



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 97114669.1

[45] 授权公告日 2009年9月9日

[11] 授权公告号 CN 100536768C

[22] 申请日 1997.7.11 [21] 申请号 97114669.1

[30] 优先权

[32] 1996.7.11 [33] JP [31] 182099/96

[32] 1997.3.14 [33] JP [31] 61528/97

[73] 专利权人 通用电器横河医疗系统株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 后腾隆男

[56] 参考文献

EP0577188A1 1994.1.5

EP0595391A1 1994.5.4

审查员 王晓萍

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴增勇 张志醒

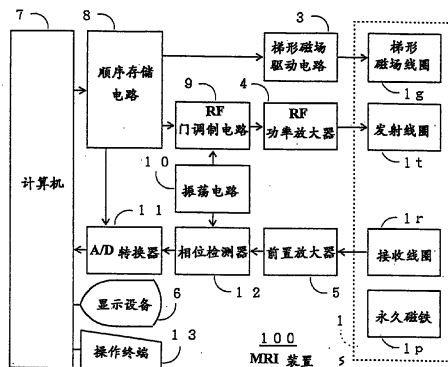
权利要求书4页 说明书32页 附图25页

[54] 发明名称

相移测量方法,相移修正方法,和MRI装置

[57] 摘要

精确测量由涡流和归因于编码梯度曲线的剩磁等的影响产生的回波相移的过程包括:发射激励脉冲R,发射反相脉冲P1,在相位轴上施加编码梯度曲线,在读轴上施加读梯度曲线,施加回绕梯度曲线,发射反相脉冲,在相位轴上施加相差梯度曲线,当在相位轴上施加读出梯度曲线时对回波echo2进行数据采集,根据对采样数据的一维富里埃变换所得到的相位数据计算由于编码梯度曲线 $g_{yn}$ 和回绕梯度曲线 $g_{ym}$ 的影响所产生的echo2的相移值,据此确定修正值,修正补偿脉冲。



1.一种相移测量方法，其特征在于包括以下步骤：

发射激励脉冲；

发射反相脉冲；

在相位轴上施加编码梯度曲线；

在读轴上施加读梯度曲线；

在所述相位轴上施加回绕梯度曲线，上述操作步骤被执行一次或多次；

发射反相脉冲；

在所述相位轴上施加相差梯度曲线；

在所述相位轴上施加读出梯度曲线时，对来自回波的数据进行采样；以及

根据对所述采样数据的一维富里埃变换所得到的相位数据，计算由于编码梯度曲线的影响所导致的相移。

2.一种相移测量方法，其特征在于包括以下步骤：

发射激励脉冲；

发射反相脉冲；

在相位轴上施加编码梯度曲线；

在读轴上施加读梯度曲线；

在所述相位轴上施加回绕梯度曲线，上述操作步骤被重复两次或多次；

发射反相脉冲；

在所述相位轴上施加相差梯度曲线；

在所述相位轴上施加读出梯度曲线时，对来自回波的第一数据进行采样；

在所述相位轴上施加重定相梯度曲线；

发射反相脉冲；

在所述相位轴上施加相差梯度曲线；

在所述相位轴上施加读出梯度曲线时,对来自另一回波的第二数据进行采样; 以及

根据对所述采样的第一数据的一维富里埃变换所得到的相位数据和所述采样的第二数据的一维富里埃变换所得到的相位数据,计算由于编码梯度曲线的影响所导致的相移。

3.一种相移测量方法,其特征在于包括以下步骤:

发射激励脉冲;

发射反相脉冲;

在相位轴上施加编码梯度曲线;

在读轴上施加读梯度曲线;

在所述相位轴上施加回绕梯度曲线,上述操作步骤被执行一次或多次;

发射反相脉冲;

当在所述读轴上施加读出梯度曲线,而未在所述相位轴上施加一种梯度曲线时,对来自回波的数据进行采样; 以及

根据对所述采样数据的一维富里埃变换所得到的相位数据,计算由于编码梯度曲线的影响所导致的零阶相移。

4.一种相移测量方法,其特征在于包括以下步骤:

发射激励脉冲;

发射反相脉冲;

在相位轴上施加编码梯度曲线;

在读轴上施加读梯度曲线;

在所述相位轴上施加回绕梯度曲线,上述操作步骤被重复两次或多次;

发射反相脉冲;

当在所述相位轴上施加读出梯度曲线,而未在所述相位轴上施加一种梯度曲线时,对来自回波的第一数据进行采样;

发射反相脉冲;

当在所述读轴上施加读出梯度曲线,而未在所述相位轴上施加一种梯度曲线时,对来自另一回波的第二数据进行采样;以及

根据对所述采样的第一数据的一维富里埃变换所得到的相位数据和对所述采样的第二数据的一维富里埃变换所得到的相位数据,计算由于编码梯度曲线的影响所导致的零阶相移。

5.一种磁共振成像 MRI 装置,包括:

RF 脉冲发射装置;

梯度磁场施加装置;

核磁共振 NMR 信号接收装置;

相移修正值确定装置,该相移修正值确定装置按照以下步骤运行:发射激励脉冲,发射反相脉冲,在相位轴上施加编码梯度曲线,在读轴上施加读出梯度曲线,以及在所述相位轴上施加回绕梯度曲线,上述操作步骤被执行一次或多次,接着发射反相脉冲,在所述相位轴上施加相差梯度曲线,接收 NMR 信号,当在所述相位轴上施加读出梯度曲线时,进行数据采样,对所述采样数据进行一维富里埃变换,并根据结果相位数据确定用来修正由于编码梯度曲线的影响所产生的相移的修正值,同时,把用于根据已确定的修正值修正一阶相移的补偿脉冲插入用于成像的脉冲序列的编码梯度曲线中,或者加到紧接在编码梯度曲线之前和之后的一点或两点上,或插入回绕梯度曲线中,或加到紧接在回绕梯度曲线之前和之后的一点或两点上。

6.一种 MRI 装置,包括:

RF 脉冲发射装置;

梯度磁场应用装置;

NMR 信号接收装置;

相移修正值确定装置,该装置相移修正值确定按照以下步骤运行:发射激励脉冲,发射反相脉冲,在相位轴上施加编码梯度曲线,在读轴上施加读出梯度曲线,以及在所述相位轴上施加回绕梯度曲

线，上述操作步骤被执行一次或多次，接着发射反相脉冲，当在所述读轴上施加读出梯度曲线、而未在所述相位轴上施加梯度曲线时，对回波进行数据采样，并根据对所述采样数据进行的一维富里埃变换所产生的相位数据，确定用来修正由于编码梯度曲线影响所产生的零阶相移的修正值，同时，把用来根据所述确定的修正值修正所述零阶相移的偏差相位，提供给反相脉冲，或者提供给回波检测相位，或者提供给二者。

7.一种 MRI 装置，包括：

RF 脉冲发射装置；

梯度磁场应用装置；

NMR 信号接收装置；

相移修正值确定装置，该装置相移修正值确定按照以下步骤运行：发射激励脉冲；发射第一反相脉冲；当在读轴上施加读梯度曲线而未在相位轴上施加梯度曲线时对第一回波进行数据采样；根据对所述采样数据的一维富里埃变换所产生的相位数据，计算第一零阶项 $\phi_0$ ；发射激励脉冲；发射第一反相脉冲；在所述相位轴上施加编码梯度曲线；在所述读轴上施加读梯度曲线并且在所述相位轴上施加回绕梯度曲线；接着发射第二反相脉冲；当在所述读轴上施加读出梯度曲线而未在所述相位轴上施加梯度曲线时，对第二回波进行数据采样；根据该采样数据的一维富里埃变换所产生的相位数据，计算第二零阶项 $\phi_1$ ；以及根据第一零阶项 $\phi_0$  和第二零阶项 $\phi_1$ ，确定用来修正由于编码梯度曲线的影响所产生的零阶相移的修正值，同时，把用来根据所述确定的修正值修正所述零阶相移的偏差相位，提供给所述第二反相脉冲之后的反相脉冲，或者提供给回波检测相位，或者提供给二者。

## 相移测量方法，相移修正方法， 和 MRI 装置

本发明涉及相移测量方法，相移修正方法，和磁共振图像装置 (MRI)。更具体地说，本发明涉及由涡流和归因于以前的编码梯度的剩磁等的影响所产生的回波相移的测量方法，所述回波相移的修正方法，和实现这些方法的 MRI 装置。

分离回波序列法(split echo train method)旨在将回波序列的多个回波分成前部回波和后部回波并从前部回波产生第一影像 (PROTON 加权影像) 和从后部回波产生第二影像 (T2 加权影像)。

为了减少周期时间，随着其持续时间的减小，分解回波列方法的脉冲序列在其波形上具有很大的编码梯度曲线幅度。

相同的技术被用于常规的高速自旋回波 (SE) 方法，即，为了减少周期时间，它具有包含大幅度 and 短周期的的编码梯度曲线。

然而，随着梯度曲线幅度的加大，在梯度线圈周围的导体中出现的涡流增加并且其持续时间减少。涡流影响回波中相移的增加，并且该相移在影像的相位轴方向上产生重象，即，产生赝象。

减少这种重象的技术在由 R.Scott Hinks 等人在 Proc.SMR, p.634, 1995 中公开提出，其中，预扫描数据被采样，且在预扫描中不施加编码梯度曲线，对采样数据进行沿 K 空间频率轴的一维富里埃变换，因此而得到相位数据，并且根据影像主扫描的相位数据修正读取梯度曲线的偏差相位和反相脉冲 P。

相位修正过程的方法是由 Xin Wan, Dennis L. Parker, 等人在 Mag.Reso. in Med., pp.632-638, 1995, 中公开提出的，其中，在影像主扫描之后，在不施加编码梯度曲线情况下，修正数据被采样，并且根据在影像调整计算中的修正数据来完成相位修正。

基于永久磁铁的 MRI 装置也含有上述由涡流产生相移的问题,以及由剩磁产生相移的问题。特别是,例如随着脉冲幅度的增加,在磁整流板上产生的剩磁增加并且显著地影响相移。

然而,在前面所述先有技术中,在没有施加编码梯度曲线的情况下对修正数据进行采样,修正数据不包括剩磁的影响,因此,这些方法不能修正由于剩磁的影响所产生的相移。

本发明的第一个目的是提供一种测量相移的方法,该方法用来测量由归因于以前的编码梯度的涡流和剩磁的影响等所产生的回波相移。

本发明的第二个目的是提供一种相移修正的方法,该方法是为了修正回波相移来防止由涡流和归因于以前的编码梯度的剩磁等的影响所引起的影像品质变坏。

本发明的第三个目的是提供一种 MRI 装置,该装置用来实现上述相移测量方法和相移修正方法。

在第一方面,本发明属于一种相移测量方法,该方法包括以下步骤:发射激励脉冲;发射反相脉冲;在相位轴上施加编码梯度曲线;在读取轴上施加读梯度曲线和在相位轴上施加回绕梯度曲线;一次或多次地重复这些操作;接着发射反相脉冲;在相位轴上施加相差梯度曲线,并且在相位轴上施加读出梯度曲线时,对回波进行数据采样;以及根据对该采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据,来计算由编码梯度曲线影响所产生的相移。

第一方面的相移测量方法在相位轴上施加相差梯度曲线和读出梯度曲线而不施加读梯度曲线时,从回波中采样数据。被采样的数据排列在 K 空间沿相位轴的轨迹上,并且根据对该采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据可以精确地知道一阶相移(沿 K 空间的相位轴显示相移值的一阶变量的相移成分)。因此,通过这种方法进行数据采样,然后应用编码梯度曲线,读梯度曲线和回绕梯度曲线,有可能精确地测量由涡流和归因于编码梯度的剩磁等的影响所产生的相

移。

第一变型方面，它是从第一方面的相移测量方法中派生出来的，包括通过施加极性相反的相差梯度曲线和读出梯度曲线来对数据进行采样的步骤，和根据对该采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据和在极性反转之前所得到的相位数据，来计算由于编码梯度曲线影响所产生的相移。

相移梯度曲线也将产生涡流，因此，测量结果可能与主扫描的测量结果不一致，除非消除相移梯度曲线的影响。相移梯度曲线所产生的涡流作用在同一方向上，与一阶相移的相差梯度曲线的极性无关，而当相差梯度曲线的极性反向时，以前的编码梯度曲线等所产生的相移将在相反的方向上起作用。因此，通过对相差梯形脉冲的极性反向和不反向情况下的数据进行微分处理，可以消除由于相差梯度曲线极性所引起的涡流的影响，并且可以精确地测量归因于以前的编码梯度曲线等的相移。

在第二个方面，本发明属于一种相移测量方法，该方法包括以下步骤：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读取轴上施加读梯度曲线和在相位轴上施加回绕梯度曲线的步骤；一次或多次地重复这些操作；接着发射反相脉冲；在相位轴上施加相差梯度曲线；当在相位轴上施加读出梯度曲线时对回波进行第一数据采样；在相位轴上施加重定相(rephaser)梯度曲线；接着发射反向脉冲，在相位轴上施加相差梯度曲线；当在相位轴上施加读出梯度曲线时对另一回波进行第二数据采样；以及根据对第一采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据和对第二采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据，来计算由于编码梯度曲线影响所产生的相移。

即使编码梯度曲线为“0”，相移不为“0”，并且存在偏差相移成分。对于第一和第二数据偏差相移成分方向相同，而由于在对第一和第二数据进行采样之间发射反向脉冲，所以，以臆的编码梯度曲线等引起的相移在第一和第二数据之间具有相反的方向。因此，通过对

第一和第二数据进行微分处理，可以消除偏差相移成分，并且可以精确地测量归因于以前的编码梯度曲线之前的相移。

第二变型，它是从第二方面的相移测量方法中派生出来的，包括以下步骤：在其极性反略的情况下通过施加相差梯度曲线，读出梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线，来对第一和第二数据进行采样；以及根据对该采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据和在极性反转之前所得到的相位数据，来计算由于编码梯度曲线影响所产生的相移。

相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线也将产生涡流，因此，测量结果可能与主扫描的测量结果不一致，除非消除相差梯度曲线的影响。相差梯度曲线和重定相梯形脉冲所产生的涡流作用在同一方向上，与一阶相移的相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线的极性无关，而当相差梯度曲线的极性反向时，在编码梯度曲线之前所产生的相移等将作用在相反的方向上。因此，通过对相差梯形脉冲和重定相梯形脉冲的极性反向和不反向情况下的数据进行微分处理，可以消除由于相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线极性所引起的涡流的影响，并且可以精确地测量归因于以前的编码梯度曲线等的相移。

第三变型，它是从第一方面到第二变型的相移测量方法中派生出来的，包括为了消除激励回波而在限幅轴上施加 crusher 梯度曲线的步骤。

企图利用激励回波在回波上的重叠来进行相移测量，但是它不能够达到精确地测量相移的目的。因此，在限幅轴上应用 crusher 梯度曲线以消除激励回波，使其能够精确地测量相移。

在第三个方面，本发明属于相移测量的方法，该方法包括以下步骤：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读轴上施加读梯度曲线和在相位轴上施加回绕梯度曲线；一次或多次地重复这些操作；接着发射反相脉冲；当在读轴上施加读梯度曲线而未在相位轴上施加梯度曲线时，对回波进行数据采样；以及根据对

采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据，来计算由于编码梯度曲线影响所产生的零阶相移。

虽然第一方面到第三变型相移测量方法可以测量零阶相移，但是相差梯度曲线和读出梯度曲线可能会影响零阶相移。第三方面的相移测量方法在相位轴上不施加梯度曲线，因此可以精确地计算零阶相移。

在第四个方面，本发明属于相移测量方法，该方法包括以下步骤：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读轴上施加读梯度曲线和在相位轴上施加回绕梯度曲线；一次或多次地重复这些操作；接着发射反相脉冲；当在读轴上施加读梯度曲线而不在相位轴上施加梯度曲线时，对回波进行第一数据采样；接着发射反相脉冲，当在读轴上施加读梯度曲线，而不在相位轴上施加梯度曲线时，对回波进行第二数据采样；以及根据对第一采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据和根据对第二采样数据进行一维富里埃变换所得到的相位数据，来计算由于编码梯度曲线影响所产生的零阶相移。

即使编码梯度曲线为“0”，零阶相移也不为“0”，并且存在偏差相移成分。偏差相移成分与第一和第二数据方向相同，而由于在第一和第二数据采样之间发射反向脉冲，所以，归因于以前编码梯度曲线等的相移在第一和第二数据之间具有相反的方向。因此，通过对第一和第二数据进行微分处理，可以消除偏差相移成分，并且可以精确地测量归因于以前编码梯度曲线等的相移。尽管第一变型可以测量零阶相移，但相差梯度曲线和读出梯度曲线可能会影响零阶相移。第四方面的相移测量方法在相位轴上不施加梯度曲线，因此可以精确地计算零阶相移。

在第五个方面，本发明属于被归类为分解回波序列方法的相移修正的方法，它包括以下步骤：发射激励脉冲；发射第  $j$  个反相脉冲；在相位轴上施加第  $j$  个编码梯度曲线；当在读轴上施加读梯度曲线时

对第  $j$  个回波进行数据采样；在相位轴上施加第  $j$  个回绕梯度曲线，对于  $j=1, 2, \dots, N$ ，重复这些操作；根据前部回波的采样数据产生第一影像；以及根据后部回波的采样数据产生第二影像，其中为了修正由于前部编码梯度曲线和回绕梯度曲线的影响所引起的后部回波的一阶相移，补偿脉冲被加到最后的前部回波之前的编码梯度曲线上，或将补偿脉冲加到紧接在编码梯度曲线之前和之后的一点或两点上，或在最后的前部回波之后的回绕梯度曲线中插入补偿脉冲，或将补偿脉冲加到紧接在回绕梯度曲线之前和之后的一点或两点上。

第五方面的相移修正方法将补偿脉冲加在前部的最后的编码梯度曲线或回绕梯度曲线上，它可以防止由前部编码梯度曲线等所引起的相差成分产生相对于后部回波的大的相移。因此，这种方法可以防止第二影像品质变坏。

第四变型是从第五方面的相移修正方法中派生出来的，它包括根据从第一方面到第三变型的任何一种相移测量方法所测量的相移值确定补偿脉冲的修正值的步骤。

第四变型的相移修正方法根据从第一方面到第三变型的任何一种相移测量方法所测量的相移值确定修正值，它可以精确地防止由于前部编码梯度曲线等所引起的相移成分产生相对于后部回波的大的相移。因此，这种方法可以适当地防止第二影像品质变坏。

第五变型是从第四变型的相移修正方法中派生出来的，它包括以下步骤：将具有不同类型极性图案的前部编码梯度曲线成分开的组；确定代表各分组的一个或多个编码梯度曲线的修正值，其方法是：根据第一方面到第三变型的任何一种相移测量方法测量相移值；以及根据对同组的所确定的修正值的计算或根据所确定的修正值的完整应用，确定不是所述各组的编码梯度曲线的修正值。

如果前部编码梯度曲线具有不同类型的极性图案，则最终结果的涡流和剩磁将变化并且受其影响而产生的相移也将变化。因此，第五变型的相移修正方法通过第一方面到第三变型的任何一种相移测量

方法，来逐个测量具有不同极性图案的前部编码梯度曲线的相移值，而对于具有相同极性图案的前部编码梯度曲线，它通过测量结果或使用全部结果来计算（例如，比例计算）相移值。因此，这种方法能够平衡预扫描时间的减少和修正的精确度。

在第六方面，本发明属于被归类为分解回波序列方法的相移修正方法，它包括以下步骤：发射激励脉冲；发射第  $j$  个反相脉冲；在相位轴上施加第  $j$  个编码梯度曲线；当在读轴上施加读梯度曲线时对第  $j$  个回波进行数据采样；在相位轴上施加第  $j$  个回绕梯度曲线；对于  $j = 1, 2, \dots, N$ ，重复这些操作；根据前部回波的采样数据产生第一影像；根据后部回波的采样数据产生第二影像；其中，为了修正由于前部编码梯度曲线和回绕梯度曲线的影响所引起的后部回波的零阶相移，而为后部反相脉冲或为回波检测脉冲，或同时为两者提供偏差脉冲。

第六方面的相移修正方法发射具有偏差相位的后部反相脉冲，或者在接收到的回波的相位检测时提供偏差相位，或者同时执行上述两者，并且它可以防止后部回波产生零阶相移。因此，这种方法可以防止第二影像的品质变坏。

第六变型是从第六方面的相移修正方法中派生出来的，它包括根据第三方面或第四方面的相移测量方法所测量的零阶相移来确定偏差相位的步骤。

第六变型的相移修正方法根据第三方面或第四方面的相移测量方法所精确测量到的相移值，来确定偏差相位，并且它可以精确地防止后部回波产生零阶相移。因此，这种方法可以适当地防止第二影像品质变坏。

第七变型是从第六变型的相移修正方法中派生出来的，它包括以下步骤：将具有不同类型极性图案的前部编码梯度曲线成分开的组；通过根据第三方面或第四方面的相移测量方法测量相移值来确定一个或多个代表各组的编码梯度曲线的偏差相位；以及根据对同组的所确定的偏差相位的计算或根据所确定的偏差相应的完整应用，确定

不是所述各组的编码梯度曲线的偏差相位。

如果前部编码梯度曲线具有不同类型的极性图案，则最终结果的涡流和剩磁将变化并且受其影响所产生的零阶相移也将变化。因此，第七变型的相移修正方法通过第三方面或第四方面的相移测量方法，来逐个测量具有不同极性图案的前部编码梯度曲线的零阶相移值，而对于具有相同极性图案类型的前部编码梯度曲线，它通过测量结果或使用完整结果来计算（例如，比例计算）相移值。因此，这种方法可以平衡预扫描时间的减少和修正的精确度。

在第七方面，本发明属于被归类为分解回波序列方法的相移修正方法，它包括以下步骤：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；当在读轴上施加读梯度曲线时对回波数据进行采样；在相位轴上施加回绕梯度曲线；这些操作被重复多次；以及根据采样数据产生影像；其中，为了修正由于前面编码梯度曲线和回绕梯度曲线的影响所引起的后部回波的一阶相移，在每一编码梯度曲线中插入补偿脉冲，或将补偿脉冲加到紧接在每一编码梯度曲线之前和之后的一点或两点上，或在每一回绕梯度曲线中插入补偿脉冲，或将补偿脉冲加到紧接在回绕梯度曲线之前和之后的一点或两点上。

第七方面的相移修正方法在每一编码梯度曲线或回绕梯度曲线上插入补偿脉冲，它可以防止由于前部编码梯度曲线等所引起的相差成分在连续回波中产生相移。因此，这种方法可以防止第二影像品质变坏。

第八变型是从第七方面的相移修正方法中派生出来的，它包括根据用第一方面或第一变型的相移测量方法所测量到的相移来确定补偿脉冲的修正值的步骤。

第八变型的相移测量方法根据第一方面或第一变型的相移测量方法所精确测量的相移值来确定修正值，它可以精确地防止相移。因此，这种方法可以适当地防止影像品质变坏。

第九变型是从第八变型的相移修正方法中派生出来的，它包括以

下步骤：将具有不同类型的极性图案的编码梯度曲线成分开的组；通过根据第一方面或第一变型的相移测量方法测量相移值来确定一个或多个代表各组的编码梯度曲线的修正值；以及根据对同组所确定的修正值的计算或根据所确定的修正值的完整应用，确定不是所述各组的编码梯度曲线的修正值。

如果编码梯度曲线具有不同类型的极性图案，则最终结果的涡流和剩磁将变化并且由其影响所产生的相移也将变化。因此，第九变型的相移修正方法通过第一方面或第一变型的相移测量方法，来逐个测量具有不同极性图案类型的编码梯度曲线的相移值，而对于具有相同极性图案类型的编码梯度曲线，它根据测量结果或使用完整的结果来计算（例如，比例计算）相移值。因此，这种方法可以在预扫描时间减少和修正的精确度之间取得平衡。

第十方面是从第八方面或第九变型中派生出来的，它包括以下步骤：在相位轴上施加相差梯度曲线，而不是施加用来成像的高速自旋回波法的脉冲序列的第二读梯度曲线；当在相位轴上施加读梯度曲线时，对回波数据进行采样；以及根据该数据确定第二回波的补偿脉冲，对第三和后续回波重复这些操作，以对所有回波确定其补偿脉冲。

第十变型的相移修正方法使用至少不同于成像的主扫描脉冲序列的预扫描的脉冲序列，来逐个确定每一回波的补偿脉冲，虽然这将需要更长的预扫描时间，但这种方法提高了修正的精度。

在第八方面，本发明属于一种 MRI 装置，它包括：RF 脉冲发射装置；梯度磁场施加装置；核磁共振（NMR）信号接收装置；和相移修正值确定装置；所述相移修正值确定装置的操作步骤包括：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读轴上施加读梯度曲线；以及在相位轴上施加回绕梯度曲线，一次或多次地执行这些操作；接着发射反相脉冲；在相位轴上施加相差梯度曲线；接收 NMR 信号；在相位轴上施加读出梯度曲线时，进行数据采样；对采样数据进行一维富里埃变换；以及根据结果相位数据，确定由编码

梯度的影响所产生的用来修正相移的修正值，同时，把用来根据确定的修正值修正一阶相移的补偿脉冲加在成像脉冲序列的编码梯度曲线中，或加到紧接在编码梯度曲线之前和之后的一点或两点上，或加在回绕梯度曲线中，或加到紧接着回绕梯度曲线之前和之后的一点或两点上。

第八方面的 MRI 装置可以正确地实现上述第一方面至第三变型的相移测量方法。它也可以正确地实现上述第五方面至第五变型，以及上述第七方面至第十变型的相移修正方法。因此，这种装置可以产生没有由相移产生的膺像的影像。

在第九方面，本发明属于一种 MRI 装置，它包括：RF 脉冲发射装置；梯度磁场施加装置；NMR 信号接收装置；和相移修正值确定装置；所述相移修正值确定装置的操作步骤包括：发射激励脉冲；发射反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读轴上施加读梯度曲线并且在相位轴上施加回绕梯度曲线；一次或多次地执行这些操作；以及接着发射反相脉冲；当在读轴上施加读梯度曲线；而在相位轴上没有施加梯度曲线时，对回波进行数据采集；以及根据由采样数据的一维富里埃变换产生的相位数据，确定由编码梯度曲线影响所产生的修正零阶相移的修正值，同时，为反相脉冲，或为回波检测相位，或同时为二者提供根据被确定的修正值修正零阶相移的偏差相位。

第九方面的 MRI 装置可以正确地实现上述第三或第四方面的相移测量方法。它也可以正确地实现上述第六方面至第七变型的相移修正方法。因此，这种装置可以产生没有由相移产生的膺像的影像。

在十方面，本发明属于一种 MRI 装置，它包括：RF 脉冲发射装置；梯度磁场施加装置；NMR 信号接收装置；和相移修正值确定装置；所述相移修正值确定装置的操作步骤包括：发射激励脉冲；发射第一反相脉冲；当在读轴上施加读梯度曲线而在相位轴上没有施加梯度曲线时，对第一回波进行数据采集；以及根据由采样数据的一维富里埃变换产生的相位数据，计算第一零阶项 $\phi_0$ ；发射激励脉冲；发射第一

反相脉冲；在相位轴上施加编码梯度曲线；在读轴上施加读梯度曲线并且在相位轴上施加回绕梯度曲线；接着发射第二反相脉冲，当在读轴上施加读梯度曲线而在相位轴上没有施加梯度曲线时，对第二回波进行数据采样；以及根据由采样数据的一维富里埃变换产生的相位数据，计算第二零阶项 $\phi_1$ ；并且根据第一零阶项 $\phi_0$ 和第二零阶项 $\phi_1$ ，确定用来修正由编码梯度曲线的影响所产生的零阶相移的修正值，同时，为第二反相脉冲之后为反相脉冲，或为回波检测相位，或同时为二者提供用来根据已确定的修正值修正零阶相移的偏差相位。

与第十方面相等效的是可以根据对第二回波的采样数据，而不是第一回波的采样数据的一维富里埃变换的结果相位数据，来计算第一零阶项 $\phi_0$ 。

附加的相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线也将产生涡流，因此，测量结果可能与主扫描的测量结果不一致，除非它们的影响被消除。于是，第十方面的MRI装置完全省去了相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线的使用，该装置摆脱了由相差梯度曲线和重定相(rephaser)梯度曲线所产生的涡流的影响，并且它可以测量归因于先前编码梯度的相移。因此，该装置可以产生没有由相移产生的膺像的影像。

本发明的相移测量方法可以精确地测量由于编码梯度曲线所引起的涡流和剩磁的影响所产生的一阶和零阶相移。

本发明的相移测量方法可以精确地修正由于编码梯度曲线所引起的涡流和剩磁等的影响所产生的一阶和零阶相移。从而产生良好的影像。

本发明的MRI装置可以正确地实现这些相移测量方法和相移修正方法。

通过以下结合附图所做的描述，本发明的其它特征和优点将显而易见。

图 1 是显示根据本发明实施例的 MRI 装置的方框图;

图 2 和图 3 是一系列根据第一实施例确定相移修正值过程的流程图;

图 4 显示基于第一实施例的预扫描脉冲序列的例子;

图 5 是用来说明图 4 的脉冲序列的 K 空间轨迹的简图;

图 6 显示从图 4 的脉冲序列中所派生出来的其相位轴投影脉冲被反相的脉冲序列的例子;

图 7 显示基于第一实施例的预扫描脉冲序列的另外一个例子;

图 8 显示从图 7 的脉冲序列中所派生出来的其相位轴投影脉冲被反相的脉冲序列的例子;

图 9 用来说明中央图像排序的段与回波之间的关系;

图 10 用来说明后续图像排序的段与回波之间的关系;

图 11 显示将补偿脉冲加在最后一个前部回绕梯度曲线末端的分裂回波序列方法的脉冲序列的例子;

图 12 显示将补偿脉冲加在最后一个前部回绕梯度曲线前端的分裂回波序列方法的脉冲序列的例子;

图 13 显示在最后的前部回绕梯度曲线中插入补偿脉冲的分裂回波序列方法的脉冲序列的例子;

图 14 显示在最后的前部编码梯度曲线中插入补偿脉冲的分裂回波序列方法的脉冲序列的例子;

图 15 说明补偿脉冲的修正效果;

图 16 说明采用给反相脉冲提供偏差相位的方法的修正效果;

图 17 说明采用给反相脉冲和检测相位提供偏差相位的方法的修正效果;

图 18 和图 19 是说明根据第三实施例的零阶相移修正值确定过程的一系列流程图;

图 20 是根据第三实施例的预扫描脉冲序列的例子;

图 21 是根据第三实施例的预扫描脉冲序列的另外一个例子;

图 22 和图 23 是说明根据第四实施例的相移修正值确定过程的一系列流程图；

图 24 显示根据第四实施例的预扫描脉冲序列的一个例子；

图 25 显示从图 24 的脉冲序列中所派生出来的，其相位轴投影脉冲被反相的脉冲序列的例子；

图 26 显示根据第四实施例的预扫描脉冲序列的另外一个例子；

图 27 显示根据第四实施例的预扫描脉冲序列的另外一个例子；

图 28 是用来说明段与回波之间关系的简图；

图 29 是另外一个用来说明段与回波之间关系的简图；

图 30 显示在每一回绕梯度曲线末端加入补偿脉冲的高速 SE 方法的脉冲序列的例子；

图 31 显示根据第六实施例的相移修正值的确定过程的流程图；

图 32 显示根据第六实施例的预扫描脉冲序列的例子；

图 33 显示根据第七实施例的相移修正值的确定过程的流程图；

图 34 显示根据第六实施例的预扫描脉冲序列的例子；

图 35 显示另外一个根据第六实施例的预扫描脉冲序列的例子；

图 36 用来说明根据第六实施例的修正值计算原理；

图 1 是为本发明第一至第九实施例所共有的 MRI 装置的方框图。

该 MRI 装置 100 包括磁组件 1，该组件具有放置主体的空间（孔）。在该孔周围放置有：永久磁铁  $I_p$ ，该磁铁在主体施加恒定的主磁场；沿限幅轴，相位轴和读轴产生梯度磁场的梯度场线圈  $I_g$ ；发射线圈  $I_t$ ，该线圈发射感应主体内部核自旋的 RF 脉冲；以及接收线圈  $I_r$ ，该线圈接收来自主体的 NMR 信号。梯度场线圈  $I_g$ ，发射线圈  $I_t$ ，和接收线圈  $I_r$  分别与梯度磁场驱动电路 3，RF 功率放大器 4，和前置放大器 5 连接。

顺序存储电路 8 按照计算机 7 的命令，根据存储的脉冲序列来操作梯度磁场驱动电路 3，使得磁组件 1 的梯度场线圈  $I_g$  产生梯度磁场，

并且操作门调制电路 9, 使得 RF 振荡电路 10 的载波输出信号被调制成为具有上述时序和上述包络的脉冲信号。该脉冲信号被 RF 功率放大器 4 放大, 并随后被送入磁组件 1 的发射线圈  $I_t$ , 使得有选择地将主体的一个预期的限幅区域激励。

前置放大器 5 将由磁组件 1 的接收线圈所检测到的主体 NMR 信号放大。将接收的 RF 振荡器 10 的载波输出信号作为参考信号的相位检测器 12 对被前置放大器 5 所放大的 NMR 信号进行相位检测。A/d 转换器 11 将来自前置放大器 5 的相位检测后的模拟信号转换为数字信号 (数据)。

计算机 7 从 A/D 转换器 11 中读取数据并对数据进行影像重排计算, 从而产生预期限幅区域的影像, 并且该影像被显示在显示器 6 上。计算机 7 也为含有与操作终端 13 进行信息交流的装置的总控制服务。

## 实施例 1

第一实施例旨在根据分裂回波序列法修正一阶和零阶相移。

在分离回波序列法中, 用来产生第一影像的前部编码梯度曲线  $g_y$  所产生的相差成分被加到后部的回波采样时间上 (施加读梯度曲线  $g_{xw}$  的周期), 造成相对于后部回波的大的相移。这种相移被称为“一阶相移”, 其值在 K 空间的相位轴上具有一阶变量。

梯度磁场包含由于 RF 屏蔽形式, 线圈等布局失配所造成的零阶项。尽管该梯度场的零阶项是一个独立于位置的不变的成分, 但它最终与涡流一样具有指数下降的时间特性, 并且它将引起相移。这个相移被成为“零阶相移”。

图 2 和图 3 显示了相移修正值的确定过程的流程图, 该过程根据分离回波序列法, 确定修正一阶和零阶相移的修正值。

步骤 S1 为在如图 4, 图 6, 图 7 和图 8 所示的预扫描脉冲序列中的补偿脉冲  $g_{ypli}$  的幅度  $a_{g_{ypli}}$  设定一个适当的初始值。后缀字母 “i” 代表重复数, 如何选择 i 值将在后面进行解释。

步骤 S2 在具有正极性的编码梯度曲线  $gy$  的情况下, 利用如图 4 所示的预扫描脉冲序列, 或者在具有负极性的编码梯度曲线  $gy$  的情况下, 利用如图 7 所示的预扫描脉冲序列对后部回波  $echo'1$  和  $echo'2$  进行数据采集。

如图 4 和图 7 所示的预扫描脉冲序列中, 在开始处施加激励脉冲  $R$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。接着, 施加第一反相脉冲  $P1$  和前部限幅梯度曲线  $ss$ 。然后, 在相位轴上施加编码梯度曲线  $gyli$ 。接着, 施加读梯度曲线  $gxw$ 。然后, 在相位轴上施加具有等时间积分值并且与编码梯度曲线  $gyli$  极性相反的回绕梯度曲线  $gyrli$ 。

图 4 所示是回波序列数目  $N$  等于 4 的情况, 并且对于该数目  $N$  大于 4 的情况, 从反相脉冲  $P$  的发射到施加回绕梯度曲线  $gyr$  的操作要被重复  $N/2-1$  次。

然后, 施加最近的反相脉冲  $P2$  和前部限幅梯度曲线  $ss$ , 并在相位轴上施加编码梯度曲线  $gy2i$ 。接着, 在读梯度曲线  $rephase$  上施加读梯度曲线  $gxw$  的前半部读梯度曲线  $gxr$ 。之后, 读梯度曲线保持为“0”。然后, 在相位轴上施加具有等时间积分值并且与编码梯度曲线  $gy2i$  极性相反的回绕梯度曲线  $gyr2i$ 。

施加一般的读梯度曲线  $gxw$  而不是施加读梯度曲线  $gxr$  是与上述脉冲序列等价的, 然后, 如图 4 中的虚线所示, 在读轴上施加回绕梯度曲线  $gxr'$ , 该梯度曲线是读梯度曲线  $gxw$  面积的一半。

接着, 在相位轴上施加与编码梯度曲线  $gy$  极性相反的补偿脉冲  $gypli$ 。

然后, 施加第一后部反相脉冲  $P'1$  和限幅梯度曲线  $ss$ , 同时施加用来消除附加在前面和后面的激励回波的 crusher 梯度曲线  $gzi$  和  $gzri$ 。其次, 施加与回绕梯度曲线  $gyr2i$  相同的相差梯度曲线  $gywdli$ 。接着, 在相位轴上施加读出梯度曲线  $gywli$  时, 从  $echo'1$  中接收 NMR 信号, 然后在相位轴上施加与相差梯度曲线  $gywdli$  相同的重定相 (rephaser) 梯度曲线  $gywrli$ 。

图 5 显示从最近前部编码梯度曲线  $gy_{2i}$  直到图 4 脉冲序列的读出梯度曲线  $gy_{wli}$  期间，K 空间 KSP 的轨迹。对 echo'1 数据的采样中，只有 Ky 轴上的 NMR 信号成分被接收。在这种情况下，相差梯度曲线  $gy_{wdli}$ ，读出梯度曲线  $gy_{wli}$  和重定相(rephaser)梯度曲线  $gy_{wrli}$  被称为“相位轴投影 (Y 投影) 脉冲  $Y_{pgli}$ ”。

接着，施加第二反相脉冲  $P'2$  和后部限幅梯度曲线  $ss$ 。接着，在相位轴上施加与  $Y_{pgli}$  相同的相位轴投影脉冲  $Y_{pg2i}$  的同时，从 echo'2 中接收 NMR 信号。最后，为了破坏横向磁化，施加消除梯度曲线  $Kil$ 。

图 4 和图 7 中的  $\tau_{i1}$  和  $\tau_{i2}$  表示在读出梯度曲线  $gy_w$  中心和 echo' 中心之间的时移，并且这些时移  $\tau_{i1}$  和  $\tau_{i2}$  代表涡流和归因于编码梯度曲线  $gy_{li}$  和  $gy_{2i}$  的剩磁的影响。通过采样数据一维富里埃变换结果中的相位的一次项可以精确地计算时移  $\tau_{i1}$  和  $\tau_{i2}$ ，因此，可以精确地了解涡流和由于编码梯度曲线  $gy_{li}$  和  $gy_{2i}$  的剩磁的影响。

返回图 3，步骤 S3 对 echo'1 和 echo'2 的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算一阶项  $di_1$  和  $di_2$  以及零阶项  $B0i_1$  和  $B0i_2$ 。

步骤 S4 通过下列公式计算一阶相移值  $\phi_{i+}$ ：

$$\phi_{i+} = \{ (di_1 - di_2) / 2 \} X_{res} \times 10^6 / (\gamma \times fov) \quad (1)$$

其中  $(di_1 - di_2) / 2$  是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分所做的处理， $X_{res}$  是 echo' 采样点的数目， $\gamma$  是旋磁比， $fov$  是单位为厘米的被测图像场的大小。

步骤 S5 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B0i_+$ ：

$$\Delta B0i_+ = (B0i_1 - B0i_2) / 2$$

这是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分所做的处理。

进到图 3，步骤 S6 在编码梯度曲线  $gy$  具有正极性的情况下利用如图 6 所示的预扫描脉冲序列或利用如图 8 所示的预扫描脉冲序列在编码梯度曲线具有负极性的情况下，对后部 echo'1 和 echo'2 进行数据

采样。

如图 6 和图 8 所示的预扫描脉冲序列是从如图 4 和图 7 所示的脉冲序列中衍生出来的，只是它们的相位轴投影脉冲  $Y_{pg}$  具有相反的极性。

返回到图 3，步骤 S7 对从 echo'1 和 echo'2 采样的数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法或类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算一阶项  $di_1$  和  $di_2$  以及零阶项  $B0i_1$  和  $B0i_2$ 。

步骤 S8 通过下列公式计算一阶相移值  $\phi_i^-$ ：

$$\phi_i^- = \{ (di_1 - di_2) / 2 \} X_{res} \times 10^6 / (\gamma \times fov)$$

其中  $(di_1 - di_2) / 2$  是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分所做的处理， $X_{res}$  是 echo' 采样点的数目， $\gamma$  是旋磁比， $fov$  是被测图像场的大小。

步骤 S9 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B0i^-$ ：

$$\Delta B0i^- = (B0i_1 - B0i_2) / 2$$

这是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分所做的处理。

步骤 S10 通过下列公式计算一阶相移值  $\phi_i$ ：

$$\phi_i = \{ (\phi_i^+) - (\phi_i^-) \} / 2$$

这是为了消除相位轴投影脉冲  $Y_{pg}$  所产生涡流的影响所做的处理。由极性相反的两个相位轴投影脉冲  $Y_{pg}$  所引起的涡流作用在一阶相移值的相反方向上，并可以通过将一阶相移值  $\phi_i^+$  和  $\phi_i^-$  的差值除以 2 来消除该涡流的影响。

步骤 S11 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B0i$ ：

$$\Delta B0i = \{ (\Delta B0i^+) - (\Delta B0i^-) \} / 2$$

这是为了消除相位轴投影脉冲  $Y_{pg}$  所产生涡流的影响所做的处理。

步骤 S12 通过下列公式修正补偿脉冲  $gy_{pli}$  的幅度  $a_{gy_{pli}}$ ：

$$new\_a_{gy_{pli}} = (1 + \phi_i / gy_{pli} area) old\_a_{gy_{pli}} \quad \dots (2)$$

这里  $new\_a_{gypli}$  是被修正的幅度,  $old\_a_{gypli}$  是即时幅度,  $gypliarea$  是即时补偿脉冲  $gypli$  (可与相差值比较的) 的面积。

步骤 S13 将上述步骤 S2 到 S12 重复预定的次数。

步骤 S14 对于所有的值或对于主扫描影像的重复数目  $i$  的适当的值重复上述步骤 S1 到 S12。

如果对全部的值  $i$  重复了上述步骤 S1 至 S13, 则可以确定对于多个编码梯度曲线最佳的补偿脉冲  $gypli$ , 以换取更长的预扫描时间。

否则, 如果在较短的预扫描时间内对某些值  $i$  重复步骤 S1 至 S13, 则必须根据特殊值  $i$  的  $gypli$  通过插值法计算剩余值  $i$  的补偿脉冲  $gypli$ , 或者用最接近的特殊值  $i$  来替代。

通过对梯度曲线进行分组选择适当的  $i$  值, 使得那些相同极性的前部编码梯度曲线  $gy$  加入到一个或多个组中, 而那些不同极性的前部编码梯度曲线  $gy$  至少被加入到分开的组中, 并且相对于每一组中的平均编码梯度曲线选择  $i$  值。

图 9 和图 10 解释 K 空间 KSP 的分段的方法。图 9 所示是一种被称为“中央图像排序 *centric view ordering*”的方法, 其中通过提供正向编码梯度曲线  $gy1$  和  $gy2$ , 段数据  $Sgp1$  是对  $echo1$  和  $echo'1$  的采样, 并且段数据  $Sgp2$  是对  $echo2$  和  $echo'2$  的采样。同样地, 通过提供负向编码梯度曲线  $gy1$  和  $gy2$ , 段数据  $Sgn1$  是  $echo1$  和  $echo'1$  的采样, 并且段数据  $Sgn2$  是对  $echo2$  和  $echo'2$  的采样。这种方法具有两种极性的编码梯度曲线。

图 10 所示是另外一种方法被称为“后续图像排序” (“*sequential view ordering*”), 其中, 通过分别提供正向编码梯度曲线  $gy1$  和负向编码梯度曲线  $gy2$ , 采样数据  $Sgp1$  是对  $echo1$  和  $echo'1$  的采样, 并且段数据  $Sgn2$  是对  $echo2$  和  $echo'2$  的采样。同样地, 通过分别提供负向编码梯度曲线  $gy1$  和正向编码梯度曲线  $gy2$ , 段数据  $Sgn1$  是  $echo1$  和  $echo'1$  的采样, 并且段数据  $Sgp2$  是对  $echo2$  和  $echo'2$  的采样。这种方法也具有两种极性的编码梯度曲线。

在图 9 中的中央图像排序  $N=4$  的情况下, 不同极性的编码梯度曲线  $gy$  至少被分开编组, 并且代表这些组的  $i$  值的修正值被确定。最好是每一种极性的编码梯度曲线被分成两个或更多个组, 并且代表这些组的  $i$  值的修正值被确定。

在图 10 中的后续图像排序  $N=4$  的情况下, 具有正编码梯度曲线  $gy1$  和负编码梯度曲线  $gy2$  的图案, 以及具有负编码梯度曲线  $gy1$  和正编码梯度曲线  $gy2$  的图案至少被分开编组, 并且代表这些组的  $i$  值的修正值被确定。最好是每一种图案被分成两个或更多个组, 并且代表这些组的  $i$  值的修正值被确定。

图 11 显示形成第一和第二影像的主扫描的脉冲序列的第一个例子。

这种脉冲序列是将上述相移修正值确定过程所确定补偿脉冲  $gypli$  加到分离回波序列法的脉冲序列最后的前部回绕梯度曲线  $gyr2i$  的末端, 用来修正一阶相移。发射与偏差相位相同的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移, 该偏差相位在大小上可与通过相移修正值确定过程计算得到的零阶相移修正值  $\Delta B0i$  相比较。

图 12 显示形成第一和第二影像的主扫描的脉冲序列的第二个例子。

这种脉冲序列是将上述相移修正值确定过程所确定的补偿脉冲  $gypli$  加到分离回波序列法的脉冲序列最后的前部回绕梯度曲线  $gyr2i$  的前端使得  $gypli$  和读梯度曲线  $gxw$  不重叠, 用来修正一阶相移。发射与偏差相位相同的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移, 该偏差相位在大小上可与通过相移修正值确定过程计算得到的零阶相移修正值  $\Delta B0i$  相比较。

图 11 的第一个例子和和图 12 的第二个例子可以被结合, 即将补偿脉冲  $gypli$  加到回绕梯度曲线  $gyr2i$  的前端和末端。

图 13 显示形成第一和第二影像的主扫描的脉冲序列的第三个例子。

这种脉冲序列是将上述相移修正值确定过程所确定补偿脉冲  $gypli$  加在分离回波序列法的脉冲序列最后的前部回绕梯度曲线  $gyr2i$  上, 用来修正一阶相移。发射与偏差相位相同的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移, 该偏差相位在大小上可与通过相移修正值确定过程计算得到的零阶相移修正值  $\Delta B0i$  相比较。

图 14 显示形成第一和第二影像的主扫描的脉冲序列的第四个例子。

这种脉冲序列是将上述相移修正值确定过程所确定的补偿脉冲  $gypli$  加在分离回波序列法的脉冲序列的最后前部回绕梯度曲线  $gy2i$  上, 用来修正一阶相移。发射与偏差相位相同的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移, 该偏差相位在大小上可与通过相移修正值确定过程计算得到的零阶相移修正值  $\Delta B0i$  相比较。

另外, 通过将在大小上与零阶相移值  $\Delta B0i$  可比的偏差相位复制到相位检测器 12 的检测相位上, 可以修正零阶相移, 而不是发射与  $\Delta B0i$  可比, 与偏差相位相同的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移。

另外, 通过将在大小上与零阶相移值  $\Delta B0i$  可比的偏差相位复制到相位检测器 12 的检测相位上, 并另外发射与偏差相位相同的反相脉冲, 可以修正零阶相移。

图 15 解释一阶相移修正的效果。通过选择与图 9 中所示  $Sgp1$ ,  $Sgp2$ , 和  $Sgn1$ ,  $Sgn2$  段的中心相对应, 因此在每一段的中心一阶相移为“0”并在其它点保持其状态的  $i$  值来确定补偿脉冲。

图 16 和图 17 解释零阶相移修正的效果。图 16 是通过只发射与偏差相位相同的反相脉冲来修正的情况, 图 17 是将偏差相位复制到相位检测器 12 的检测相位上, 另外发射与偏差相位相同的反相脉冲的情况。非零的零阶相移是允许的, 只要它在图像中基本上相同。

使用这种方法中可以避免由于涡流和由于前部编码梯度曲线  $gy$  的剩磁的影响所引起的第二影像品质变坏。

## 实施例 2

与第一实施例相反，第二实施例使用两个相位轴投影脉冲  $Ypg1i$  和  $Ypg2i$  并且计算所获得的相移值的差，单一相位轴投影脉冲  $Ypg1i$  用来消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分。在第二实施例的情况下，通过对从两个极性的相位轴投影脉冲  $Ypg1i$  中所得到的相移值的差值计算处理来消除偏差相移成分。

通过利用被设置成为“0”的编码梯度曲线测量一阶项  $di0$ ，并且从相移值中减去其值，也可以消除偏差相移成分。

## 实施例 3

第三实施例旨在不使用相位轴投影脉冲  $Ypg$  来确定零阶相移修正值。

可以通过其本身的零阶相移来产生如图 4 和图 6, 7, 8 所示的预扫描脉冲序列的相位轴投影脉冲  $Ypg$  (尤其是相差梯度曲线  $gywd$  和重定相(rephaser)梯度曲线  $gywr$ )。因此，在确定零阶相移修正值时，不需要使用相位轴投影脉冲  $Ypg$ 。

图 18 和图 19 显示零阶相移修正值的确定过程的流程图。

步骤 Q1 根据如图 20 所示的预扫描脉冲序列对  $echo'1$  和  $echo'2$  的数据进行采样。图 20 所示的预扫描脉冲序列是从通常的分离回波序列法的预扫描脉冲序列中派生出来的，其中，发射具有再现的偏差相位的正向前部编码梯度曲线  $gy$  和反相脉冲  $P''$ ，相应地，取消其后续部编码梯度曲线  $gy'$ 。

步骤 Q2 对  $echo'1$  和  $echo'2$  的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算零阶项  $B0i1$  和  $B0i2$ 。

步骤 Q3 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B0i+$ ：

$$\Delta B0i+ = (B0i1 - B0i2) / 2$$

该公式是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的

偏差相移成分所做的处理。

步骤 Q4 为后部反相脉冲 P'' 的偏差相位设置  $\Delta B_{0i+}$ 。

步骤 Q5 将上述步骤 Q1 至步骤 Q4 重复预定的次数。

图 19 中的步骤 Q6 根据如图 21 所示的预扫描脉冲序列，对后部 echo'1 和 echo'2 数据进行采样。

图 21 所示的预扫描脉冲序列是从常规的分离回波序列法的预扫描脉冲序列中派生出来的，其中，发射具有再现的偏差相位的负向前部编码梯度曲线  $gy$  和反相脉冲 P''，相应地，取消其后部编码梯度曲线  $gy'$ 。

步骤 Q7 对 echo'1 和 echo'2 的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算零阶项  $B_{0i1}$  和  $B_{0i2}$ 。

步骤 Q8 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B_{0i-}$ ：

$$\Delta B_{0i-} = (B_{0i1} - B_{0i2}) / 2$$

该公式是为了消除即使当编码梯度曲线  $gy$  为“0”时也将出现的偏差相移成分所做的处理。

步骤 Q9 为后部反相脉冲 P'' 的偏差相位设置  $\Delta B_{0i-}$ 。

步骤 Q10 将上述步骤 Q6 至步骤 Q9 重复预定的次数。

步骤 Q11 对于所有值或适当的  $i$  值重复上述步骤 Q1 至 Q10。

步骤 Q12 利用下面的公式计算中央图像之前和之后图像的零阶相移值  $\Delta B_{0i+}$  和  $\Delta B_{0i-}$  的差  $\Delta B_{00}$

$$\Delta B_{00} = (\Delta B_{0i+}) - (\Delta B_{0i-})$$

步骤 Q13 向相位检测器 12 的检测相位提供偏差相位  $\Delta B_{00}$ ，并且终止过程。

通过根据在本方法中所确定的零阶相移修正值所进行的修正，可以避免由于零阶相移所引起的第二影像品质变坏。

#### 实施例 4

第四实施例旨在修正高速 SE 方法中的一阶和零阶相移。在高速 SE 方法中,由已经用于前一影像回波的编码梯度曲线所产生的相差成分被加到下一要被观察的回波上,其结果在它上面将出现相移。这种相移是位置的一阶函数,所以它被称为“一阶相移”。

梯度磁场包含由于 RF 屏蔽、线圈等的布局失配所造成的零阶项。尽管该梯度场的零阶项是一个独立于位置的不变的成分,但它最终与涡流一样具有指数下降的时间特性,并且它将引起相移。这种相移被称为“零阶相移”。

图 22 和图 23 显示为了修正高速 SE 方法的一阶和零阶相移,用来确定要加的相移值的相移值确定过程的流程图。

步骤 F1 在如图 24 至图 27 所示的预扫描脉冲序列中,为补偿脉冲  $g_{yp(K-1)i}$  的幅度设定一个适当的初始值  $a_{g_{yp(K-1)i}}$ 。在这种情况下,  $K$  是修正相移回波的编号,其范围从 2 到  $N$  (回波序列的数目)。后缀“ $i$ ”是重复次数,后面将解释如何选择  $i$  值。

步骤 F2 对基于高速 SE 方法的脉冲序列的预扫描脉冲序列的回波  $K$  采样,在该方法中,将相位轴投影脉冲  $Y_{gpKi}$  插在第  $K$  次回波的编码梯度曲线  $gyKi$  和回绕梯度曲线  $gyrKi$  的位置上。

图 24 显示  $K=2$  和  $N=4$  的预扫描脉冲序列的例子。在这个预扫描脉冲序列中,开始时施加激励脉冲  $R$  和限幅梯度曲线  $ss$ ,然后,施加第一反相脉冲  $P1$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。接着在相位轴上施加编码梯度曲线  $gyli$ 。然后,施加读梯度曲线  $gxw$ ,它是普通读梯度曲线  $gxw$  的前半部分,并且该读梯度曲线被重定相 (rephased)。之后,该读梯度曲线从回波 3 开始保持为“0”直到接收 NMR 信号。然后,在相位轴上施加具有等时间积分值、并且与编码梯度曲线  $gyli$  的极性相反的回绕梯度曲线  $gyrli$ 。

一种与上述脉冲序列等价的情况是,施加通常的读梯度曲线  $gxw$ ,而不是读梯度曲线  $gxr$ ,并且其后在读轴上施加具有读梯度曲线  $gxw$  的一半面积的回绕梯度曲线,如图 24 中虚线所示。

接下来，在相位轴上施加与编码梯度曲线极性相反的补偿脉冲  $gyp1i$ 。

接下来，施加第二反相脉冲 P2 和限幅梯度曲线  $ss$ ，同时，将用于消除被激励的回波的 crusher 梯度曲线附在其前后。

接下来，施加与回绕梯度曲线  $gyr1i$  相同的相差梯度曲线  $gywd2i$ 。

接下来，当在相位轴上施加读出梯度曲线  $gyw2i$  时，从  $echo2$  中接收 NMR 信号，并且接着在相位轴上施加与相差梯度曲线  $gywd2i$  相同的重定相(rephaser)梯度曲线。相差梯度曲线  $gywd2i$ ，读出梯度曲线  $gyw2i$  和重定相(rephaser)梯度曲线  $gywr2i$  束被称为“相位轴投影脉冲  $Ypg2i$ ”。

接下来，对于下一个回波 4 的影像，施加第三反相脉冲 P3 和限幅梯度曲线  $ss$ ，在相位轴上施加编码梯度曲线  $gy3i$ ，并且施加一个为通常读梯度曲线  $gxw$  后半部的读梯度曲线  $gxd$ 。

作为与上述脉冲序列等效的一种情况，施加具有读梯度曲线  $gxw$  一半面积的读轴相差梯度曲线  $gxd'$ ，并且接下来在读轴上施加一个通常的读梯度曲线  $gxw$ ，如图 24 中的虚线所示。

之后，在相位轴上施加一个与编码梯度曲线  $gy3i$  极性相反并且具有等时间积分值的回绕梯度曲线  $gyr3i$ 。

接下来，施加第四反相脉冲 P4 和限幅梯度曲线  $ss$ ，在相位轴上施加编码梯度曲线  $gy4i$ ，施加读梯度曲线  $gxw$ ，并且之后在相位轴上施加与编码梯度曲线  $gy4i$  极性相反并且具有等时间积分值的回绕梯度曲线  $gyr4i$ 。

最后，为了破坏横向磁化施加一个消除梯度曲线  $Kil$ 。

图 24 中的  $t_i$  表示在读出梯度曲线  $gyw2i$  中心和  $echo2$  中心之间的时移，时移  $t_i$  代表涡流和由于编码梯度曲线  $gy1i$  的剩磁的影响。通过采样数据一维富里埃变换结果中的相位的一次项可以精确地计算时移  $t_i$ ，因此，可以精确地了解涡流和归因于编码梯度曲线  $gy1i$  的剩磁的影响。

返回图 22，步骤 F3 对 echoK 的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算一阶项  $di1$  以及零阶项  $B0i+$ 。

步骤 F4 通过下列公式计算一阶相移值  $\phi i+$ ：

$$\phi i+ = di1 \times X_{res} \times 10^6 / (\gamma \times fov)$$

其中  $X_{res}$  是 echoK 采样点的数目， $\gamma$  是旋磁比，fov 是单位为厘米的被测图像场的大小。

步骤 F5 根据预扫描脉冲序列对 echoK 数据进行采样，该预扫描脉冲序列是从前面步骤 F2 中所使用的脉冲序列中派生出来的，具有与其极性相反的相位轴投影脉冲。

图 25 显示的脉冲序列是从图 24 中的脉冲序列中派生出来的，具有与其极性相反的相位轴投影脉冲  $Ypg2i$ 。

返回图 22，步骤 F6 对 echoK 的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算一阶项  $di1$  以及零阶项  $B0i-$ 。

步骤 F7 通过下列公式计算一阶相移值  $\phi i-$ ：

$$\phi i- = di1 \times X_{res} \times 10^6 / (\gamma \times fov)$$

其中  $X_{res}$  是 echoK 采样点的数目， $\gamma$  是旋磁比，fov 是图像场的大小。

进到图 23，步骤 F8 通过下面的公式计算一阶相移值  $\phi$ ：

$$\phi i = \{ (\phi i+) - (\phi i-) \} / 2$$

这是为了消除相位轴投影脉冲  $Ypg$  所产生涡流的影响所做的处理。由极性相反的两个相位轴投影脉冲  $Ypg$  所引起的涡流作用在一阶相移值的相反方向上，并可以通过将一阶相移值  $\phi i+$  和  $\phi i-$  的差值除以 2 来消除该涡流的影响。

步骤 F9 通过下列公式计算零阶相移值  $\Delta B0i$ ：

$$\Delta B0i = \{ (\Delta B0i+) - (\Delta B0i-) \} / 2$$

这是为了消除相位轴投影脉冲  $Ypg$  所产生涡流的影响所做的处理。

步骤 F10 通过下列公式修正补偿脉冲  $\text{gyp}(K-1)i$  的幅度  $a_{\text{gyp}(K-1)i}$  :

$$\text{new\_} a_{\text{gyp}(K-1)i} = (1 + \phi i / \text{gyp}(K-1)\text{iarea}) \text{old\_} a_{\text{gyp}(K-1)i}$$

这里  $\text{new\_} a_{\text{gyp}(K-1)i}$  是修正后的幅度,  $\text{old\_} a_{\text{gyp}(K-1)i}$  是修正前的幅度,  $\text{gyp}(K-1)\text{iarea}$  是修正之前补偿脉冲  $\text{gyp}(K-1)i$  (可与相差值比较的) 的面积。

步骤 F11 将上述步骤 F2 到 F10 重复预定的次数。

步骤 F12 对于所有的  $K$  值 (从 2 到  $N$ ) 重复上述步骤 F2 至 F11。

图 26 显示当  $K=3$ ,  $N=4$  时预扫描脉冲序列的一个例子, 图 27 显示当  $K=3$ ,  $N=4$  时预扫描脉冲序列的另外一个例子。

重复步骤 F2 到步骤 F11 直到  $K=N$ , 接着进行步骤 F13。

步骤 F13 对于用于成像的主扫描的重复次数  $i$  的所有的值或适当的值重复上述步骤 F1 至 F12, 然后终止处理过程。

在对于成像的主扫描的重复次数  $i$  的所有的值或适当的值重复上述步骤 F1 至 F12 的情况下, 可以确定对于多个编码梯度曲线最佳的补偿脉冲  $\text{gypli}$ , 以换取更长的预扫描时间。

否则, 如果在更短的预扫描时间内对某些值  $i$  重复步骤 F1 至 F12, 则必须根据特殊值  $i$  的  $\text{gypli}$  通过插值法计算其余值  $i$  的补偿脉冲  $\text{gypli}$ , 或者用最接近的特殊值  $i$  来替代。

通过对梯度曲线图案进行分组来选择适当的  $i$  值, 使得那些具有相同极性图案类型的编码梯度曲线  $\text{gy1}$  到  $\text{gyk}$  加入到一个或多个组中, 即, 那些具有不同极性图案类型的编码梯度曲线  $\text{gy1}$  到  $\text{gyk}$  至少被加入到分开的组中, 并且选择与每一组中的平均编码梯度曲线有关的  $i$  值。

图 28 和图 29 说明  $K$  空间 KSP 的分段方法。

在图 28 所示的方法中, 通过施加正向的编码梯度曲线  $\text{gy1}$  和  $\text{gy2}$  以及负向编码梯度曲线  $\text{gy3}$  和  $\text{gy4}$  而从  $\text{echo1}$ ,  $\text{echo2}$ ,  $\text{echo3}$  和  $\text{echo4}$  中采样段数据  $\text{Sg1}$ ,  $\text{Sg2}$ ,  $\text{Sg3}$  和  $\text{Sg4}$ 。在这种情况下, 只存在一种类型的编码梯度曲线极性图案。

确定正编码梯度曲线  $gy_1$  和  $gy_2$  以及负编码梯度曲线  $gy_3$  和  $gy_4$  的极性图案的修正值。最好是将极性图案分成两个或多个组，并确定代表这些组的  $i$  值的修正值。

在如图 29 所示的方法中，通过施加正编码梯度曲线  $gy_1$ 、负编码梯度曲线  $gy_2$  和  $gy_3$  以及正编码梯度曲线  $gy_4$ ，从  $echo_1$ ， $echo_2$ ， $echo_3$  和  $echo_4$  中采样段数据  $Sg_{11}$ ， $Sg_{21}$ ， $Sg_{31}$  和  $Sg_{41}$ 。另外，通过施加正编码梯度曲线  $gy_1$  和  $gy_2$  以及负编码梯度曲线  $gy_3$  和  $gy_4$ ，从  $echo_1$ ， $echo_2$ ， $echo_3$  和  $echo_4$  中采样段数据  $Sg_{12}$ ， $Sg_{22}$ ， $Sg_{32}$  和  $Sg_{42}$ 。在这种情况下有两种类型的编码梯度曲线极性图案。

正编码梯度曲线  $gy_1$ ，负编码梯度曲线  $gy_2$  和  $gy_3$  以及正编码梯度曲线  $gy_4$  的极性图案，和正编码梯度曲线  $gy_1$ ， $gy_2$  和负编码梯度曲线  $gy_3$ ， $gy_4$  的极性图案至少被分开分组，并且确定代表这些分组的  $i$  值的修正值。最好是将每一极性图案分成两个或多个组，并确定代表这些组的  $i$  值的修正值。

图 30 显示用于成像的主扫描的脉冲序列的例子。这个脉冲序列准备通过在高速 SE 方法的脉冲序列的回绕梯度曲线  $gy_{r1i}$ ， $gy_{r2i}$ ，和  $gy_{r3i}$  的末端增加补偿脉冲  $gyp_{1i}$ ， $gyp_{2i}$  和  $gyp_{3i}$  来修正一阶相移，这些补偿脉冲是已经通过上述的相移修正值确定过程确定的。发射具有再现的偏差相位的反相脉冲  $P''$  来修正零阶相移，该偏差相位在大小上可与已经通过上述相移修正值确定过程计算得到的零阶相移修正值  $\Delta B_{0i}$  相比较。

作为该脉冲序列的一种变型，可以在高速 SE 方法的脉冲序列的回绕梯度曲线  $gy_{r1i}$ ， $gy_{r2i}$ ，和  $gy_{r3i}$  的前端增加补偿脉冲  $gyp_{1i}$ ， $gyp_{2i}$  和  $gyp_{3i}$ 。另外，可以在回绕梯度曲线  $gy_{r1i}$ ， $gy_{r2i}$ ，和  $gy_{r3i}$  的前端和末端增加补偿脉冲  $gyp_{1i}$ ， $gyp_{2i}$  和  $gyp_{3i}$ ，或者，可以把补偿脉冲插入回绕梯度曲线  $gy_{r1i}$ ， $gy_{r2i}$ ，和  $gy_{r3i}$  中，或插入编码梯度曲线  $gy_{1i}$ ， $gy_{2i}$ ，和  $gy_{3i}$  中。

可以通过将在大小上与零阶相移值  $\Delta B_{0i}$  可比的偏差相位提供给

相位检测器 12 的检测相位来修正零阶相移，而不是发射具有其大小可以与  $\Delta B_{0i}$  比拟的再现的偏差相位的反相脉冲 P”来修正零阶相移。

另外，可以通过将在大小上可与零阶相移值  $\Delta B_{0i}$  可比的偏差相位提供给相位检测器 12 的检测相位，并另外发射具有再现的偏差相位的反相脉冲，来修正零阶相移。

用这种方法，可以由于涡流和归因于编码梯度曲线  $g_y$  的剩磁的影响所引起的影像品质变坏。

### 实施例 5

与旨在消除即使编码梯度曲线  $g_y$  为“0”时也产生的偏差相移成分的第四实施例相反，通过计算从两种极性的相位轴投影脉冲  $Y_{pg}(K-1)_i$  所得到的相移值的差值，有可能通过测量一阶项  $d_{i0}$ ，同时编码梯度曲线设置为“0”，并且从相移值中减去其值，来消除偏差相移成分。

### 实施例 6

以前所述实施例基于通过使用与主扫描脉冲序列相似的预扫描脉冲序列、延长扫描时间而能够精确地确定修正值，与以前的实施例相反，第六实施例旨在以降低修正值的精度为代价来减少扫描时间。

图 31 是本实施例相移修正值确定过程的流程图。

步骤 E1 为如图 32 所示的预扫描脉冲序列的补偿脉冲  $g_{y_{pn}}$  的幅度  $a_{g_{y_{pn}}}$  设置适当的初始值。后缀字母“n”代表所要确定的修正值的编码梯度曲线的序号。

步骤 E2 根据图 32 的脉冲序列对 echo2 数据采样。

在图 32 所示的预扫描脉冲序列中，在开始处施加激励脉冲 R 和限幅梯度曲线 ss。接着，施加第一反相脉冲 P1 和限幅梯度曲线 ss。然后，在相位轴上施加一个要确定其修正值的编码梯度曲线  $g_{yn}$ 。

接下来，施加一个等于通常读梯度曲线  $g_{xw}$  前半部的读梯度曲线

gxr。然后，该读梯度曲线保持为“0”。接下来，在相位轴上施加回绕梯度曲线 gym，同时，把具有等时间积分值以及与编码梯度曲线 gyn 相反的极性的补偿脉冲插入该回绕梯度曲线 gym 中。

接下来，施加第二反相脉冲 p2 和限幅梯度曲线 ss，同时，把用来消除被激励的回波的 crusher 梯度曲线 gz 和 gxr 附加在该第二反相脉冲 P2 和限幅梯度曲线 ss 的前后。

接着，施加与回绕梯度曲线 gym 相同的相差梯度曲线 gywdn。接下来，当在相位轴上施加读出梯度曲线 gywn 时，从 echo2 中接收 NMR 信号，并且接着在相位轴上施加与相差梯度曲线 gywdn 相同的重定相 (rephaser) 梯度曲线 gywrn。一串相差梯度曲线 gywdn，读出梯度曲线 gywn 和重定相 (rephaser) 梯度曲线 gywrn 被称为“相位轴投影脉冲 Ypgn”。

图 32 中的  $\tau_i$  表示在读出梯度曲线 gywn 中心和 echo2 中心之间的时移，时移  $\tau_i$  代表涡流和归因于编码梯度曲线 gyn 的剩磁的影响。作为采样数据的一维富里埃变换结果中的相位的一次项，可以精确地计算时移  $\tau_i$ ，因此，可以精确地了解涡流和归因于编码梯度曲线 gyn 的剩磁的影响。

回到图 31，步骤 E3 对 echo2 的采样数据进行一维富里埃变换，并且根据最小二乘法和类似的方法对结果相位数据进行曲线拟合，从而计算一阶项  $dn$  以及零阶项  $B0n$ 。

步骤 E4 通过下列公式计算一阶相移：

$$\phi_i = dn \times X_{res} \times 10^6 / (\gamma \times fov)$$

其中  $X_{res}$  是 echo2 采样点的数目， $\gamma$  是旋磁比，fov 是单位为厘米的被测图像场的大小。

步骤 E5 通过下列公式修正补偿脉冲 gypn 的幅度  $a_{gypn}$ ：

$$new\_a_{gypn} = (1 + \phi_i / gypnarea) old\_a_{gypn}$$

这里  $new\_a_{gypn}$  是被修正的幅度， $old\_a_{gypn}$  是即时幅度，gypnarea 是即时补偿脉冲 gypn (可与相差值比较的) 的面积。

步骤 E6 将上述步骤 E2 到 E5 重复预定的次数。

步骤 E7 对于所有  $n$  值重复上述步骤 E1, 然后终止该处理过程。

用这种方法, 可以确定所要的编码梯度曲线  $g_{yn}$  的修正值。

### 实施例 7

前一实施例使用相差梯度曲线  $gy_{wdn}$  和重定相(rephaser)梯度曲线  $gy_{wm}$ , 由于它们所引起的涡流的影响, 因此有可能产生与主扫描的测量结果不一致的测量结果, 与此相反, 第七实施例旨在不使用相差梯度曲线  $gy_{wdn}$  和重定相(rephaser)梯度曲线来确定修正值。

如 33 显示本实施例相移修正值确定过程的流程图。

步骤 Q51 根据如图 34 所示的脉冲序列而对第一回波  $echo1$  的数据进行采样。

如图 34 所示的预扫描脉冲序列中, 在开始处施加激励脉冲  $R$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。接着, 施加第一反相脉冲  $P1$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。然后, 当在相位轴上施加读梯度曲线  $gxw$ , 而未施加梯度曲线时, 对  $echo1$  进行数据采样。

返回图 33, 步骤 Q52 对采样数据进行一维富里埃变换, 并且对结果相位数据进行曲线拟合, 从而清楚在作为第一零阶项  $\phi_0$  的梯度区的“0”点处的相位。

步骤 Q53 根据如图 35 所示的脉冲序列而对第二回波  $echo2$  的数据进行采样。

如图 35 所示的预扫描脉冲序列中, 在开始处施加激励脉冲  $R$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。接着, 施加第一反相脉冲  $P1$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。然后, 在相位轴上施加要为其确定修正值的编码梯度曲线  $g_{yn}$ 。接着, 施加读梯度曲线  $gxw$ 。然后, 在相位轴上施加具有等时间积分值和与编码梯度曲线  $g_{yn}$  相反的极性的回绕梯度曲线  $g_{ym}$ 。然后, 施加第二反相脉冲  $P2$  和限幅梯度曲线  $ss$ 。当施加读梯度曲线  $gxw$  时, 对  $echo2$  进行数据采样。

返回图 33，步骤 Q54 对采样数据进行一维富里埃变换，并对结果相位数据进行曲线拟合，从而清楚在作为第二零阶项 $\phi_1$  的梯度区的“0”点处的相位。

步骤 Q55 根据第一零阶项 $\phi_0$  和第二零阶项 $\phi_1$  计算 $\Phi$ 值：

$$\Phi = (\phi_0 - \phi_1) / 2$$

图 36 说明该计算的原理。假设在图 34 预扫描脉冲序列中施加第一反相脉冲 P1 后的磁化  $M_{xy\_p1}$  由于某种原因与旋转轴 x 不重合，而是沿逆时针方向与旋转轴 x 成一个角度 $\phi_0$ 。进一步假设，由于已经通过图 35 所示的预扫描脉冲序列而施加在相位轴上的编码梯度曲线  $g_{yn}$  和回绕梯度曲线  $g_{ym}$  所引起的涡流的影响，旋转轴 x 移动到  $x'$ 。

角度 $\phi_0$  被作为第一零阶项。在通过图 35 所示的预扫描脉冲序列施加了第一反相脉冲 P1 之后，磁化方向仍然是  $M_{xy\_p1}$ ，并且施加了第二反相脉冲 P2 之后的磁化方向与第一磁化方向相对于旋转轴 x 成一角度。第二零阶项 $\phi_1$  表示沿旋转轴 x 顺时针方向所测量到的磁化方向  $M_{xy\_p2}$  的相位。

于是， $\phi_0 - \phi_1$  项表示沿磁化方向  $M_{xy\_p2}$  的顺时针方向所测量到的磁化方向  $M_{xy\_p1}$ 。从图 36 中可知， $(\phi_0 - \phi_1) / 2$  表示沿旋转轴  $x'$  顺时针方向所测量到的磁化方向  $M_{xy\_p1}$  的相位。

利用该相位作为修正磁化方向  $M_{xy\_p1}$  角度的修正值，它等价于由于编码梯度曲线  $g_{yn}$  和回绕梯度曲线  $g_{ym}$  所引起的涡流的影响导致旋转轴  $x'$  的移动。即，旋转轴将与磁化方向  $M_{xy\_p1}$  重合，并且施加了反相脉冲 P2 之后的磁化方向  $M_{xy\_p2}$  与磁化方向  $M_{xy\_p1}$  重合，其结果消除了由于编码梯度曲线  $g_{yn}$  和回绕梯度曲线  $g_{ym}$  所造成的涡流的影响。

回到图 33，步骤 Q56 提供修正值 $\Phi$ 作为在图 34 和图 35 的预扫描脉冲序列中，第一反相脉冲 P2 之后的反相脉冲的偏差相位。

步骤 Q57 重复步骤 Q51 至 Q56 预定的次数，从而得到最佳修正值 $\Phi$ ，然后终止处理过程。

用这种方法，可以为所指定的编码梯度曲线 gyn 确定修正值。

在不背离本发明的精神和不超出本发明范围的情况下可以构造出很多各种不同的本发明的实施例。应该明白本发明除了后面的权利要求书所规定以外，并不限于说明书中所描述的具体的实施例。

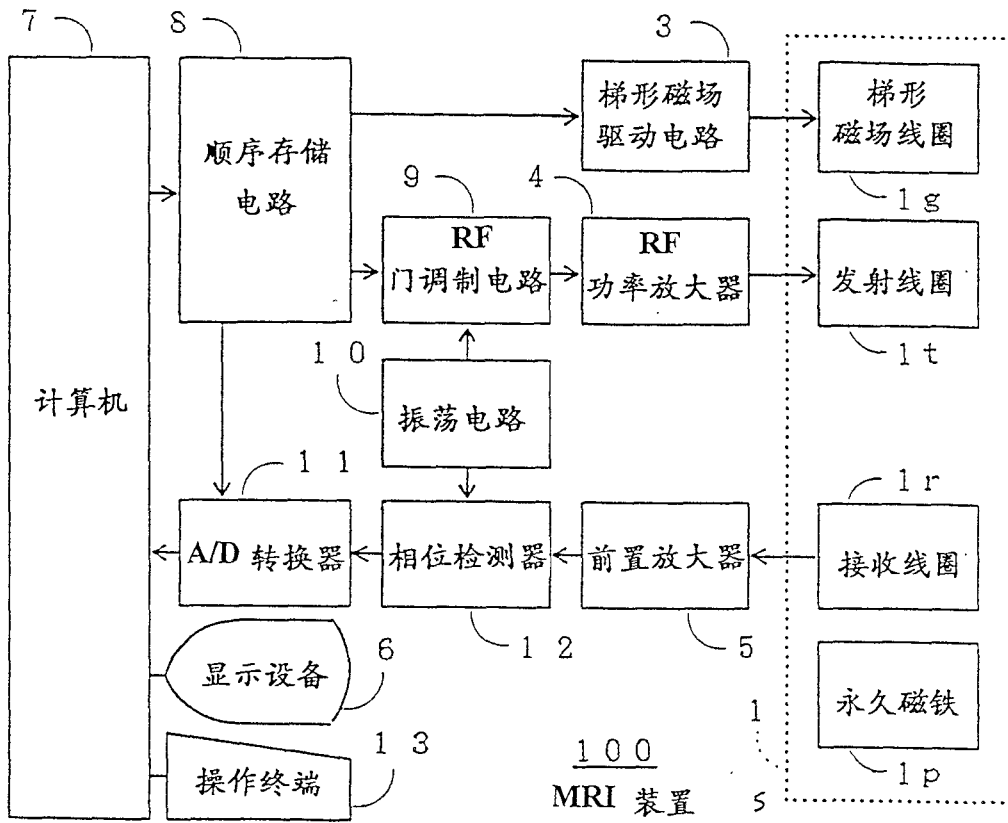


图 1

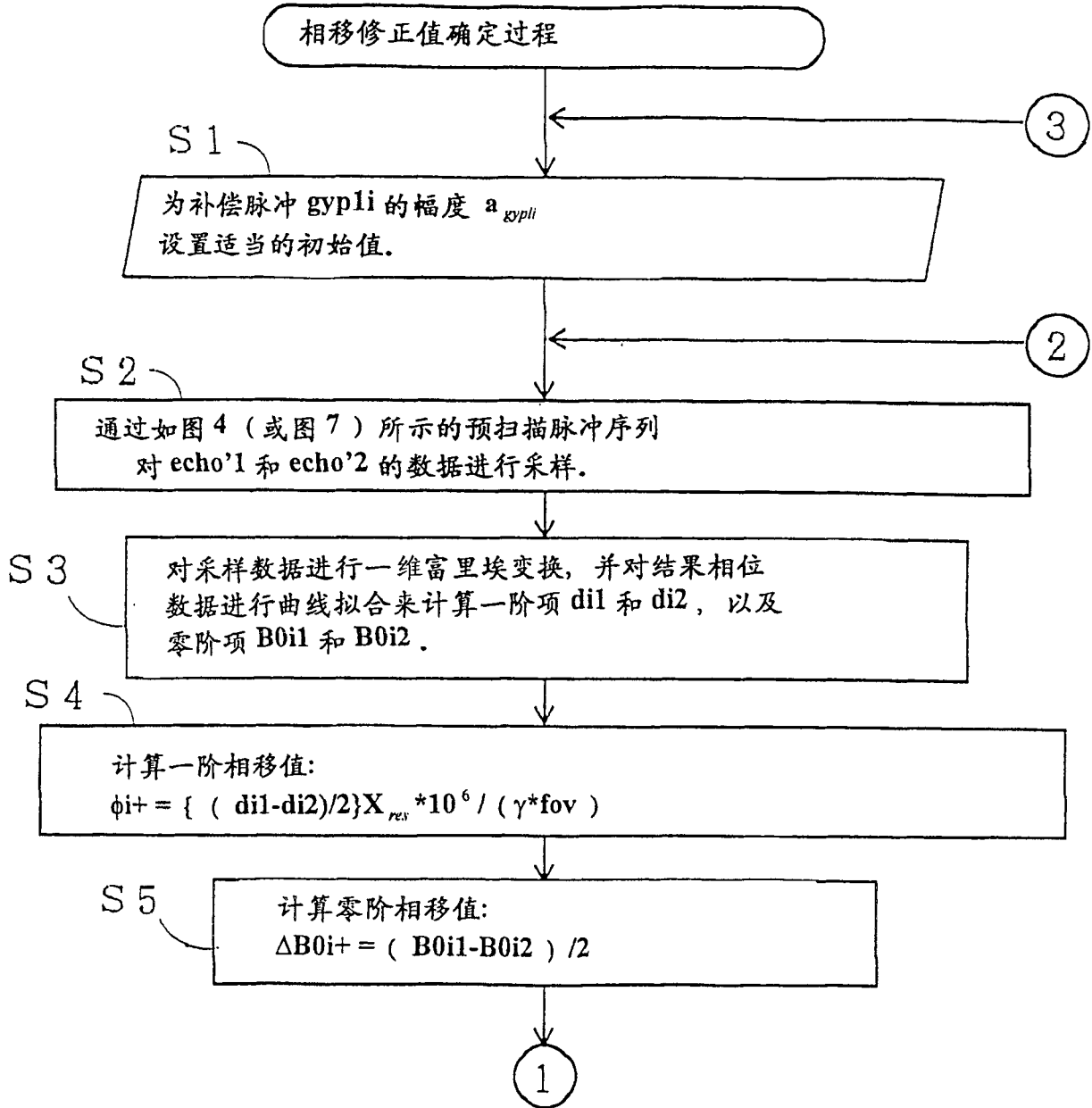


图 2

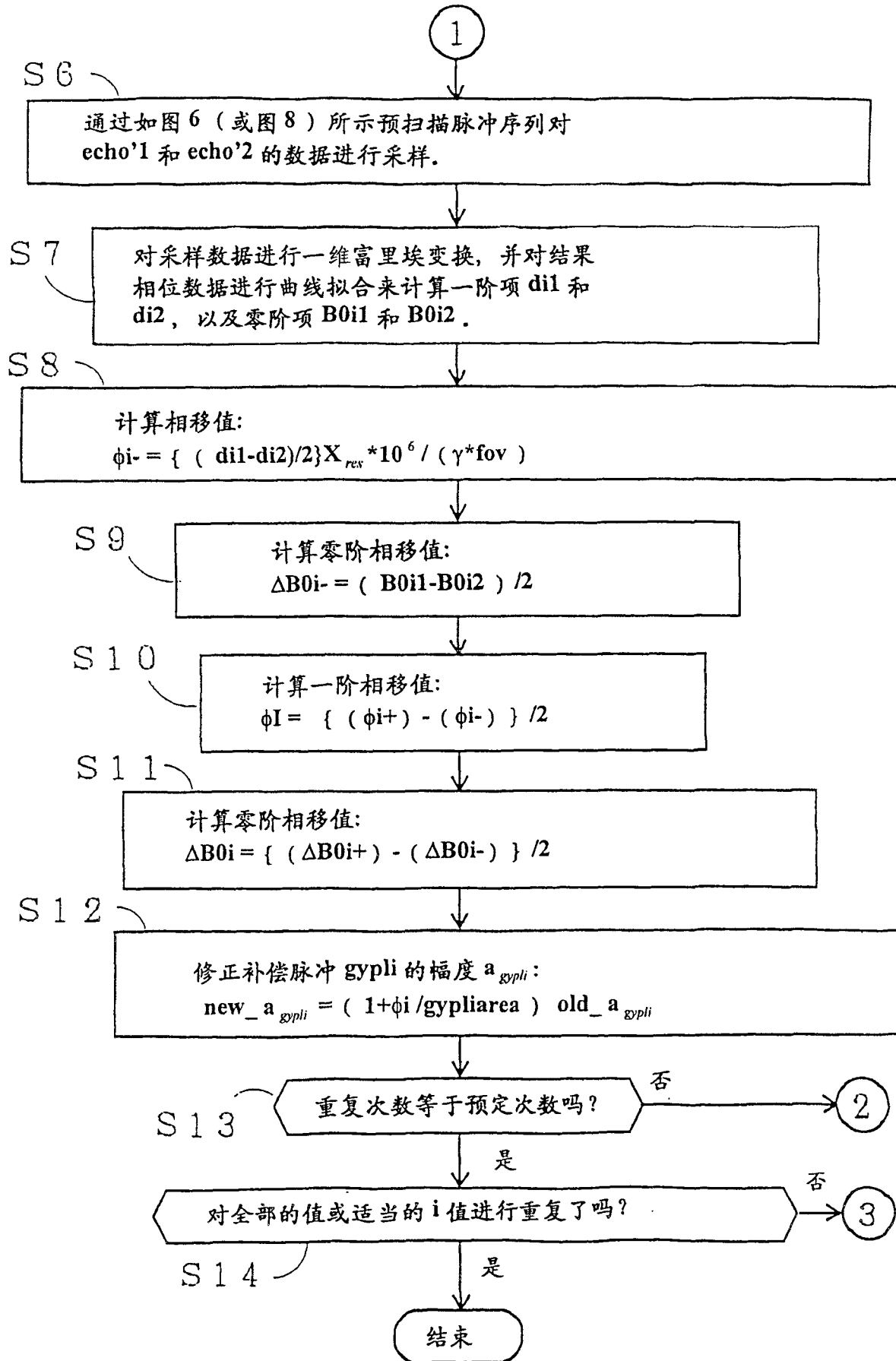


图 3



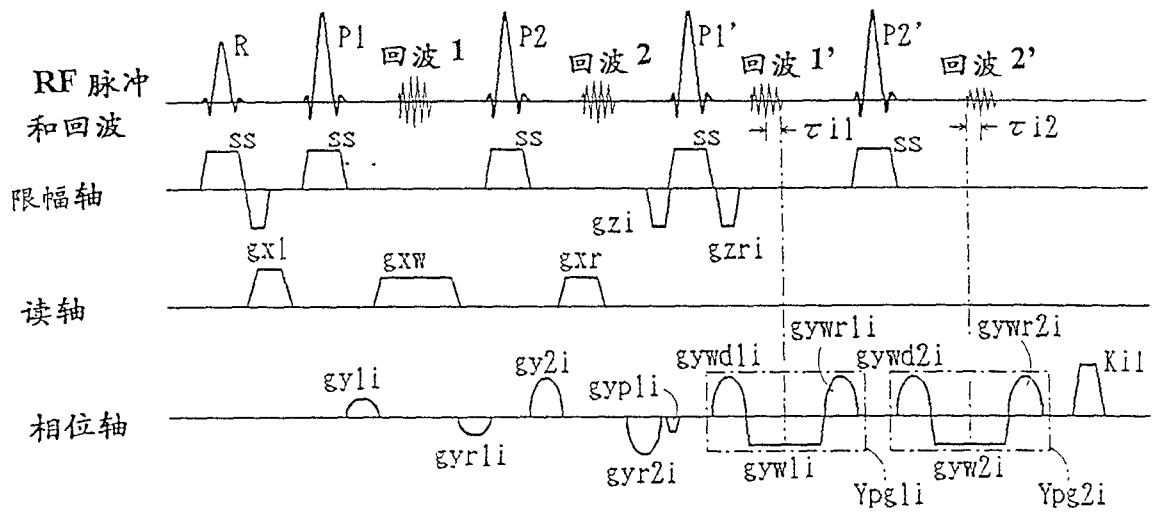


图 6

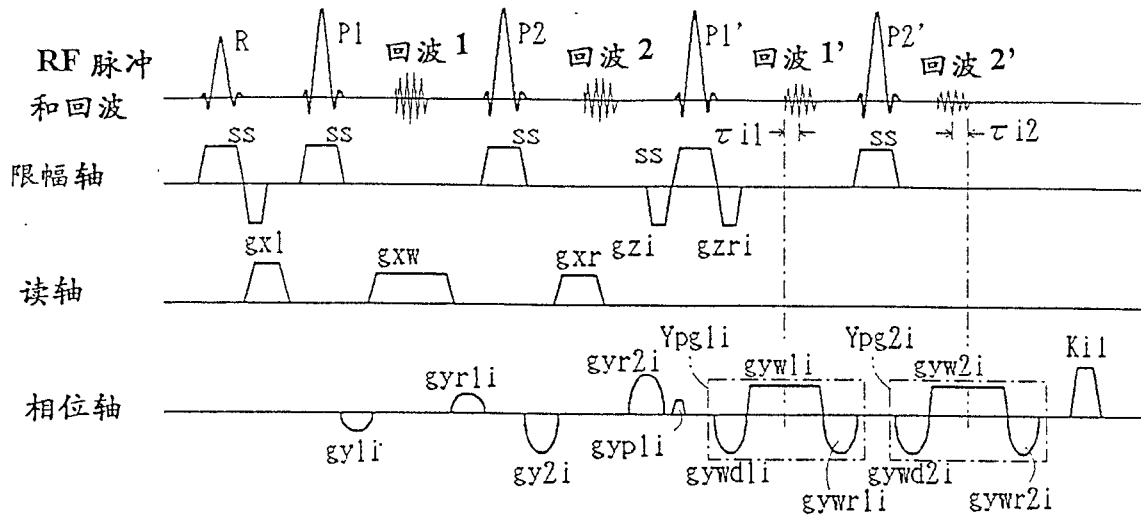


图 7

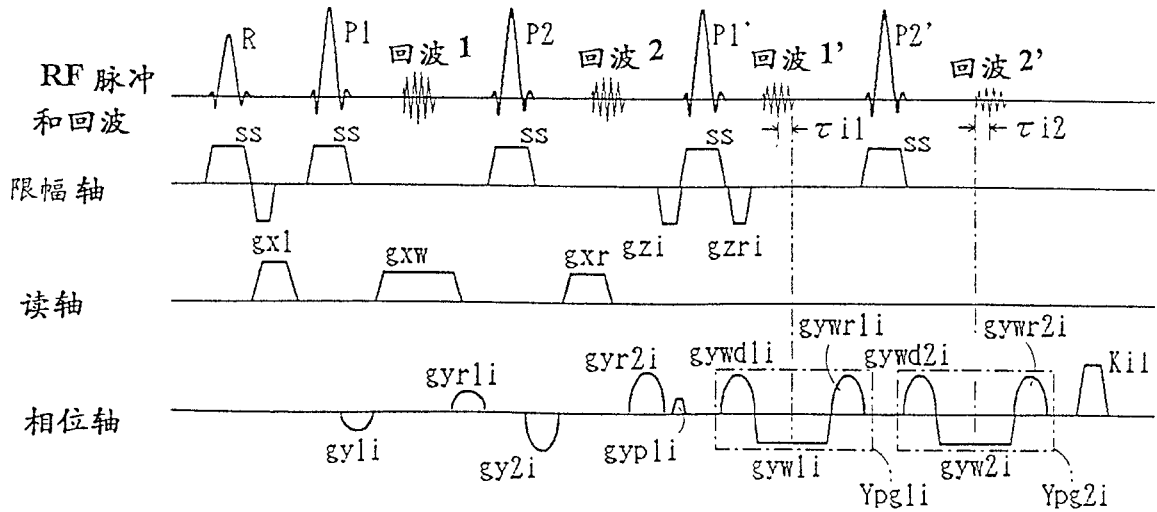


图 8

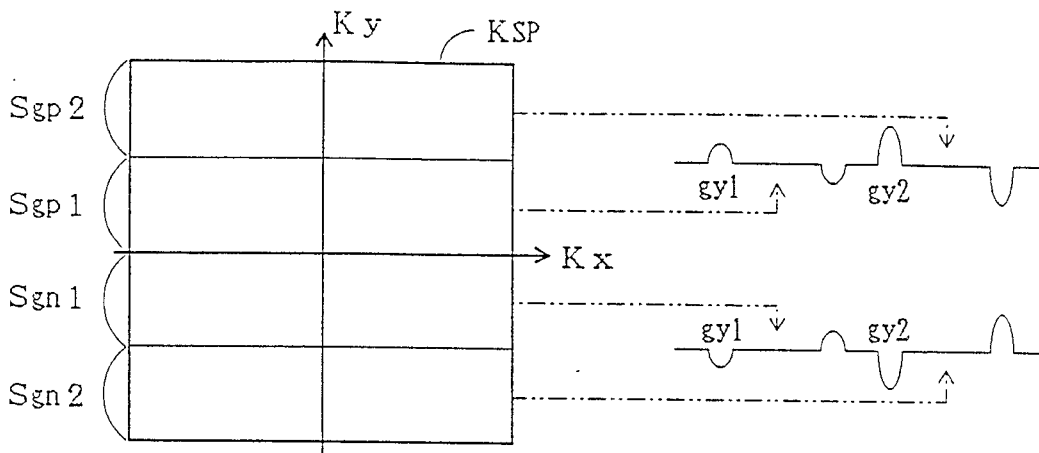


图 9

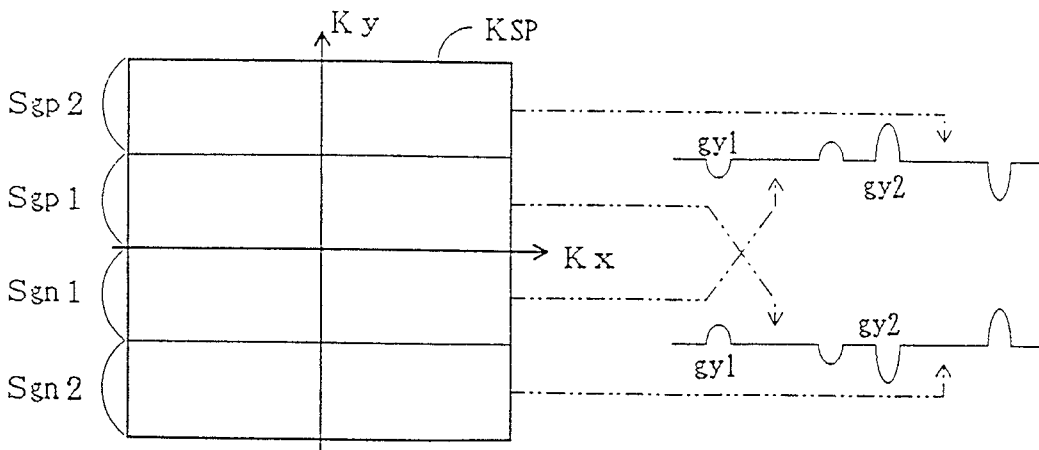


图 10

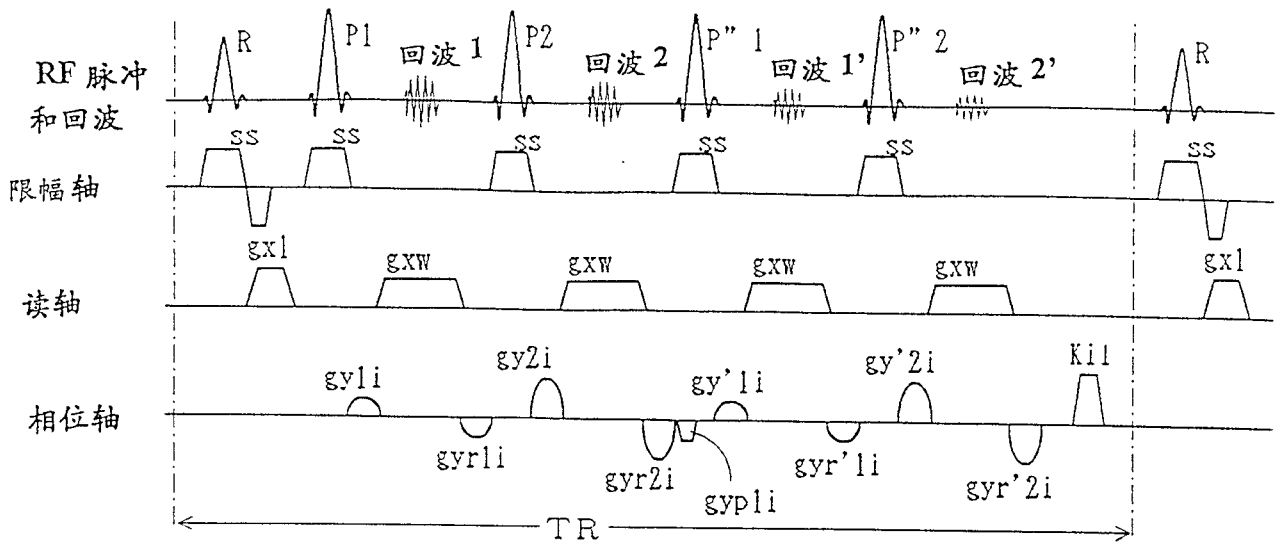


图 11

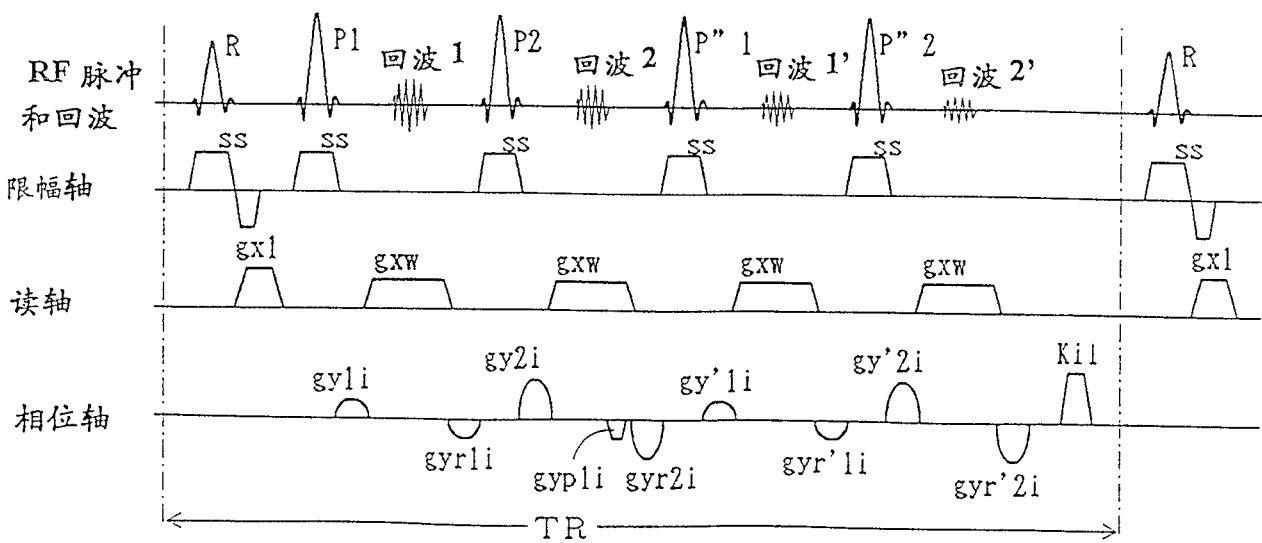


图 12

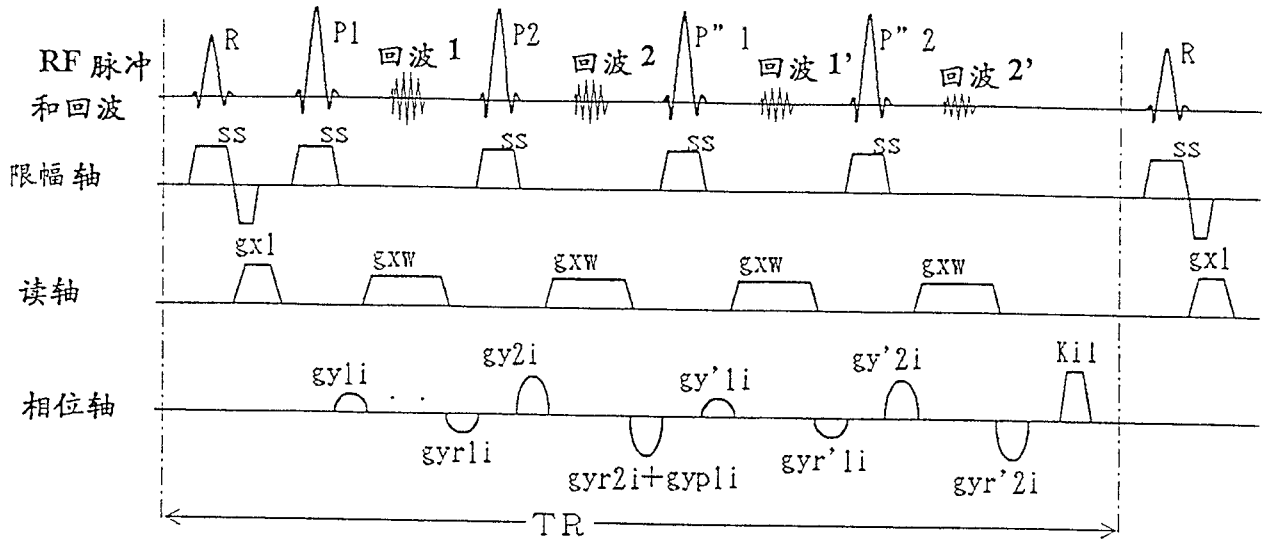


图 13

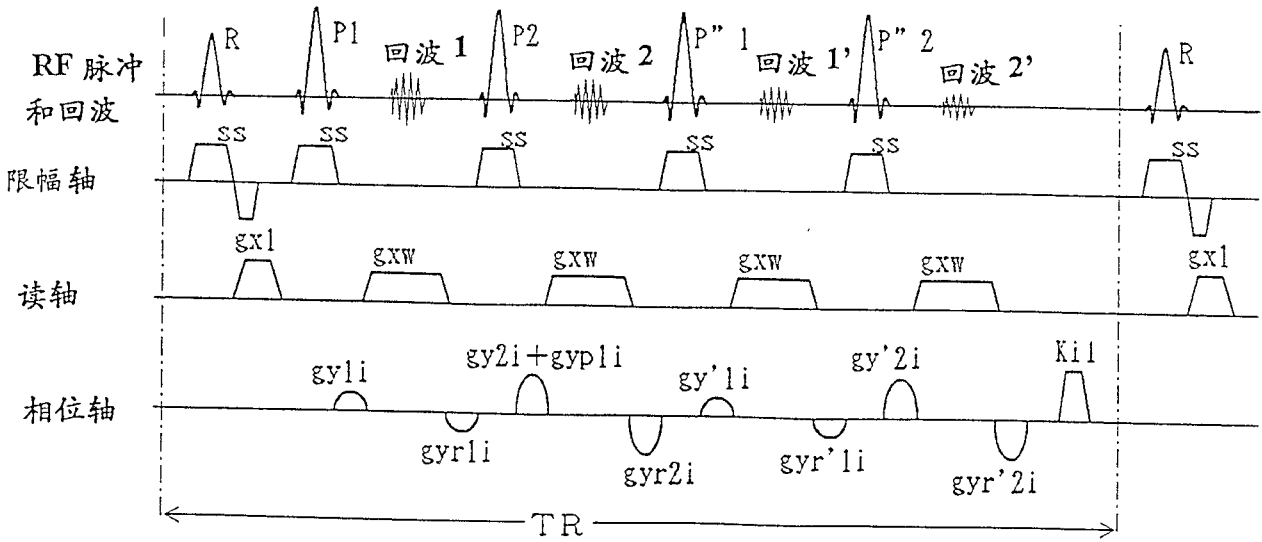


图 14

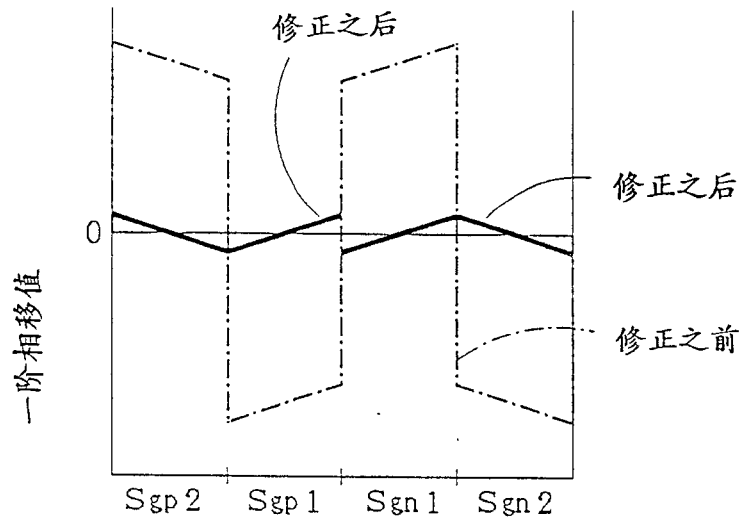


图 15

只通过发射相位修正

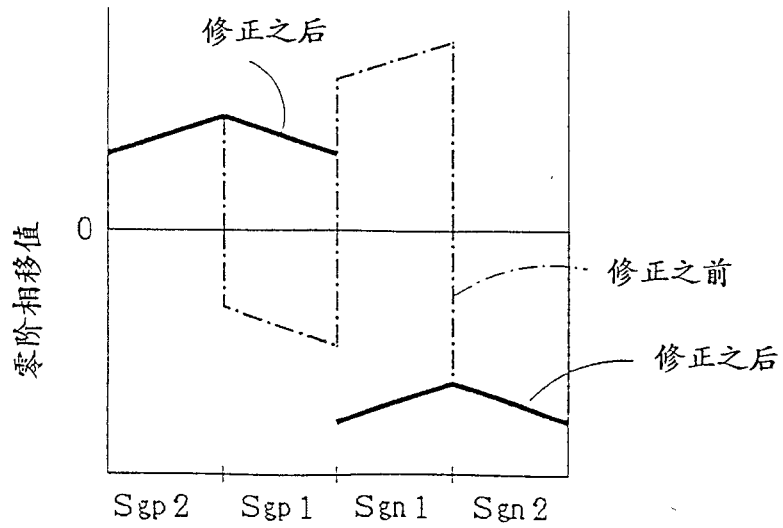


图 16

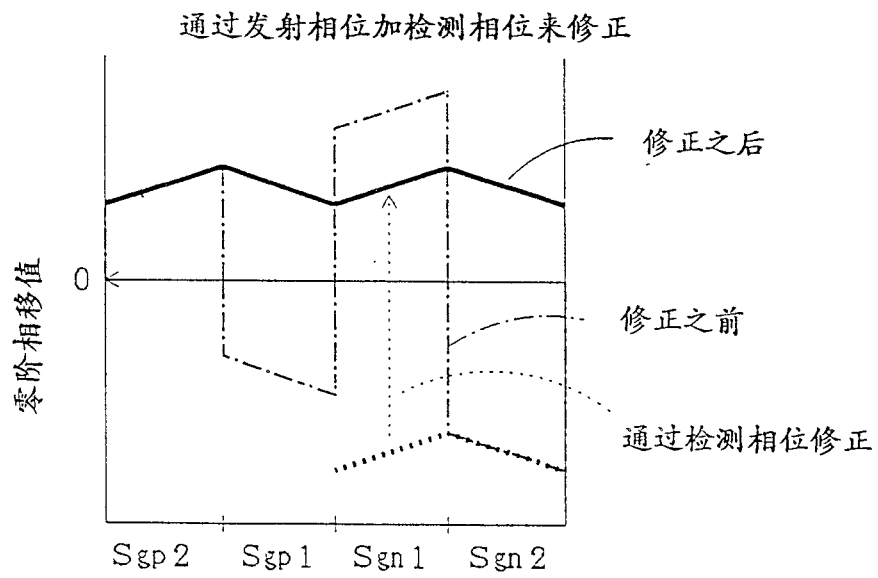


图 17

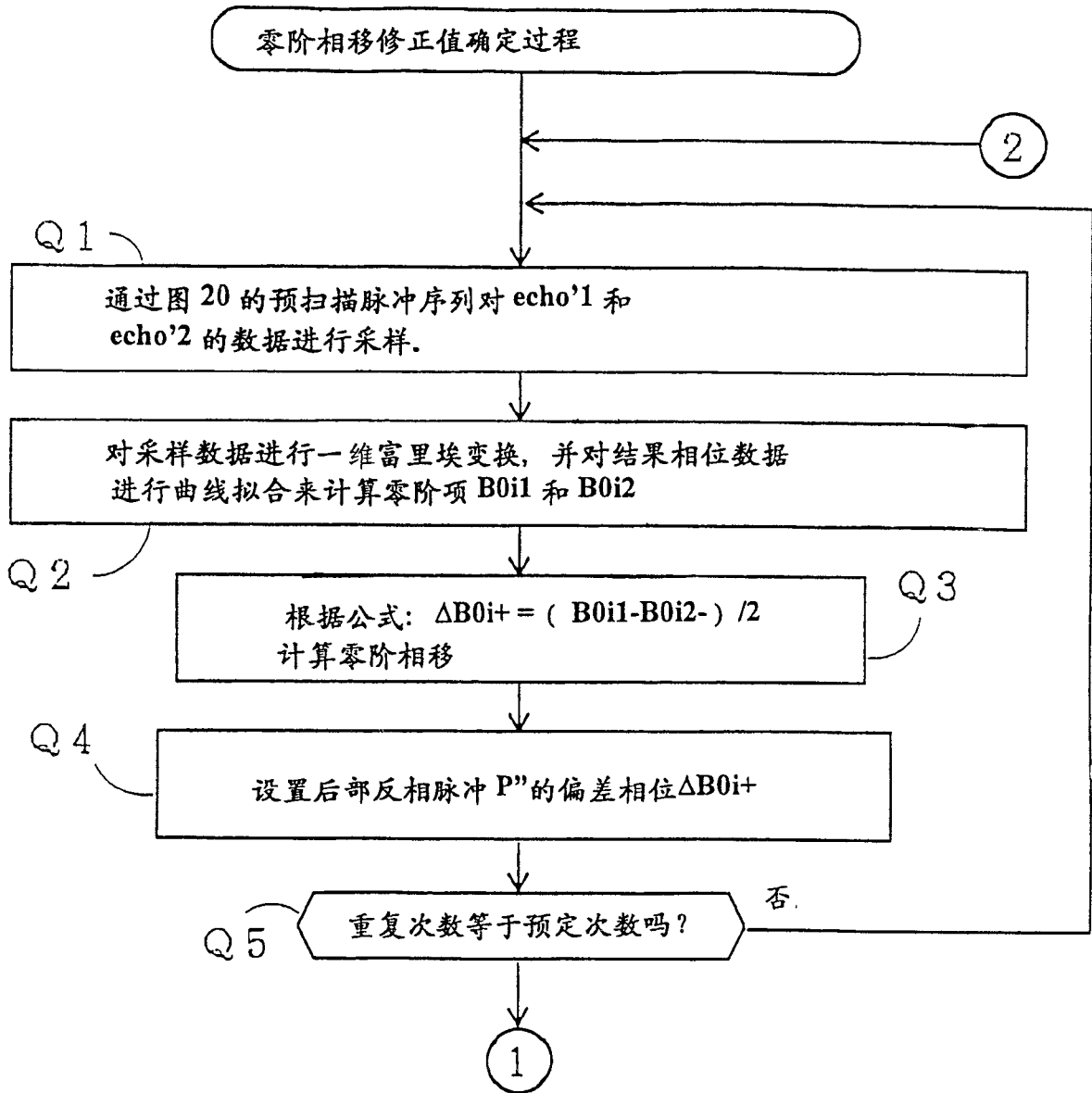


图 18

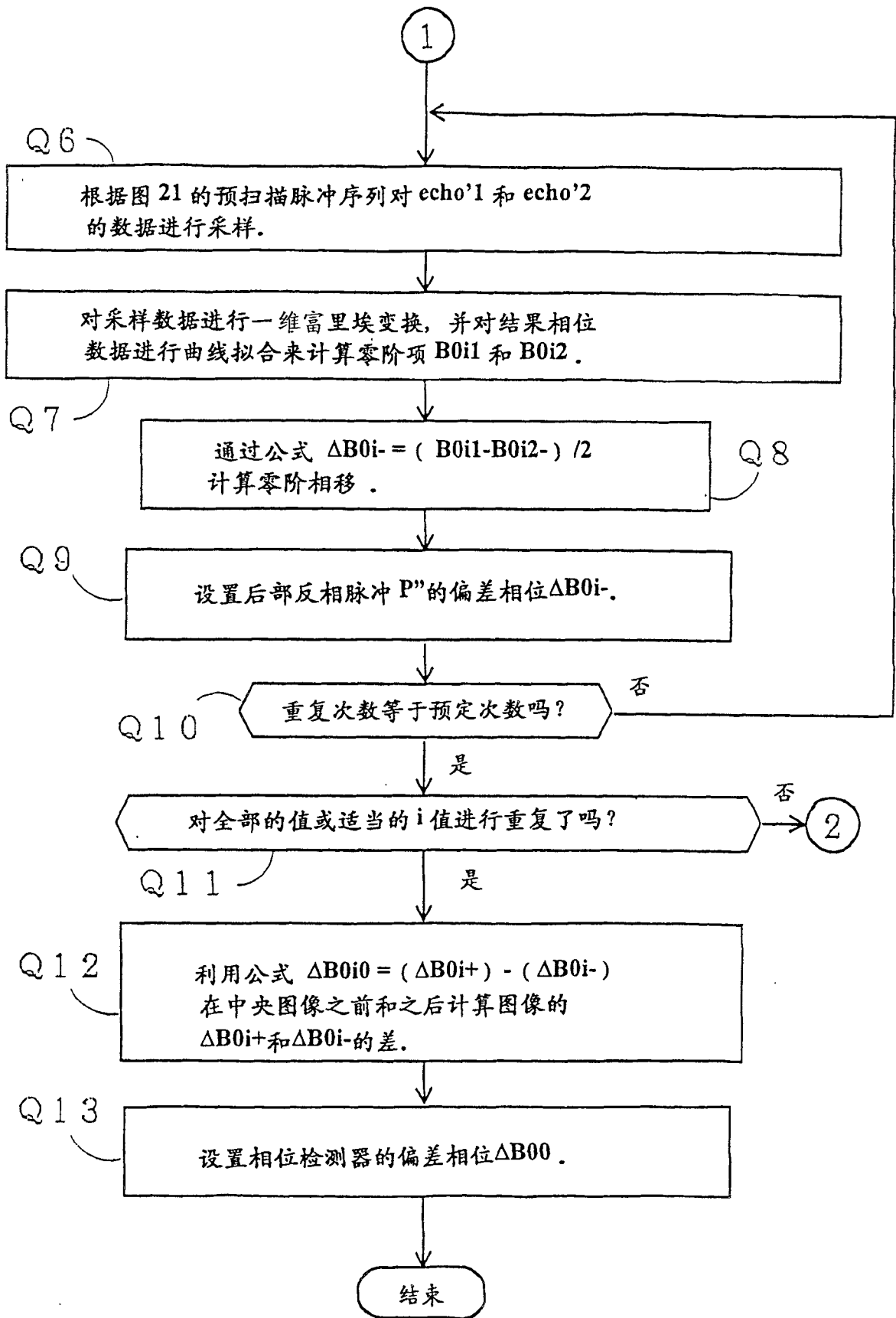


图 19

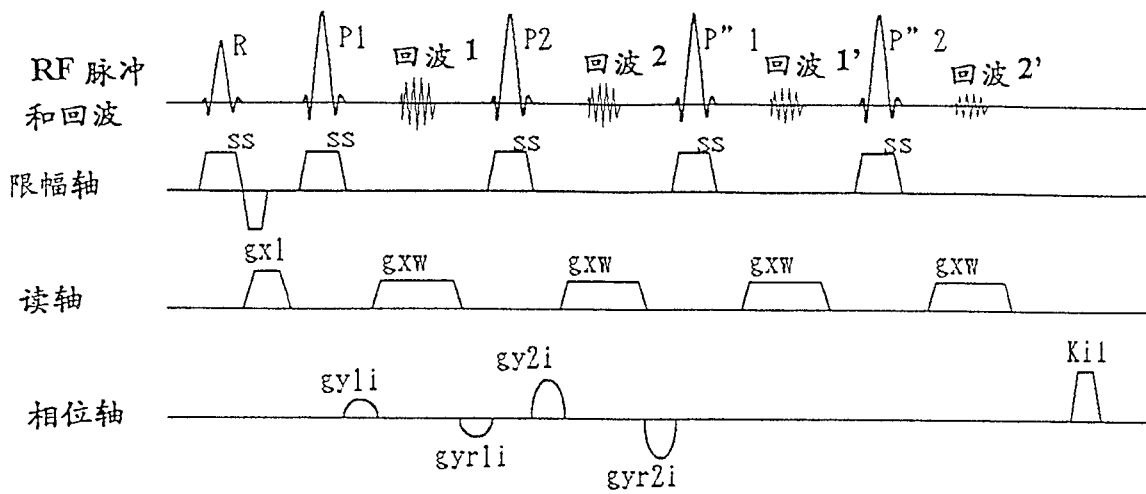


图 20

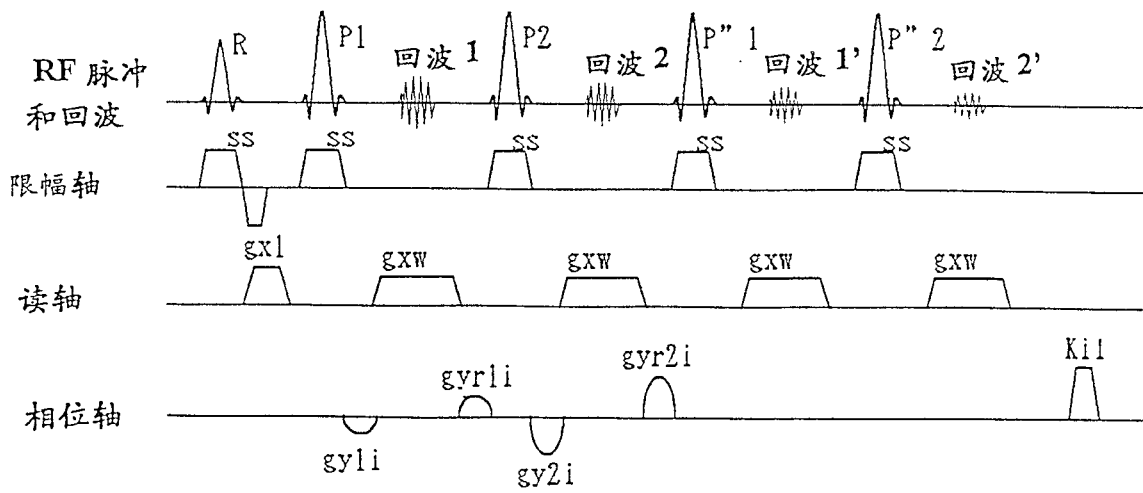


图 21

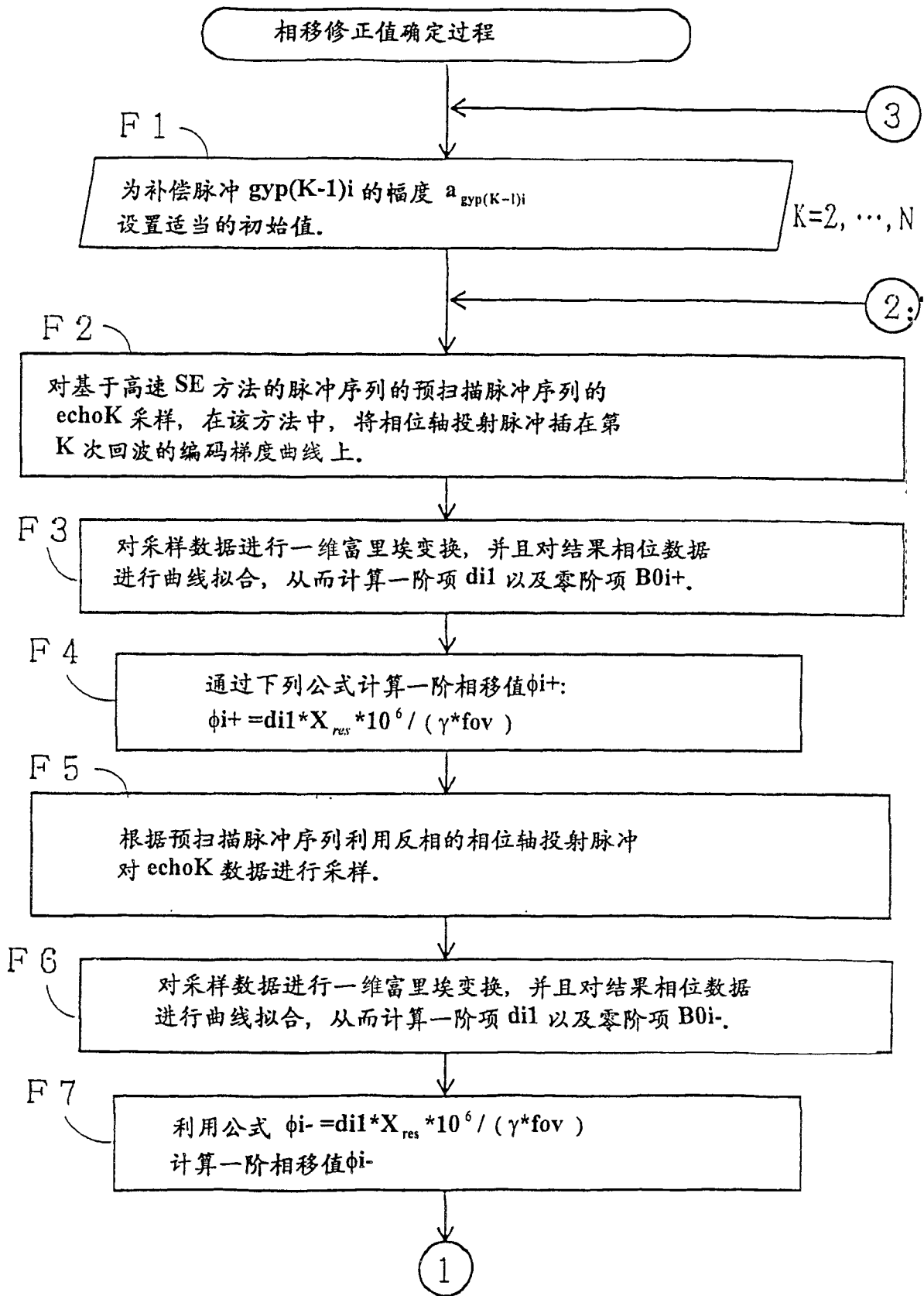


图 22

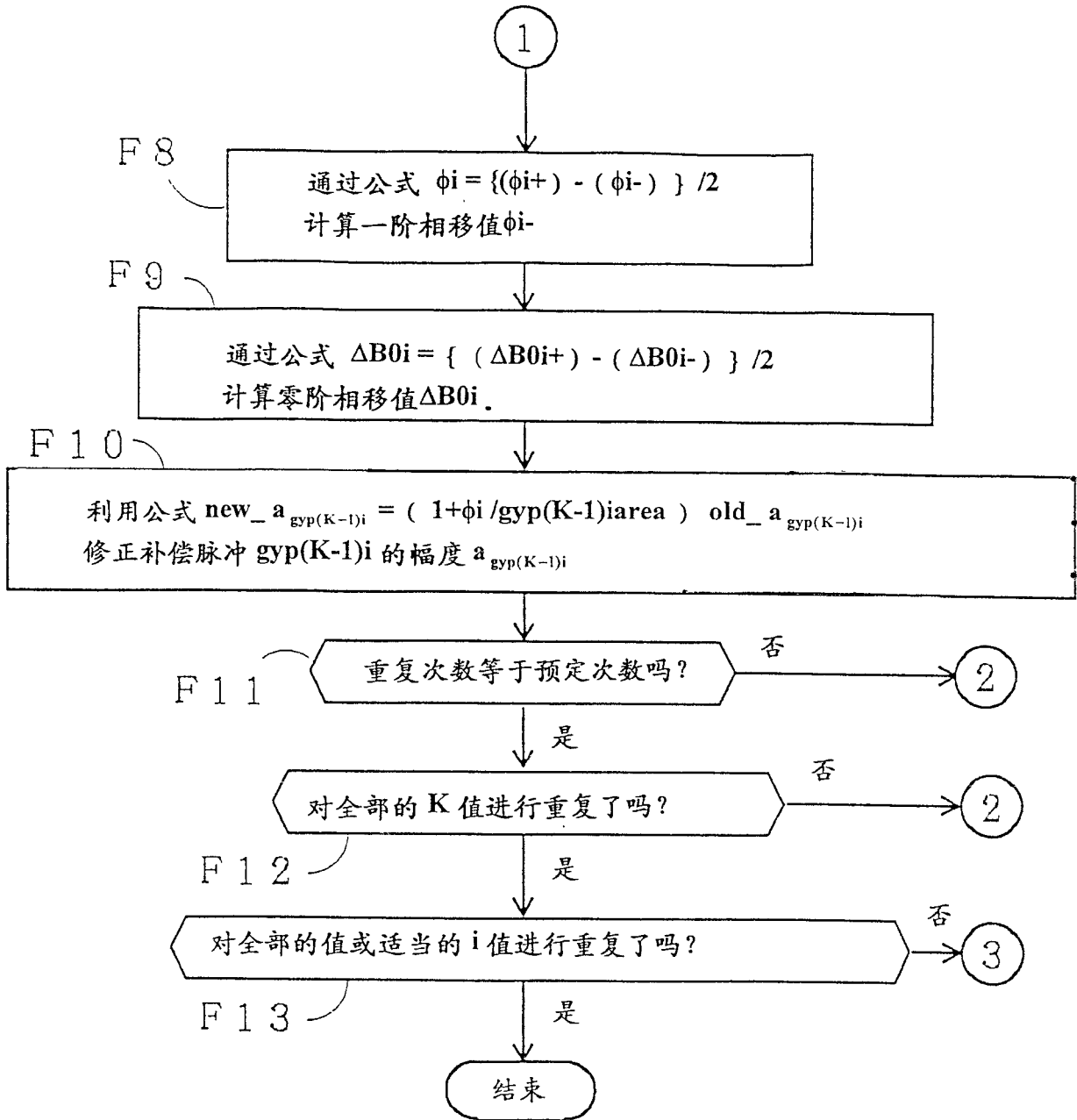


图 23

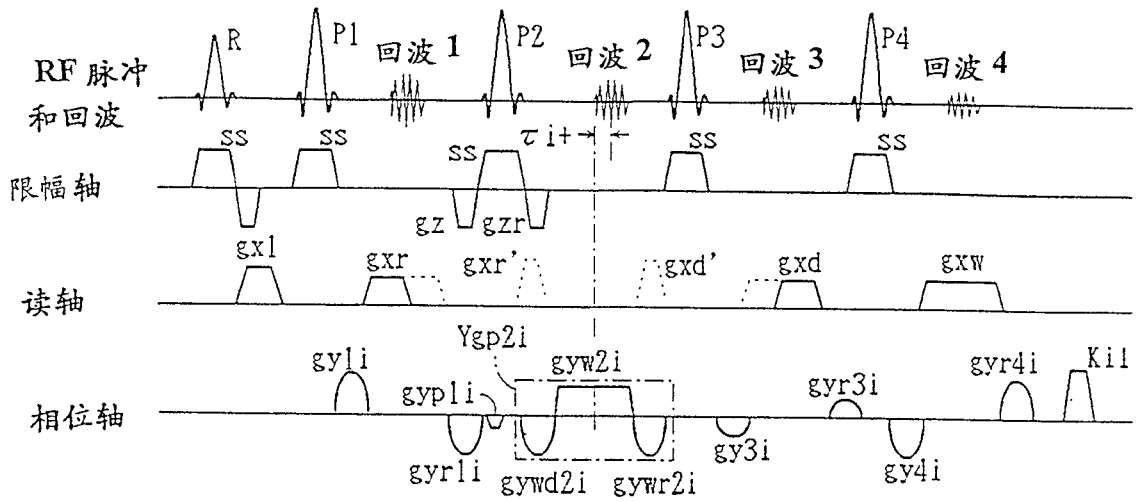


图 24

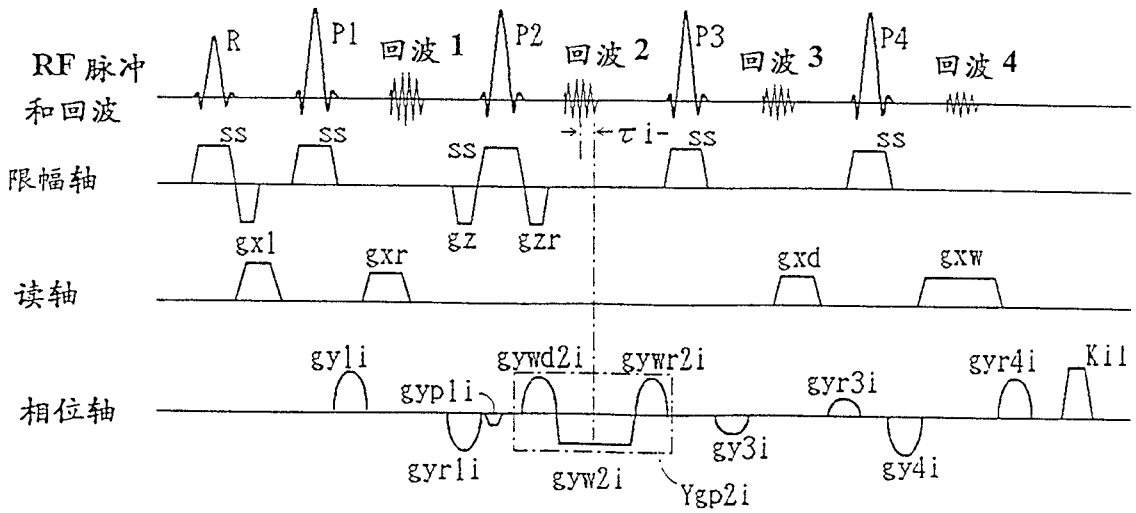


图 25

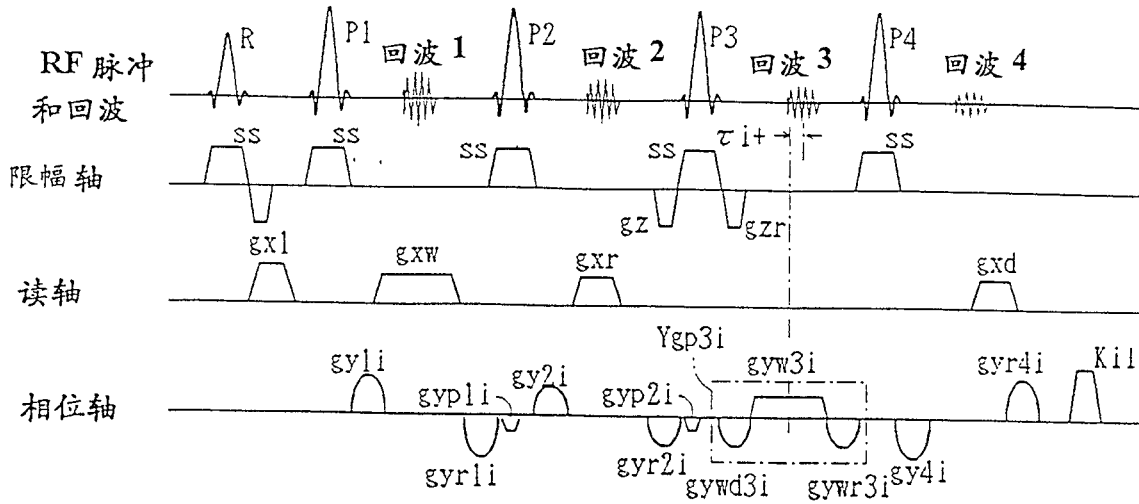


图 26

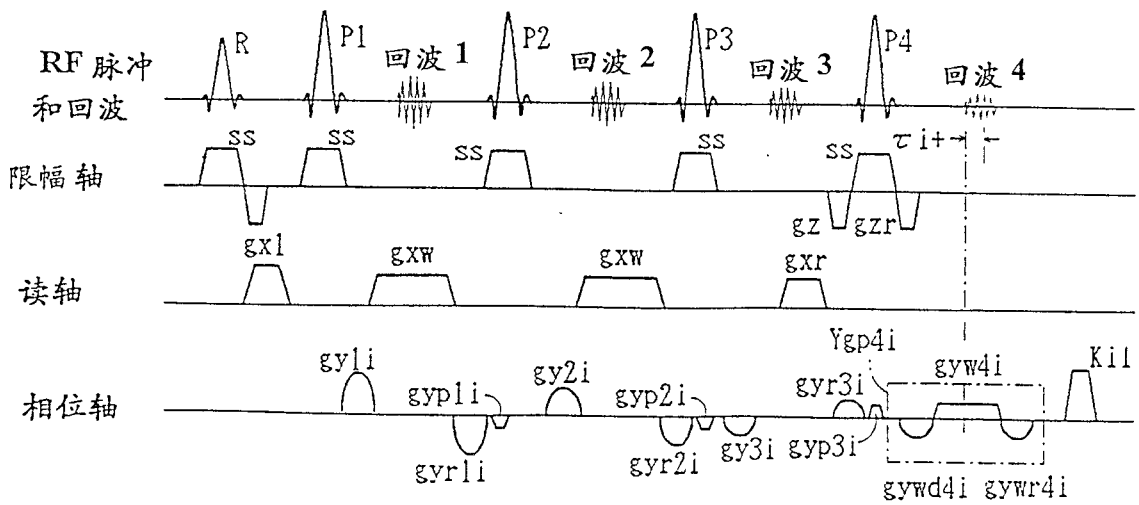


图 27

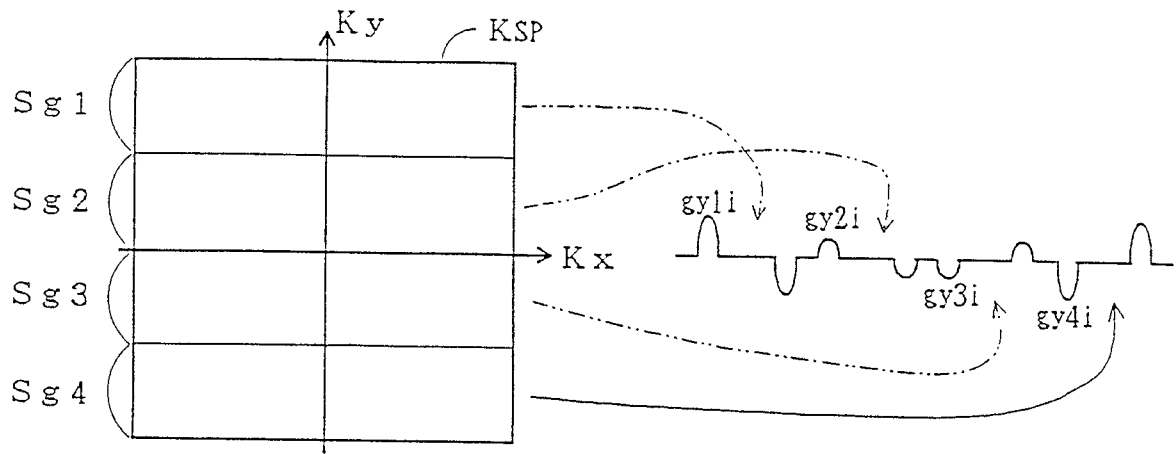


图 28

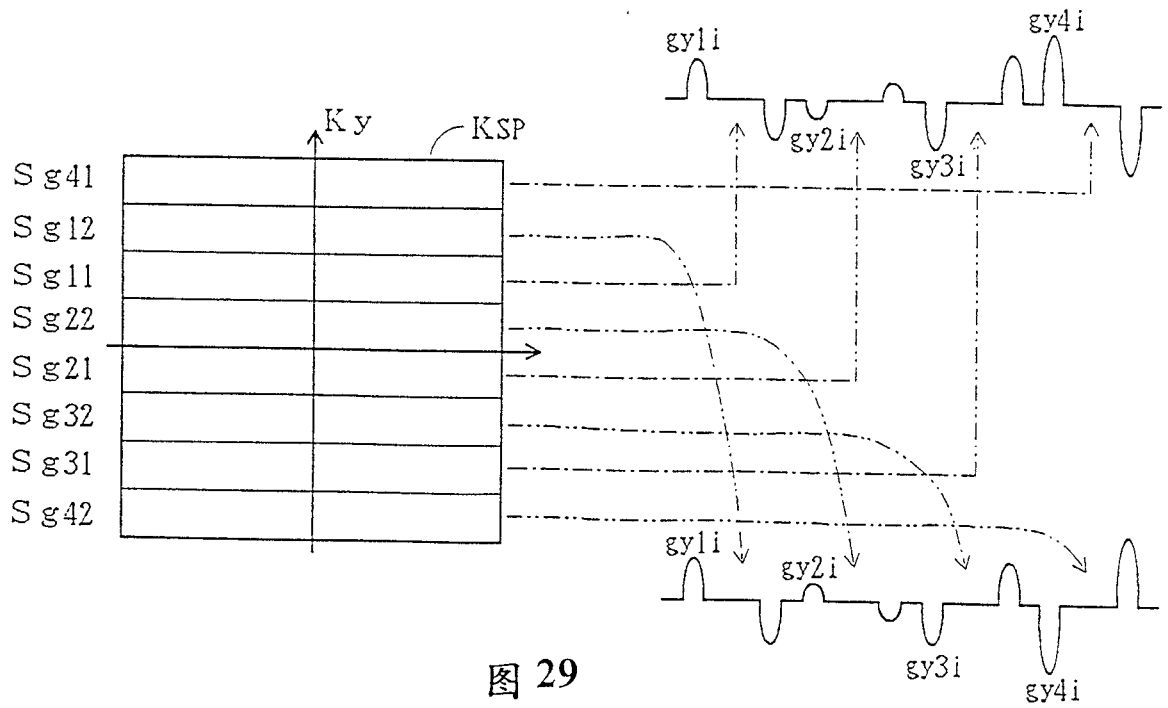


图 29

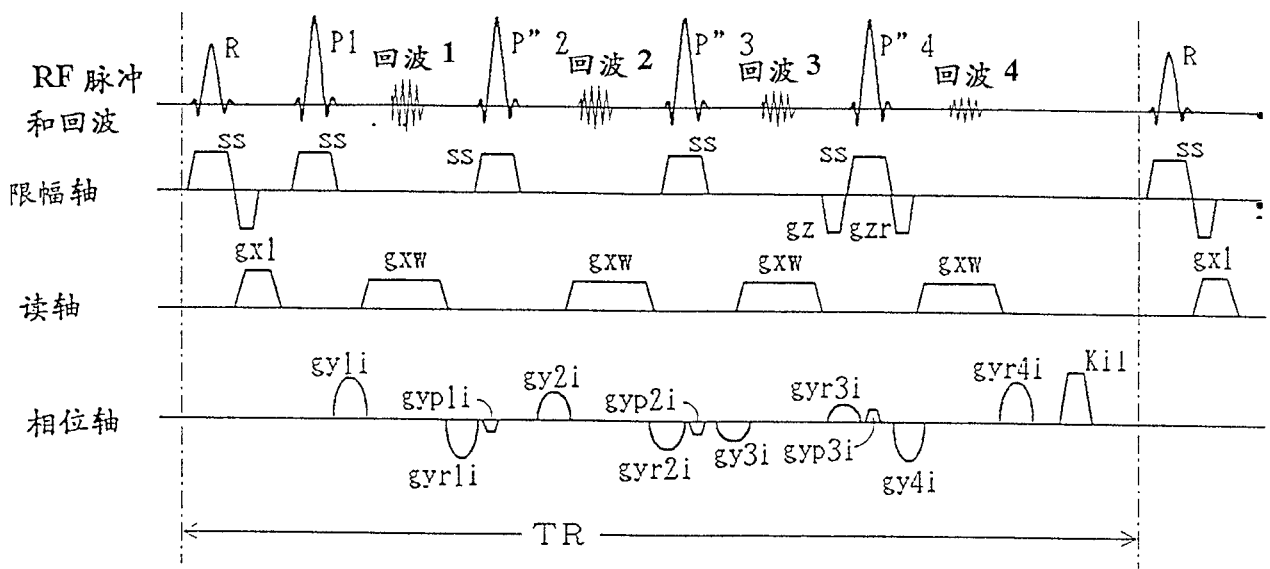


图 30

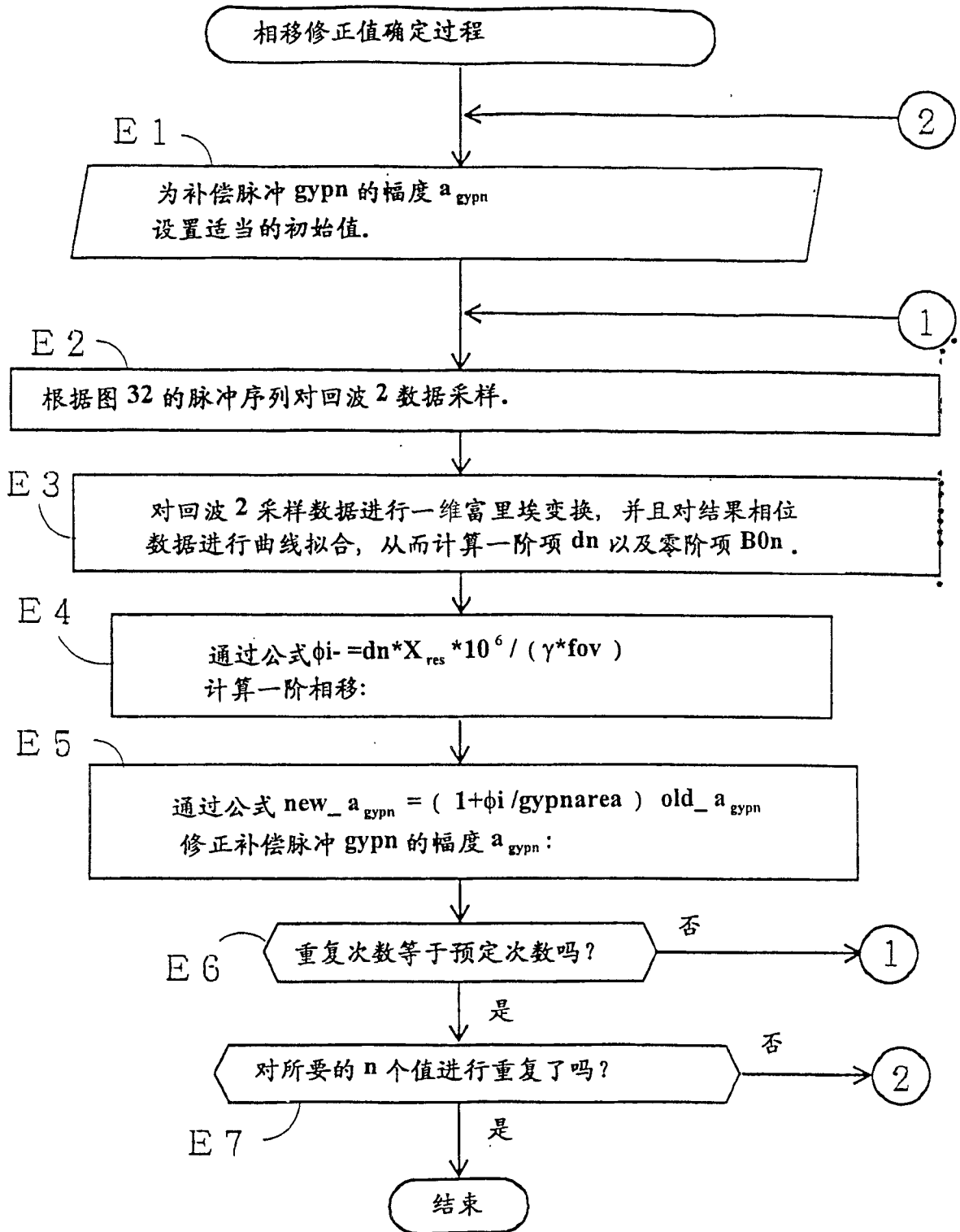


图 31

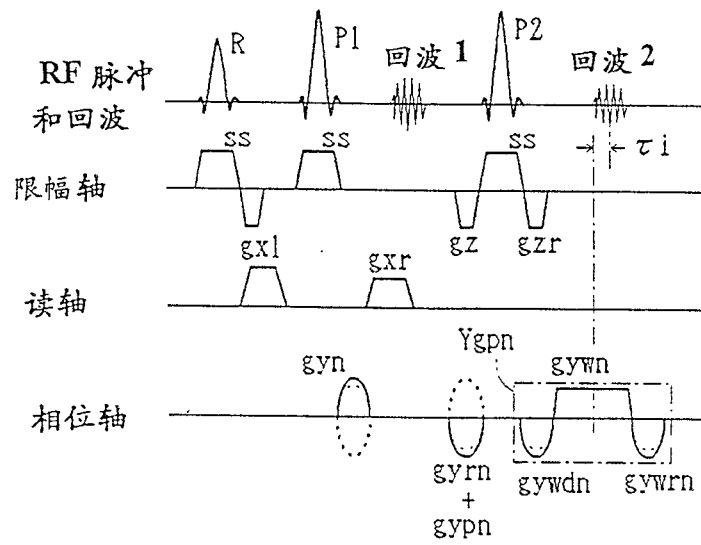


图 32

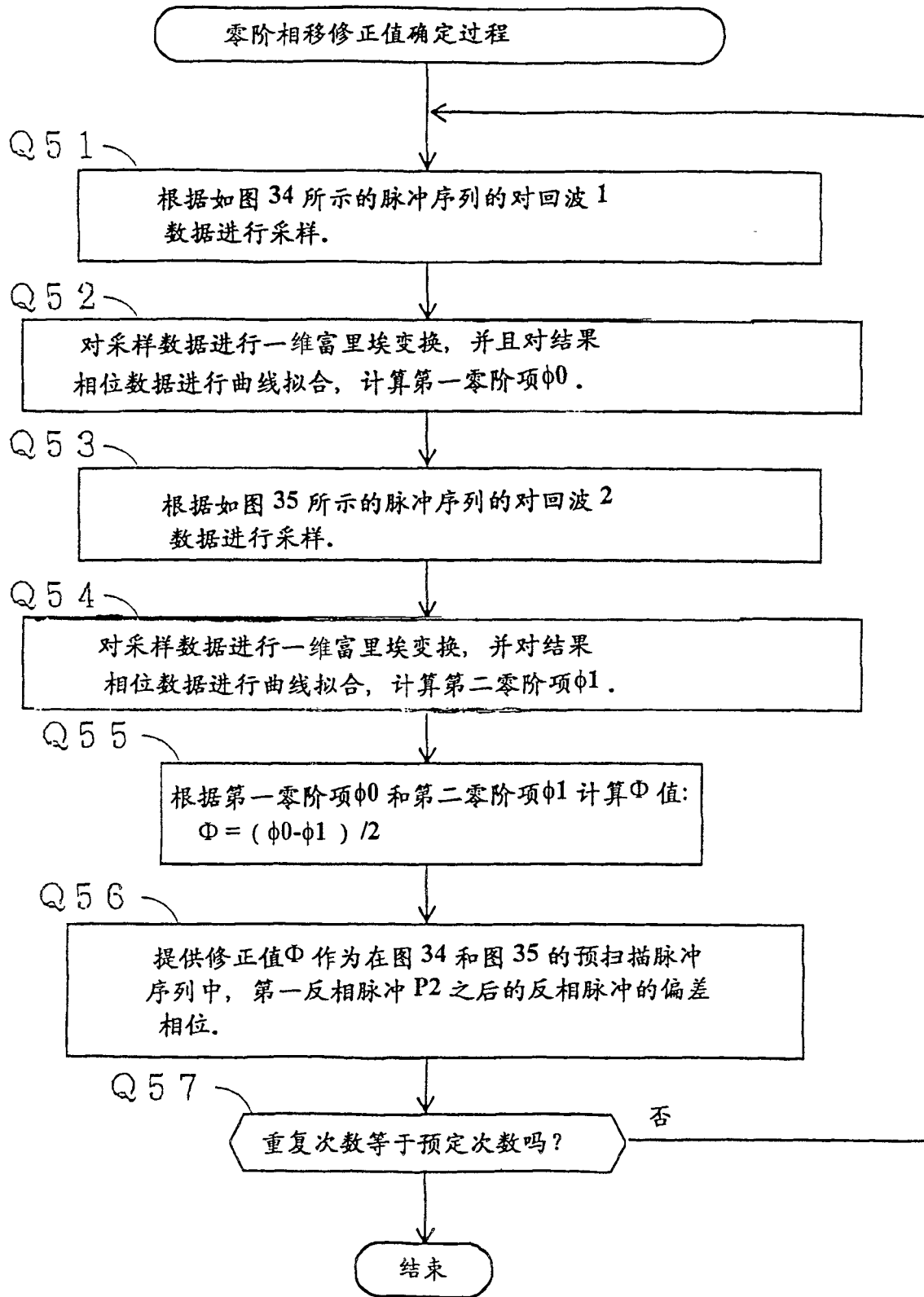


图 33

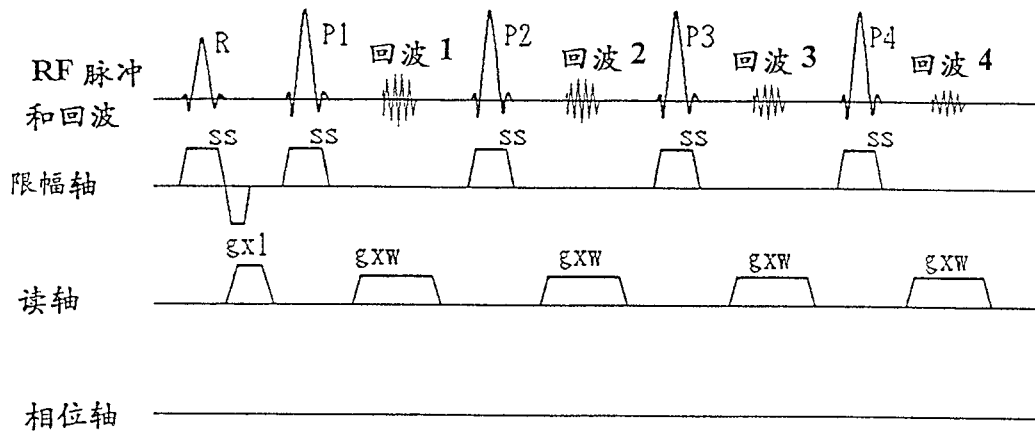


图 34

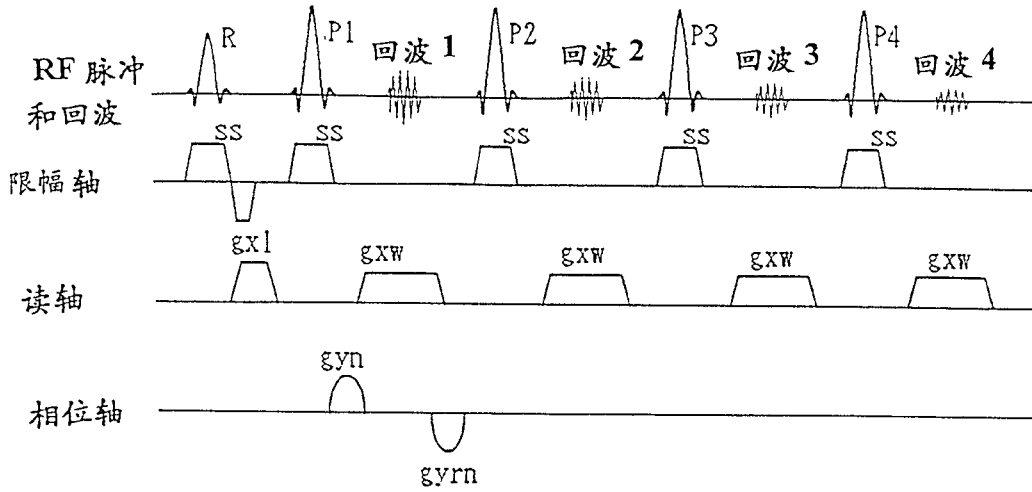


图 35

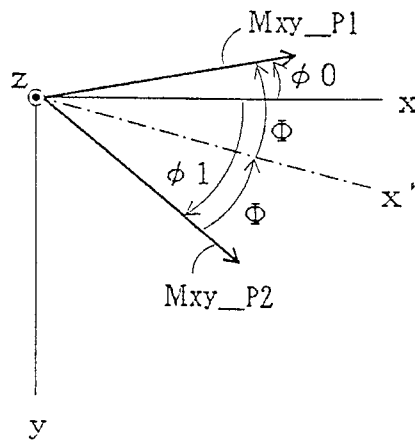


图 36