

核磁共振成像实验

乔沁 0570112

摘要: 通过使用 NMI20 台式核磁共振成像仪, 分析成像原理, 讨论改变各参数对成像大小与质量的影响。

关键字: 核磁共振, 核磁共振成像

Abstract: By using the miniature MRI instrument, I analyze the principle of magnetic resonance imaging and discuss how the values of various parameters influence the size and quality of image.

Key words: nuclear magnetic resonance, nuclear magnetic resonance imaging

【一】引言

核磁共振与核磁共振成像是物理学在化学、生物、医学、材料等学科的有效研究手段, 其发展和相关领域的研究者多次获得诺贝尔奖。医用的核磁共振成像仪可用于诊断解剖, 生理和认知心理方面的疾病。通过使用 NMI20 台式核磁共振成像仪, 分析了自旋回波成像的原理和成像过程, 弄清仪器中各参数设置对成像的影响。

【二】实验原理

1. 核磁共振基本原理

从经典力学的角度分析, 一个具有磁矩 $\vec{\mu}$ 的粒子放在恒定的磁场 \vec{B} 中, 就会受到力矩

$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ 的作用, 从而引起角动量 \vec{L} 的变化, 由 $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu} \times \vec{B} = \gamma \vec{L} \times \vec{B}$ 可知角动

量 \vec{L} 会绕 \vec{B} 做拉莫进动, 其旋进的角速度 ω 为 γB 。若在恒定磁场 \vec{B}_0 相垂直的 xy 平面内

加一弱的旋转频率为 ω 的旋转磁场 \vec{B}_1 , 角动量还会绕 \vec{B}_1 做拉莫进动, 从而改变了 $\vec{\mu}$ 与 \vec{B} 的

夹角, 引起了磁位能的变化。从量子力学的角度来看, 核磁共振是自旋不为零的原子核的核磁矩在静磁场中被磁化后与特定频率的射频场产生的共振吸收现象。共振条件为

$\omega = \frac{\Delta E}{\hbar} = \omega_l = g\mu B / \hbar$, 吸收能量后的自旋核与周围物质相互作用并以相同的频率退激辐射。

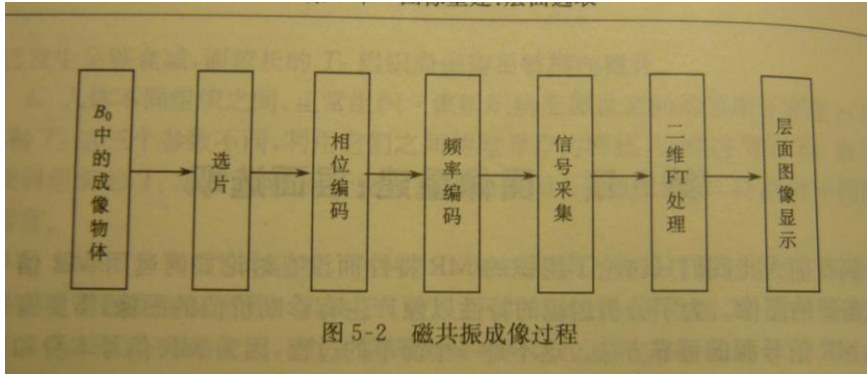
2. 核磁共振成像原理

1】确定核磁共振信号源位置的基本方法是应用附加的线性梯度磁场, 即成像梯度。由拉莫公式可知, 氢质子产生磁共振的频率与所在处的磁场强度成正比, 不同磁场强度处的共振频率不同, 从而得以区分。分别加三种磁场梯度 [1] 选层梯度 [2] 频率编码梯度 [3] 相位编码梯度

首先施加沿 z 方向的磁场梯度 $B(z) \hat{z}$ 以区分 z 向的不同层面, 加 90° 脉冲使得共振频率相

符的那个层面上的质子的磁矩转向 xy 平面，以达到选层的效果。再在施加沿 y 方向变化的磁场 $B(y) \hat{z}$ ，以使得对应不同的 y，其共振频率不同，作用一段时间后产生不同的相位。最后施加沿 x 方向变化的 $B(x) \hat{z}$ ，同理，这时，对应不同的 x，其共振频率不同，此时接收信号，因而在 xy 平面内的不同位置具有不同的频率或相位，从而达到了区分的目的。不同位置处的频率和相位组成了 K 空间，再经过二维 FFT 变换后得到实空间的图像。

成像过程示意图



在核磁共振成像中，获取足够用以重建图像的信号按照一定时序和周期施加的射频脉冲与梯度脉冲的组合称为脉冲序列。最常用的有三类：自旋回波，反转恢复和梯度回波。本文主要介绍自旋回波序列成像。

D0	重复时间 TR
D1	相位编码时间
D3	死时间
D4 和 D5	回波时间，180 脉冲结束后产生回波峰值的时间
GX	选层梯度
GY	相位编码梯度
GZ	频率编码梯度
RFamp1	90 软脉冲时间
RFamp2	180 软脉冲时间
SLICE	选层方向 0-x 1-y 2-z
NE1	相位编码步数
SW	频宽
TD	采样点数

2】图像大小控制

根据 SLICE=1 时，y 为选层梯度，z 为频率编码梯度，x 为相位编码梯度分析：

设由频率编码决定的 FFT 后图像的谱宽为 $\Delta\omega_z$ ，

$$\Delta\omega_z = SW = 2\gamma G_z \Delta z, \therefore \Delta z = \frac{\Delta\omega_z}{2\gamma G_z} = \frac{SW}{2\gamma G_z}, \quad Sw \text{ 越大, } G_z \text{ 越小, 成像在 } z \text{ 方向上的范围}$$

越大，而特定物体在图内的尺寸越小。

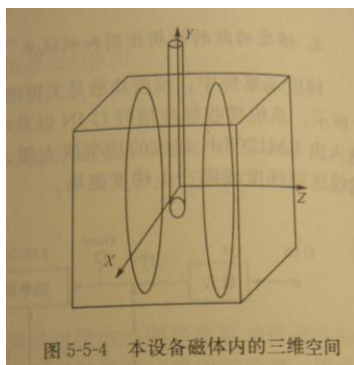
设由相位编码决定的 FFT 后图像的谱宽为 $\Delta\omega_x$ ，相位编码步进是由梯度步进来等效时间步

进的，有 $SW_x = \frac{NE}{2D_1}$ ，所以 $\Delta x = \frac{SW_y}{\gamma G_x} = \frac{NE}{2D_1 \gamma G_x}$ ，NE 越大， D_1 和 G_x 越小，成像在 x 方向

上的范围越大，而特定物体在图内的尺寸越小。

样品不失真，则有 $\Delta y = \Delta x$ ，则有 $\frac{NE}{G_x D_1} = \frac{SW}{G_z}$ 。

【四】实验装置



【五】实验结果

1. 自旋回波成像

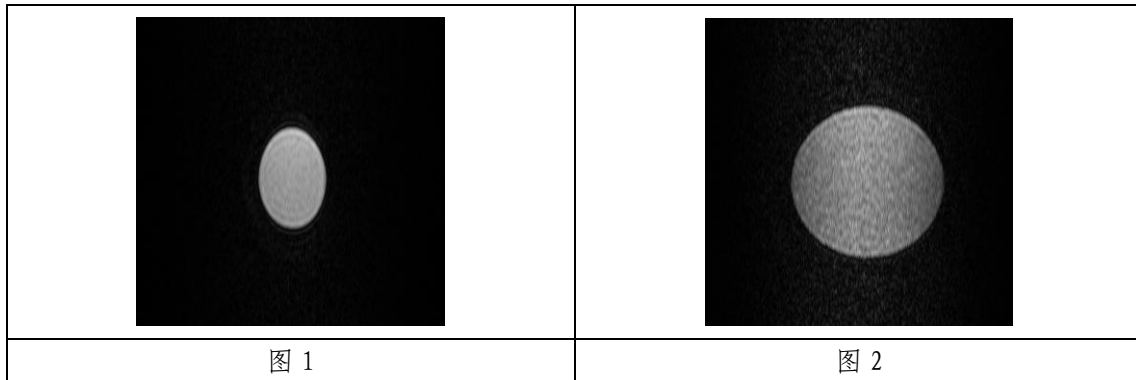
1> SLICE=1 和 SLICE=0 时的 G_x, G_y, G_z 的对应

	G_x	G_y	G_z
SLICE=0	相位编码梯度	选层梯度	频率编码梯度
SLICE=1	选层梯度	相位编码梯度	频率编码梯度

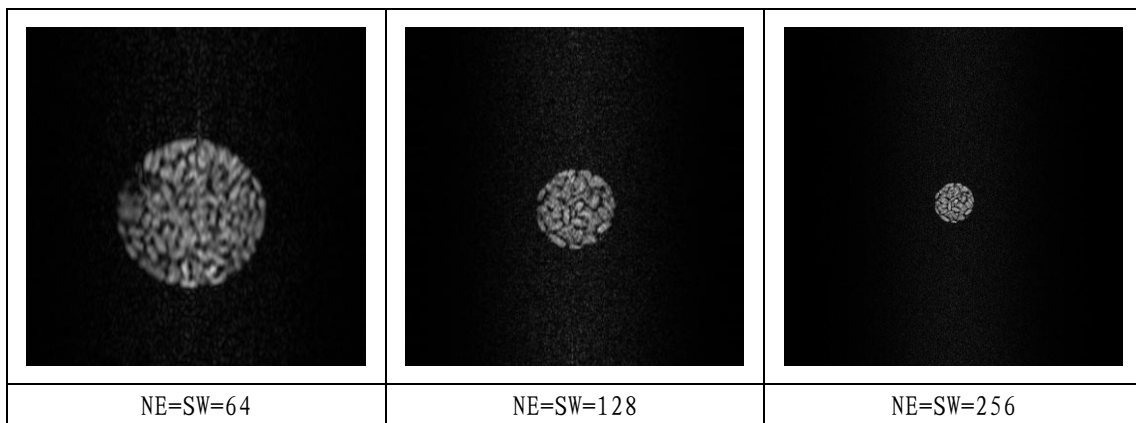
2> 图像的大小及长宽比例

在满足理论条件 $\frac{NE}{2G_x D_1} = \frac{SW}{2G_z}$ 时的图像是失真的（如图 1），原因可能在于梯度线圈难以

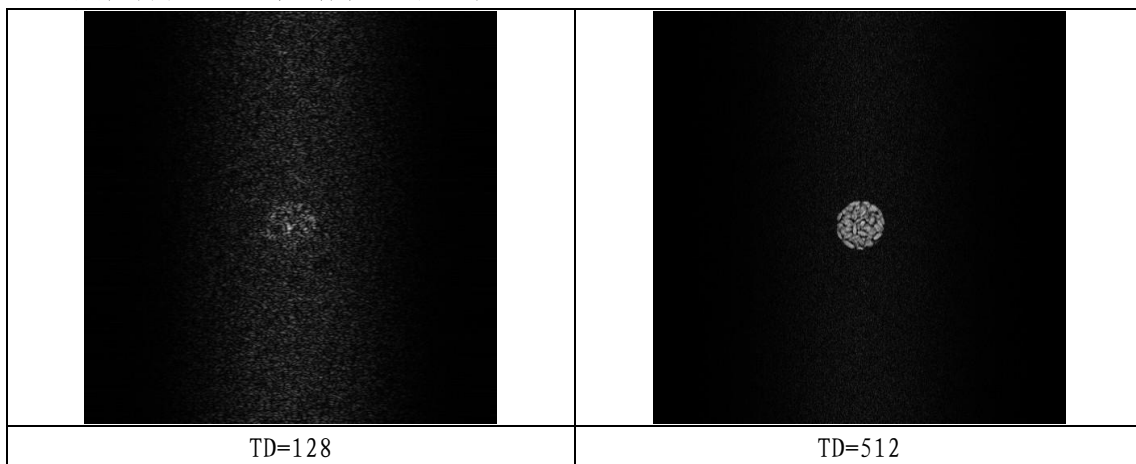
完全一致，于是再改变 G_x 和 G_z ，使 $G_x:G_z=2:3$ ，得图 2。



不同的 SW (NE) 对应的图像大小



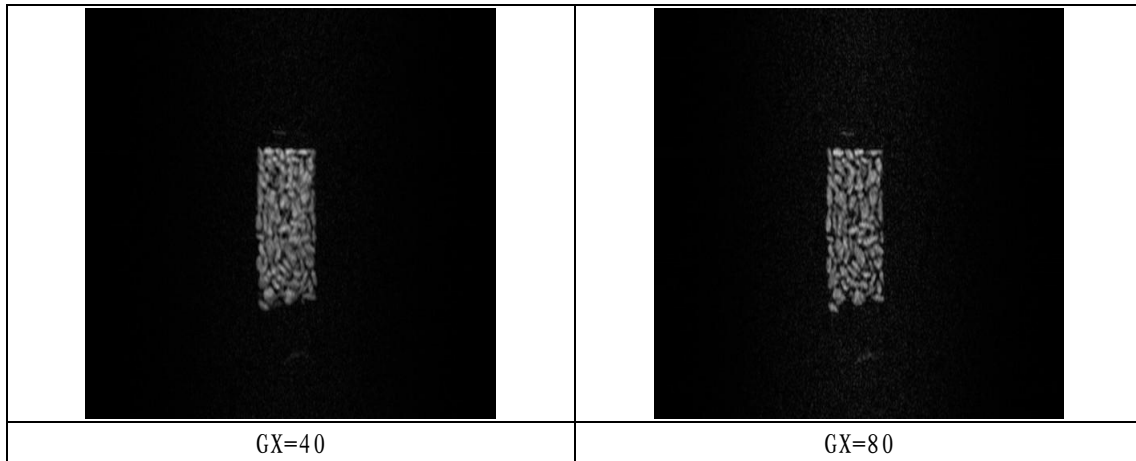
3> 采样时间 TD/SW 对图像质量的影响



在 SW=256KHz, NE=256, GX=60%, GY=80%, GZ=90%时, 将 TD 值由 128 增加到 512, 图像质量改善很多, 原因在于在采样时间=TD/SW 太短。从理论上讲, 对每条时间域回波信号完全不失真的进行采样, 需要无限长的时间才行。有限个点的采样即对无限长的回波信号进行了时间域的截取, 相当于再原来的回波信号上乘上了一个矩形窗函数。因而最终图像是回波信号的频谱再叠加上矩形窗函数的频谱, 形成截断伪影。

4> 选层梯度对图像质量的影响

选层梯度 GX=80%明显比 GX=40%的图像来得清晰。因为选层梯度越大的话, 所选的层越薄。



(在 PPT 汇报时俞熹老师指出这张图存在卷褶伪影，但我思考后觉得不是这样的，原因如下：因为这个样品是放在小瓶中的芝麻，其外再套有试管，实际测量得到样品的长宽为 1.7cm 和 1.0cm，上图中看到似乎长是宽 2-3 倍是因为此时相位编码梯度=频率编码梯度，图像存在失真。)

2. 自旋回波加权成像

自旋回波信号的信号强度的表达式为 $S(T_E, T_R) \approx A \cdot N(H) \cdot (1 - e^{-T_R/T_1}) \cdot e^{-T_E/T_2}$ 其中 A 为增益， $N(H)$ 为氢核密度， T_1 为纵向弛豫时间， T_2 为横向弛豫时间。 T_R 为重复时间(即 D_0)， T_E 为回波时间(即 D_4 和 D_5)

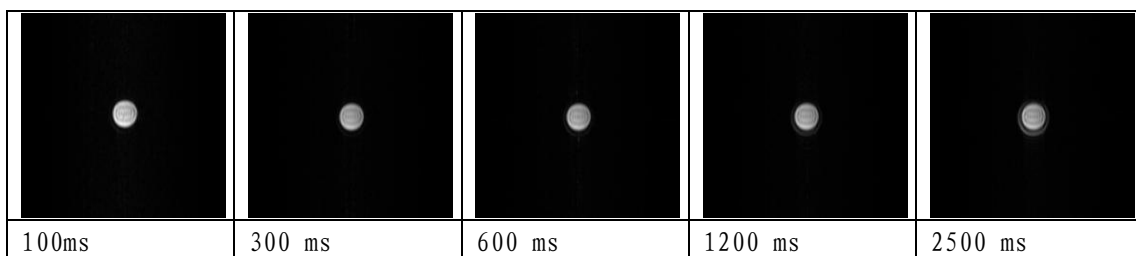
样品：中央是小瓶装有的食用油，外套有试管，在小瓶与试管之间注入了自来水。

1> D_0

在 $D_4 = D_5 = 100 \mu s$ ，远小于油和水的横向弛豫时间时， e^{-T_E/T_2} 近似为 1，增加 D_0 ， $(1 - e^{-T_R/T_1})$ 渐趋向 1，因而质子密度的权重越来越大，而 T_1 的权重越来越小。

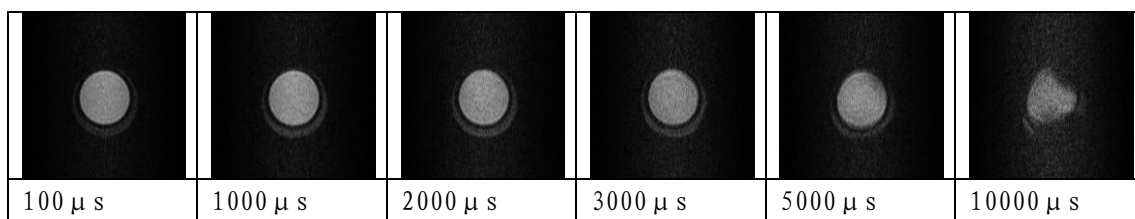
因为水具有较长的 T_1 ，在 D_0 比较小时， $(1 - e^{-T_R/T_1})$ 很小，因而此时水所成的像强度很小。

随着 D_0 的增加， $(1 - e^{-T_R/T_1})$ 渐趋向 1，而水具有大的质子密度，因而成像的强度逐步加强。



2> D_4 和 D_5

在固定 $D_0=1200ms$ 时，增加 D_4 和 D_5 ， e^{-T_E/T_2} 逐渐变小，因而信号的强度越来越小，图像越来越暗，又因为水较油具有长的 T_2 ，因而强度减小得较水缓慢。由于信号强度的变小，图像的噪声背景越来越明显。



【五】结语

要得到大小合适的像，由 $\Delta z = \frac{\Delta\omega_z}{2\gamma G_z} = \frac{SW}{2\gamma G_z}$ ， $\Delta x = \frac{SW_y}{\gamma G_x} = \frac{NE}{2D_1\gamma G_x}$ 可知增加 SW, NE，图

像变小；增加 GX（相位编码梯度），GZ（频率编码梯度），图像变大。样品过大会造成卷褶伪影，采样时间过短会造成截断伪影。根据样品的 T1, T2 值，改变重复时间 D0 和回波时间 D4D5，能选择性的对某一成分成像。

【六】参考文献

1. 汪红志，张学龙，武杰 核磁共振成像技术实验教程 科学出版社
2. 熊国欣，李立本 核磁共振成像原理 科学出版社
3. 蒋莹莹，张洁天，吕斯骅 核磁共振成像系列实验教学探讨 蒋莹莹，张洁天，吕斯骅 物理实验 2007. 1