



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102242872 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 16

(21) 申请号 201110169827. 1

(22) 申请日 2011. 06. 22

(71) 申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

(72) 发明人 冯健 刘金海 张化光 马大中 魏向向 李健

(74) 专利代理机构 沈阳东大专利代理有限公司 21109

代理人 朱光林

(51) Int. Cl.

F17D 5/06 (2006. 01)

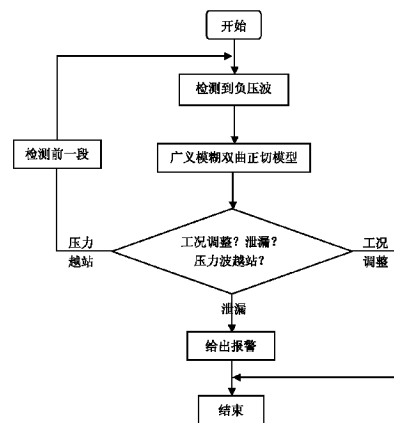
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法

(57) 摘要

一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法,属于管道检测技术领域。按如下步骤:1、拾取到负压波信号,传递给信号调理板,计算负压波产生的起始位置;2、利用广义模糊双曲正切模型对负压波来源进行分类,判断负压波的产生是由于泄漏、压力越站还是工况调整;3、若负压波来源于压力越站,则检测前一段管道上有没有泄漏,回到步骤 1;若负压波来源于泄漏则执行步骤 4;若负压波来源于工况调整则执行步骤 5;4、给出泄漏警报;本发明的优点:采用广义模糊双曲正切模型来区分负压波来源。将阀门开度,泵的状态,流量,温度,压力,密度作为广义模糊双曲正切模型的输入变量,并通过输出值来判断是否发生泄漏,防止误报警。



1. 一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法,其特征在于,按如下步骤:

步骤 1、安装在管网中一段管道两端的数据采集装置中的压力传感器拾取到负压波信号,传递给信号调理板,根据负压波到达两端的时间差计算负压波产生的起始位置;

根据负压波到达单条管道两端的时间差计算负压波产生的起始位置;公式如下,

$$X = \frac{L - \alpha(t_2 - t_1)}{2} \quad (1)$$

式中 X- 输油管道泄漏点首端的距离, m;

L- 输油管道长度, m;

$\alpha$  - 负压波在输油管道中的传播速度, m/s;

$t_1$  - 负压波到达首端时间, s;

$t_2$  - 负压波到达末端时间, s;

管道中存在柴油、汽油混输的情况,此时波速在两种液体中的速度是不同的,在这种情况下检测到负压波存在时计算负压波产生的起始位置公式转换为:

$$X = \frac{(t_1 - t_2 - \frac{S}{\alpha_1})\alpha_2 + S + L}{2} \quad (2)$$

式中  $t_1$  - 负压波到达首端时间, s;

$t_2$  - 负压波到达末端时间, s;

S- 输油管道中汽油长度, m;

$\alpha_1$  - 负压波在汽油中传播速度, m;

$\alpha_2$  - 负压波在柴油中传播速度, m;

L- 输油管道长度, m;

X- 输油管道泄漏点距首端的距离, m;

步骤 2、某一管段上负压波是由本段上某点泄漏、其他管段泄漏产生的压力越站或工况调整产生,利用广义模糊双曲正切模型对负压波来源进行分类,判断负压波的产生是由于泄漏、压力越站还是工况调整;

步骤 3、若负压波来源于压力越站,则检测前一段管道上有没有泄漏,回到步骤 1;若负压波来源于泄漏则执行步骤 4;若负压波来源于工况调整则执行步骤 5;

步骤 4、给出泄漏警报;

步骤 5、结束。

2. 根据权利要求 1 所述的基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法,其特征在于:所述的步骤 2 中利用广义模糊双曲正切模型对负压波来源进行分类方法如下:

1)、模型输出值为 1 时,代表泄漏发生,负压波来源于泄漏;

2)、模型输出值为 0.5 时,代表负压波来源于压力越站;

3)、模型输出值为 0 时,代表负压波来源于工况调整;

广义模糊双曲正切模型第 1 条模糊规则的形式为:

$$R^l: \text{IF } (x_1 - d_{11}) \text{ is } F_{x_{11}} \text{ and } (x_1 - d_{12}) \text{ is } F_{x_{12}} \text{ and } \cdots \text{ and } (x_1 - d_{1w_1}) \text{ is } F_{x_{1w_1}} \text{ and } \\ (x_2 - d_{21}) \text{ is } F_{x_{21}} \text{ and } (x_2 - d_{22}) \text{ is } F_{x_{22}} \text{ and } \cdots \text{ and } (x_2 - d_{2w_2}) \text{ is } F_{x_{2w_2}} \text{ and } \cdots$$

$$\begin{aligned} & \text{and}(x_n - d_{n1}) \text{ is } F_{x_{n1}} \text{ and}(x_n - d_{n2}) \text{ is } F_{x_{n2}} \text{ and} \cdots \text{and}(x_n - d_{nw_n}) \text{ is } F_{x_{nw_n}} \\ \text{THEN } y^l &= c_{F_{11}} + c_{F_{12}} + \cdots c_{F_{1w_1}} + c_{F_{21}} + c_{F_{22}} + \cdots c_{F_{2w_2}} + \cdots \\ &+ c_{F_{n1}} + c_{F_{n2}} + \cdots c_{F_{nw_n}} \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $w_i$  为将  $x_i$  线性变换的个数,  $i = 1, \dots, n$ ;  $d_{ij}$  为  $x_i$  线性变换点,  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, w_i$ ;  $F_{x_{iw_j}}$  为与  $x_i - d_{iw_j}$  对应的模糊子集, 包括正 P 和负 N 两个语言值, 当  $F_{x_{iw_j}}$  为正 P 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $P_{x_{iw_j}}$ ; 当  $F_{x_{iw_j}}$  为负 N 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $N_{x_{iw_j}}$ ,  $c_{F_{iw_j}}$  是与  $F_{x_{iw_j}}$  对应的输出常数, IF 中输入变量以及 THEN 中输出常数项都是可选的, 但是输出项  $c_{F_{iw_j}}$  与输入变量是一一对应的, 即如果在 IF 部分包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分应包括  $c_{F_{iw_j}}$  项; 相反, 如果 IF 部分不包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分也不包括  $c_{F_{iw_j}}$  项;

给定一组广义双曲正切型模糊规则基, 定义广义输入变量

$$x_i = x_z - d_{zj} \quad (4)$$

$d_{zj}$  为  $x_z$  线性变换点,  $j = 1, \dots, w_z$ ; 设  $m = \sum_{z=1}^n w_z$ , 式中  $w_z$  为将  $x_z$  线性变换的个数, 其中  $z = 1, \dots, n$ , 取广义输入变量对应的模糊集合  $P_{x_i}$  和  $N_{x_i}$  的隶属函数为  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  和  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$ :

$$\begin{cases} \mu_{P_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i - k_{x_i})^2} \\ \mu_{N_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i + k_{x_i})^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $k_{x_i}$  为常数, 将  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{P_i}$ ,  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{N_i}$ ,  $k_{x_i}$  简写为  $k_i$ , 根据模糊规则基得出如广义模糊双曲正切模型:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \frac{c_{P_i} e^{k_i x_i} + c_{N_i} e^{-k_i x_i}}{e^{k_i x_i} + e^{-k_i x_i}} \quad (6)$$

式中,  $m = \sum_{z=1}^n w_z$  为合计的规则数目,  $c_{P_i}$  是与  $P_{x_i}$  对应的输出常量,  $c_{N_i}$  与  $N_{x_i}$  对应的输出常量;

$x_1, \Lambda, x_n$  为从管道中采集来的数据, 压力、流量、温度、阀门开度、泵的状态等的改变量,  $f(x)$  为模型输出, 根据  $f(x)$  判断管网中负压波来源。

## 基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于管道检测技术领域，涉及一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法。

### 背景技术：

[0002] 使用管道运输流体是一种经济、方便的运输方式，和其他运输方式相比，它具有高效、安全、经济、便于控制和管理等多项优点，因此在石油以及其他流体输送中占有重要的地位。输油管线不但长，覆盖区域也非常大。每年由于管道设备老化，地理条件变化造成原油泄漏及人为打孔盗油给国家和企业带来巨大损失，并造成环境污染。早期的管道大多采用人工分段巡视的办法，这种方法的缺点是尽管昼夜不断地进行巡视，由于管线过长，仍不能及时发现泄漏；而且，以人工查询的方式来进行输油管道的泄漏检测，也耗费了大量的人力、物力和财力资源。

[0003] 近几十年来，管道工业的发展非常迅速，管道监控方面的研究课题显得尤为重要，而管道监控的重要问题是系统的泄漏检测与定位。管道工业发展的早期，泄漏检测方法偏重于硬件方法，如磁力探伤法、管内检测球法、分段试压法等。根据泄漏检测原理，目前用于泄漏检测的方法可以分为直接检测法和间接检测法：直接检测法即根据泄漏的介质进行检测，例如根据油气泄漏时所漏出的地表痕迹以及散发的气味等进行检测；间接检测法则是根据泄漏引起的管道输送介质有关的参数的变化来进行推断。国际上已有的检测和定位方法大体上分为基于硬件的方法和基于软件的方法两大类。基于硬件的方法是指对泄漏物直接进行检测，如直接观察法、检漏电缆法、放射性示踪法、光线检漏法等。基于软件的方法是指利用现代控制理论、信号处理和计算机技术等对因泄漏而造成的影响（如压力、流量等）进行采集、处理和估计，对泄漏进行检测和定位。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术的不足，本发明提供一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法。

[0005] 本发明所依托的硬件系统为 SCADA 系统，SCADA 系统包括 DSP 单元、A/D 模块、电平转换芯片、信号调理板和上位机，其中 DSP 单元包括 DSP 芯片、电源电路、复位电路、时钟电路、JTAG 接口和存储器接口；

[0006] 电源电路连接 DSP 芯片，为芯片供电；复位电路、时钟电路、存储器接口、JTAG 接口分别与 DSP 芯片连接；DSP 的串行外围接口连接 A/D 模块输出端；A/D 模块输入端连接信号调理板输出端；信号调理板输入端连接数据采集模块输出端；DSP 的串行通信接口连接电平转换模块；电平转换模块连接上位机。

[0007] 本发明一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法，按如下步骤：

[0008] 步骤 1、安装在管网中一段管道两端的数据采集装置中的压力传感器拾取到负压波信号，传递给信号调理板，根据负压波到达两端的时间差计算负压波产生的起始位置；

[0009] 根据负压波到达单条管道两端的时间差计算负压波产生的起始位置；

$$[0010] \quad X = \frac{L - \alpha(t_2 - t_1)}{2} \quad (1)$$

[0011] 式中 X- 输油管道泄漏点首端的距离, m ;

[0012] L- 输油管道长度, m ;

[0013]  $\alpha$  - 负压波在输油管道中的传播速度, m/s ;

[0014]  $t_1$ - 负压波到达首端时间, s ;

[0015]  $t_2$ - 负压波到达末端时间, s ;

[0016] 管道中存在柴油、汽油混输的情况, 此时波速在两种液体中的速度是不同的, 在这种情况下检测到负压波存在时计算负压波产生的起始位置公式转换为：

$$[0017] \quad X = \frac{(t_1 - t_2 - \frac{S}{\alpha_1})\alpha_2 + S + L}{2} \quad (2)$$

[0018] 式中  $t_1$ - 负压波到达首端时间, s ;

[0019]  $t_2$ - 负压波到达末端时间, s ;

[0020] S- 输油管道中汽油长度, m ;

[0021]  $\alpha_1$ - 负压波在汽油中传播速度, m ;

[0022]  $\alpha_2$ - 负压波在柴油中传播速度, m ;

[0023] L- 输油管道长度, m ;

[0024] X- 输油管道泄漏点距首端的距离, m ;

[0025] 步骤 2、某一管段上负压波是由本段上某点泄漏、其他管段泄漏产生的压力越站或工况调整产生, 利用广义模糊双曲正切模型对负压波来源进行分类, 判断负压波的产生是由于泄漏、压力越站还是工况调整；

[0026] 广义模糊双曲正切模型对负压波来源进行分类过程如下：

[0027] 1)、模型输出值为 1 时, 代表泄漏发生, 负压波来源于泄漏；

[0028] 2)、模型输出值为 0.5 时, 代表负压波来源于压力越站；

[0029] 3)、模型输出值为 0 时, 代表负压波来源于工况调整。

[0030] 广义模糊双曲正切模型第 1 条模糊规则的形式为：

[0031]  $R^l$ : IF  $(x_1 - d_{11})$  is  $F_{x_{11}}$  and  $(x_1 - d_{12})$  is  $F_{x_{12}}$  and  $\dots$  and  $(x_1 - d_{1w_1})$  is  $F_{x_{1w_1}}$  and

[0032]  $(x_2 - d_{21})$  is  $F_{x_{21}}$  and  $(x_2 - d_{22})$  is  $F_{x_{22}}$  and  $\dots$  and  $(x_2 - d_{2w_2})$  is  $F_{x_{2w_2}}$  and  $\dots$

[0033] and  $(x_n - d_{n1})$  is  $F_{x_{n1}}$  and  $(x_n - d_{n2})$  is  $F_{x_{n2}}$  and  $\dots$  and  $(x_n - d_{nw_n})$  is  $F_{x_{nw_n}}$

[0034] THEN  $y^l = c_{F_{11}} + c_{F_{12}} + \dots c_{F_{1w_1}} + c_{F_{21}} + c_{F_{22}} + \dots c_{F_{2w_2}} + \dots$

[0035]  $+ c_{F_{n1}} + c_{F_{n2}} + \dots c_{F_{nw_n}}$  (3)

[0036] 式中,  $w_i$  为将  $x_i$  线性变换的个数,  $i = 1, \dots, n$ ;  $d_{ij}$  为  $x_i$  线性变换点,  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, w_i$ ;  $F_{x_{iw_j}}$  为与  $x_i - d_{iw_j}$  对应的模糊子集, 包括正 P 和负 N 两个语言值, 当  $F_{x_{iw_j}}$  为正 P 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $P_{x_{iw_j}}$ ; 当  $F_{x_{iw_j}}$  为负 N 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $N_{x_{iw_j}}$ ,  $c_{F_{iw_j}}$  是与  $F_{x_{iw_j}}$  对应的输出常数, IF 中输入变量以及 THEN 中输出常数项都是可选的, 但是输出项  $c_{F_{iw_j}}$  与输入变量是一一对应的, 即如果在 IF 部分包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分应包括  $c_{F_{iw_j}}$  项; 相反, 如果 IF 部分不包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分

也不包括 $c_{F_{w_j}}$ 项；

[0037] 给定一组广义双曲正切型模糊规则基,定义广义输入变量

$$[0038] \quad x_i = x_z - d_{zj} \quad (4)$$

[0039]  $d_{zj}$  为  $x_z$  线性变换点,  $j = 1, \dots, w_z$ ; 设  $m = \sum_{z=1}^n w_z$ , 式中  $w_z$  为将  $x_z$  线性变换的个数, 其中  $z = 1, \dots, n$ , 取广义输入变量对应的模糊集合  $P_{x_i}$  和  $N_{x_i}$  的隶属函数为  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  和  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$ :

$$[0040] \quad \begin{cases} \mu_{P_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i - k_{x_i})^2} \\ \mu_{N_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i + k_{x_i})^2} \end{cases} \quad (5)$$

[0041] 式中,  $k_{x_i}$  为常数, 将  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{P_i}$ ,  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{N_i}$ ,  $k_{x_i}$  简写为  $k_i$ , 根据模糊规则基得出如广义模糊双曲正切模型:

$$[0042] \quad f(x) = \sum_{i=1}^m \frac{c_{P_i} e^{k_i x_i} + c_{N_i} e^{-k_i x_i}}{e^{k_i x_i} + e^{-k_i x_i}} \quad (6)$$

[0043] 式中,  $m = \sum_{z=1}^n w_z$  为合计的规则数目,  $c_{P_i}$  是与  $P_{x_i}$  对应的输出常量,  $c_{N_i}$  与  $N_{x_i}$  对应的输出常量;

[0044]  $x_1, \Lambda, x_n$  为从管道中采集来的数据, 压力、流量、温度、阀门开度、泵的状态等的改变量,  $f(x)$  为模型输出, 根据  $f(x)$  判断管网中负压波来源;

[0045] 步骤 3、若负压波来源于压力越站, 则检测前一段管道上有没有泄漏, 回到步骤 1; 若负压波来源于泄漏则执行步骤 4; 若负压波来源于工况调整则执行步骤 5;

[0046] 步骤 4、给出泄漏警报;

[0047] 步骤 5、结束。

[0048] 本发明工作原理: 由于其他管段泄漏产生的压力越站及站内调压会产生类似于泄漏产生的负压波, 并且根据公式 (1) 或 (2) 也将负压波的起始位置定位与管道端点。那么当管网中某一单段管道中检测到负压波并且将负压波起始位置定位于管道端点 (即站内) 时, 不能判断是发生站内泄漏、站内调压还是负压波压力越站, 此时结合广义模糊双曲正切模型, 如式 (3)、(4)、(5)、(6) 进行检测, 对负压波来源进行分类。这种检测过程会有效的减少误报警的概率, 提高系统的报警准确度。

[0049] 本发明的优点: 采用广义模糊双曲正切模型来区分负压波来源。将阀门开度, 泵的状态, 流量, 温度, 压力, 密度作为广义模糊双曲正切模型的输入变量, 并通过输出值来判断是否发生泄漏, 防止误报警。

## 附图说明

[0050] 图 1 是本发明管网结构示意图;

[0051] 图 2 是本发明汽油、柴油混输示意图;

[0052] 图 3 是本发明泄漏时管道两端检测到的负压波波形;

[0053] 图 4 是本发明管网中检测负压波来源的流程图;

[0054] 图 5 是本发明硬件电路框图；

[0055] 图 6 是本发明 AD 与 TMS320F2812 通信接口连接原理图；

### 具体实施方式

[0056] 本发明结合具体实施例和说明书附图加以详细说明。

[0057] 本实施例中 A/D 模块选取型号为 AD7656；DSP 芯片选取型号为 TMS320F2812；电平转换芯片选取型号为 MAX232。

[0058] 本发明方法系统支持为 SCADA 系统，SCADA 系统包括 DSP 单元、A/D 模块、电平转换芯片、信号调理板以及上位机，其中 DSP 单元包括 DSP 芯片、电源电路、复位电路、时钟电路、JTAG 接口、存储器接口。接入信号调理板的信号为电压信号，是包括阀门开度，泵的状态，管道流量，平均温度，压力，密度等现场数据，经过信号调理板进行放大、滤波，输入给 AD7656，AD 芯片进行模数转换，并将数字量传给 TMS320F2812，DSP 利用其强大数据处理能力，对数据进行压缩和一次数字滤波，最后利用 DSP 的 SCI 串行通信接口通过电平转换芯片 MAX232 将处理后数据传给 PC 机。其中 AD 与 DSP 通信采用 SPI 总线协议。该系统下位机电路框图如图 5 所示。

[0059] SPI 总线接口方案：SPI 接口由 4 根信号线组成：串行数据输入（DSP 的 SPISOMIA 引脚），串行数据输出（DSP 的 SPISIMOA 引脚），SCK（DSP 的 SPICLKA 引脚），SS（DSP 的 SPISTEA 引脚）。主设备通过提供移位时钟和从使能信号来控制数据流动。从使能信号是一个可选的控制接口信号，如果没有专门的从使能信号，可以由是否存在有效的移位时钟来决定，此时从设备必须一直保持使能状态，且从设备只有一个，框图如图 6 所示。

[0060] 本发明是一种基于广义模糊双曲正切模型的输油管网泄漏检测方法，能够有效的防止误报警的产生。其步骤如下：

[0061] 步骤 1、安装在管网中一段管道两端的数据采集装置中的压力传感器拾取到负压波信号，传递给信号调理板，上位机根据负压波到达两端的时间差计算负压波产生的起始位置；

[0062] 当管道发生泄漏时，在泄漏处将产生瞬态压力降，形成一个负压波，该波以管道内的波速向管道上、下端传播，并为设置在管段两段的压力传感器所接收。根据负压波传播到上下游的时间差和管内压力波的传播速度就可以计算出泄漏点的位置。管网中复杂的管线结构不同于单条管道，其泄漏检测与定位也要比单管道复杂的多，尽管如此，仍可以采用负压波法对管网泄漏点进行监测与定位。在管网中，泄漏产生的压力波通过管道汇接点（汇接点为管道中两段的连接点，如 B、D、E 点）时会传到下一管段（或下几条管段），存在压力越站现象，因此一段发生泄漏就可能有多段能够检测到负压波的存在，那么没有发生泄漏的管段就有可能给出错误的报警信息。

[0063] 以图 1 为例，假设 a 点发生泄漏，记录下负压波到达 B、D 两站的时间  $t_B$ 、 $t_D$ ，就可以进行泄漏定位计算，如式 (7)

$$[0064] \quad X = \frac{L - \alpha(t_D - t_B)}{2} \quad (7)$$

[0065] 式中 X- 输油管道泄漏点至 B 端的距离，m；

[0066] L- 输油管道长度，m；

[0067]  $\alpha$  - 负压波在输油管道中的传播速度, m/s ;

[0068]  $t_B$  - 负压波到达 B 端时间, s ;

[0069]  $t_D$  - 负压波到达 D 端时间, s。

[0070] 式 (7) 中波速  $\alpha$  以常量为前提。波速与媒介的比热、密度、压力和管道材质有关, 常温输送的原油密度沿管道变化不大, 波速可以看作是常数。由于管道输送距离长, 温度变化大, 压力波的传输速度并不一定是常数。考虑到液体的密度、弹性和管道材质性质等因素, 对负压波传播速度进行修正。负压波的传播速度可以按下式进行计算 :

$$[0071] \quad \alpha = \sqrt{\frac{k/\rho}{1 + \frac{kD}{Ee}c_1}} \quad (8)$$

[0072] 式中  $k$  - 液体体积弹性系数, m/s ;

[0073]  $\rho$  - 液体密度, kg/m<sup>3</sup> ;

[0074]  $E$  - 管材弹性模量, Pa ;

[0075]  $D$  - 管径, m ;

[0076]  $e$  - 管壁厚度, m ;

[0077]  $c_1$  - 管道约束系数。

[0078] 实际中存在汽油、柴油混输的情况, 即管道中前半段是柴油后半段是汽油, 或者相反。由于两种油密度不一样, 那么波速  $\alpha$  就不能再视为常量。单段管道中汽油、柴油混输示意简图如图 2 所示, 此时, 泄漏点定位计算公式转换为 :

$$[0079] \quad X = \frac{(t_1 - t_2 - \frac{S}{\alpha_1})\alpha_2 + S + L}{2} \quad (9)$$

[0080] 式中  $t_1$  - 负压波到达 B 站时间, s ;

[0081]  $t_2$  - 负压波到达 D 站时间, s ;

[0082]  $S$  - 输油管道中汽油长度, m ;

[0083]  $\alpha_1$  - 负压波在汽油中传播速度, m ;

[0084]  $\alpha_2$  - 负压波在柴油中传播速度, m ;

[0085]  $L$  - 输油管道长度, m ;

[0086]  $X$  - 输油管道泄漏点距首端 B 的距离, m ;

[0087] 图 3 所示为泄漏时两个站所检测到的负压波波形, 通过两负压波下降沿所对应的时间差并由式 (7)、(8) 或 (9) 即可求得泄漏点所在位置。

[0088] 步骤 2、利用广义模糊双曲正切模型对负压波进行分类。

[0089] 当图 1 中 BD 段上某点 a 处发生泄漏, 负压波传播到 B、D 点的时间差和管内压力波的传播速度就可以计算出泄漏点的位置。由于整个管道是连通的, 存在压力越站现象, 负压波会传到其他管段内 (如 DE、BC、EF)。根据负压波传播到两个站 DE 之间的时间差及式 (7)、(8) 或 (9) 可以定位“泄漏点”在 D 点; 同理根据负压波传播到两个站 BC 之间的时间差可以定位“泄漏点”在 B 点, 但此时并不是因为 D 点和 B 点泄漏所引起的负压波, 因此就有可能出现误报警。

[0090] 实际管网中工况十分复杂, 引起压力参数波动的原因是多种多样的, 阀门开度的



调整、泵状态的调整、流量的改变、温度的改变、管道加压、密度的改变等都会使负压波发生变化,而负压波在管道内传播也会有损失,并且调泵、调阀、停泵引起的压力波动与泄漏引起的压力波动类似,因此需要将泄漏与复杂、正常的工况调整区分开来,防止误报、漏报的产生以及对泄漏点进行准确定位。

[0091] 对以上两种情况采用广义模糊双曲正切模型来进行判别,与泄漏进行区分。广义模糊双曲正切模型第 1 条模糊规则的形式为:

[0092]  $R^l: \text{IF } (x_1 - d_{11}) \text{ is } F_{x_{11}} \text{ and } (x_1 - d_{12}) \text{ is } F_{x_{12}} \text{ and } \cdots \text{ and } (x_1 - d_{1w_1}) \text{ is } F_{x_{1w_1}} \text{ and}$

[0093]  $(x_2 - d_{21}) \text{ is } F_{x_{21}} \text{ and } (x_2 - d_{22}) \text{ is } F_{x_{22}} \text{ and } \cdots \text{ and } (x_2 - d_{2w_2}) \text{ is } F_{x_{2w_2}} \text{ and } \cdots$

[0094]  $\text{and } (x_n - d_{n1}) \text{ is } F_{x_{n1}} \text{ and } (x_n - d_{n2}) \text{ is } F_{x_{n2}} \text{ and } \cdots \text{ and } (x_n - d_{nw_n}) \text{ is } F_{x_{nw_n}}$

[0095]  $\text{THEN } y^l = c_{F_{11}} + c_{F_{12}} + \cdots c_{F_{1w_1}} + c_{F_{21}} + c_{F_{22}} + \cdots c_{F_{2w_2}} + \cdots$

[0096]  $+ c_{F_{n1}} + c_{F_{n2}} + \cdots c_{F_{nw_n}} \quad (10)$

[0097] 式中,  $w_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) 为将  $x_i$  线性变换的个数;  $d_{ij}$  ( $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, w_i$ ) 为  $x_i$  线性变换点;  $F_{x_{iw_j}}$  为与  $x_i - d_{iw_j}$  对应的模糊子集, 包括正 (P) 和负 (N) 两个语言值, 当  $F_{x_{iw_j}}$  为正 (P) 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $P_{x_{iw_j}}$ ; 当  $F_{x_{iw_j}}$  为负 (N) 时,  $F_{x_{iw_j}}$  为  $N_{x_{iw_j}}$ ;  $c_{F_{iw_j}}$  是与  $F_{x_{iw_j}}$  对应的输出常数。IF 中输入变量以及 THEN 中输出常数项都是可选的, 但是输出项  $c_{F_{iw_j}}$  与输入变量是一一对应的, 即如果在 IF 部分包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分应包括  $c_{F_{iw_j}}$  项; 相反, 如果 IF 部分不包括  $F_{x_{iw_j}}$ , 则在 THEN 部分也不包括  $c_{F_{iw_j}}$  项。

[0098] 若给定一组广义双曲正切型模糊规则基, 首先定义广义输入变量

[0099]  $x_i = x_z - d_{zj} \quad (11)$

[0100]  $d_{zj}$  ( $j = 1, \dots, w_z$ ) 为  $x_z$  线性变换点; 设  $m = \sum_{z=1}^n w_z$ , 式中  $w_z$  ( $z = 1, \dots, n$ )

为将  $x_z$  线性变换的个数。取广义输入变量对应的模糊集合  $P_{x_i}$  和  $N_{x_i}$  的隶属函数为  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  和  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$ :

[0101] 
$$\begin{cases} \mu_{P_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i - k_{x_i})^2} \\ \mu_{N_{x_i}}(x_i) = e^{-\frac{1}{2}(x_i + k_{x_i})^2} \end{cases} \quad (12)$$

[0102] 式中,  $k_{x_i}$  为常数。将  $\mu_{P_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{P_i}$ ,  $\mu_{N_{x_i}}(x_i)$  简写为  $\mu_{N_i}$ ,  $k_{x_i}$  简写为  $k_i$ , 根据模糊规则基得出如广义模糊双曲正切模型:

[0103] 
$$f(x) = \sum_{i=1}^m \frac{c_{P_i} e^{k_i x_i} + c_{N_i} e^{-k_i x_i}}{e^{k_i x_i} + e^{-k_i x_i}} \quad (13)$$

[0104] 式中,  $m = \sum_{z=1}^n w_z$  为合计的规则数目,  $c_{P_i}$  是与  $P_{x_i}$  对应的输出常量,  $c_{N_i}$  与  $N_{x_i}$  对应的输出常量。

[0105] 以图 1 所示的管网结构为例, 如对于 DE 段, 设  $x_1$  为 D 站阀门开度改变量,  $x_2$  为 E 站阀门开度改变量,  $x_3$  为 D 站泵的状态改变量,  $x_4$  为 E 站泵的状态改变量,  $x_5$  为 DE 段平均流量改变量,  $x_6$  为 DE 段平均温度改变量;  $x_7$  为 DE 段流体压力改变量,  $x_8$  为 DE 段流体平均

密度改变量。输出  $y$  为 DE 段管道运行状况,  $y$  为 1 时表示有泄漏发生,  $y = 0$  时表示没有泄漏发生。每段有 8 个输入变量, 一个输出变量。根据式 (10) 可以得到如下广义双曲正切型模糊规则基:

- [0106]  $R^1$ : IF  $x_1 - d_{11}$  is  $P_{x_{11}}$  and  $x_1 - d_{12}$  is  $P_{x_{12}}$  and  
 [0107]  $x_2 - d_{21}$  is  $P_{x_{21}}$  and  $x_2 - d_{22}$  is  $P_{x_{22}}$  and  
 [0108] ...  
 [0109]  $x_8 - d_{81}$  is  $P_{x_{81}}$  and  $x_2 - d_{82}$  is  $P_{x_{82}}$   
 [0110] THEN  $y^1 = c_{P_{11}} + c_{P_{12}} + c_{P_{21}} + c_{P_{22}} \dots + c_{P_{81}} + c_{P_{82}}$   
 [0111]  $R^2$ : IF  $x_1 - d_{11}$  is  $N_{x_{11}}$  and  $x_1 - d_{12}$  is  $P_{x_{12}}$  and  
 [0112]  $x_2 - d_{21}$  is  $P_{x_{21}}$  and  $x_2 - d_{22}$  is  $P_{x_{22}}$  and  
 [0113] ...  
 [0114]  $x_8 - d_{81}$  is  $P_{x_{81}}$  and  $x_2 - d_{82}$  is  $P_{x_{82}}$   
 [0115] THEN  $y^2 = c_{N_{11}} + c_{P_{12}} + c_{P_{21}} + c_{P_{22}} \dots + c_{P_{81}} + c_{P_{82}}$   
 [0116] ...  
 [0117] ...  
 [0118]  $R^{2^{16}}$ : IF  $x_1 - d_{11}$  is  $N_{x_{11}}$  and  $x_1 - d_{12}$  is  $N_{x_{12}}$  and  
 [0119]  $x_2 - d_{21}$  is  $N_{x_{21}}$  and  $x_2 - d_{22}$  is  $N_{x_{22}}$  and  
 [0120] ...  
 [0121]  $x_8 - d_{81}$  is  $N_{x_{81}}$  and  $x_2 - d_{82}$  is  $N_{x_{82}}$   
 [0122] THEN  $y^{2^{16}} = c_{N_{11}} + c_{N_{12}} + c_{N_{21}} + c_{N_{22}} \dots + c_{N_{81}} + c_{N_{82}}$  (14)

[0123] 取  $P_{x_{mn}}$  和  $N_{x_{mn}}$  ( $m = 1, 2, \dots, 8; n = 1, 2$ ) 的隶属函数为

$$[0124] \begin{cases} \mu_{P_{mn}}(x_{mn}) = e^{-\frac{1}{2}(x_m - k_{mn})^2} \\ \mu_{N_{mn}}(x_{mn}) = e^{-\frac{1}{2}(x_m + k_{mn})^2} \end{cases} \quad (15)$$

[0125] 式 (14) 中  $d_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2$ ) 取适当的值,  $c_{N_{ij}}$  和  $c_{P_{ij}}$  ( $i = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2$ ) 根据经验取值,

[0126] 式 (15) 中常数  $k_{mn}$  取适当值, 可以得到输出值  $y$  如式 (16) 所示。

[0127] 根据输出值  $y$  的大小判断泄漏、压力越站或工况调整。

[0128] 步骤 3、对于定位在管道端点的负压波, 若广义模糊双曲正切模型输出是 1, 则表示泄漏发生在端点; 若模型输出为 0, 则表示工况调整; 若模型输出为 0.5, 则说明负压波来源于压力越站, 则检测前一段管道上有没有泄漏, 回到步骤 1; 若泵和阀门等进行过调整, 则负压波来源于工况调整, 转到步骤 5。

[0129] 步骤 4、给出泄漏警报。

[0130] 步骤 5、结束。

[0131] 本发明方法的执行过程如下:

[0132] 图 1 中 a 点泄漏时, A、C、E、F、G 点都可能检测到负压波下降沿, 由于负压波传播过

程中会有损失,因此距离泄漏点距离越远,负压波损失就越大。假设 A 点、C 点、E 点、F 点、G 点都检测到了下降沿的存在。现在以 G 点检测到下降沿为例,由 E、G 两端检测到负压波的时间差  $t$ ,并跟据式 (7) (8) 可以将泄漏点定位到为 E 点附近,此时结合广义模糊双曲正切模型,将 EG 管段各个状态作为输入变量,根据模型输出变量判断负压波产生到底是本段泄漏、工况调整还是其他管段泄漏引起的压力波越站。当检测到是本段泄漏,则给出报警信息;当检测到为工况调整,则不动作;若检测到为前面管段泄漏引起的压力越站,则用同样的方法重新判断 E 点前面的管段是否发生泄漏,直到找到泄漏点。此例根据输出判断结果应该是压力越站。流程图如图 4 所示。

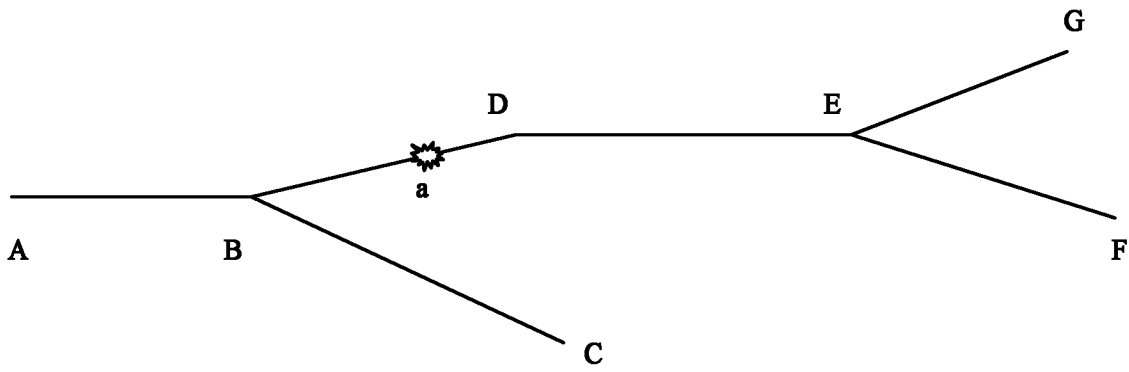


图 1

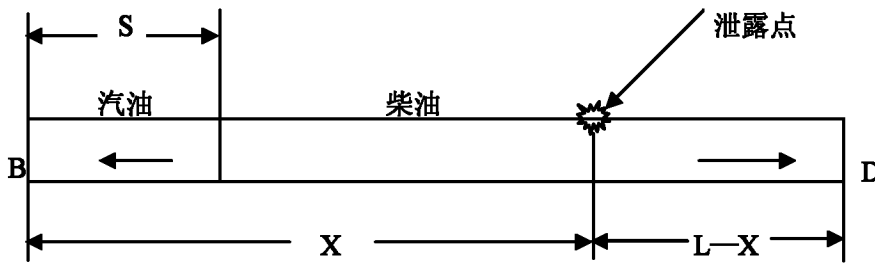


图 2

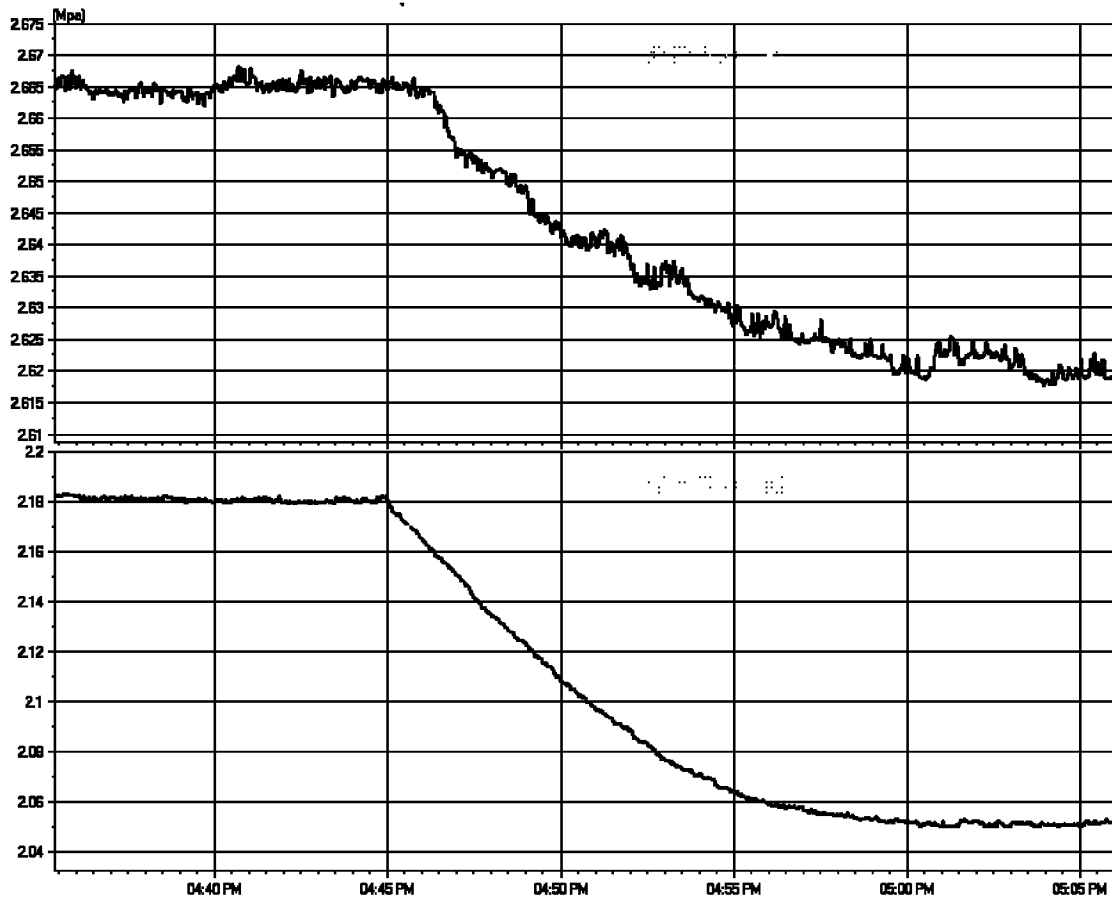


图 3

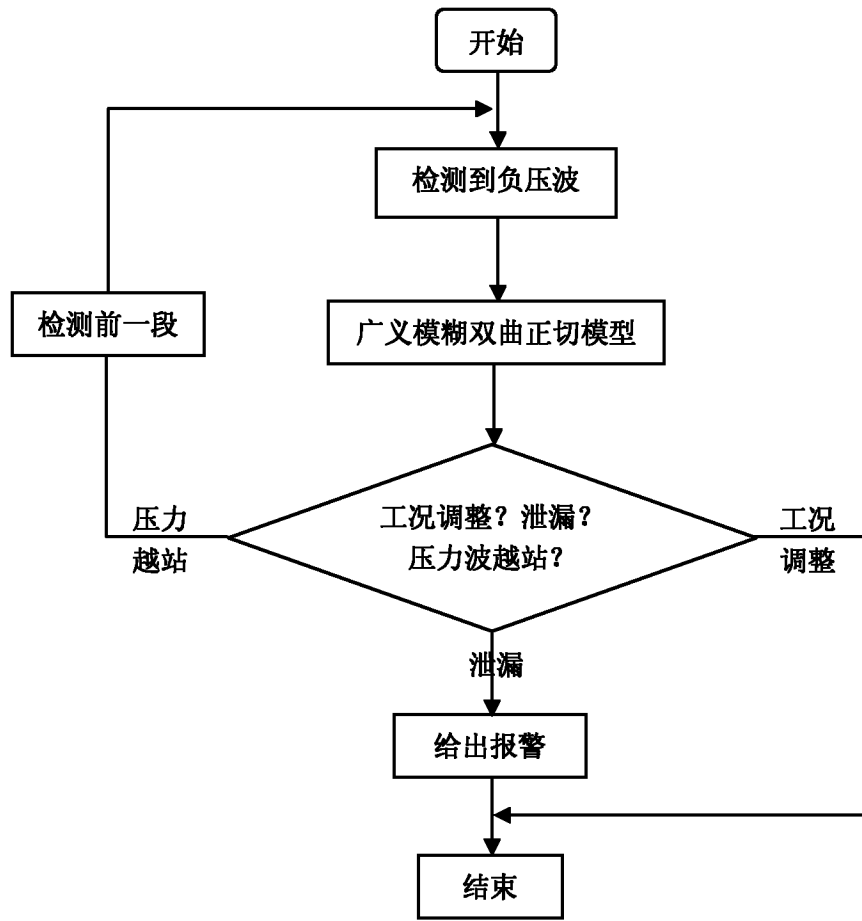


图 4

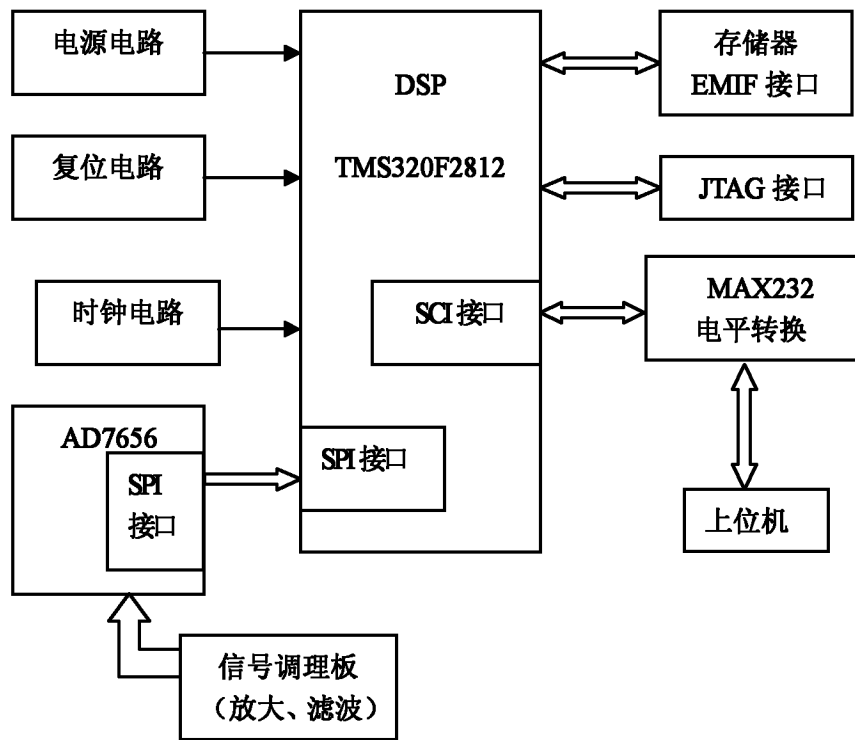


图 5

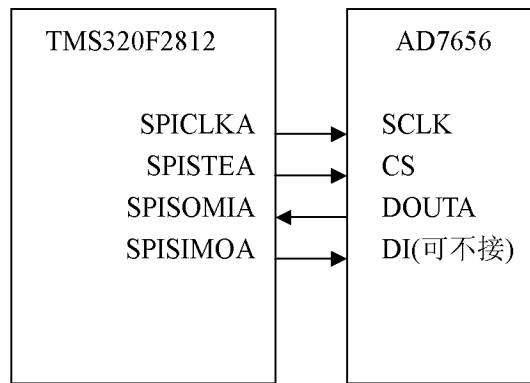


图 6