# 测井方法原理与处理解释

# 电法测井

## 一、名词解释

1、频散：岩样电阻随测量频率提升而下降，当达到某一数值时（105Hz）时，发生急剧变化的情况为频散。

2、地层因素：饱和含水岩石电阻率Ro与岩石孔隙水的电阻率Rw的比值。

3、电阻增大系数：岩石含油时的电阻率Rt与该岩石饱和含水时电阻率Ro之比。

4、自然电位：井中由于泥浆和地层水的矿化度不同，地层压力和泥浆柱压力不同，在井壁附近由于渗透差而产生自然电场。

5、静自然电位：SSP 在相关厚的砂岩和泥岩接触面处的自然电位幅度，即产生自然电场的总电动势。

6、扩散电动势：高浓度溶液中的离子受渗透压的作用穿过渗透性隔膜Na离子迁移速率高于CI离子，最终形成接触面处的电势差，反映了井内纯砂岩井段所测量的自然电位。

7、扩散吸附电动势：泥岩层由于阳离子附加导电的作用影响，需溶液中的正离子吸附平衡从而形成的电势差，反映了泥岩井段的自然电位表现。

8、均价各向同性介质：物体中任意选择两个体积和形状完全相同的体积元，其全部的物理性质完全相同。

9、径向阶跃介质：电阻率不随纵向Z变化，而随半径R阶跃变化。

10、纵向阶跃介质：电阻率不随半径R变化，而随纵向Z阶跃变化。

11、电位电极系：不成对电极到靠近它的那个成对电极之间的距离小于成对电极间的距离。

电极距：不成对电极到靠近它的那个成对电极的距离。

12、底部梯度电极系：成对电极在不成对电极的下方的正装梯度电极系，测出的视电阻率曲线，以明显的极大值显示出高阻岩层的底界面。

13、梯度电极系的电极距：不成对电极A到记录点O 的距离

14、电极系互换原理：把电极系中的电极功能互换，并保持相对位置不变，在测量条件相同的情况下，测得的视电阻率曲线和原来的完全相同。

15、电极系的探测深度：在均匀介质中，以供电电极为中心，以某一半径为球面，如果球面内包含介质对电极系测量结果的贡献占总结果的50%时，则此半径为电极系的探测深度。

16、视电阻率：综合各种影响（井眼、侵入、围岩）条件下测出的岩层电阻率。

17、高侵与低侵：地层孔隙中原有流体电阻率较低时，被电阻较高的钻井液侵入导致侵入带电阻率升高，为增阻钻井液侵入或高侵。

18、标准测井：用相同的深度比例（1:500）及相同的横向比例，对全井段进行测井的测井组合方式。

19、传播效应：电磁波在传播过程中，其幅度会发生衰减、相位发生移动。

20、介质极化：在电场的作用下，介质中的原子、离子或分子会产生位移，形成电偶极子。这些电偶极子会趋向定向排列。

21、介电常数：表征介质极化程度的物理量。

22、介质的磁化率：描述介质磁性强弱的物理量，无量纲。

23、抗磁物质：磁化率为负，与温度无关。例如惰性气体，石英，石油等。

24、顺磁物质：磁化率大于0，与温度有关。例如稀土金属、黑云母、褐铁矿。

25、铁磁物质：在无外加磁场作用下能显示自发磁化。例如铁、磁铁矿、赤铁矿。

26、电磁波传播测井：

27、磁化率测井：属于低频电磁感应测井，通过电磁感应原理，在井中测量岩（矿）石磁化率变化的电（磁）测井方法。

28、过套管电阻率测井：通过下井仪器向地层发射一回路在地面的低频电流信号（一般频率在0.01~10.0Hz之间）。测量一部分通过金属套管进入地层的电流，检测到测量电极与地面的回路电极之间的电位差，来得到电阻率信息。

29、感应测井硬件聚焦：通过复合线圈系的方式实现传统感应测井的聚焦测量。

30、感应测井软件聚焦：通过优化方法得到权系数，然后利用线圈系响应公式得到不同探测深度和分辨率的阵列测井曲线。

31、地层产状：地层的倾角和倾斜方位角，即地层层面所在的空间位置。

32、地层面倾向：地层面倾斜的方向。

33、地层面倾角：在倾斜方向上的地层面与水平面的夹角。

34、1号极板方位角曲线：1号极板方向的水平投影和正北方向的夹角。

35、井斜角：井轴和铅垂线之间的夹角DEV（）。

36、相对方位角：从1号极板开始逆时针方向到井斜方向的角度RB（）。

37、对比长度（窗长）：相关性对比法中，把曲线顺序地分成长度相等的曲线段长度。

38、探索长度：两条曲线对比时，固定基本曲线，对比曲线找出最佳相似位置需要搜素的最大距离。

39、探索角α：以探索长度的一半作为直角三角形的对边，以井径D作为直角三角形的底边，则探测长度对应的角称为探索角。

40、步长：当某一曲线段对比完后，按顺序取下一曲线段进行对比，两相邻曲线段中心点的距离。

41、曲线元素：在图形识别对比法中，一般把地层倾角测井采集的微电阻率曲线分解成按深度排列的三种等级、五种类型的曲线元素。

42、峰与谷：测井曲线中，由低到高再由高到低的线段为峰，反之为谷。

43、差别系数：基本曲线与对比曲线上两个同类曲线元素图形矢量各分量之间的剩余平方和。

44、矢量图：又叫蝌蚪图和箭头图，用一系列随深度变化的矢量来表示各个计算点地层倾角和方位的图形。

45、绿色模式：随深度增加，地层倾角和倾斜方位角相对稳定的一组矢量。反应了构造倾角。

46、红色模式：将方位角一致，倾角随深度增加而增加的一组矢量。指示了断层、褶皱、砂坝、河床沉积、岩礁等。

47、兰色模式：将方位角大体一致，倾角随深度增加而减小的一组矢量。指示了古水流方向。

48、细色模式：按深度将倾向基本一致的矢量连成颜色模式（细线条），中间不允许跳过相反的矢量，主要研究沉积地质问题。

49、粗色模式：用粗线条来反映倾角的变化的趋势。主要研究构造地质问题。

50、施密特图：径向方向为地层倾角，最外圈为0°，圆周方向为方位角，规定上北下南左西右东，以统计的方式来反映地层的构造倾角和倾斜方位角。

51、杆状图：将真倾角与地层深度沿地层对比剖面线的方位换算成视倾角与深度的关系曲线，并用与水平线的夹角为视倾角的斜杠来形象表示。

52、褶皱构造：岩层受构造应力影响导致的弯曲变形。

53、对称褶皱：轴面近于铅直，两翼地层倾角基本相等，倾向相反。

54、倒转褶皱：轴面倾斜很大，使一翼倒转过来，两翼地层都向一个方向倾斜。

56、断层：在构造应力的作用下，岩层两侧岩沿破裂面发生相对位移。

57、不整合接触：层与层之间的接触面高低不平，有侵蚀面。

58、假整合（平行不整合）：不整合面（侵蚀面）上下地层产状基本一致。

59、FMI：全井眼地层微电阻率成像仪。

60、FMI图像处理静态标准化：把全井段所有资料都用于确定颜色的级别，适合于观察较大的电阻率的变化和进行岩性对比。

61、FMI图像处理动态标准化：也称为图像动态加强，它是在一个较小的、用户指定的滑动深度窗内对颜色重新进行刻度。深度窗口的长度是根据实际资料来确定的，通常，长度不超过3英尺。

## 二、选择与填空

1、测井技术的发展经历了 五 个阶段，分别是 模拟时代、数字时代、数控时代、成像时代、网络测井 。

2、电磁测井中，采用的电学性质表征参数有电阻率R，电导率、介电常数、磁导率。

3、在现有的电磁测井方法中，电信号的频率由低到高依次是自然电位测井（直流）、普通电阻率（<15Hz）、侧向测井（30~300Hz）、感应测井（0~40KHz）、电磁波传播测井（几十MHZ）、介电测井（1.1GHz）。

4、不同岩石电阻率不同，岩石电阻率大小主要取决于下列因素：岩石的组织结构——岩性、岩石孔隙内地层水盐类的化学成分、浓度、温度，岩石的孔隙度、岩石的含水饱和度。

5、阿尔奇地层因素实验——选一块孔隙度为，不含泥质的岩样，改变岩样孔隙中水的电阻率，测试发现 岩石电阻率不但随所含水电阻率变化而变化，，并且它们之间有近似的正比关系。

## 三、简答、简述

### 1、岩石电阻率主要取决于哪些因素？岩石电阻率与这些因素的关系如何？

答：岩石电阻率取决于：（1）造岩矿物成分（岩性）；（2）岩石孔隙内地层水中电解质的化学成分、浓度、温度（3）岩石孔隙度；（4）岩石的含水饱和度

### 2、影响地层水电阻率主要因素有哪些？如何影响？

答：影响因素有地层水化学成分、溶液浓度、温度

### 3、说明地层因素F的概念，Archie公式中，m、a含义如何？如何取值？

答：地层因素指的是饱和含水岩石电阻率Ro与岩石孔隙水电阻率Rw的比值。

a为岩性系数，通常取1，变化范围0.5~1.5

M为胶结指数，随岩石胶结程度不同而变化，通常取2，变化范围1.5~3

### 4、说明电阻增大率I的概念，Archie公式 中，b、n含义如何？如何取值？

答：电阻增大率I指的是岩石电阻率Rt与岩石饱和含水时电阻率Ro的比值。

b为岩性系数，通常取1，

n为饱和度指数，通常取2

### 5、什么是钻井液侵入？钻井液侵入类型有几种，如何定义？说明钻井液侵入类型对解释油、气、水层有何意义？

答：钻井液侵入是指在钻井过程中，一般井眼中的钻井液柱压力大于地层压力，在此压力差作用下钻井液滤液向渗透性地层中的渗入，并部分或全部置换原渗透层孔隙中的流体。

**钻井液侵入类型有两种：**（1）增阻侵入（高侵）：地层孔隙中原有流体电阻率较低时，被电阻较高的钻井液侵入导致侵入带电阻率升高。

（2）减阻侵入（低侵）：地层孔隙中原有流体电阻率较高时，被电阻较低的钻井液侵入导致侵入带电阻率降低。

### 6、井筒内产生自然电位的原因是什么？扩散电动势（Ed）、扩散吸附电动势（Eda）、过滤电动势（Et）产生的机理和条件是什么？

井中由于泥浆和地层水的矿化度不同，地层压力和泥浆柱压力不同，在井壁附近由于渗透差而产生电化学反应。

扩散电动势（Ed）：高浓度溶液中的离子受渗透压的作用穿过渗透性隔膜，最终形成接触面处的电势差，反映了井内纯砂岩井段所测量的自然电位。

扩散吸附电动势（Eda）：泥岩层由于阳离子附加导电的作用影响，需溶液中的正离子吸附平衡从而形成的电势差，反映了泥岩井段的自然电位表现。

过滤电动势（Et）：在岩石孔隙中的滤液带有的正离子向压力小的地层一方移动并聚集，而压力大的一端聚集较多的负离子，产生的电位差，为过滤电动势。

### 7、SP曲线的基线如何选取？为什么在砂岩储集层处SP曲线在有的井中是负异常、而在有的井中是正异常？SP曲线的基线有时会产生偏移，这种现象可做什么解释？

答：SP曲线通常以泥岩为基线，自然电位幅度通常取决于静自然电位SSP和自然电流I 的分布，SSP的大小主要取决于岩性、温度、地层水和泥浆中所含离子成分、泥浆滤液电阻率与地层水电阻率之比。自然电位I主要取决于介质的电阻率、地层厚度、井径大小。

以泥岩为基线，当地层水含盐浓度大于泥浆滤液浓度时，砂岩段自然电位呈现负异常，反之则为正异常。

剖面上泥岩性质的变化（Qv变化）时，自然电位基线会偏移。

### 8、影响SP曲线幅度的因素是什么？SP曲线的主要用途是什么？

答：曲线幅度的影响因素有地层水和钻井液滤液中的含盐浓度比值、岩性、温度（温度越高幅度越大）、地层水和钻井液滤液中的化学成分、地层电阻率、厚度以及井径扩大和侵入带的影响（改变的电势差接触面与仪器间的距离）。

SP曲线的主要用途是：（1）判断地层岩性和识别渗透层的含油、水特性、（2）估计渗透层厚度、（3）估算泥质含量（4）确定地层水电阻率。（5）判断水淹层。

### 9、简述电阻率测井中电极系的分类；

答：电极系按照成对电极和不成对电极的距离不同，可把电极系分为电位电极系和梯度电极系两大类。

电位电极系：不成对电极到靠近它的那个成对电极之间的距离小于成对电极间的距离。

梯度电极系：不成对电极到靠近它的那个成对电极之间的距离大于成对电极间的距离。

### 10、简述镜像法求解一个平面界面的电场分布的思路与原理；

答：镜像法的实质是把介质界面的影响用一个假象的电源（虚电源）代替，把电极系所处的介质看作是无线均匀介质。

根据唯一性定理，只要虚设的电源与实际电源一起所产生的电场满足给定的边界条件，所得结果就是正确。在处理过程中，真假电源始终对称于介质界面（镜像位置），故称其为“镜像法”。

### 11、简述电阻率测井中介质的分类与特点；

答：介质分类：（1）均匀各向同性介质

（2）均匀各向异性介质

（3）纵向阶跃介质

（4）径向阶跃介质

### 12、说明下列电极系的名称（梯度电极系应说明是顶部或底部），用图示标明记录点的位置，并计算出电极距值：B0.5A3.75N;N0.1M0.95A;A00.5M3.75N;M0.5A2.25B;A2.25M0.5N;N0.5M2.75A

### B0.5A3.75N（顶部梯度电极系，L=ON=4）；

### N0.1M0.95A（顶部梯度电极系，L=OA=1）；

### A0.5M3.75N（正装电位电极系，L=AM=0.5）；

### M0.5A2.25B（正装单位电极系，L=AM=0.5）；

### A2.25M0.5N（底部梯度电极系，L=AO=3）；

### N0.5M2.75A（顶部梯度电极系，L=AO=3）；

### 13、什么是标准测井？标准测井电极系选择原则是什么？标准测井的主要用途是什么？

答：在一个区域内，为研究地质剖面的岩性、构造和层组划分，用相同的深度比例（1:500）及相同的横向比例，对全井段进行测井，这种测井组合叫标准测井。

标准测井包含用标准电极系进行的视电阻率测井、自然电位测井及井径测量。

用途是为了研究地质剖面中的岩性变化、构造形态和进行大段油层组的划分及对比工作，即研究地区的地质宏观规律。

### 14、说明微电极系的特点与分类，两种微电极系的探测深度如何？如何用微电极系视电阻率曲线识别砂岩渗透层？

答：微电极系包含微梯度和微电位，其特点是（1）电极距极小（2）贴井壁测量（3）探测深度浅。

微梯度探测深度浅，主要反映泥饼电阻率；微电位探测深度深，主要反映冲洗带电阻率。微电极曲线在渗透层（砂岩）井段会出现幅度差。

### 15、简述三侧向、七侧向、双侧向电极系结构与基本测井原理。

答：三侧向由三个柱状电极组成，主电极A0较短，位于中间，屏蔽电极A1、A2较长，短接并对称排列在两端，电极之间用绝缘材料隔开，深三侧向会再增加两个B1、B2屏蔽电极；测量时通过调节屏蔽电极电流，是三个电极电位相等，迫使主电极电流I0径向流入地层。

七侧向：由7个体积较小的环状电极组成，以主电极为中心，电极对称排列，与三侧向相比，主电极与屏蔽电极中的增加了两对监督电极M1/M1’/M2/M2’。深七侧向在浅七侧向的基础上加了一对回流电极；测量时A1和A2屏蔽电极等电位，两对监督电极M1与M2（ ）等电位，迫使主电流水平地流入地层。

双侧向：与七侧向结构类型，不同的是在七电极系的外面再加上两个屏蔽电极A1’、A2’，且为柱状电极；测井时，主电极A0发出恒定电流I0，通过屏蔽电极A1/A1’/A2/A2’发出与I0极性相同的屏蔽电流，通过测量任一监督电极（如M1）和无穷远电极N之间的电位差来计算获得地层的视电阻率值。

### 16、简述三侧向、七侧向和双侧向测井的特点（比较电极系结构、探测深度、纵向分辨率、影响因素）

（1）电极系结构

（2）探测深度

三侧向——探测深度小，侵入影响大，深浅三侧向探测深度差异不大，判别油、气、水层效果差。原因：主电极与屏蔽电极同电位，电极系长度有限，主电流发散快。

七侧向——探测深度略高于三侧向，但高侵时，探测深度变浅。原因：采用监督电极M1

、M1’同电位来控制电流场。分布比s上升则屏流上升则屏蔽电极电位上升则探测深度增大。

双侧向——探测深度最大。原因：将屏蔽电极分成多段（两对）加长——控制各段电压——探测深度增加。

（3）纵向分辨率

三侧向——纵向分辨率高，能分辨0.4~0.5m地层。

七侧向、双侧向——纵向分辨率基本相同（0.6m左右），略低于三侧向。取决于O1、O2间距离。

（4）影响因素

三侧向——井眼、围岩影响较小，侵入影响大。

七侧向——深、浅七侧向受围岩影响程度不同（监督电极、屏蔽电极位置不同则主电流厚度不同）

双侧向——围岩、层厚对深、浅双侧向的影响相同。受井眼影响最小。

### 17、侧向测井比普通电阻率测井具有哪些优点？

答：

### 18、微侧向、邻近侧向、微球形聚焦测井主要研究什么区域的电阻率？这三种测井方法的探测深度、测井结果受泥饼影响程度有何区别？

答：（一）微侧向：探测深度很浅（80~100mm）主要反映冲洗带电阻率Rxo；受泥饼影响相对较大。

（二）邻近侧向：探测深度最深（15~25cm）主要反映冲洗带电阻率；受泥饼影响小。

（三）微球形聚焦：探测深度比微侧向深，比邻近侧向浅，受泥饼影响小。

### 19、简述裂缝产状不同时双侧向的响应特征。

答：低角度（60°以下）缝，“负差异”；、高角度（75°以上）缝，“正差异”；60°~75°裂缝，差异较小与无差异；45°裂缝时，“负差异”，且差异幅度最大。

### 20、简述砂岩地层含不同流体时双侧向的响应特征及原因。

答：油、气层：侵入带孔隙空间中的油、气部分被泥浆滤液取代，导致侵入带地层电阻率降低，在双侧向曲线上表现为“正差异”，即RLLD>RLLS。

水层：泥浆滤液电阻率一般大于地层水电阻率，深浅双侧向呈“负差异”，即RLLD<RLLS。

### 21、双侧向-微球形聚焦组合测井的主要用途是什么？

答：用不同探测深度的电阻率测井方法，进行径向电阻率测量，综合解释确定：冲洗带电阻率Rxo、侵入带电阻率Ri、原状地层电阻率Rt、侵入直径di。也可用于判别流体性质。

主要用于水基钻井液、低侵和高阻地层。

### 22、简述感应测井原理。

答：利用交流电的互感原理，使得在发射线圈T中的交流电流在接收线圈R中感应出电动势。由于发射线圈T和接收线圈R都在井内，发射线圈T必然在井周围地层中感应出涡流。而这个涡流又对接收线圈的感应电动势R发生影响，因此这个电动势与涡流的强度有关，即与地层的电导率有关。

### 23、对于感应测井仪器，什么是硬件聚焦？什么是软件聚焦？

答：硬件聚焦：传统感应测井的聚焦测量是通过硬件（复合线圈系）实现的。

软件聚焦：利用优化方法得到权系数，然后利用线圈系响应公式计算得到不同分辨率和不同探测深度的阵列感应测井曲线。

### 24、为什么在地层电阻率很高时不宜用感应测井仪器？

答：由于趋肤效应的影响，在地层电阻率很高时，其幅度衰减在真实地层中更加严重，导致侵入带和冲洗带电阻贡献增加，降低了地层电阻率的计算精度。

### 25、在感应测井中，什么是几何因子。简述几何因子的种类与含义。

答：感应测井中的视电导率指空间各个单元环的导电率加权平均值。而由Doll提出的微分几何因子g代表了其权系数，表示空间中各个单元环对视电导率的相对贡献大小。

（1）横向微分几何因子：将g对z积分，得到gz，反映线圈系的横向探测特性（井/侵入带/原状地层对视电阻率相对贡献的大小。

（2）横向积分几何因子：将gr对r积分，得到Gr，代表了半径为r的井柱以内全部介质的总相对贡献。

（3）纵向微分几何因子：将g对r积分，就可以得到纵向微分几何因子gz，反映了线圈系的纵向探测特性。决定了线圈系的纵向分辨率（发射线圈与接收线圈之间的地层贡献最大，以外的地层的贡献按1/z2的规律减小）

（4）纵向积分几何因子：将gz对z积分，得到Gz，代表了厚度有限的地层的相对贡献。

### 26、简述复合线圈系的结构与特点。

答：复合线圈系的结构：（1）由串联在一起的多个发射线圈和串联在一起的多个接收线圈组成、（2）它们分别用符号T0，T1，…TI和R0、R1、…、Rm表示。（3）它们的匝数分别是nT0，…，nTI和nR0，…，nRm表示。（4）它们的匝数T0和R0一定是最大的。

特点（以六线圈系为例）：六线圈系的径向探测深度远比主线圈对的要大；六线圈系的微分几何因子除了“高峰”，还有“深谷”；采用复合线圈系可以改进仪器的探测特性，但必须满足一定要求：（1）探测深度比主线圈深；（2）纵向分辨高；（3）无用信号趋近于0；（4）要求线圈系对其中点对称（中感应例外），发射线圈的个数=接收线圈的个数

### 27、简述阵列感应测井原理

答：传统感应测井是通过硬件聚焦即复合线圈系的方式测量的，而阵列感应测井通过一个发射线圈T和n对接收线圈Sj—Rj，利用优化方法得到权系数，然后利用线圈系响应公式计算得到不同分辨率和不同探测深度的阵列感应测井曲线。

### 28、简述阵列感应三线圈系构成与特点

答：由一个发射线圈T和n对接收线圈Sj—Rj组成，Sj和Rj串联在一起并反向缠绕。Sj也叫补偿线圈。

### 29、阵列感应测井一般测量哪些信息，其探测深度与纵向分辨率如何？

答：阵列感应测井既测实部信号（R信号），也测虚部信号（X信号）。软件聚焦处理后，同样得到3种分辨率、5种探测深度的合成曲线。其纵向分辨率分别为1英尺、2英尺和4英尺，探测深度分别为10/20/30/60/90in（径向积分）

### 30、电磁波传播测井与介电测井所测测量参数的含义、介电测井的主要用途是什么？

答：两者的目的均是测量井下地层的介电常数，（1）电磁波传播测井通过测量的电磁波在地层中相位与幅度的变化来确定的地层的介电常数，其测量参数分别为幅度衰减值（EATT）和相位值（即传播时间Tpl）—电磁波（同一相位）穿行1m距离的时间；（2）介电测井测量远近信号相位移（PHS）和信号幅度比（A2/A1）。

介电测井的主要用途是：（1）识别岩性；（2）指示裂缝；（3）计算含水孔隙度；（4）计算含水饱和度。

### 31、过套管电阻率测井与常规电阻率测井（如侧向、感应测井）的区别。

答：过套管电阻率测井本质上属于裸眼井测井中的侧向测井方法，通过下井仪器向地层发射一回路在地面的低频电流信号（0.01~10Hz）,大部分电流在金属套管中流动，但是仍有小部分电流通过金属套管进入地层，根据检测到的测量电极和地面的回路电极之间的电位差，得到地层的电阻率信息。 因此区别在于实现了信号的测量，并且测量频率比侧向测井和感应测井低。

### 32、过套管电阻率测井的意义何在？过套管电阻率测井方法实现的关键技术是什么？

答：意义在于实现了油藏开发阶段、对套管井的电阻率测量。实现的关键技术是实现小信号的测量。

应用：（1）油藏动态监测；（2）剩余油分布监测；（3）补偿裸眼测井；（4）确实漏失的油气层。

### 33、四臂地层倾角仪能测量哪些信息？简述其测量原理。

答：仪器由两个系统组成：（1）测斜系统（2）极板系统；

能够测量4条微电导率曲线、2条井径曲线、3条角度（方位）曲线（1号极板方位角、相对方位角和井斜角）。

通过磁针罗盘测量1号极板相对方位角曲线AZ（），用弧形电位器及铅锤确定井斜角，用定位摆及环形电位器测量相对方位角，根据4条微电阻率曲线的对比，可以确定地层层面上的四个点M1/M2/M3/M4沿井轴方向的高度，~~进一步计算出地层面在仪器平面上的倾角和倾斜方位角~~。分别通过1、3号极板和2、4号极板测得两条CAL井径曲线。~~用弧形电位器及铅锤确定井斜角，用定位摆及环形电位器测量相对方位角，根据1号极板方位角和相对方位角可近似计算井斜方位角。~~

### 35、HDT、SHDT、SED在设计上主要有哪些特点？

答：HDT（高分辨率地层倾角测井仪）：（1）增加“校速电极”，1号极板上镶嵌两个纵向排列的电极，一个用于校速，一个测量地层信息。当仪器遇阻或遇卡时，可对高程差进行速度校正。（2）测斜部分改进：设立了两种类型的测斜系统：低角度测斜系统和高角度测斜系统。

SHDT（地层学地层倾角测井仪）：（1）极板改进：四个极板上都有水平相距3cm的并列电极；（2）速度校正：并列电极采样率提高、增加三维加速度计、I、II号极板上安装“校速电极”；（3）测斜改进：用一个三维加速度计和三个磁力计测量并计算4个角度、减少了井下的可动部分；（4）自动调节电流；（5）简化井下仪器臂结构：张开和合拢时，电极沿圆弧运动；

SED（六臂地层倾角测井仪）：（1）仪器具有6个臂；（2）允许每一个臂各自独立地伸缩。

### 34、简述确定相关对比的参数的原则。

答：主要根据要解决的地质问题来选择：构造问题和沉积问题。

（1）对比长度（窗长）：解决构造问题是采用长对比的方法；解决沉积问题采用短对比。

（2）探索角：根据研究对象倾角大小确定，对象比较陡时，探索角要大。平缓时，探索角要小。

（3）步长：构造问题时，步长小于窗长，一般使相邻两个窗长有50~70%的重复。沉积问题时，步长等于窗长，且无重复。

### 36、相关对比法的局限性。

答：（1）对比参数（对比长度）预定给定后固定不变，不能适应复杂多变的地质情况；

（2）机械地进行相关对比，没有考虑进行对比的最基本的要素——成层现象；

（3）只有4个极板所经过的岩层厚度相同，4条微电阻率曲线形状相似、相关对比的质量才是可靠的。否则，不太可靠。

### 37、简述图形识别法的对比原则。

答：计算机按测井曲线的形态进行图形相关对比的方法，是掌握对比标志层，按三级控制，分级对比的方法进行。对比原则如下：

（1）分级对比：采用三级控制，分级对比的办法进行。先对比高等级的曲线元素，后对比低等级曲线元素，低等级曲线元素的对比线不允许跨过高等级曲线元素。

（2）差别系数：其值越小，说明两者越接近。

（3）附加检查准则：进行相似性检查、识别力检查、厚度比例大致相等的检查。

（4）选对比标志层：选对比特征最明显的曲线元素作为对比标志层。

（5）非交叉对比原则：两条对比线之间，地层可能尖灭，但不可能出现交叉。

### 38、曲线元素的三种等级、五种类型是什么？

答：三种等级：小峰、中锋、大峰；

五种类型：缝、谷、尖峰、台阶、平直线段。

### 39、倾角矢量图常用的颜色模式有哪些？含义与作用？

答：（1）绿色模式：随深度变化，方位角和倾角相对稳定的一组矢量，指示了构造倾角。

（2）红色模式：方位角大体一致，倾角随深度增加而增加的一组矢量，指示了断层、褶皱、砂坝、河床沉积、岩礁等。

（3）兰色模式：方位角大体一致，倾角随深度增加而减小的一组矢量，指示了古水流方向。

（4）杂乱模式：随深度变化方位角和倾角变化杂乱，指示断层破碎带、地层倒转点。

### 40、矢量图在单斜构造上的显示特征是什么？为何判断和分层理倾角和构造倾角？

答：单斜构造中，层面的倾角和方位在一定区域范围内基本是一致的。

### 42、FMI仪器的组成与功能。

答：FMI仪器主要由6部分组成，

（1）遥测系统：把所测得的地层信息、辅助测量信息、以及控制信息传输到地面。

（2）控制系统：把在每一种测井模式（共有三种模式：全井眼模式、四极板方式和倾角方式）下采集数据所需的时间减至最小，并根据岩石的特征，自动控制电流信号的动态范围。

（3）绝缘系统：把电子线路短节与探头分开，使电流从极板流入地层，回流到电子线路外壳，且使两者有一定的电位差。

（4）数据采集系统：从携带微电阻率数据的信号中去掉直流部分，对信号进行数字化、数字滤波和数字信号处理等。

（5）倾角系统：测量井眼的井斜、方位以及仪器的加速度（用于对图像和倾角数据进行加速度校正）。

（6）极板与电极：FMI由4个臂（共8个极板）组成，每个臂包括一个主机板和一个副极板；每个极板有24个电极，每个电极直径0.2英寸，电极间距0.1英寸，共192个电极，可获得192条曲线；在8.5英寸的井眼中其方位覆盖率达80%，在6英寸的井眼中其方位覆盖率达100%。

### 43、FMI的极板、电极结构与特点

答：FMI由4个臂（共8个极板）组成，每个臂包括一个主机板和一个副极板；每个极板有24个电极，每个电极直径0.2英寸，电极间距0.1英寸，共192个电极，可获得192条曲线；在8.5英寸的井眼中其方位覆盖率达80%，在6英寸的井眼中其方位覆盖率达100%。

特点：

* 具有高的分辨率，其纽扣电极的分辨率为0.2英寸：
* 具有高的采样率，其纵向采样率为0.1英寸/点。
* 对于高电阻率地层（如碳酸盐岩）效果好。
* 高的灵敏度，只要电阻率有较小的变化，就能反映出来，能区分出几~几十微米的薄层（或裂缝）。
* 井眼形状影响小，因为是贴井壁测量。

FMI提供三个测量模块，全井眼模块、4极板模块、倾角模块。

### 44、简述微电阻率成像测井的应用。

（1）宏观地质特征的直观识别；（2）缝洞识别与缝洞参数计算；（3）帮助岩心定位与描述，部分替代钻井取心；（4）沉积特征分析；（5）地质构造分析；

### 41、简述方位电阻率成像测井原理、电极系特点及测量信息。

答：方位电阻率成像测井（ARI）将方位电极与常规双侧向的电极阵列有机地组合在一起；12个方位供电电极安装在屏蔽电极A2中，电极间成30°角，可测12条方位电阻率曲线、一条高分辨率电阻率曲线（平均）RLLHR，两条侧向曲线；每个方位电极的中心有监督电极，电极阵列上下两侧装有环装监督电极M3/M4（两电极短路连接）。

# 核测井

核测井包括伽马测井、中子测井和核磁测井三大类。

1、伽马测井测量由核衰变产生并与地层相互作用的伽马射线。

2、中子测井测量经地层慢化的中子或中子诱发的伽马射线。

3、核磁测井测量核磁共振产生的射频信号。

## 第一节 核测井核物理基础系

### 一、伽马测井物理基础

4、核素：原子核的质子数和中子数都相等并处于同一能态的同一类原子。

5、射线：是高速运动的氦原子核，穿透能力最低但电离能力最强。在核测井中，利用粒子与某些原子核的相互作用可制造中子源。

6、射线：高速运动的电子流，穿透能力较射线强但电离能力较射线弱。在核测井中，能发射粒子的某些核素（3H）可做井间示踪剂。

7、射线（伽马射线）：波长很短的电磁波，贯穿能力很强但电离能力最弱。射线能穿透几十厘米的地层、水泥环、套管和下井仪器的外壁而被探测器接收到，是核测井主要的探测对象。

8、放射源：对核测井，能发射核射线的矿物、岩石、地层和人工制造的装置都是放射源。

9、衰变：原子核自发发射粒子（4He核）转变成另一个原子核 放射性现象。

10、衰变：原子核自发的发射负电子、正电子或俘获一个轨道电子所发生的转变。

11、伽马跃迁（衰变）：激发态的原子核通过发射伽马射线而退激到较低能级或基态的过程。

12、内转换：激发态的原子核，退激时若将能力传递给某个壳层电子（如K壳层电子）使电子（内转换电子）发射出去。

13、放射性活度（强度）：一个放射源在单位时间内发生衰变的原子核数。

14、天然放射系有三个，即钍系、铀系、锕系。

15、伽马射线能力低于30MeV时，它与物质相互作用主要有光电效应、康普顿效应和电子对效应（生成电子对）。

16、光电效应：当伽马光子与物质电子中的束缚电子作用时，光子把全部能量转移给某个束缚电子，使之发射出去，而光子本身消失掉。

17、康普顿效应：伽马光子与原子的核外电子发生非弹性碰撞，一部分能力转移给电子，使它脱离原子成为反冲电子，而散射光子的能量和运动发生变化。

18、电子对效应：当伽马光子从原子核旁经过时，在原子核的库仑力场作用下，伽马光子转变为一个正电子和一个负电子。

19、试述闪烁探测器的工作过程？

（1）伽马射线进入晶体，通过光电效应、康普顿效应和电子对效应产生次级电子；

（2）闪烁体吸收电子的能量，使原子、分子电离和激发；

（3）被电离和激发的原子、分子退激时产生光子，即发生闪烁；

（4）利用反射物质和光耦合剂使光子尽可能被收集到光电倍增管的光阴极上，并经光电效应产生光电子。

（5）光电子在光电倍增管中倍增，电子数量增加几个数量级，并收集到阳极上，并经过光电效应产生光电子；

（6）电信号经电子仪器处理、记录。

20、放射性计数统计涨落：即使所有的测量条件都是稳定的，每次测到的计数并不完全相同，而是围绕着某一平均值上下涨落。

### 二、中子测井物理基础

中子测井是以中子与地层的相互作用为基础的测井方法。

21、什么是中子源？什么是放射性中子源和加速器中子源？

答：某些核素在核反应过程中能发射中子，能产生中子的装置叫中子源。中子源有放射性中子源和加速器中子源两种。前者发射的中子平均能量为4~5MeV，而后者发射能量为14MeV的中子。

22、在中子分类中，与测井有关的中子有哪些？测井中所有产生中子的核反应是什么？

答：中子测井用快中子源，而测量的是超热中子，热中子和中子激发的伽马射线。

23、放射性中子源（同位素中子源）：利用放射性核素衰变时发射的具有较高能量的粒子，轰击某些靶物质，实现发射中子的核反应。

24、加速器中子源：用加速到一定能量的带点粒子轰击某些钯材料，可以引起发射中子的核反应。

25、中子和原子核的相互作用有哪些？能产生哪些伽马射线？（P30）

答：（1）快中子和原子核的非弹性散射：快中子先被靶核吸收形成复核，释放一个能力较低的中子，靶核处于激发态，常常以发射伽马射线的方式释放出激发能回到基态，碰撞前后系统的动能不守恒。

（2）快中子与原子核的弹性散射：中子和原子核发生碰撞后，系统的总动能不变，中子所损失的动能全部转变为反冲核的动能，而反冲核仍处于基态。

（3）辐射俘获核反应：靶核俘获一个热中子而变为激发态的复核，然后复核放出一个或几个光子。

（4）中子活化：中子通过（n，）、（n，p）和（n，）反应，能使某些稳定核素转变为放射性核素，即发生中子活化核反应。

26、什么是快中子的减速时间和减速长度？P39

答：快中子从初始能量减速到热中子能量（0.025eV）所需要的时间，叫岩石的快中子减速时间。

由中子源发射出的快中子（E=E0），在地层中经散射减速到热中子（E=Et）所移动的直线距离R叫中子的减速距离。

27、什么是热中子寿命和热中子扩散长度？

答：中子从减速到热中子的时刻起，到被吸收的时刻的时刻止，所经过的平均时间称为岩石的热中子寿命，也叫扩散时间。

热中子从产生的位置到被吸收的位置止的直线距离称为岩石的热中子扩散距离。

28、中子探测器有哪些？什么是中子通量？

答：中子探测器有含硼气体计数管、闪烁探测器、3He计数管、半导体探测器。

单位时间进入单位体积小球的中子数。

## 第二节 伽马测井

29、什么是伽马测井，及其分类？

答：依据天然或人工伽马源在地层和井眼中生成的辐射场，测量和分析伽马射线强度和能谱，研究地层的岩性、矿物成分、密度、孔隙度、流体运移及相关地质及工程问题的原子核地球物理测井方法。按伽马源种类可分为自然伽马测井、放射伽马测井和示踪剂伽马测井。

### 一、自然伽马测井

30、分析铀、钍、钾三种放射元素的地球化学性质？

答：（1）铀（U）活泼，是典型的亲氧元素，在自然界U6+和U4+相互转化。岩浆岩中，铀的含量从酸性、中性、基性到超基性岩逐渐减少。

（2）钍（Th）的化合价以四价为主，通常与铀共生，钍铀比被认为是太阳系中的基本比值之一，钍的化合物性质稳定，运移以机械风化迁移为主。

（3）钾（K）有三个天然同位素，39K、40K、41K，其中40K是放射性同位素，钾在岩浆岩中的含量随SiO2的增加而增高。含钾的硅酸盐矿物易于被风化分解。易于被粘土矿物所吸收，钾和钍是粘土矿物主要指示元素。

31、简述铀、钍、钾在岩石中的分布规律？P48

32、能谱：显示射线强度的能力分布。

33、什么是能谱？铀钍钾的特征及伽马射线的能量各是多少？P54

34、什么是源强密度？比活度？自然伽马通量密度定义？P59

答：伽马源在单位时间里发射的光子总数（平均数）称为源强，单位体积内的源强称为源强密度。

单位质量放射源的活度叫比活度。

自然伽马的通量密度：单位时间和截面积内通过的光子数，定义了伽马强度的大小。

35、无线均匀放射性地层中自然伽马能谱特点？P60

36、有限厚地层沿井轴的光子通量密度分布特点。P64

37、自然伽马能谱井下仪器的组成有哪些？

答：（1）伽马射线探测器；（2）脉冲幅度分析器；（3）稳谱源和稳谱探测器；（4）下井仪器控制系统；（5）数据处理和记录系统；

38、自然伽马能谱井下仪的稳谱工作原理是什么？P68

39、什么是井下仪器标准化？它的实质是什么？如何对自然伽马测井进行标准化？P69

40、自然伽马仪器标准化刻度井由哪几部分组成？P68

41、低放射性钻井液与KCl，重晶石钻井液对自然伽马测井有何影响？

答：若钻井液为低放射性钻井液，则井的影响主要是对来自地层的伽马射线的散射和吸收；钻井液中含有KCl，则钻井液柱相当于一个附加的放射源，钾的特征道区计数率会增高，当钻井液中含有重晶石时，钻井液的光电吸收效应增强，将使自然伽马谱严重变形。

42、什么叫解谱？为什么要进行解谱？P75

答：自然伽马仪器谱包含着铀、钍和钾的贡献，是由多种核素的伽马谱组成的混合谱或仪器谱。对混合谱必须通过解析才能得到初始能量不同的伽马射线的净计数率，进而确定地层中铀、钍、钾的含量，对混合谱的解析叫解谱。

43、剥谱法的基本原理是什么？其适应条件有哪些？P77

44、自然伽马能谱测井的应用？P83

答：（1）岩性识别和地层对比；（2）识别高放射性油气层；（3）研究黏土岩；（4）监控水淹层；（5）寻找放射性矿物；（6）计算岩石生热率；（7）监控环境污染。

### 二、散射伽马能谱测井

45、散射伽马能谱测井：以伽马射线与地层相互作用为基础的测井方法。

46、补偿密度测井和岩性密度测井有什么不同？

答：早期的测井仪器只利用康普顿效应测井地层的密度，称为补偿密度测井；

改进后的仪器同时利用光电效应和康普顿效应，测定地层的岩性和密度，称为岩性密度测井。

47、砂岩、石灰岩、白云岩的真密度与视密度之间有什么差别？P100

48、不同Pe（光电吸收系数）值的岩性散射伽马能谱射线有什么特点？P105

49、散射伽马谱的能窗设置特点有哪些？P109

50、简述泥饼对密度测井的影响？P110

51、试述薄层对密度测井的影响？P116

52、散射伽马测井的应用。P118

答：（1）鉴别岩性；（2）求储集层孔隙度；（3）其他用途：求泥质含量和识别粘土矿物、求地层的波阻抗、研究压力异常。

## 第三节 中子测井

采用放射性中子源的中子测井，能直接记录的是超热中子、热中子计数率或俘获伽马计数率及能谱。热中子测井是应用最广泛的测井方法（又称补偿中子测井）、CNL/CN/NPHI

### 一、放射性中子源中子测井

53、超热中子测井——井壁中子测井（SNP）P131

54、含氢指数：1cm2任何岩石或矿物中的氢核数与同样体积的淡水的氢核数的比值。

#### 55、挖掘效应相关内容

（1）挖局效应：与饱含淡水的地层相比，当地层含天然气时，部分孔隙空间的水被气代替，天然气使中子孔隙度减小的量比含氢指数减小的量还要大，含气部分体积等于挖掘了相同体积的岩石骨架，生成了一个负的含氢指数附加值，这一效应称为挖掘效应。

（2）挖掘效应的大小与地层的岩性、孔隙度、含水饱和度（或残余油饱和度）及天然气的含氢指数有关。天然气的含氢指数越小，气占的孔隙体积越大，挖掘效应的作用就越强。

56、热中子测井——补偿中子测井P136

57、中子伽马和中子伽马能谱测井 P147

58、热中子活化测井 P151

### 二、脉冲中子测井

#### 59、脉冲中子测井原理及过程P154

60、脉冲中子和伽马通量的时间和空间分布 P159

61、碳氧比测井模式 P161

62、热中子寿命测井 P177

## 第四章 核磁共振测井

#### 63、核磁测井的优点？

答：（1）确定孔隙度时，不受骨架的影响；

（2）在确定流体饱和度时能避开地层水电阻率；

（3）可以把不同状态的水，如束缚水和可动水区分开。

## 第一节 核磁共振测井的物理基础

64、自旋现象：所有含奇数个核子以及含偶数个核子但原子序数是奇数的原子核，都具有内秉角动量（或叫自旋）

65、宏观磁化强度：单位体积内核磁矩的和叫宏观磁化强度。

#### 66、核磁共振现象：

对于被磁化的核自旋系统，如果在垂直于静磁场方向再加一个交变电磁场B1，而且使其频率-，根据量子力学原理，核自旋系统将发生共振吸收现象，即处于低能态的核磁矩通过吸收交变电磁场提供的能量跃迁到高能态。

67、弛豫：在射频脉冲施加以前，自旋系统处于平衡状态，宏观的磁化强M与静磁场B0方向相同；射频脉冲作用期间，磁化强度偏离静磁场方向；射频脉冲作用结束，磁化强度又将通过自由进动，朝B0方向恢复，使核自旋从高能级的非平衡状态恢复到低能级的平衡状态。恢复的过程称为弛豫。

设B0的方向为z方向，射频脉冲作用后，M被分解成x—y平面的分量（横向分量）Mxy和z方向的分量（纵向分量）Mz。

68、横向弛豫：x—y平面的横向分量Mxy往数值为零的初始状态恢复的过程。

69、纵向弛豫：z方向的纵向分量Mz往初始宏观磁化强度M0的数值恢复的过程。

70、自旋回波：实际上是一个服从能量守恒的散相——重聚过程。自旋回波脉冲序列“90°——180°——回波”所组成。第一个90°脉冲使磁场矢量板转到x—y水平面上。磁化矢量的横向分量会由于静磁场的局部非均匀性等原因而很快散相。经过一定延迟时间后，施加一个180°脉冲，把磁化矢量扳转180°，到其镜像位置，结果是沿着与散相过程相反的方向使磁化矢量各横向分量得以重聚，在180°脉冲后的时刻，观测到一个回波信号。

## 第二节 核磁共振测井的岩石物理基础

核磁共振测井的目的，是要通过对氢核核磁共振信号的观测，识别地层孔隙中的流体及其含量。其地层相关性质有：含氢指数（HI）、扩散系数（D）、纵向弛豫时间（T1）及横向弛豫时间（T2）。

孔隙流体的纵向弛豫过程主要由自由弛豫和扩散弛豫两种机制所控制，横向弛豫过程则受到自由弛豫、表面弛豫和扩散弛豫三种机制的作用。

#### 71、自由弛豫：

反映流体本身的核磁共振性质，主要是邻近核自旋随机运动所产生的局部磁场涨落的结果。

#### 72、扩散弛豫：

CPMG测量自旋汇报串的时候，分子扩散引起回波串衰减速率加快，由此引入的弛豫叫做扩散弛豫。

#### 73、表面弛豫：

流体吸附在岩石颗粒的表面，核磁共振实验期间，扩散将使分子有足够的机会与颗粒表面碰撞。分子碰撞颗粒表面时，会把核自旋的能量传递给颗粒表面，使质子自旋沿B0重新取向，由此引起纵向弛豫。同时，自旋被不可逆转地失相，引起横向弛豫加速。

74、油和水的扩散系数有较大的差别。P231

## 第三节 核磁共振测井仪器的测量原理

75、核磁共振测井基本过程包括：磁体对地层的磁化；天线发射射频脉冲；天线采集自旋回波串；采用梯度磁场和选择性射频脉冲进行定位观测；仪器运动对观测结果将产生影响。

76、探头（核磁共振测井仪器的传感器）：由磁体和天线组成，以居中或贴井壁的方式放置在井眼中。

77、磁化（极化）：在没有外加磁场的时候，氢核的磁矩是随机取向的，宏观上没有磁性，当磁体放到井里时，将在其周围的地层中产生磁场，使氢核的磁矩沿磁场方向取向。

#### 78、核磁共振测井的原理？

答：（1）对地层施加外加磁场，使氢原子核磁化。

（2）利用一个天线系统，向地层发射特定能量、特定频率和特定时间间隔的电磁波脉冲，产生所谓的自旋回波信号，并接收和采集到这种回波信号。

79、双Tw法（差谱法）

答：核磁共振测井识别流体的方法之一是根据轻烃（天然气和轻质油）与水的纵向弛豫时间T1的差异发展起来的双Tw法。通常，轻烃有比较长的T1（纵向弛豫时间），而水则由于和岩石孔隙表面接触，T1大大缩短，因而，轻烃与孔隙水完全极化所需要的时间差别很大。对于孔隙水而言，较短的极化时间就足以使其完全磁化；而轻质油与天然气则需要较长的极化时间，才能完全磁化。所以，如果有轻烃存在，长、短极化时间得到的T2分布就会有明显差异。理论上，两个T2分布相减，水的信号可以相互抵消，而油与气的信号则余留在差谱之中，由此可识别油气。

80、双TE法（移谱法）

答：根据粘度较高的油与水的扩散系数D的差异发展起来的双TE法。通常，水的扩散系数比较大，而高粘度原油的扩散系数比水小。观测的横向弛豫时间T2是流体的扩散系数D、回波间隔TE以及磁场梯度G的函数。对于固定的G，改变TE，高粘度油与自由水的T2将发生不同程度的变化，即自由水的T2将比高粘度油以更快的速度减小。通过合理地选择TE，甚至可以在T2分布上把自由水与高粘度油完全分开。比较长、短TE的T2分布，找出油、水的特征信号，从而识别流体。