



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102927449 A

(43) 申请公布日 2013. 02. 13

(21) 申请号 201210411551. 8

(22) 申请日 2012. 10. 25

(71) 申请人 黄腾飞

地址 100012 北京市朝阳区北苑家园茉莉园  
10 号楼 4 门 703

申请人 罗群  
马兵

(72) 发明人 黄腾飞 罗群 马兵

(51) Int. Cl.

F17D 5/02(2006. 01)

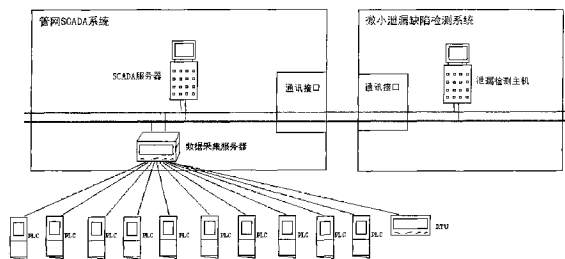
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

## (54) 发明名称

一种基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测方法

## (57) 摘要

一种管网微小泄漏缺陷检测系统,具有:管道数据采集设备,包括:可编程逻辑控制器(PLC),负责分段采集管道数据;远程终端单元(RTU),负责分段采集管道数据;管网 SCADA 系统,包括:数据采集服务器,对可编程逻辑控制器或远程终端单元采集的管道数据进行读取处理,并通过总线传送到 SCADA 服务器;SCADA 服务器,负责对采集数据进行运算、存储处理;管网 SCADA 系统提供每一个被测段的压力、温度或流量等测量值,通过管网 SCADA 系统的通讯接口与微小泄漏缺陷检测系统进行通信;微小泄漏缺陷检测系统,包括:通讯接口;泄漏检测主机,其控制管网 SCADA 系统进行测漏操作,当检测到管网泄漏时发出报警,并计算出泄漏率。



1. 一种管网微小泄漏缺陷检测系统,包括:

管道数据采集设备,包括:可编程逻辑控制器(PLC),负责分段采集管道数据;远程终端单元(RTU),负责分段采集管道数据;

管网 SCADA 系统,包括:

数据采集服务器,对可编程逻辑控制器或远程终端单元采集的管道数据进行读取处理,并通过总线传送到 SCADA 服务器;

SCADA 服务器,负责对采集数据进行运算、存储处理;

通讯接口,管网 SCADA 系统通讯接口为软件接口、工业以太网接口、现场总线接口或串行通信接口;

管网 SCADA 系统提供每一个被测段的压力、温度或流量等测量值,通过管网 SCADA 系统的通讯接口与微小泄漏缺陷检测系统进行通信;

微小泄漏缺陷检测系统,包括:

通讯接口,微小泄漏缺陷检测系统通讯接口为软件接口、工业以太网接口、现场总线接口或串行通信接口;

泄漏检测主机,其控制管网 SCADA 系统进行测漏操作,当检测到管网泄漏时发出报警,并计算出泄漏率;

其中,泄漏检测主机基于模拟仿真技术进行管网微小泄漏缺陷检测,考虑到各种对管道泄漏量改变明显的环境因素,将系统获得的信号通过维纳滤波方法抑制管道信号噪声,提高被检测信号的信噪比,并对管道数据进行如下校准:

$P' = f(\text{温度,管径,壁厚等})$

对于特定的管线,实测多组数据后,可以确定上式中的数学模型和工作参数;之后以过滤和校准后的压力和温度实时数据作为管网模拟仿真模型输入,通过如下管网模拟仿真模型进行泄漏检测:

$$Q = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2gh}$$

其中,  $Q$ ——液体泄漏流量,  $\text{kg/s}$ ;  $C_d$ ——排放系数,通常取  $0.6 \sim 0.64$ ;  $A$ ——泄漏口面积,  $\text{m}^2$ ;  $\rho$ ——泄漏液体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $P$ ——容器内介质压力,  $\text{Pa}$ ;  $P_0$ ——环境压力,  $\text{Pa}$ ;  $g$ ——重力加速度,  $9.8\text{m/s}^2$ ;  $h$ ——泄漏口上液位高度,  $\text{m}$ ;实际正压流体通过小孔发生泄漏时,还受到泄漏孔形状、位置、介质状态等影响,泄漏速度与理论速度不同;小孔排放系数  $C_d$  是正压流体泄漏时,实际泄漏速度与理论泄漏速度之比,用于补偿公式推导中忽略了的摩擦损失,因惯性引起的截面收缩等因素。

2. 一种管网微小泄漏缺陷检测方法,考虑到各种对管道泄漏量改变明显的环境因素,该方法立足对管道数据采集设备和管网 SCADA 系统采集、处理的管道信号进行噪音抑制处理,通过维纳滤波方法抑制管道信号噪声,提高被检测信号的信噪比,并对管道数据进行如下校准:

$P' = f(\text{温度,管径,壁厚等})$

对于特定的管线,实测多组数据后,可以确定上式中的数学模型和工作参数;之后以过滤和校准后的压力和温度实时数据作为管网模拟仿真模型输入,通过如下管网模拟仿真模型进行泄漏检测:

$$Q = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2gh}$$

其中,  $Q$ ——液体泄漏流量, kg/s ; $C_d$ ——排放系数, 通常取 0.6 ~ 0.64 ; $A$ ——泄漏口面积,  $m^2$  ; $\rho$  ——泄漏液体密度,  $kg/m^3$  ; $P$ ——容器内介质压力, Pa ; $P_0$ ——环境压力, Pa ; $g$ ——重力加速度,  $9.8m/s^2$  ; $h$ ——泄漏口上液位高度, m ;实际正压流体通过小孔发生泄漏时, 还受到泄漏孔形状、位置、介质状态等影响, 泄漏速度与理论速度不同 ;小孔排放系数  $C_d$  是正压流体泄漏时, 实际泄漏速度与理论泄漏速度之比, 用于补偿公式推导中忽略了的摩擦损失, 因惯性引起的截面收缩等因素 ;当泄漏率高于一定门限时, 系统发出管道泄漏报警。

# 一种基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测方法及系统

## 技术领域

[0001] 本发明涉及压力管道缺陷检测技术领域,尤其涉及一种基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测方法及系统。

## 背景技术

[0002] 管道供油工程是燃油运营服务的重要基础设施。供油工程包括长输管道、中转油库、使用油库和加油管网等关键组成部分。由于管道输送具有成本低、节省能源、安全性高及供给稳定等优点,管道运输在世界范围内迅速发展。由于长时间的运行腐蚀和磨损、设备的自然老化、地质灾害以及人为损坏等原因,燃油管网微小缺陷(如腐蚀穿孔、焊接裂缝等)导致的泄漏事故时有发生。燃油管网泄漏缺陷造成资源浪费,给管网的安全运行带来严重威胁,对周边生态环境和安全造成巨大损害。管道缺陷检测问题是目前管道供油系统面临的一大难题。

## 发明内容

[0003] 基于现有技术的不足,本发明提供一种基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测方法,考虑到各种对管道泄漏量改变明显的环境因素,本发明立足于对管道信号噪声的处理,将系统获得的信号通过维纳滤波方法抑制管道信号噪声,提高被检测信号的信噪比,并对管道数据进行校准,之后基于本发明提出的模拟仿真技术进行管网微小泄漏检测。该系统需要首先建立起管网的模拟仿真模型,并以过滤和校准后的压力和温度实时数据作为管网模拟仿真模型输入,通过模拟仿真技术计算管网泄漏率,当泄漏率高于一定门限时,系统发出管道泄漏报警。此外,还提供一种管网微小泄漏缺陷检测系统,具有:管道数据采集设备,包括:可编程逻辑控制器(PLC),负责分段采集管道数据;远程终端单元(RTU),负责分段采集管道数据;管网 SCADA 系统,包括:数据采集服务器,对可编程逻辑控制器或远程终端单元采集的管道数据进行读取处理,并通过总线传送到 SCADA 服务器;SCADA 服务器,负责对采集数据进行运算、存储处理;管网 SCADA 系统提供每一个被测段的压力、温度或流量等测量值,通过管网 SCADA 系统的通讯接口与微小泄漏缺陷检测系统进行通信;微小泄漏缺陷检测系统,包括:通讯接口;泄漏检测主机,其控制管网 SCADA 系统进行测漏操作,当检测到管网泄漏时发出报警,并计算出泄漏率。

[0004] 测试结果表明,该发明适用于检测管道微小泄漏,可在 50 分钟内检测到泄漏率为 0.04 升/小时/立方米的管道泄漏。该系统的检测速度、灵敏度和可靠性达到了国际先进水平。

## 附图说明

[0005] 下面结合附图和实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0006] 图 1 管网微小泄漏缺陷检测系统框图。

## 具体实施方式

[0007] 基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测系统总体框图如图 1 所示,具有:管道数据采集设备,包括:可编程逻辑控制器 (PLC),负责分段采集管道数据;远程终端单元 (RTU),负责分段采集管道数据;管网 SCADA 系统,包括:数据采集服务器,对可编程逻辑控制器或远程终端单元采集的管道数据进行读取处理,并通过总线传送到 SCADA 服务器;SCADA 服务器,负责对采集数据进行运算、存储处理;管 SCADA 系统提供每一个被测段的压力、温度或流量等测量值,通过管网 SCADA 系统的通讯接口与微小泄漏缺陷检测系统进行通信;微小泄漏缺陷检测系统,包括:通讯接口;泄漏检测主机,其控制管网 SCADA 系统进行测漏操作,当检测到管网泄漏时发出报警,并计算出泄漏率。以下详细说明系统处理的各个技术环节。

[0008] 1. 数据获取与管网 SCADA 系统的通讯

[0009] 基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测系统可安装在任何支持与第三方软件通信的管网 SCADA 系统中。管网 SCADA 系统通讯接口可以是软件接口、工业以太网接口、现场总线接口或串行通信接口。

[0010] 微小泄漏缺陷检测系统通过通讯接口从管网 SCADA 系统获取每一个被测段的压力、温度或流量等测量值。系统通过第三方软件接口每间隔固定时间向 SCADA 系统请求被测管段的压力和温度测量值。数据请求的时间间隔为 0.01 秒到 10 秒之间。SCADA 系统通过数据接口向本系统提供相应数值。

[0011] 系统核心处理部分根据 SCADA 系统提供的数据进行模拟仿真计算得到泄漏率,并判断是否发生微小泄漏。

[0012] 2. 管道压力数据噪声抑制

[0013] 封闭管道系统发生微小泄漏时,参数变化是非常微小的。这种参数的微小变化,很容易淹没在背景噪声中,因此必须将背景噪声滤除。本发明采用滤波方法,可以在很大程度上降低背景噪声的影响。

[0014] 1) 定义管道信号模型如下:

$$[0015] \quad y(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

[0016] 其中,  $y(t)$  是数据采集系统采集到的信号,采集到的信号可以是压力信号或温度信号。通常,采集到的信号包括目标信号及各种噪声和干扰; $s(t)$  是管道内待检测目标信号; $n(t)$  是背景噪声信号。

[0017] 其中,通过传感器采集管道测试期间的背景噪声,估计其噪声功率谱均值,经加权平均后作为系统背景噪声功率谱初始值:

[0018]

$$N(w_0) = \sum_{k=1}^K \alpha(w) N(w) \quad (2)$$

[0019] 2) 背景噪声功率谱跟踪:

[0020] 并选择系统信噪比较低的时刻和频率点,进行背景噪声功率谱的如下更新:

[0021]

$$N(k_n) = \begin{cases} \lambda N(k_{n-1}) + (1-\lambda)Y(k_n) & \text{if } Y(k_n) < \beta N(k_{n-1}) \\ N(k_{n-1}) & \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

[0022] 其中  $\lambda$  是遗忘因子,系统中选择  $\lambda$  取值范围为 0.8 到 1.0 之间,  $\beta$  用来控制跟踪噪声信号功率谱的信噪比,系统中选择  $\beta$  取值范围在 1.2 到 5.0 之间;

[0023] 3) 维纳滤波:

[0024] 在估计到噪声功率谱的基础上,通过以下公式去除噪声:

[0025]

$$\hat{S}(k_n) = Y(k_n) - N(k_n) \quad (4)$$

[0026] 3. 管道数据的校准

[0027] 实际的管网泄漏受到管道材质、管道壁厚、管道埋地环境、地温、燃油组分等多种复杂因素的影响。其中,燃油组分将影响燃油物性,从而影响管道泄漏量大小。地温改变会影响管道的容积,也会影响燃油温度,从而造成燃油粘度变化,最终影响管道泄漏量大小。在对管网微小泄漏进行检测时,需要考虑到这些对管道泄漏量改变明显的影响因素,对管道数据进行校准。

[0028] 以管道压力数据为例,压力数据校准可写成下列函数:

$$P' = f(\text{温度,管径,壁厚等}) \quad (5)$$

[0030] 对于特定的管线,实测多组数据后,可以确定上式中的数学模型和工作参数。

[0031] 4. 管道模拟仿真

[0032] 本发明提出基于模拟仿真技术进行管网微小泄漏检测。该系统需要首先建立起管网的模拟仿真模型。并以压力和温度实时数据作为管网模拟仿真模型输入,通过模拟仿真技术计算管网泄漏率,当泄漏率高于一定门限时,系统发出管道泄漏报警。以下将给出管网模拟仿真模型建立的详细说明。

[0033] 1) 管网模型简化

[0034] 通常,管网由特殊材质的钢管焊接而成,其中充满燃油。现代管网规模宏大(比如机场环境),管网拓扑结构也极其复杂,同时由于管网燃油输送需要,管网需要阀门、泵、温度压力变送器等力学性能极其复杂的配件。

[0035] 实际的管网力学模型极其复杂。在建立管网力学模型时,需要对管网模型进行必要的简化。首先,假设管网中输送介质为燃油单一介质。这一假设也基本符合国内外管网的正常工况;其次,在分析过程中,假设阀门、泵、变送器等力学性能极其复杂的配件在检测过程中处于稳定状态,不会引起管网系统力学特征发生变化;最后,管网可以通过各种质量可靠的阀门分隔为独立的检测管段。为理论分析和计算方便,在同一个检测管段内,本发明将忽略弯头、三通、阀门、泵等复杂的管道部件,从而把被检测管段网简化为一个连续的圆柱形管道,管径与被检测管段相同,长度等于被检测管段长度相加。

[0036] 假设简化后的被检测管道半径为  $r$ ,长度为  $L$ ,该管道中燃油体积为:

$$V = \pi * r^2 * L \quad (6)$$

[0038] 2) 燃油的流体物性

[0039] 当发生泄漏的设备的裂口是规则的,而且裂口尺寸及泄漏物质的有关热力学、物理化学性质及参数已知时,可根据流体力学中的有关方程式计算泄漏量。当裂口不规则时,可采取等效尺寸代替;当遇到泄漏过程中压力变化等情况时,往往采用经验公式计算。

[0040] 理想正压流体在有势质量力作用下,其运动方程在定常及无旋两特殊情形下可以积分出来,运动方程的这两个第一积分分别为伯努利积分和拉格朗日积分。

[0041] 伯努利积分:

[0042]

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{恒量} \quad (7)$$

[0043] 是能量守恒的数学表达。左边各项分别代表单位质量内的压力能,动能,势能。由此式推出:单位质量内的总能量,即压力能,动能,势能的总和在流线上守恒。

[0044] 根据伯努利方程,液体泄漏速度可用流体力学的伯努利方程计算。理想正压流体经小孔泄漏速度计算公式为:

[0045]

$$Q = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2gh} \quad (8)$$

[0046] 其中,Q——液体泄漏流量,kg/s; $C_d$ ——排放系数,通常取 0.6 ~ 0.64;A——泄漏口面积,m<sup>2</sup>; $\rho$ ——泄漏液体密度,kg/m<sup>3</sup>;P——容器内介质压力,Pa; $P_0$ ——环境压力,Pa; $g$ ——重力加速度,9.8m/s<sup>2</sup>; $h$ ——泄漏口上液位高度,m。

[0047] 实际正压流体通过小孔发生泄漏时,还受到泄漏孔形状、位置、介质状态等影响,泄漏速度与理论速度不同。小孔排放系数  $C_d$  是正压流体泄漏时,实际泄漏速度与理论泄漏速度之比,用于补偿公式推导中忽略了的摩擦损失,因惯性引起的截面收缩等。

[0048] 3) 其他影响因素

[0049] 实际的管网泄漏还受到管道材质、管道壁厚、管道埋地环境、地温、燃油组分等多种复杂因素的影响。其中,燃油组分将影响燃油物性,从而影响管道泄漏量大小。地温改变会影响管道的容积,也会影响燃油温度,从而造成燃油粘度变化,最终影响管道泄漏量大小。在对管网微小泄漏进行检测时,需要考虑到这些对管道泄漏量改变明显的影响因素。

[0050] 管道温度和压力数据经过噪声抑制和数据校准之后,将作为参数输入到管网模拟仿真模型之中。根据管网流体力学模型,通过模拟仿真叠代计算,估算管网的实际泄漏率。当某管道泄漏率高于一个门限时,系统将发出该管段泄漏报警。

[0051] 基于模拟仿真技术的管网微小泄漏缺陷检测系统以压力、温度或流量变化为管网模拟仿真模型输入,通过模拟仿真技术判断管网是否发生微小泄漏。测试结果表明,该发明适用于检测管道微小泄漏,可在 50 分钟内检测到泄漏率为 0.04 升 / 小时 / 立方米的管道泄漏。该系统的检测速度、灵敏度和可靠性达到了国际先进水平。

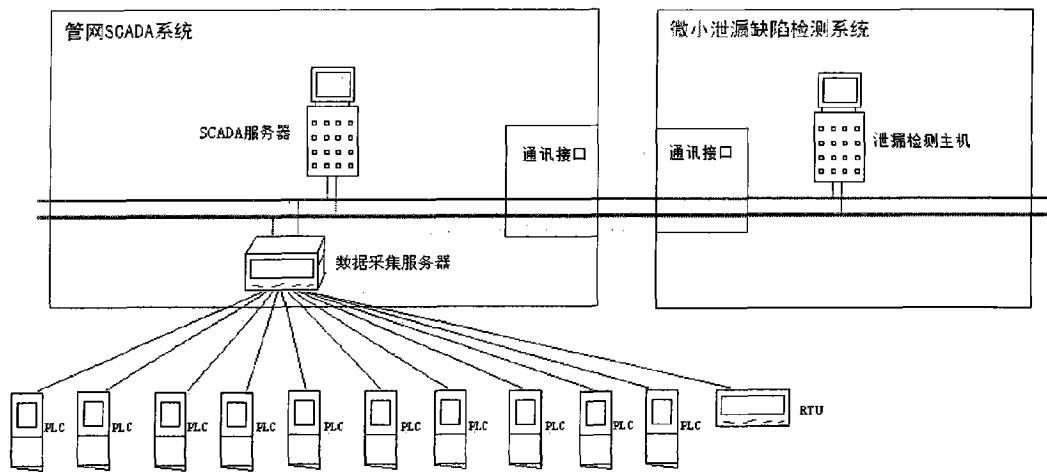


图 1