第十章　成像测井部分（5 学时）

第一节、 地层微电阻率扫描成像测井

地层微电阻率扫描成像测井是一种重要的井壁成像方法，它利用多极板上的多排钮扣状的小电极向井壁地层发射电流，由于电极接触的岩石成分、结构及所含流体的不同，由此引起电流的变化，电流的变化反映井壁各处的岩石电阻率的变化，据此可显示电阻率的井壁成像。自 80 年代斯伦贝谢公司的地层微电阻率扫描测井(FMS)投入工业应用以来，得到了迅速的发展，如今已是井壁成像的重要测井方法。

我们知道，微电阻率测井贴井壁测量，探测深度浅而垂向分辨率高，因而对井壁附近地层的电性不均匀极为敏感。因此，人们利用微侧向测井研究冲洗带和裂缝，利用四条微电导率测井曲线确定地层倾角，识别裂缝，研究沉积相等。但是，这些微电阻率测井无法确定裂缝的产状，无法区分裂缝、小溶洞和溶孔，这些问题都可由微电阻率扫描测井解决。

1 、电极排列及测量原理

地层微电阻率扫描成像测井采用了侧向测井的屏蔽原理，在原地层倾角测井仪的极板上装有钮扣状的小电极，测量每个钮扣电极发射的电流强度，从而反映井壁地层电阻率的变化。通常把电流电平转换成灰度显示，不同级别的灰度表示不同的电流电平，这样就可用灰度图来显示井壁底电阻率的变化。

第一代 FMS 是在地层倾角测井仪两个相邻极板上装上钮扣状电极，每个极板上装有 4 排 27 各电极，共有 54 个电极，每排电极相互错开，以提高井壁覆盖率。对 8.5in 的井眼，井壁覆盖率为 20%。

www.bbgoil.com

为提高井壁覆盖率，第二代仪器在 4 个极板上都装有两排钮扣电极，每排 8 个共 16 个电极，4 个极板共 64 电极，对 8.5in 井眼，井壁覆盖率达 40%，这种仪器在电极上作了很大的改进，把原来的 4 排电极改为 2 排电极，能更准确地作深度偏移。

2 、全井眼地层微电阻率扫描成像测井(FMI)

斯伦贝谢公司在前述仪器基础上，又研制了 FMI。该仪器除 4 个极板外，在每个极板的左下侧又装有翼板，翼板可围绕极板轴转动，以便更好地与井壁接触。每个极板和翼板上装有两排电极，每排 1 2 个电极，8 个极板上共有 1 9 2 个电极，对 8.5in 井眼，井壁覆盖率可达 80%，能更全面精确地显示井壁地层的变化。

该仪器可根据用户要求进行三种模式的测井：

(1) 全井眼模式测井。用 192 个钮扣电极进行测量，进行井壁成像。

(2) 4 极板模式测井。此时用 4 个极板上的 96 个电势进行测量，翼板上的电极不工作，对于地质情况较熟悉的区域，采用这种方式测井可提高测速，降低采集数据量和测井成本，但对井壁覆盖率降低一半。

(3) 地层倾角测井。当用户不需要井壁成像，而需要地层倾角时，可用这种模式测井。这是只用 4 个极板上的 8 个电极测量，得出高分辨率地层倾角仪同样的结果，测速可进一步。

在应用 FMI 资料时，通常在一个地区，选有代表性的参数井进行取芯，并作 FMI 测井，通过与岩芯柱的详细对比，研究有关地质特征在井壁图像中的显示，就能充分利用这些特征解决地质问题。

第二节、偶极横波测井

普通的声波测井得到广泛的应用，但这种方法只能在硬地层中测量纵波和横波，效果良好。在软地层中却无法测量横波，为此斯伦贝谢公司研制了偶极横波成像(DSI)测井。

1、DSI 测井原理

普通声波测井使用单极声波发射器，在硬地层($V_s > V_1$)条件下，可以得到纵波和横波时差，如长源距声波全波列测井那样。但在疏松地层($V_s < V_1$)中，由于地层横波首波与井中泥浆波一起传播，因此单极声波测井无法获得横波首波。

DSI 采用偶极声波源（即声波源由两个单极声波源组成），它很像一个活塞，能使井壁的一侧压力增大，而另一侧压力减小，故使井壁产生扰动，在地层中直接激发纵波和横波，这种扰曲波的振动方向与井轴垂直，但传播方向与井轴平行。通常这种声波发射器的工作频率一般低于 4kHz，另外，它还有低频发射功能，其频率可低于 1kHz，在大井眼和速度很慢的地层中可得出很好的结果，同时增大了探测深度。

这种由井眼扰曲运动形成的剪切扰曲波具有频散特性（传播速度随频率的变化而变化），不同频率其传播速度不同，在高频时其速度低于地层横波速度，低频时与横波速度相同。由此可见，用 DSI 可以由扰曲波提取地层的横波时差。

DSI 仪器由发射器、接收器和数据采集电子线路组成。发射器由三个发射器单元组成，下偶极发射器和上偶极发射器（两者方向相互垂直），一个单极全方位陶瓷发射器。可用低频脉冲激励单极换能器产生斯通利波，用高频脉冲极力该换能器产生纵波和横波。用低频脉冲激励偶极换能器产生纵波和横波。

www.bbgoil.com

2、该仪器的工作方式

DSI 有多种工作方式，可以进行任意组合：

(1) 下偶极方式：采集和处理下偶极发射器，相应接收器接收偶极波形数据及扰曲波慢度，获取有关横波数据。

(2) 上偶极方式：采集和处理上偶极发射器，相应接收器接收偶极波形数据及扰曲波慢度，获取有关横波数据。

(3) 斯通利波方式：当用低频脉冲激励单极发射器，采集和处理相应接收器接收到的单极波形数据，从而得到斯通利波时差。

(4) 纵波和横波方式：当用高频脉冲激励单极发射器，采集和处理相应接收器接收到的单极波形数据，从而得到纵波和横波时差。

(5) 首波检测方式：当用高频脉冲激励单极发射器发射时，采集和处理相应接收器接收到的单极波与阈值的交叉数据，测得纵波时差。

3、DSI 的应用

DSI 除一般纵波的应用外，主要还有以下几方面的应用：

(1) 鉴别岩性和划分气层。利用$V_p < V_s$（纵、横波速度比）与Δt_c（纵波时差）的交会图可以鉴别岩性和划分气层。

(2) 划分裂缝带。当斯通利波遇张开裂缝时，由于裂缝处声阻抗大，故使斯通利波的能量被反射，通过对斯通利波波形的处理，可提取反射系数，从而判别裂缝带。

(3) 进行岩石机械特性分析。根据测得的纵、横波时差及地层密度，可以计算地层岩石的机械特性，如泊松比σ，杨氏模量E及拉梅系数（λ,μ）等。

DSI 是一个新的测井技术，在其解释方法和应用方面尚需进一步研究开发。

第三节、核磁共振测井(NML)

核磁共振测井是一种适用于裸眼井的测井新技术，是目前唯一可以直接测量任意岩性储集层自由流体（油、气、水）渗流体积特性的测井方法，比其它方法有明显的优越性。

1、基本原理

核磁共振技术是利用原子核的顺磁性以及与它们相互作用的外加磁场。原子核是一具有自旋而且带电的系统，所以它们的旋转便产生磁场，其强度和方向可用一组核磁矩(M)的矢量参数来表示。在没有任何外场的情况下，核磁矩(M)是无规律地自由排列的。在有固定的均匀强磁场B_0影响下，这个自旋系统被极化，即 M 重新排列取向，沿着磁场方向排列。同时，原子核还存在轨道动量矩，象陀螺一样环绕，这个场的方向以频率ω_0进动。ω_0与磁场强度B_0成正比，并称ω_0为拉莫尔频率。

www.blogoil.com

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

其中，$\gamma = \mu / P$为原子核的旋磁比；μ为原子核的磁矩；P为原子核的动量矩。

在极化后的磁场中，如果在垂直于B_0的方向再加一个交变磁场，其频率也为ω_0，将会发生共振吸收现象，即处于低能态的核磁矩，通过吸收交变磁场提供的能量，越迁至高能态，此现象称为核磁共振。

造岩元素中各种原子核的核磁共振效应的数值是不同的，它首先决定于原子核的旋磁比，岩石中元素的天然含量以及包含该元素的物质赋存状态。

核磁测井以氢核与外加磁场的相互作用为基础，可直接测量孔隙流体的特征，不受岩石骨架矿物的影响，能提供丰富的底信息，如地层的有效孔隙度、自由流体孔隙度、束缚水孔隙度、孔径分布及渗透率等参数。

氢核在地磁场中具有最大的旋磁比和最高的共振频率，根据含氢物质的旋磁比、天然含量和赋存状态，氢是在钻井条件下最容易研究的元素。因此，包含某种流（水、油或天然气）中的氢原子核是核磁测井的研究对象。

对于静磁场，热平衡时，处于地磁场的氢核自旋系统的磁化矢量与静磁场方向相同，加极化磁场后，磁化矢量偏离静磁场方向，经核磁共振达到高能级的非平衡状态，断掉交变极化磁场后，磁化矢量又将通过自由进动朝着静磁场方向恢复，使自旋系统从高能级的非平衡状态恢复到低能级的平衡状态，这个恢复过程

称为弛豫时间。

实际测井时，以地磁场当成静磁场，通过下井仪首先把一个很强的极化磁场加到地层中，等氢核完全极化后，再撤去极化场，则氢核磁化矢量便绕地磁场自由进动，在接收线圈中就可测到一个感应电动势。由于束缚水和可动流体的弛豫时间不同，所以束缚水、可动流体在接收线圈中产生的感应电动势的强弱和持续时间也不一样。测井前事先刻度出束缚水和可动流体的弛豫时间，这样束缚水、可动流体的信息就可直接在测井曲线上反映出来，即可直接计算出自由水、束缚水饱和度。

2、核磁共振测井的用途

(1) 划分储集层
(2) 确定储层的有效孔隙度
(3) 确定渗透率、颗粒大小
(4) 确定残余油饱和度
(5) 在沥青化的储集层中划分含可动油的夹层
(6) 估计含油地层的自由水含量，确定储集层的产能
(7) 评价低电阻率油层

www.blogoil.com