



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107490618 A

(43)申请公布日 2017. 12. 19

(21)申请号 201710927013.7

(22)申请日 2017.10.09

(71)申请人 西南石油大学

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

(72)发明人 李长俊 陈超 杨雨

(51)Int.Cl.

G01N 27/85(2006.01)

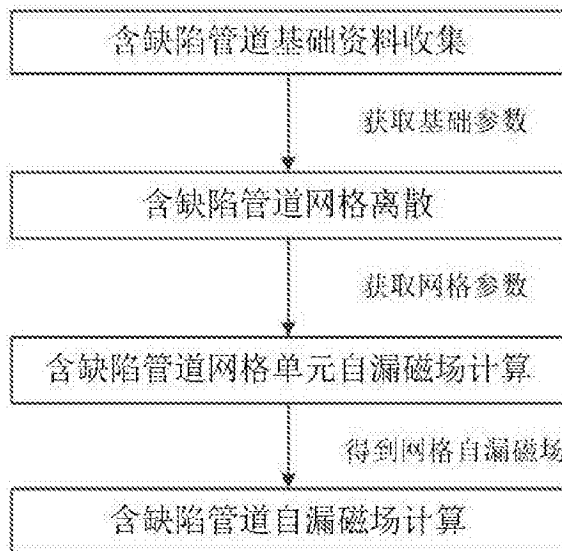
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法

(57)摘要

本发明提供了一种含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法,属于埋地管道无损检测技术领域。所述计算方法包括四个步骤:第一,收集缺陷及管道基础资料;第二:含缺陷管道网格离散化;第三,计算含缺陷管道网格单元自漏磁场磁感应强度;第四,计算含缺陷管道自漏磁场磁感应强度。本发明的计算方法操作简单、实用性强、可准确地对含缺陷管道自漏磁场磁感应强度三分量和全量进行计算,从而为管道缺陷的识别和定位提供理论支撑,提高埋地管道焊缺陷检测的准确性和可靠性,保障管道安全。



1. 一种含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法,其特征在于,该含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法主要包括以下四个步骤:步骤一,收集缺陷及管道基础资料;步骤二,含缺陷管道网格离散化;步骤三,计算含缺陷管道网格单元的自漏磁场磁感应强度;步骤四,计算含缺陷管道自漏磁场磁感应强度。

2. 如权利要求1所述的含缺陷管道网格离散化,其特征在于,在步骤一中,采用基于应力变化的剧烈程度的非等分网格划分方法离散管道;从而形成网格单元矩阵、网格坐标矩阵、网格壁厚矩阵、网格长度矩阵、网格圆心角矩阵等;最后按照公式(3)计算每个网格的体积记为 v_{ij} ;公式(1)和公式(2)分别为网格单元矩阵E和网格体积矩阵V,公式(3)为网格体积矩阵的计算公式,如下所示:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \cdots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \cdots & e_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m1} & e_{m2} & e_{m3} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \cdots & v_{2n} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \cdots & v_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$v_{ij} = \frac{\theta_{ij} D l_{ij} \delta_{ij}}{2} \quad (3)$$

式中 e ——(i, j) 单元;

θ_{ij} —— e_{ij} 单元对应的圆心角,rad;

l_{ij} —— e_{ij} 单元轴线方向的长度,m;

δ_{ij} —— e_{ij} 单元对应的壁厚,m;

D ——管道外径,m;

v —— e_{ij} 单元对应的管材体积, m^3 。

3. 如权利要求1所述的含缺陷管道网格单元的自漏磁场磁感应强度计算方法,其特征在于,在步骤三中,分别采用公式(4)、公式(5)、公式(6)和公式(7)对其自漏磁场三分量进行计算,如下所示:

$$B_{ix} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{ix} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{iz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) - \frac{r_{ij}^2 M_{ix}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (4)$$

$$B_{iy} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{ix} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{iz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) (y_p - y_{ij}) - \frac{r_{ij}^2 M_{iy}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (5)$$

$$B_{iz} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{ix} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{iz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) - \frac{r_{ij}^2 M_{iz}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \sqrt{\left(x_p - \frac{D}{2} \cos \varphi_{ij}\right)^2 + (y_p - y_{ij})^2 + \left(z_p - \frac{D}{2} \sin \varphi_{ij}\right)^2} \quad (7)$$

式中 B_{ijx} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿x轴方向的分量；

B_{ijy} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿y轴方向的分量；

B_{ijz} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿z轴方向的分量；

r_{ij} ——含缺陷管道网格单元到P点之间的直线距离,m；

M_{ijx} ——管道上任意离散单元x轴方向的磁化强度,A/m；

M_{ijy} ——管道本体上任意离散单元y轴方向的磁化强度,A/m；

M_{ijz} ——管道本体上任意离散单元z轴方向的磁化强度,A/m；

φ_{ij} ——管道上任意微元体与x轴正方向的夹角,rad；

(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) ——管道上任意微元体在直角坐标系下的坐标,m；

(x_p, y_p, z_p) ——管道上方任意计算点在直角坐标系下的坐标,m。

4. 如权利要求1所述的含缺陷管道自漏磁场磁感应强度计算方法,其特征在于,在步骤四种,采用公式(8)、公式(9)和公式(10)对其自漏磁场三分量进行计算,从而最终得到自漏磁场磁感应强度三分量和全量,如下所示:

$$B_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijx} \quad (8)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijy} \quad (9)$$

$$B_z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijz} \quad (10)$$

式中 B_x ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿x轴方向的分量；

B_y ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿y轴方向的分量；

B_z ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿z轴方向的分量。

一种含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法

技术领域

[0001] 本发明专利涉及钢质管道无损检测领域,特别是一种用于埋地钢质管道缺陷检测的自漏磁场磁感应强度计算方法。

背景技术

[0002] 油气管道作为国家经济的命脉、生命线工程,保证其安全运行对于促进国家的经济发展和社会稳定具有十分重要的意义。然而,由于管道制造、施工和运行条件的复杂性,油气管道不可避免的会出现一定的缺陷。例如管道加工过程中的残余应力、焊接过程的未融合和夹渣缺陷、运行过程中产生的裂纹、穿孔和腐蚀减薄等缺陷。如果这些缺陷继续发展,最终可能导致管道发生泄漏,甚至诱发爆炸,造成重大的生命财产损失。因此,实现管道缺陷的在线检测对保障管道的安全平稳运行具有重要的意义。

[0003] 缺陷被定义为超过标准的欠缺,而欠缺则是不连续,不致密或连接不良的体现。由于缺陷与管道本体的区别主要在于应力状态、铁磁材料的体积及铁磁材料分布的不同,管道缺陷处形成的自漏磁场磁感应强度和无缺陷管道处存在差异。通过这种差异即可识别和定位管道缺陷。同时,缺陷处的应力状态、铁磁材料的体积及铁磁材料分布存在不连续性,因此,准确地计算管道缺陷自漏磁场磁感应强度是该检测技术成功的关键。然而,目前对于管道缺陷自漏磁场的计算方法过于简单,无法准确地描述管道缺陷自漏磁场磁感应强度的特征和变化规律。

[0004] 因此,现阶段急需一种含缺陷管道自漏磁场磁感应强度的计算方法,为实现埋地钢质管道缺陷的在线检测奠定理论基础,从而保障管道安全。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种钢质管道缺陷自漏磁场磁感应强度的计算方法,从而得到不同材质、管径、壁厚、埋深、运行压力、缺陷位置、缺陷形状和尺寸等条件下的管道缺陷自漏磁场磁感应强度。运用该方法计算管道缺陷自漏磁场,可有效地获得管道缺陷自漏磁场的分布特征和变化规律,为管道缺陷的定量识别和定位提供理论依据。基于磁偶极子理论和网格离散的方法建立管道缺陷自漏磁场的计算方法,其核心在于将管道缺陷的形貌进行理论建模,然后进行网格离散,确定每个网格的自漏磁场模型参数,最后通过矢量叠加得到整个缺陷的自漏磁场磁感应强度。

[0006] 该含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法包括以下内容:

[0007] (1) 管道及缺陷基础资料收集。其中,管道资料包括管道的材质、泊松比、弹性模量、屈服强度、管道的走向、管道的外径、管道的壁厚、管道的运行压力、管道的埋深、管段的长度以及管道的约束形式;缺陷资料包括缺陷的种类、形状和尺寸等。

[0008] (2) 缺陷及管道网格离散。采用非等分的方式对含缺陷管道进行网格划分,网格的粗细由管道应力变化的剧烈程度决定,在保证准确性的同时提高计算效率。附图2为含缺陷管道离散化后的示意图,其中,左侧为管道横截面视图,右侧为管道正视图。将管道沿轴线

上划分成m个网格,记为*i* = 1, 2, 3, ……*m*;在管道环向上划分成*n*个网格记*j* = 1, 2, 3, ……*n*。每个网格以左上角的节点坐标为标记,记着*e_{ij}* (*x_{ij}*, *y_{ij}*, *z_{ij}*),每个网格的体积记为*v_{ij}*。所有单元构成单元矩阵*E*,如公式1所示;所有单元的体积构成体积矩阵*V*。同时,每个网格单元*e_{ij}*对应的圆心角记为*θ_{ij}*;对应的网格轴向的长度为*l_{ij}*;以及单元的壁厚*δ_{ij}*。以上物理量构成含缺陷管道单元体的特征参数。

$$[0009] \quad E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \dots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \dots & e_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & e_{m3} & \dots & e_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0010] 每个网格单元对应有相应的体积,其体积矩阵为*V*,由式4-2表示。

$$[0011] \quad V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2n} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \dots & v_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0012] 对应于单元矩阵*E*,除了体积矩阵*V*外,还有对应单元的壁厚矩阵*δ*,对应单元轴向长度矩阵*L*。上述矩阵单元之间有如下所示关系。

$$[0013] \quad v_{ij} = \frac{\theta_{ij} D l_{ij} \delta_{ij}}{2} \quad (3)$$

[0014] 式中*e*——(*i*, *j*) 单元;

[0015] *θ_{ij}*——*e_{ij}*单元对应的圆心角,rad;

[0016] *l_{ij}*——*e_{ij}*单元轴线方向的长度,m;

[0017] *δ_{ij}*——*e_{ij}*单元对应的壁厚,m;

[0018] *D*——管道外径,m;

[0019] *v*——*e_{ij}*单元对应的管材体积,m³。

[0020] (3) 含缺陷管道离散单元的自漏磁场计算。基于磁偶极子理论,推导得到管道上任意微元体自漏磁场磁感应强度三分量的计算模型。图3为模型推导示意图,以缺陷中心为坐标原点;*x*轴方向垂直于管道轴线的方向;*y*方向为管道轴线方向;*z*方向垂直于管道所在的水平面,建立坐标系。可得到每个离散单元的自漏磁场三分量表达式,如公式(4)、(5)和(6)所示。

[0021]

$$B_{ix} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{ix} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{iz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) \left(\frac{s}{x} - \frac{i D n}{2^p} \frac{\varphi_{ij}}{2} \right) - \frac{r_{ij}^2 M_{ix}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (4)$$

[0022]

$$B_{iy} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{iy} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{ix} (y_p - y_{ij}) + M_{iz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) (y_p - y_{ij}) - \frac{r_{ij}^2 M_{iy}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (5)$$

[0023]

$$B_{ijz} = \frac{3\mu_0 D \delta_{ij}}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{ijx} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iyy} (y_p - y_{ij}) + M_{ijz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) \left(x_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) - \frac{r_{ij}^2 M_{ijz}}{3} \right] \theta_{ij} l_{ij} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \sqrt{\left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right)^2 + (y_p - y_{ij})^2 + \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right)^2} \quad (7)$$

[0025] 式中 B_{ijx} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿x轴方向的分量；[0026] B_{ijy} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿y轴方向的分量；[0027] B_{ijz} ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿z轴方向的分量；[0028] r_{ij} ——含缺陷管道网格单元到P点之间的直线距离,m；[0029] M_{ijx} ——管道上任意离散单元x轴方向的磁化强度,A/m；[0030] M_{iyy} ——管道本体上任意离散单元y轴方向的磁化强度,A/m；[0031] M_{ijz} ——管道本体上任意离散单元z轴方向的磁化强度,A/m；[0032] φ_{ij} ——管道上任意微元体与x轴正方向的夹角,rad；[0033] (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) ——管道上任意微元体在直角坐标系下的坐标,m；[0034] (x_p, y_p, z_p) ——管道上方任意计算点在直角坐标系下的坐标,m；

[0035] (4) 对含缺陷管道自漏磁场进行计算。将含缺陷管道各离散单元的自漏磁场进行叠加,即可得到含缺陷管道的自漏磁场磁感应强度三分量,如公式(8)-(10)所示。最后,也可通过公式(11)对自漏磁场磁感应强度全量进行计算。

$$B_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijx} \quad (8)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijy} \quad (9)$$

$$B_z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ijz} \quad (10)$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (11)$$

[0040] 式中 B_x ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿x轴方向的分量；[0041] B_y ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿y轴方向的分量；[0042] B_z ——含缺陷管道网格单元在P点的磁感应强度沿z轴方向的分量。

附图说明

[0043] 附图1计算方法实现的流程图。

[0044] 附图2含缺陷管道网格离散示意图。

[0045] 附图3模型建立示意图。

[0046] 附图4自漏磁场磁感应强度全量沿y轴的分布图。

具体实施方式

[0047] 下面将结合附图和计算实例对具体实施方式进行详细阐述,以使本发明的优点和

特征能更易于被本领域的技术人员理解,从而对本发明的保护范围做出更为清楚明确的界定。

[0048] 一种含缺陷钢质管道自漏磁场磁感应强度的计算方法包括以下步骤:

[0049] 步骤一,收集缺陷及管道基础资料。缺陷资料包括缺陷的种类、形状和尺寸等,缺陷的资料需要精确地收集或测量,以便对缺陷形貌进行准确的表征。管道资料包括管道的材质、管道的磁特性参数、缺陷的磁特性参数、屈服强度、管道的走向、管道的外径、管道的壁厚、管道的埋深、以及管段的长度等。其中,磁特性参数主要包括磁化强度和磁导率。

[0050] 步骤二,含缺陷管道网格离散化。通过网格划分对含缺陷管道的计算域进行离散,从而使计算结果更加精确。网格划分不宜采用等分方式进行,最好采用非等分的方式对含缺陷管道进行网格划分。网格的粗细由管道应力变化的剧烈程度决定,网格太细增加计算机的计算负担,网格太粗影响计算精度,因此,应在保证准确性的同时提高计算效率。网格划分沿管道环向和轴线方向进行,忽略管道壁厚的影响,形成二维网格如附图2所示。网格划分后,对网格进行标注,如将管道沿轴线上划分成 m 个网格,记为 $i=1,2,3,\dots,m$;在管道环向上划分成 n 个网格记 $j=1,2,3,\dots,n$ 。则任意一个网格,用其左上角的节点标记为 e_{ij} ,并计算出每个网格的坐标 (x_{ij},y_{ij},z_{ij}) 。最后形成网格单元矩阵/网格坐标矩阵、网格壁厚矩阵、网格长度矩阵、网格圆心角矩阵等。继而按照公式(3)计算每个网格的体积记为 v_{ij} 。公式(1)和公式(2)分别为网格单元矩阵和网格体积矩阵,公式(3)为网格体积矩阵的计算公式。

$$[0051] \quad E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \cdots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \cdots & e_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m1} & e_{m2} & e_{m3} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[0052] \quad V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \cdots & v_{2n} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \cdots & v_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0053] \quad v_{ij} = \frac{\theta_j D l \delta_j}{2} \quad (3)$$

[0054] 步骤三,计算含缺陷管道网格单元的自漏磁场磁感应强度。在资料收集和网格划分的基础上,将管道网格单元矩阵、网格壁厚矩阵、网格长度矩阵、网格圆心角矩阵、管道外径、计算点的坐标、管道的埋设深度、缺陷在管道上的位置等参数代入公式(4)、(5)和(6)即可得到管道的磁感应强度沿 x 轴防线的分量、沿 y 轴方向的分量和沿 z 轴方向的分量。

[0055]

$$B_{jix} = \frac{3\mu_0 D \delta_j}{8\pi r_y^5} \left[\left(M_{jix} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_j}{2} \right) + M_{jyx} (y_p - y_{ij}) + M_{jzx} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_j}{2} \right) \right) \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_j}{2} \right) - \frac{r_y^2 M_{jix}}{3} \right] \theta_j l_j \quad (4)$$

[0056]

$$B_{iy} = \frac{3\mu_0 D \delta_j}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{yx} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{yz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) (y_p - y_{ij}) - \frac{r_{ij}^2 M_{iy}}{3} \right] \theta_j l_j \quad (5)$$

[0057]

$$B_{iz} = \frac{3\mu_0 D \delta_j}{8\pi r_{ij}^5} \left[\left(M_{yx} \left(x_p - \frac{D \cos \varphi_{ij}}{2} \right) + M_{iy} (y_p - y_{ij}) + M_{yz} \left(z_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) \right) \left(x_p - \frac{D \sin \varphi_{ij}}{2} \right) - \frac{r_{ij}^2 M_{iz}}{3} \right] \theta_j l_j \quad (6)$$

$$[0058] \quad r_{ij} = \sqrt{\left(x_p - \frac{D}{2} \cos \varphi_{ij} \right)^2 + (y_p - y_{ij})^2 + \left(z_p - \frac{D}{2} \sin \varphi_{ij} \right)^2} \quad (7)$$

[0059] 步骤四,计算含缺陷管道自漏磁场磁感应强度。依据步骤三的结果,将含缺陷管道网格单元的自漏磁场磁感应强度三分量分别进行叠加即可得到含缺陷管道自漏磁场的三分量,叠加公式如式(8)~(10)所示。也可以计算得到最终的自漏磁场磁感应强度全量的值如公式(11)所示。

$$[0060] \quad B_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ix} \quad (8)$$

$$[0061] \quad B_y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{iy} \quad (9)$$

$$[0062] \quad B_z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{iz} \quad (10)$$

$$[0063] \quad B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (11)$$

[0064] 以一条含凹陷缺陷管道为例:管材为L415钢、管径508mm、壁厚10mm、运行压力4.72MPa,管顶投影面积为0.0314m²的区域内施加1.3×10⁵N的外力作用,管道发生塑性变形,形成凹陷缺陷。按照以上四步对该含凹陷缺陷管道进行计算,得到该含凹陷缺陷管道自漏磁场磁感应强度全量沿管道轴线方向的变化曲线如附图4所示。

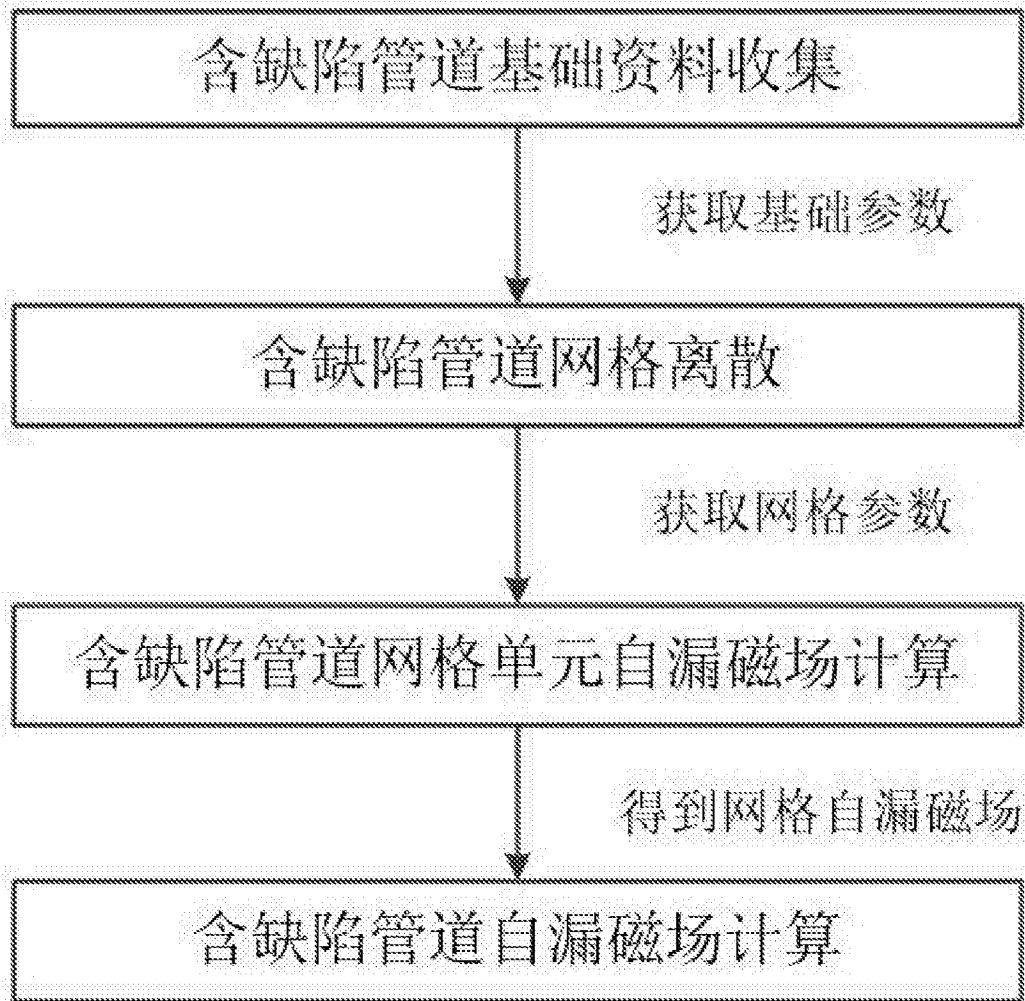


图1

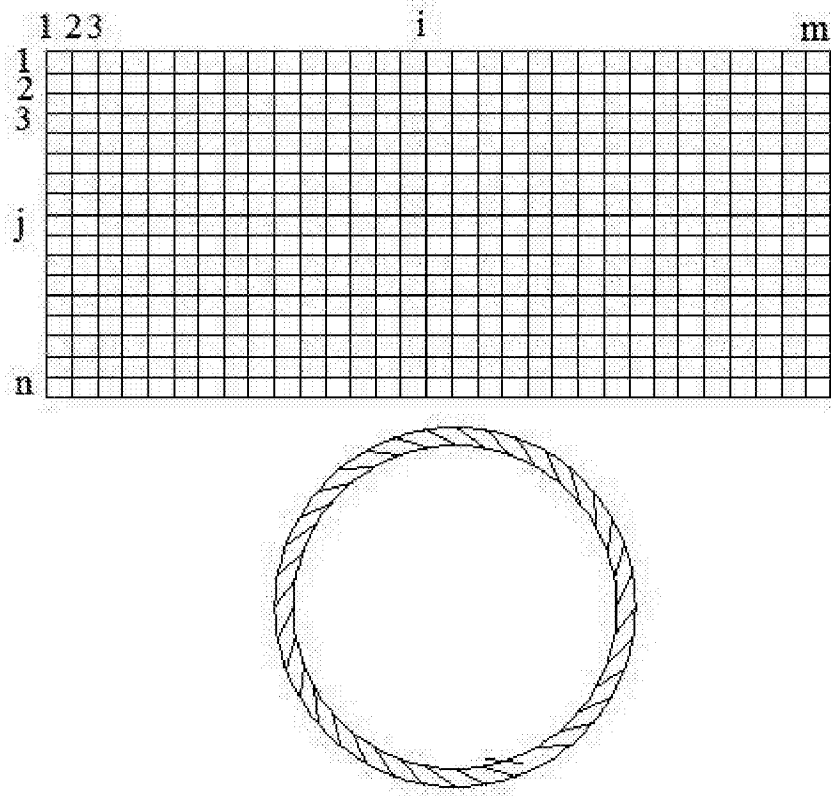


图2

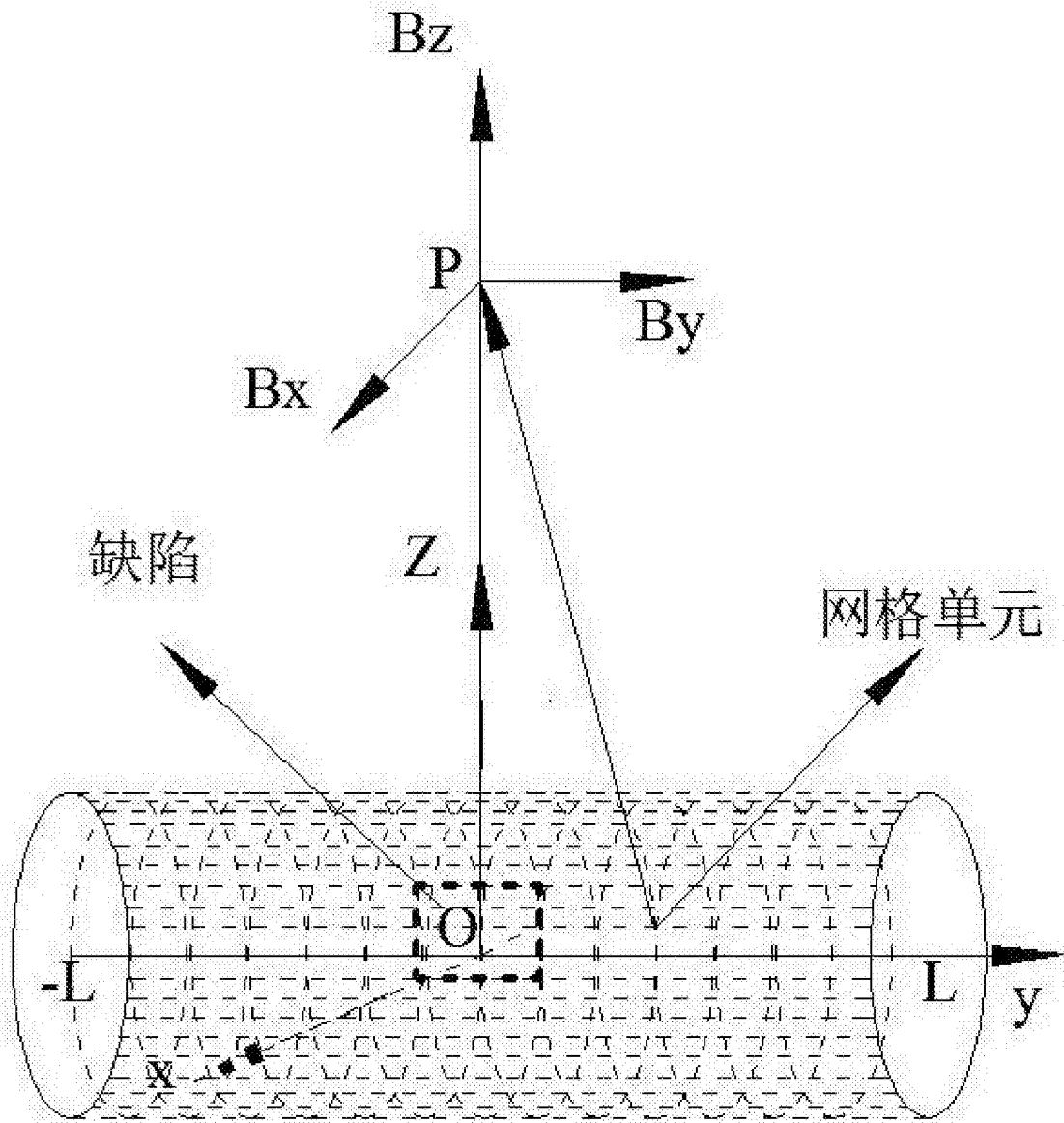


图3

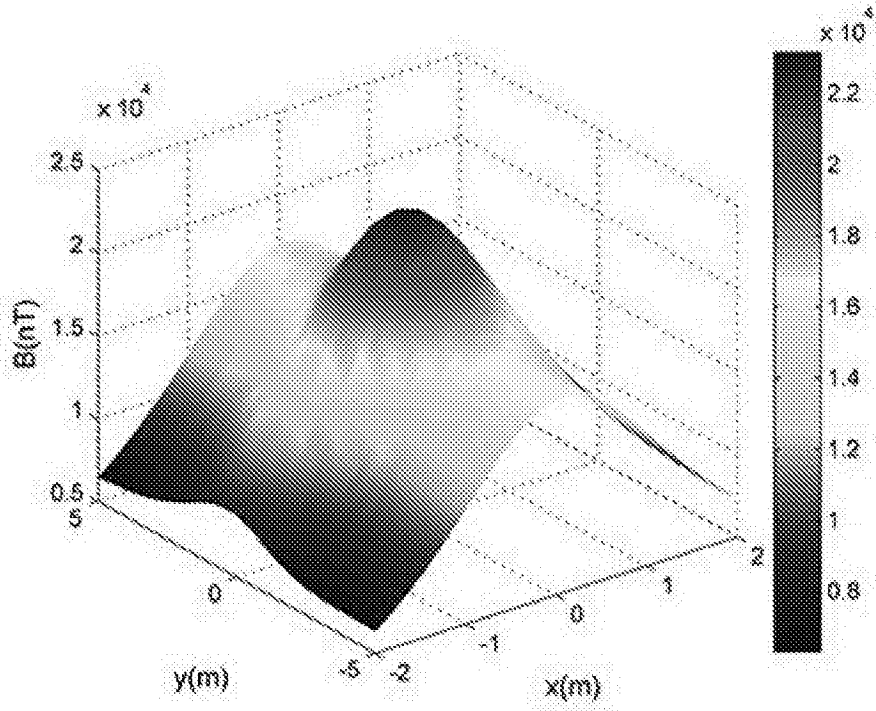


图4