

电法与电磁法

2.1 充电法

1. 充电：对钻井、坑道等人工揭露或天然露头的良导体接一供电极A，另一供电极B，置于离充电体很远的地方(称为无穷远极)，对良导体持续供电，该过程被称为对良导体充电
2. 充电体的电场：对良导体充电时，充电体相当于一个巨大的供电电极，在其周围形成类似于点电源的电场，称为充电体的电场
3. 等位体：理想条件下(即 $\rho_0 = 0, \rho_0 \ll \rho$)，电位在导体内及表面处处相等，不产生电压降，故称导体为一个“等位体”，其表面为“等电位面”
4. 等位面特征：在充电体表面附近，电位面的形状与充电体的形状一致，远离充电体，等位面趋于圆形
5. 充电法：对地下良导体进行充电，以建立地下电流场，在地面观测各点电位或电位梯度分布，以解决某些地质问题的一种电法勘探方法
6. 充电法的勘探对象：具有良好导电性的地质体，有露头但不知其地下分布情况，如矿体是否相连，矿脉走向，产状，地下含水层展布

2.1.1 充电法的基本理论

球形导体的充电场

1. 电场特点：规模不大，埋藏较深时，理想导电球体的充电场与位于球心的点电源类似，点电源可以看作是充电法的正常场
2. 地下点电源在地面的电位表达式：

$$U = \frac{I\rho}{2\pi \cdot r} \Rightarrow U = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + y^2 + h_0^2)^{1/2}}$$

3. 地下点电源在地面的电位梯度 x 方向表达式:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{I\rho}{2\pi} \frac{x}{(x^2 + y^2 + h_0^2)^{3/2}}$$

4. 电位: 在 $x = 0$ 处, 即球心上方获得极大值; 两侧对称减小; 无穷远处为零;

椭球形导体的充电场

1. 坐标原点位于球心的椭球体表面方程:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

2. 椭球坐标系中充电体外任一点M的电位表达式:

$$U = \frac{I\rho}{8\pi} \int_{t_0}^{\infty} \frac{dt}{\sqrt{(a^2 + t)(b^2 + t)(c^2 + t)}}$$

3. 特点: 椭球体的充电场的等位面为一与椭球体表面共交点的椭球面簇

充电椭球体不同方位剖面电场分布特征 P13

- 情况一: 充电体为脉状良导体, 呈水平或垂直展布

1. 电位与电位梯度特征: 电位剖面曲线对称, 电位梯度曲线反对称, 即在充电体顶部中心, 电位梯度为零, 其正、负极值对应于充电体边缘部分

- 情况二: 充电体为脉状良导体, 呈倾斜状

2. 电位与电位梯度特征: 电位及电位梯度剖面曲线均不对称; 电位曲线的极大点与电位梯度的零值点均向倾斜方向位移; 电位曲线在倾斜一边曲线平缓, 在倾斜相反方向曲线较陡; 电位梯度曲线在倾斜一边曲线平缓, 梯度绝对值小; 在倾斜相反方向曲线陡, 梯度绝对值大。

导体不是等位体 $\rho_0 \neq 0$

电位与电位梯度特征：充电后，充电体上各点的电位并非都相等；当充电点位于不等位体边缘时，电位及电位梯度曲线都不对称；当充电点位于不等位体的中心时，电位及电位梯度曲线均成对称分布。

2.1.2 充电法的应用

1. 充电法的勘探目的：利用电位或电位梯度等位线分布规律，查明良导体的空间分布形态，产状及延申
2. 充电法的应用和资料解释过程中应注意的问题：
 - (1) 充电导体自身的电阻率(是否满足理想导体的条件)
 - (2) 充电体与围岩电阻率差异(是否满足 $\rho_0 \ll \rho_{\text{围岩}}$)
 - (3) 充电点的位置
3. 充电法的应用范围及条件：
 - (1) 用于确定已揭露或有自然露头的矿体分布的形状，产状、规模及分布
 - (2) 确定相邻两个矿体之间的连接关系（是否相连）
 - (3) 在已知矿体附近寻找盲矿体
 - (4) 利用单井确定地下水的流向和流速
 - (5) 研究滑坡体或追踪地下金属管线等
4. 应用条件：
 - (1) 研究对象至少有一个露头
 - (2) 充电体可被看作是理想导体
 - (3) 充电体规模大，埋藏较浅，探测深度通常为充电体延伸的一半
5. 观测设备：与电阻率法相同
6. 观测方式：
 - (1) 电位观测法： N 极置于距充电体足够远的某一固定基点上。 M 极沿测线逐点移动，观测各测点相对于固定基点的电位差，即为该点的电位值
 - (2) 电位梯度观测法： MN 置于同一测线上，保持相对位置和间距不变，沿测线逐点移动，计算电位梯度 ΔV

(3) 直接追踪等位线法：用短导线和检流计直接依次寻找具有相等电位的点，这些点的连线即为要追索的等位线。

充电法的应用实例

1. 充电法确定矿体的形态与规模
 2. 用充电法确定地下水的流速、流向
 3. 用于判断两个矿体在地下是否相连
 4. 用充电法测试油田压裂施工中的裂缝
- 调剖：地层吸水的不均匀性，为了提高注入水的波及系数，需要封堵吸水能力强的高渗透层，称为调剖。

充电法的成果图件

1. 电位剖面图
2. 电位剖面平面图
3. 电位平面等值线图
4. 电位梯度剖面图
5. 电位梯度剖面平面图
6. 电位梯度平面等值线图

充电法的资料解释

1. 依据等电位线的形状及密集带，可判定充电体在地面上投影的形状和走向，并初步圈定其边界
2. 依据剖面电位曲线，利用其极值点推断充电体的顶部位置；利用其拐点推断充电体的边界位置；利用其对称性推断充电体的倾向。
3. 依据电位梯度曲线，利用曲线零值点推断充电体的顶部位置；根据正、负极值点的位置确定充电体的边界位置；若梯度曲线不对称，则充电体向极值的绝对值小、且曲线缓的一侧倾斜。

2.2 自然电场法

2.2.1 自然电场法概述

1. **自然电场**：自然条件下，存在于地下的天然电流场，简称自然电场。
2. **表现**：无需人工向地下供电，通过一定的装置可以观测到地面两点之间有一定大小的电位差，这表明自然电场的存在。
3. **自然电场法**：通过研究自然电场在地面的分布规律来解决地质问题的一种电法勘探方法。实际测量中是测电位差实现的，又称自然电位法。
4. **方法特点**：工作效率高；设备简单轻便；常用于金属硫化物矿床、金属氧化物矿、石墨矿、无烟煤等普查，亦可解决水文地质和工程地质问题。

2.2.2 岩矿石的自然极化

• 电子导体与围岩溶液间的电化作用（电子导体的自然极化）

1. **双电层形成过程**：当电子导体与溶液接触时，金属上的负电荷吸引溶液中的正离子，使之分布于界面附近，形成双电层。
2. **外电场的形成**：若导体和溶液都是均匀的，则双电层不产生外电场。

当导体或溶液**不均匀**时，双电层呈不均匀分布，产生**极化**，并在导体内、外产生电场，引起自然电流。

• 岩石中地下水运移的电动效应形成过滤电场（离子导体的自然极化）

1. **形成过程**：岩石或黏土颗粒对水溶液中负离子有**吸附作用**，导致岩石颗粒与溶液间形成双电层。当地下水**静止**时，整个系统呈电性平衡，不产生外电场。地下水**流动**时，带走溶液中的部分**正离子**，水流上游有**多余的“负离子”**，水流下游有多余的**“正离子”**，从而形成自然电场。
2. **规律**：受水一侧为正电荷聚集

岩石中颗粒间不同浓度溶液离子的扩散作用形成扩散电场（弱）

- 岩石中颗粒间不同浓度溶液离子的扩散作用形成扩散电场（弱）

1. 扩散现象：当两种**浓度不同**的溶液相互接触时，会产生扩散现象。带电离子由浓度高的溶液向浓度低的溶液里扩散。
2. **扩散电场的形成**：正、负离子的**扩散速度不同**，使两种不同离子浓度的溶液分界面上分别含有过量的正离子或负离子，而形成电位差。这种由扩散作用引起的自然电场称为扩散电场。
3. 总结：自然界中自然电场的形成为多种作用共同叠加的结果，而非单一某种作用的结果。

2.2.3 自然极化球体的电场

1. **结论**：均匀极化球体在球外的电场与位于球心、偶极矩为 M 的电偶极子的电场等效，偶极子的方向与极化轴方向一致。
2. 水文地质勘查中，一般可认为是垂直极化，故金属矿体上通常为负电位
3. 自然电位法的野外装备：电位测量仪（电位差计）、电线、线辊、不极化电极
4. 装备特点：不需要供电电源和供电电极，轻便，工作效率高
5. 自然电位法的野外观测方式：电位测量法和电位梯度测量法
6. 自然电场法的主要应用领域：
 - (1) 金属硫化物和石墨矿的快速普查
 - (2) 水文地质和工程地质调查
7. 水文地质和工程地质中的应用
 - (1) 确定地下水与河水间的补给关系
 - (2) 确定地下水的流向（过滤电场的方向与地下水流向有关）
 - (3) 确定水库、堤坝的漏水位置；
 - (4) 寻找含水破碎带或确定断层位置

思考题

1. 充电法的有哪些主要优势和缺点

答：

优势：对具有良好导电性的地质体，效果好

缺点：充电导体自身的电阻率是否满足理想导体的条件，是否与围岩存在较大的电阻率差异

2. 自然电场是怎样形成的？

答：岩石或黏土颗粒对水溶液中负离子有吸附作用，导致岩石颗粒与溶液间形成双电层。当地下水静止时，整个系统呈电性平衡，不产生外电场。地下水流动时，带走溶液中的部分正离子，水流上游有多余的“负离子”，水流下游有多余的“正离子”，从而形成自然电场

3. 利用过滤电场能解决哪些地质问题？

答：

(1)确定地下水与河水间的补给关系

(2)确定地下水的流向（过滤电场的方向与地下水流向有关）

(3)确定水库、堤坝的漏水位置；

(4)寻找含水破碎带或确定断层位置

4. 自然极化球体在垂直极化和斜极化时电场各有什么特点？

答：

(1) 球体垂直极化：**电位与电位梯度特征**：电位剖面曲线对称；电位梯度曲线反对称，即在充电体顶部中心，电位梯度为零，其正、负极值对应于充电体边缘部分

(2) 球体倾斜状：**电位与电位梯度特征**：电位及电位梯度剖面曲线均不对称；电位曲线的**极大点**与电位梯度的**零值点**均向倾斜方向位移；电位曲线在倾斜一边曲线平缓，在倾斜相反方向曲线较陡；电位梯度曲线在倾斜一边曲线平缓，梯度绝对值小；在倾斜相反方向曲线陡，梯度绝对值大。