

一种长距离埋地管道应力评价方法

技术领域

本发明涉及一种长距离埋地管道应力评价方法。

背景技术

输气管道敷设环境复杂，在长期运行过程中不可避免地承受各种外部载荷，如土体移动作用在管道上的推力、管道沉降产生的应力集中等。管道的高应力区域容易产生裂纹等缺陷，裂纹在持续的高应力作用下不断扩展，最终可能导致管道断裂失效。因此，在外部载荷作用下管道本体承受应力水平是否处于安全状态是值得重点关注的问题。

对于输气管道，可以根据外部环境初步判断某些典型区域的管段面临高应力水平的可能性较大，比如处于滑坡、地面沉降等地质灾害区域的管段。但对于其它外部环境特征并不明显的某条（段）管道而言，如何识别该条（段）管道的应力分布状态、找出高应力区域位置是开展管道的应力检测评价首先面临的问题。因为就目前的实际情况而言，对管道全线开展应力检测是不可行的，所以需要首先确定某条（段）管线高应力区域，进而开展后续的检测、监测及评价。

在识别出管道的高应力区域之后，需要检测管道当前的应力水平。目前应力检测技术种类繁多，单就应力的无损检测技术而言就包括磁记忆检测法、超声波法、X射线衍射法等多种技术手段。输气管道敷设环境复杂，优选出适用于在役输气管道的应力检测技术是工程中亟待解决的问题。

某些管道受力状态是随时间而变化的，例如位于地质灾害区域的管道。分公司管道面临滑坡、泥石流、塌陷等多种类型的地质灾害风险，目前在地质灾

害区管道监测方面尚未开展系统、深入的研究，所以识别出的地质灾害高风险管段尚缺乏有效的监测手段。对于这类管道，需要研究形成管道应力/应变监测技术以监控管道在长期运行期间的受力变化趋势，从而掌握管道的安全运行状态。

通过应力/应变检测、监测技术可以获取管道的部分应力状态，例如通过应变传感器一般可以测得管道的轴向应力状态，而管道的环向应力难以通过应变传感器的方式获取。也就是说，在通过先进的检测、监测技术实测管道应力数据后，不能直接对管道的整体受力状态作出全面评估，这就要求科学合理的管道力学评价方法作支撑。标准规范方面，ASME B31.8 对管道及其附件的应力校核给出了具体的评价方法，但这些方法更加适用于管道的设计阶段。在管道的运行阶段，由于管道的服役环境复杂、甚至发生重大变化，管道在长期运行过程中受力状态的复杂性对管道的力学评价提出的更高的要求，需要考虑更切合实际的边界条件、以及精度更高的评价方法。

发明内容

为了克服现有技术中的问题，本发明提供一种长距离埋地管道应力评价方法。

本发明解决上述技术问题所提供的技术方案是：一种长距离埋地管道应力评价方法，包括：

步骤 S1、在目标管道上安装若干个光纤光栅传感器；

步骤 S2、根据光纤光栅传感器获取目标管道的外检测数据和内检测数据；

步骤 S3、将内检测数据转换为管道三维结构参数；

步骤 S4、根据土弹簧模型将外检测数据转换为土弹簧参数；

步骤 S5、根据管道基础资料、土壤基本参数建立埋地输气管道有限元模型；

步骤 S6、根据管道三维结构参数、土弹簧参数以及埋地输气管道有限元模型计算得到管道应力分布图；

步骤 S7、根据管道应力分布图预判目标管道的高应力区。

进一步的技术方案是，所述步骤 S3 中利用内检测数据中的管道特征里程数据转换为管道三维模型的节点坐标。

进一步的技术方案是，所述步骤 S4 中首先将外检测数据中的里程信息与内检测数据的里程信息相匹配，其次将外检测数据中的管道埋深输入到对应管段的土弹簧模型中，完成不同管段土弹簧接触刚度的计算，实现外检测数据转换为土弹簧参数。

进一步的技术方案是，所述步骤 S5 中管道基础资料包括管道名称、管道长度、管道规格、管道材质、安装温度、操作温度、设计压力、操作压力、管道埋深数据、管道内检测数据。

进一步的技术方案是，所述步骤 S5 中土壤基本参数包括摩擦因数、土壤密度、土壤内摩擦角、抗剪强度、土壤压缩因数、屈服位移因数、热膨胀因数。

进一步的技术方案是，所述步骤 S6 中在 MatLab 中生成主控程序，将管道节点坐标、单元属性、单元划分、土弹簧约束、压力和温度载荷等作为输入信息写入 Ansys 中；调用 Ansys 进行应力计算；通过 Ansys 参数化语言 APDL 读取应力计算结果输出值文本文档，获得管道轴力、管道弯矩、管道轴向应力、管道环向应力、管道 Mises 应力结果数据，形成管道应力分布图。

本发明具有以下有益效果：本发明针对识别长距离埋地管道应力风险的需求，提出“数据采集-数据转换-参数化建模-批量处理”完整的技术流程，该方法计算效率高、工程应用便利，在理论计算方面解决了长距离埋地管道的高应力区识别问题。

附图说明

图 1 为直管段环焊缝节点关系示意图；

图 2 为弯管段环焊缝节点关系示意图；

图 3 为管土作用的土弹簧有限元模型图；

图 4 为管轴、水平、垂直三个方向的土弹簧本构关系图。

具体实施方式

下面将结合附图对本发明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做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。

本发明的一种长距离埋地管道应力评价方法，依次包括下列步骤：

步骤 S1、在目标管道上安装若干个光纤光栅传感器；

步骤 S2、根据光纤光栅传感器获取目标管道的外检测数据和内检测数据；

步骤 S3、利用内检测数据中的管道特征里程数据转换为管道三维模型的节点坐标（x、y、z）；

其中（1）内检测数据转换为管道三维结构参数：

定义管道起点轴向为 x 方向、垂直方向为 y 方向、水平方向为 z 方向。

①直管段节点计算方法

已知环焊缝节点 a 坐标，则环焊缝节点 b 相对于节点 a 的坐标求解式为：

$$\begin{array}{ll} x_b = x_a + L \cdot \sin \theta & x_b = x_a + L \cdot \sin \theta \\ y_b = y_a + L \cdot \cos \theta & \text{或 } y_b = 0 \\ z_b = 0 & z_b = z_a + L \cdot \cos \theta \end{array}$$

式中：L 为节点 a 与节点 b 沿管道轴向的距离，内检测数据中两环焊缝之间的相对距离，mm； θ 为管道轴向与 x 方向夹角，根据内检测数据中节点 a 之

前的弯头角度确定，若无弯头则为 0。

②弯头节点计算方法

1) 弯头节点 a 坐标解析式：

$$\begin{aligned}x_a &= L_0 \\y_a &= 0 \\z_a &= 0\end{aligned}$$

式中： L_0 为内检测数据中弯头 a 末端环焊缝与上游某直管段环焊缝之间的距离，mm；

2) 弯头节点 b 坐标解析式：

$$\begin{aligned}x_b &= L_1 \cdot \cos \theta_0 & x_b &= L_1 \cdot \cos \theta_0 \\y_b &= L_1 \cdot \sin \theta_0 & \text{或} & y_b = 0 \\z_b &= 0 & z_b &= L_1 \cdot \sin \theta_0\end{aligned}$$

式中： L_1 为内检测数据中弯头 b 末端环焊缝与弯头 a 末端环焊缝之间的距离，mm； θ_0 为管道轴向与 x 方向夹角，根据内检测数据中节点 a 之前的弯头角度确定，若无弯头则为 0；

3) 弯头节点 c 坐标解析式：

$$\begin{aligned}x_c &= L_2 \cdot \cos(\theta_0 + \theta_1) & x_c &= L_2 \cdot \cos(\theta_0 + \theta_1) \\y_c &= L_2 \cdot \sin(\theta_0 + \theta_1) & \text{或} & y_c = 0 \\z_c &= 0 & z_c &= L_2 \cdot \sin(\theta_0 + \theta_1)\end{aligned}$$

式中： L_2 为内检测数据中弯头 c 末端环焊缝与弯头 b 末端环焊缝之间的距离，mm； θ_1 为内检测数据中弯头 b 角度。

步骤 S4、根据土弹簧模型将外检测数据转换为土弹簧参数；

首先将外检测数据中的里程信息与内检测数据的里程信息相匹配，其次将外检测数据中的管道埋深输入到对应管段的土弹簧模型中，完成不同管段土弹簧接触刚度的计算，实现外检测数据转换为土弹簧参数；

其中土弹簧按作用方向可分为管轴方向土弹簧、水平方向土弹簧和垂直方向土弹簧。垂直方向土弹簧又分为垂直向上土弹簧和垂直向下土弹簧。土弹簧模型见图 3 所示；

①管轴方向土弹簧刚度计算

$$K_a = \frac{f_u}{X_u}$$

式中： K_a 为管轴方向土弹簧刚度； f_u 为沿管轴方向管土之间的滑动摩擦力 (N)； X_u 为管轴方向土弹簧的屈服位移。

有以下计算公式：

$$f_u = f_s \cdot D_L$$

$$f_s = \mu(2W + W_p)$$

$$W = \rho_s D H g$$

$$W_p = \left[\pi(D - \delta) \delta \rho_m + \frac{\pi}{4}(D - \delta)^2 \rho \right] g$$

式中： f_s 为沿管轴方向土壤与管道外表面之间单位长度上的摩擦力 (N/m)； D_L 为土弹簧间距 (m)； W 为管道上表面至地面之间的土壤单位长度上的重力 (N/m)； W_p 为管道与内部介质的自重 (N/m)； μ 为土壤与管道外表面之间的摩擦系数； ρ_m 为管道材料的密度 (kg/m^3)； ρ 为输送介质的密度 (kg/m^3)。

②水平方向土弹簧刚度计算

$$K_H = \frac{P_u}{Z_u}$$

式中： K_H 为水平方向土弹簧刚度； P_u 为土壤沿水平横向对管道的压力 (N)； Z_u 为水平方向土弹簧的屈服位移。

有以下公式：

$$P_u = (N_{ch} c D + N_{qh} \rho_{sl} g H D) D_L$$

说明书

$$X_u=0.04(H+D/2)$$

$$N_{ch}=6.752+0.065H/D-\frac{11.063}{(H/D+1)^2}+\frac{7.119}{(H/D+1)^3}$$

$$N_{qh}=C_0+C_1(H/D)+C_2(H/D)^2+C_3(H/D)^3+C_4(H/D)^4$$

式中： N_{ch} 为水平横向考虑土体粘聚力的计算参数，且 $N_{ch} \leq 9$ ； $c=0$ 时， $N_{ch}=0$ ； c 为土的粘聚力（kPa）； H 为管道轴线至管沟上表面之间的埋深（m）； D 为管道外径（m）； N_{qh} 为水平横向与土体内摩擦角有关的计算参数，系数 $C_0 \sim C_4$ 按表 1 取值， $\phi=0^\circ$ 时， $N_{qh}=0$ ； ϕ 为土的内摩擦角（°）； ρ_{sl} 为管道周围场地土的密度（kg/m³）。

表 1 N_{qh} 的系数取值

ϕ	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
20°	2.399	0.439	-0.030	0.001059	-0.0000175
25°	3.332	0.839	-0.090	0.005606	-0.0001319
30°	4.565	1.234	-0.089	0.004275	-0.0000916
35°	6.816	2.019	-0.146	0.007651	-0.0001683
40°	10.959	1.783	0.045	-0.005425	-0.0001153
45°	17.658	3.309	0.048	-0.006443	-0.0001299

注：可以采用插值方法得到其他内摩擦角的系数值。

③垂直方向土弹簧刚度计算

1) 垂直向上土弹簧应按下列公式计算：

$$q_u=(N_{cu}cD+N_{qu}\rho_{sl}gHD)D_L$$

$$\text{从密砂到松砂: } Y_u=(0.01 \sim 0.02)H$$

$$\text{从硬黏土到软黏土: } Y_u=(0.1 \sim 0.2)H$$

说明书

$$N_{cvu}=2(H/D)$$

$$N_{quu}=(\phi/44)(H/D)$$

式中, q_u 为垂直向上土对管道的压力 (N); Y_u 为垂直向上土弹簧的屈服位移 (m); N_{cvu} 为垂直向上考虑土体粘聚力的计算参数, $N_{cvu} \leq 10$; N_{quu} 为垂直向上与土体内摩擦角有关的计算参数, $N_{quu} \leq N_{qh}$ 。

2) 垂直向下土弹簧应按照下列公式计算:

$$q_{ul}=(N_{cud}cD+N_{qud}\rho_{sl}gHD+N_r\rho_{sl}gD^2/2)D_L$$

$$\text{砂土: } Y_{ul}=0.1D$$

$$\text{粘土: } Y_{ul}=0.2D$$

$$N_{cud}=\left[\cot(\phi+0.001)\right]\left\{e^{\pi\tan(\phi+0.001)}\left[\tan\left(45+\frac{(\phi+0.001)}{2}\right)\right]^2-1\right\}$$

$$N_{qud}=e^{\pi\tan(\phi+0.001)}\left[\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)\right]^2$$

$$N_r=e^{0.18\phi-2.5}$$

式中, q_{ul} 为垂直向下土对管道的压力 (N); Y_{ul} 为垂直向下土弹簧的屈服位移 (m); N_{cud} 为垂直向下土弹簧的计算参数; N_{qud} 为垂直向下土弹簧的计算参数; N_r 为垂直向下土弹簧的计算参数。

步骤 S5、根据管道基础资料、土壤基本参数建立埋地输气管道有限元模型;

步骤 S6、根据管道三维结构参数、土弹簧参数以及埋地输气管道有限元模型计算得到管道应力分布图;

在 MatLab 中生成主控程序, 将管道节点坐标、单元属性、单元划分、土弹簧约束、压力和温度载荷等作为输入信息写入 Ansys 中; 调用 Ansys 进行应力计算; 通过 Ansys 参数化语言 APDL 读取应力计算结果输出值文本文档, 获得管道轴力、管道弯矩、管道轴向应力、管道环向应力、管道 Mises 应力等结果数

据，形成管道应力分布图。MatLab-Ansys 集成环境中，“有限元模型读取程序”、“调用 Ansys 程序”、“读取应力结果程序”分别用于将读取的管道有限元模型信息读入 Ansys 软件、调用 Ansys 进行应力计算、以及读入 Ansys 输出的应力结果用于输出。

步骤 S7、根据管道应力分布图预判目标管道的高应力区。

以上所述，并非对本发明作任何形式上的限制，虽然本发明已通过上述实施例揭示，然而并非用以限定本发明，任何熟悉本专业的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围内，可利用上述揭示的技术内容作出些变动或修饰为等同变化的等效实施例，但凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均仍属于本发明技术方案的范围。