深度)， B 电极在地面为“无穷远”极，测量电极在地面，沿剖面(或固定于某一测点)进行观测。

3. 井中-井中工作方式，简称井-井方式，它是将供电电极 A 置于一个钻孔中某一深度。 B 电极在地面为“无穷远”极，测量电极放入另一钻孔中沿井深进行观测。或将供电和测量电极组成电极系(或装置排列)，把它们放入同一钻孔中，沿井深进行观测，激发极化测井即属此例。

实际工作中，以上几种工作方式是相互联系配合使用的，下面将逐一讨论。

第一节 地-井工作方式

地-井方式是井中激发极化法中目前所采用的主要工作方式，它能用来寻找井旁或井底盲矿，并确定矿体相对于钻孔的方位。

一、地-井方式的工作方法技术

供电电极 A 布置于地面距井口 r 处，或置于井口(直接用套管作 A 极 $r=0$)， B 极在“无穷远”，测量电极(用铅管制作成梯度排列)联结在测井电缆上，沿井深进行点测，如图1-1。

地-井方式特点在于，它利用钻孔使测量装置接近探测矿体，因而矿体引起的激电异常的观测值增大。为了确定井旁盲矿相对于钻孔的方位，地-井方式中通常采用方位测量，

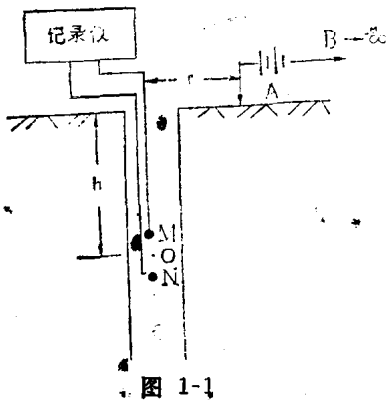


图 1-1

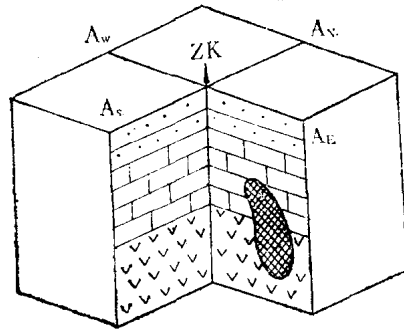


图 1-2

即将地面A极置于钻孔的不同方位，在井中进行逐次测量，如图1-2。

方位测量的实质是，由于A极方位的改变，不断的变化着对井旁盲矿的极化方向和极化强度，然后将各方位测量结果进行对比分析，根据激电异常值和曲线符号的变化特征，判定矿体相对于钻孔的方位。

进行地-井方式的施工程序是，在激电测井的基础上，首先进行套管接地 ($r = 0$) 的地-井方式测量，借以发现井旁盲矿及其深度位置，了解钻孔电性剖面并提供背景值。当发现了井旁盲矿异常或在见矿孔中为了确定它的端部或延展富集方向，这时再进行方位测量。

地-井方式工作方法技术要点如下：

1. 为了发现井旁盲矿，取得背景值和便于对比，套管接地 ($r = 0$) 的地-井方式应每孔必测。进行方位测量时，A极的方位数决定于研究的详细程度，但至少需在通过矿体的主剖面上有 $r = 0$ ，主方位 (预计矿体所在方位)，及反主方位三条地-井曲线，同时不同方位的 r 值应相等，以便对比解释。

2. 地-井方式激电异常幅值与A极距井口距离 r 大小有关，图1-3是 r 与井旁球体激电异常 (参数 η_s 和 ΔV_2^a) 幅值间的关系曲线

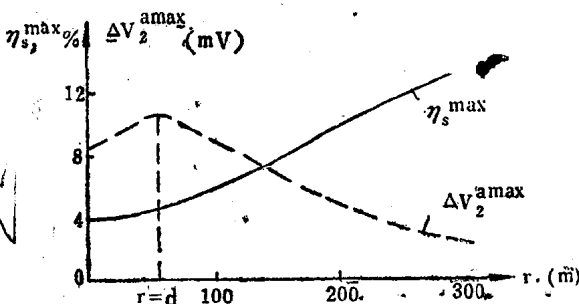


图 1-3

可以看出，对于参数 ΔV_2^a 曲线，仅当 $r = d$ (d 为球体中心距井的距离，计算时设为50m) 时异常最明显。而对于 η_s 说，由于 r 增大时极化场强衰减速度比二次场要大得多，故 η_s 异常随 r 增大而增加。因此，当选择 η_s 为测量参数时，在能保持读数精度条件下应尽可能选用大 r 值。此外，为了便于将主、反方位曲线进行对比，所选用的 r 值应大于预计盲矿距井的距离，在国内使用的供电和测量仪器装备条件下，一般可选用 $r = 100 \sim 300m$ 。

3. 无穷远极B距井口距离必须足够大，距离过小会影响勘探深度和探测范围，并使异常曲线发生畸变，以致造成推断解释上的错误；距离过大又会给工作造成不必要麻烦。当测量采用梯度装置时，可用下式近似的估算无穷远极B距井口的距离 r_B 。

$$r_B = \sqrt{\frac{1}{\sigma^2/3} \left[\left(\frac{r_A}{h} \right)^2 + 1 \right] - 1} \cdot h \quad (1.1)$$

式中 σ 是由于 B 极为非无穷远而造成的允许误差 (可取 $\sigma = 5-10\%$), h 为测量井深, r_A 是 A 极距井口距离, 例如, 选定 $r_A = 100\text{m}$, 井深 $h = 200\text{m}$, 取 $\sigma = 5-10\%$, 则 r_B 约 400m 左右。同时 B 极应布置在远离矿化带所在方向上。

4. 测量装置采用梯度排列时, MN 距选得大一些会给测量带来方便, 并能减小井壁局部不均匀影响, 但会使外来电干扰增大。不过 MN 距离不得超过最小目的层的假厚度, 否则会使异常曲线发生严重畸变, 一般 MN 距离可采用 $5-10\text{m}$, 测点距可等于 MN 距离。

二、地-井方式的背景场和使用参数

同一般物探方法一样, 井中激发极化法的异常场也是相对于非矿围岩的正常背景而言的, 因此研究非矿围岩的背景场对于区分矿体异常有着重要意义。地-井方式的背景场的分布, 比地面激电要复杂些, 这是因为它的作用场是点源场, 测线 (即井轴) 相对于 A 极可以处在不同的方位位置。

1. 均匀半空间地-井方式的背景场

这是一种简单情况的背景场, 设地下充满电阻率为 ρ_1 , 极化率为 η_1 的均匀岩石, 忽略井径的影响 (因为测量电极 MN 的间距大大超过井径), A 极布置在距地面井口距离为 r 处, B 极在“无穷远”, 并假定地面水平, 钻孔倾斜, 其倾角为 δ (或钻孔垂直, 地面倾斜坡度角为 δ), A 极布置在井斜一侧 (或坡下方) 如图 1-4。

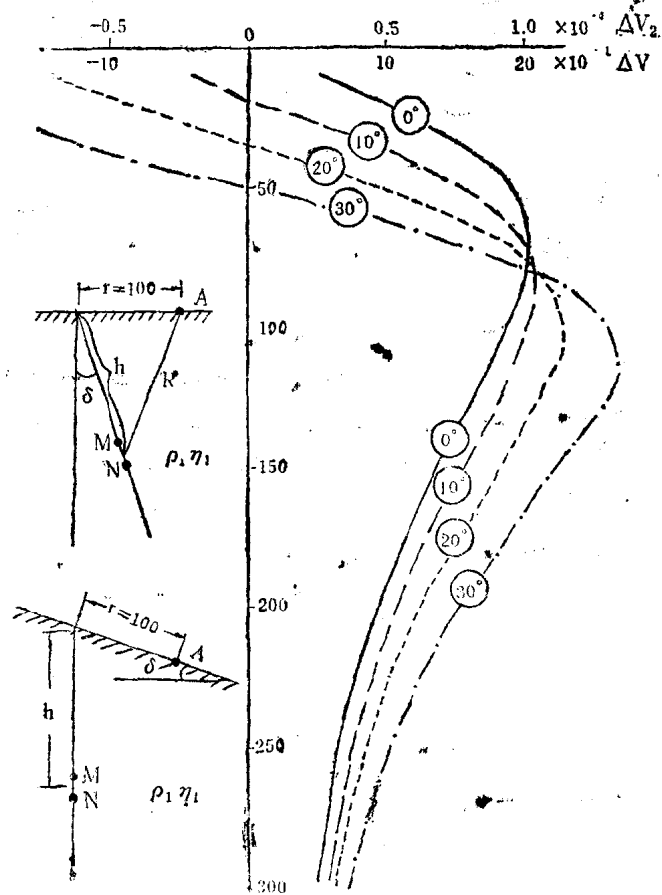


图 1-4

这时很容易得到MN电极间的一次电位差为

$$\Delta V_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \frac{h - r \sin \delta}{(h^2 + r^2 - 2rh \sin \delta)^{3/2}} \cdot \overline{MN} \quad (1.2)$$

根据计算体积极化场的等效电阻率法, 可得到MN电极间极化场电位差

$$\Delta V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \frac{1}{1 - \eta_1} \frac{h - r \sin \delta}{(h^2 + r^2 - 2rh \sin \delta)^{3/2}} \cdot \overline{MN} \quad (1.3)$$

因而二次场电位差为

$$\Delta V_2 = \Delta V - \Delta V_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \frac{\eta_1}{1 - \eta_1} \frac{h - r \sin \delta}{(h^2 + r^2 - 2rh \sin \delta)^{3/2}} \cdot \overline{MN} \quad (1.4)$$

由公式(1.3)和(1.4)得出视极化率为

视极化率 $\eta_s = \frac{\Delta V_2}{\Delta V} 100\% = \eta_1$ (1.5)

这就是说, 在均匀半空间的钻孔中, 地-井方式所得的视极化率 η_s 等于非矿围岩的真极化率 η_1 , 它不会仅仅由于钻孔倾斜或地形起伏影响而出现假异常。

从(1.3)和(1.4)式可以看出, ΔV 和 ΔV_2 之间数值上仅差 η_1 倍, 其曲线形状则是相同的, 图1-4是当 $\delta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ 和 30° 时的 ΔV (或 ΔV_2) 曲线, 从这些曲线可见, 即使是均匀介质, ΔV (或 ΔV_2) 曲线也不平稳, 其曲线形态与钻孔倾斜和地形起伏等因素有关, 在 $h = \frac{r}{2}$ 深度, ΔV (或 ΔV_2) 曲线出现极大值, 在 $h = r \sin \delta$ 深度, ΔV (或 ΔV_2)

均为零值。在该点 η_s 变为没有意义的不定值, 产生脱节 (即出现大正大负) 使 η_s 曲线复杂化而造成解释困难。如果钻孔是直孔 ($\delta = 0^\circ$) 或A极布置在井斜反侧 (或坡上方), 这时 ΔV (或 ΔV_2) 曲线沿井深都是正值, 不再出现过零点现象, η_s 脱节点消失。

在实际工作中为了避免 η_s 脱节这个缺陷, 通常还采用二次电位差异常 ΔV_2^a 和视激电率 G_s 两个参数

$$\Delta V_2^a = \Delta V_2 - \eta_B \Delta V \quad (1.6)$$

式中 ΔV_2 是每一测点实测的二次电位差 (它是矿体和非矿围岩二次电位差之叠加), ΔV 为实测的极化场电位差, η_B 是非矿围岩视极化率的平均值, 即背景值。当井旁无矿体存在, 仅是均匀岩石时, $\eta_B = \eta_1$ 。在地下为均匀岩石时, 由公式(1.3)和(1.4)可见, ΔV_2^a 恒等于零。当井旁存在矿体时, ΔV_2^a 为矿体“二次电位差纯异常值”。 ΔV_2^a 参数受岩矿石电阻率的影响, 同时还与A极至测点距离 R 和供电电流 I 的大小有关, 这是一缺点。这一点在套管接地的地-井方式中表现得最明显, 在钻孔浅部由于测点距套管很近, ΔV 很强 (1.6式中被减数很大), 而使 ΔV_2^a 出现大负值的假象。为了避免这一缺点, 有时使用视激电率 G_s ,

$$G_s = K \frac{\Delta V_2^a}{I} \quad (\Omega \cdot m) \quad (1.7)$$

式中 ΔV_2^a 是每一点实测的二次场电位差, I 是供电电流强度, K 是装置系数。在地-井方式中当MN间距离比A极至井中测点距离 R 足够小时, ($\frac{\overline{MN}}{R} \leq 0.4$)

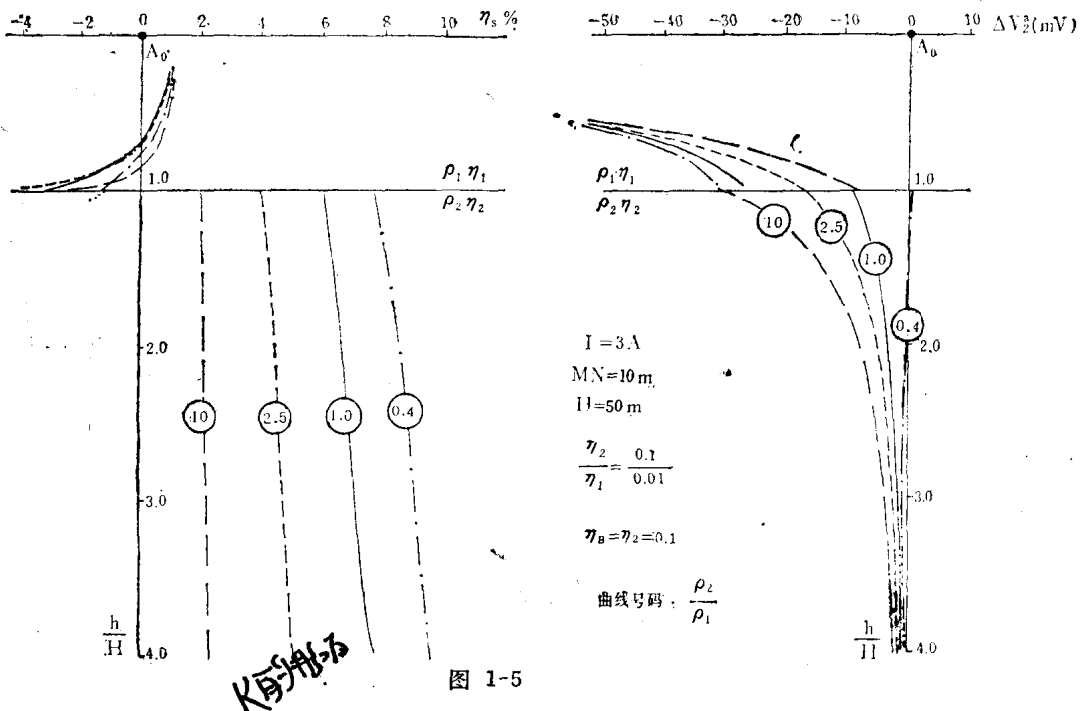
$$K = 2\pi R^2 = 2\pi(h^2 + r^2) \quad (1.8)$$

式中 h 是测点深度, r 是A距井口距离, 由于视激电率 G_s 考虑了距离 R 和供电电流 I 的

影响，故能更好的反映激电异常，特别是对高阻极高化的探测对象。

2. 两层介质地-井方式的背景场

在实际工作中，往往会碰到两层介质的情况，例如，在非矿围岩上覆盖了一层低阻低极化的浮土或氧化带，这种情况的地-井方式背景场比均匀非矿围岩的背景场要复杂些。为了简化起见，假设地下有两种水平接触的均匀岩石，其上层（如浮土，氧化带）的厚度为 H ，电阻率和极化率为 ρ_1, η_1 。下层（非矿围岩）无限延伸，其电阻率为 ρ_2 ，极化率为 η_2 ，并假定 $\eta_2/\eta_1 = 10$ ， $H = 50\text{m}$ ， $MN = 10\text{m}$ ， $I = 3000\text{mA}$ ， $\eta_B = \eta_2 = 0.01$ ，计算套管接地（ $r = 0$ ）时的 η_s 和 ΔV_s^a 理论曲线如图1-5。

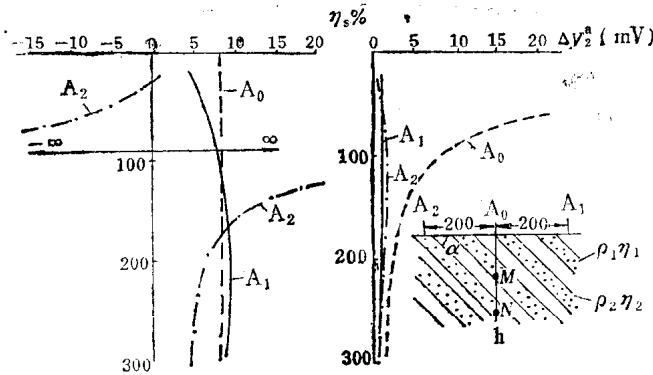


由图可见，在两层介质情况，地-井方式 $r = 0$ 的 η_s 曲线在分界面上将产生脱节，当 MN 电极自地表向分界面移动时， η_s 曲线由上层介质极化率（1%）逐渐减小至零，并变成负值，其原因是随 MN 靠近分界面，由下层介质产生的负值二次场电位差迅速增大之故。 ΔV_s^a 曲线在分界面处亦出现小的脱节，在上层介质中 ΔV_s^a 的大负值是由于 MN 靠近 A 极，而使极化场电位差 ΔV 急剧增大造成的。低阻低极化覆盖层影响的明显特征是使 η 曲线出现正负区，并在分界面上产生大负值（脱节），而在非矿围岩上视极化率明显降低， ρ_2/ρ_1 越大这种降低就越厉害，因而在低阻厚覆盖地区开展地-井方式工作时，常由于在井中观测读数很小，不能保证观测精度而受到限制。应该注意，由于成层界面影响造成的 η_s 曲线脱节，在方位测量时则会在各方位观测的 η_s 曲线上都呈现出来，这是识别这种影响的标志。

3. 各向异性介质的背景场

在实际工作中有时还会遇到地下岩石的电性具有方向性，即各向异性的情况。当地下介质为各向异性时，使地-井方式背景场更复杂化。假设地下介质由电阻率、极化率分别为 ρ_1, η_1 和 ρ_2, η_2 的两种等厚度薄层交错成层组成，岩层倾角为 α ，钻孔垂直并忽略井的

影响 (见图1-6)。



$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1000}{100}, \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{0.02}{0.1} \quad \alpha = 45^\circ \quad r = 200\text{m} \quad MN = 10\text{m}$$

图 1-6

显然这时顺着岩层方向和垂直岩层面方向的电性是不同的,前者尤如一组电阻并联,后者则为串联。对于这样的介质,假定 $\alpha = 45^\circ$, 对 $r = 0$, $r = \pm 200$ 的理论计算结果示于图1-6, 从图中可以看出, 当 A 极布置在岩层的反倾向一边时 (A_2), η_s 由于 ΔV 过零而出现脱节, 使曲线复杂化。该脱节点的深度 h_∞ 与岩层倾角 α , 各向异性程度 λ_e , 以及 A 距井距离 r 有关

$$h_\infty = \frac{(1 - \lambda_e^2) \sin 2\alpha}{2(\sin^2 \alpha + \lambda_e^2 \cos^2 \alpha)} \cdot r \quad (1.9)$$

当 A 极布置在井口 (A_0) 或岩层倾向一边 (A_1) 时, η_s 曲线的形态都比较简单, 且其视极化率值也接近于互层中高级化率层的极化率值。

与 η_s 曲线相比较, ΔV_2^a 曲线的形态要简单得多, 除 A_0 的 ΔV_2^a 曲线在浅部有明显的增大外, 其它曲线都低而较平稳。由此可见, 当矿体的围岩为各向异性时, 应该综合 η_s 和 ΔV_2^a (或 G_s) 几个参数进行解释, 以便从复杂的各向异性背景场上区分出矿体异常。进行方位测量时, 若只在一个方位上 (排除钻孔倾斜或地形坡度影响, A 极又布置在岩层反倾向方向一侧) 出现 η_s 的脱节, 它很可能是岩层各向异性引起的, 这可作为一个识别标志。

三、地-井方式的正反演问题

实际中常用的地-井方式排列有以金属套管作为 A 极 ($r = 0$) 的地-井方式和方位测量法两种。主要地质任务是: 发现井旁盲矿, 确定其相对于钻孔的方位; 预报井底盲矿, 估计其见矿深度, 以便指导钻探布孔和钻进, 提高见矿率。

1. 发现井旁盲矿, 确定其空间位置

现以井旁体极化板状体为例说明, 实际呈脉状或单一层状产出的金属矿体都可用板状体模拟来讨论其激发极化二次场。板状体按其厚度 $2b$ 与板中心距井距离 d 之间比例大小, 可分厚板和薄板两种。 $2b \ll d$ 时为薄板, 否则是厚板。

研究体极化或面极化板状体的激发极化场的异常效应, 现用的理论研究方法有以下两种: 第一假定作用场是均匀场, 板状体为均匀体极化二度体, 并忽略地球-空气分界面影

响,这时可用电磁类比法获得激发极化二次场的解析解,并可获得较满意的地质解释。实际中只有当金属矿体埋深较大,沿走向和倾向其截面都较稳定,走向长度远大于矿体距井的距离,供电A极与井轴所在剖面通过矿体中部,矿体和围岩间电阻率差别不大时,上述假设条件才可满足。第二上述假设条件十分苛刻,实际工作中不可能完全满足。为了更接近实际,通常采用人造体极化或面极化板状体模型在水槽中进行物理模拟的方法研究其激发极化二次场的分布特征。近年来还发展了数值模拟方法。以下将着重叙述采用电磁类比法所获得的部分结果。

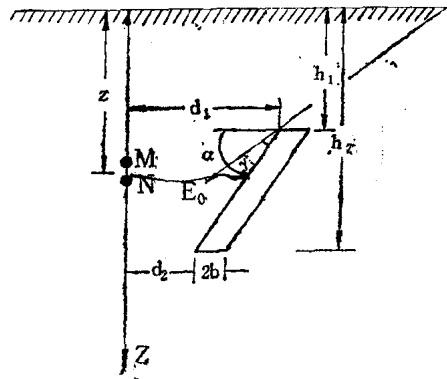


图 1-7

(1) 井旁体极化厚板

根据电磁类比法可导出斜极化有限延伸倾斜二度厚板(厚度 $2b$)的地-井方式 ΔV_2^a 表达式

$$\Delta V_2^a = K \left\{ \cos \gamma \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d_1^2 + 2bd_1} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_2)}{(z-h_2)^2 + d_2^2 + 2bd_2} \right] + \frac{1}{2} \sin \gamma \left[\ln \frac{(z-h_1)^2 + (d_1+2b)^2}{(z-h_1)^2 + d_1^2} - \ln \frac{(z-h_2)^2 + (d_2+2b)^2}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right] \right\} \cdot \overline{MN} \quad (1.10)$$

式中 K 是与作用场场强、围岩及厚板的电阻率、厚板的激发极化特性有关的系数,其它符号的定义详见图1-7。

对于井旁斜极化直立有限延伸厚板,由于 $d_1 = d_2 = d$,公式(1.10)可改写成:

$$\Delta V_2^a = K \left\{ \cos \gamma \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d^2 + 2bd} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_2)}{(z-h_2)^2 + d^2 + 2bd} \right] + \frac{1}{2} \sin \gamma \left[\ln \frac{(z-h_1)^2 + (d+2b)^2}{(z-h_1)^2 + d^2} - \ln \frac{(z-h_2)^2 + (d+2b)^2}{(z-h_2)^2 + d^2} \right] \right\} \cdot \overline{MN} \quad (1.11)$$

若直立厚板尾端无限延伸,则在测量井段尾端的影响可忽略,公式(1.11)可进一步简化为

$$\Delta V_2^a = K \left[\cos \gamma \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d^2 + 2bd} - \frac{1}{2} \sin \gamma \ln \frac{(z-h_1)^2 + (d+2b)^2}{(z-h_1)^2 + d^2} \right] \cdot \overline{MN} \quad (1.12)$$

对斜极化、向井倾斜、向上延伸很大的厚板,由于 $d_1 \gg d_2$,起主要作用的将是厚板的近井尾端,而其顶端影响则可忽略。公式(1.10)变为

$$\Delta V_2^a = K \left[\cos \gamma \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_2)}{(z-h_2)^2 + d_2^2 + 2bd_2} - \frac{1}{2} \sin \gamma \ln \frac{(z-h_2)^2 + (d_2+2b)^2}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right] \cdot \overline{MN} \quad (1.13)$$

同理可写出离井倾斜、向下延伸很大($d_2 \gg d_1$)厚板的 ΔV_2^a 表达式

$$\Delta V_2^a = K \left[\cos \gamma \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d_1^2 + 2bd_1} \right]$$

$$-\frac{1}{2} \sin \gamma \ln \frac{(2-h_1)^2 + (2b+d_1)^2}{(z-h_1)^2 + d_1^2} \Big] \cdot \overline{MN} \quad (1.14)$$

(2) 井旁体极化薄板

薄板是 $2b \ll d$ 时厚板的一种特例，因此斜极化有限延伸体极化倾斜薄板的 ΔV_2^a 表达式可用公式(1.10)简化求得。因为当 $2b \ll d$ 时，公式中

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}^{-1} \frac{2b(z-h)}{(z-h)^2 + d^2 + 2bd} &= \frac{2b(z-h)}{(z-h)^2 + d^2} \\ \ln \frac{(z-h)^2 + d^2}{(z-h)^2 + (d+2b)^2} &= 2 \left(\frac{2bd}{(z-h)^2 + d^2} \right) \end{aligned}$$

简化后得

$$\begin{aligned} \Delta V_2^a = K \Big\{ \cos \gamma \left[\frac{(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d_1^2} - \frac{(z-h_2)}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right] \right. \\ \left. + \sin \gamma \left[\frac{d_1}{(z-h_1)^2 + d_1^2} - \frac{d_2}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right] \right\} \cdot \overline{MN} \quad (1.15) \end{aligned}$$

式中 K 是与作用场场强、围岩及薄板电阻率和激发极化特性以及与厚度有关的系数；其它符号参看图 1-7。

对向井倾斜、向上延伸很大的薄板，由于 $d_1 \gg d_2$ ，这时起主要作用的将是板的近井尾端，所以 ΔV_2^a 表达式可由(1.15)式进一步简化得出

$$\begin{aligned} \Delta V_2^a = -K \left[\cos \gamma \frac{(z-h_2)}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right. \\ \left. + \sin \gamma \frac{d_2}{(z-h_2)^2 + d_2^2} \right] \cdot \overline{MN} \quad (1.16) \end{aligned}$$

对离井倾斜向下延伸很大的薄板，由于 $d_2 \gg d_1$ ，这时起主要作用的将是板的近井顶端。同理可得

$$\begin{aligned} \Delta V_2^a = K \left[\cos \gamma \frac{(z-h_1)}{(z-h_1)^2 + d_1^2} \right. \\ \left. + \sin \gamma \frac{d_1}{(z-h_1)^2 + d_1^2} \right] \cdot \overline{MN} \quad (1.17) \end{aligned}$$

图 1-8 和图 1-9 分别是用公式(1.15)、(1.16)和(1.17)算得的有限延伸或无限延伸的体极化二度倾斜薄板的方位测量 ΔV_2^a 理论曲线。为了便于定性分析，还绘出了主方位上二次电流线的分布。由图中可见：

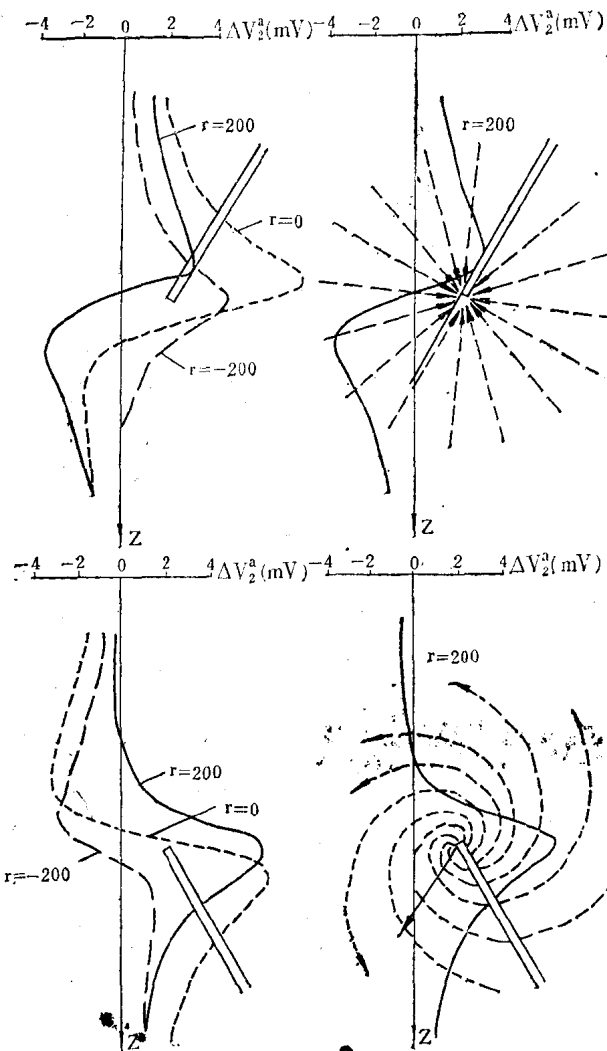


图 1-8

a. 在大多数情况下, 有限延伸或无限延伸倾斜薄板主方位($r = 200$)的 ΔV_2^a 曲线均大体呈上正下负的“反S形”, 反方位上

($r = -200$) 则呈上负下正的“正S形”, 反方位上的 ΔV_2^a 异常幅值比主方位的小。这里仅需说明两点(见图1-9), 其一, 离井倾斜的无限延伸薄板主方位上 ΔV_2^a 曲线并不呈“反S形”, 这是因为薄板极化后的等效正电流源面是在背井一侧且延伸无限大, 故 ΔV_2^a 正异常也向下延伸至无限大而不会再出现负异常; 其二, 向井倾斜、向上无限延伸的薄板主方位的 ΔV_2^a 曲线幅值反而减小, 这是由于在理论计算假设的具体条件下, 主方位A点源正好使薄板顺层极化, 这样薄板极化后的等效电流源的分布就只有位于板尾的单一线极, 故二次场减小。排除这些因素, 仍可用主、反方位上 ΔV_2^a 曲线幅值的大小和符号变化特征这两个基本标志来发现井旁薄板状矿体, 并确定其相对于钻孔的方位。

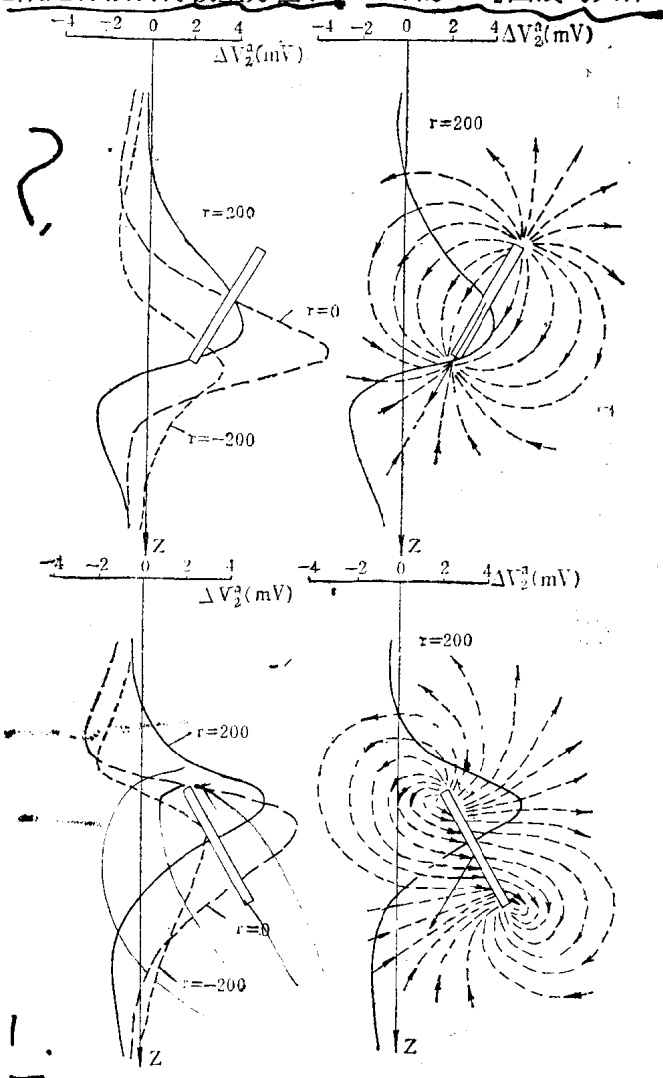


图1-9

b. 当薄板倾斜时, 对地-井方式 ΔV_2^a 曲线形态起主要作用的将只是板的近井端。所以向井倾斜时主方位 ΔV_2^a 曲线的正极值将出现在正异常区下部, 离井倾斜时是在上部。这些正极值的深度位置大致接近于薄板的近井端埋深。

c. 倾斜薄板状体延伸越大, 主方位上的 ΔV_2^a 正异常区沿薄极延伸方向(向上或向下)的伸展也越大。当倾斜薄板无限延伸时, 从理论上讲, 主方位上的 ΔV_2^a 曲线正异常区应伸展到无限远才收敛。

d. 对斜极化无限延伸薄板的 ΔV_2^a 曲线, 可用以下关系式求出其近井端埋深 h 和离井距离 d

$$(\Delta V_2^a)_{z=0} = (\Delta V_2^a)_{\max} + (\Delta V_2^a)_{\min} \quad (1.18)$$

$$d = \sqrt{|\min Z \cdot Z_{\max}|} \quad (1.19)$$

式中 Z_{\max} 、 Z_{\min} 为 ΔV_2^a 曲线极大值和极小值的Z坐标, 如图1-10

2. 预报井底盲矿, 确定其深度

在钻探施工过程中预报井底盲矿, 可以决定钻探是否终孔。因此, 及时查明井底有无矿体存在是一项十分有意义的工作, 它既能节约钻探工作量, 又不至于漏矿。这项工作往

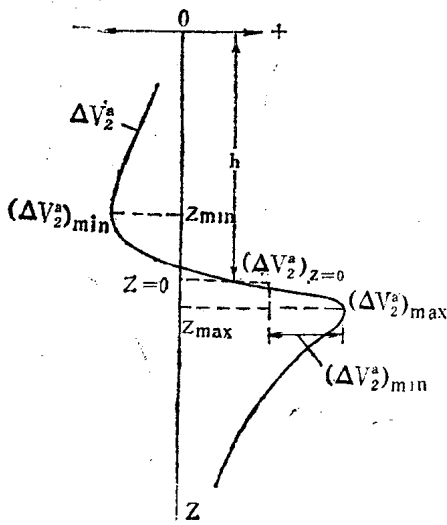


图 1-10

用表达式为

$$\Delta V_2^a = G \frac{1}{Z^m} \quad (1-20)$$

式中 $Z = (z - h)$; G 是常数, 在给定的地球物理条件下, 它决定于剩余极化率、作用场和极化体的大小以及测量电极间的距离; m 是幂次, 它取决于极化体的形状, 对于薄板

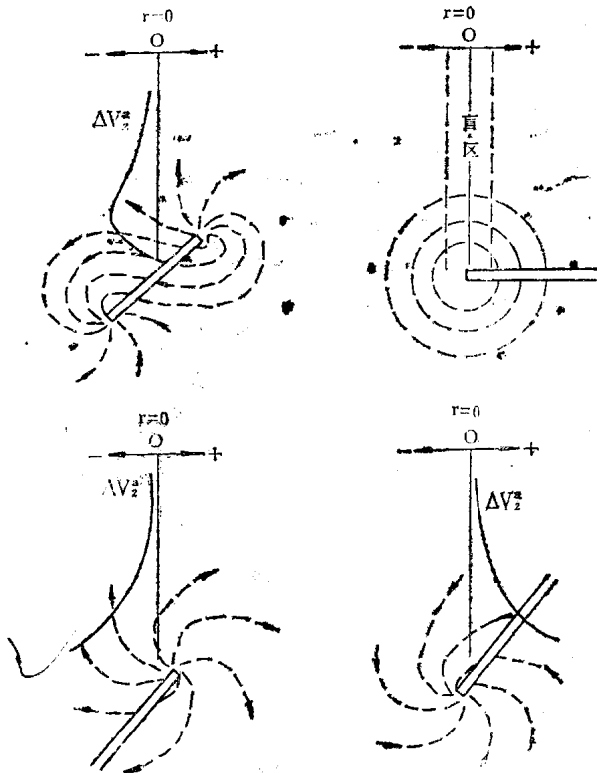


图 1-12

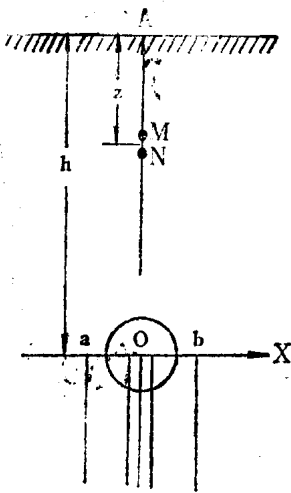


图 1-11

$m=1$, 圆柱体 $m=2$, 球体 $m=3$; h 为井底盲矿埋深; z 为测点坐标。

同理, 可写出井底直立厚板的 ΔV_2^a 关系式

$$\Delta V_2^a = 2G \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{b}{Z} \right] \quad (1-21)$$

式中 b 是板的半厚度。

从以上两式可见, 随着测点接近井底盲矿, ΔV_2^a 数值会越来越负。其负值增大的速度决定于矿体形状, 因此在获得(1-20)和(1-21)的假设条件下, $r=0$ 地-井方式激电异常的“负张开”是预报井底存在盲矿的标志。但是实际情况要复杂得多, 依据井底盲矿相对于钻孔位置的不同, $r=0$ 地-井方式获得的激电异常可能是“负张开”, 也可能是“正张开”或“回零趋势”, 甚至在井底盲矿上方无异常显示, 出现所谓盲区等等。为了定性地说明这一问题, 在图1-12中示出了四种井底薄板盲矿 $r=0$ 的理论计算 ΔV_2^a 曲线, 以及二次电流线的分布。

分析这些理论曲线, 从而得出应用地-井方式探测井底盲矿需注意的事项

(1) 能查明井底盲矿的主要有利地电条件是: 钻孔下部未穿过矿层及无井旁盲矿异常的叠加, 井壁的干扰因素小, 背景值低而平稳, 井底盲矿与钻孔间的距离不太大。

(2) 当存在井底盲矿时, $r=0$ 地-井方式激电异常曲线 (ΔV_2^a 或 η_s) 反映依井底盲矿相对于钻孔位置的不同可能是“负张开”, 也可能是“正张开”或“回零趋势”, 甚至出现盲区。

(3) 在地-井方式中, 由于 $r=0$ 这种排列 A 极在井底盲矿的正上方, 矿体可近似地视为均匀极化, 其异常曲线 (ΔV_2^a 或 η_s) 的形态较简单, 便于推断解释。因此实际工作中应以 $r=0$ 地-井方式的测量结果为主, 辅以方位测量结果的组合解释, 便于在各种异常反映情况下查明井底盲矿。

在预报井底存在盲矿的基础上, 进一步的问题是确定其深度, 以便提供钻探继续进尺的依据。目前对井底体极化板状体已提出了一些简便的解释方法, 现介绍如下

(1) 顺层极化无限延伸直立薄板 (钻孔在薄板正上方)

(a) 任意点切线法

如图1-13, 过 ΔV_2^a 曲线上任一点 A 作该点的切线 \overline{AB} , 切线与井轴交点为 B 点, A 点在井轴投影点为 C 。以 C 点为圆心, \overline{BC} 为半径作圆, 该圆与井轴下方的交点 D , 即为矿顶位置。

证明: 已知顺层极化无限延伸直立薄板井底盲矿 $r=0$ 的 ΔV_2^a 表达式为

$$\Delta V_2^a = G \frac{1}{Z}$$

式中 $Z = (z - h)$ 。曲线上任意点 A 的斜率为

$$\frac{\Delta(\Delta V_2^a)}{\Delta Z} = \frac{\partial}{\partial Z} (\Delta V_2^a) = G \frac{1}{Z^2} \quad (1.22)$$

求得比值

$$\frac{\Delta V_2^a \sqrt{\quad}}{\frac{\partial}{\partial Z} (\Delta V_2^a)} = \frac{G \frac{1}{Z} \sqrt{\quad}}{G \frac{1}{Z^2}} = Z$$