

# 核磁共振实验数据处理报告

Zric 物理学系

## 一、实验数据处理与分析

### 1.1 测定共振频率和硬脉冲的 $90^\circ$ 脉冲, $180^\circ$ 脉冲

使用大豆油样品, 测量磁共振频率, 设置好参数, 选取 Q-FID (硬脉冲序列), 进行单次循环得到信号图像如下, 最上方的线为模值, 下面 2 条线表示实部虚部, 对应水平面  $x,y$  方向上测量的磁场:

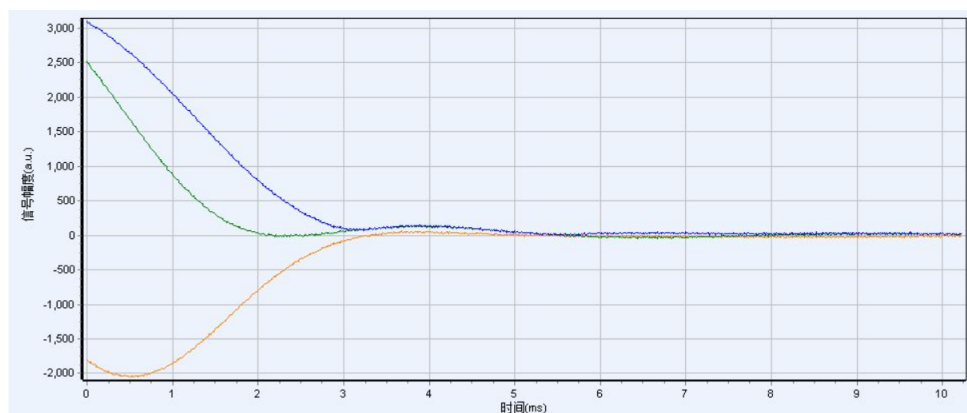


Figure 1 大豆样品磁共振频率测量信号图像

呈现为无振荡衰减曲线, 这说明所选频率达到共振频率, 因为磁场是在中测得的。射频信号频率的主值  $SF=22\text{MHz}$ , 偏移值  $O1=96139.32\text{Hz}$ , 则共振频率约为  $22.09\text{MHz}$ 。从图中估计信号衰减到初始的  $1/e$  所需时间约  $1.7\text{ms}$ , 即  $T_2^* \approx 1.7\text{ms}$ 。4kHz 的 FID 信号下, 会出现振荡衰减曲线, 如下图所示:

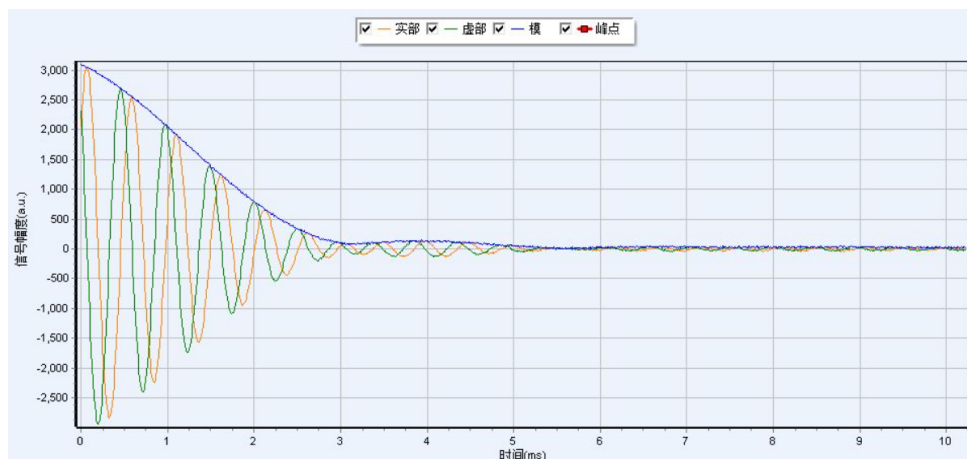


Figure 2 大豆样品 4kHz FID 信号图像

硬脉冲的  $90^\circ$  脉冲,  $180^\circ$  脉冲脉宽搜索结果如下图, 图中波峰对应  $90^\circ$  脉宽, 波谷对应  $180^\circ$  脉宽。

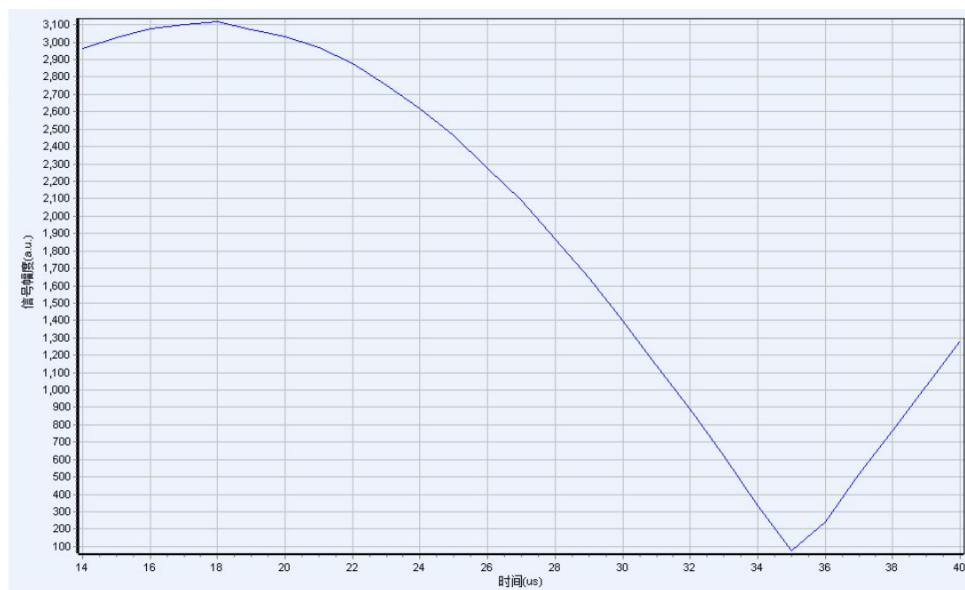


Figure 3 大豆样品硬脉冲脉宽搜索结果

$90^\circ$  脉冲约为 18ms,  $180^\circ$  脉冲约为 35ms。两者比例约为 1:2, 符合预期, 误差可能来自  $z$  方向静磁场的均匀性。

## 1.2 自旋回波观测

选取大豆油样品, 设置好参数, 选取 SE (自旋回波序列), 进行单次循环得到信号图像如下, 可以看到明显的回波信号, 回波时间为 60ms。

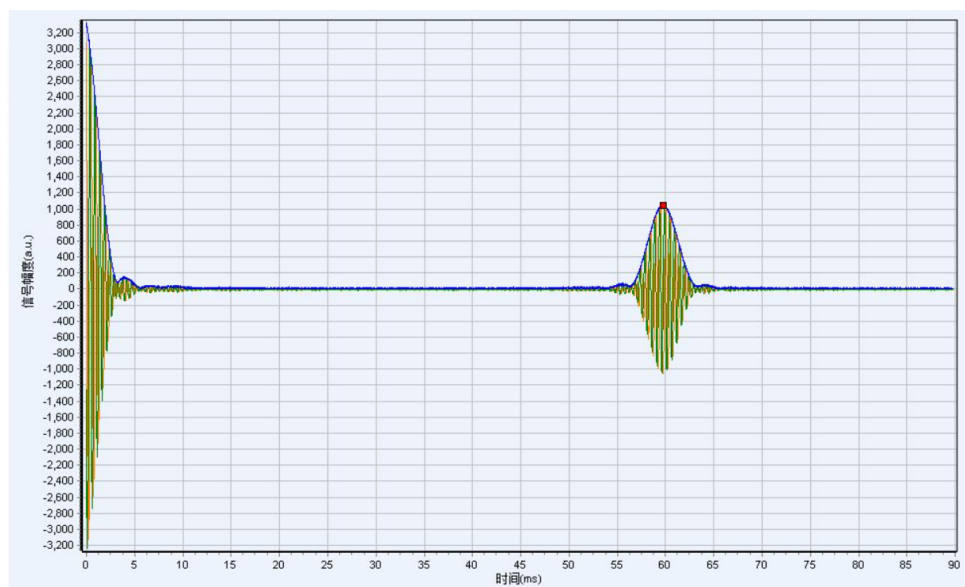


Figure 4 大豆样品自旋回波信号图像, 回波时间 60ms

测量了两个不同回波时间 TE 下的信号采集参数，验证了采样时间 ACQ 与 TD/SW 的关系：

TE=5ms, TD= 728, SW=100kHz, 采样时间 ACQ=7.3ms≈TD/SW;

TE=30ms, TD= 4478, SW=100kHz, 采样时间 ACQ=44.8ms ≈TD/SW。

改变回波时间 TE, 记录各个回波时间下回波信号模值的幅度，结果如下表所示：

Table 1 大豆油样品自旋回波信号模值幅度随 TE 变化表

TE/ms	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
幅度/.a.u	3040	2900	2700	2500	2300	2130	1950	1750	1550	1350	1200	1050

初始信号幅度恒为 3300.a.u，使用  $f(t) = Ae^{-t/T_2}$  对数据进行拟合，得到大豆油样品的横向弛豫时间  $T_2 \approx 55.658\text{ms}$ ， $R^2 = 0.9826$ ，拟合曲线如下图所示：

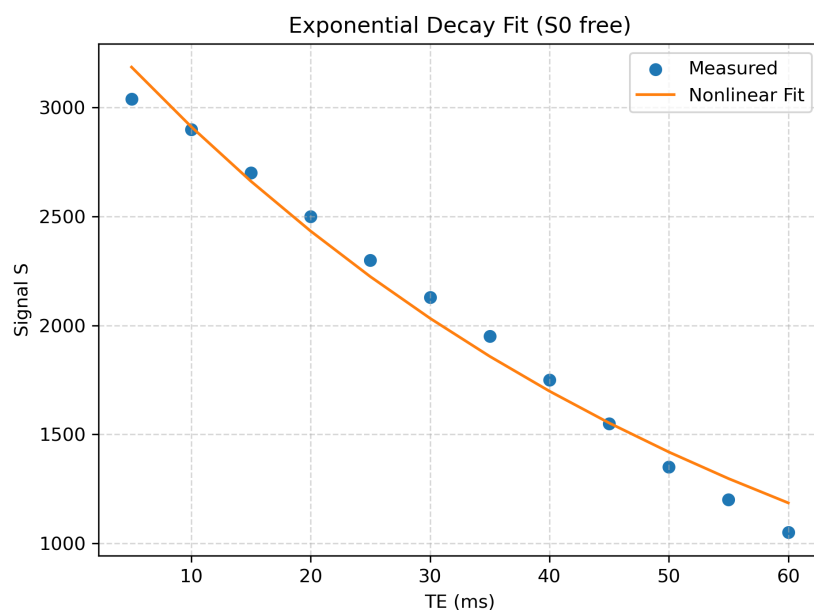


Figure 5 SE 横向弛豫时间  $T_2$  拟合曲线

### 1.3 测定大豆油横向弛豫时间 $T_2$

选择 Q-CPMG 序列，选取回波个数 NECH=2000，TE=0.4ms 得到信号图像如下：

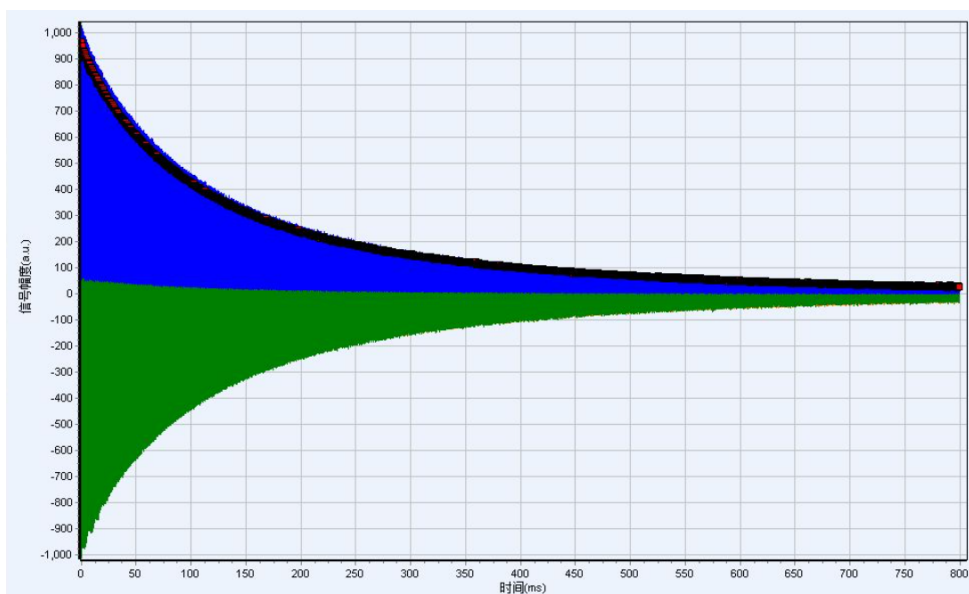


Figure 6 CPMG 信号图像

数据处理得到反演图像如下：

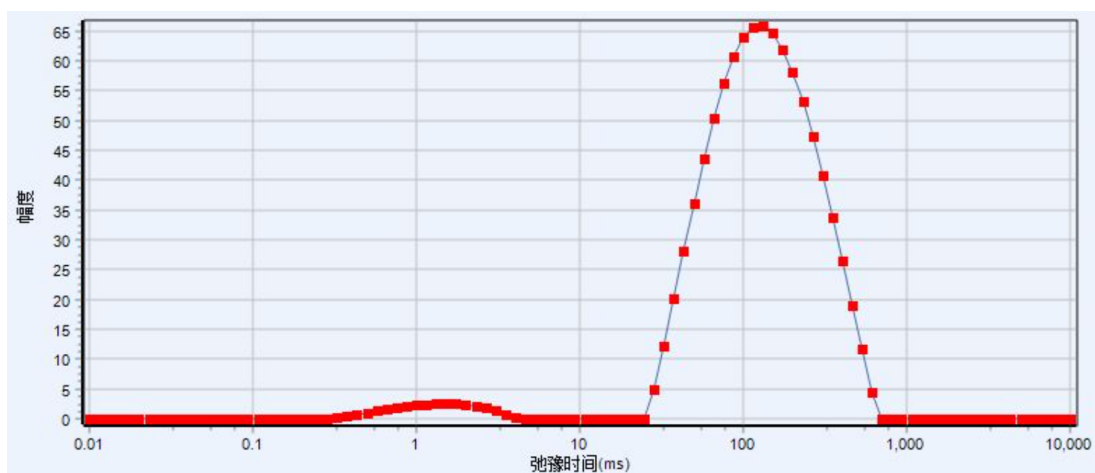


Figure 7 CPMG 序列反演图像

反演图像的主峰对应横向弛豫时间  $T_2 \approx 132\text{ms}$ ，明显大于 SE 测得的  $T_2$ ，这是因为 CPMG 序列的采样次数和范围显著大于 SE 序列测量，从而得到更接近真实值的  $T_2$ 。1.5ms 附近的小幅度峰值可能是样品中其他成分引起的。

#### 1.4 测定大豆油纵向弛豫时间 $T_1$

选择 Q-IR 序列，DL1=3000ms，TW=3000ms，得到信号图像如下：

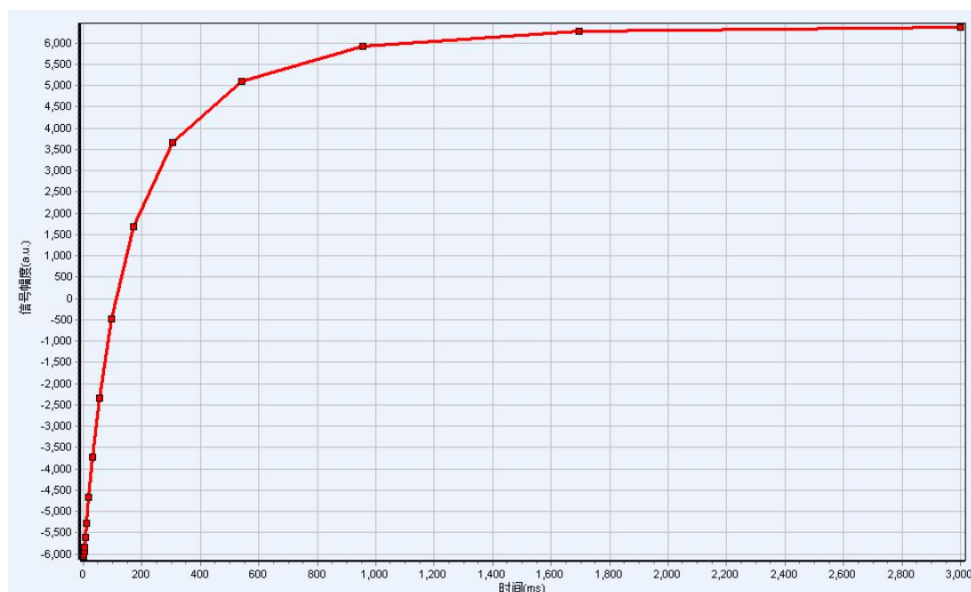


Figure 8 IR 信号图像

数据处理得到反演图像如下：

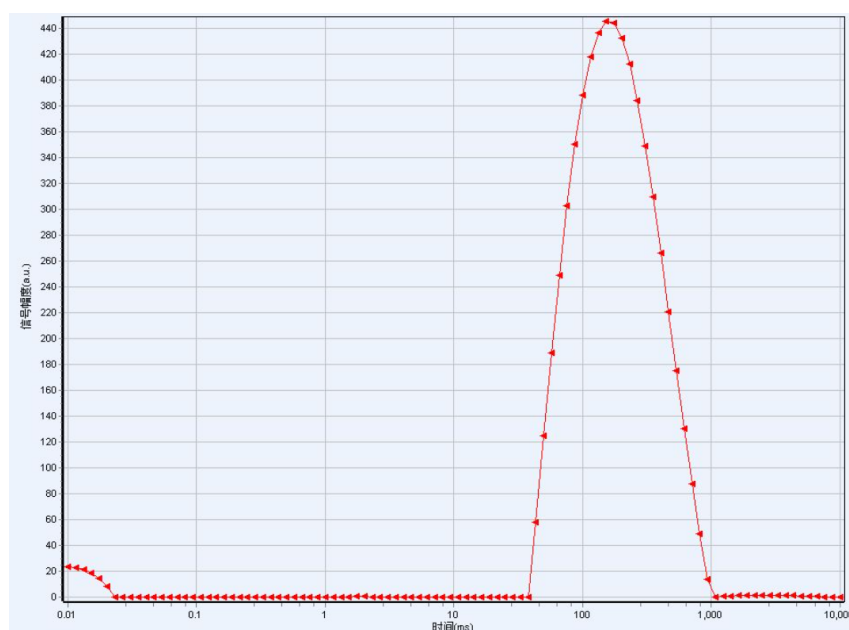


Figure 9 IR 序列反演图像

反演图像的主峰对应纵向弛豫时间  $T_1 \approx 152\text{ms}$ 。0 附近的小幅度峰值可能是噪声或样品中其他成分引起的。

### 1.5 大豆油样品的 MRI 成像

这里我们使用的仪器具有自动调节成像参数功能，设置并固定成像层数，层面间距，改变层面厚度，观察扫描成像效果如下：

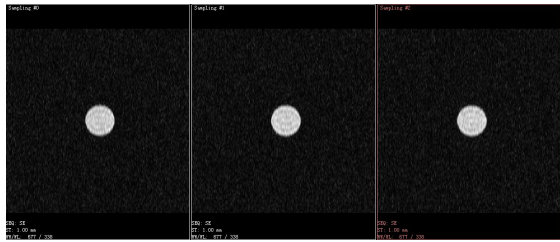


Figure 10 大豆油成像，层厚 1mm

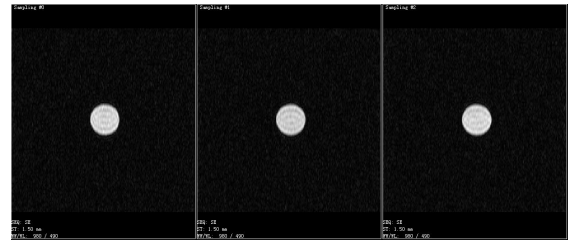


Figure 11 大豆油成像，层厚 1.5mm

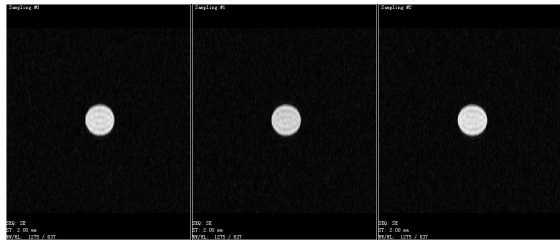


Figure 12 大豆油成像，层厚 2mm



Figure 13 大豆油成像，层厚 2.5mm

观察不同层面厚度下 MRI 成像的清晰度，亮度，可以得出结论：设置层厚越薄，分辨率越高，但厚度减小之后接收到的信号强度也变小，得到的图像亮度就会变低。

## 1.6 芝麻样品的 MRI 成像

类似地，我们对芝麻样品进行 MRI 成像，观察成像效果如下：



Figure 14 芝麻成像，层厚 1mm

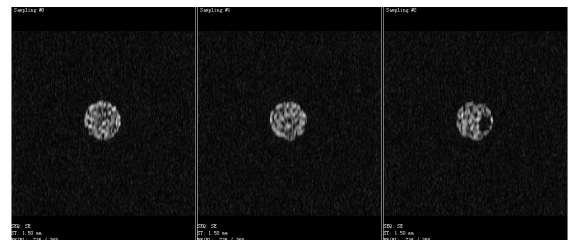


Figure 15 芝麻成像，层厚 1.5mm

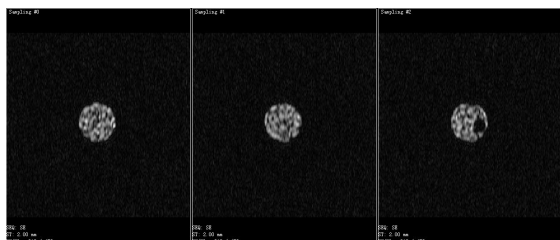


Figure 16 芝麻成像，层厚 2mm

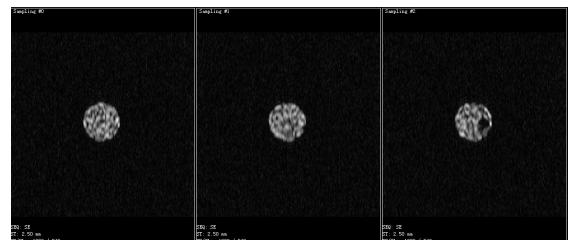


Figure 17 芝麻成像，层厚 2.5mm

此处成像厚度对成像的亮度，清晰度影响变化和大豆油一致，但在芝麻样品当中显示得更加明显。

## 二、 实验结论

本实验通过测量大豆油样品的磁共振频率，硬脉冲的  $90^\circ$  和  $180^\circ$  脉冲宽度，验证了核磁共振的基本原理。通过自旋回波序列 (SE) 测定了大豆油样品的横向弛豫时间  $T_2$ ，并使用 CPMG 序列进一步确认了  $T_2$  值，发现 CPMG 测得的  $T_2$  值更接近真实值。利用反转恢复序列 (IR) 测定了纵向弛豫时间  $T_1$ 。最后，通过 MRI 成像技术对大豆油和芝麻样品进行了成像，观察了不同层厚对成像质量的影响。实验结果表明，层厚越薄，成像分辨率越高，但信号强度会减弱，影响图像亮度。整体而言，本实验成功验证了核磁共振的基本理论，并展示了其在材料分析中的应用潜力。