[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[6]
E21B 47/022

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94190932.8

[45]授权公告日 1999 年 8 月 11 日

[11]授权公告号 CN 1044632C

[22]申请日 94.1.12 [24]颁证日 99.5.26
[21]申请号 94190932.8
[30]优先权
[32]93.1.13 [33]EP [31]93200082.1
[86]国际申请 PCT/EP94/00094 94.1.12
[87]国际公布 WO94/16196 英 94.7.21
[85]进入国家阶段日期 95.7.12
[73]专利权人 国际壳牌研究有限公司
地址 荷兰海牙
[72]发明人 威廉·詹姆斯
[56]参考文献

EP0387991	1990. 9.19	E21B47/22
US4163324	1979. 8. 7	E21B47/022
US4682421	1987. 7.28	E21B47/02
US4709486	1987.12. 1	E21B47/22

审查员 26 00

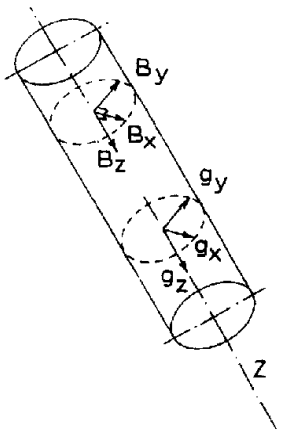
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 刘志平

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 测定钻孔方向的方法

[57]摘要

钻进过程中来确定钻孔方向的方法，包括根据重力加速度 g 的测量值来测定井 斜角 θ 与高过角 φ，根据磁场 B 来测定方位角 Ψ，这些测定是在由欧拉角坐标 变换相关联的通常的 XYZ 与 NEV 坐标系中进行的。特别是 g 与 B 是在至少 两个钻孔深度处进行的，使得 $\varphi_i \neq \varphi_{i+1}$，而 Ψ_i 与 Ψ_{i+1} 是根据 $B_i = [\varphi_i]^T[\theta_i]^T\{[\Psi_i]^T B\} + BP$ 与 $\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i = \sin^2\Psi_{i+1} + \cos^2\Psi_{i+1}$ 计算的，其中 i 是测 量序数，Be 是局部磁场，Bp 是扰动磁场。同时还精确地测定了扰动磁场。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.在对钻孔进行钻进时，利用装设在所用钻杆柱中的三轴加速度计/磁强计组件来确定此钻孔方向的一种方法，此方法包括如下步骤:

测量已知局部重力加速度矢量$\bar{g}$的重力加速度分量g_x、g_y、g_z，用来测定井斜角θ与高边角φ；同时

测量总磁场$\bar{B}$的磁场分量Bx、By、Bz，用来测定方位角ψ；

上面的x, y与z指在所说钻进过程中固定到前述组件上的笛卡儿XYZ坐标系中的矢量分量，而ψ、θ与φ定义了上述XYZ系统与笛卡儿NEV坐标系之间的旋转角度，这里的N指磁北方向，V指垂直的$\bar{g}$方向而E指东向，

特征在于：$\bar{g}$与$\bar{B}$至少是在两个钻孔深度l_i与l_{i+1}处测出的，使得$\varphi_i \neq \varphi_{i+1}$；而$\psi_i$与$\psi_{i+1}$是根据$\bar{B}i = [\varphi_i]^T[\theta_i]^T\{[\psi_i]^T\bar{B}e\} + \bar{B}p$与$\sin^2\psi_i + \cos^2\psi_i = \sin^2\psi_i + \cos^2\psi_{i+1}$或其一个等价公式算出的，这里的i = 1，2，…，$\bar{B}e$是局部地磁场，$\bar{B}p$是扰动$\bar{B}e$的磁场，而〔〕^{T}是用于在欧拉角φ、θ与ψ下从NEV系到XYZ系的坐标变换中的所谓“转置”矩阵。

2.如权利要求1所述的方法，特征在于：它还包括以下步骤:检验上述等价式$\sin^2\psi_i + \cos^2\psi_i$是否等于1；如果（$\sin^2\psi_i + \cos^2\psi_i$）≠1且$\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$，至少在又一个钻孔深度$l_{i+2}$处

测量 $\bar{g}$ 与 $\bar{B}$；计算 ψ_{i+2}，再进行下一个检验步骤。

3.在对钻孔进行钻进时，利用装设在所用钻杆柱中的三轴加速度计/磁强计组件来确定此钻孔方向的一种方法，此方法包括如下步骤：测量已知局部重力加速度矢量 $\bar{g}$ 的重力加速度分量 g_x、g_y、g_z，用来测定井斜角 θ 与高边角 φ；同时测量总磁场 $\bar{B}$ 的磁场分量 Bx、By、Bz，用来测量方位角 ψ；这里的 x、y 与 z 指在所说钻进过程中固定到前述组件上的笛卡儿 XYZ 坐标系中的矢量分量，而 ψ、θ 与 φ 定义了上述 XYZ 系统与笛卡儿 NEV 坐标系之间的旋转角度，这里的 N 指磁北方向，V 指垂直的 $\bar{g}$ 方向而 E 指东向，特征在于：$\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 至少是在三个钻孔深度 l_i、l_{i+1} 与 l_{i+2} 处测出的，使得 $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$；而 ψ_i、ψ_{i+1} 与 ψ_{i+2} 是根据 $\bar{B}i = [\varphi_i]^T[\theta_i]^T\{[\psi_i]^T\bar{B}e\} + \bar{B}p$ 计算的，这里的 i = 1，2，…，$\bar{B}e$ 是局部地磁场，$\bar{B}p$ 是扰动 $\bar{B}e$ 的磁场，而〔〕^{T} 是用于在欧拉角 φ、θ 与 ψ 下从 NEV 系到 XYZ 系的坐标变换中的所谓“转置”矩阵。

4.如权利要求 3 所述的方法，特征在于：它还包括下述步骤：对于至少一个 i 检验是否 $\sin^2\varphi_i + \cos^2\varphi_i = 1$，或检验它的一个等价公式，如果 $\sin^2\psi_i + \cos^2\psi_i \neq 1$ 且 $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2} \neq \varphi_{i+3}$，则在至少又一个钻孔深度 l_{i+3} 处测量 $\bar{g}$ 与 $\bar{B}$；计算 ψ_{i+3}，再进行下一个检验步骤。

说　明　书

确定钻孔方向的方法

本发明涉及在对一钻孔进行钻进过程中来确定此钻孔方向的方法。

具体地说，本发明涉及在对钻孔进行钻进时，利用装设在所用钻杆柱中的三轴加速度计/磁强计组件，来确定钻孔方向的方法，此方法包括以下步骤:

测量已知局部重力加速度矢量$\bar{g}$的重力加速度分量g_x、g_y、g_z，用来测定井斜角θ与高边角φ；同时

测量总磁场$\bar{B}$的磁场分量Bx、By、Bz，用来测定方位角ψ。

x、y与z指在上述钻进过程中固定到所说组件上的笛卡儿XYZ坐标系中的矢量分量，而ψ、θ与φ定义了上述XYZ系统与笛卡儿NEV坐标系之间的旋转的角度，这里的N指磁北方向，V指垂直的$\bar{g}$方向而E指东向。

这样一种方法已公开于美国专利4163324号中。其中示明，在采用的钻杆柱中包括有一个钻头，它的一侧由一个无磁钻铤连接而它的另一侧则由一组磁性材料的钻铤连接。随后，这样一个组又连接到一钻杆上。这一非磁性的钻铤包括一个监视仪，例如三轴加速度计/磁强计组件。在测量总磁场$\bar{B}$时，除地磁场$\bar{B}e$外，还包括例如来自上述钻头和/或这种钻铤的扰动磁场。在上述专利中，对于磁性钻杆柱的影响，假定只是一个沿着钻孔轴线Z的$\bar{B}p$矢量近似$\bar{B}pz$即已足够。这样一种假设能在第一步中计算出一个不正确的方位角，在下一步中应用

迭代程序来确定出至少一个第一级修正量。但在许多情况下，假设只是一个 $\bar{B}pz$ 和 $\bar{B}pz$ 的近似值是远离现实的。

例如，众所周知在钻进过程中，非磁性的钻铤可以成为磁化的，结果导致在所谓的热点包围的扰动磁场中具有无法预定的方向。

在美国专利 4682421 号中提出了一种通过计算测量仪器所在位置上的扰动的误差磁场 $\bar{M}$，来确定正确方位角的方法。

具体地说，该项专利中公开了一种对上述问题的两步处理法。在第一步中，确定了重力加速度向量 $\bar{g}$ 和测量了等于($\bar{B}e + \bar{M}$)的总磁场 $\bar{B}m$ 后，便测定了 $\bar{M}$ 的交叉轴向分量 $\bar{M}xy$。对于此第一步来说，至少需要三个 x - y 测量值，这是因为 $\bar{M}xy$ 是由上述测量值构成的圆用图解方法推导出的。因此，在进行上述测量时，是使钻杆柱在一个位置上沿着钻孔的轴线，即沿着此测量坐标系的 Z 轴转动。本领域的普通技术人员已知，钻杆柱在上述位置上沿着钻孔轴线转动将会延迟钻孔的钻进作业。

在此专利的第二步中，示明了对 $\bar{M}z$ 进行几何方法的测定。但由于应用了余弦定理（如该专利的图 3 中所示）来获取最小误差值，从数字上就必须限制在一个包括有 θ 与 θ_0 在内的所有相关参数的平面内，因而所提供的测定结果只能看作是一种近似。结果，$\bar{M}z$ 与 ψ 中的可能误差将依赖于此余弦定量中已用到的参数的误差。

为此，本发明的第一个目的在于解决在每次测定钻孔方向时都需要转动钻杆柱的问题。

本发明的第二目的在于提供一种能通过直接计算来确定方位角的方法。

本发明的第三个目的在于给出一种能获得独立计算出的参数值而避免传播误差计算的方法。

因此，根据本发明，对上述方法的改进之处在于：$\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 至少是在两个钻孔深度 L_i 与 L_{i+1} 处测出的，使得 $\varphi_i \neq \varphi_{i+1}$；而 ψ_i 与 ψ_{i+1} 是根据 $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T[\theta_i]^T\{[\psi_i]^T\bar{B}e\} + \bar{B}p$ 与 $sin^2\psi_i + cos^2\psi_i = sin^2\psi_{i+1} + cos^2\psi_{i+1}$ 或它的一个等价公式算出的，这里的 $i=1,2,\cdots$，$\bar{B}e$ 是局部地磁场，$\bar{B}p$ 是扰动 $\bar{B}e$ 的磁场，而 $[]^T$ 是用于在欧拉角 φ、θ 与 ψ 下从 *NEV* 系到 *ZYZ* 系的坐标变换中的所谓“转置”矩阵。

在本发明的另一实施例中，$\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 是在至少三个钻孔深度 l_i、l_{i+1} 与 l_{i+2} 下测量的，使得 $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$；而 ψ_i、ψ_{i+1} 与 ψ_{i+2} 则是依据 $Bi = [\varphi_i]^T[\theta_i]^T\{[\psi_i]^T\bar{B}e\} + \bar{B}p$ 算出的，$i=1,2,3,\cdots$。

在如上所述的本发明的一个最佳实施例中，提供了检验所求得的方位角结果的一个步骤，即去核实恒等式 $sin^2\psi + cos^2\psi = 1$，同时对每一个 ψ 进行比较。

这样，如上所公开的本发明具有这样的优点：在钻进钻孔过程中，基本上是以连续的方式求得测量值的，这无论是对于钻孔方向的确定还是对于检验测量值本身都是如此。因此，测量过程中的不规则性，例如起因于未预料到的地层条件或设备缺陷的不规则性，是可以快速和可靠地查出的。

在本发明的另一实施例中，测定了扰动磁场 $\bar{B}p$。有利的是，$\bar{B}p$ 是从直接计算求得，从而避免了例如在迭代过程与图解测定中的近似方法。

下面参看附图以举例方式更详细地描述本发明，在附图中：

图 1 示明了钻孔内加速度计/磁强计组件的，用来相对于同一

笛卡儿坐标架来测量 $\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 的布置方式；

图 2A 与 2B 分别表示地球参考坐标价 NEV 与固定工具和连接组件的 XYZ 坐标架；

图 3 表明了由欧拉角坐标变换所连接的钻孔方向与坐标架定向的周知原理；而

图 4 示意地表明了依据本发明的在钻进过程中进行测量的方法。

参看图 1，其中示意地绘出了设在一钻孔内的测量仪表。此仪表包括一种公知的加速度计/磁强计组件，用来测量重力矢量分量 g_x、g_y、g_z 与磁场向量分量 Bx、By、Bz。此仪表布置成使它的 Z 轴与钻孔的 Z 轴共线，因此，加速度计与磁强计仪表部件的 X 轴与 Y 轴如此图所示相互共线。

图 2A 与 2B 中示意地表明了所用的坐标架。图 2A 中示明了地球的参考坐标架 NEV，N 指局部磁北方向，V 指垂直方向即具体所说的局部重力矢量的方向，而 E 指东向，垂直于 N 与 V 构成的平面。图 2B 中示明了笛卡儿 XYZ 轴，其中的 Z 轴与钻孔 Z 轴线共线。

图 3(例如可在美国专利 4163324 号中看到)示意地表明了相对于钻孔 1 的 NEV 与 XYZ 坐标架和它们相互相对的关系。如此图所示，有三个转动组成的序列：

$$NEV-\psi\rightarrow N,E,V-\theta\rightarrow N_2E_1Z-\varphi\rightarrow XYZ$$

与各个坐标架的矢量，即方位角 ψ、倾角 θ 与高侧角 φ 这些所谓的欧拉角相关联，而这是熟悉本项技术的人所周知的。上述转动属一般的坐标变换，可由矩阵表示，对于矢量 P_{XYZ} 与 P_{NEV} 给出一公式

$P_{NEV}=[\psi][\theta][\varphi]P_{XYZ}$ 或等价地有

$P_{XYZ}=[\varphi]^T[\theta]^T[\psi]^T P_{NEV}$，其中

$$[\psi]=\begin{bmatrix}\cos\psi & -\sin\psi & 0\\ \sin\psi & \cos\psi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad (1)$$

$$[\theta]=\begin{bmatrix}\cos\theta & 0 & \sin\theta\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta\end{bmatrix} \qquad (2)$$

$$[\varphi]=\begin{bmatrix}\cos\varphi & -\sin\varphi & 0\\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad (3)$$

而$[\psi]^T$、$[\theta]^T$与$[\varphi]^T$是相应的所谓“转置矩阵”。如上所述，对于任何P_{XYZ}—P_{NEV}矢量偶，可把同样的结果用于在NEV坐标架中的重力矢量$\tilde{g}$即(o,o,g)以及$\bar{B}$即(B_N,O,B_V)。这样有

$$\begin{bmatrix}g_x\\ g_y\\ g_z\end{bmatrix}=[\varphi]^T[\theta]^T[\psi]^T\begin{bmatrix}0\\ 0\\ g\end{bmatrix} \qquad (4)$$以及

$$\begin{bmatrix}B_x\\ B_y\\ B_z\end{bmatrix}=[\varphi]^T[\theta]^T[\psi]^T\begin{bmatrix}B_N\\ 0\\ B_V\end{bmatrix} \qquad (5)$$

对于这一重力矢量的具体例子，应看到倾角θ与高侧角φ对每一个测量位置都能容易地测定，例如这可以从前述的美国专利 4163324

号中看到。

图 4 示意地表明了用来在钻进一钻孔时来确定此钻孔方向的方法。从地球表面 S 上的钻机处穿凿出一个钻孔 b。为清楚起见，绘出一平行的曲线/(·以虚线标出)L，用来指明钻孔的深度(或钻孔长度，或钻孔位置) L_0, L_1, …，它们是沿着钻孔测量的，而 L_0 是在 S 处，在这样一些位置上进行 $\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 的测量。图中示意地表明了 Xi、Yi、Zi，指出了测量仪表在此钻孔中的变动位置。如前所述，$\bar{B}p$ 被认为是与钻杆柱的特点有关，从而又导致所说矢量根据 XYZ 坐标架的转动与移动，随着钻杆柱中的测量仪表转动与移动。

从以上所述可清楚地了解到，在每一种钻孔深度或位置 Li 处，总磁场 $\bar{B}i$ 可以写作 $\bar{B}i=\bar{B}e+\bar{B}p$。但是，为了计算出此矢量和，必须选择公共的基或公共的坐标架。如上所述，通常是采用 XYZ 坐标架与 NEV 坐标架的。

为了求出钻孔的方向，除角 θ_i 与 φ_i 外，必须确定方位角 ψ_i。于是，上述矢量和可以表示为

$$\begin{bmatrix} \bar{B}_x \\ \bar{B}_y \\ \bar{B}_z \end{bmatrix}_i = [\varphi]_i^T [\theta]_i^T \left\{ [\psi]_i^T \begin{bmatrix} \bar{B}_N \\ 0 \\ \bar{B}_V \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} \bar{B}_{px} \\ \bar{B}_{py} \\ \bar{B}_{pz} \end{bmatrix} \qquad (6)$$

对于任意的钻孔深度 Li 或测量数 i。从以上方程容易看出，Bx、By 与 Bz 由于它们是测量值因而是已知的；φ 矩阵与 θ 矩阵也是已知的，因为它们是以上述方式测定的；B_N 与 B_V 是根据地磁数据库得知的；结果，仍然需要去求得方位角 ψ 与磁场扰动矢量分量。

根据本发明，至少是对于两个钻孔深度 L_i 与 L_{i+1}（可写作为 L_1 与 L_2），测量了 $\bar{g}$ 与 $\bar{B}$ 的分量。然后，对于这两种测量值，重新改写以上方程而求得以下方程

$$\begin{bmatrix} B_{x1} \\ B_{y1} \\ B_{z1} \end{bmatrix} = [\varphi_1]^T [\theta_1]^T \begin{Bmatrix} B_N \cos \psi_1 \\ -B_N \sin \psi_1 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{pz} \\ B_{py} \end{bmatrix} \qquad (7)$$

$$\begin{bmatrix} B_{x2} \\ B_{y2} \\ B_{z2} \end{bmatrix} = [\varphi_2]^T [\theta_2]^T \begin{Bmatrix} B_N \cos \psi_2 \\ -B_N \sin \psi_2 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \qquad (8)$$

对以上方程（7）与（8）进行周知的直接计算即可得知，对各个矢量分量 X、Y 与 Z 所求得的 6 个标量方程可以认为共包括 7 个未知参数，即 $\cos\psi_1$、$\sin\psi_1$、$\cos\psi_2$、$\sin\psi_2$、Bpx、Bpy 与 Bpz。

为了唯一地求得 ψ_1 与 ψ_2，将 $\sin^2\psi_1+\cos^2\psi_1=\sin^2\psi_2+\cos^2\psi_2$ 取作第七个标量方程。内行的人显然可知，还可使用等价的方程 $\sin^2\psi_1+\cos^2\psi_1=1$ 或 $\sin^2\psi_2+\cos^2\psi_2=1$。从数学上显然可知 $\varphi_1\neq\varphi_2$，因而钻杆柱会被带动旋转的。这一准则常常能达到的，这是因为钻杆柱在钻进钻孔时总是在测量位置间转动的。这样，最好是利用钻进作业中经常发生的钻杆柱的转动，而不是去中止钻进作业而后再如上所述地去转动。当对于上述 7 个参数计算出它们的值以后，便可根据

(9)

$$\psi_i = \arctan\left(\frac{\sin\psi_i}{\cos\psi_i}\right) \quad (9).$$

求得 ψ_i 的值。

根据相同的思路，对于在例如 L_1、L_2 与 L_3 相应的三个测量位置处的三个测量值，可以得出以下几个方程，其中有两个同(7)与(8)一致

$$\begin{bmatrix} B_{x1} \\ B_{y1} \\ B_{z1} \end{bmatrix} = [\varphi_1]^T [\theta_1]^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\psi_1 \\ -B_N \sin\psi_1 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \qquad (7)$$

$$\begin{bmatrix} B_{x2} \\ B_{y2} \\ B_{z2} \end{bmatrix} = [\varphi_2]^T [\theta_2]^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\psi_2 \\ -B_N \sin\psi_2 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \qquad (8)$$

$$\begin{bmatrix} B_{x3} \\ B_{y3} \\ B_{z3} \end{bmatrix} = [\varphi_3]^T [\theta_3]^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\psi_3 \\ -B_N \sin\psi_3 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \qquad (10)$$

由重新构成的上述方程(7)、(8)与(10)求得的9个标量方程可以按上述相同的方式看出：对于这9个未知参数来说，以上的方程组是

完备的，为了求得以上参数的唯一解是不需另外的方程的。对于现在的方程组，可把 $cos\psi_1$、$sin\psi_1$、$cos\psi_2$、$sin\psi_2$、$cos\psi_3$、$sin\psi_3$、Bpx、Bpy 与 Bpz 再次视作为独立变量。此外，ψ_i 的值可以依据前述方程求得。

类似于只有两个测量值的情形，注意到 $\varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3$，而不再需要特别的转动作用。

在本发明的另一实施例中包括有检验程序。

在已然于两个位置 L_1 与 L_2 上进行了测量后，将等价关系 $sin^2\psi_1 + cos^2\psi_1 = sin^2\psi_2 + cos^2\psi_2$，即 $sin^2\psi_1 + cos^2\psi_1 = 1$ 或 $sin^2\psi_2 + cos^2\psi_2 = 1$ 用于检验目的。要是出现了距离 1 的显著偏差时，在下一个钻孔深度，取新的一组 $\bar{B}$ 与 $\bar{g}$ 的测量值，并可以重复此检验程序。有利的是，对于这种检验也不需作另外的转动。此外只需测量不同的高侧角。

至于已在至少三个位置进行了测量因而用了九个方程来测量方位角 ψ_1、ψ_2 与 ψ_3 时，现在首先对于各个 i 值应用恒等式 $sin^2\psi_i + cos^2\psi_i = 1$ 或它的一个等价式 $sin^2\psi_i + cos^2\psi_i = sin^2\psi_{i+1} + cos^2\psi_{i+1}$。对于前述检验程度的应用，作出了相同的观察结果。

在下一个步骤中可以精确和可靠地测定出 Bp。在绝大多数情形下，$\bar{Bp}$ 与钻杆柱的特性有关。除了这种 Bp 的测定外，还可求出 Bp 中的突然变化，例如因工具故障、磁暴、异常的磁场等所造成的这类变化。

如上所述，对于以上的一种或另一种测定程序，分别只需要两或三组测量值。显然，通常的作业条件涉及到数千英尺或若干公里的钻孔深度，同时取得了许多组测量结果。总之，可以很快地和可靠地确定 和依循着钻孔的方向，而不需在操作上作出特殊的努力。

熟悉本项技术的人将可根据前面的描述作出种种变更型式的，但这种种变更型式应认为属于本发明的后附权利要求书之内。

说　明　书　附　图

图 1

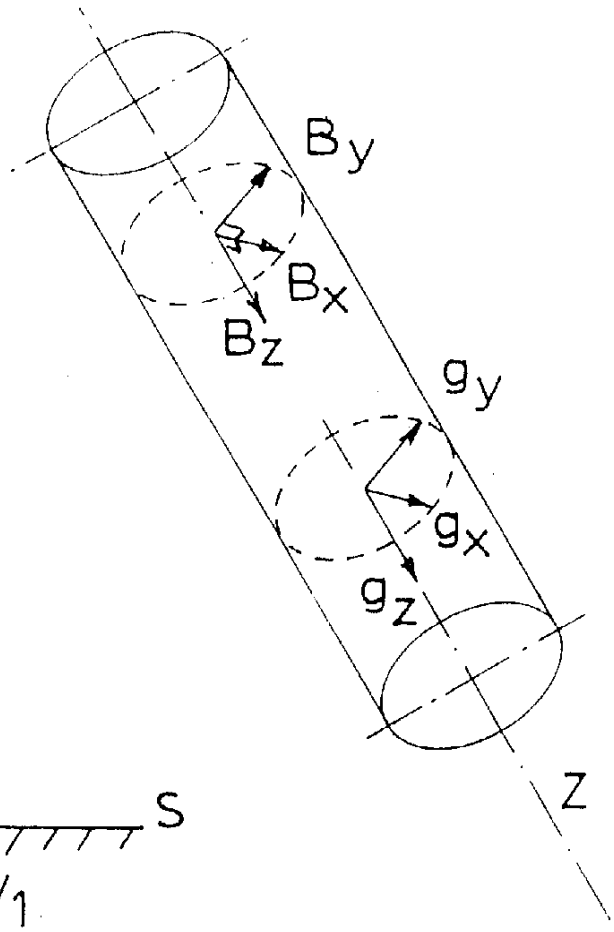


图 4

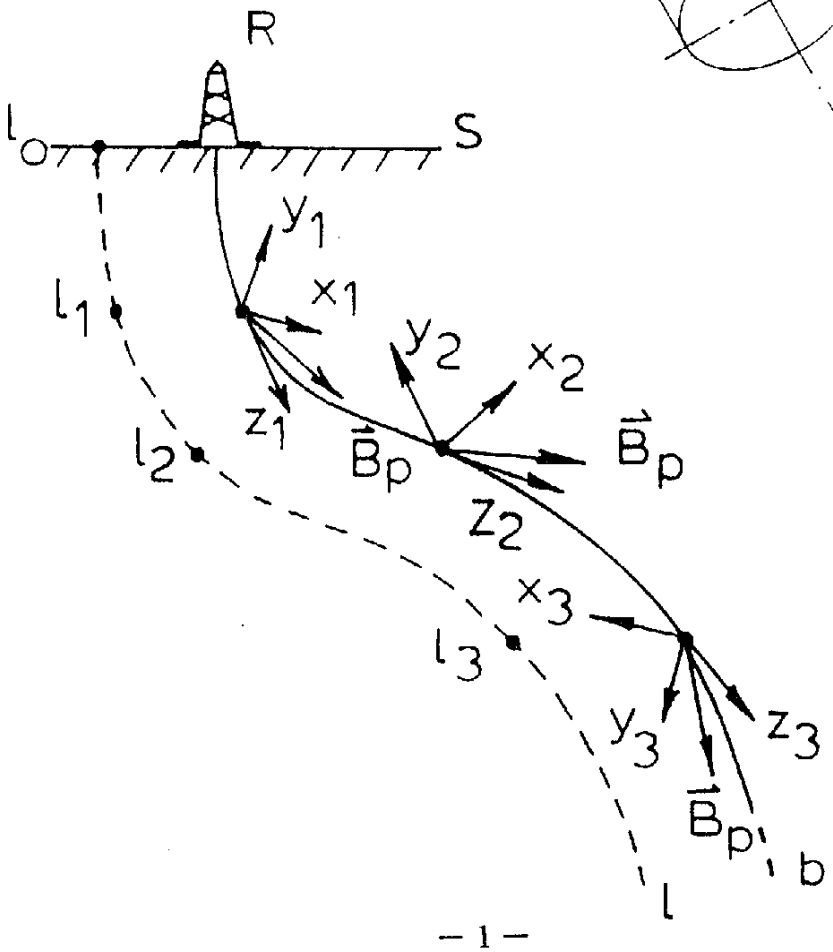
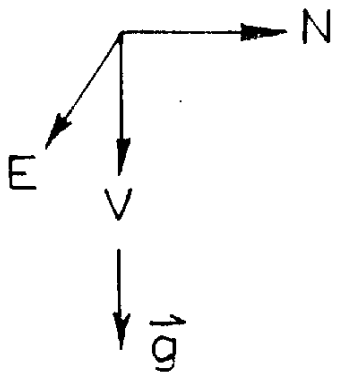


图 2A



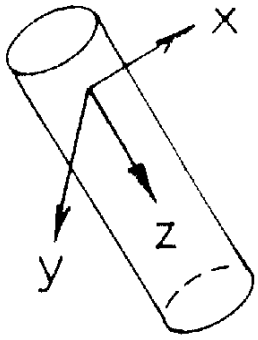


图 2B

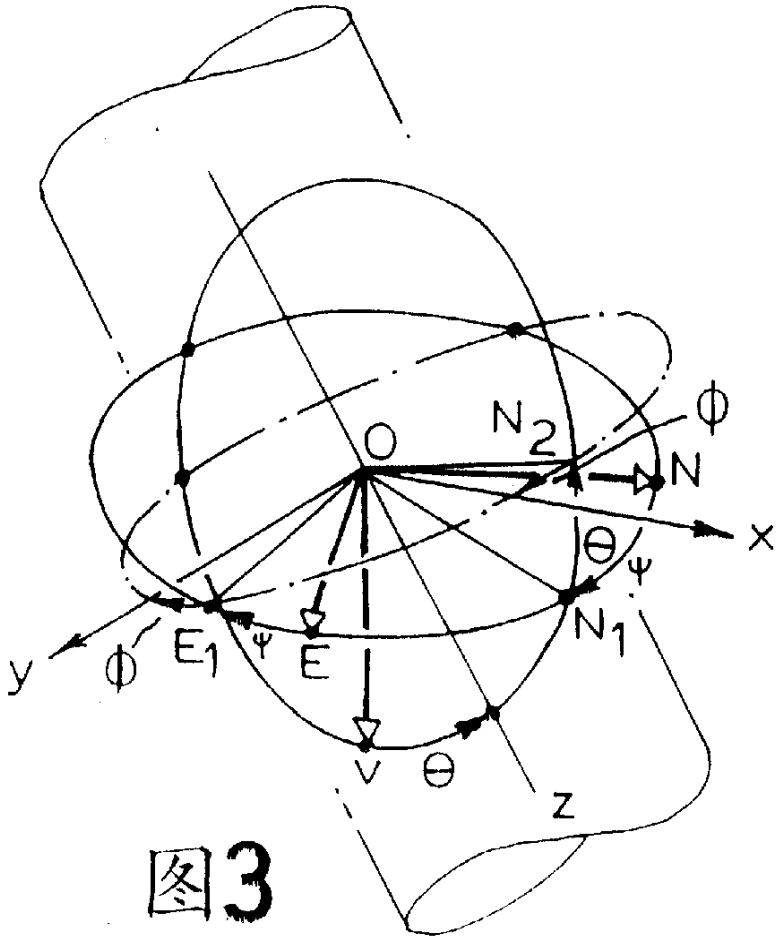


图 3