

核磁共振成像技术研究

严寒

(复旦大学 08 级物理学专业 08300190071)

摘要： 通过一系列关于核磁共振成像原理及成像技术的基本实验，了解了各个参数对图像的影响，对核磁共振现象原理和成像技术有了更深入的认识。

关键字： 核磁共振，弛豫时间，空间成像，梯度磁场

0. 引言：

核磁共振 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) 是 1945 年由物理学家柏塞尔 Bloch 和布洛赫 Purcell 领导的小组分别独立发现的现象。随着核磁共振成像技术的深入研究，其应用的范围在日益扩大。特别是在生物医学领域更是应用范围和广度提升巨大。

实验通过 NMI20Analyst 台式核磁共振成像仪进行一系列基本的核磁共振成像实验，并对 NMR 在医学上的应用做了一些思考。

1. 核磁共振及其成像的基本原理：

- 1) 核磁共振现象：核磁共振是指处在外界恒定磁场为 B_0 的具有磁矩的原子核产生塞曼分裂。若在垂直于 B_0 方向加一个 W_0 的射频场，当射频场的频率等于相邻能级间的跃迁频率时。(即 $\omega_0 = \gamma B_0$ ， γ 为旋磁比) 核磁矩作磁偶极跃迁称核磁共振。
- 2) 核磁共振成像：在 x, y, z 方向上加上梯度磁场，这时自旋共振个频率为样品沿梯度场方向的位置函数，通过不同方向的梯度。重复测量频率。可产生样品三维图像。

2. 核磁共振原理性实验：

- 1) 调节磁场均匀性：使用食用油样品和硬脉冲 Fid 序列，在 $O1=370.500\text{KHz}$ 时，找到 Fid 信号，调节 GxShim, GyShim, GzShim 三个旋钮使信号衰减最慢。得到右图：红色曲线为实部代表吸收，绿色为虚部代表色散。

经过傅里叶变换以后得到半高宽为

4.911ppm。当磁场均匀性越低，弛豫越快，Fid 信号拖尾越短。磁场均匀性越高，弛豫越慢，Fid 拖尾越长。

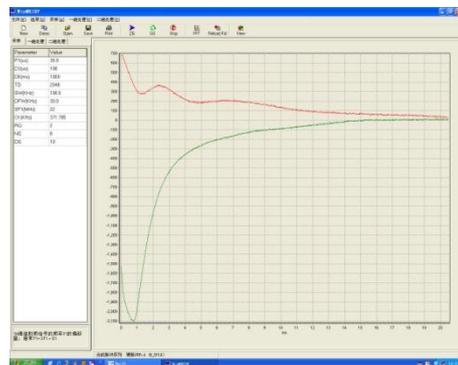
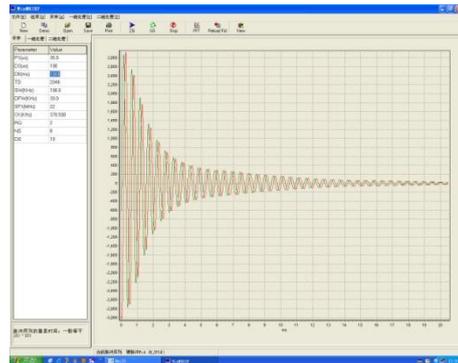
- 2) 两种方法测量拉莫尔频率：得到核磁共振的基本条件为： $h\nu = \hbar\omega_0 = 2\pi\hbar f_0 = \gamma B_0 \hbar$ ，即拉莫尔频率 $\omega_0 = \gamma B_0$ 。实验中可用两种方法寻找拉莫尔频率：

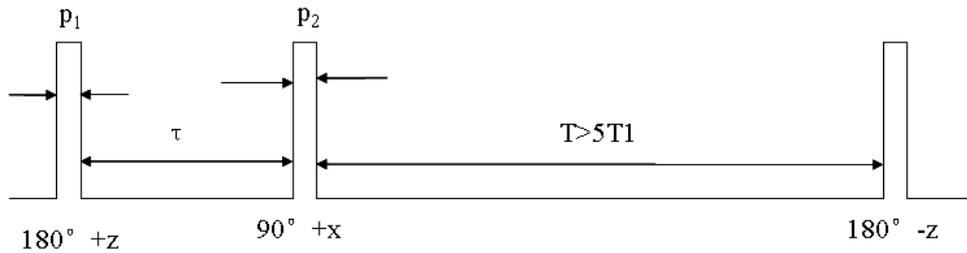
- i. 自动调节：采集到 Fid 信号以后，进行傅里叶变换，适当调节图像以后将谱线中心峰值设置成中心频率，使下次采集时使用设定的中心频率。直至 Fid 信号出现单调无震荡如右图。此时主频 $SF1+O1$ 即为拉莫尔频率。

- ii. 手动调节：仔细微调 O1 的值（共振频率修正，即偏离射频中心频率的值），直至 Fid 信号出现单调无震荡。

总的来说，通过自动调节的方法更加简便且用时更少。

- 3) 反转恢复法和饱和恢复法测 T1：

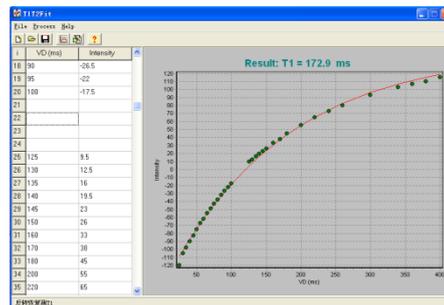




i. 反转恢复法测 T1:

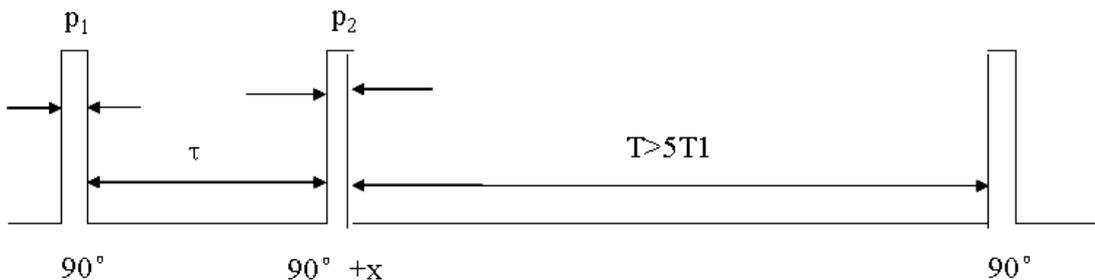
先加一个 180° 射频脉冲，使纵向磁化矢量强度 M_z 反转 180° ，然后以 T_1 时间常数进行自由弛豫。经过一定时间 τ 后，水平方向上施加一个 90° 射频脉冲，如上图所示记录此时的 FID 信号。

选取不同的 τ ，记录信号幅度。经过 n 次以后，根据 M_z 恢复曲线得到 T_1 的值。在读取信号幅度时，用 FFT 处理后度数更简单，过零点反转的现象更加明显。从明显向下的脉冲变为向上的脉冲图形。实验用食用油样品测得 $T_1=172.9\text{ms}$ 如右图：

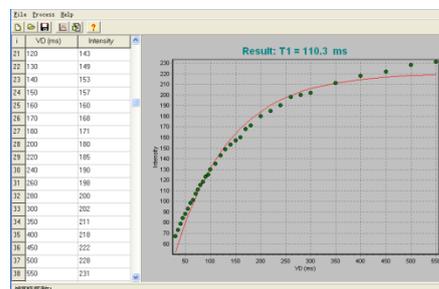


ii. 饱和恢复法测 T1:

饱和恢复法和反转恢复法的原理类似，只是他的两个射频脉冲都是 90° 脉冲，且都是施加在 X 轴方向。在第一个 90° 脉冲激发之后，宏观磁化矢量倒到 XOY 平面上，一定时间以后，施加第二个 90° 射频脉冲。如下图：



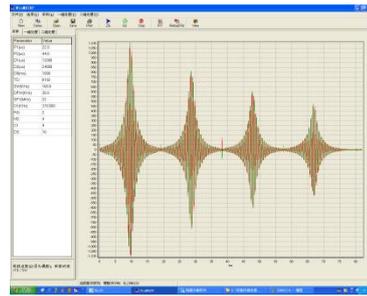
记录一系列时间和 FID 信号幅值。做出右图得到 T_1 。实验中用食用油样品测得 $T_1=110.3\text{ms}$ 如右图：



由两幅幅值-时间图来看，反转恢复法测量的曲线和数据点符合得更好。由于饱和恢复法用的是两个 90° 脉冲，所以在测量时既有横向弛豫又有纵向弛豫，影响测量准确性。反转恢复法测量的幅值经过傅里叶变换从负值变为正值变化明显。故反转恢复法测量准确性更高。

4) 硬脉冲 CPMG 序列测量 T2:

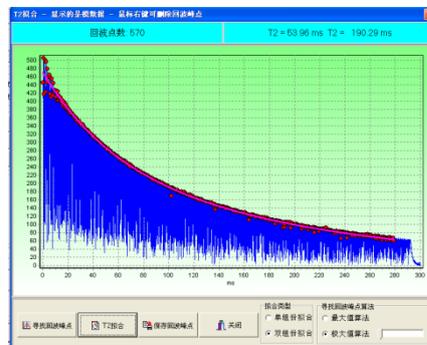
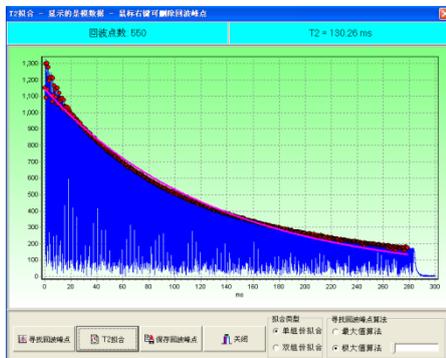
CPMG 序列是一个 90° 脉冲之后多次施加 180° 脉冲, 从而得到多个回波信号的回波序列。每个回波峰值 $|M_Y(t)| = M_0 \exp(-2n\tau/T_2)$, 形成的指数衰减曲线就是 T2 的衰减曲线。从而可以测量样品的 T2 值。在调节回波信号时, 通过调节 RFamp1 (及第一个脉冲的功率百分比) 使回波信号幅度和积分面积最大。右图为 C1=4 时的图像:



增加 C1 并调节 D1D2 等参数使回波峰值所形成曲线平滑, 再用软件自带的测量 T2 工具进行计算:

如右左图所示: 使用食用油作为样品, C1=550. 单组份拟合的 T2=130.26ms。

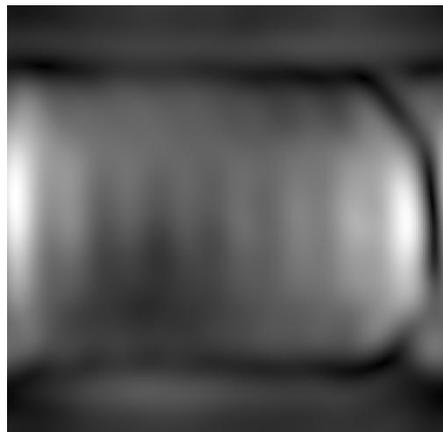
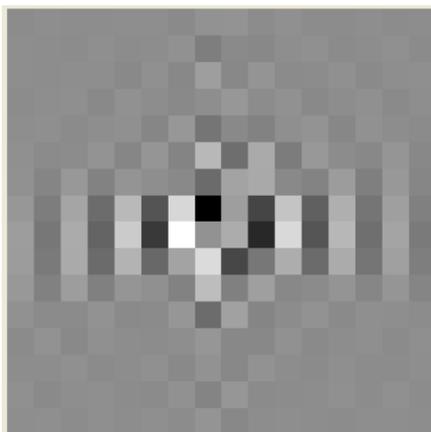
使用仪器所带软件也可以进行双组份拟合如右图: 使用食用油作为样品, C1=570, 双组份拟合: T2=53.96ms, T2*=190.29ms。



3. 核磁共振成像技术试验:

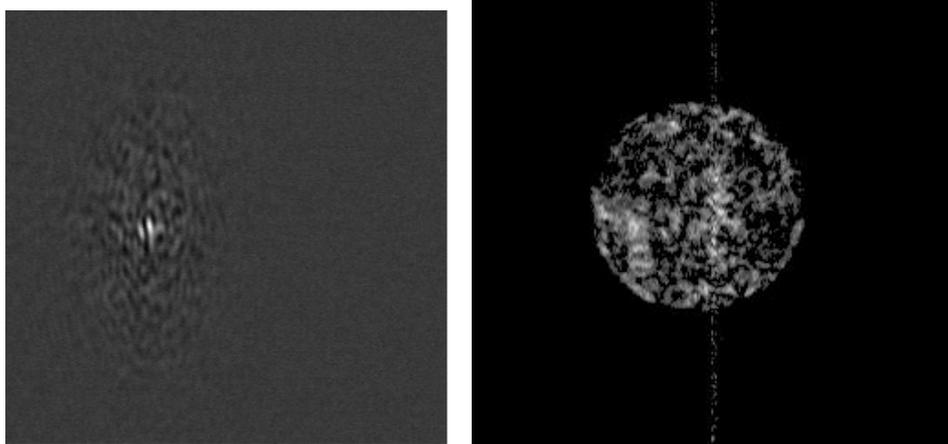
核磁共振成像的过程就是图像重建的过程, 即通过傅里叶变换使 K 空间图像变换到频率空间。而三维图像是在二维图像的基础上建立起来的。

1) 单脉冲双相位编码成像: 通过采集不同相位编码上的 FID 信号数据点, 重复直到完成所有数据矩阵的采集。再进行傅里叶变换得到自旋密度的分布图像。下左图为 K 空间图像, 右图为经过傅里叶变换的密度分布图像。样品为食用油。



2) 自旋回波成像: 通过调节 90° 和 180° 的软脉冲能量幅度百分比, 可以先通过 180° 幅度调节: 寻找到信号幅度达到最大又到最小时的幅度。 90° 脉冲能量幅度大约是 180° 的一半。 GxAmp, GyAmp, GzAmp 代表磁场梯度, 梯度越大, 每一层图像越小, 该方向上图像越清晰。但是激发的质子数越小, 图像就越暗。如下左图为 K

空间图像，右图为经过傅里叶变换的密度分布图。样品为芝麻，截面为横断面。



K 空间是数字化后 NMR 原始数据的储存，只是包含空间编码信号的原始数据。对于每个读出梯度过程线圈接受到的信号进行采样后填充一个傅里叶行，进入到下一个采集周期，相位编码步进，读出信号通过采样填充到下一个傅里叶行。进行傅里叶变换以后，K 空间的波数信息就变成了空间频率图像。从而产生了图像。

4. 核磁共振成像与 CT 和 PET 成像的关系：

- 1) 医学上，NMR 和 CT 还有 PET 都是应用非常广泛的成像技术。都对病患的疾病情况判断有很大的帮助。其中 NMR 利用了阶梯磁场进行扫描从而得到不同分子成分的图像；CT 通过 X 光得到密度的图像；PET 通过放射性元素衰变时产生的正电荷湮灭产生的 γ 射线得到代谢率高低的图像。
- 2) 就成像结果来说，NMR 和 CT 探测的都是物质的图像，有着精确标定位置的优点。而 PET 得到的是代谢率高低的图像，能够判断病变部位但是位置判断不足。如果能把三者结合起来，在同一个部位成三种图像并合并在一张图像里，则能够大大增加医学上判断疾病情况的能力。

5. 结论：

通过一系列实验了解了核磁共振及成像原理及各个参数的意义，对核磁共振有了更深刻的认识。相信随着技术的不断进步，NMR 将来必定会有更广泛的应用。

参考文献：

- 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。
- 戴道宜、戴乐山，《近代物理实验第二版》，高等教育出版社。
- 贺强 俎栋林，磁共振成像（MRI）纵向梯度线圈的研究，《中国医学物理学杂志》2002 年 第 1 期。