

Specialist Training Course on EMD

Geophysical Methods

激发极化法

Induced polarization

激发极化法(IP)

- 1 激发极化法概述
- 2 激发极化法基本原理
- 3 激发极化法异常特征
- 4 激发极化法的应用

1 激发极化法概述

1.1 激发极化法的机理

激电效应的机理，目前公认的有两种假设：

电子导体
激化机理

和

离子导体
激化机理

1 激发极化法概述

- 电子导体的激发极化机理

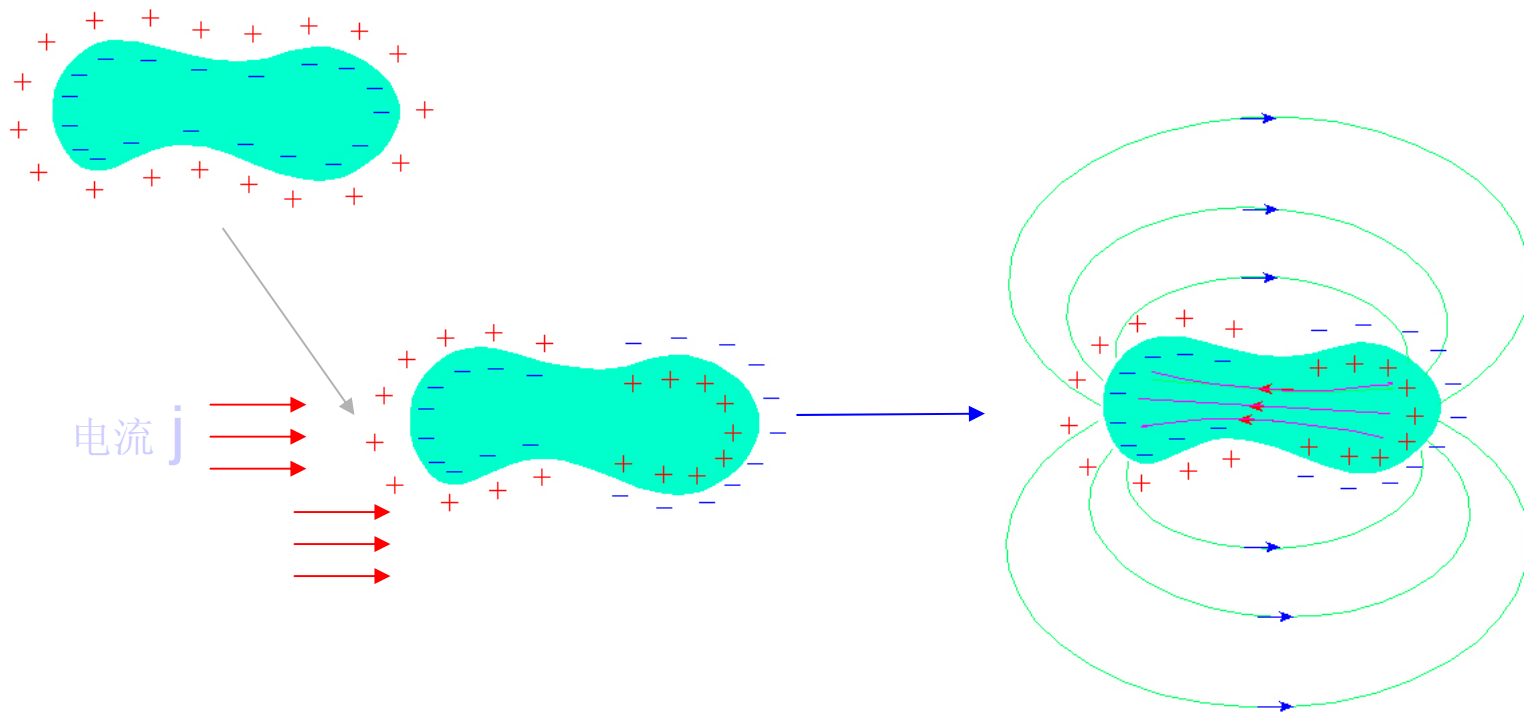
对于电子导体：一般认为是由于电子导体与其周围溶液的界面上发生过电位（overvoltage）的结果。

一般在电子导体与溶液界面上自然形成双电层电位，形成电子导体-溶液系统，当有电流流过时，电子导体内部的电荷将重新分布：自由电子向反电流方向移动，使流入端电荷相对增多，而形成“阴极”；而在电流流出端，则形成“阳极”。

在周围溶液中，与电子导体两极相对，形成阳离子和阴离子的堆积，使自然双电层发生变化。在一定的电流作用下，“电极”和溶液界面上的双电层电位差相对平衡电位的变化，称为“过电位”或“超电压”。

1 激发极化法概述

- 电子导体的激发极化过程



1 激发极化法概述

过电位的产生与电流流过电极—溶液界面相伴随的一系列电化学反应的迟缓性有关。

当电流于“阴极”从溶液进入电子导体时，溶液中的载流子从电子导体表面获得电子，实现电荷的传递；同样，当电流于“阳极”流入溶液时，溶液中的载子（阴离子）将释放电子。若此速度极快，便不会在界面两侧形成异性电荷的堆积，因而不会形成过电位；但实际上电极过程的速度有限，因此形成过电位

随着通电时间的延续，界面两侧堆积的异性电荷将逐渐增多，过电位随之增大，直至过电位便趋于某一个饱和值，不在继续增大。这便是过电位的形成过程或充电过程。过电位的饱和值与流过界面的电流密度有关，并随其增大而增大。

1 激发极化法概述

当外电流断开后，堆积在界面两侧的异性电荷，将通过界面本身、电子导体内部和周围溶液放电，使界面上的电荷分布逐渐恢复到正常的双电层；与此同时，过电位亦随时间逐渐减小，直至最后消失。这就是过电位的放电过程。

除过电位外，电子导体的激电效应还可能与界面上发生的其它物理—化学过程有关。当电流流过电子导体与溶液的界面时，“阴极”和“阳极”上的电解产物附着其上，将会形成具有电阻和电容性质的薄膜；此外，电解产物还可能使“阴极”和“阳极”附近的溶液分别向还原和氧化溶液变化，因而形成类似于自然极化中的那种氧化—还原电场。

1 激发极化法概述

- 离子导体的激化机理

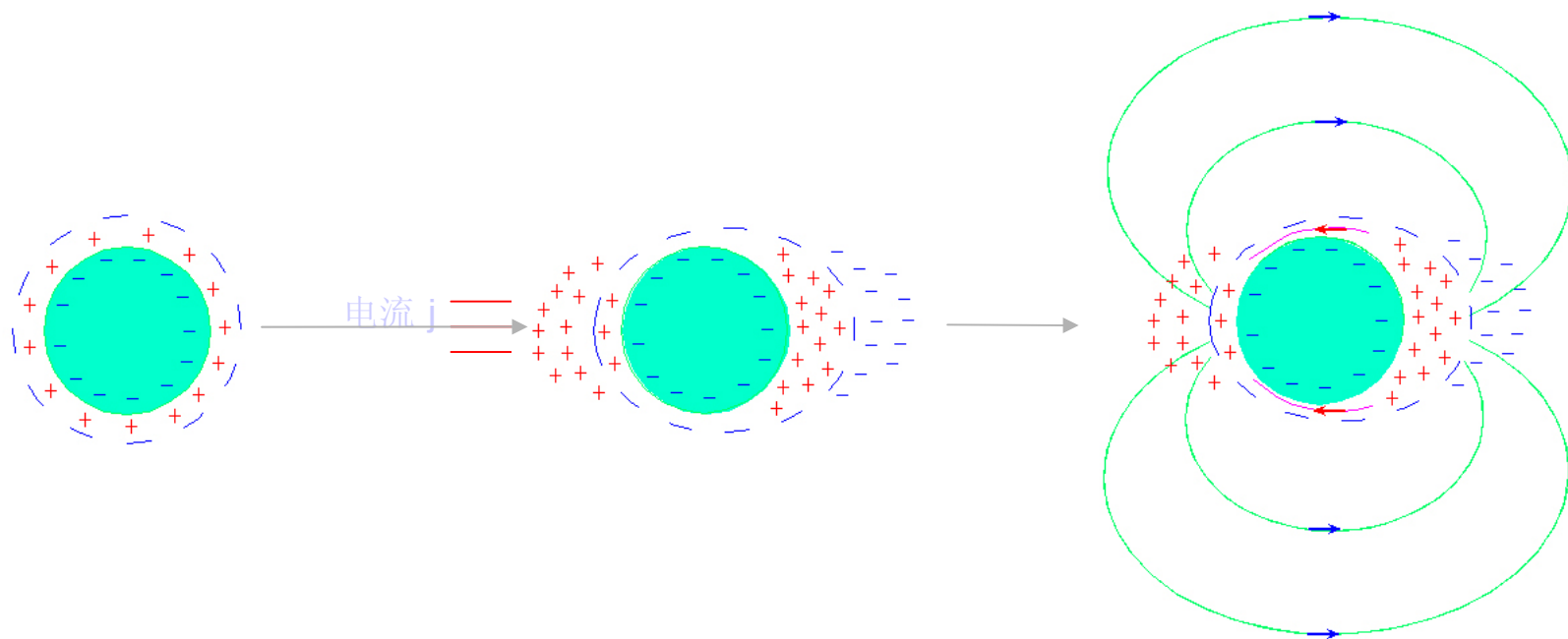
大量野外和室内观测资料表明，不含电子导体的一般岩石也可能产生较明显的激电效应。一般造岩矿物为固体电解质，属离子导体。

关于离子导体，大多认为岩石的激电效应与岩石颗粒和周围溶液界面上的双电层有关。比较有代表性的假说是双电层形变假说：即在外电流作用下，岩石颗粒表面双电层分散区中之阳离子发生位移形成双电层形变；当外电流断开后，堆积的离子放电，以恢复到平衡状态，从而可观测到激发极化电场。

双电层形变形成激发极化的速度和放电的快慢，决定于离子沿颗粒表面移动的速度和路径长短，因而较大的岩石颗粒将有较大的时间常数。

1 激发极化法概述

- 离子导体的激发机理



1 激发极化法概述

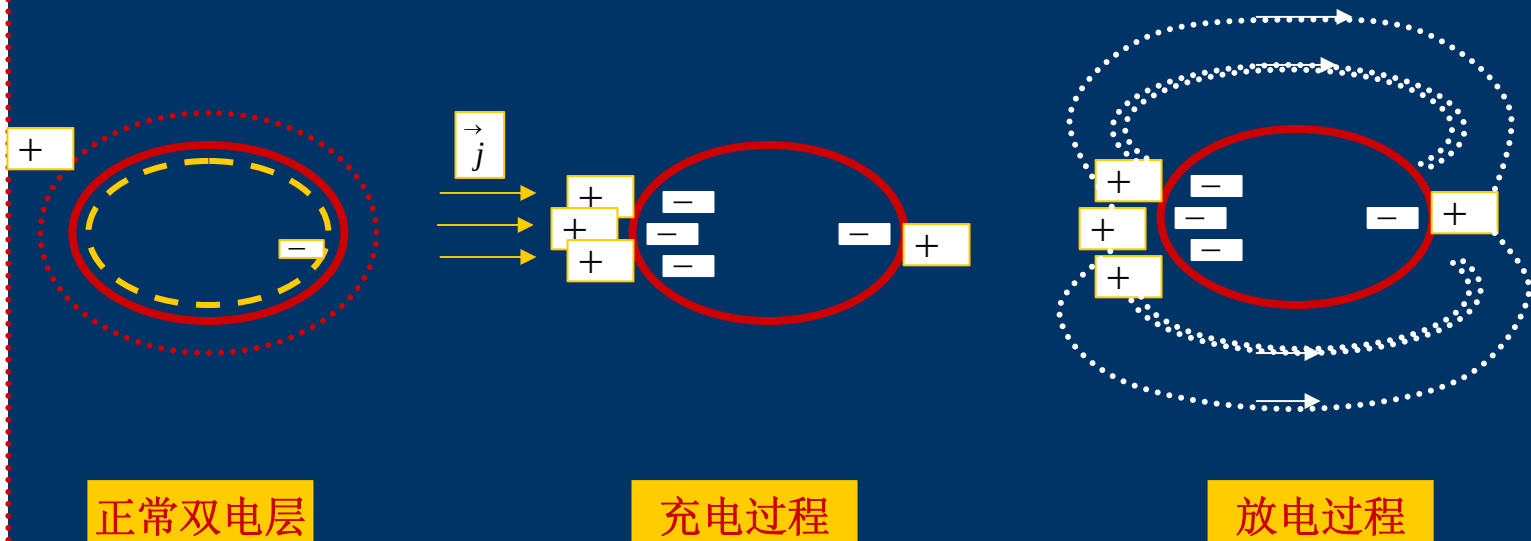
对于均匀岩，矿石（标本或露头）的真激电参数及其性质，大地一般是非均匀性的。在此情况下若仍按均匀岩，矿石测量真激电参数的方法进行观测和计算，则所得的为视激电参数，如视极化率或，视复电阻率，视频率散率和视相位等。激电法正是用一定的电极装置观测这些视激电参数，以推断地下地质情况。

为了合理布置激电法工作和正常推断解释激电异常，必须了解各种电极装置在不同地电条件下的视激电参数分布规律，这就要求进行正演计算。在计算任何一种视激电参数，都需要先计算包括一次场和激电二次场在内的极化总场。

1 激发极化法概述

- 激发极化法概念

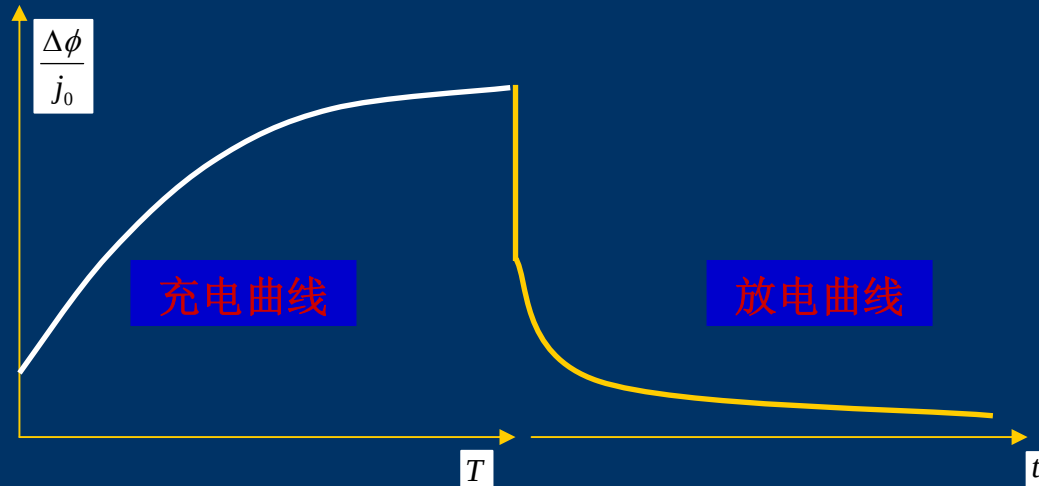
激发极化机理



岩石颗粒表面双电层形变形成激发极化

1 激发极化法概述

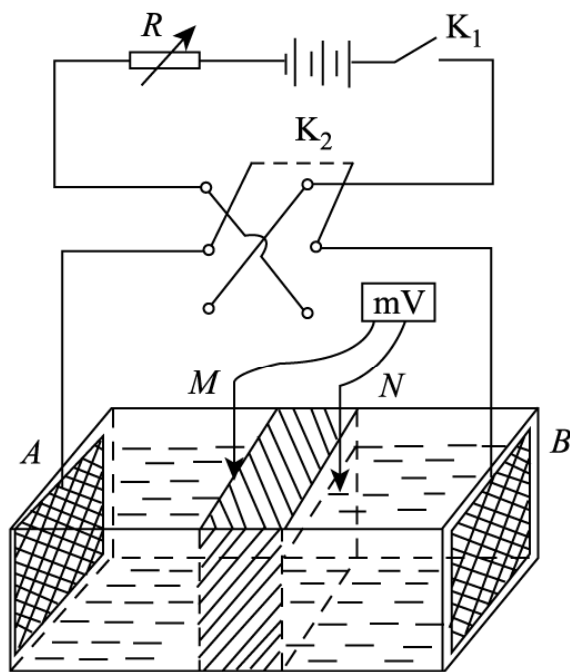
- 激发极化法概念
充放电时间曲线



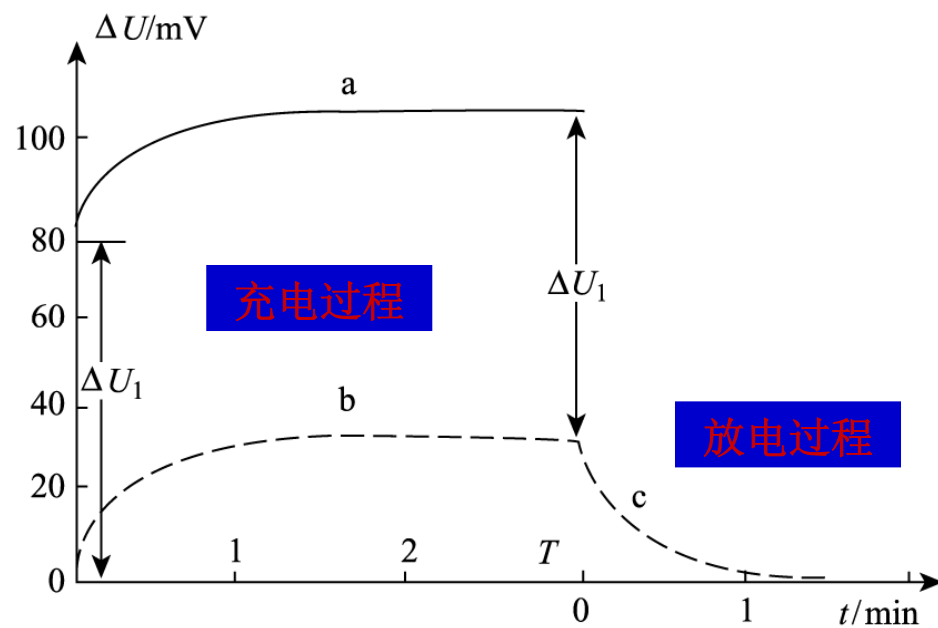
矿石标本过电位的充放电时间曲线

1 激发极化法概述

• 激发极化法概念



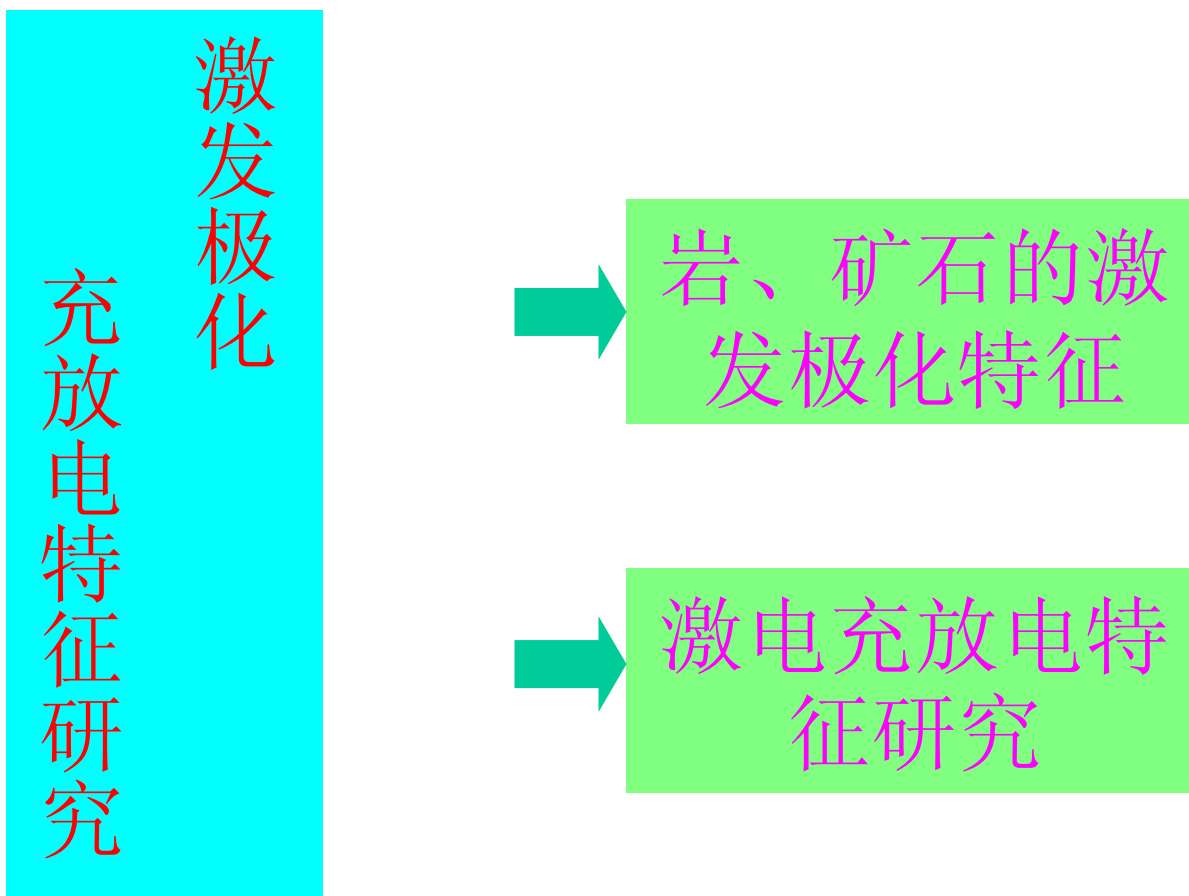
(a)



(b)

矿石标本体极化性质简图

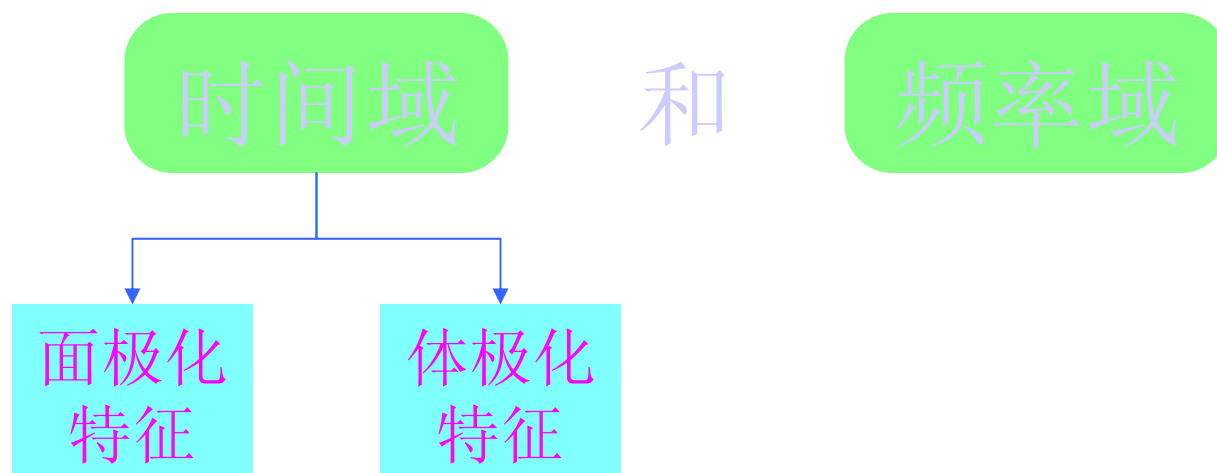
2 激发极化法基本原理



2 激发极化法基本原理

3.1 岩、矿石的激发极化特征

岩、矿石的激发极化特征表现为时间域和频率域



2 激发极化法基本原理

- 3.1.1 时间域的岩、矿石的激发极化特征表述

- (1) 面极化特征

图3-1给出了石墨 (a) 和黄铜矿 (b) 标本在不同电流密度 j_0 的外电流激发下, 阳极过电位 $\Delta \Phi^+$ (实线) 和阴极过电位 $\Delta \Phi^-$ (虚线), 随充电时间 T 和放电时间 t 的变化曲线。

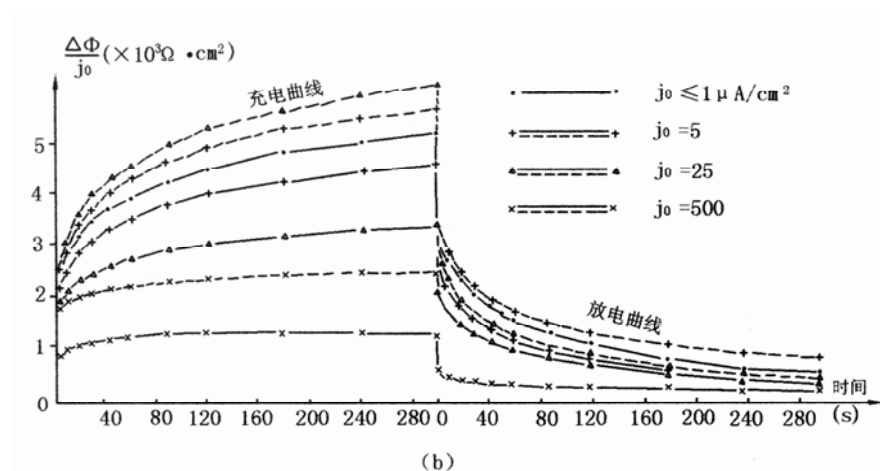
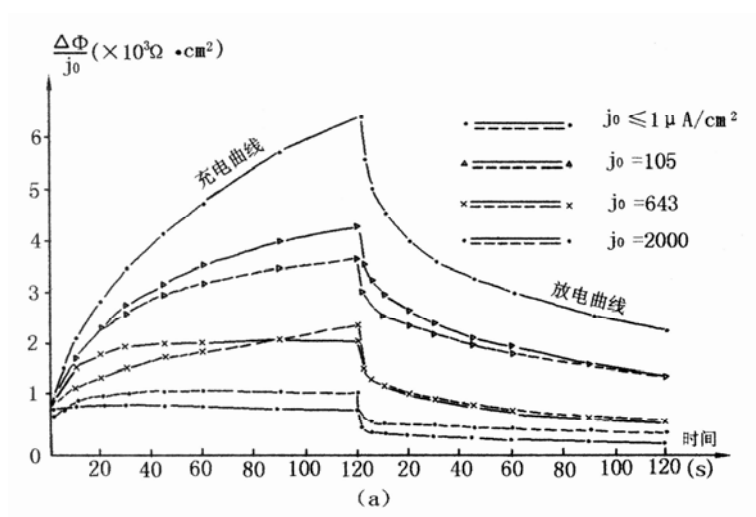
其极化特征主要表现为两个方面:

- ①时间特征

- ②非线性

2 激发极化法基本原理

图3-1 致密矿石阳极（实线）和阴极（虚线）过电位充、放电曲线



2 激发极化法基本原理

①时间特征

图表明，石墨和黄铜矿过电位充、放电曲线的总趋势是相同的；刚开始充电时，过电位随时间很快地增大；随着充电时间的增长，过电位增大的速度逐渐变慢，最后趋于某一“饱和值”。放电曲线与充电曲线成倒像相似。充、放电曲线的这些基本特征，均与矿化岩石（浸染型电子导体）情况相同，但体极化的充、放电过程较面极化快得多。

外电场电流密度越大，过电位充电达饱和值的时间越短。

2 激发极化法基本原理

②非线性

图还表明：

在小电流密度激发下 ($j_0 \leq 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)，过电位 $\Delta \Phi$ 与电流密度 j_0 成正比，即成线性关系；对同一电流密度，阳极过电位 $\Delta \Phi_+$ 和阴极过电位 $\Delta \Phi_-$ 相等（简称阴、阳极极化为均势）。

当大电流密度激发下（石墨 $j_0 \geq 40$ 、黄铜矿 $j_0 \geq 5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ），充、放电曲线明显偏离小电流密度时的相应曲线；同时，阳极过电位曲线（实线）与阴极过电位曲线（虚线）彼此分开。表明了在大电流密度激发下，过电位与电流密度不成正比，即为非线性关系。

2 激发极化法基本原理

在同一电流密度和同一充、放电时间，阴、阳极过电位不相等：

对石墨而言，当 j_0 从小变大时，开始出现阳极过电位大于阴极过电位（简称阳极优势）；但当继续增大 j_0 或当 j_0 相当大而延长充电时间时，便逐渐变为均势，并进而变成阴极过电位大于阳极过电位（即阴极优势）。

黄铜矿的情况则不同，当 j_0 从小变大时，阴、阳极过电位的关系总是阴极优势，而且阴、阳极过电位之差较石墨大得多——黄铜矿（当 $j_0=500 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ，充电时间 $T=20''$ 时），而石墨（当 $j_0=463 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ，充电时间 $T=10''$ 时）。

另外，出现非线性现象时，黄铁矿、方铅矿、磁黄铁矿、磁铁矿等硫化矿阴极过电位大于阳极过电位（即阴极优势）

2 激发极化法基本原理

(2)体极化特征

体极化是分布于整个极化体中的许多微小极化单元之极化效应的总和。表征体极化介质的激发极化效应用极化率 η 表示。

$$\eta(T \cdot t) = \frac{\Delta U_2(t)}{\Delta U(t)} \times 100\%$$

$$\Delta U(T) = \Delta U_1 + \Delta U_2(T)$$

$\Delta U_2(t)$ 为断电后 t 时测得的二次电位差；

ΔU_1 为不随时间变化的一次电位差。。

另外，体极化岩（矿）石极化率还与成份、含量、结构及含水性等多种因素有关。表3-1列出了某些无矿化、矿化岩石极化率值。石墨化、含碳化岩石变化范围大、且高，不易与矿石区分。

2 激发极化法基本原理

- 激发极化特征在频率域的表述

同时间域定义的极化率 η 类似，在频率域中表征介质激发极化性质的量命名为“幅频率” F

$$F = \frac{\Delta U_L - \Delta U_h}{\Delta U_L}$$

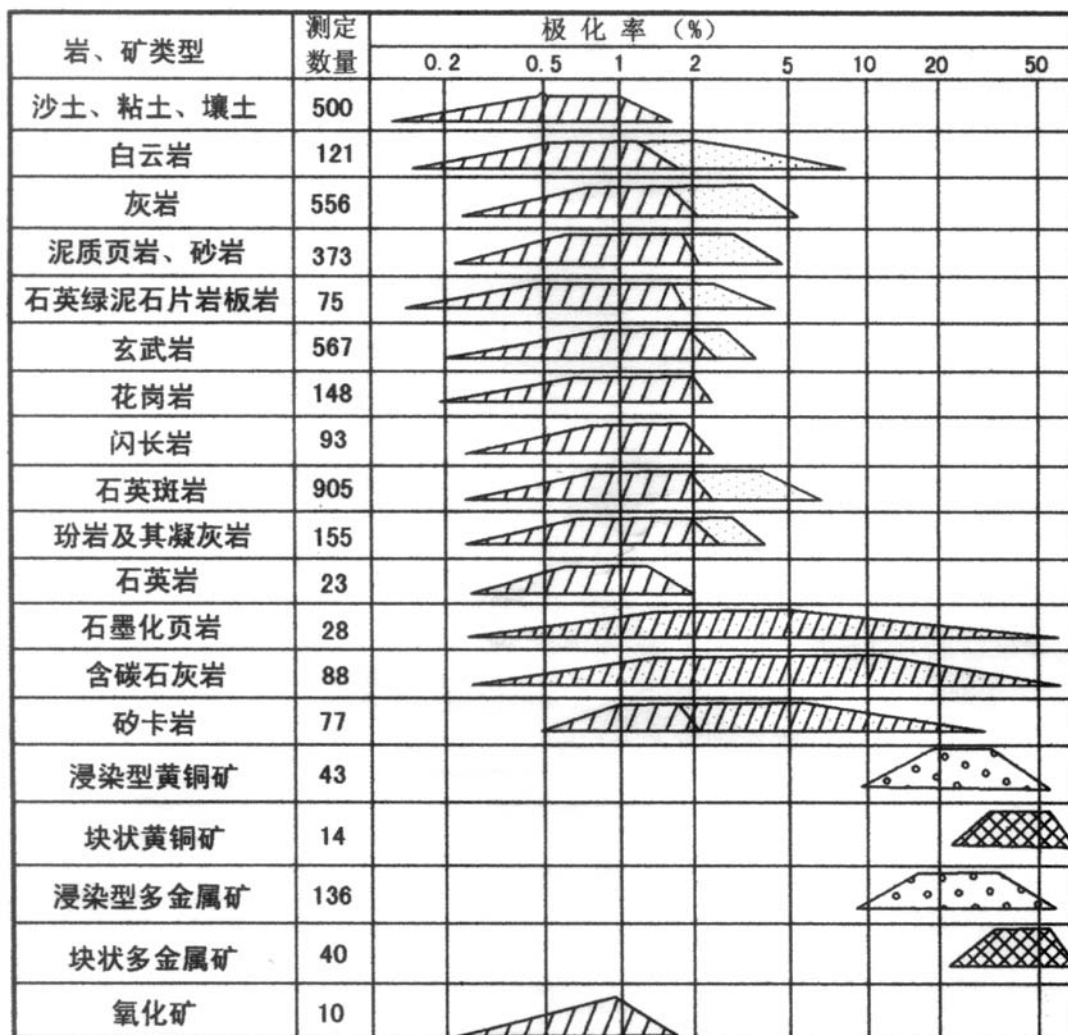
F 的含义是激发极化引起的电位差振幅随频率的变化在极化总场中所占的份额（或百分比）；

ΔU_L ——低频信号感应下测得的电位差；

ΔU_h ——高频信号感应下测得的电位差。

2 激发极化法基本原理

频率域的激发极化特征



- 1-明显不含浸染状电子导体矿物的岩石；
- 2-含浸染状硫化矿物的岩石；
- 3-石墨化岩石；
- 4-浸染状硫化矿；
- 5-块状硫化矿

(图表中梯形下底边基线端点为极化率的极小值和极大值，梯形上顶基角位置是不同作者得到的极化率平均值)

2 激发极化法基本原理

激电充放电特征研究

标本测定

1. 标本测定

从试验工作区地球物理特征知道硫化物矿石（黄铜矿化、方铅矿化花岗斑岩）与其它围岩（白云石大理岩、斜长角闪岩、透辉透闪大理岩、细粒花岗岩等）都有明显的激电异常差异。而含石墨大理岩与黄铜矿化、方铅矿化花岗斑岩单从 η_s 、 F_s 的差异去划分定性异常，是难以到达预期目的。

为了区分黄铜矿化、方铅矿化花岗斑岩与含石墨大理岩异常，利用DDJ-1、WDJF-1仪器测定硫化物矿石、含石墨大理岩等围岩标本的二次电位衰减特性、频率特性。

2 激发极化法基本原理

测定结果

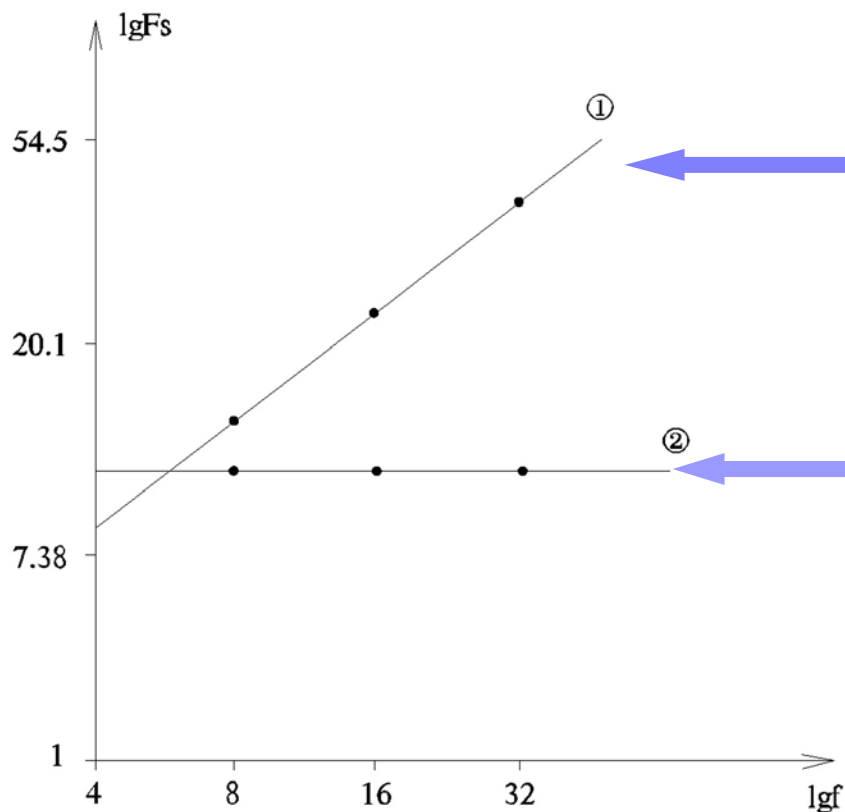
- 含石墨大理岩相对硫化物矿石二次电位衰减稍慢；其频率特性随频率升高而变化，且变化速度较大。
- 黄铜矿化、方铅矿化花岗斑岩的频率特性，不随频率的变化而变化，或者变化速度很小。

因此，从它们的频率特征差异可用来区分激电异常源的性质（见图3-2）。

2 激发极化法基本原理

标本测定

F_s 随频率变化曲线



①含石墨大理岩
(64标本)

②黄铜矿化、方
铅矿化花岗斑岩
(318-5标本)

2 激发极化法基本原理

激电异常区分参数选择和确定

本次试验研究选定的区分参数有4个：

- 时间域三个

视衰减速度 C_s 、

衰减前后段斜率比值 C_{Bs} 、

时间谱参数 C_{Ps} 、

- 频率域一个

频率谱 K_{Fs} 。

3条剖面采用不同供电时间和不同频率段的试验测量，获得了各剖面的各参数异常。从而达到定性划分异常的目的。

2 激发极化法基本原理

- (1) 视衰减速度 (C_s)

在时间域测量中，硫化物矿石与含石墨大理岩放电率异常上有可能存在不同的视衰减速度异常。通过对107块标本、172个中间梯度物理点、4个电测深点，不同供电时间（2"、4"、8"）的1053条衰减曲线的研究发现：二次电位衰减曲线在双对数坐标中近似为一条直线，且斜率（ $\text{tg } \theta_s$ ）可用来表征衰减的速度，即：

$$C_s = \text{tg } \theta_s = \frac{\text{tg } \eta_{s1} - \text{tg } \eta_{s6}}{\text{tg } t_6 - \text{tg } t_1}$$

式中： θ_s 为直线与横坐标的夹角； η_{s1} 为延时 t_1 所测得的 η_s ；

η_{s6} 为延时 t_6 所测得的 η_s ； $t_6 > t_1$ （取 $t_1=75\text{ms}$ ， $t_6=1400\text{ms}$ ）

C_s 值的实际求法是将各测点上采集的六个不同积分段的极化率值（ $\eta_{s1} \sim \eta_{s6}$ ），作最佳线性拟合，求得直线斜率（ C_s ）。

2 激发极化法基本原理

- (2) 衰减前后段斜率的比值 (C_{BS})

在时间域中，短时间供电时衰减的前段和后段的斜率是有所差别的，研究衰减前后段斜率的比值，能定性区分异常，我们拟采用前段三个点 ($\eta_{s1} \sim \eta_{s3}$) 的斜率和后段三个点 ($\eta_{s4} \sim \eta_{s6}$) 的斜率的比值，作为定性区分激电异常的一个参数 (C_{BS})

$$C_{BS} = \frac{\frac{tg \eta_{s1} - tg \eta_{s2}}{tgt_2 - tgt_1} + \frac{tg \eta_{s2} - tg \eta_{s3}}{tgt_3 - tgt_2} + \frac{tg \eta_{s1} - tg \eta_{s2}}{tgt_3 - tgt_1}}{\frac{tg \eta_{s4} - tg \eta_{s5}}{tgt_5 - tgt_4} + \frac{tg \eta_{s5} - tg \eta_{s6}}{tgt_6 - tgt_5} + \frac{tg \eta_{s4} - tg \eta_{s6}}{tgt_6 - tgt_4}}$$

式中：t₁~t₆分别取75、150、300、+550、900、1400ms， C_{BS} 参数反映了不同岩（矿）石体上的衰减前后段速度的差异。

2 激发极化法基本原理

- (3) 时间谱参数 (C_{PS})

利用向地下供不同时间宽度的电流脉冲，研究二次电位衰减斜率的变化，可反映极化体极化效应的时间特征。

利用2s、4s、8s供电时间的测量结果，可得到在双对数坐标中三条斜率不同的衰减直线—不同时间供电衰减斜率的变化。

由图可见，不同供电时间的二次电位衰减斜率发生了变化。根据公式 (3-3) 可求得2s供电相对于4s供电衰减角度变化值 θ_x 。

$$\theta_x = \arctg \frac{tg \theta_2 - tg \theta_4}{1 + tg \theta_2 \cdot tg \theta_4}$$

2 激发极化法基本原理

2s到4s和4s到8s供电时间内，单位时间角度变化的分别平均速度定义为：

$$\theta_{2-4} = \frac{\theta_X}{2} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{C_S^{2''} - C_S^{4''}}{1 + C_S^{2''} \cdot C_S^{4''}} \quad \theta_{4-8} = \frac{1}{4} \operatorname{arctg} \frac{C_S^{4''} - C_S^{8''}}{1 + C_S^{4''} \cdot C_S^{8''}}$$

2s到4s和4s到8s的角速度比值为时间谱参数 C_{PS} 。则

$$C_{PS} = \frac{\theta_{2-4}}{\theta_{4-8}}$$

C_{PS} 表示在不同供电时间下二次电位衰减在双对数坐标中直线斜率的变化，从2s到8s二次电位衰减过程中的变化特征。

时间谱参数 (C_{PS}) 的实际取值，是将不同供电时间测量值，作最佳线性拟合后取 $C_S^{2''}$ 、 $C_S^{4''}$ 、 $C_S^{8''}$ ，然后计算求得。

2 激发极化法基本原理

- 描述极化效应的参数

视极化率

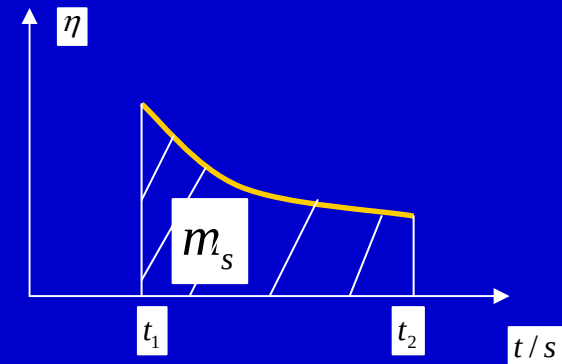
$$\eta_s(T, t) = \frac{\Delta U_2(T, t)}{\Delta U(T)} \times 100\%$$

初始极化率

$$\eta_s^0(T, t) = \frac{\Delta U_2(T, t)}{\Delta U_1(T)} \times 100\%$$

充电率(西方国家定义)

$$m_s = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \Delta U_2(T, t) dt}{\Delta U(T)} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta U_2(T, t)}{\Delta U(T)} dt = \int_{t_1}^{t_2} \eta(T, t) dt$$



2 激发极化法基本原理

- 描述极化效应的参数

视激发比

$$J_s(T, t) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \Delta U_2(T, t) dt}{(t_2 - t_1) \Delta U(T)} = \frac{\overline{\Delta U_2}}{\Delta U} \times 100\% = \overline{\eta}$$

J反映极化率大小和
衰减快慢的综合参数

视衰减度

$$D(T, t) = \frac{\overline{\Delta U_2}(T, t)}{\Delta U_2(t_1)} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \Delta U_2(T, t) dt}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{\Delta U_2(t_1)}$$

D反映某时间段内二次场
相对某时刻 t 的衰减快慢

η 、J、D三者关系

$$J(T, t) = \eta(T, t) \cdot D(T, t)$$

2 激发极化法基本原理

- 描述极化效应的参数

视半衰时 St

$$\Delta U_2(t) / \Delta U_2(0.25) \rightarrow 50\%$$

St 是二次放电曲线对某一时刻二次电位差的归一化放电曲线，从100%衰减到50%所对应的时间

不同时刻二次场的比值

$$\Delta U_2(5'') / \Delta U_2(20'')$$

美国瓦克尔

$$\Delta U_2(0.25'') / \Delta U_2(2'')$$

苏联洛克伊田斯基

$$\frac{\Delta U_2(0.1'') - \Delta U_2(1'')}{\Delta U_2(3'')}$$

美国维特

比值参数描述的是二次场衰减情况，但与D的意义不同，数值上恰好相反实际资料解释时应予以注意。

2 激发极化法基本原理

- 影响岩矿石极化参数的因素

湿度：（无水便无激电异常，通常有最佳湿度）

颗粒度：（离子导电岩石的极化二次场放电曲线随颗粒度的增大而变慢，这是衰减法找水的物理基础）

矿化度：（极化率随矿化度的增加而减小）

2 激发极化法基本原理

- 激发极化场的计算方法

1) 数值算法

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^2 U = 0 \\ U^{(1)} - U^{(2)} = 0 \\ \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial U^{(1)}}{\partial n} - \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial U^{(2)}}{\partial n} = 0 \end{array} \right.$$

2) 等效电阻率法

$$\rho^* = \frac{\rho}{1 - \eta} \dots \rho^* = \rho(1 + \eta^0) \dots \eta = \frac{\rho^* - \rho}{\rho^*}$$

2 激发极化法基本原理

●常用的装置类型

剖面法

中间梯度法、联合剖面法、对称四极剖面法、偶极剖面法

A M N B A M N ∞ M N B A M N B
A B M N

测深法

对称四极测深法、三极测深法、偶极测深法

A M N B A M N ∞ A B M N

2 激发极化法基本原理

常用的装置形式:

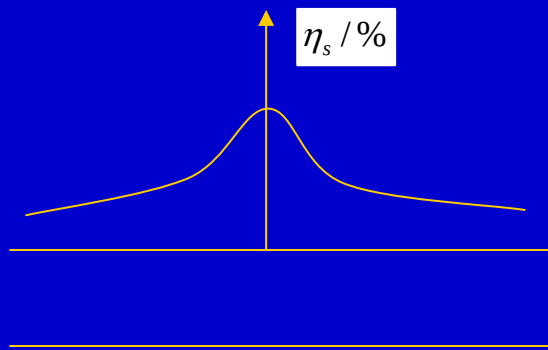
- 1) 中间梯度装置
- 2) 二极装置
- 3) 三极装置
- 4) 偶极装置
- 5) 施伦贝尔热装置
- 6) 温纳装置
- 7) 方形装置

2 激发极化法基本原理

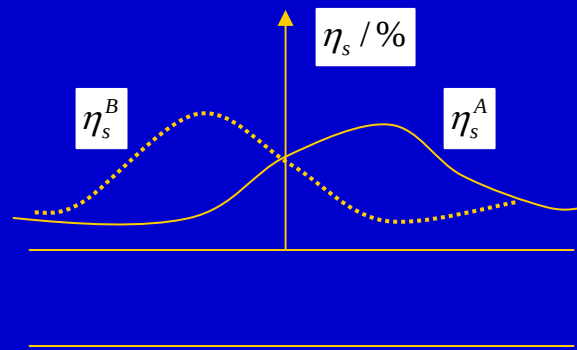
<u>ARRAY</u>	<u>GEOMETRY</u>	<u>K</u>	<u>DISPLAY</u>	<u>USE</u>
GRADIENT		See Fig. 31	Plan contours of ρ_a	Profiling
DIPOLE-DIPOLE		$\pi n(n+1)(n+2)a$	ρ_a vs n	Sounding-Profiling
POLE-DIPOLE		$2\pi n(n+1)a$	ρ_a vs n	Sounding-Profiling
SCHLUMBERGER		$\pi n(n+1)a$	ρ_a vs $(n+1/2)a = AB/2$	Sounding
WENNER		$2\pi a$	ρ_a vs a	Sounding

3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线——极化球体
中梯异常曲线、联剖曲线



$$\eta_1 = 1\%; \eta_2 = 5\%$$

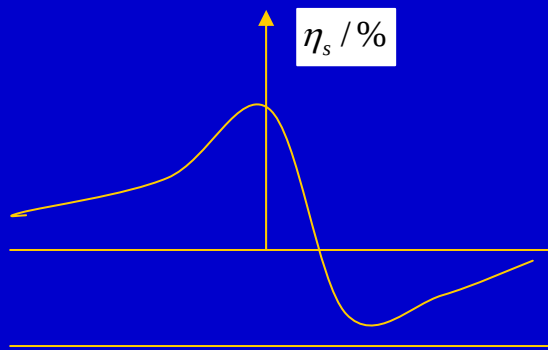


$$\eta_1 = 1\%; \eta_2 = 5\%$$

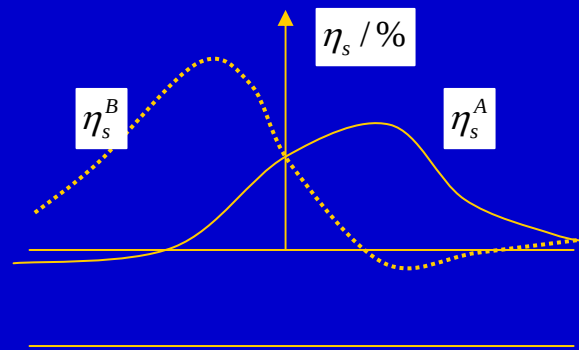
3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线——良导极化板体

中梯异常曲线、联剖曲线



$$\eta_1 = 1\%; \eta_2 = 5\%$$



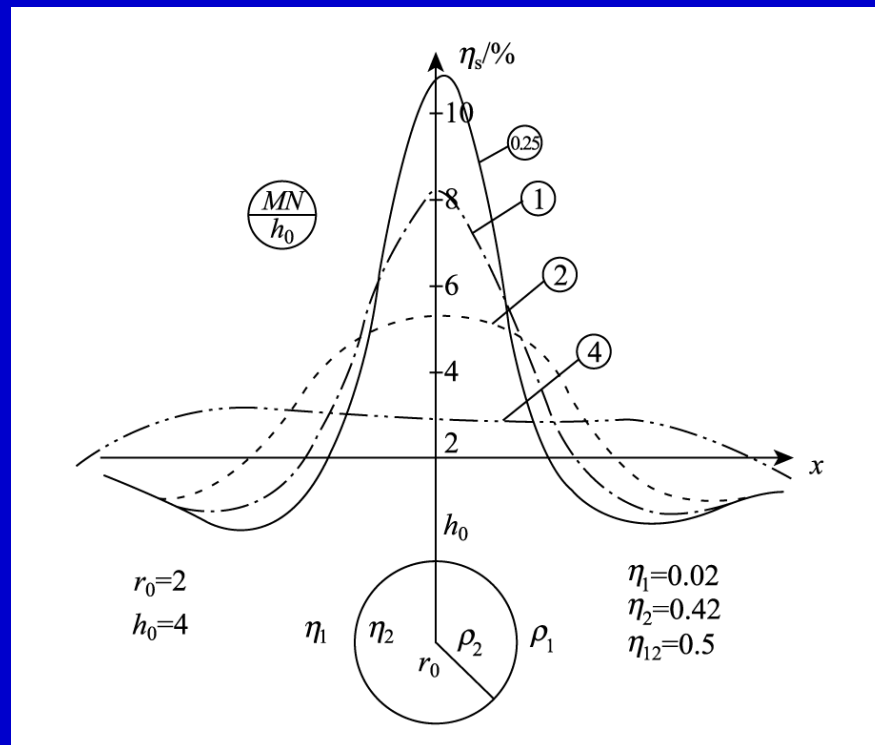
$$\eta_1 = 1\%; \eta_2 = 5\%$$

3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线——良导极化板体

中梯异常曲线

球体异常与MN大小关系

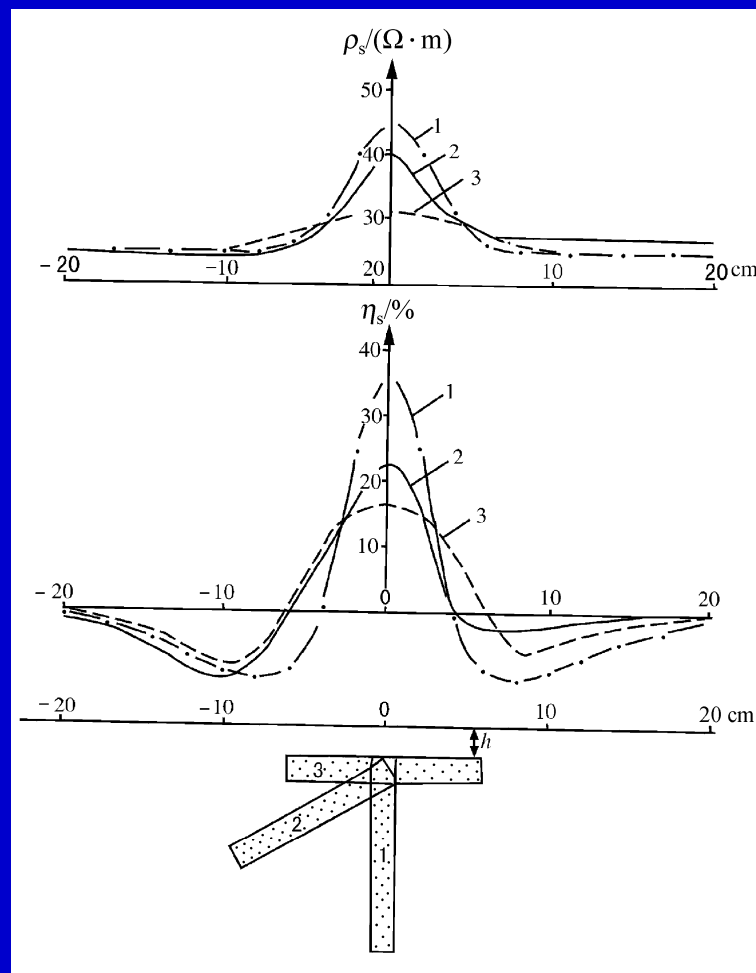


3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

中梯异常曲线

石墨板极化体



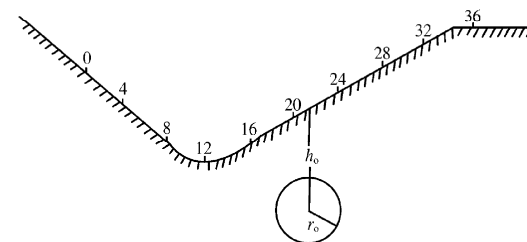
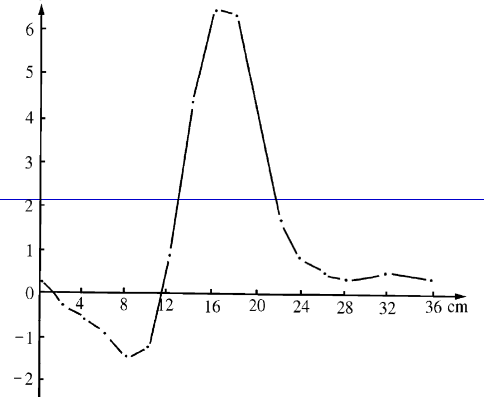
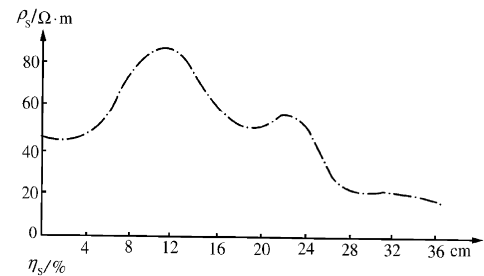
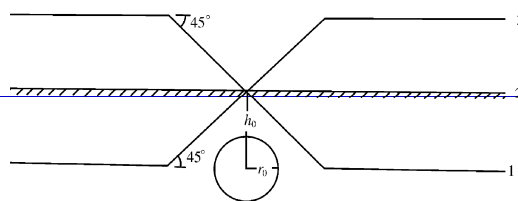
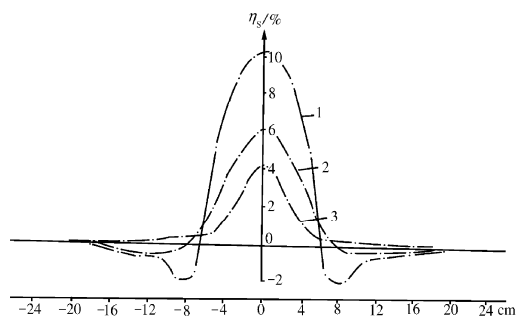
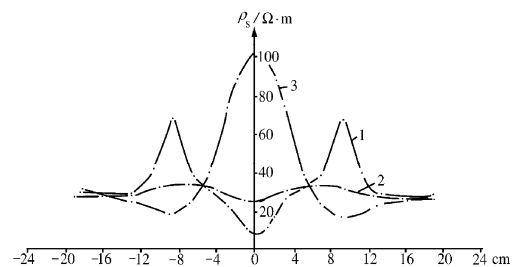
3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

中梯异常曲线

起伏地形

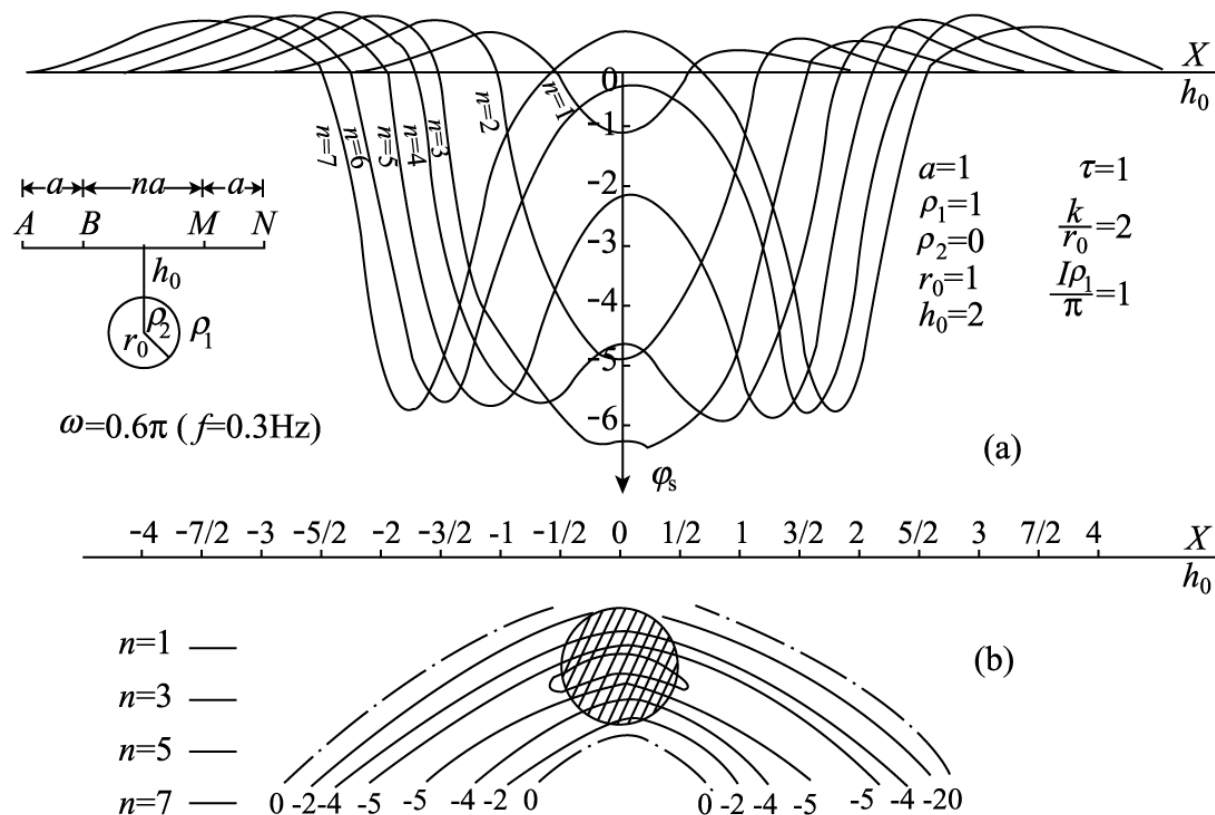
水平圆柱体



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

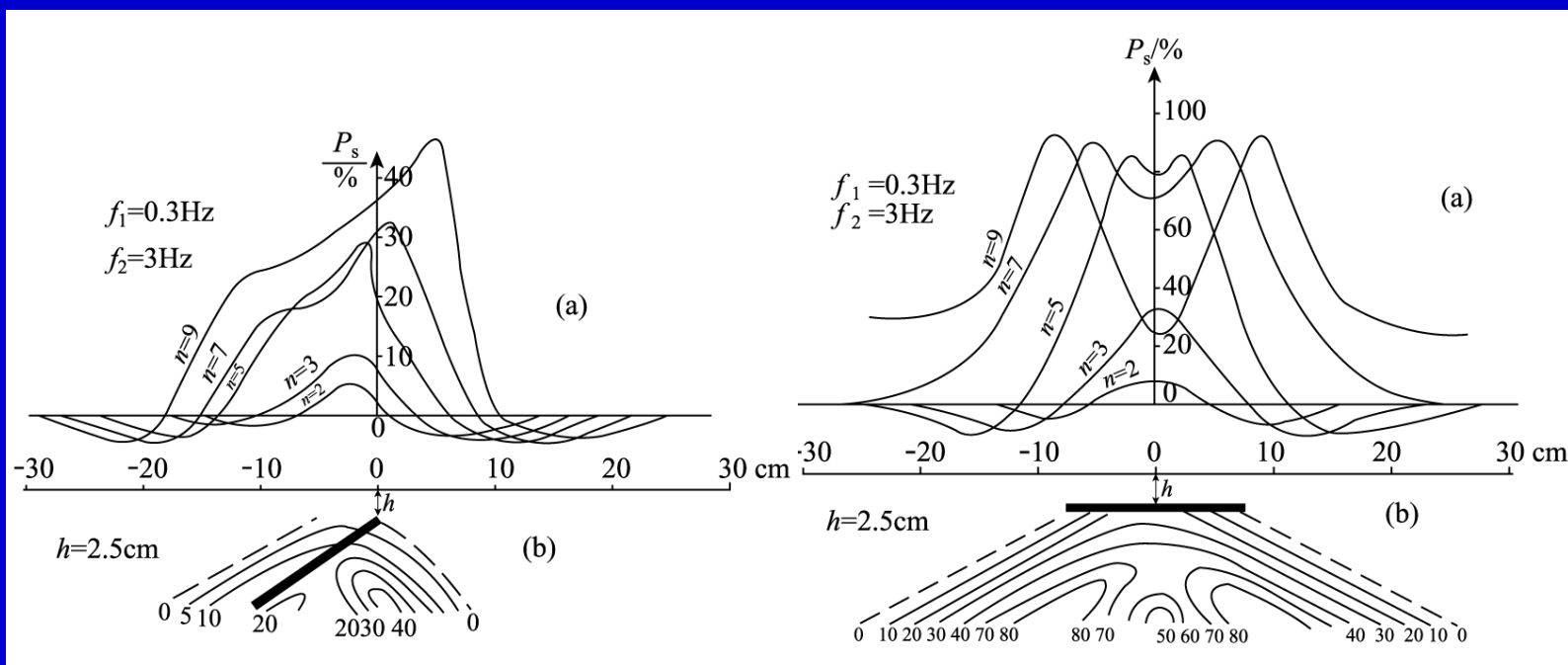
偶极装置
极化球体



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

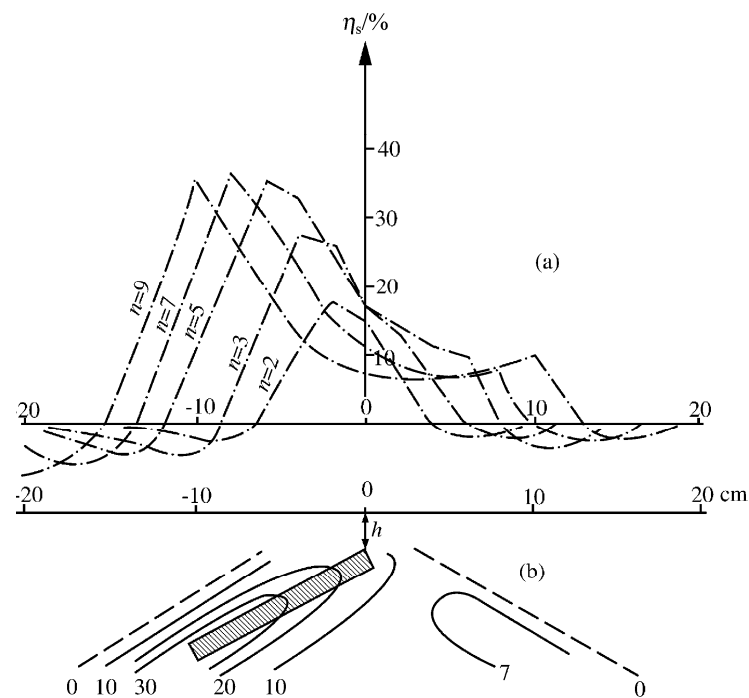
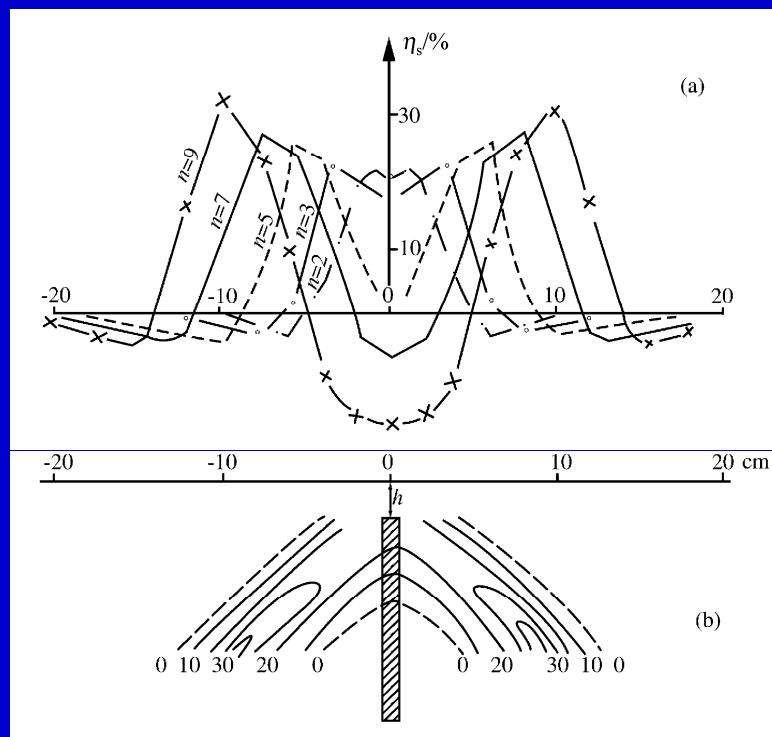
偶极装置/倾斜铜板



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

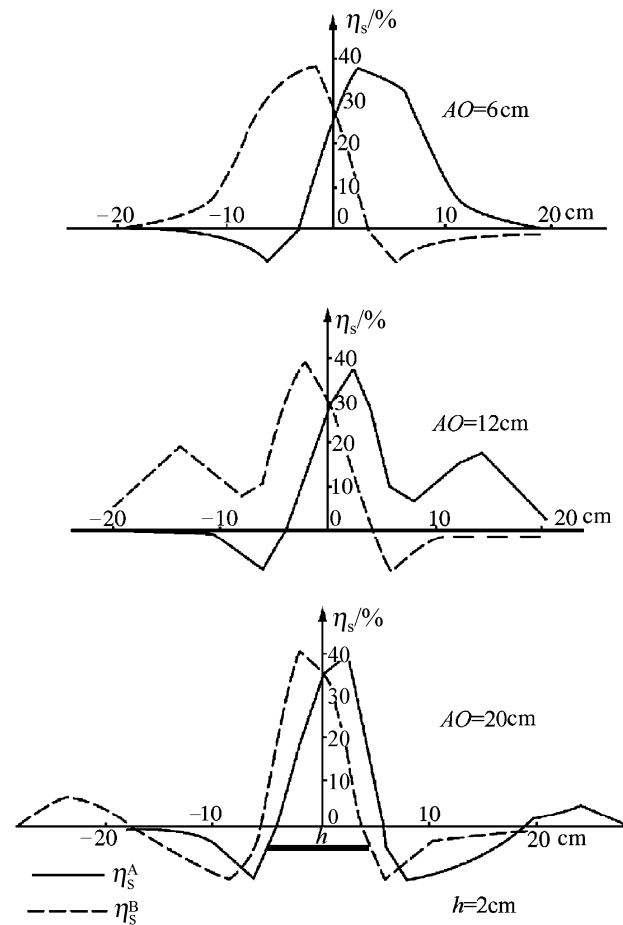
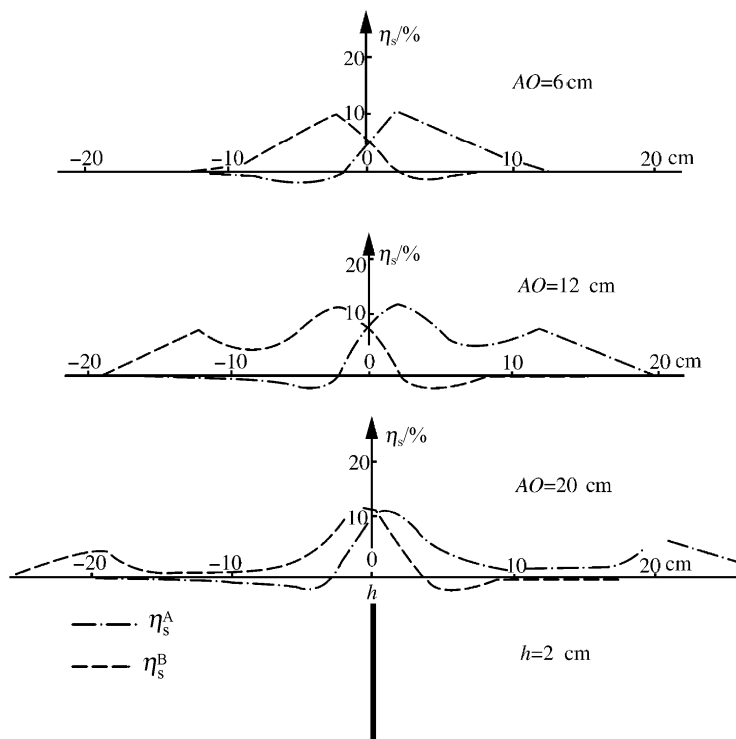
偶极装置/高阻浸染石墨板



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

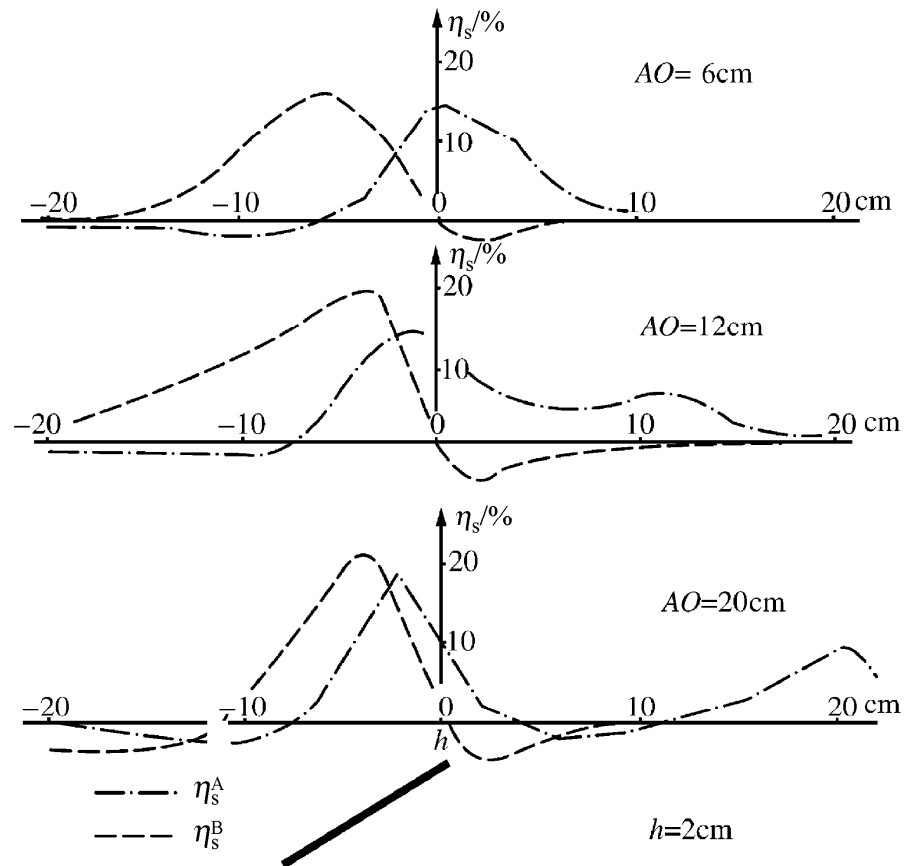
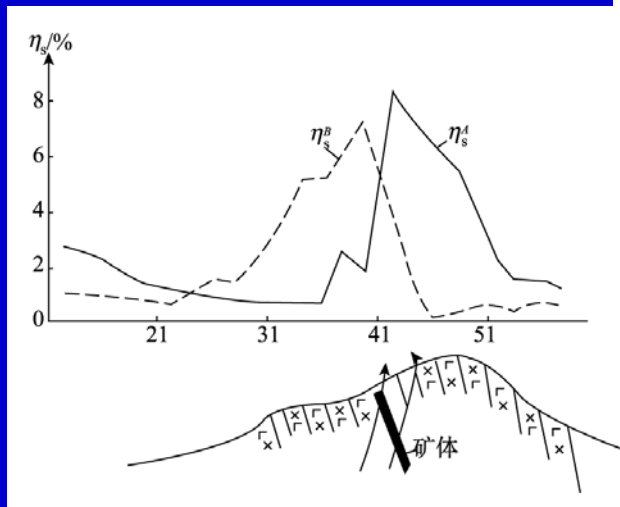
联剖装置/低阻铜板



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

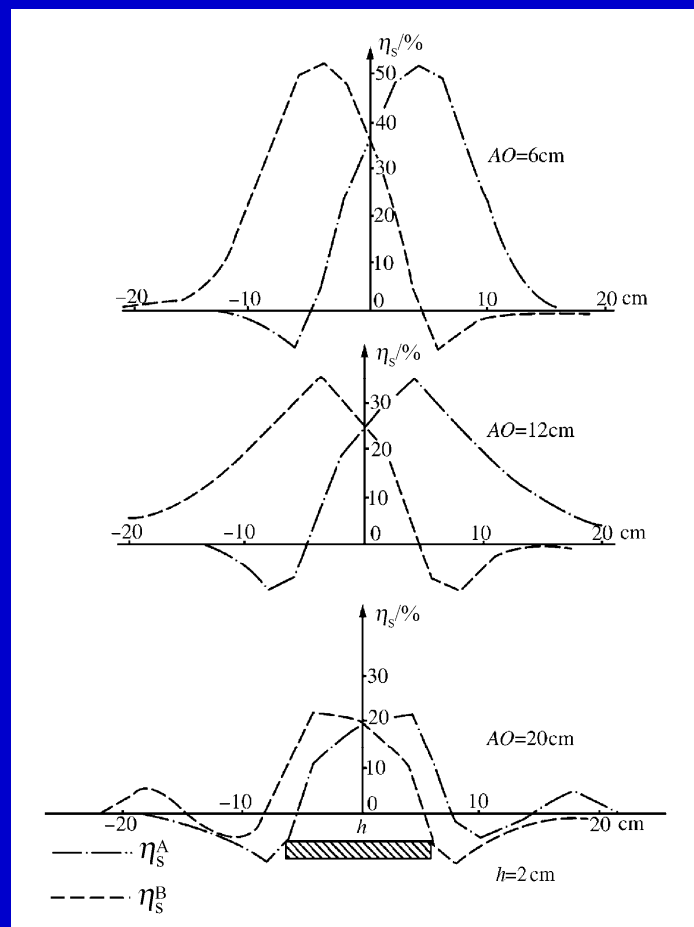
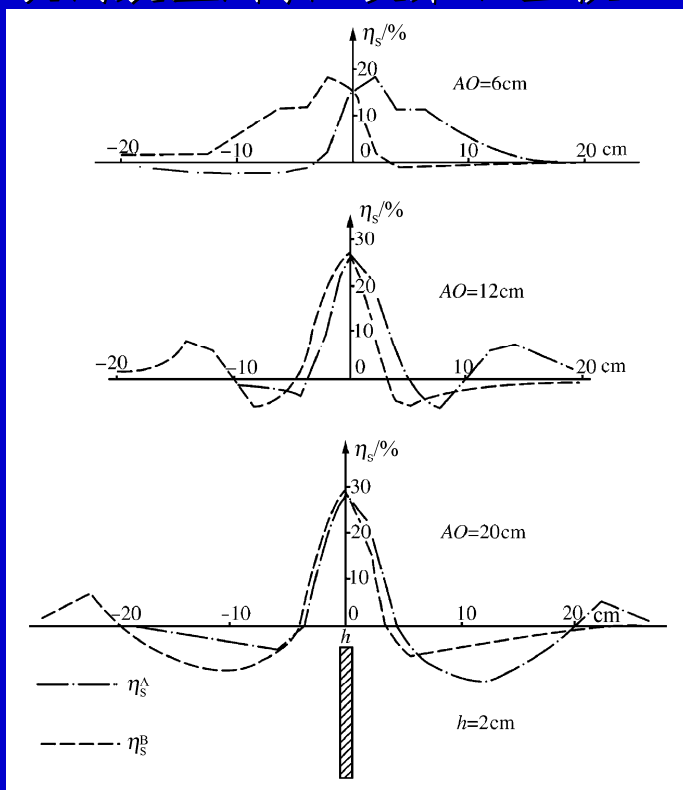
联剖装置/低阻铜板



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

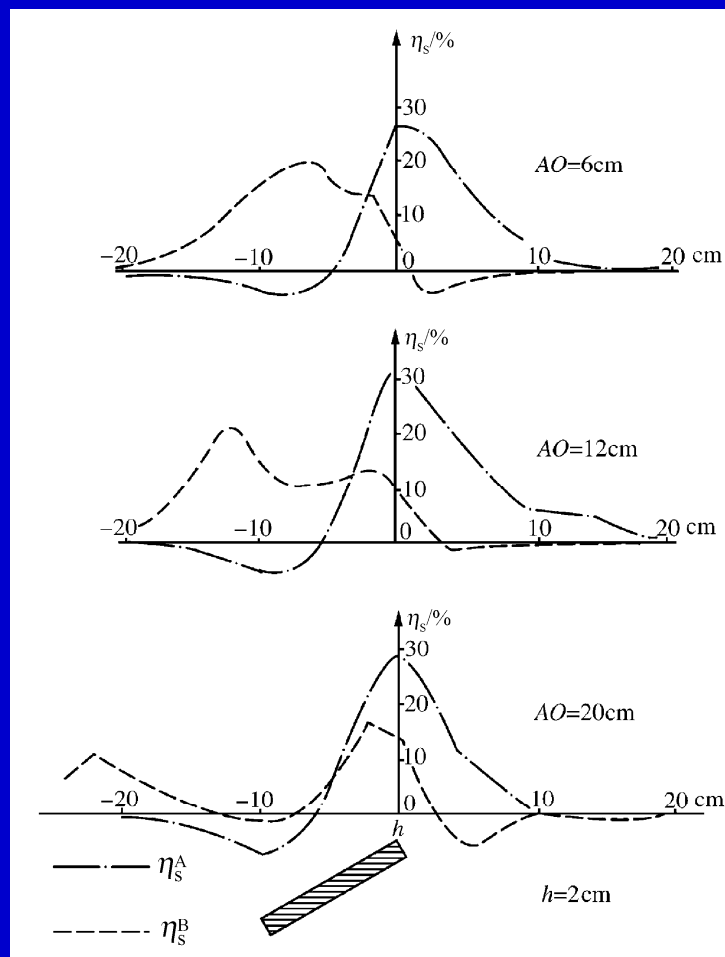
联剖装置/高阻浸染石墨板



3 激发极化法异常特征

IP剖面曲线

联剖装置/高阻浸染石墨板



3 激发极化法异常特征

IP测深曲线——三层曲线

类型

H型曲线

$$\eta_1 > \eta_2 < \eta_3$$

A型曲线

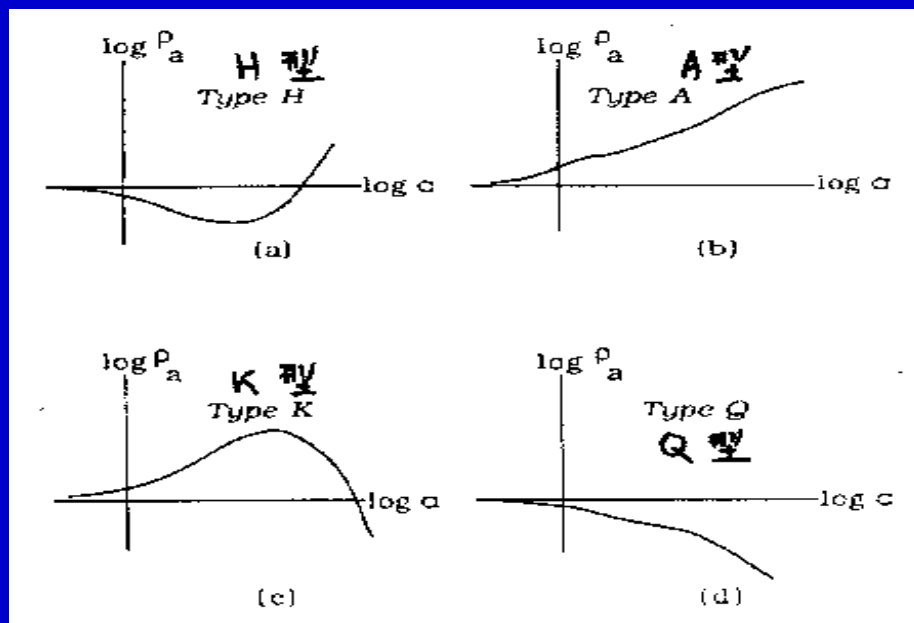
$$\eta_1 < \eta_2 < \eta_3$$

K型曲线

$$\eta_1 < \eta_2 > \eta_3$$

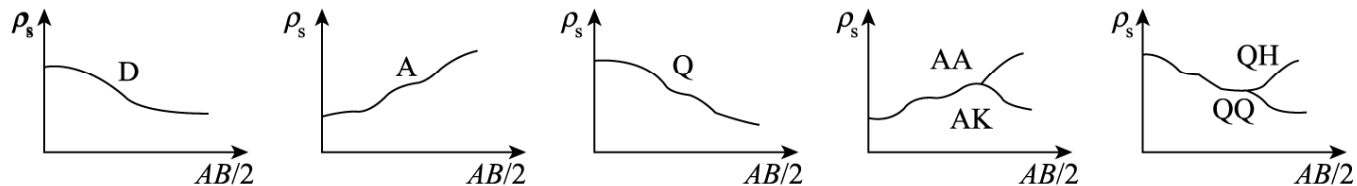
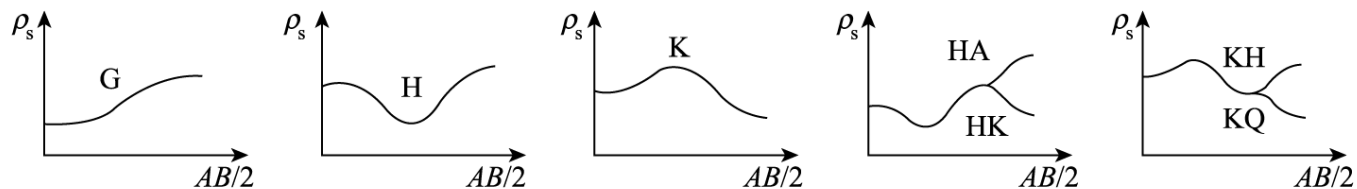
Q型曲线

$$\eta_1 > \eta_2 > \eta_3$$



3 激发极化法异常特征

IP测深曲线——四层曲线



(a)
$$\frac{\rho_1 \quad h_1}{\rho_2}$$

(b)
$$\frac{\rho_1 \quad h_1}{\rho_2 \quad h_2 \quad \rho_3}$$

(c)
$$\frac{\rho_1 \quad h_1}{\rho_2 \quad h_2 \quad \rho_3 \quad h_3 \quad \rho_4}$$

3 激发极化法异常特征

• 有关激电异常的几点说明

1) η_s 异常与 $u_{12}(\rho_2 / \rho_1)$ 的关系

$$u_{12} \rightarrow 0 \quad \eta_s = 0$$

$$u_{12} \rightarrow \infty \quad \eta_s = 0$$

$$u_{12} \rightarrow 1/2 \quad \eta_s = \eta_{\max}$$

2) $AB/2$ 与深度

$AB/2$ 是供电电极距到测点的距离，它与探测深度有关，但不是实际深度。

3 激发极化法异常特征

●有关激电异常的几点说明

3) 真参数与视参数

$$\rho_s \neq \rho \quad \eta_s \neq \eta \quad J_s \neq J$$

视参数是地下目标地质体的综合反映，真参数是物性固有的属性，两者不可混淆。视参数与含水体的规模、埋深及围岩电性有关。

4) 电子导体与离子导体

电子导体和离子导体都能产生高极化异常，两者难以分辨。如果 $\eta_s > 5\%$, $J_s > 3\%$ 一般有电子导体存在，但不排除富水的可能性。

3 激发极化法异常特征

- 有关激电异常的几点说明

- 5) 几个地区找水的参数值

河南新安县

$$\rho_s = 40 \sim 60, \eta_{s \max} = 2.2\%, J_{s \max} = 1.9\%$$

山西寿阳

$$\eta_{s \max} = 2.01\%, J_{s \max} = 0.95\% \quad 300 t/d$$

山西原平

$$\eta_{s \max} = 1.9\%, J_{s \max} = 1.88\%, D_s = 68.5\% \quad 13.97 m^3 / h \cdot m$$

内蒙牧区

$$\eta_{s \max} = 1.8\%, J_{s \max} = 1.1\% \quad 68.4 t/h$$

河南辉县

$$D_{s \max} = 59.4\%, \eta_{s \max} = 2.29\%, J_{s \max} = 1.36\% \quad 800 t/d$$

内蒙巴盟(未成井)

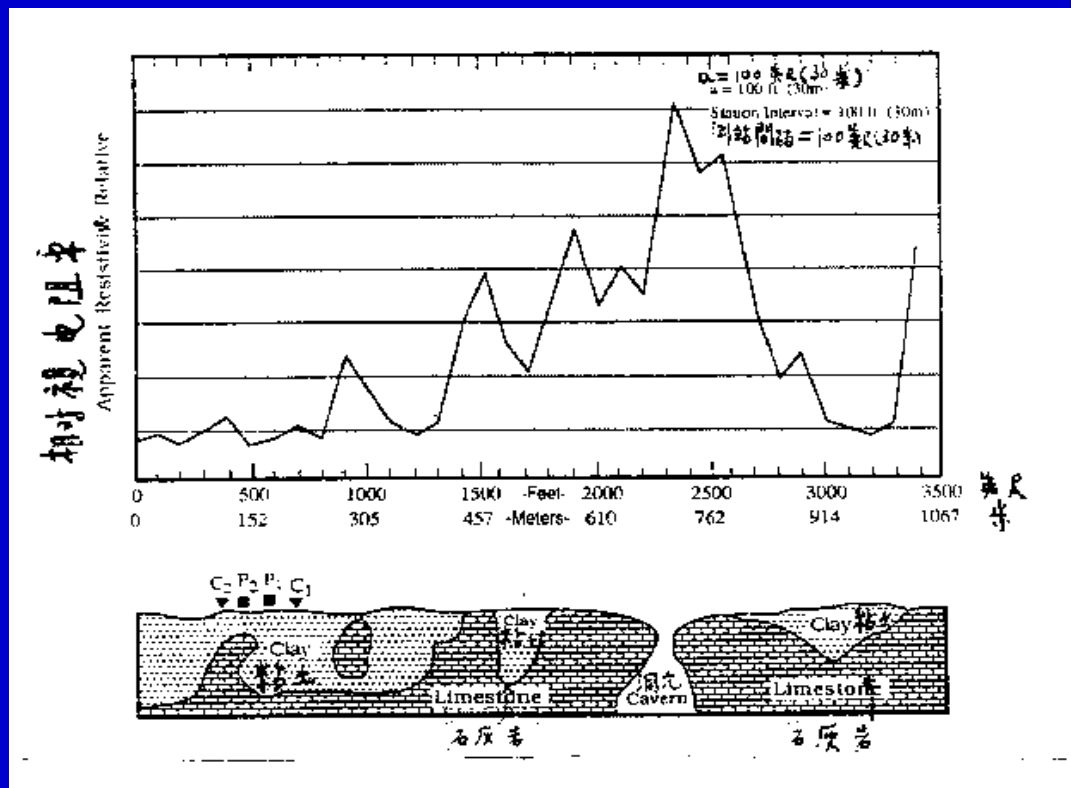
$$\eta_{s \max} = 11.5\%, J_{s \max} = 6\% \quad 0.48 t/h$$

4 激发极化法的应用

● 激电找水实例

1) 喀斯特地形

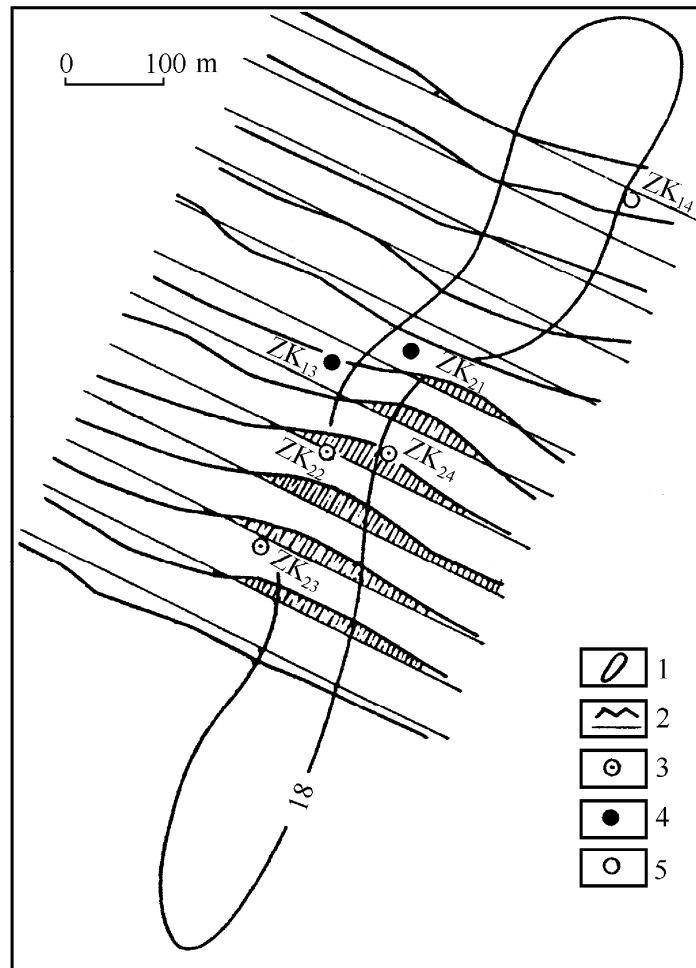
图、用 Wenner 装置在依利诺州 Hardin 系喀斯特地形上方实测的相对视电阻率。
(引自 VanNostrand 和 Cook, 1966)



4 激发极化法的应用

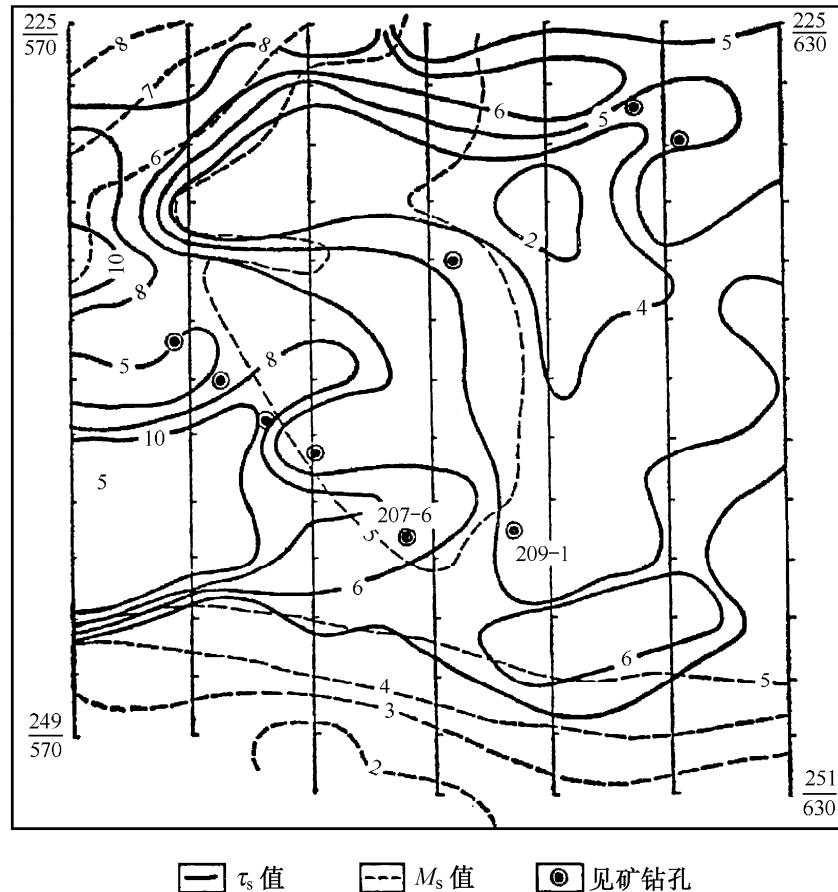
● 激电找矿实例

2) 山东某
含铜磁黄
铁矿上激
电异常



4 激发极化法的应用

- 激电找矿实例
- 3) 河北蔡家营矿带等值线图



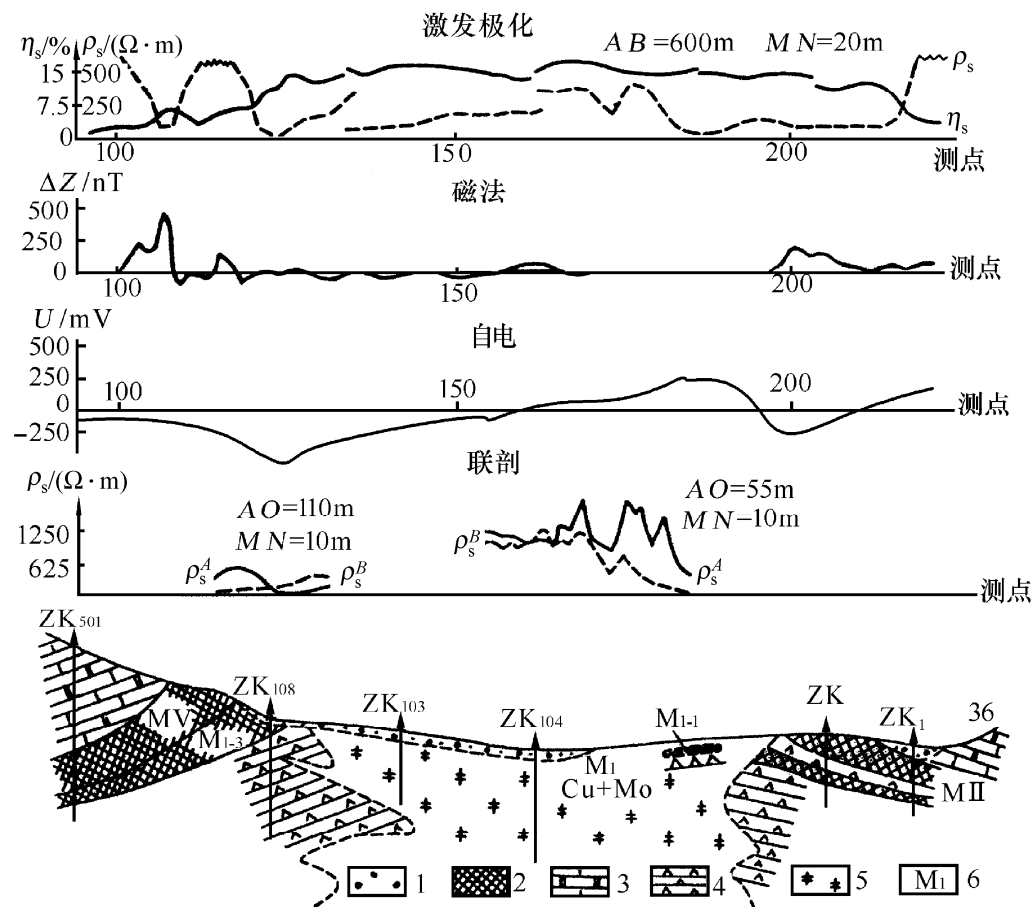
4 激发极化法的应用

● 激电找矿实例

4) 玉龙铜钼矿

41线综合剖面图

- 1-第四系
- 2-矿体
- 3-白云质灰岩
- 4-角岩
- 5-花岗斑岩铜钼矿体
- 6-编号

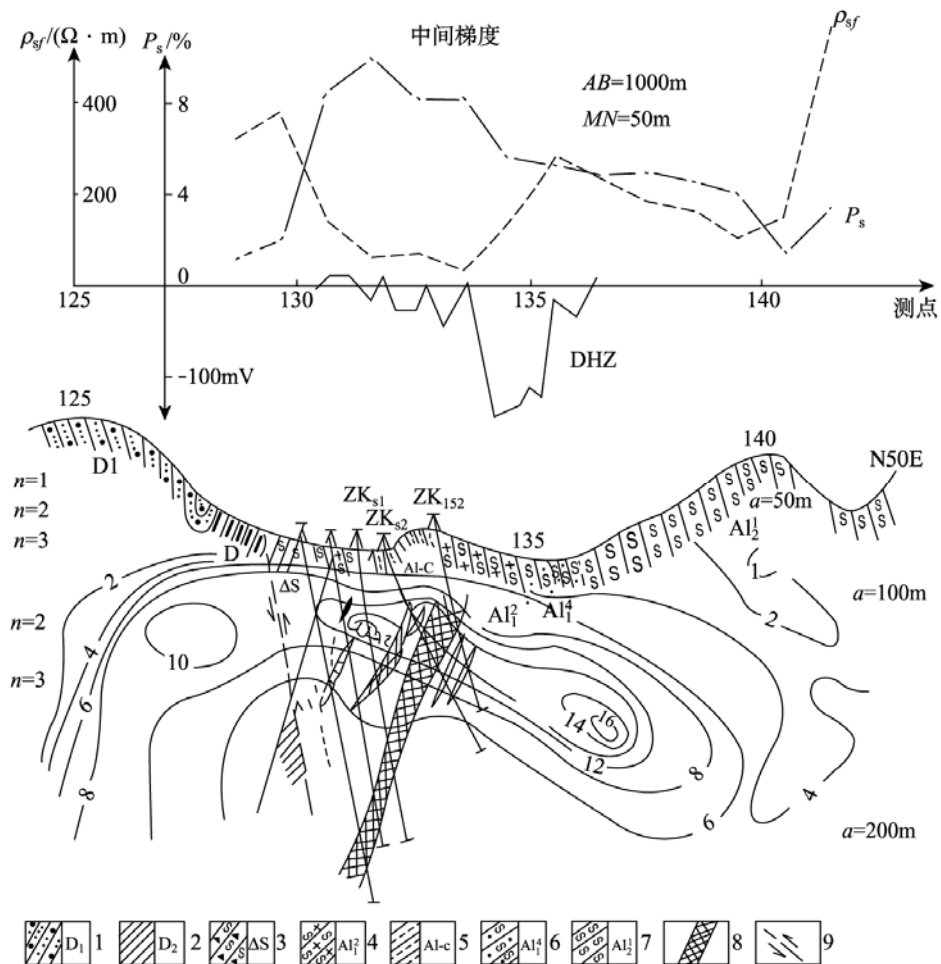


4 激发极化法的应用

● 激电找矿实例

5) 锡铁山铅锌矿

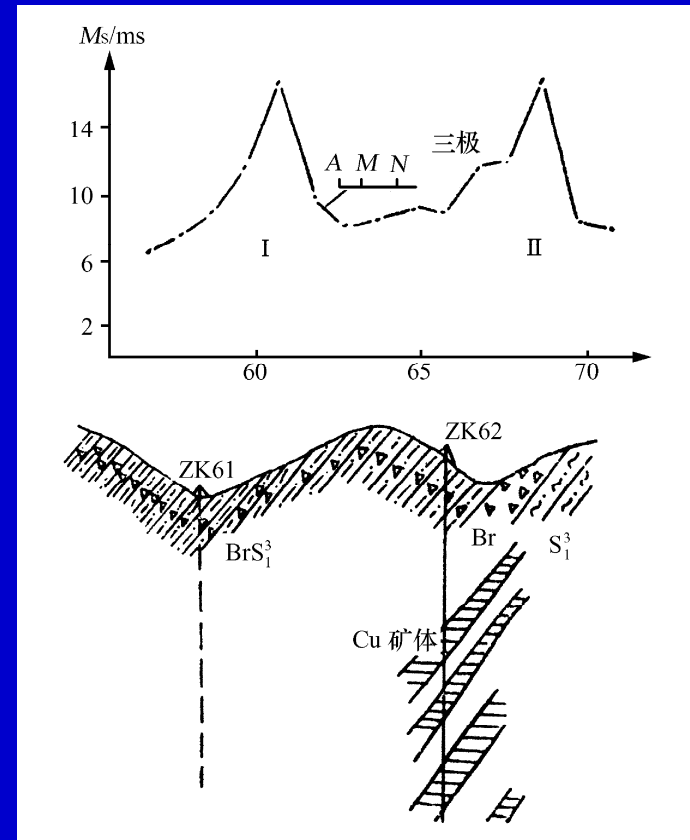
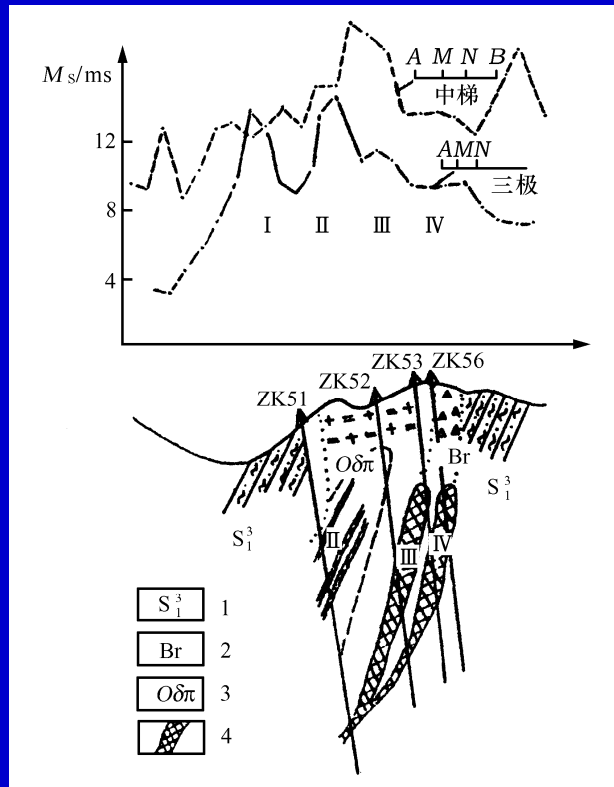
II 剖面综合剖面图



4 激发极化法的应用

● 激电找矿实例

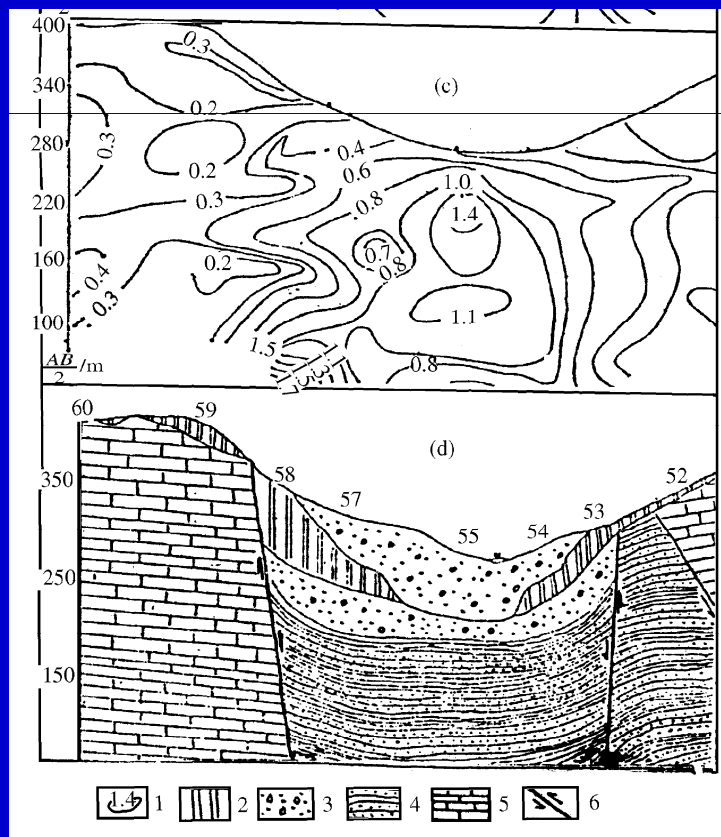
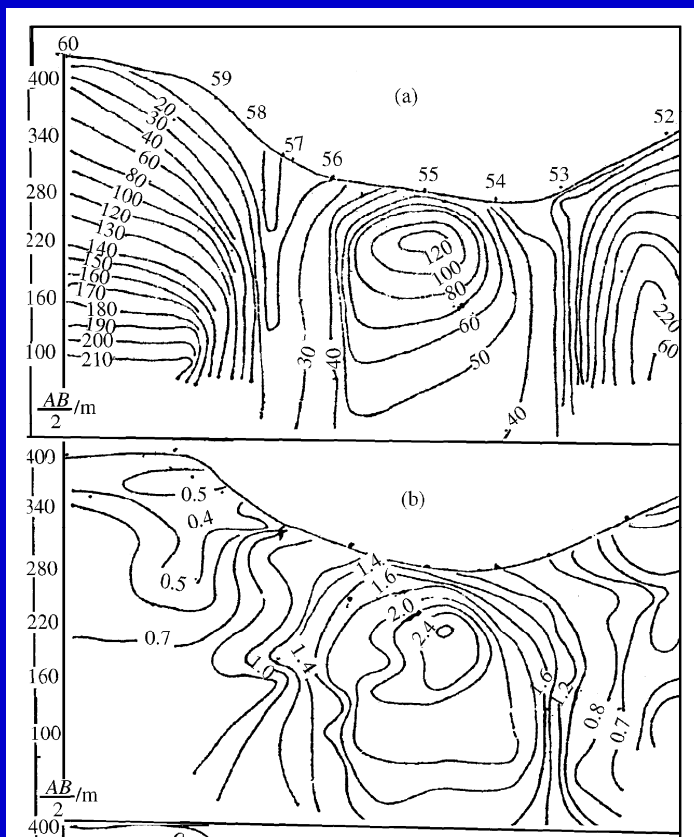
6) 某矿区5, 6线综合剖面图



4 激发极化法的应用

● 激电找水实例

7) 新安县轸南区Ⅲ线剖面图



视电阻率、视极化率
视激发比、地质推断

激发极化法 (IP)

Thanks !

