



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114518552 B

(45) 授权公告日 2025. 06. 24

(21) 申请号 202210101353.5

(22) 申请日 2022.01.27

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114518552 A

(43) 申请公布日 2022.05.20

(73) 专利权人 中国人民解放军军事科学院国防  
科技创新研究院

地址 100071 北京市丰台区东大街53号院

(72) 发明人 谢玉波 李莹颖 马明祥 张锐  
曹辉 邓阳阳 汪杰 徐馥芳

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限  
公司 11002

专利代理师 刘亚平

(51) Int. Cl.

G01R 33/10 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111505540 A, 2020.08.07

CN 112294437 A, 2021.02.02

审查员 李晓

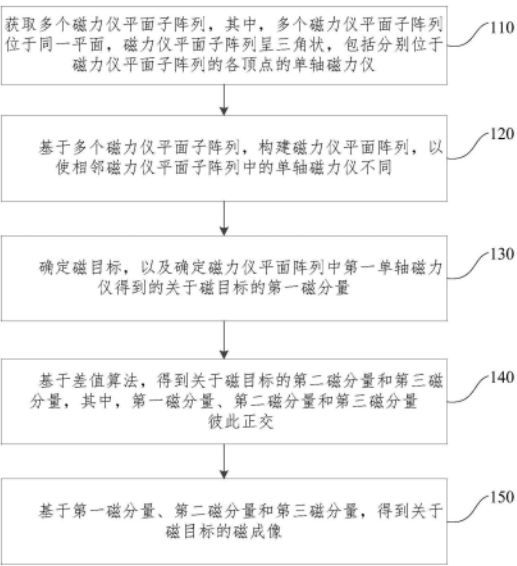
权利要求书2页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

磁力仪平面阵列组织方法和装置

(57) 摘要

本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法和装置,其中,所述方法包括:获取多个磁力仪平面子阵列,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪;基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同;确定磁目标,以及确定第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量;基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量;基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。通过本发明,减少了磁串扰,且最终形成的磁成像的图像均匀。



1. 一种磁力仪平面阵列组织方法,其特征在于,所述方法包括:

获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面,所述磁力仪平面子阵列呈等边三角状,包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,所述各顶点的单轴磁力仪分别为第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交;

基于多个所述磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同;

确定磁目标,以及确定所述磁力仪平面阵列中所述第一单轴磁力仪得到的关于所述磁目标的第一磁分量,所述第一磁分量是关于磁目标在x轴方向上的磁分量 $B_x^0$ ;

基于插值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量彼此正交,其中,第二磁分量是关于磁目标在y轴方向上的磁分量;第三磁分量是关于磁目标在z轴方向上的磁分量;

基于所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量,得到关于所述磁目标的磁成像,其中,所述基于插值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,包括:

基于与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第二单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第二磁分量方向的磁分量,以及

基于与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第三单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第三磁分量方向的磁分量;

基于所述沿所述第二磁分量方向的磁分量,得到所述第二磁分量,以及

基于所述沿所述第三磁分量方向的磁分量,得到所述第三磁分量;其中,

所述基于所述沿所述第二磁分量方向的磁分量,得到所述第二磁分量,以及基于所述沿所述第三磁分量方向的磁分量,得到所述第三磁分量通过以下公式实现:

$$B_y^0 = \frac{(B_y^1 + B_y^2 + B_y^3)}{3};$$

$$B_z^0 = \frac{(B_z^1 + B_z^2 + B_z^3)}{3}$$

其中, $B_y^1$ 、 $B_y^2$ 和 $B_y^3$ 为与所述第一单轴磁力仪相邻的三个第二单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第二磁分量方向的磁分量; $B_z^1$ 、 $B_z^2$ 和 $B_z^3$ 为与所述第一单轴磁力仪相邻的三个第三单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第三磁分量方向的磁分量; $B_y^0$ 为所述第二磁分量; $B_z^0$ 为所述第三磁分量。

2. 根据权利要求1所述的磁力仪平面阵列组织方法,其特征在于,所述方法还包括:

确定关于所述磁目标的磁偶极矩的大小,以及所述磁偶极矩的取向;

基于所述磁偶极矩的大小、所述磁偶极矩的取向、所述第一磁分量、所述第二磁分量以

及所述第三磁分量,确定所述磁目标的位置。

3.根据权利要求1所述的磁力仪平面阵列组织方法,其特征在于,所述磁力仪平面子阵列采用以下方式构建:

获取所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角;

将所述夹角设置为 $60^\circ$ ,以得到所述磁力仪平面子阵列。

4.根据权利要求1所述的磁力仪平面阵列组织方法,其特征在于,所述磁力仪平面子阵列采用以下方式构建:

将所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪之间的距离设置为相等距离,以得到所述磁力仪平面子阵列。

5.一种磁力仪平面阵列,其特征在于,所述磁力仪平面阵列采用如权利要求1至4中任意一项所述的磁力仪平面阵列组织方法构建,所述磁力仪平面阵列包括:

多个磁力仪平面子阵列,多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面,所述磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,其中,

所述单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交,且所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪交替排列,以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同。

6.根据权利要求5所述的磁力仪平面阵列,其特征在于,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角呈 $60^\circ$ 。

7.根据权利要求5所述的磁力仪平面阵列,其特征在于,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪彼此间等距离。

8.一种磁力仪平面阵列组织装置,其特征在于,所述装置用于实现权利要求1至4中任意一项所述的磁力仪平面阵列组织方法,所述装置包括:

获取模块,用于获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面,所述磁力仪平面子阵列呈等边三角状,包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,所述各顶点的单轴磁力仪分别为第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交;

构建模块,用于基于多个所述磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同;

确定模块,用于确定磁目标,以及确定所述磁力仪平面阵列中所述第一单轴磁力仪得到的关于所述磁目标的第一磁分量,第一磁分量是关于磁目标在x轴方向上的磁分量 $B_x^0$ ;

处理模块,用于基于插值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量彼此正交,以及基于所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量,得到关于所述磁目标的磁成像,其中,第二磁分量是关于磁目标在y轴方向上的磁分量;第三磁分量是关于磁目标在z轴方向上的磁分量。

## 磁力仪平面阵列组织方法和装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及磁探测技术领域,尤其涉及一种磁力仪平面阵列组织方法和装置。

### 背景技术

[0002] 磁探测技术通过测量具有磁性的物体周围的磁场分布,从中提取磁信号的特征量,并使用一定的数据处理方法得到目标的相关信息。相比于光、声、电磁波等探测手段,磁探测是一种被动探测技术,具有隐蔽性好、穿透性强、不受天气环境影响等优势,该技术目前广泛应用于航空探矿、磁导航、磁定位、目标搜索领域。

[0003] 为了对一定空间中的磁场进行成像,通常可以使用单个磁力仪进行扫描的方式,这样做的好处是成本很低,坏处是可靠性低、稳定性差,并且非常消耗时间。另一种方式是利用Hanle原理,把大尺寸原子气上的磁场强度映射到原子发射的荧光强度上,通过光学成像阵列(如CCD、CMOS相机)的成像能力,得到磁的二维成像。因为受原子气室大小和泵浦激光强度的限制,这种方法得到的成像阵列尺度有限。而且在很多情况下,要测量的磁目标距离成像区域很远,需要在较大区域内进行成像才能得到可观查的磁场变化。因此,前述成像方式不太适合这种应用场景。另外,磁成像需要用到矢量磁场,但是矢量磁场获取困难,需要三个单轴磁力仪或者其他的方式将标量磁场转化为矢量的形式,这需把单轴磁力仪转化为矢量磁力仪的形式,并减少磁力仪构成阵列后带来的串扰。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法和装置,用以解决现有技术中获取磁目标的磁成像不均匀、且串扰多的缺陷,实现了在获取磁目标的磁成像过程中减少了磁串扰,且最终形成的磁成像的图像均匀。

[0005] 本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法,所述方法包括:获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面,所述磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,所述单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交;基于多个所述磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同;确定磁目标,以及确定所述磁力仪平面阵列中所述第一单轴磁力仪得到的关于所述磁目标的第一磁分量;基于差值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量彼此正交;基于所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量,得到关于所述磁目标的磁成像。

[0006] 根据本发明提供的一种磁力仪平面阵列组织方法,所述基于差值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,包括:基于与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第二单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第二磁分量方向的磁分量,以及基于与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第三单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第三磁分量方向

的磁分量；基于所述沿所述第二磁分量方向的磁分量，得到所述第二磁分量，以及基于所述沿所述第三磁分量方向的磁分量，得到所述第三磁分量。

[0007] 根据本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法，所述基于所述沿所述第二磁分量方向的磁分量，得到所述第二磁分量，以及基于所述沿所述第三磁分量方向的磁分量，得到所述第三磁分量通过以下公式实现：

$$[0008] \quad B_y^0 = \frac{(B_y^1 + B_y^2 + B_y^3)}{3}$$

$$[0009] \quad B_z^0 = \frac{(B_z^1 + B_z^2 + B_z^3)}{3}$$

[0010] 其中， $B_y^1$ 、 $B_y^2$ 和 $B_y^3$ 为与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第二单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第二磁分量方向的磁分量； $B_z^1$ 、 $B_z^2$ 和 $B_z^3$ 为与所述第一单轴磁力仪相邻的所述第三单轴磁力仪得到关于所述磁目标的沿所述第三磁分量方向的磁分量； $B_y^0$ 为所述第二磁分量； $B_z^0$ 为所述第三磁分量。

[0011] 根据本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法，所述方法还包括：确定关于所述磁目标的磁偶极矩的大小，以及所述磁偶极矩的取向；基于所述磁偶极矩的大小、所述磁偶极矩的取向、所述第一磁分量、所述第二磁分量以及所述第三磁分量，确定所述磁目标的位置。

[0012] 根据本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法，所述磁力仪平面子阵列采用以下方式构建：获取所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角；将所述夹角设置为 $60^\circ$ ，以得到所述磁力仪平面子阵列。

[0013] 根据本发明提供一种磁力仪平面阵列组织方法，所述磁力仪平面子阵列采用以下方式构建：将所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪之间的距离设置为相等距离，以得到所述磁力仪平面子阵列。

[0014] 本发明还提供一种磁力仪平面阵列，所述磁力仪平面阵列包括：多个磁力仪平面子阵列，多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面，所述磁力仪平面子阵列呈三角状，包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪，其中，所述单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪，所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交，且所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪交替排列，以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同。

[0015] 本发明还提供一种磁力仪平面阵列，所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角呈 $60^\circ$ 。

[0016] 本发明还提供一种磁力仪平面阵列，所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪彼此间等距离。

[0017] 本发明还提供一种磁力仪平面阵列组织装置,所述装置包括:获取模块,用于获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个所述磁力仪平面子阵列位于同一平面,所述磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于所述磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,所述单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,所述第一单轴磁力仪、所述第二单轴磁力仪和所述第三单轴磁力仪的取向彼此正交;构建模块,用于基于多个所述磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻所述磁力仪平面子阵列中的所述单轴磁力仪不同;确定模块,用于确定磁目标,以及确定所述磁力仪平面阵列中所述第一单轴磁力仪得到的关于所述磁目标的第一磁分量;处理模块,用于基于差值算法,得到关于所述磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量彼此正交,以及基于所述第一磁分量、所述第二磁分量和所述第三磁分量,得到关于所述磁目标的磁成像。

[0018] 本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法和装置,通过多个磁力仪平面子阵列构建磁力仪平面阵列,并基于磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量,以及基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,并基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量得到关于磁目标的磁成像。基于本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法,在获取磁目标的磁成像过程中可以减少磁串扰,且形成均匀的磁成像图像,提高了磁探测的探测效果。

## 附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1是本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法的流程示意图之一;

[0021] 图2是本发明提供的基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量的流程示意图之一;

[0022] 图3是关于本发明提供的基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量的应用场景示意图;

[0023] 图4是本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法的流程示意图之二;

[0024] 图5是在磁阵列定位中为磁目标建立坐标系的应用场景示意图;

[0025] 图6是本发明提供的磁力仪平面阵列的结构示意图;

[0026] 图7是本发明提供的磁力仪平面阵列组织装置的结构示意图;

[0027] 图8是本发明提供的电子设备的结构示意图。

[0028] 附图标记:

[0029] 600:磁力仪平面子阵列; 610:磁力仪平面子阵列;

[0030] 6101:第一单轴磁力仪; 6102:第二单轴磁力仪;

[0031] 6103:第三单轴磁力仪。

## 具体实施方式

[0032] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 磁探测技术通过测量具有磁性的物体周围的磁场分布,从中提取磁信号的特征量,并使用一定的数据处理方法得到目标的相关信息。目前,该技术广泛应用于航空探矿、磁导航、磁定位、目标搜索领域。由于磁信号随距离呈三次方衰减,磁目标常常埋藏于地面和水面以下,距离探测器较远,因此在探测时信号往往很弱。通常目标物体磁信号在纳特量级,而环境磁噪声通常也在此量级,对地磁的噪声抑制和信号提取要求很高。平面磁传感器阵列具有制造简单、功能强大的特点,在磁探测领域具有广泛应用,例如用于磁矩成像、目标定位、目标识别、航空磁探等。由于集成了众多的磁传感器,平面磁传感阵列可以进行磁场的标量、矢量、梯度张量等磁物理量进行测量,丰富的磁信息为提高信号的测量精度、降低噪声提供了可能。

[0034] 为了对一定空间中的磁场进行成像,通常可以使用单个磁力仪进行扫描的方式,这样做的好处是成本很低,坏处是可靠性低、稳定性差,并且非常消耗时间。另一种方式是利用Hanle原理,把大尺寸原子气上的磁场强度映射到原子发射的荧光强度上,通过光学成像阵列(如CCD、CMOS相机)的成像能力,得到磁的二维成像。因为受原子气室大小和泵浦激光强度的限制,这种方法得到的成像阵列尺度有限。而且在很多情况下,要测量的磁目标距离成像区域很远,需要在较大区域内进行成像才能得到可观查的磁场变化。上面介绍的两种成像方式不太适合这种应用场景。另外,磁成像需要用到矢量磁场,但是矢量磁场获取困难,需要三个单轴磁力仪或者其他的方式将标量磁场转化为矢量的形式,这需要把单轴磁力仪转化为矢量磁力仪的形式,并减少磁力仪构成阵列后带来的串扰。

[0035] 平面磁阵列的另一个用途是可以用于单次测量磁定位技术。根据使用物理量的不同,磁性目标探测定位方法有磁场总场定位方法、磁场分量定位方法和磁场梯度张量定位方法等。基于磁场总场和分量的定位方法发展较早,需要多点拟合,利用平面磁探测阵列可以实现单次测量定位。磁梯度张量定位方法通过磁梯度张量值和目标矢量磁场值解算出目标和测量系统的相对位置,其特点是定位速度快、定位精度高。平面磁探测阵列可以同时测量磁梯度张量和磁矢量,故也可以用于张量法磁目标定位。

[0036] 本发明提出了一种磁力仪平面阵列组织方法,它可以将三轴磁场传感器排列成二维密堆形式,进而可以对二维空间的磁场分布进行可视化。进一步的,在获取磁目标的磁成像过程中可以减少磁串扰,且形成均匀的磁成像图像,提高了磁探测的探测效果。

[0037] 图1是本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法的流程示意图之一。

[0038] 在本发明一示例性实施例中,如图1所示,磁力仪平面阵列组织方法可以包括步骤110至步骤150,下面将分别介绍各步骤。

[0039] 在步骤110中,获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,可以包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪。其中,单轴磁力仪可以包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向彼此正交。

[0040] 在一种实施例中,可以获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面。可以理解的是,由多个磁力仪平面子阵列构成的磁力仪平面阵列为具有二维密堆结构的阵列。

[0041] 磁力仪平面子阵列可以呈三角状,并且,在呈三角状的磁力仪平面子阵列的各顶点设置有单轴磁力仪。各顶点的单轴磁力仪分别为具有三种正交取向的单轴磁力仪,三种正交取向的单轴磁力仪可以分别为第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪。在一示例中,单轴磁力仪可以是单轴磁力传感器。在本实施例中,不具体限定第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向方向,只要第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪具有正交取向即可。在一示例中,两种单轴磁力仪的取向可以在阵列所在的平面内,且磁力仪轴的取向保持正交,第三种单轴磁力仪取向可以垂直于阵列所在的平面。

[0042] 在步骤120中,基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同。

[0043] 在一种实施例中,可以基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列。磁力仪平面阵列可以呈二维六角排列,且为二维密堆结构。其中,在构建的磁力仪平面阵列中,在相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同。在一示例中,第一单轴磁力仪可以与第二单轴磁力仪、第三单轴磁力仪相邻,但不与第一单轴磁力仪相邻。第二单轴磁力仪可以与第一单轴磁力仪、第三单轴磁力仪相邻,但不与第二单轴磁力仪相邻。第三单轴磁力仪可以与第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪相邻,但不与第三单轴磁力仪相邻。

[0044] 可以理解的是,在磁力仪平面阵列中,每个单轴磁力仪周围最近邻的单轴磁力仪和自身分量正交,保证了每种单轴磁力仪之间的磁分量串扰最小,为提供均匀、清晰的磁目标的磁成像图像打下基础。

[0045] 在步骤130中,确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量。

[0046] 在一种实施例中,可以确定磁目标。其中,磁目标可以是距离成像区域较远的磁目标。进一步的,还可以确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量。在一示例中,第一单轴磁力仪可以测量磁目标在x方向的磁分量。

[0047] 在步骤140中,基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交。

[0048] 在步骤150中,基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0049] 在一种实施例中,可以基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交。进一步的,基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。在应用过程中,磁力仪平面阵列中每个单轴磁力仪测量一个磁分量(例如,第一单轴磁力仪测量第一磁分量),其他两个磁分量靠插值得到,其中,插值法可以使磁目标的磁成像图像更加清晰、成像更加丰富。

[0050] 本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法,通过多个磁力仪平面子阵列构建磁力仪平面阵列,并基于磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量,以及基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,并基于第一磁分量、第二磁

分量和第三磁分量得到关于磁目标的磁成像。基于本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法,在获取磁目标的磁成像过程中可以减少磁串扰,且形成均匀的磁成像图像,提高了磁探测的探测效果。

[0051] 本发明将结合下述实施例对基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量的过程进行说明。

[0052] 图2是本发明提供的基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量的流程示意图之一。

[0053] 在本发明一示例性实施例中,如图2所示,基于差值算法得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量可以包括步骤210至步骤240,下面将分别介绍各步骤。

[0054] 在步骤210中,基于与第一单轴磁力仪相邻的第二单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第二磁分量方向的磁分量。

[0055] 在步骤220中,基于与第一单轴磁力仪相邻的第三单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第三磁分量方向的磁分量。

[0056] 在步骤230中,基于沿第二磁分量方向的磁分量,得到第二磁分量。

[0057] 在步骤240中,基于沿第三磁分量方向的磁分量,得到第三磁分量。

[0058] 在一种实施例中,在进行磁目标的磁成像处理过程中,磁力仪平面阵列中的每个单轴磁力仪测量一种磁分量的磁场信号。为了增加磁成像图像在测量磁矢量时的图像分辨率,在位于单轴磁力仪的点位处,可以利用线性差值算法得到关于其他两种取向的磁分量的磁场信号。

[0059] 下面将结合图3对基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量的过程进行说明。

[0060] 在一种实施例中,如图3所示, $B_x^0$ 可以表示磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量,第一磁分量可以是关于磁目标在x轴方向上的磁分量。进一步的,可以基于与第一单轴磁力仪相邻的第二单轴磁力仪(与 $B_y^1$ 、 $B_y^2$ 和 $B_y^3$ 对应的单轴磁力仪)得到关于磁目标的沿第二磁分量方向的磁分量。可以基于与第一单轴磁力仪相邻的第三单轴磁力仪(与 $B_z^1$ 、 $B_z^2$ 和 $B_z^3$ 对应的单轴磁力仪)得到关于磁目标的沿第三磁分量方向的磁分量。

[0061] 在一示例中,基于沿第二磁分量方向的磁分量,得到第二磁分量可以通过以下公式实现:

$$[0062] \quad B_y^0 = \frac{(B_y^1 + B_y^2 + B_y^3)}{3} \quad (1)$$

[0063] 其中, $B_y^0$ 表示第二磁分量,第二磁分量可以是关于磁目标在y轴方向上的磁分量;

$B_y^1$ 、 $B_y^2$ 和 $B_y^3$ 表示与第一单轴磁力仪相邻的第二单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第二磁分量方向的磁分量。

[0064] 在一示例中,基于沿第三磁分量方向的磁分量,得到第三磁分量可以通过以下公

式实现：

$$[0065] \quad B_z^0 = \frac{(B_z^1 + B_z^2 + B_z^3)}{3} \quad (2)$$

[0066] 其中,  $B_z^0$  表示第三磁分量, 第三磁分量可以是关于磁目标在z轴方向上的磁分量;  $B_z^1$ 、 $B_z^2$  和  $B_z^3$  表示与第一单轴磁力仪相邻的第三单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第三磁分量方向的磁分量。

[0067] 在应用过程中, 基于第一磁分量  $B_x^0$ 、第二磁分量  $B_y^0$  和第三磁分量  $B_z^0$ , 可以得到关于磁目标的磁成像。磁力仪平面阵列中每个单轴磁力仪测量一个磁分量 (例如, 第一单轴磁力仪测量第一磁分量), 其他两个磁分量靠插值得到, 在本实施例中, 通过插值法可以使磁目标的磁成像图像更加清晰、成像更加丰富。

[0068] 为了进一步介绍本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法, 下面将结合下述实施例进行说明。

[0069] 图4是本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法的流程示意图之二。

[0070] 在本发明一示例性实施例中, 如图4所示, 磁力仪平面阵列组织方法可以包括步骤410至步骤470, 其中, 步骤410至步骤450与前文所述的步骤110至步骤150相同或相似, 其具体实施方式与有益效果请参照前文描述, 本实施例中不再赘述, 下面将介绍步骤460和步骤470。

[0071] 在步骤460中, 确定关于磁目标的磁偶极矩的大小, 以及磁偶极矩的取向。

[0072] 在步骤470中, 基于磁偶极矩的大小、磁偶极矩的取向、第一磁分量、第二磁分量以及第三磁分量, 确定磁目标的位置。

[0073] 在一种实施例中, 在磁目标的定位应用中, 可以使用拟合定位的方法确定磁目标的位置。结合图5可知, 关于磁目标的磁偶极矩大小可以表示为M。磁偶极矩的取向可用方向矢量 (m, p, q) 表示。磁目标的位置坐标可以表示为 (a, b, c)。空间磁场观察点P的坐标可以表示为 (x, y, z)。磁棒到观察点的方向向量可以表示为  $r = (x-a, y-b, z-c)$ 。磁目标参数的磁场可以使用磁偶极子近似, 进而可以得到每一个单轴磁力仪测量的关于磁目标沿x、y、z三个方向的磁场分量。其中, 在x、y、z三个方向的磁场分量可以用以下公式确定:

$$[0074] \quad B_x = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ \frac{3[m(x-a)+p(y-b)+q(z-c)](x-a)}{r^5} - \frac{n}{r^3} \right\} \quad (3)$$

$$[0075] \quad B_y = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ \frac{3[m(x-a)+p(y-b)+q(z-c)](y-b)}{r^5} - \frac{p}{r^3} \right\} \quad (4)$$

$$[0076] \quad B_z = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ \frac{3[m(x-a)+p(y-b)+q(z-c)](z-c)}{r^5} - \frac{q}{r^3} \right\} \quad (5)$$

[0077] 其中,  $B_x$ 、 $B_y$  和  $B_z$  可以通过位于观察点P的单轴磁力仪测量磁目标在x轴、y轴和z轴方向的磁分量 (分别对应第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量) 确定。 $\mu_0$  表示真空磁导率。经过计算, 可以得到关于磁目标的位置坐标 (a, b, c)。

[0078] 需要说明的是,可以利用磁力仪平面阵列组织方法测量关于磁目标的数据,并可以通过拟合的方法得到磁目标的位置和磁矩大小和取向。在本实施例中,对拟合所用的算法不做限制。

[0079] 本发明将结合下述实施例对构建磁力仪平面子阵列的过程进行说明。

[0080] 在本发明一示例性实施例中,可以获取磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角;并将夹角设置为 $60^\circ$ ,以得到磁力仪平面子阵列。

[0081] 在一种实施例中,可以将磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角设置为 $60^\circ$ ,从而得到磁力仪平面子阵列,再基于磁力仪平面子阵列得到磁力仪平面阵列。通过本实施例,可以确保基于磁力仪平面阵列组织方法得到的磁目标的磁成像图像更加均匀,并且减少了在得到磁成像过程中的磁分量串扰。

[0082] 本发明将结合下述实施例对构建磁力仪平面子阵列的过程进行说明。

[0083] 在本发明一示例性实施例中,可以将磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪之间的距离设置为相等距离,以得到磁力仪平面子阵列。

[0084] 在一种实施例中,可以将磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪之间的距离设置为相等距离,从而得到磁力仪平面子阵列,再基于磁力仪平面子阵列得到磁力仪平面阵列。通过本实施例,可以确保基于磁力仪平面阵列组织方法得到的磁目标的磁成像图像更加均匀。

[0085] 需要说明的是,前文所述的实施例可以单独进行实施,也可以组合进行实施。

[0086] 根据上述描述可知,本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法,通过多个磁力仪平面子阵列构建磁力仪平面阵列,并基于磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量,以及基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,并基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量得到关于磁目标的磁成像。基于本发明提供的磁力仪平面阵列组织方法,在获取磁目标的磁成像过程中可以减少磁串扰,且形成均匀的磁成像图像,提高了磁探测的探测效果。

[0087] 基于相同的构思,本发明还提供一种磁力仪平面阵列。

[0088] 下面对本发明提供的磁力仪平面阵列进行描述,下文描述的磁力仪平面阵列与上文描述的磁力仪平面阵列组织方法可相互对应参照。

[0089] 图6是本发明提供的磁力仪平面阵列的结构示意图。

[0090] 在本发明一示例性实施例中,如图6所示,磁力仪平面阵列600可以是由三种正交取向的单轴磁力仪(例如,第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103)排列形成的平面结构。其中,磁力仪平面阵列600可以呈二维六角排列,整体形成二维密堆结构。

[0091] 在一示例中,磁力仪平面阵列600可以包括多个磁力仪平面子阵列610,多个磁力仪平面子阵列610位于同一平面,磁力仪平面子阵列610呈三角状。其中,呈三角状的磁力仪平面子阵列610可以包括分别位于磁力仪平面子阵列610的各顶点的单轴磁力仪。单轴磁力仪可以包括第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103。第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103的取向彼此正交,且第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103交替排列,以使相邻磁力仪平面子阵列610中的单轴磁力仪不同。

[0092] 在本实施例中,不具体限定第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103的取向方向,只要第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103具有正交取向即可。在一示例中,两种单轴磁力仪的取向可以在阵列所在的平面内,且磁力仪轴的取向保持正交,第三种单轴磁力仪取向可以垂直于阵列所在的平面。

[0093] 可以理解的是,在构建的磁力仪平面阵列600中,在相邻磁力仪平面子阵列610中的单轴磁力仪不同。在一示例中,第一单轴磁力仪6101可以与第二单轴磁力仪6102、第三单轴磁力仪相邻6103,但不与第一单轴磁力仪6101相邻。第二单轴磁力仪6102可以与第一单轴磁力仪6101、第三单轴磁力仪相邻6103,但不与第二单轴磁力仪6102相邻。第三单轴磁力仪6103可以与第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102相邻,但不与第三单轴磁力仪6103相邻。

[0094] 本发明提供的磁力仪平面阵列600中,由于每个单轴磁力仪周围最邻近的单轴磁力仪和自身磁分量正交,进而可以保证每个单轴磁力仪测量的磁分量之间的磁串扰最小,为基于磁力仪平面阵列600得到关于磁目标更加准确的磁信息打下基础。

[0095] 在本发明一示例性实施例中,第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103彼此连线后形成的夹角呈 $60^\circ$ 。通过本实施例,可以确保基于磁力仪平面阵列600测量得到的磁目标的磁成像图像更加均匀,并且减少了在得到磁成像过程中的磁分量串扰。

[0096] 在本发明一示例性实施例中,第一单轴磁力仪6101、第二单轴磁力仪6102和第三单轴磁力仪6103彼此间等距离。通过本实施例,使得每种取向的单轴磁力仪周围都具有三个等间距的其他两种取向的单轴磁力仪,可以确保每个单轴磁力仪周围的环境具有一致性,保证了基于磁力仪平面阵列600测量得到的磁目标的磁成像图像更加均匀。

[0097] 在本发明一种实施例中,还可以基于磁力仪平面阵列600进行关于磁目标的磁信息测量。在一示例中,可以确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列600中第一单轴磁力仪6101得到的关于磁目标的第一磁分量。基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交。基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0098] 在应用过程中,磁力仪平面阵列600中每个单轴磁力仪测量一个磁分量(例如,第一单轴磁力仪测量第一磁分量),其他两个磁分量靠插值得到,插值法可以使磁目标的磁成像图像更加清晰、成像更加丰富。

[0099] 在本发明又一示例性实施例中,继续以前文所述的实施例为了进行说明,还可以确定关于磁目标的磁偶极矩的大小,以及磁偶极矩的取向。基于磁偶极矩的大小、磁偶极矩的取向、第一磁分量、第二磁分量以及第三磁分量,确定磁目标的位置。通过本实施例,可以于磁力仪平面阵列600得到关于磁目标的位置信息。

[0100] 基于相同的构思,本发明还提供一种磁力仪平面阵列组织装置。

[0101] 下面对本发明提供的磁力仪平面阵列组织装置进行描述,下文描述的磁力仪平面阵列组织装置与上文描述的磁力仪平面阵列组织方法可相互对应参照。

[0102] 图7是本发明提供的磁力仪平面阵列组织装置的结构示意图。

[0103] 在本发明一示例性实施例中,如图7所示,磁力仪平面阵列组织装置可以包括获取模块710、构建模块720、确定模块730和处理模块740,下面将分别介绍各模块。

[0104] 获取模块710可以被配置为用于获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,可以包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪。单轴磁力仪可以包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向彼此正交。

[0105] 构建模块720可以被配置为用于基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同。

[0106] 确定模块730可以被配置为用于确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的关于磁目标的第一磁分量。

[0107] 处理模块740可以被配置为用于基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交,以及基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0108] 在本发明一示例性实施例中,处理模块740可以采用以下方式基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量:基于与第一单轴磁力仪相邻的第二单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第二磁分量方向的磁分量,以及基于与第一单轴磁力仪相邻的第三单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第三磁分量方向的磁分量;基于沿第二磁分量方向的磁分量,得到第二磁分量,以及基于沿第三磁分量方向的磁分量,得到第三磁分量。

[0109] 在本发明一示例性实施例中,处理模块740可以采用以下方式基于沿第二磁分量方向的磁分量,得到第二磁分量,以及基于沿第三磁分量方向的磁分量,得到第三磁分量通过以下公式实现:

$$[0110] \quad B_y^0 = \frac{(B_y^1 + B_y^2 + B_y^3)}{3} \quad (6)$$

$$[0111] \quad B_z^0 = \frac{(B_z^1 + B_z^2 + B_z^3)}{3} \quad (7)$$

[0112] 其中,  $B_y^1$ 、 $B_y^2$ 和 $B_y^3$ 为与第一单轴磁力仪相邻的第二单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第二磁分量方向的磁分量; $B_z^1$ 、 $B_z^2$ 和 $B_z^3$ 为与第一单轴磁力仪相邻的第三单轴磁力仪得到关于磁目标的沿第三磁分量方向的磁分量; $B_y^0$ 为第二磁分量; $B_z^0$ 为第三磁分量。

[0113] 在本发明一示例性实施例中,确定模块730还可以被配置为用于确定关于磁目标的磁偶极矩的大小,以及磁偶极矩的取向,处理模块740还可以被配置为用于基于磁偶极矩的大小、磁偶极矩的取向、第一磁分量、第二磁分量以及第三磁分量,确定磁目标的位置。

[0114] 在本发明一示例性实施例中,获取模块710可以采用以下方式构建磁力仪平面子阵列:获取磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪彼此连线后形成的夹角;将夹角设置为 $60^\circ$ ,以得到磁力仪平面子阵列。

[0115] 在本发明一示例性实施例中,获取模块710可以采用以下方式构建磁力仪平面子阵列:将磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪之间的距离设置为相等距离,以得到磁力仪平面子阵列。

[0116] 图8示例了一种电子设备的实体结构示意图,如图8所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)810、通信接口(Communications Interface)820、存储器(memory)830和通信总线840,其中,处理器810,通信接口820,存储器830通过通信总线840完成相互间的通信。处理器810可以调用存储器830中的逻辑指令,以执行磁力仪平面阵列组织方法,该方法包括:获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向彼此正交;基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同;确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的所述磁目标的第一磁分量;基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交;基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0117] 此外,上述的存储器830中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0118] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括计算机程序,计算机程序可存储在非暂态计算机可读存储介质上,所述计算机程序被处理器执行时,计算机能够执行上述各方法所提供的磁力仪平面阵列组织方法,该方法包括:获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向彼此正交;基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同;确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的所述磁目标的第一磁分量;基于差值算法,得到关于磁目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交;基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0119] 又一方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各方法提供的磁力仪平面阵列组织方法,该方法包括:获取多个磁力仪平面子阵列,其中,多个磁力仪平面子阵列位于同一平面,磁力仪平面子阵列呈三角状,包括分别位于磁力仪平面子阵列的各顶点的单轴磁力仪,单轴磁力仪包括第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪,第一单轴磁力仪、第二单轴磁力仪和第三单轴磁力仪的取向彼此正交;基于多个磁力仪平面子阵列,构建磁力仪平面阵列,以使相邻磁力仪平面子阵列中的单轴磁力仪不同;确定磁目标,以及确定磁力仪平面阵列中第一单轴磁力仪得到的所述磁目标的第一磁分量;基于差值算法,得到关于磁

目标的第二磁分量和第三磁分量,其中,第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量彼此正交;基于第一磁分量、第二磁分量和第三磁分量,得到关于磁目标的磁成像。

[0120] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0121] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中,如ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0122] 进一步可以理解的是,本发明实施例中尽管在附图中以特定的顺序描述操作,但是不应将其理解为要求按照所示的特定顺序或是串行顺序来执行这些操作,或是要求执行全部所示的操作以得到期望的结果。在特定环境中,多任务和并行处理可能是有利的。

[0123] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

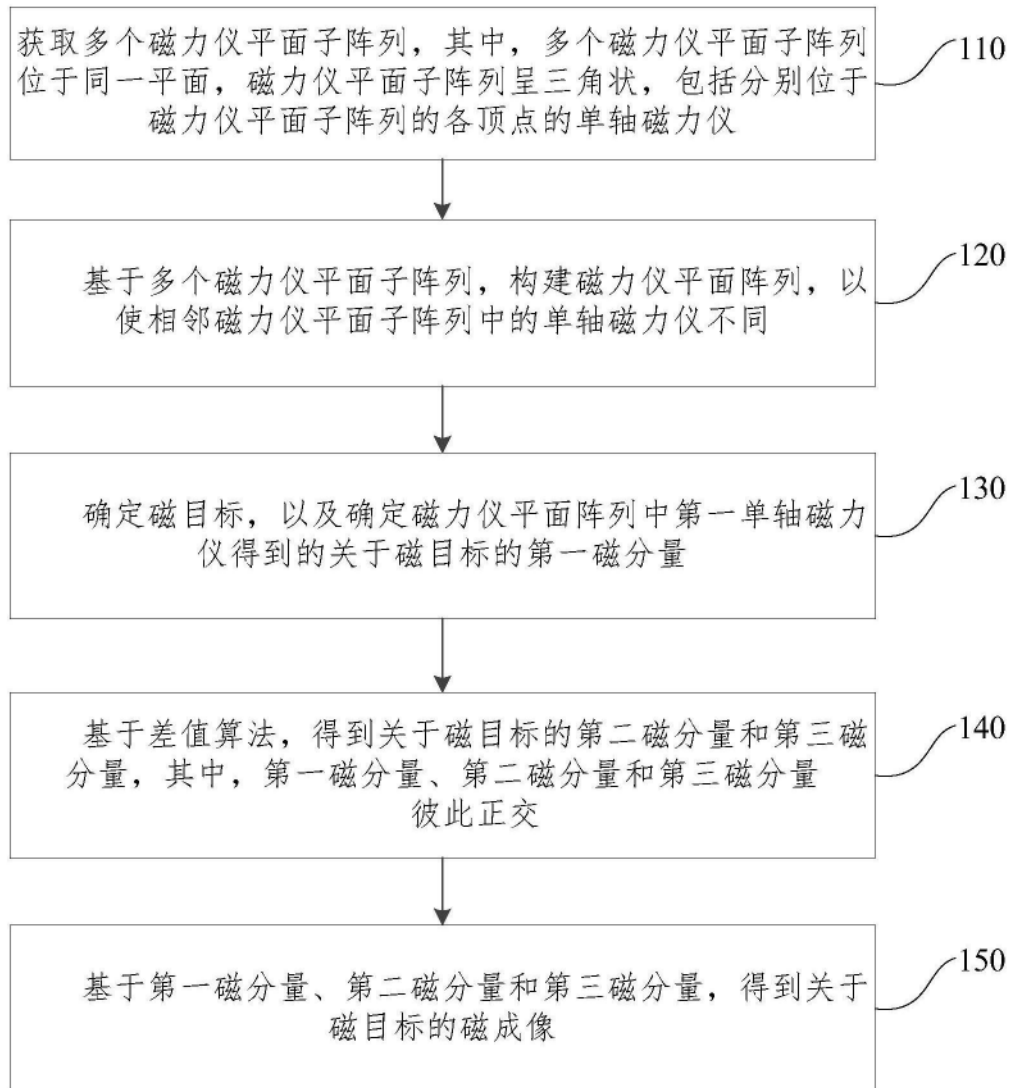


图1

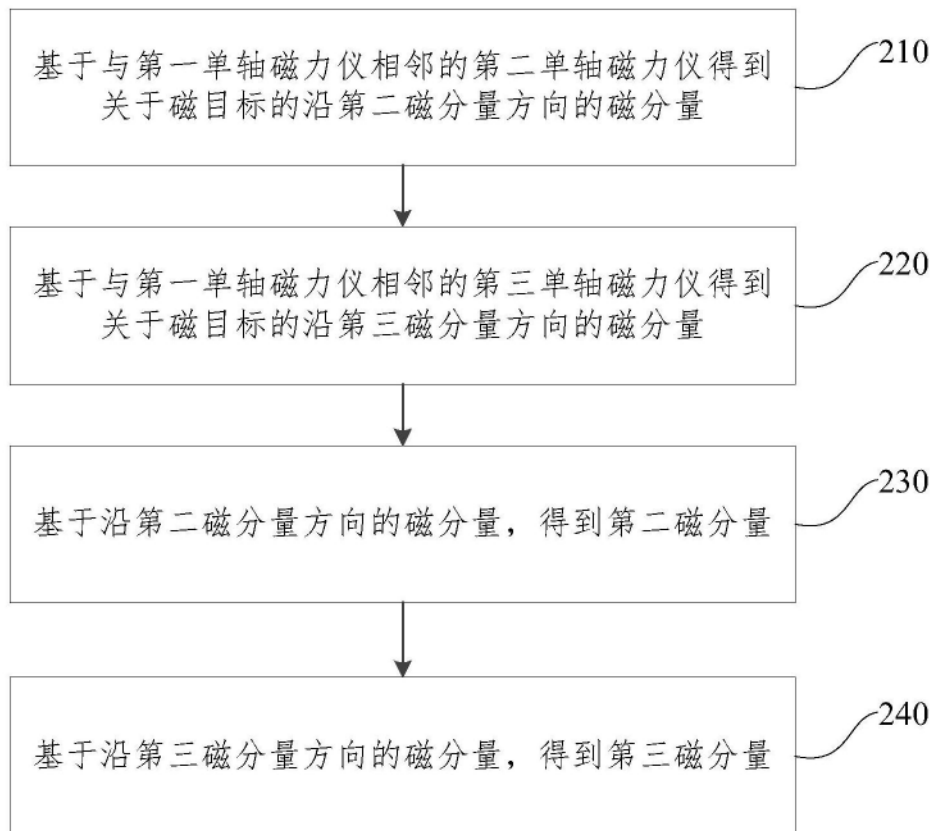


图2

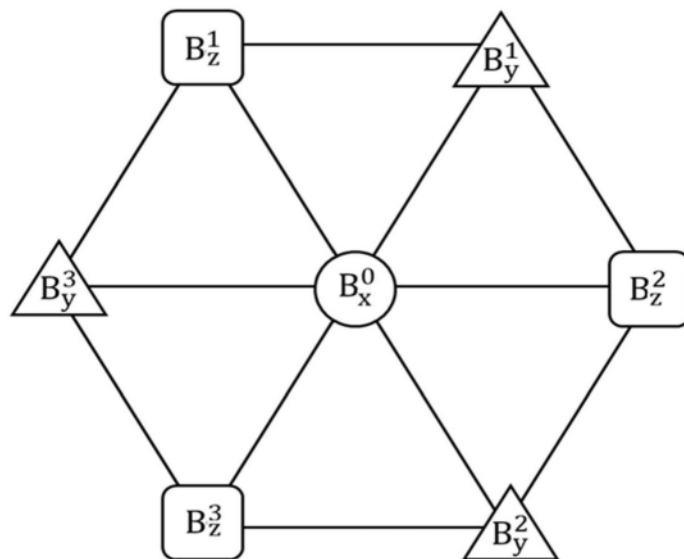


图3

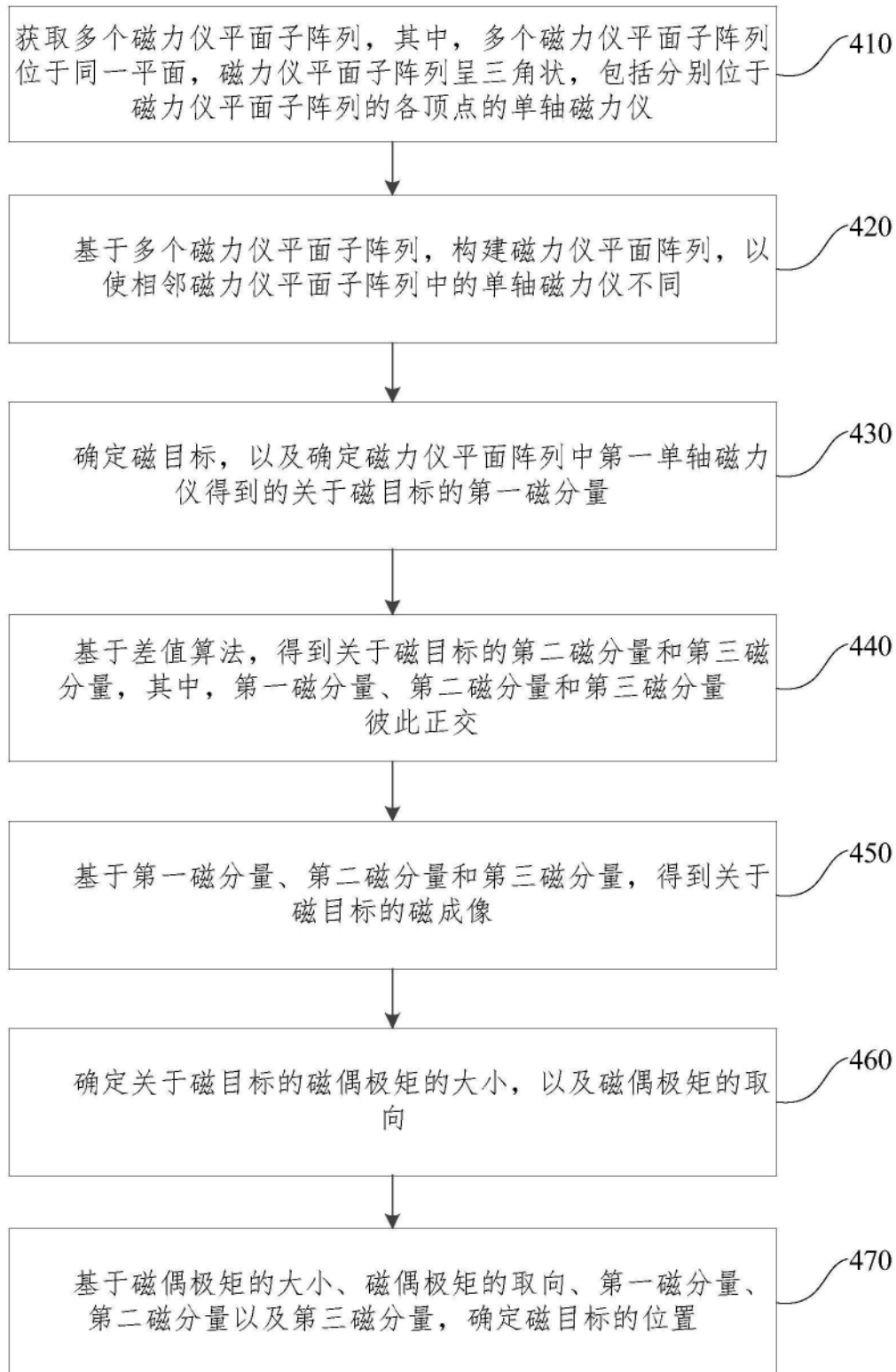


图4

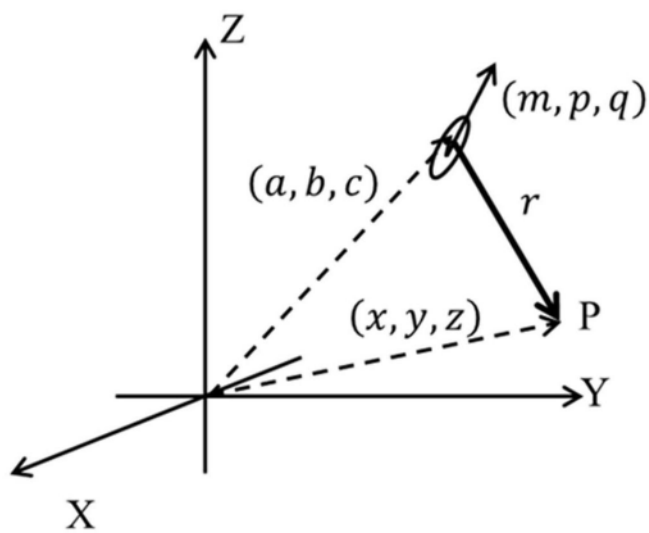


图5

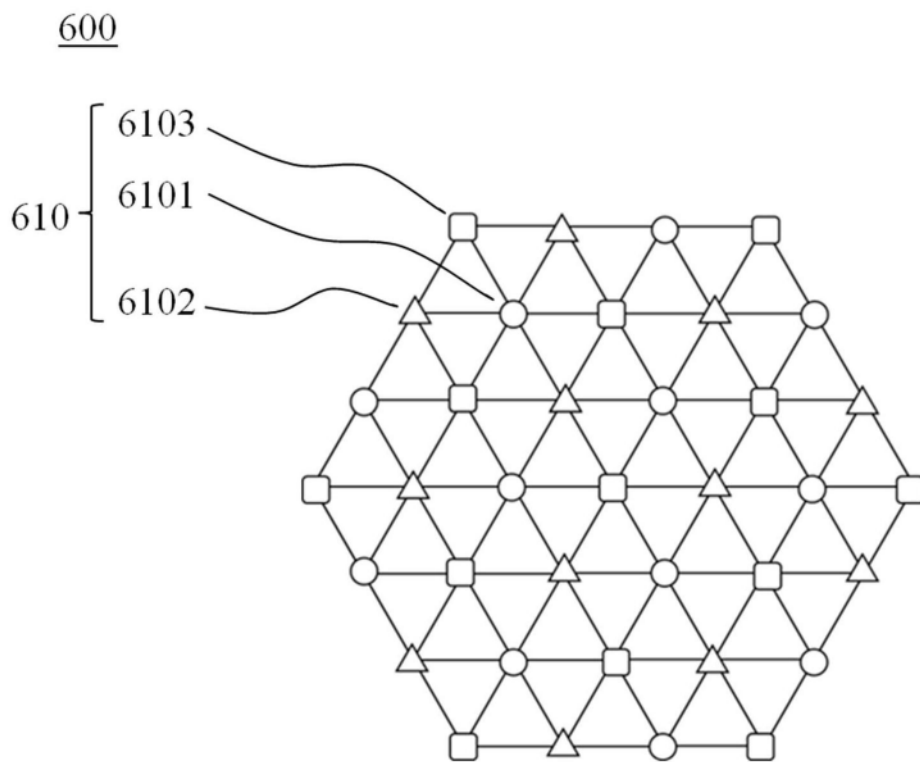


图6

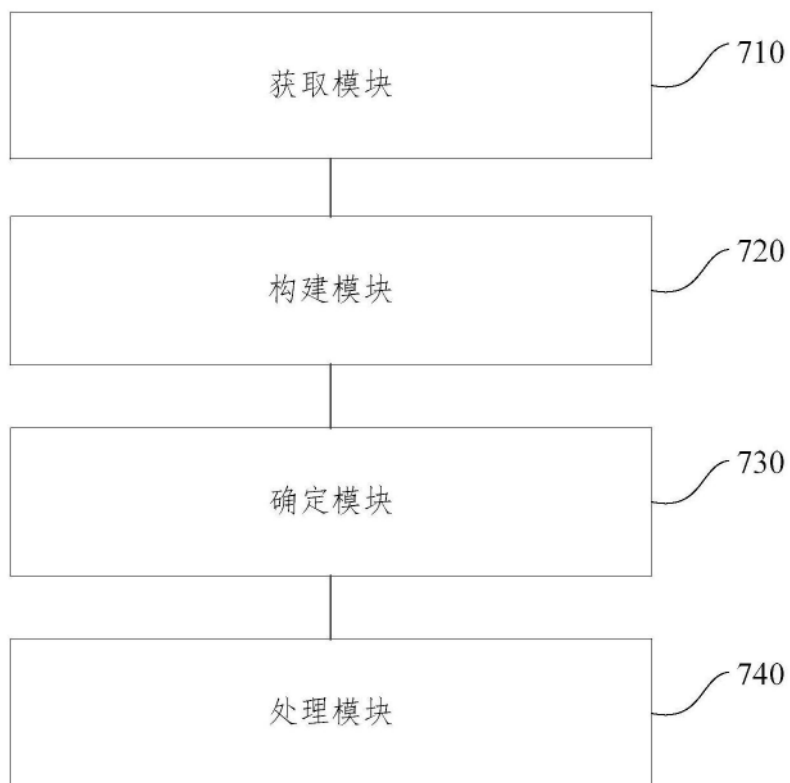


图7

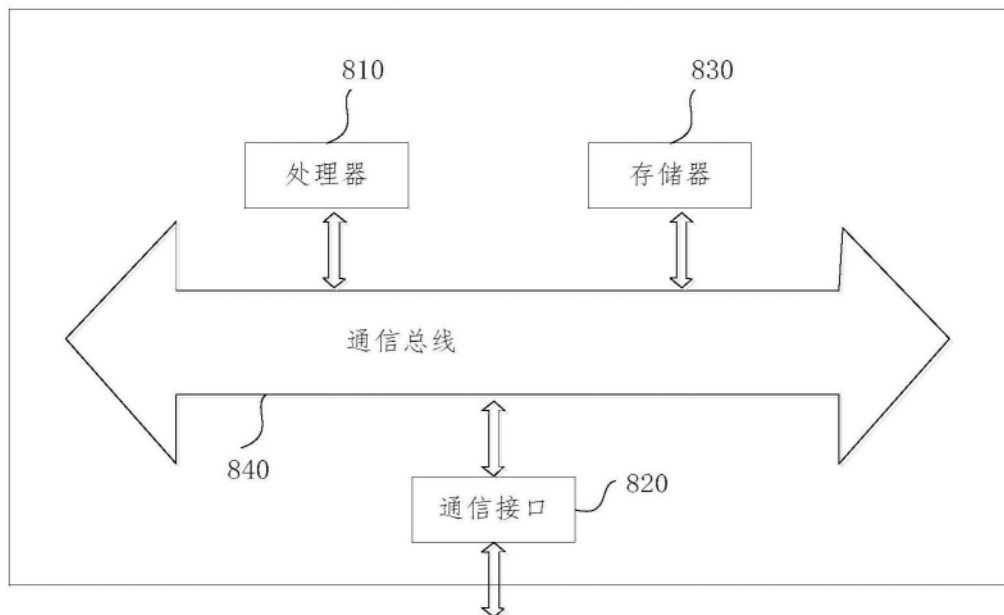


图8