

油田集输管道防盗预警技术

刘刚¹

摘要: 油田集输管道防盗报警技术目前主要是采用负压波检测法, 这种方法是在泄漏发生后报警, 属于事后、被动方式报警, 不能避免集输管道内油气泄漏, 修复破损的管道时, 会影响正常集输, 进一步造成经济损失。集输管道防盗预警技术具有主动报警功能, 在管道上方或防腐保温层外铺设感应带, 感应带集成在聚乙烯外壳中, 并联电路中1条导线呈矩形密布排列, 当盗窃行为发生时, 感应带必先遭受破坏而断裂, 产生报警信号传送至监测器。监测器发出报警音, 报警灯闪烁, 并在屏幕上显示管道破坏点定位卫星图像, 实现防盗预警功能, 以避免管道遭到破坏。该系统定位精度高, 可使工作人员快速、准确地赶往事发地点, 有效避免环境污染及经济损失。

关键词: 集输管道; 防盗预警; 监测器; 感应带

Doi: 10.3969/j.issn.1006-6896.2016.11.018

Anti-theft Early Alarm Technology of Oilfield Gathering Pipeline

Liu Gang

Abstract: Anti-theft alarm technology of oilfield pipeline at present mainly adopts the negative pressure wave method, this method is in after the occurrence of leakage alarm, belong to the later, passive way of alarm, cannot avoid gathering pipeline in oil/gas leakage, to repair a broken line, will affect the normal gathering, cause further economic loss. Pipeline security early warning technology is an active way of alarm, laid anti-corrosion insulation induction over the pipe or outside, induction integration in polyethylene shell, 1 wire rectangular densely arranged in parallel connection circuit, when the theft occurred, induction will be damaged and fracture at first, generate alarm signals to monitor. Monitor alarm sound, alarm lights flashing, satellite image of pipe damage point position will show on the monitor screen, achieve security early warning function, in order to avoid damage to pipeline. With high positioning accuracy, the system can make the staff quickly and accurately to trouble spots, effectively prevent environmental pollution and economic losses.

Key words: gathering pipeline; anti-theft early alarm; monitor; induction

1 集输管道防盗报警技术现状

油田集输管道多为野外敷设, 地下埋设深度大于1 m, 打孔盗油、盗气等破坏行为威胁管道的安全集输。集输管道防盗报警技术目前主要采用负压波检测法, 它是利用管道泄漏时产生的负压波信号沿管道向两端传播原理(由于管道的波导作用, 负压波能够传播几十公里的距离), 安装在管道两端的检测设备, 根据负压波信号到达的时间差计算泄漏点的位置。负压波检测法属于事后、被动报警,

不能避免因油气泄漏造成的经济损失和环境污染; 管道遭到破坏还会影响管道使用寿命; 修复破损的管道时, 也会影响正常集输, 进一步造成经济损失^[1-4]。

2 集输管道防盗预警技术

集输管道防盗预警技术可实现主动报警, 报警装置主要由感应带和监测器两部分组成。感应带是埋设在地下管道上方一定高度或包覆在防腐保温层外的带状感应薄膜, 可以对外力破坏和腐蚀穿孔漏

¹大庆油田有限责任公司第八采油厂规划设计研究所

油进行报警和定位（图1）。

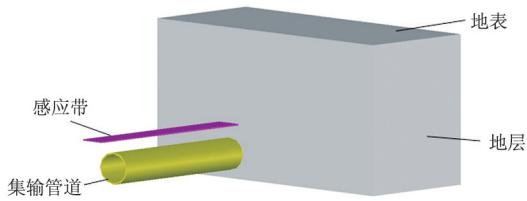


图1 感应带埋设示意图

2.1 感应带结构组成

感应带由不少于2根导线的回路和在2根导线之间等距分布的阻值相同的电阻组成，相当于由若干等阻值电阻等距分布组成的并联电路。并联电路集成在聚乙烯外壳中，组成感应带（图2）。其中1条导线上每相邻两个电阻之间安装有热感元件（当温度骤变时热感元件起断路作用），另1条导线呈矩形密布排列。

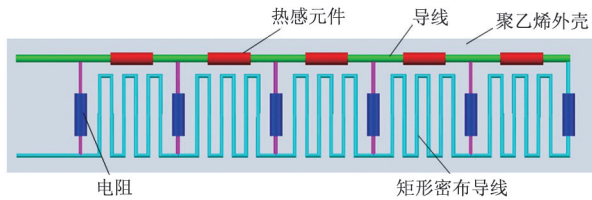


图2 感应带结构示意图

2.2 感应带敷设方式及工作原理

已建管道可以在管道上方沿管道敷设路径开挖窄沟，将感应带沿管道的轴向平布敷设在管沟内。新建管道可拓宽感应带宽度使其包覆在管道防腐保温层外表面，再将管道埋地敷设（图3）。

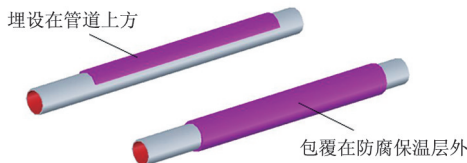


图3 感应带包覆方式示意图

感应带报警原理如图4所示。

在感应带上安装电阻个数为 n ，电阻的阻值为 R_0 ，电阻等距分布的距离为 L ，离监测器最近的电阻序号为1，离监测器最远的电阻序号为 n 。则被监测管道的总长度 $L=L_1+L_2+\dots+L_{n-1}+L_n$ ，监测回路的总电阻 $R=R_0/n$ 。

若被破坏点处于序号 x 与 $x+1$ 的电阻之间时，或序号 x 与 $x+1$ 的电阻之间导线上的热感元件断路时，使序号 x 与 $x+1$ 的电阻之间的导线断裂，此时监测器所监测出感应带中的电阻值就不再是序号从1至 n 的电阻并联的电阻值 R_0/n ，而是序号从1至 x 的电阻的并联电阻值 R_0/x 。

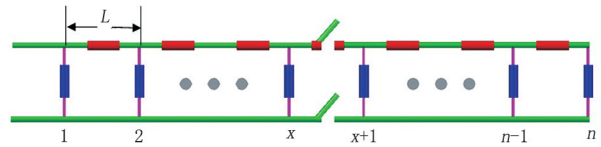


图4 感应带报警原理图

2.3 监测器工作原理

监测器由供电电路、设置电路、计算电路、报警电路和显示器组成。

(1) 供电电路。给感应带提供电能，其输出电流、电压均可调，保证感应带正常通电工作。

(2) 设置电路。设置监测器的基本参数，包括单体电阻阻值 R_0 ，相邻电阻的间距 L ，感应带导线及热感元件的阻值修正系数等。

(3) 计算电路。对感应带所传送回来的电阻和电流信号进行分析、修正和计算。根据修正后感应带电阻阻值 R_x 反算出在回路中工作的电阻个数 x ，再根据相邻电阻间距进一步计算出沿管道敷设路径上破坏发生的位置距监测器近端的距离。

(4) 报警电路。得到计算电路的报警指令后，启动报警模式，发出报警音，闪烁报警灯。

(5) 显示器。用来设置参数和报警信息，报警时，在卫星图像中显示集输管道破坏点位置。

2.4 防盗预警功能

不法分子盗窃原油时需在管道上打孔，在进行地表挖坑过程中，因为感应带埋设在管道上方或包覆在管道防腐保温层外表面，且感应带中矩形密布相邻导线间距为5~10 cm，小于打孔盗油所需最小操作破坏面宽度，必定使感应带先断裂，感应带中矩形密布的导线断开，产生报警信号，监测器会进行报警并定位（图5）。但此时管道本身并未被破坏，从而实现防盗预警功能。

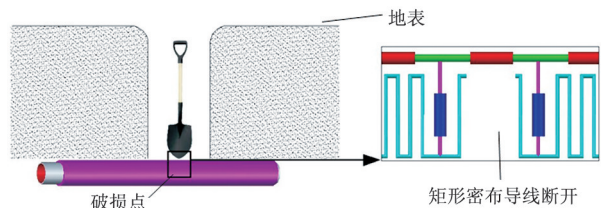


图5 防盗预警工作示意图

2.5 穿孔报警功能

正常集输的管道由于内部流体的侵蚀以及所埋设地下环境的腐蚀，将导致管道本身锈蚀穿孔。这种穿孔现象发生在地下，被土壤遮盖，不易被发现，因此定位穿孔点极为困难，经常采用沿管道敷设路径挖掘的方式查找泄漏点，工程量大、耗时间长。

应用管道防盗预警技术，当穿孔发生时管道内

输送介质泄漏时, 输送介质温度与地下环境温度产生温度差, 感应带中的热感元件感应到温度变化后使感应带自泄漏点断路, 产生报警信号, 监测器会进行报警并定位, 实现穿孔报警功能。

3 定位精度及适用距离

定位精度为计算电路所能识别感应带中电阻变化的最小差值, 在显示器上表现为定位卫星图中的管道长度区间。当感应带中两个相邻电阻被分别断路时, 感应带中阻值变化最小。假设两种报警情况; 第一种情况报警时感应带中工作电阻个数为 $x-1$, 此时感应带电阻 $R_1 = R_0/(x-1)$; 另一种情况报警时感应带中工作电阻个数为 x , 此时感应带电阻 $R_2 = R_0/x$ 。两种报警情况感应带的电阻差值为

$$\Delta R = R_1 - R_2 = \frac{R_0}{(x-1)} - \frac{R_0}{x} \quad (1)$$

x 值随管道长度变化较大, 不便于定量讨论, 用两个相邻电阻间距 L 予以替换。当两个相邻电阻间距为 L , 感应带中有 x 个电阻工作时感应带的长度为 $d = xL$, 则

$$x = d/L \quad (2)$$

将式 (2) 带入式 (1), 得

$$\Delta R = \frac{L^2 R_0}{d^2 - dL} \quad (3)$$

由式 (3) 可知, 对于每条集输管道 d 为固定值, R_0 、 L 为变量, 提高单个电阻的电阻值 R_0 (电阻值的数量级为 $10^6 \Omega$ 即兆欧) 可以提高定位精度, 增大两个相邻电阻间距 L , 定位精度将会以平方倍迅速增加。但随着 L 的增大, 电阻数量 n 减少, 感应带中电阻的覆盖率降低, 使感应带自身的电阻值变化精度降低。

综合上述分析, 建议实际应用中两个相邻电阻间距 L 的取值范围为 $5 \text{ m} < L < 10 \text{ m}$ 。

当 L 的取值范围为 $5 \text{ m} < L < 10 \text{ m}$ 、 R_0 的电阻值数量级为 $10^6 \Omega$ 时, 增加集输管道的长度, 定位精度将会以平方倍迅速降低。设 d 的数量级幂数为 k , 将式 (3) 做数量级计算得

$$\Delta R = \frac{L^2 R_0}{d^2 - dL} = \frac{10^2 \times 10^6}{10^{2k} - 10^{k+1}} \quad (4)$$

由于监测器计算电路识别精度 ΔR 的数量级为 10^{-3} , 将其带入式 (4) 中

$$10^{-3} = \frac{10^2 \times 10^6}{10^{2k} - 10^{k+1}} \quad (5)$$

解式 (5) 得 $k = 5.5$, 为保证定位精度, 建议

实际应用中 d 的数量级小于 10^5 , 即采用感应带的集输管道长度 $d < 100 \text{ km}$ 。

4 感应带的投资及修复

组成感应带的热感元件 (温敏电阻)、常规电阻、导线、聚乙烯外壳均为价格低廉产品, 感应带成本较低。

感应带安装施工时只需放置管道上方或包覆在管道外, 再将管道埋地敷设, 施工简单, 工程费用低。

感应带外壳为聚乙烯材质, 质地柔韧, 敷设完成后可在管沟回填过程中有效地保护感应带内部电路不受破坏。若感应带在盗油时遭到破坏断裂, 维修时可将断裂部分整体去除, 用新感应带将缺失部分修补密封好, 在处理偷盗事件现场同时就能立即完成修复, 使感应带恢复正常工作。

5 结语

(1) 集输管道防盗预警技术是在管道被破坏之前就发出报警信号, 属于主动报警方式, 能够有效避免管道遭到破坏; 并且定位精度高, 可使工作人员快速、准确地赶往事发地点, 有效避免环境污染及经济损失。

(2) 集输管道防盗预警技术能在管道发生自身锈蚀穿孔时立即报警, 减少工作人员寻找泄漏点的工作量, 缩短维修时间。

参考文献

- [1] 狄彦. 长输管道泄漏检测技术进展浅析[J]. 安全和环境, 2010, 10 (3): 2-4.
- [2] 郭文辉, 曾宪云. 管道泄漏检测技术[J]. 工业安全与环保, 2007, 33 (2): 40-42.
- [3] 王晓宇, 王树立. 管道泄漏检测及定位技术的研究现状与发展方向[J]. 江苏工业学院学报, 2008, 20 (3): 74-78.
- [4] 张其敏, 严宏东. 管道泄漏检测技术及评价[J]. 重庆科技学院学报, 2006, 8 (2): 33-35.

作者简介

刘刚: 工程师, 2008年毕业于东北石油大学石油工程专业, 从事油气集输规划工作, 0459-4512217, lggh@petrochina.com.cn, 黑龙江省大庆市大庆油田第八采油厂设计规划所, 163514。

收稿日期 2015-10-16

(栏目编辑 关梅君)