

探究核磁共振采集参数对图像的影响

Study the effects of the NMR parameters to the quality of the image

0519014 杨柳

PS: 这篇论文有很多图和表格，所以页数超出了要求，但是实际是符合字数要求的，希望老师谅解。

【目录】 成像原理——1

成像实验——2 NE——3 SW——4 TD——5 NS——5 RG——6 SLICE——6
成像瑕疵的说明和避免方法——7 卷褶伪影——7 截断伪影——7

【摘要】 通过控制变量法改变实验软件所要求设置的参数，对比成像效果分析采集参数对图像的影响，并从原理上阐述产生这种影响的原因。整个实验经过一个理论预期——实验对比——实验验证的过程完成。最后分析成像中产生伪影的原因，找出避免成像出现瑕疵的方法，找出最佳的参数设置使图像达到最优化。

【Abstract】 Find out the effects of the parameters to the quality of the image by changing the parameters one by one and also find the causes of these effects. All the experiment is in the progress of the theory prediction——contrast the experiments——vindication of the experiments. Finally study the causes of the generation of the false image in order to avoid this imperfection. In the end give the optimized parameter to make the image better.

【关键词】 核磁共振 采集参数 卷褶伪影 截断伪影

【引言】 因为实验中所使用的 NMR 成像仪是新买进的仪器，我们做实验的时候也只能靠自己摸索着进行，特别到成像的时候参数很多，只能依靠厂家人员给定的参数设置照抄照搬，其中参数设置的物理原因并不清楚。所以针对这个情况，为了搞清楚实验成像中参数对图像的影响，我就做了这个实验，搞清楚参数中的物理意义，找出参数的调整到底对图像产生什么样的影响，从而最后找出成像的较优化的参数，也算是为以后实验的同学做了一些铺垫的工作，为未来的实验者做一个指南。

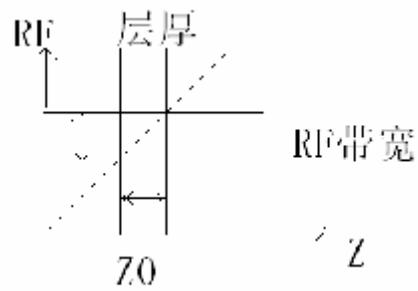
【成像原理】

数字灰度图像是由像素组成的，每个像素有两个参数：像素的位置和像素的灰度值。只要确定每个像素的这两个参数，整个物体的图像就可以呈现出来了。

1. 像素灰度值：原子核自转的同时会绕着外加磁场的方向进动，同时其能级由于外加磁场的存在产生分裂，这时外加一射频场，当射频场的频率刚好等于原子核进动的频率时就会发生核磁共振现象产生原子核吸收和释放能量，原子核磁矩发生变化，线圈探测这一变化从而能够表征质子的密度的变化，对应不同的灰度值。
2. 像素位置：核磁共振信号的三维空间定位是利用三个相互垂直的可控的线性梯度磁场来实现的。三个梯度场分别称为选层梯度场 G_z ，频率编码梯度磁场 G_x ，相位编码梯度场 G_y 。

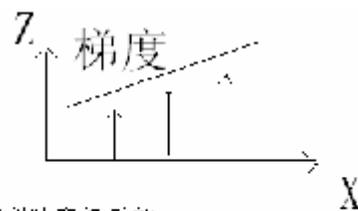
三者可以互换，而且可以使用任意两个梯度场的线性组合来实现某一定位功能，从而实现核磁共振的任意界面断层成像。

Gz: 根据核磁共振发生的条件，必须有射频激励的频率等于质子进动频率，而质子进动频率 $\omega = \gamma B$ 与所处的场强相关。若沿静磁场方向叠加一线性梯度磁场，则沿着梯度 G_z 方向的质子进动频率出现线性变化，此时施加具有一定频率范围的射频脉冲将只能激发质子进动频率在射频带宽范围之内的那个层面的质子，发生核磁共振现象，其余部分不能产生核磁共振。这样通过射频频率的变化即实现了选层。

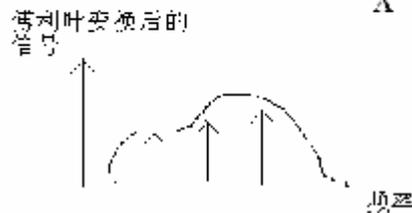


选层原理图

Gx: 沿选定层面内的 X 方向叠加一线性梯度场，可以使沿 X 方向质子所处的磁场线性变化，从而共振频率线性变化，将采集到的信号经过傅利叶变换即可得到信号频率与 X 方向位置的线性一一对应关系。



Gy: 沿选定层面内的 Y 方向施加一个时间很短的脉冲梯度，则沿 Y 方向的质子在进动相位上呈现线性关系，将采集到的信号经傅利叶变换后就可以得到 Y 方向位置和相位的一一对应的关系。



频率编码原理示意图

这里值得说明的一点是 NMR 在信号测量过程中并不直接得到图像，而是获取包含空间编码信息的原始数据。这些数据是用一个时间域的矩阵 K 空间来描述的，对于每一个读出梯度的过程，线圈接收到的信号进行采样后填充到一个傅利叶行。在下一个采集周期中，随着相位编码步数即 NE 的步进，读出下一条信号，然后填充到下一个傅利叶行中。 K 空间数据并不直接代表成像对象的物理位置，其与质子密度互为傅利叶变换，这也是我们为什么要采集数据后还要进行 FFT 得到图像数据的原因。

我们选择的成像方法是自旋回波成像，射频本质上是一种软脉冲，之所以选择的是软脉冲而不是硬脉冲是由他们本身的性质决定的，硬脉冲一般脉宽较小，强度高，具有较宽的频带，能够激励较宽范围的信号，多用于非选择性激励，在核磁共振波谱中常用。软脉冲一般脉宽较长，强度小，具有较窄的频带，只能激励较窄频率范围内的信号，用于选择性激励，在成像中常用。

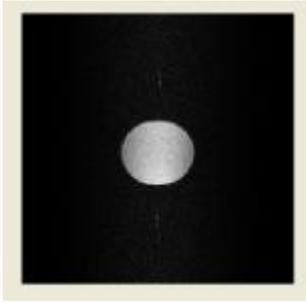
了解了成像的原理，下面我们就对参数对图像的影响进行分析

【成像实验】

首先对照组甘油的横截面成像参数和图像如下

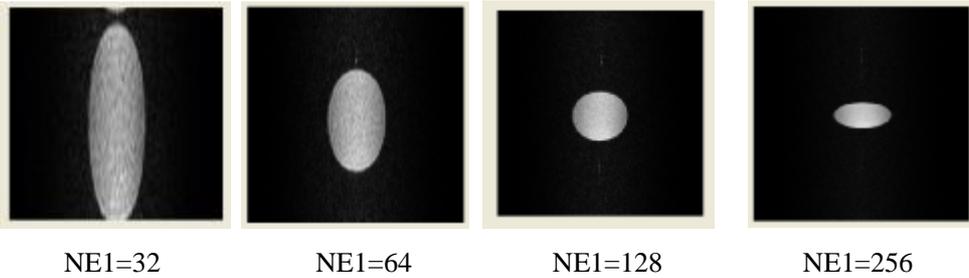
参数	含义	数值	参数	含义	数值
RFamp1(%)	90 软脉冲幅度	15.2	DFW(kHz)	截止频率	30.0
RFamp2(%)	180 软脉冲幅度	25.3	SF1(MHz)	频率主值	22
SP1(us)	90 软脉冲宽度	1200	O1(kHz)	偏移频率	368.988
SP2(us)	180 软脉冲宽度	1200	RG	接收增益	4
D1(us)	相位编码时间	1200	NS	累加次数	4

D2(us)	180 脉冲间隔	420	NE1	相位编码步数	128
D3(us)	死时间	100	GxAmp(%)	梯度幅度	52.0
D4(us)	选层与相位间隔	100	GyAmp(%)	梯度幅度	80.0
D5(us)	相位于频率间隔	100	GzAmp(%)	梯度幅度	48.0
D0(ms)	脉冲重复时间	500	SlicePos(mm)	选片位置	0.0
TD	采样点数	512	SLICE	选层方位	1
SW(kHz)	谱宽	100.0			



标准图

I. NE1 对图像的影响



NE1=32

NE1=64

NE1=128

NE1=256

从图中我们可以看出随着 NE1 的逐渐变大，图像也发生着不同程度的畸变，逐渐从纵向拉长到正常形状再到纵向压缩。另外，随着 NE1 的增大，图像的分辨率有着明显的提高，从一开始的模糊到后来的清晰，而且 NE1 的增加也导致测量重复的次数会增加测量的时间会变长。

分析：对于相位编码方向上的样品图像的大小由相位编码梯度 G_y 和相位编码方向的采集谱宽来决定。但相位编码方向的采集谱宽不像频率编码方向的谱宽可以直接由 SW 直接设定，它是由相位编码梯度施加时间 $D1$ 以及相位编码步数 NE 决定。在相位编码过程中梯度步进和时间步进等效

即 $\mathbf{V}G_y * t = G_y * \mathbf{V}t$ 其中 t 是相位编码时间 $D1$ ， G_y 是相位编码梯度的大小， $\mathbf{V}t$ 是等效采

样时间间隔， $\mathbf{V}G_y$ 是梯度步进值，即 $\mathbf{V}G_y = 2G_y / NE$ ，代入上式得出： $1/\mathbf{V}t = NE / 2D1$ ，

而 $1/\mathbf{V}t$ 就是相位编码方向上的采样谱宽 SW

$$\text{最后得出 } (FOV)_y = \frac{SW}{rG_y} = \frac{NE}{2D1 * rG_y} \quad \text{FOV 是 field of view 的缩写，就是可以观测的}$$

二位尺度，在图像上对应的就是黑框区域所表征的实际大小

从上个公式可以看出，当 NE 增大时，在其他参数不变得情况下， $(FOV)_y$ 是变大的，也

就是说在图像中 Y 轴方向所表征的实际距离逐渐变大，相对应的，实际大小保持不变的甘油横截面在图像中就会发生 Y 轴方向逐渐变小的过程，这也就解释了四个图像中随着 NE 的增加 Y 轴方向从细长到扁平。

另外，NE 所表征的是相位编码步数，它也代表在 K 空间中采集周期的多少，简单来说就是重复多少次扫描，很自然的 NE 越大，重复的次数越多，图像也越清晰，随着 NE 的增大，也随之带来的问题就是采集的时间也成倍增长，我们所要设置的 NE 在既保证清晰度的情况下尽量在最短时间内完成。

还有一点值得说明的是图像的空间分辨率 P。可以用单个像素反映组织体素的大小来说明，也就是 $P=FOV$ 的大小/像素的多少

举例来说，一个 5mm 的样品在图像上显示的是 50 个像素，其空间分辨率就是 $5mm/50=0.1mm/$ 像素。P 值越小，表示图像的分辨率越高，图像的细节越清晰。

对于 X 方向的分辨率

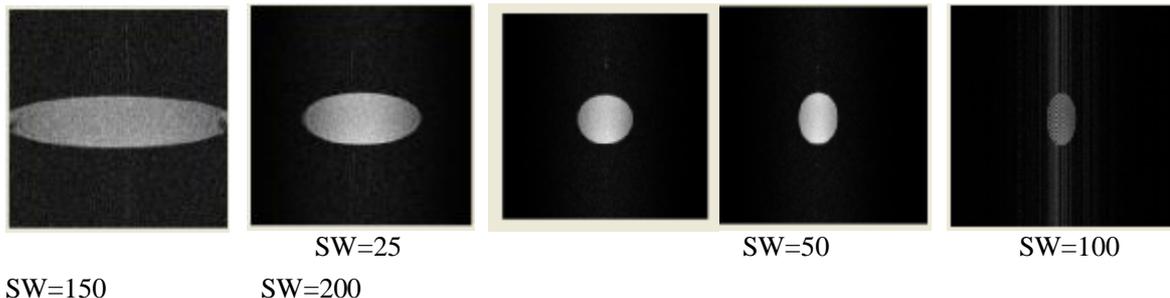
$$(FOV)_x = SW/rG_x; P = SW/rG_x * TD$$

对于 Y 方向的分辨率

$$(FOV)_y = SW/eG_y; P = SW/rG_y * NE$$

从上面的公式我们可以推断出似乎只改变 NE 只会改变 Y 方向的分辨率，但是观察图中我们发现 X 方向的分辨率也变大了，这里要说的是 TD 和 NE 也是关联的，因为扫描的点数和总扫描次数也是成正比的。

II. SW 对图像的影响



从图中我们可以看出上图的变化规律和 NE 对图的变化规律类似，只是从 Y 方向的变化变成了 X 方向的变化，随着 SW 的提高，分辨率提高，图像在 X 方向上变小。

分析：经选层后的 NMR 图像是一个二维图像，首先在 X 方向价格频率编码梯度来定位 X 轴上的点。频率编码是通过频率差别来进行频率方向位置的一一对应的。频率的差别 V_{w_x} 是由梯度场的大小来决定的，在选定的 F O V 内

$$V_{w_x} = rG_x * (FOV)_x$$

从上面可以看出 X 方向频率差别取决于磁场梯度 G_x 以及 F O V 的大小， G_x 越大，说明梯度场强度越高，能将一定距离的质子进动频率差别拉得更大，使图像在 X 方向较大，空间分

辨率也高。在我们的试验仪器中，不直接设定 F O V 而是由 $(FOV)_x = \frac{V_{w_x}}{rG_x}$ 决定的， V_{w_x} 就

是所说的 S W。SW 逐渐增大使 FOV 的 X 方向尺度增大，导致图像在 X 方向逐渐变小发生畸变。

从上面的分析可以看出

对于 X 方向的分辨率

$$(FOV)_x = SW/rG_x; P = SW/rG_x * TD$$

对于 Y 方向的分辨率

$$(FOV)_y = SW/eG_y; P = SW/rG_y * NE$$

两个方向的分辨率都回因为 SW 的增大而提升，事实上图像的变化也印证了这一点

另外， $SW = \frac{1}{V_t}$ ，也就是测量频率，每秒测多少个点，这样测量一次的总时间就可以用

$T = TD/SW$ 来表示，为了得到准确的结果，SW 必须数倍于信号的频率。

从上面的两个参数的分析我们可以知道，由于最终图像的矩阵一般为方阵，所以只要

$$(FOV)_x = (FOV)_y$$

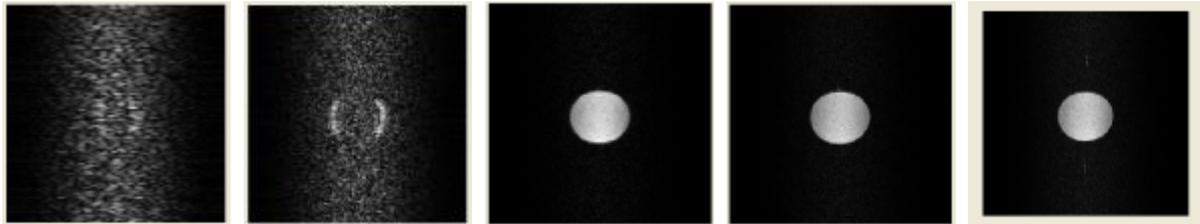
$$(FOV)_x = \frac{V_{w_x}}{rG_x}$$

$$(FOV)_y = \frac{SW}{rG_y} = \frac{NE}{2D1 * rG_y}$$

即 $\frac{SW}{G_x} = \frac{NE}{D1 * G_y}$ 时，就可以保证样品图像与样品形状一致，否则就会出现上图中的线性失

真，圆形的样品在图像中呈现椭圆形。

III. TD 对图像的影响



TD=32

TD=64

TD=128

TD=256

TD=512

从图上我们可以看出，随着 TD 的增加图像渐渐清晰，基本上图像没有畸变

分析：TD 表征的是采样点数，采样点数越多当然越清晰，当 TD=32 时由于采样太少根本看不出样品的轮廓，TD=64 时刚刚有一点圆形出现，在 512 时最清晰，从分辨率公式

对于 X 方向的分辨率

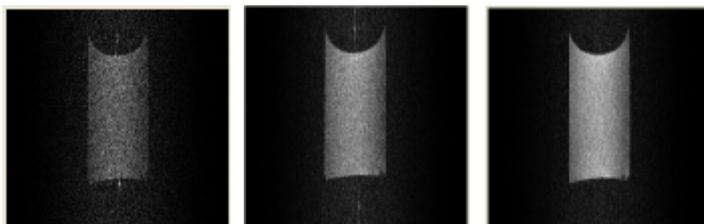
$$(FOV)_x = SW/rG_x; P = SW/rG_x * TD$$

对于 Y 方向的分辨率

$$(FOV)_y = SW/eG_y; P = SW/rG_y * NE$$

随着 TD 的增加分辨率也会提升，图像也证实了这一点。

IV. NS 对图像的影响



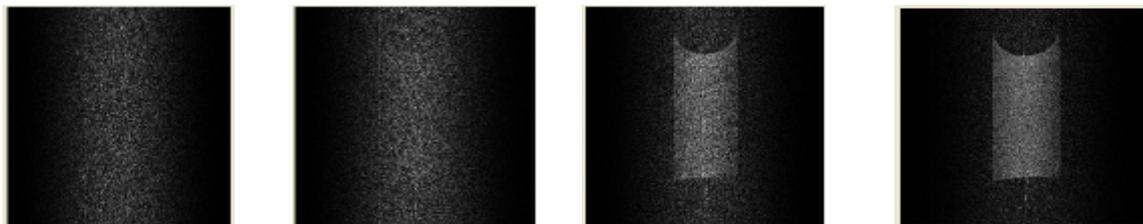
NS=2

NS=4

NS=8

NS 是累加次数，随着次数的累加信号的差异性就会逐渐明显，信号的强度也会变大，反映在图像上就是图像灰度对比度的变化，NS=8 时最白也最清晰，NS 的增加会提高分辨率，提高对比度，但是测量的时间也会增大。

V. RG 对图像的影响



RG=1

RG=2

RG=3

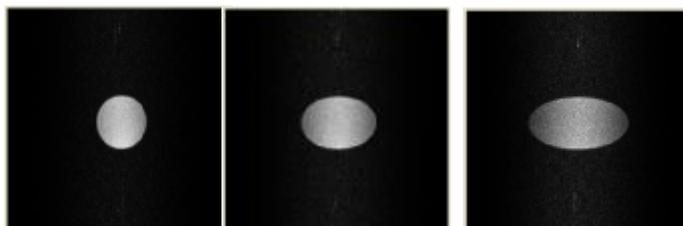
RG=4

RG 是接收器的增益，也就是接收线圈信号的放大倍数，增大增益，信号的强度就会增加，效果和 NS 的效果一样，提高分辨率提高对比度，但是比 NS 好的地方就是提高增益不会增加测量时间

VI.SLICE 的选择

由于 Gx,Gy,Gz 三者的场是等价的，slice 的作用就是通过确定哪个场是选层的场从而确定图像显示的是哪层的像，是横截面像还是总截面像

SLICE 有三个选择，X-0 Y-1 Z-2 填入对应的数字就选择了选层的场，决定哪个截面



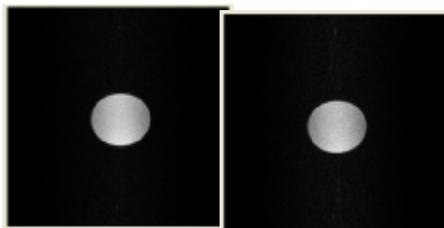
Gz=40

Gz=60

Gz=80

这里虽然改变的是 Gz，但是由于 SLICE 选择的是 1，即以 Y 轴场来做为选层的梯度场，实际上的 Gz 扮演的是上面理论中 Gx 的角色，随着 Gz 的增大，(FOV) x 变小，图像横向拉伸，图像的变化证实了这一点。

下面是 Gy=40 Gy=60



虽然在图像上看不出什么变化，在 z 方向的选层是通过射频的频率差和梯度来决定的

$$rG_z * \Delta Z = \Delta f \quad \Delta Z = \frac{\Delta f}{rG_z}$$

Gy 的增大使层厚度减小，实际上后图的厚度是比前图的薄的

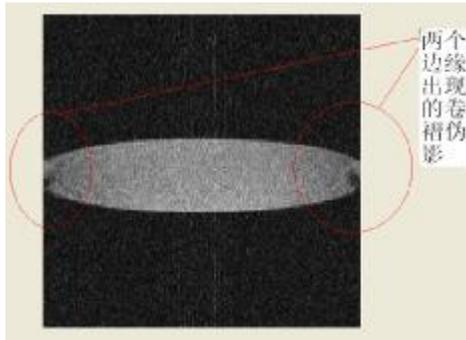
参数中 Gx, Gy, Gz 所需要的参数是一个百分比，实际上是实际仪器所提供的磁场占仪器最大磁场梯度的百分比

【成像瑕疵的说明和避免方法】

1. 卷褶伪影

从上面的分析我们可以知道图像的采集空间 FOV 由采集谱宽、梯度强度以及相位编码步数和相位编码时间决定。若选择的参数不合适导致 FOV 太小没有把所有需要的样品都采集进去，那么在 FOV 以外的样品也会产生信号并被线圈收集，采集后的信号要进行 A/D 转换，根据信号离散化后导致频率域的周期延拓性质，这部分信号也被折叠到设定的采样谱宽里面去了。反映到图像上就是外面的组织混叠到 FOV 内，图像变形。

下图就是由于采样宽度太小 SW=25 导致的卷褶伪影



消除卷褶伪影的方法就是增大 FOV

$$(FOV)_x = \frac{Vw_x}{rG_x}$$

$$(FOV)_y = \frac{SW}{rG_y} = \frac{NE}{2D1 * rG_y}$$

在 X 方向

- ①增加 SW
- ②减小 Gx

在 Y 方向

- ①增加 NE
- ②减小 D1
- ③减小 Gy

2. 截断伪影

当采样点数较少时采样时间也较少。从理论上来说，需要将每条时间域回波信号完全不失真的采样需要无限长的时间采集无数个点才可以。实际上我们都是采集有限的点，对无限的回波信号进行一个矩形的截取，相当于在原来的回波信号中乘上一个矩形窗函数。这个函数在频率域的形状是一个在通带和阻带均有着振荡效果的带通滤波器（振铃效应）。因此 FFT 后一个回波信号加上一个振铃图谱，在图像上就表现为涟漪状的黑白条纹，这个就是截断伪影的来源。

下图就是由有 SW=128 过小，图像边缘出现了涟漪状条纹。



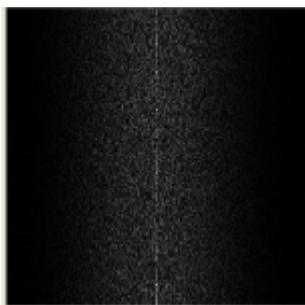
要避免截断伪影就是要把采样时间加长，减弱截断效应，从公式

$T=TD/SW$ 可以看出，可以增加 TD 或者减少 SW。

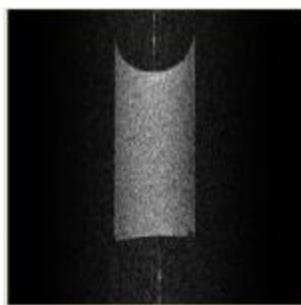
值得注意的是卷褶伪影和截断伪影对 SW 来说是矛盾的，减少 SW 会减少截断伪影但同时又会出现卷褶伪影，我们要综合考虑 SW 这些参数，在平衡质量和时间的条件下找到最优化的参数设置。

以上就是对各个成像参数的实验和分析说明，从这里我们发现厂方人员所给的参数还是合适的，在图像质量和测量时间方面都给予了良好的考虑，以后的实验中也可以用这些参数来实验。

最后要说明的是书中所给的成像参数是不正确的,下面是书中参数和厂方人员所给参数的图像对比



书中参数



厂方参数

【致谢】 谢谢实验室各位老师 在实验中的帮助,特别是姚老师、俞老师、汪老师的细心指导,实验室提供的方便可以让我随时去做实验取参数,另外还有化学系核磁共振实验室的老师给与的热心帮助表示感谢。

【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 王逗. 核磁共振原理及其应用 现代物理知识 2005 年 05 期
4. 史全水. 核磁共振技术及其应用[J]. 洛阳师范学院学报, 2006,(02).
5. 冉莹. 核磁共振技术初探[J]. 保定职业技术学院, 2007,(01).