



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97190152.X

[43]公开日 1998年5月13日

[11] 公开号 CN 1181808A

[22]申请日 97.2.10

[30]优先权

[32]96.3.13 [33]DE[31]19609762.2

[86]国际申请 PCT/EP97/00583 97.2.10

[87]国际公布 WO97/34125 德 97.9.18

[85]进入国家阶段日期 97.11.6

[71]申请人 莱卡公开股份有限公司

地址 瑞士希尔布鲁格

[72]发明人 S·格埃皮夫

J·魏伦曼

[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 2 页 说明书 8 页 附图页数 1 页

[54]发明名称 确定地磁场方向的方法

[57]摘要

本发明给出一种采用一个包括三个磁场传感器和两个倾斜采集设备的电子磁针罗盘确定可以受到固定在仪器上的磁性材料和若干电流的磁场干扰的地磁场方向的方法,其中,电子磁针罗盘置于不同的空间位置 N,其中,在此 N 位置的每一个位置上测量倾斜传感器信号和磁场传感器信号并且由这些信号确定倾斜值和磁场值。在这些倾斜值和磁场值的基础上按照矢量方程确定地磁场矢量值。

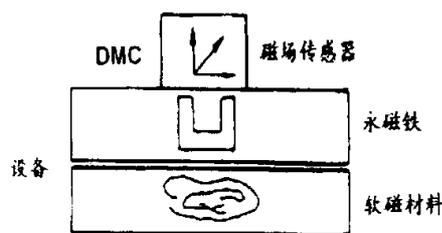
$$\text{const (恒定值)} = b_g = b_E \sin(i) = g^T b_E = g^T m$$

$$(b_{gem} - b_o)$$

其中

 $b_g$  = 与万有引力矢量  $g$  平行的磁场分量 $b_E$  = 磁场矢量  $b_E$  的长度 $b_{gem}$  = 所测量的磁场矢量 $b_E$  = 在测量地点实际的地磁场矢量 $\Delta M$  = 软磁场失真,即通过地磁场感应的磁性 $M = I + \Delta M$ ;  $I$  = 单位矩阵 $b_o$  = 硬磁干扰场矢量 $i$  = 磁偏向。

其中, N 至少应与矢量方程待确定的参数的数量相等。



(BJ)第 1456 号

## 权 利 要 求 书

1.采用一个包括三个磁场传感器和两个倾斜采集设备的电子磁针罗盘确定可以确定受到固定在仪器上的磁性材料和若干电流的磁场干扰的地磁场方向的方法,其中,电子磁针罗盘置于不同的空间位置 N,

5 在此 N 位置的每一个位置上测量倾斜采集设备的信号和磁场传感信号并且由这些信号确定倾斜值和磁场值,并且

在此倾斜值和磁场值的基础上计算地磁场矢量的大小,其中采用矢量方程

$$\text{const} = b_g = b_E \sin(i) = g^T b_E = g^T m (b_{gem} - b_0)$$

10

其中,

$b_g$  = 与万有引力矢量  $g$  平行的磁场分量

$b_E$  = 磁场矢量  $b_E$  的长度

$b_{gem}$  = 所测量的磁场矢量

15

$b_E$  = 在测量地点实际的地磁场矢量

$\Delta M$  = 软磁场失真,即通过地磁场感应的磁性

$M = I + \Delta M$ ;  $I$  = 单位矩阵

$m = M^{-1}$

$b_0$  = 硬磁干扰场矢量

20

$i$  = 磁偏向

其中, N 至少应与待确定矢量方程的参数数量相等。

2.根据权利要求 1 所述方法,其特征在于,选择如下的比例确定

$b_g = \text{const}$  (恒定值),  $m_{11} = \text{const}$  (恒定值);

$m_{11} + m_{22} + m_{33} = \text{const}$  (恒定值)

25

$m_{11}^2 + m_{22}^2 + m_{33}^2 = \text{const}$  (恒定值)

$m_{11}^2 + m_{12}^2 + \dots + m_{33}^2 = \text{const}$  (恒定值)

$\det m = \text{const}$  (恒定值)

3.根据权利要求 1 所述方法,其特征在于,如果不考虑软磁干扰场,则  $\Delta M = 0$ 。

30

4.根据权利要求 1 所述方法,其特征在于,如果在不同部位的测量数量 N 多于所提供的方程数量,则磁场矢量借助于最佳化计算确定。

5.根据权利要求 1 所述方法，其特征在于，地磁场矢量值在确定了倾斜值和磁场值的基础上，在附加的应用方程

$$\text{const (恒定值)} = \mathbf{b}_E^2 = \mathbf{b}_E^T \mathbf{b}_E = (\mathbf{b}_{gem} - \mathbf{b}_o)^T \mathbf{m}^T \mathbf{m} (\mathbf{b}_{gem} - \mathbf{b}_o)$$

$\mathbf{b}_{gem}$  = 所测量的磁场矢量

5  $\mathbf{b}_E$  = 在测量部位实际的地磁场矢量

$\Delta \mathbf{M}$  = 软磁场失真，就是说通过地磁场感应的磁性

$\mathbf{M} = \mathbf{I} + \Delta \mathbf{M}$ ， $\mathbf{I}$  = 单位矩阵

$\mathbf{m} = \mathbf{M}^{-1}$

$\mathbf{b}_o$  = 硬磁干扰场矢量

10 借助于统计优化方法加以确定。

6.根据权利要求 1 至 5 其中之一所述方法，其特征在于，倾斜采集设备是用的倾斜传感器。

7.根据权利要求 1 至 5 其中之一所述方法，其特征在于，倾斜采集设备是用的转动率传感器（旋磁），其中通过转动率信息的积分推导出

15 倾斜角。

8.根据权利要求 1 至 5 其中之一所述方法，其特征在于，倾斜采集设备是用的编码器，用此编码器测量与一个参照点的角度。

# 说明书

## 确定地磁场方向的方法

5 本发明涉及一种采用一个包括三个磁场传感器和两个倾斜采集设备的电子磁针罗盘确定可以受到与仪表固定的磁性材料和若干电流磁场干扰的地磁场方向的方法。

在 US4 686 772 中公开了一种例如能够确定装甲车行驶方向的电子磁针罗盘。装甲车具有两个铁制物体，即炮塔和车体，它们相互可以绕垂直轴转动。磁针罗盘安装在车体上，并且包括一个不摆动的三轴磁力计。此磁力计给出表示磁力计所在部件的三个磁场分量的电磁信号。配置了两个倾角传感器，它们给出表示具有倾角传感器的车体的抑角和滚动角的电信号。此外，角度测量设备给出一个表示两个铁制物体之间的角度的转角信号。在一个存储中存储着多个预先校准过的修正系数，这些修正系数应修正由车辆感应的磁场对磁力计对两个铁制物体之间的转角测量的影响。借助于一个计算机由电磁场信号和倾角传感器信号实时计算装甲车行驶方向，这些信号通过储存的修正系数对相应的转角已进行了修正。

20 在能够应用所述磁针罗盘之前有必要进行校准测量。这里此车辆置于至少两个不同的、相互之间不平行的平面上。在这些部位上在车位不同的排列但是在装甲炮塔相对相同的排列下进行方位角、抑角和滚动角的测量。为了能够测量这些角度，例如需要一个经纬仪、在校准时假定在测量部位的地磁场是已知的。这里由卡片材料可以获得相应测量部位地磁场的磁倾角和磁偏角的数值。

25 在 US4 539 760 中描述了一个具有三个磁传感器的电子磁针罗盘。这些传感器对包括地磁场和一个附加的与车辆有关的干扰场的磁场的三个正交分量作出反应。这些磁传感器产生与这些分量相应的电信号。此外，若干倾角传感器对车辆与水平平面的倾斜角作出反应。采用一个数据处理设备和一个存储器存储这些作为校准修正值的、由测量传感器导出的信号，如果车辆为了磁针罗盘的校准而转动了一个圆。为了避免干扰磁场的影响，数据处理设备在校准过程结束后，在考虑到校准修正值的情况下计算在车辆所在部位地磁场的修正值，然后由这些修正值出发在应用用于确定地平线的倾角传感器数值的情况下计算车辆行驶方

向的方位。在计算时由修正矩阵是对称的这一点出发，尽管这只是在非常的情况下才能出现的。

本发明的任务在于给出一种采用电子磁针罗盘确定地磁场方向的比较简单的方法。

5 按照本发明此项任务是按照权利要求 1 所述特征加以解决的。

本发明的进一步发展在各项从属权利要求中作了阐述。

10 以有利的方式按照本发明此方法不要求采用附加的测量仪器进行特定的校准测量。此外，在电子磁针罗盘中也无需特定数据的输入，以便于在应用中进行推广。唯一需要的是将此磁针罗盘置于若干不同的任何空间位置。在每一个空间位置优先确定三个磁场分量。这些磁场分量可以相互正交，如果提出这种要求的话。但是这并不是一定要这么作的。借助于在每个空间位置附加测量的倾斜值、即倾角和滚动角、可以由相应的磁场分量中确定地场实际磁场矢量的方向。

15 本发明方法不要求电子磁针罗盘在安装前必须进行校准。采用本发明方法不仅考虑到了干扰磁场，而且还考虑到了制造容差以及各个传感器具有不同的灵敏度等。此外，有必要采用一个在出厂前已由厂家校准的磁针罗盘。

20 在本发明方法中和用了以下事实，即在万有引力矢量和地磁场矢量之间的偏角在相应的固定部位均与系统的瞬时位置无关而保持恒定值。

所给出的附图是为了便于理解本发明：

图 1 示出了电子磁针罗盘和软磁和磁磁干扰场发生器的一个装置的示意图；

图 2 示出与测量地磁场相关的矢量。

25 波松早在 19 世纪末就探讨了这个问题，即如何确定实际存在的磁场，如果在系统中放置了一个磁力针，而它本身具有磁场分量。描述这一情况的波松方程指出，在这样一种情况下所测量的磁场是实际存在场的一个线性函数，它涉及到一个仿射性图象。在这方面请参阅上述 US4 686 772 第 2 部分第 26 至 30 行。

30 对于一般情况可以说所测量的磁场是由测量位置被软磁失真了的地磁场和一个硬磁分量构成的。在被软磁失真了的地磁场中涉及到一个通过地磁场感应的磁性。硬磁分量包括例如通过永磁铁或在系统中的若

干电流产生在磁力计部位恒定的磁场。硬磁分量不受外部场改变的影响。

在数学上上述波松方程稍加变更后可以表示为：

$$b_{gem} = M b_E + b_0 = b_E + \Delta M b_E + b_0 \quad (1)$$

其中

$b_{gem}$  = 所测量的磁场矢量

$b_E$  = 在测量部位实际的地磁场分量

$\Delta M$  = 软磁场失真，就是说通过地磁场感应的磁性，其中

10  $M = I + \Delta M$ ； $I$  = 单位矩阵

$b_0$  = 硬磁分量

以上公式以及下面的表达式中矢量和矩阵用黑体符号表示。这些矢量一般是参照一个笛卡儿系统。矩阵一般涉及至  $3 \times 3$  矩阵。

15 在图 1 中的示意图表示在仪器中安装了磁针罗盘 DMC，在此仪器中作为硬磁干扰器的永磁铁与软磁材料相互作用并且影响 DMC 的测量值。在图 2 中示出与地磁场测量有关的矢量及其在水平面上的投影。在固定安装在车辆上的磁针罗盘中目标方向相当于行驶方向。

电子磁针罗盘具有三个磁场传感器和两个倾斜传感器，其中，前者确定三个磁场分量，这些磁场分量不必相互正交。

20 永磁铁和若干电流在磁场传感器部位产生一个固定场，此固定场表示由磁场分量形成的坐标系统的零点偏移。

软磁材料由已存在的场在行驶方向产生一个减弱或加强了场以及在其垂直方向产生附加的场分量。这可以看作是场方向 X、Y 和 Z 的“串扰”。

25 如果观察一个磁力针，此磁力计具有三个不同灵敏度的三个非正交磁场传感器和零点偏移，例如一个由厂家提供的未经校准的“原始”磁力计，则也可以得出上述相同的方程式。

采用这样一个“原始”磁力计进行磁场测量在数学上可以以如下方式表示：

$$30 \quad b_{gem, i} = f_i e_i b_{Ei} + o_i; \quad i=x, y, z$$

其中  $f_i$  为增强， $e_i$  为测量方向，即单位矢量， $o_i$  为 I-传感器的分支。

如果写成  $f_i e_i = (M_{i1}, M_{i2}, M_{i3})$  和  $o_i = b_{0i}$ ，则可以重新得到以上

方程 (1)。

为了确定实际地磁场的大小，有必要从上面给出的矢量式 (1) 中解出  $b_E$ 。

通过转换和减法得出：

$$b_E = M^{-1} (b_{gem} - b_0) = m (b_{gem} - b_0) \quad (2)$$

其中  $m = M^{-1}$ 。

为由方程 (1)、(2) 中确定未知量  $M$  或  $m = M^{-1}$  以及  $b_0$  可以采用上述 US4 686 772 中公开了的求解途径。在此文献中的出发点是在测量的磁场矢量  $b_{gem}$  中每一次还清楚的知道地磁场矢量  $b_E$ 。矢量方程 (1) 和 (2) 相应表示未知的  $M_{ij}$  以及  $m_{ij}$  和  $b_{0i}$  的一个线性方程组。通过至少在 4 个不同几何位置的测量在已知地磁场情况下可以借助于求解线性方程组的基本方程直接求得  $M_{ij}$  和  $b_{0i}$ 。

在上述 US4 539 760 中给出的结果是从以下事实出发的，即地磁场的值与磁力计所在部位不相关。如果正确的确定了  $m_{ij}$  和  $b_0$ ，则可以得出地磁场矢量  $b_E$ ，此矢量在磁力计的每一个部位均具有相同的长度。于是求得：

$$\begin{aligned} \text{const} = b_E^2 &= b_E^T b_E = (b_{gem} - b_0)^T m^T m (b_{gem} - b_0) \\ &= (b_{gem} - b_0)^T U (b_{gem} - b_0) \end{aligned} \quad (3)$$

其中  $U^T = U$ ，这意味着  $U$  是一个对称矩阵。

$\text{const}$  为恒定值。

由此不难看出，由此方程 (3) 只能计算所求矩阵  $m$  的乘积  $U = m^T m$ 。只有假定此矩阵是对称的并且假定对角线为正时才能计算此矩阵的各项。第一种假定只有在很少的情况下才能出现，因为有可能意味着是一个软磁对称，这种对称在技术设备中，例如在车辆或汽车上是极其不大可能出现的。

现在按照本发明为了确定  $b_E$  值，就是说解矢量方程由列式出发，其中利用了如下事实，即在测量系统的每一个位置在相同的地理位置在水平面和地磁场之间的角度、即磁倾角是恒定的。这一点显然对万有引力矢量  $g$  的方向和地磁场矢量  $b_E$  之间的角度也成立。这样可以写为：

$$\text{const} = b_g = b_E \sin(i) = g^T b_E = g^T m (b_{gem} - b_0) \quad (4)$$

其中,  $\text{const}$  为恒定值,

$b_g$  = 平行于万有引力矢量  $g$  的磁场分量

5  $b_E$  = 磁场矢量  $b_E$  的长度

$i$  表示磁倾角.

此方程表明, 在地重力场方向的磁场分量, 就是说垂直于水平面, 在所有的系统部位均相等.

在此方程中  $m$  值是线性的并且不是一个乘积. 万有引力矢量  $g$  可以  
10 借助倾斜传感器确定. 所以  $m$  值可以直接计算出来而无需测量场, 如上述 US4 686 772 所指出的, 或者应假定特定的对称条件, 如上述 US 4 539 760 所指出的.

待确定参数的数量为:

$$m = 3 \times 3 = 9$$

15  $b_0 = 3$

$$b_g = 1$$

这样我们就总共得出了  $9 + 3 + 1 = 13$  个参数, 确定这些参数至少需要 13 个方程.

还可以选择比例系数, 例如在 US4 539 760 中 (第 4 栏第三行) 公开的那  
20 开的那样. 可能的一些比例确定例如可参考下表:

$$b_g = \text{const} \text{ (恒定值)},$$

$$m_{11} = \text{const} \text{ (恒定值)};$$

$$m_{11} + m_{22} + m_{33} = \text{const} \text{ (恒定值)}$$

$$m_{11}^2 + m_{22}^2 + m_{33}^2 = \text{const} \text{ (恒定值)}$$

25  $m_{11}^2 + m_{12}^2 + \dots + m_{33}^2 = \text{const} \text{ (恒定值)}$

$$\det m = \text{const} \text{ (恒定值)}$$

或者选择其它适当的表格, 其中恒定值也可以选择为 1. 通过确定比例参数的数量可减少 1 个, 即现在只还剩 12 个参数, 即还需要相同数量的方程. 在磁针罗盘初始校准时需占有 12 个不同的几何位置  $j =$

30 1,  $\dots$  12, 在这些位置上测量三个磁场分量和两个倾斜角.

现在得到一个线性的方程组:

$$b_g = g_j^T m (b_{gemj} - b_0) = g_j^T m b_{gemj} - g_j^T u_0 \quad (5)$$

其中  $U_0 = m b_0$  并且例如  $b_g=1$ ，其中明确得出：

$$1 = g_{j1} b_{gem,1} m_{11} + g_{j1} b_{gem,2} m_{12} + \dots \\ \dots + g_{j1} u_{01} + g_{j2} u_{02} + g_{j3} u_{03}$$

如果提供了 12 个以上的方程式，则这里例如可以与最小平方误差最佳的适配。这是大家知道的。

在本发明范围内还提供了利用在具有磁场矢量长度为恒定值 ( $b_E = |b_E|$ ) 的同一固定位置上磁偏角以及  $b_g$  为恒定值的事实的可能性。换言之，这就意味着不仅上面的方程 (5)，而且方程 (3) 也可以应用在本方法中。然后还需要附加的确定参数  $b_E$ ，这样参数的数量并且从而所必要的测量提高了 1 次，即  $N = 13$  次。

这里的优点在于通过应用方程 (3) 和方程 (5) 可以更好的利用所提供的数据，因为在两个方程中要用到每一次测量值。因此必要的测量数量只有一半。为了实现此方法要求进行统计平衡计算，为此例如可以最小平方误差方法作为基础。

在下述方法中上面的方程 (3) 和 (5) 以统计精确方法加以利用。

下面将进一步阐述磁场传感器信号  $M_{ij}$ ;  $i = 1, 2, 3$  和地磁场矢量  $b_{Ej}$  之间形成的关系。此关系可以通过以下方程表示：

$$\mu_j = \mu_0 + M b_{Ej} + \epsilon_j; j = 1, \dots, N \quad (\text{测量部位})$$

$$\mu_j = \begin{pmatrix} \mu_{1j} \\ \mu_{2j} \\ \mu_{3j} \end{pmatrix} = 3 \text{ 个磁场传感器在位置 } j \text{ 的测量值}$$

$$\mu_0 = \begin{pmatrix} \mu_{01} \\ \mu_{02} \\ \mu_{03} \end{pmatrix} = \text{分支和硬磁干扰场的矢量}$$

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{pmatrix} = \text{软磁失真矩阵}$$

$b_{Ej}$  = 地磁场矢量

$\varepsilon_j$  = 表示传感器噪声的偶然矢量

$$\langle \varepsilon_j \rangle = 0; \langle \varepsilon_j \varepsilon_j^T \rangle = \sigma_{\mu}^2 I_3; \langle \varepsilon_j \varepsilon_k^T \rangle = 0 \quad j \neq k;$$

$\langle \rangle$  = 统计预期值

- 5 地磁场矢量  $b_{Ej}$  的各分量在磁针罗盘的不同部位是未知的，但是可以借助于倾斜传感器部分地加以表示。其中，两个倾斜传感器表示归一化的万有引力场矢量的各一个分量。

$$b_{Ej} = s g_j + c n_j$$

$$s = \sin(i); c = \cos(i)$$

10  $|b_{Ej}| = 1$  地磁场强度 = 1

$i$  = 地磁场的磁偏角

$$\eta_j = \cos(\alpha_j) e_j + \sin(\alpha_j) f_j;$$

其中  $\alpha_j$  为方位角，就是说，在水平面上传感器自身的坐标系统与一个空间固定的坐标系统的转角。

15  $g_j$  = 万有引力矢量

$$|g_j| = 1$$

$$g_j = \begin{pmatrix} g_{1j} \\ g_{2j} \\ g_{3j} \end{pmatrix}; e_j = (1 - g_{1j}^2)^{-1/2} \begin{pmatrix} 1 - g_{1j}^2 \\ -g_{1j} g_{2j} \\ -g_{1j} g_{3j} \end{pmatrix}; f_j = (1 - g_{1j}^2)^{-1/2} \begin{pmatrix} 0 \\ -g_{3j} \\ g_{2j} \end{pmatrix}$$

20  $g_{1j}, g_{2j}$ : 倾斜传感器测量值,

参数  $M_{11} \dots M_{33}, \mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \alpha_1 \dots \alpha_N$  和  $I$  可以应用已知的最佳化计算确定，其中，要求统计和

$$L(M, \mu_0, \alpha_1 \dots \alpha_N, i) = \sum_{j=1}^N (\mu_j - \mu_0 - M b_{Ej})^2$$

25 具有最小值。

在本发明范围内也可以采用其它的各种求解方法，例如通过卡尔曼滤波器，模糊逻辑方法或神经网络。

不难看出，当  $\Delta M = 0$  时在数学方法上将显著简化。这种情况是不考虑软磁干扰场的存在。这时  $M$  相当于单位矩阵。

30 上面在说明中参照了倾斜传感器。除此之外还可以应用两个正交安装的编码器。采用这些编码器有可能与一个参照点相应地进行角度测量。在实际实施中可能应采用一个固定装配的支架，与此支架相比有可

能磁针罗盘和干扰系统转动一个角度。

还有可能利用两个在系统上配置的转动率传感器，就是说旋磁确定所期望的倾斜角。通过此转动率信息的积分可以推导出转角。

# 说明书附图

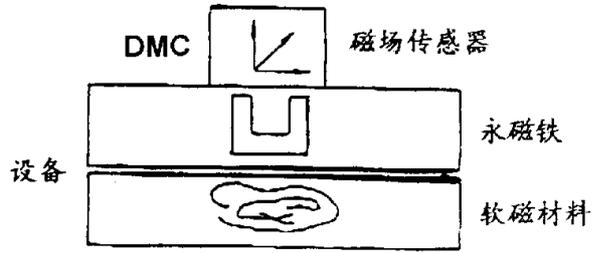


图 1

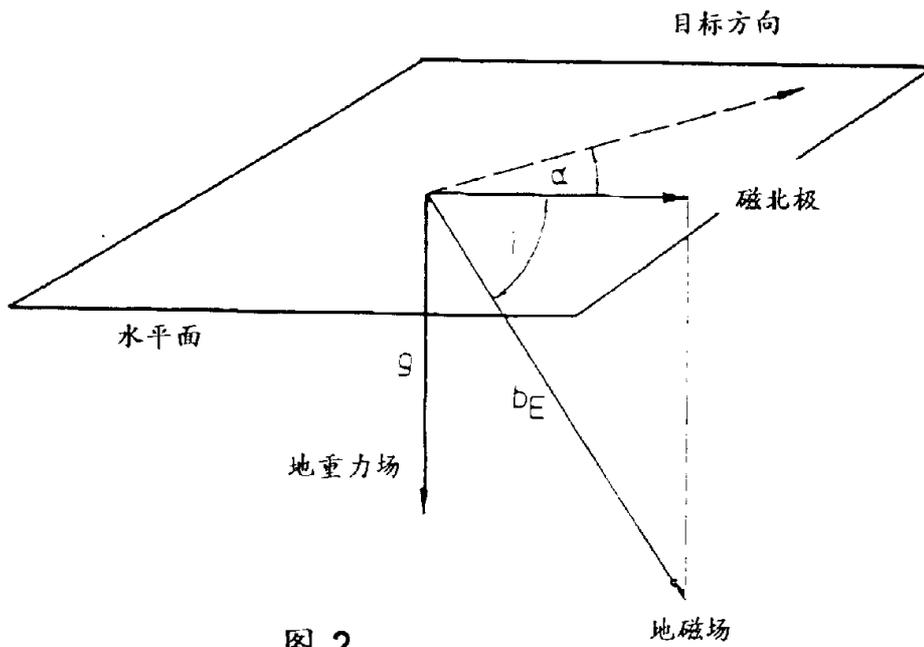


图 2