

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95196143.8

[45]授权公告日 2002年3月6日

[11]授权公告号 CN 1080413C

[22]申请日 1995.8.22 [24]颁证日 2002.3.6

[21]申请号 95196143.8

[30]优先权

[32]1994.11.9 [33]DE [31]P4439945.6

[86]国际申请 PCT/EP95/03330 1995.8.22

[87]国际公布 WO96/15424 德 1996.5.23

[85]进入国家阶段日期 1997.5.9

[73]专利权人 莱卡地球系统公开股份公司

地址 瑞士希尔布鲁格

[72]发明人 F·迪特里希

审查员 李璐

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 马铁良 萧掬昌

权利要求书5页 说明书9页 附图页数0页

[54]发明名称 由磁罗盘指示的稳定方向的方法

[57]摘要

这是由磁罗盘指示的一种使运动物体在磁场、尤其是在地磁场中能够抵消磁干扰而稳定方向的方法。在第一无干扰测区对一测点测量其磁场矢量的分量,考虑到测量分量随时间的变化情况,需确定磁场强度的绝对值并以其作为函数确定一个品质函数,该品质函数是测得的磁场矢量分量随时间分布的一个度量和磁场强度值品质的度量。对其他测点,利用该品质函数和已测得的分量值估算在该测点的磁场矢量以及测量这些磁场矢量的空间分量。通过测量再确定另一条品质函数,它与第一条品质函数组合成一条权重函数,用权重函数重新计算的磁场矢量分量,以获得具有稳定分量的稳定磁场矢量。该方法可以通过迭代法进行。

ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 用于稳定磁罗盘本身方向指示的方法，在一种磁场，尤其是在地磁场或生成的传导场中运动的物体抵消硬磁性或软磁性干扰（的方法），其中

5 a) 在第一测区 a 的至少一个位于一个磁场无干扰区内的测点 P_a 的给定的空间坐标系 $R(X_1, X_2, X_3)$ 中，在连续的时刻点 t_1 对磁场的各磁场矢量 B_{ai} 的三个空间分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 进行 I 次测量 ($I \geq 2$),

10 此时，从各磁场矢量 B_{ai} 的分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 中计算出

i. 各分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 及磁场强度 $|B_{ai}|$ 的绝对值;

ii. 及/或每次测量的磁场强度 $|B_{ai}|$ 各自的绝对值,

15 b) 根据计算出的绝对值 $|B_{ai}|$ 及/或分别测量的磁场矢量的分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 确定一个品质函数 Q_i ，该品质函数是对在时刻 t_1 及测点 P_a 测得的磁场矢量的分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 的测量值进行分配的尺度，也是磁场强度值品质的尺度。

c) 在随后作为时刻 t_1 的时刻 $K(K \geq 1)$ 的另一个测点 P_b ，对磁场矢量 B_k 的分量 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$ 进行测量，

d) 根据

20 i. 从分量 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$ 为每次测量计算出各自的绝对值

$|B_{bk}|$;

ii. 及/或各分别测得的磁场矢量 B_k 的分量 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$,

25 确定品质函数 Q_k ，该品质函数是对在时刻 t_k 及在测点 P_b 测得的磁场矢量的分量 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$ 的测量值进行分配的尺度，也是度量磁场强度值品质的尺度，

e) 以测点 P_a 、时刻 t_1 的品质函数 Q_i ，以及测点 P_b 、时刻 t_k 的品质函数 Q_k 作为函数，确定权重函数或权重矩阵 G_k ，

f) 利用权重函数或权重矩阵 G_k 对新的磁场矢量 B_b 的分量 B_{bk}^1 , B_{bk}^2 , B_{bk}^3 权重, 以获得具有稳定分量 B^{stab1} , B^{stab2} , B^{stab3} 的稳定磁场矢量 B^{stab} .

5 g) 当需要时, 在随后的时刻、在其它的测点 P 及/或其它的测区中, 可以为其它测量重复步骤 c) 和 f), 并分别确定一个权重函数或权重矩阵, 以获得其它稳定分量。

2. 根据权利要求 1 的方法, 其特征在于,

至少品质函数 Q_i 和 Q_k 之一定义为 Q 类的品质函数,

10 其中, 分量 B_n^m 广义地适用于分量 B_{ai}^1 , B_{ai}^2 , B_{ai}^3 或 B_{bk}^1 , B_{bk}^2 , B_{bk}^3 , 数字 N 适用于相应的数字 I 或 K,

i. 按以下公式, N (次) 测得的磁场矢量 B_n 的变数值 $|B_n|$ 的倒数之和为:

$$Q = 1 / \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (|B_n| - |B|)^2 \right]$$

15

其中, $|B_n| = [(B_n^1)^2 + (B_n^2)^2 + (B_n^3)^2]^{1/2}$ 表示一个磁场矢量 B_n 的值;

其中, $|B| = [(B^1)^2 + (B^2)^2 + (B^3)^2]^{1/2}$, 以

20

$$B^m = B^n = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N B_n^m \right), \quad B_n^m \text{ 作为单次测量的分量, 表示}$$

由分量的平均值计算出的绝对值,

或

ii. N 次测得的磁场矢量 B_n 的各分量 B_n^m 的变量的倒数之和:

25

$$Q = 1 / \left[\frac{1}{N} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^N (|B_n^m| - |B^m|)^2 \right]$$

$$\text{其中, } B^m = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N B_n^m \right)。$$

3. 根据前述权利要求之一的方法, 其特征在于,

5

品质函数 Q_k 定义为 Q 类的品质函数,

其中, 分量 B_n^m 广义地适用于分量或 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$, 数字 N 适用于相应的数字 K, 估计绝对值 $|\hat{B}|$ 及/或估计平均值 $|\hat{B}^m|$ 分别在分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$ 的基础上求得,

i. 按以下公式, N 次测得的磁场矢量 B_n 与估计绝对值 $|\hat{B}|$ 的平方差的倒数之和为:

10

$$Q = 1 / \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (|B_n| - |\hat{B}|)^2 \right]$$

其中, $|B_n| = [(B_n^1)^2 + (B_n^2)^2 + (B_n^3)^2]^{1/2}$ 表示一个磁场

15

矢量 B_n 的值;

或

ii. N 次测得的磁场矢量 B_n 的各分量 B_n^m 与估计平均值 $|\hat{B}^m|$ 的平方差的倒数之和为:

20

$$Q = 1 / \left[\frac{1}{N} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^N (B_n^m - |\hat{B}^m|)^2 \right]。$$

4. 根据权利要求 1 的方法, 其特征在于,

在第一测区 a, 与测点 P_a 测得各磁场矢量 B_{ai} 的分量 $B_{ai}^1, B_{ai}^2, B_{ai}^3$

同时, 在另一测点 $P_{a'}$ 对磁场矢量 $B_{a'i}$ 的三个分量 $B_{a'i}^1, B_{a'i}^2,$

25

$B_{a'i}^3$ 进行进一步的测量,

及/或

对磁场矢量 B_{bk} 的三个分量 $B_{bk}^1, B_{bk}^2, B_{bk}^3$ 进行测量的另一测点 P_b

在测区 b 内, 同时, 在同一测区 b 内的另一个测点 $P_{b'}$ 对磁场矢量

$B_{b'k}$ 的三个分量 $B^1_{b'k}$, $B^2_{b'k}$, $B^3_{b'k}$ 进行测量。

5. 根据权利要求 4 的方法，其特征在于，

在测区 A 内的磁场强度 $|B_a|$ 的分量 B^1_a , B^2_a , B^3_a 及/或在测区 B 内的磁场强度 $|B_b|$ 的分量 B^1_b , B^2_b , B^3_b 通过计算在一个测区内的不同测点测得的单值的平均值加以确定：

$$B_a^m = \frac{1}{I} \left(\sum_{i=1}^I \frac{1}{2} (B_{a_i}^m + B_{a_i'}^m) \right) \quad \text{或} \quad B_b^m = \frac{1}{K} \left(\sum_{k=1}^K \frac{1}{2} (B_{b_k}^m + B_{b_k'}^m) \right)。$$

6. 根据权利要求 4 或 5 之一的方法，其特征在于，

至少品质函数 Q_i 和 Q_k 之一的函数定义为 Q 类型品质函数，并定为在测区 X 内的不同测点 P_x, P_x' 上分量 $B_{x_n}^m, B_{x_n'}^m$ 的平方差的倒数之和：

$$Q = 1 / \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^3 (B_{x_n}^m - B_{x_n'}^m)^2 \right]，$$

其中广义而言，

分量 $B_{x_n}^m$ 适用于分量 $B^1_{a_i}, B^2_{a_i}, B^3_{a_i}$ 或 $B^1_{b_k}, B^2_{b_k}, B^3_{b_k}$ ；

分量 $B_{x_n'}^m$ 适用于分量 $B^1_{a'_i}, B^2_{a'_i}, B^3_{a'_i}$ 或 $B^1_{b'_k}, B^2_{b'_k}, B^3_{b'_k}$ ；

测区 X 适用于测区 A 或 B 之一，

测点 P_x, P_x' 适用于测点 P_a, P_a' 或测点 P_b, P_b' 以及

数字 N 适用于相应的数字 I 或 K。

7. 根据前述权利要求之一的方法，其特征在于，

权重函数 G_k 按以下公式由品质函数 Q_i, Q_k 求得：

$$G_k = Q_k / (Q_i + Q_k)。$$

8. 根据前述权利要求之一的方法，其特征在于，
具有稳定分量 $B^{\text{stab}1}$, $B^{\text{stab}2}$, $B^{\text{stab}3}$ 的稳定磁场矢量 B^{stab} 。按以下公式
求得：

5

$$\begin{aligned} B^{\text{stab}1} &= B_a^1 + G_k (B_b^1 - B_a^1) \\ B^{\text{stab}2} &= B_a^2 + G_k (B_b^2 - B_a^2) \\ B^{\text{stab}3} &= B_a^3 + G_k (B_b^3 - B_a^3) \end{aligned}$$

说明书

由磁罗盘指示的稳定方向的方法

本发明涉及一种由磁罗盘指示稳定方向的方法。

5 在 US 5,235,514A 中公开了一种为运行工具设计的导航系统。该系统组件包括一个可用来控制运行方向和某个运动体旋转角速度的传感器和一个可用来测量地磁场的磁场传感器。由对地磁场的测量得值可以确定一个运动体自身的确切方向。当运动体被磁化时，地磁场会叠加上去，磁场传感器就会出现输出错误。要避免这种错误，就需对磁场传感器进行测前校准。但当运动体经过含磁干扰区时，如经过铁道交叉口，
10 底下有列车通过，地下埋有强电流电缆、钢筋混凝土城墙等等区域时，运动体就会受到强磁干扰，其磁化特性也因之而改变。

另一方面，为使传感器适用于自运动体旋转角速度方向之确定，同样也存在着有关准确度方面的困难，如刚才在 US 5,235,514A 中介绍的那样。
15

为了克服这一困难，上述 US 5,235,514A 专利建议了一种导向控制装置，该装置可以确切地估算自运动体的即时航向，分析各自的误差因素并予以确认，含有当时磁传感器的方向数据和角速度传感器的角速度数据。进一步将确定当前角速度传感器和磁传感器测量数据对已有测量数据的贡献大小。在计算范围内对自运动体的大概方向可应用卡尔曼过滤器算出期望值或估计值。
20

1984 年德国定位和航海协会在德国明斯特市举行了“国家航海工具”学术交流会，会议报告中探讨了强干扰如铁路桥等对地磁场的影响问题，在 Rogge 的文章中（18.23 和 18.24 页）。提出了一种可能的方法来抑制这类干扰，即在磁流闸门上装一个简单的，短期稳定的传感器，当磁流闸门和附加传感器之间测量结果差值大时，可以相信附加传感器的测量结果。
25

在这一会议报告中，另一种抑制干扰的可能方法是在一个工具箱中安装两个彼此隔开的磁流闸门。这样，干扰源会对这两个磁流闸门产生不同的影响，干扰矢量之差基本上就可以抵消了。
30

再有一种抑制干扰的可能方法是基于这样的事实，即未受干扰的地磁场，其水平分量在大范围内是个常数，若这个分量突然发生变化就可

得出结论，地磁场受到了干扰。只要干扰存在，角度值就不能用来确定方向。在干扰结束之后可以在干扰前后的方向角之间作内插。这种方法是不确切的，在市区间行进时前后方向角应该一直保持同样大小。

5 在 DE 40 03 563 C2 专利中公开过一种用一个地磁传感器来确定运行工具行驶方向的方法。这个感传器具有两个线圈绕组，它们彼此垂直相交，处于水平状态，绕在一个环形磁芯上。当运行工具在均匀的地磁场中

10 转一圈并由传感器的线圈绕组将收集到的测量数据点在一个水平坐标系中绘出时，由汇总的测量数据点就可作出一个测量数值圈回路。一般情况下，在运行工具行驶期间，运行方向在数值圈零点到实际的测绘点之间给出。然而，由于地磁场的干扰，运行工具构件会磁化，此时测值圈中间的点会改变或挪动而造成方向测定失误。为校正这一误差，运行工具必须重新转一整圈并确定新的中间点。若要在不利的磁化环绕场所作出准确的校准，就须对在受到干扰和未受到干扰的环绕场所中收集到的测量数据进行可信度评估，而对中间点的重新确认，须权衡以前的

15 中点和由新数据定义的当前的中点，并满足于数据的可信度。

在 EP 0 226 653A1 专利中公开了一种将三轴磁力仪固定在飞机上来确定方向角的方法。用含铁芯的交变贯穿磁流线圈作传感器，通过自动校准可以补偿飞机上磁场干扰导致的方向精确度误差。对此，在未受干扰的环形场中须作一次确定初始参考方向的校准飞行，这次飞行包含

20 预先确认的飞行状况。由此才能掌握当前的磁场分量与参考分量的偏离度并输入一台计算机中。这种由一定的校准函数确定的修正系数还依赖于飞机飞行的姿势角。这些计算公式建立在各个卡尔曼过滤器公式上，特别适合于重复计算情况。通过对各个新偏差的观测可在以往的系数中算出新的系数。

25 专利 EP0 145 950A1 中公开过一种为电车运行而设计的众所知晓的推算航行法。其中地磁场矢量利用在运行器上安装着的两个空间上相互隔开的磁场探针进行测量，利用与各个探针分开的干扰场矢量作校正。由一个比较器对地磁场矢量的这两个值作对比。若这两个值不一致，就必须利用最后算出的地磁场矢量重新计算干扰场矢量。

30 本发明的目的是提出一种方法，可抵消非持续的外界干扰，由磁罗盘指示而稳定方向的方法。

这一目的通过下述相继的权利要求 1 至 3 的特征来实现。

本发明方法的主导思想与地磁场有关。作为补充使用了简单的实例以之说明。

第一步

5 在一个已知的空间坐标系中，一个初测点位于未受干扰的磁区，对其地磁场矢量的各个分量作连续多次例如十次测量，由这些测得的场分量可知场分量随时间的变化情况。在考虑随时间变化的情况下，由测得的场分量计算初始场矢量的场分量，并由初始场分量计算场强的绝对值。

10 其他可表征地磁场变化过程以获得输出值的可能的办法，概述如下：

- 1) 测量与地理位置相关的场梯度（在多处测量），
- 2) 在了解了地理位置的情况下，通过一个数学模型的计算来确定场特性。只要大致了解了地表面位置就可以利用算法（例如著名的 GEOMAG；MAGVAR；IGRF）来计算地磁场的场特性。人为设定的准静态主导场几何模型可以在借助于 Biot-Savart 定理或直接经麦克斯韦方程计算，
- 15 3) 利用 GPS 系统（GPS：地球物理学地理位置系统；MAGVAR 模型）确定场特性，
- 4) 由数字卡确定场特性，
- 20 5) 利用另一个附加的传感器确定场特性。例如可以用光学测距传感器确定到其他运行工具间的距离并至少可确定场的失真量，
- 6) 通过使用用户输入（干扰/无干扰）确定磁场特性。最终有可能通过使用用户输入（干扰/无干扰）信息将确切的磁干扰状况以定量的形式告知系统。

25 作为第一步，利用具体的实例，由各个场分量当时的测量值可以确定它们的平均值和分散值。分散值包含初测点场分量随时间波动幅度的大小信息，因而地磁场越稳定，场分量的分散值就越小。由场分量的平均值可以计算场强的初始绝对值。由场分量的各个测量值可以对各次测量情况计算场强的各个绝对值。

30 第二步

一般情况下现在可以确定一个品质函数，以便度量在初测点处的场矢量的品质，即稳定度。

品质函数的计算有如下许多种方法:

- 1) 使用卡尔曼过滤器,
- 2) 使用最大可能性操作者工具,
- 3) 使之适合经验算法分布式,
- 5 4) 利用神经网络,
- 5) 利用模糊逻辑,
- 6) 利用定律系统,
- 7) 利用其他专家系统。

10 在实际情况下, 品质函数中各场强绝对值与其初始绝对值之差是由二次幂相加而得到的, 其和除以测量总数的倒数值就是品质函数。在这种情况下品质函数是一个纯数, 即一个标量。测量时场分量的振幅越强, 各所得之差就越大, 而品质函数值就越小。

第三步

15 然后须对新的测量点确定估计值, 或者确切地说, 须对场强的绝对值以及/或者也要对各个场分量在新测试点确定期望值。这样就须以各计算得到的场强绝对值和/或以各场分量的测量值作为出发点了。

20 进一步, 在新的测点和起始测点都要对地磁场矢量分量进行多次测量, 由这些测得的场分量可再次得知场分量随时间的变化情况。在考虑到随时间变化的因素下需由测量到的场分量计算新场矢量的场分量, 并由新的场矢量分量计算场强的绝对值。

估算三个场分量的实际目标值可以通过如下方式:

- 1) 利用以前报道的数值, 即以其作为实际目标值采用;
- 2) 由过去的测量值作数学外推;
- 3) KI - 法;

25 对实际情况而言, 利用这三个步骤可以在新的测点处, 由当时场分量的各个测值确定它们的平均值和它们的分散值。此处, 分散值也包括新测点处场分量随时间波动幅度的信息。由场分量的平均值可以计算新测点处的场强绝对值。由场分量的测量值可以对各次测试计算各自的场强绝对值。

30 第四步

至此可由新测点以及初始测点处的测量结果确定一个新的品质函数。通过这两条品质函数可以确定一个权重函数, 该权重函数可能是依

赖于品质函数形式的一个标量或一个矩阵。

在实际情况下可以假设初始测点处的场矢量是新测点处场矢量的期望值或估算值。如前所述，初测点处的场矢量可由在那里测量到的场分量中值算出。

- 5 根据在新测点处的各个已测场分量可以再次计算它们的平均值和它们的分散值，并由此计算新测点处场矢量的绝对值。新的品质函数可按以上同样的方式描写，但现在需以新测量值作为计算的出发点了。

由这两个品质函数来计算一个权重函数。为此，需用新的品质函数除以新、旧品质函数之和。这里的权重函数是一个标量。

10 第五步

在新测点处的场矢量分量可借助于初测点处得到的场矢量分量利用权重函数进行权重，以获得一个稳定的场矢量。

- 15 在具体例子中，可以绘出新测点与初测点间场矢量的各个场分量之差，并用权重函数相乘。这里权重函数是一个标量。由此得到的值需与初始测点处场矢量相应的场分量相加，从而构成一个新的场矢量，它具有稳定的场矢量特征。

这种算法可以继续，以在其他测点处获得稳定的矢量分量。

- 20 可以看出，不管是对初测点还是对其他测点，各个测量值都是应用同样的运算程序求得品质函数的。这些品质函数与一个确定的权重函数相关连。以此标准来度量其他测点处确定的场矢量，修改初测点处的场矢量，从而获得稳定的场矢量。

例 1

进一步的解释需用数学方法更详细地描述以前例举的例子。

第一步

- 25 在一个固定的初测点 p_a ，利用安装在某个运行工具上的一个磁罗盘，从时刻 $t=t_1$ 到时刻 $t=t_{10}$ ，对场矢量的三个场分量 B^1_{1+i} ， B^2_{1+i} ， B^3_{1+i} 作十次测量。

第二步

- 30 对该运行工具情形，场分量的测量基本上是常数。场强 B_1 的实际分量 B^1_1 ， B^2_1 ， B^3_1 由各值的平均值形式确定：

$$B^m_1 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} B^{m,1-i}$$

5 $m=1, \dots, 3$, 其中 m 是三个分量的指数。

由算出的场强 B_1 的平均值 B^1_1, B^2_1, B^3_1 计算绝对值 $|B_1|$:

$$|B_1| = [(B^1_1)^2 + (B^2_1)^2 + (B^3_1)^2]^{1/2}$$

10 第三步

以在不同时刻测得的磁场的各个分量 B^1_i, B^2_i, B^3_i 为基点, 可得出一个品质函数 Q_1 , Q_1 为测得的场矢量 $|B_i|$ 差之和的倒数:

$$Q_1 = 1 / \left[\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (|B_{1+i}| - |B_1|)^2 \right]$$

15

$$\text{其中 } |B_{1+i}| = [(B^1_{1+i})^2 + (B^2_{1+i})^2 + (B^3_{1+i})^2]^{1/2}$$

品质函数可以度量初测点处的场质量。各个值的波动幅度越大, Q_1 值就越小。这里 Q_1 是个标量数值。对模糊情况为 $\pm 1/Q_1^{1/2}$ 。

第四步

20 运行工具运行到一个新的测一点 p , 此时的时间为 t_j 。利用算出的绝对值 $|B_1|$ 及品质函数 Q_1 可以确定场强 B_j 的绝对值 $|B_j|$ 的期望值, 设定新、旧测点的绝对值是一样的, 即 $|B_j| = |B_1|$ 。

第五步

25 在相对于初测点延迟到 t_j 时刻的新测点, 对三个场分量作十次测量, 相应地重复前面的步骤二至四, 就可在新测点得到三个分量 B^1_j, B^2_j, B^3_j , 绝对值 $|B_j|$ 以及品质函数 Q_j 。

第六步

以算出的品质函数 Q_1 和品质函数 Q_j 为函数, 可以确定一个权重函数或者一个权重矩阵如下:

30

$$G_j = Q_j / (Q_1 + Q_j)$$

第七步

场矢量 B_j 的分量 B_j^1, B_j^2, B_j^3 可由权重矩阵利用初测点处测得的场强 B_i 的分量 B_i^1, B_i^2, B_i^3 来进行权重, 从而获得一个稳定的场矢量 B^{stab} , 它具有稳定的场分量 $B^{stab1}_j, B^{stab2}_j, B^{stab3}_j$ 特征:

$$\begin{aligned} 5 \quad B^{stab1}_j &= B^1_{i1} + G_j(B^1_j - B^1_{i1}) \\ B^{stab2}_j &= B^2_{i1} + G_j(B^2_j - B^2_{i1}) \\ B^{stab3}_j &= B^3_{i1} + G_j(B^3_j - B^3_{i1}) \end{aligned}$$

这种算法可以继续下去, 而在其他测点处得到稳定的矢量分量。

10

例 2

作为本发明方法的另一例子, 来看处于笛卡儿坐标系中的地磁场的三个分量。利用两个数字式磁罗盘作传感器测量这三个分量。这两个磁罗盘由一辆运行工具带往测区 I 的两个不同位置 $p^k (k=1,2)$ 。

15 第一步

将每个传感器固定在初测点从时刻 $t=t_1$ 到 $t=t_{10}$ 测量位置 p^1 处的场矢量 B^1_{i1} 的三个场分量 $B^{11}_{1+i}, B^{21}_{1+i}, B^{31}_{1+i}$ 和位置 p^2 处的场矢量 B^2_{i2} 的三个场分量 $B^{12}_{1+i}, B^{22}_{1+i}, B^{32}_{1+i}$ 。

第二步

20 在该运行工具的初测区, 场分量的测量基本上是常量, 与各测量位置 $p^k (k=1,2)$ 无关。场强 B_i 的实际分量 $B^1_{i1}, B^2_{i1}, B^3_{i1}$ 由各个值的平均值形态确定:

$$25 \quad B^m_{i1} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \frac{1}{2} (B^{m1}_{1+i} + B^{m2}_{1+i})$$

其中 m 是三个场分量的指数。

经验表明, 由两个传感器测出的各个分量对之间具有一个差值常数, 该常数只是随这两个传感器通常有不同的噪声变动。因此, 对两个传感器作平均是正确的。

30 由场强 B_i 算出平均值 $B^1_{i1}, B^2_{i1}, B^3_{i1}$, 计算其绝对值 $|B_i|$:

$$|B_i| = [(B^1_{i1})^2 + (B^2_{i1})^2 + (B^3_{i1})^2]^{1/2}$$

第三步

利用在两个不同测位处测得的各个场分量值,即在测位 p^1 处测得的场分量 B^{11}_{1+i} , B^{21}_{1+i} , B^{31}_{1+i} 和在测位 p^2 处测得的场分量 B^{12}_{1+i} , B^{22}_{1+i} , B^{32}_{1+i} , 可以确定一个品质函数 Q_1 , 品质函数是由传感器 1 或 2 测得的分量对之间的偏差平方之和来确定的:

$$Q_1 = 1/\left[\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \sum_{m=1}^3 (B^{m1}_{1+i} - B^{m2}_{1+i})^2 \right]$$

品质函数为均匀性的一种度量,因此可度量在初测点处测得的场矢量 B_1 的品质。测出的各个值的差别越大, Q_1 值就越小。此处 Q_1 是一个标量值,在粗略情况下为 $\pm 1/Q_1^{1/2}$ 。

第四步

运行工具在时刻 t_j 移到新测区 II。根据计算的绝对值 $|B_1|$ 和品质函数 Q_1 可以定义新测区场强 B_j 的绝对值 $|B_j|$, 其期望值就为前面 B_1 的绝对值, 即 $|B_j| = |B_1|$ 。

第五步

在相对于时刻 t_i 的延迟点 t_j 所处的新测区 II, 利用这两个传感器对测位 p^1 处场矢量的三个分量 B^{11}_{j+i} , B^{21}_{j+i} , B^{31}_{j+i} 和测位 p^2 处的场矢量 B_j 的三个场分量 B^{12}_{j+i} , B^{22}_{j+i} , B^{32}_{j+i} 各进行十次测量。

相应地重复前面的步骤二至四, 就可以得到新测得处的分量 B^1_j , B^2_j , B^3_j , 绝对值 $|B_j|$ 和品质函数 Q_j , 即

$$B^m_j = \frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^{10} (B^{m1}_{j+i} + B^{m2}_{j+i}) \right)$$

25

其中 m 是三个分量的指数。

$$|B_j| = [(B^1_j)^2 + (B^2_j)^2 + (B^3_j)^2]^{1/2}$$

30

$$Q_j = 1/\left[\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \sum_{m=1}^3 (B^{m1}_{j+i} - B^{m2}_{j+i})^2 \right]$$

由品质函数又可对新测区场矢量进行度量。

第六步

以算出的品质函数 Q_1 和品质函数 Q_j 为函数可确定一个权重函数如下:

$$5 \quad G_j = Q_j / (Q_1 + Q_j)$$

第七步

场矢量 B_j 的分量 B_j^1, B_j^2, B_j^3 , 由权重矩阵 G_j 利用在测试区得到的场强 B_i 的分量 B_i^1, B_i^2, B_i^3 进行权重, 以获得稳定的场矢量 B_j^{stab} , 其分量 $B_j^{stab1}, B_j^{stab2}, B_j^{stab3}$, 具有特征:

$$B_j^{stab1} = B_i^1 + G_j(B_j^1 - B_i^1)$$

$$B_j^{stab2} = B_i^2 + G_j(B_j^2 - B_i^2)$$

$$B_j^{stab3} = B_i^3 + G_j(B_j^3 - B_i^3)$$

15 这样算法可以相应地在其他时刻 t_{i+j+p} 和/或者其他测区继续下去, 以获得各自的权重函数或权重矩阵以及新的稳定的场矢量分量。

20