



C 原理及知识点.....	36
1. 什么是弛豫时间.....	36
2. 横向弛豫与纵向弛豫的差别.....	36
3. 什么是梯度场及其作用.....	36
4. 信噪比概念.....	36
5. 何为实部、虚部.....	36
6. 图像灰度值.....	37
7. T2 波谱中存在的大数吃小数问题.....	37
8. 图像伪彩.....	37
9. 统一灰度映射.....	37
10. T1 大于等于 T2 原因.....	38
11. 纵向和横向弛豫的本质是什么?	38
12. 不同 TE 会有不同最小 RFD 的原因.....	38
13. 什么是窗位、窗宽.....	41
14. 核磁共振信号强度与温度的关系.....	41
15. 低场 MRI 信噪比.....	41
16. 实验过程中射频信号对核磁共振分析的影响.....	41
17. 核磁共振采样时匀场的作用.....	42
18. 什么是核磁共振.....	42
19. 什么是 K 空间.....	42
20. 有机页岩吸附气含量影响因素.....	43
21. 油、气、水弛豫特征.....	43
22. 磁共振常见伪影种类及简单解决方法.....	44
23. 为什么 Mn 和 Cu 离子会加快水的弛豫.....	44
24. 为什么分析试验用的是硬脉冲, 成像试验用的是软脉冲.....	44
25. 为什么核磁成像过程中需要给补偿梯度.....	45
26. 怎样理解交联密度测试中使用的 GFS 模型?	45
27. 为什么交联密度测试需要高温?	45
28. 低温纳米孔径测试原理.....	45



C 原理及知识点

1. 什么是弛豫时间

答：弛豫时间(Relaxation Time)，即达到热动平衡所需的时间，包括纵向弛豫时间及横向弛豫时间。

2. 横向弛豫与纵向弛豫的差别

答：横向弛豫时间描述横向磁化矢量分量的恢复的快慢，反映两个自旋系统间的相互作用，称为自旋-自旋弛豫时间，纵向弛豫时间描述纵向磁化矢量分量的恢复快慢，反映自旋系统与外界晶格间的相互作用，称为自旋-晶格弛豫时间。在液体中横向弛豫时间近似于纵向弛豫时间，但是固体中横向弛豫时间要远小于纵向弛豫时间。

3. 什么是梯度场及其作用

答：在 MRI 系统中，梯度指利用外加梯度磁场使磁场强度随着空间位置线性变化。梯度场的主要作用在于对样品进行空间梯度编码，从而得到 2D 及 3D 图片。同样，梯度场也可用于扩散因子的计算。

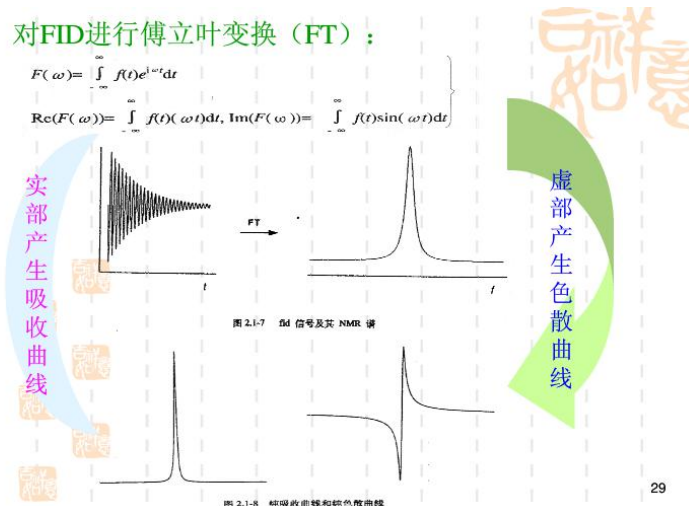
4. 信噪比概念

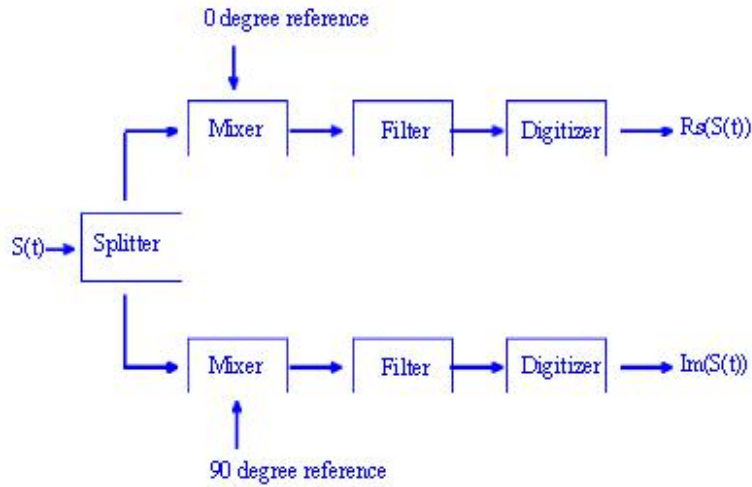
答：信噪比，即 SNR (Signal to Noise Ratio)，又称为讯噪比，反映 NMR 采样信号及噪声的比值，常规方法可用信号值比上标准差得到 SNR。单位为 Db，excel 表格计算方法：
SNR=mean (10 次采样信号) /stdev (10 次采样信号)；

5. 何为实部、虚部

答：电磁波信号波实际上是由二个正交(互相垂直)的彼此完全相同的波组成的。其中一个描述辐射的电场矢量(E)，在一个平面内振荡，而另一个波描述磁场矢量(B)，在垂直于电场的平面内振荡。

输入信号通过正交检波技术得到正交两个分量信号。





设输入信号为 $\cos(\omega_0 t)$, 整个检波过程可描述为:

$$\begin{aligned} \cos(\omega_0 t) &\xrightarrow{\text{splitter}} \cos(\omega_0 t) - i \cos(\omega_0 t) \\ &\xrightarrow{\text{mixers}} \cos(\omega_0 t) \cos(\omega_{ref} t) - i \cos(\omega_0 t) \sin(\omega_{ref} t) \\ &= \frac{1}{2} \cos\{(\omega_0 + \omega_{ref})t\} + \frac{1}{2} \cos\{(\omega_0 - \omega_{ref})t\} \\ &\quad - \frac{1}{2} i \sin\{(\omega_0 + \omega_{ref})t\} + \frac{1}{2} i \sin\{(\omega_0 - \omega_{ref})t\} \\ &\xrightarrow{\text{amplifiers}} \frac{1}{2} \cos\{(\omega_0 - \omega_{ref})t\} + \frac{1}{2} i \sin\{(\omega_0 - \omega_{ref})t\} \\ &= \frac{1}{2} e^{i(\omega_0 - \omega_{ref})t} \end{aligned}$$

6. 图像灰度值

答：图像中的灰度值和实际该区域的信号值成正比，信号值越大，亮度值越高，MRI 可以通过特定的软件提取灰度值，以方便客户用于数据处理及分析。

7. T2 波谱中存在的大数吃小数问题

答：T2 波谱中存在多个组分峰，如果某个大峰成分比例是小峰比例的 10 倍以上，小峰信号会相对抑制原始信号，大峰比例越大，小峰的信号被抑制越多，具体可参照《信号量增大对于固定组分峰面积的影响-20130827.docx》。

8. 图像伪彩

答：MRI 伪彩就是将原先灰度值的黑白色阶转换为其他色阶，比如常用的 JET 格式，客户可通过图像处理软件打开 FID/IMG 文件，生成相应的伪彩图像。

9. 统一灰度映射

答：就是把文件里所有需要对比的的图像数据 FID，找出最大的信号和最小的信号，再重新映射。



10. T1 大于等于 T2 原因

通常 T_2 总是小于或等于 T_1 ，这是因为存在另外的使横向磁化损失的因素。

由于主磁场在样品范围内不是均匀的，在xy平面的磁化并非静止不动。将样品分成一些小的区域，在这些小区域里可认为主磁场是均匀的，于是总的磁化就是这些小区域里磁化的和，而每一个区域里的磁化有稍微的进动频率。由于这种场不均匀性而使得横向磁化产生相散（相位分散或横向磁化的相位分散），最终使横向磁化强度逐渐下降。

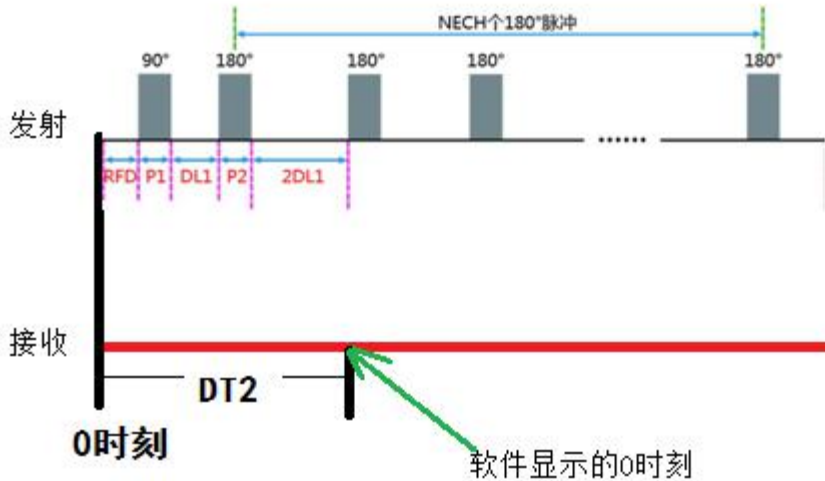
11. 纵向和横向弛豫的本质是什么？

答：纵向弛豫的本质是静磁场中的样品内部，分布在高低能级上的自旋数目达到平衡状态的时间；横向弛豫的本质是同相位的自旋因为磁感应强度的变化导致进动频率变化进而发生相位散失，宏观上磁化矢量减弱。

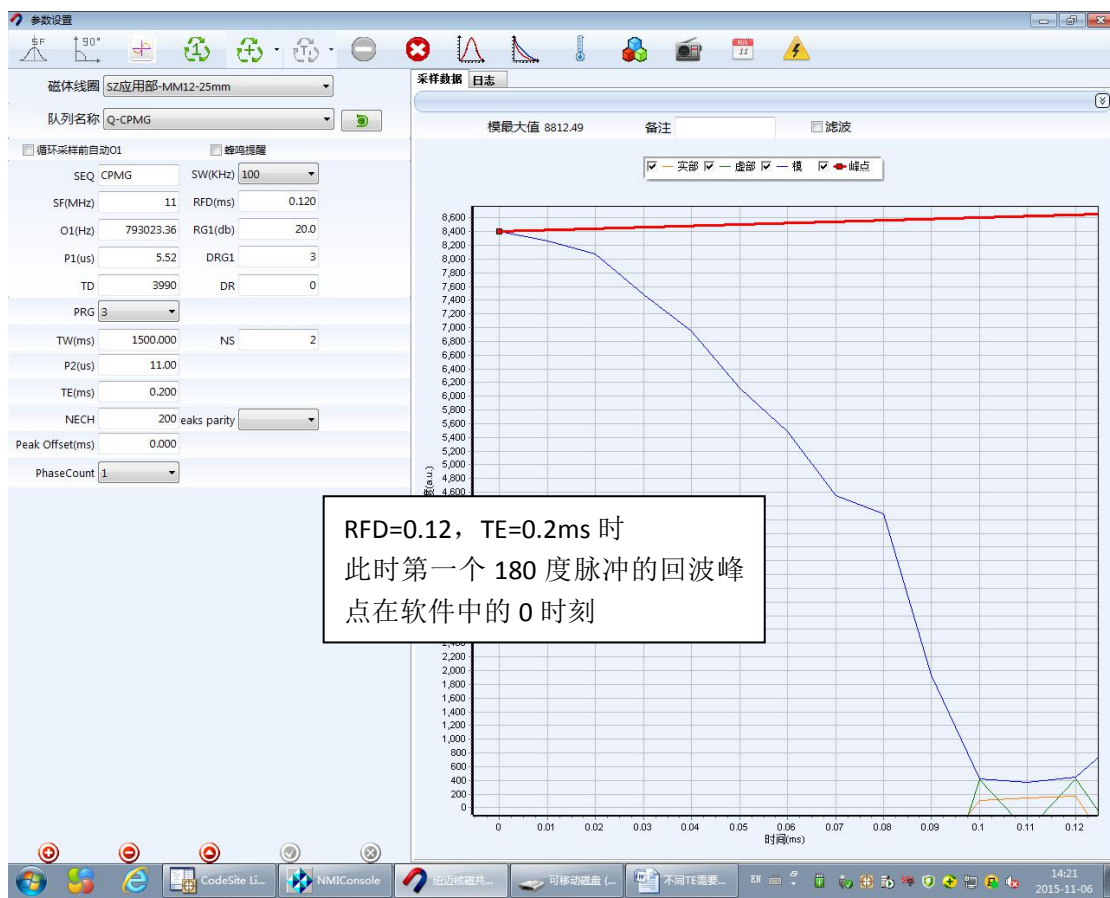
12. 不同 TE 会有不同最小 RFD 的原因

答：如果 RFD 相同，线圈的死时间也不变，如果 TE 变化，如下图所示，这样第一个回波出现的时间就会改变。

TE 越小，回波出现的时间越早，这样由于有 DT2，很有可能就采集不到第一个回波峰，所以要增加 RFD，使回波出现的时间靠后。



如下图所示





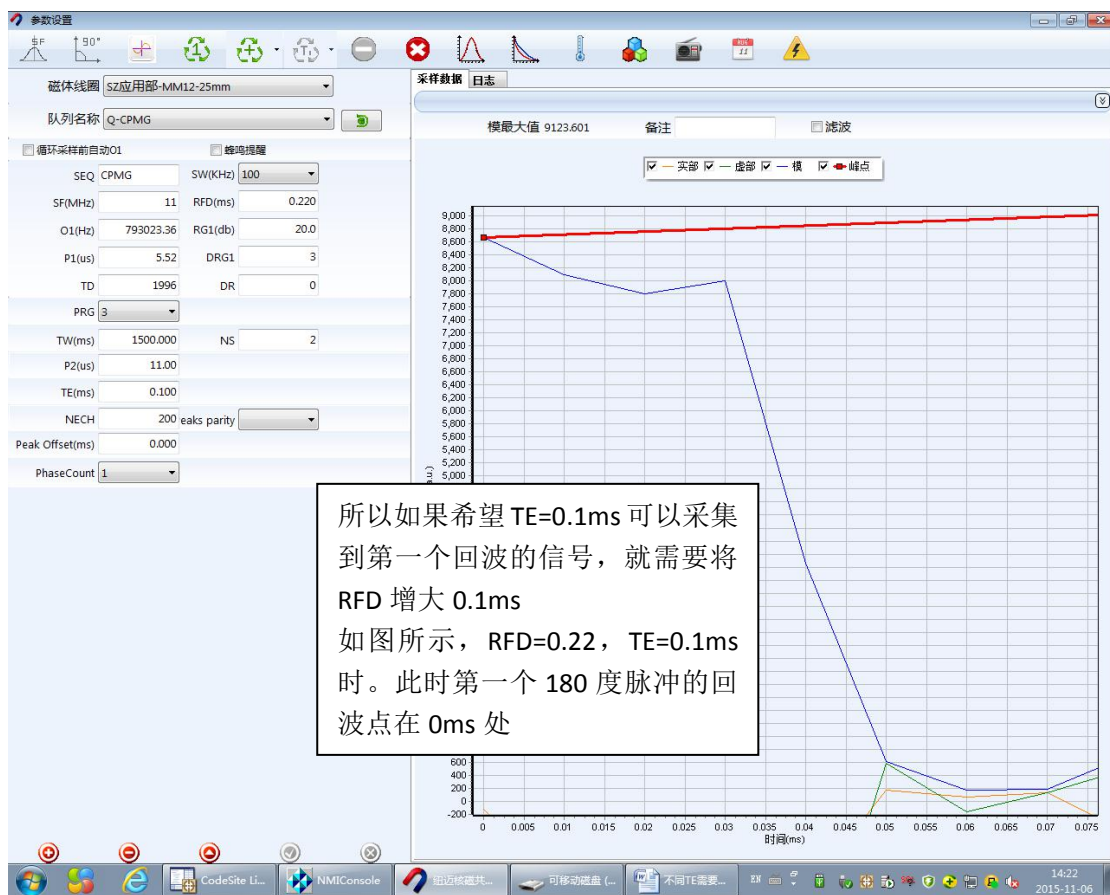
The screenshot shows the NMR software interface with the following parameters:

- 磁体线圈: SZ应用部-MM12-25mm
- 队列名称: Q-CPMG
- SEQ: CPMG
- SW(KHz): 100
- SF(MHz): 11
- RFD(ms): 0.120
- O1(Hz): 793023.36
- RG1(db): 20.0
- P1(us): 5.52
- DRG1: 3
- TD: 3990
- DR: 0
- PRG: 3
- TW(ms): 1500.000
- NS: 2
- P2(us): 11.00
- TE(ms): 0.100
- NECH: 200 eaks parity
- Peak Offset(ms): 0.000
- PhaseCount: 1

An error message box titled "NMRAS" is displayed with the text: "请加大RFD(>=D3V0-TE)".

A text box explains the error: "RFD=0.12, TE=0.1ms 时, TE 缩短回波峰靠前。此时第一个 180 度脉冲的回波点在 -0.1ms 处 所以软件报错"

The software interface also shows a plot area with the x-axis labeled "时间(ms)" and a value of 0. The status bar at the bottom indicates the time is 14:22 on 2015-11-06.



13. 什么是窗位、窗宽

答: 窗位用来定义显示窗口在原始灰阶中的位置, 即提供整个待显示值的平均亮度。通过改变窗位, 可视窗口位置在整个灰阶范围内移动。窗宽是窗口上限和下限之间的显示区域, 它决定了显示图像的灰阶范围。窗位和窗宽的设置应以获得最佳图像对比度为目的。减小窗宽时会使对比度增加, 但显示范围减小。

14. 核磁共振信号强度与温度的关系

答: 根据玻尔兹曼平衡方程, 单位质量的含氢质子样品的理论核磁共振信号响应随温度降低会增加, 因为低温状态下, 平衡状态下参与磁化矢量相对较大, 也就是温度越低不同能级的粒子差越大, 根据电磁感应定律, 核磁信号也比较强。

15. 低场 MRI 信噪比

答: MRI 的分辨率是指可识别样品空间特征的大小, 与射频场 RF 有关, RF 的波长数量级一般为米, MRI 的分辨率为毫米级别, 低场 MRI 的主要侧重点不在分辨率, 而在于多变量多方式成像的功能。

16. 实验过程中射频信号对核磁共振分析的影响

答: 核磁共振分析仪的射频发射和射频接收线圈为同一个, 容易受到其它射频场及无线电的干扰, 如果没有得到良好的屏蔽, 会降低信号的信噪比; 同时由于射频场可以沿着空间的任意方向传播, 所以两台距离比较近的核磁共振分析仪会相互影响, 实验时应该注意。



17. 核磁共振采样时匀场的作用

答：磁场的均匀性会造成信号失真及不恰当的峰形状，从而导致较差的分辨率及较低的信噪比，优化匀场可以使样本周围的磁场高度均匀，匀场是可以参照磁场信号高度、FID 形状及样品峰形与线宽等进行。

18. 什么是核磁共振

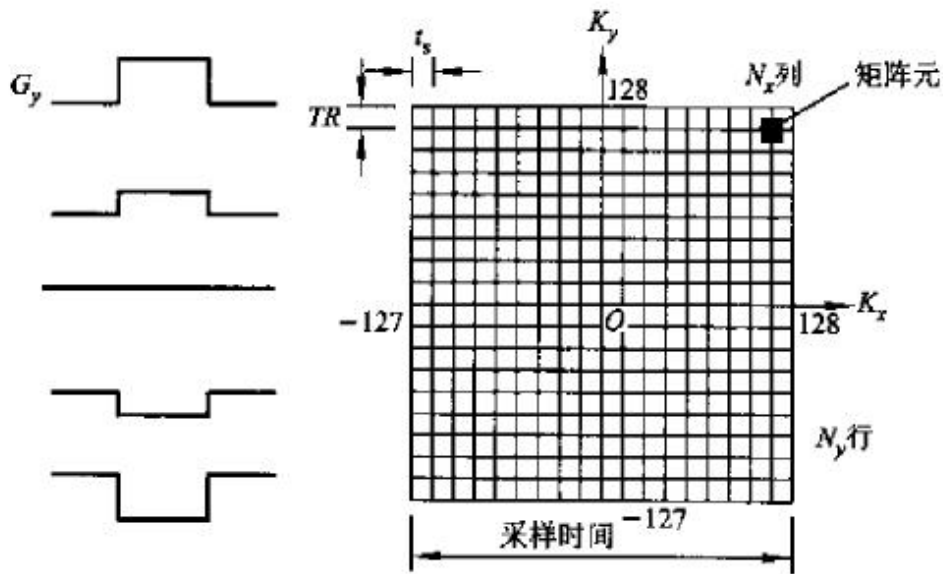
答：共振为能量从一个振动着的物体传递到另外一个物体，而后者以前者相同的频率振动。即共振的条件是相同的频率，实质是能量的传递。微观上的解释给处于主磁场中的样品一个射频脉冲（须垂直于主磁场），这个射频脉冲的频率与质子的进动频率相同，射频脉冲的能量将传递给处于低能级的质子，处于低能级的质子获得能量后将跃迁到高能级，这叫核磁共振。

低场核磁共振设备主要是检测样品中的 H 质子。将样品放入磁场中之后，通过发射一定频率的射频脉冲，使 H 质子发生共振，H 质子吸收射频脉冲能量。当射频脉冲结束之后，H 质子会将所吸收的射频能量释放出来，通过专用的线圈就可以检测到 H 质子释放能量的过程，这也就是核磁共振信号。对于性质不同的样品，其能量释放的快慢是不同的，通过这些信号差别就可以寻找规律，研究样品内部性质。

从硬件上来讲，整个台式低场核磁共振仪的工作原理可简要的概括为：在计算机的控制下，DDS(直接数字频率合成源)产生满足共振条件的射频信号，在波形调制信号的控制下，调制成所需要的形状，并送到射频功放系统进行功率放大后经发射线圈发射并激发样品产生核磁共振。在信号采集期间，射频线圈将对此核磁共振信号感应得到核磁共振信号(FID 信号)，经前置放大后在二级放大板中与 DDS 产生的等辐射频信号进行混频后放大，最后送入 ADC(模数变换器)进行数据采集与模数转换，采集的数据送入计算机进行相应处理就可得到核磁共振信号的谱线。在二维核磁共振成像序列中，还需要从脉冲序列发生器中发出三路梯度控制信号，分别经梯度功放后经由梯度线圈产生三个维度上的梯度磁场，起到对核磁共振信号进行空间定位的作用，通过计算机处理获取数据从而得到样品的二维图像。

19. 什么是 K 空间

答：K 空间如下图所示，横轴 K_x 代表频率编码， K_y 代表相位编码，列数 N_x 等于采样点数，行数 N_y 等于相位编码的步数。采一个回波填充数据矩阵一行，换句话说一行代表一个回波，256 行对应 256 个回波，每个采样点对应 K 空间一个点，每一行对应不同幅度的相位编码梯度。



20. 有机页岩吸附气含量影响因素

答：影响岩石吸附天然气能力的因素主要有岩石和气体本身的因素与环境因素。岩石和气体本身的因素包括岩石类型、气体成分和有机质含量等。环境因素主要包括地层的温度、压力等。

岩石类型的影响：

不同的岩石类型吸附天然气的的能力不同，常见岩石吸附天然气的的能力，从高到低依次为胶岭石（蒙脱石）泥岩、高岭土泥岩、石灰岩、砂岩

气体成分的影响：

Baccep 等苏联学者研究发现，岩石吸附不同气体的能力不同。吸附能力从大到小依次为一氧化碳、二氧化碳、丁烷、丙烷、乙烷、甲烷、氮气、氢气等。

有机质的影响：

岩石中的有机质丰度、有机质类型及有机质的演化程度都对岩石吸附天然气的的能力有影响。由于分散有机质是一种活性非常强的吸附剂，因此当岩石中有分散有机质存在时，可大大提高岩石的吸附能力。不同类型有机质所能吸附的气体成分也不同。含腐泥型有机质的岩石主要吸附甲烷同系物，其含量可高达总含量的 70%，其中甲烷含量很少，一般不超过总含量的 20%；含腐殖型有机质的岩石主要吸附甲烷，一般高于总含量的 60%。不同演化程度有机质，对天然气的吸附能力也不同。随着埋藏深度的增加，有机质演化程度增强，对同一种类型的天然气的吸附能力也增加。

温度、压力条件的影响：

随着压力升高，岩石对天然气的吸附能力增加；随着温度的降低，岩石对天然气的吸附能力也增加。

岩石温度的影响：

由于水比气的吸附性能好，会占据一些活性表面，使润湿岩石对天然气的吸附能力大大降低。

21. 油、气、水弛豫特征

答：水的弛豫特征

水润湿碎屑岩，水的弛豫时间为表面弛豫所控制；当孔隙表面很小（如溶洞）、严重油湿岩



石或含有高浓度顺铁离子时，水的弛豫时间主要受体弛豫和扩散弛豫控制。

油的弛豫特征

在水润湿岩中，油的弛豫时间不受地层特性影响，仅为油的组分和地层温度的函数，主要受体积弛豫控制。

气的弛豫特征

天然气的 T_1 是其成分、温度和压力的函数，弛豫为体积弛豫。天然气的 T_2 主要随温度、压力的变化而变化，因此，天然气的 T_2 完全受控于扩散弛豫。

质子环境		T_1/s	$T_2/\mu s$	T_1/T_2
矿物骨架中		10 ~100	10 ~100	约 10^6
水	碎屑岩中	表面弛豫为主	表面弛豫为主	约 1.5
	溶洞中	体积弛豫	体积/扩散弛豫	$T_1 > T_2$
油	稠油	体积弛豫	体积弛豫	$T_1 = T_2$
	轻质油	体积弛豫	体积/扩散弛豫	$T_1 > T_2$
气		体积弛豫	扩散弛豫	$T_1 \gg T_2$

22. 磁共振常见伪影种类及简单解决方法

答：（1）化学位移伪影：由化学位移导致，主要表现样品中水中氢质子进动与邻近物质如脂肪不一样，一般低场核磁受影响较小，高场较大；解决办法有，增加频率编码带宽、选用更低场核磁及改变频率编码方向；

（2）卷褶伪影：主要由于受检测部位超出了 FOV 的大小，FOV 外的组织信号会折叠到图像另一侧的现象；解决方法有增大 FOV、相位编码方向过采样、施加空间预饱和带及变换频率编码及相位编码方向等

（3）截断伪影：也叫环状伪影，主要在空间分辨率较低的图像上出现，表现为多条明暗相间的弧线或条带；处理方法主要是增加图像空间分辨率；

（4）运动伪影：主要由于受测样品的运动造成的，主要出现在相位编码方向上；对策主要有，控制样品运动，缩短采样时间及施加空间预饱和带；

（5）金属异物伪影：会导致图像畸变或出现盲区，实验前应尽可能排除避免；

（6）部分容积效应：表现为图像信号强度是整体平均值而不能表现某一个固定层的效果，解决方法是在条件允许的情况下，降低层厚；

（7）层间交叉：变现为由于层间距太小而出现样品组织对比度下降或出现明暗相间的条纹等问题，解决办法是增加层间距。

23. 为什么 Mn 和 Cu 离子会加快水的弛豫

答：顺磁性物质阳离子由于带有裸露的电荷，提供配位键，与水形成较强的氢键作用，缩短了水中氢质子的弛豫时间。而铁磁性物质由于影响周围样品所受磁场的均匀性，进而加快了氢质子的弛豫。Mn 和 Cu 不溶于油脂，因此对其油脂类的氢质子影响显著降低。

24. 为什么分析试验用的是硬脉冲，成像试验用的是软脉冲

答：硬脉冲即矩形脉冲，它的特点是激发能量大，激发的频带宽，可以使整个样品受到脉冲激发；软脉冲通常指 sinc 波脉冲，它的特点是激发能量小，激发的频带窄，只能激发样品一定厚度的某个层面。



25. 为什么核磁成像过程中需要给补偿梯度

答：首先是因为给了选层梯度后，尽管样品厚度较薄，但是仍然存在梯度磁场，导致场强不均一，补偿梯度的补给就是为了解决此处场强不均一问题。其次频率补偿梯度是为了达到补偿 180° 后频率梯度磁场带来的磁场不均一性。

26. 怎样理解交联密度测试中使用的 GFS 模型？

答：一般认为橡胶中存在交联链 A、悬尾链 B 和自由链 C 三种成分，其中由于结构原因，A 组分弛豫最快，悬尾链次之，自由链弛豫最慢。

$$M(t) = A \exp\left(-\frac{t}{T_2} - \frac{1}{2} q M_{r1} t^2\right) + B \exp\left(-\frac{t}{T_2} - \frac{1}{2} q' M_{r1} t^2\right) + C \exp\left(-\frac{t}{T_{2,sol}}\right)$$

通过仪器测试出不同时间 t 所对应的信号量 M ，得到采样曲线，通过 XLD 拟合，得到 A、B、 T_2 和 q 值（若选择 XLD-2，则得到 A、B、C、 T_2 、 T_{2sq1} 和 q 值），再将 q 值带入天然橡胶模板，即可得到交联密度结果。

27. 为什么交联密度测试需要高温？

答：在 GFS 模型中，只有当实验温度高于玻璃化温度之上 130°C，XLD 模型拟合时才能忽略 q' ，使拟合得到的 q 为反映交联链各向异性的结果。

28. 低温纳米孔径测试原理

Gibbs-Thomson 方程是核磁共振低温孔隙测试的理论基础，它建立了孔隙内物质相变温度的改变与孔隙大小之间的联系。

随着温度升高，孔隙内探针物质从小孔到大孔逐渐开始融化，材料中液体物质逐渐增加，根据方程，液体总含量随温度升高而增加的过程可以看作是孔隙体积从小孔到大孔的累积过程，所以通过在充满探针物质的多孔材料的变温过程中准确测量材料的液体体积，可以得到材料的孔径分布。