

泄漏检测系统在石脑油管输中的应用

任保卫（上海天然气管网有限公司，上海 201204）

摘要：概述了泄漏检测系统在石脑油管输中的应用及重要性。简要介绍泄漏检测系统的结构、功能及原理。总结经验，分析一些运行数据，发现不足、予以改进，为日常运行提供借鉴。

关键词：SCADA；漏油检测；网络结构；原理；应用；分析

0 引言

石脑油管输工程线路起点为海滨油库，终点为漕泾赛科，管线中部有南环阀室。线路全长约 89.4kg，其中海滨油库至南环阀室为 28.8kg，南环阀室至赛科为 60.6kg。各站控制系统采用 SCADA PLC 系统，实现全站的动态管理和自动监控。保障工艺系统可靠、平稳地运行，实现工艺参数的显示、数据处理、报警及数据归档。数据传输采用专敷光缆通讯方式。

为了保证输油安全。根据项目情况，利用管道原有部分站控设备、检测仪表、通讯系统等条件，建设投用一个先进可靠准确的、基于 SCADA 系统的输油管线泄漏检测系统是必要的！

针对现状，由于各站站控 PLC 系统采用 GE 的 SCADA 系统。通讯协议采用 GETCP70，数据刷新速率较慢。我们选择使用另外一套小型 PLC 系统，实现对现场仪表的数据采集，并借助 SCADA 系统的通讯网络。因此硬件方面需要在三个站点分别增加一套基于 TCP/IP 协议的小 PLC 系统。每个站点对压力变送器进行信号隔离，在海滨油库增加一套检漏工作站，通过网络访问到各站 PLC 系统，读取各站检漏数据（压力、流量等信号）。

系统的泄漏监测与定位具有开放性，可共享 SCADA 系统源数据库。泄漏监测系统在单独的计算机上运行。泄漏报警信息除在泄漏监测系统计算机上报警外，还可以通过 OPC 接口返回到其他系统。因此在调度中心和各站控系统的任何一个 SCADA 工作站上，都可以完成其所要求的报警功能。无论是从 SCADA 系统获取数据，还是向 SCADA 系统传送数据及信息，检漏系统都可通过成熟的数据接口系统无缝的、可靠的与 SCADA 系统进行对接。同时可利用新装的 GPS 授时系统为检漏系统进行授时，保证整套系统时间的一致性。

1 检漏数据采集系统

目前各站室 SCADA 系统选用的是 GE 的 PLC 系统，数据刷新速率达不到检漏系统要求的 10 次 /s。需要单独增加一套隔离的数据采集系统，从原 SCADA 系统采用信号分离的方式获取现场运行数据。

本系统选择采用美国 AB 公司的 Micrologix1400 系列小型化 PLC 系统，加 1762-IF4 模拟量采集模块，来实现采集各站室的压力、温度和流量信号。

Micrologix1400 系列 PLC，包含串口通讯和以太网通讯两种通讯接口，方便检漏工作站的数据访问。1762-IF4 模拟量采集模块，采集频率快，精度高（16 位精度）。

1.1 信号隔离器

使用信号隔离器将现场压力变送器信号进行信号隔

离，保证 SCADA 系统与检漏系统信号的相互独立。

1.2 通讯系统

本工程原 SCADA 系统的数据传输，采用专用光缆作为主要通讯方式。检漏系统借助该通讯网络实现数据的采集与上传。

1.3 现场仪表

根据现场仪表情况，现场安装有压力变送器、质量流量计（科龙）等，基于 SCADA 系统与检漏系统互不干扰，需要在三个站室对压力变送器模拟量信号增加信号隔离器。

1.4 检漏工作站

DELL Precision 工作站。

1.5 GPS 网络授时器

采用北京泰福特电子科技有限公司，生产的 HJ210 系列 NTP 网络时间服务器。由于现在的网络授时器都是网络版，只需要一台即可。

1.6 检漏原理及方法

本项目中各站室安装有压力变送器、流量计等。因此可将该条管道作为一个整体，建立管道泄漏检测及定位模型。检漏系统采用成熟的技术及手段进行泄漏监测及定位，主要采用以下几种方式：

1.7 瞬态负压波法

即当管道发生泄漏时，由于管道内外的压差。泄漏点的流体会迅速流失，造成压力下降。而泄漏点两边的流体由于压差作用会向泄漏点补充，即形成了特定的曲线特性。针对这一特性软件通过信号处理及模型分析等方法，判断管线发生泄漏。并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。系统泄漏模型图如图 1。

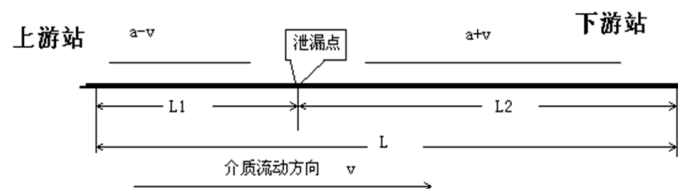


图 1 系统泄漏模型图

通过记录泄漏压力波的各种首达时，可根据该首达时的时间差 ΔT ，计算出泄漏的位置 x_0 和发生的时间：

$$x_0 = \frac{a-v}{2a} [L + \Delta t(a+v)] \quad t_0 = t_2 - \frac{x_0}{a-v}$$

由此误差产生的管道泄漏定位误差为：

$$\left\{ \Delta x_0 = \left| x_0 - \hat{x}_0 \right| \leq \frac{(a-v)^2}{4a} \Delta T \right.$$

其中： v 是管中流体流速， a 是管中波动速度， L 是管道长度。

检漏数据的刷新频率为 10 次 /s, 这样在理论上可达到定位精度小于 $\pm 50\text{m}$ 。

该管道泄漏检测方法需进行下述处理: ①判断和识别管道泄漏扰动波首次传播到两个端点的时刻和时间差; ②计算管道中压力波的传播速度; ③计算流体的流速; ④计算管道中泄漏的位置; ⑤波敏法泄漏定位采用压力降、小波滤波、 $\alpha\beta\gamma$ 滤波的方式确定压力变化的准确时间, 消除外界扰动产生的干扰。

综上所述, 当上下游两个站间某一点发生泄漏时, 必将引起上下游两站压力的下降。其幅度与泄漏速度有关, 泄漏越快压力下降越大, 反之相同。通过监视记录两站的压力变化情况就可实现报警。但是, 当首末站出现人工操作调节泵及阀门等操作时, 也会出现报警。但有压力报警不一定表示有泄漏 (即泄漏不是压力下降的充分必要条件)。而管线泄漏必然会引起输差增大, 并具有突然性即泄漏是突然输差增大的充分必要条件。运用此方法时, 必须基于 SCADA 系统和综合运用其他的检漏方法, 检漏系统才能正确做出判断。

2 流量平衡泄漏报警

根据管道介质流动质量守恒原理, 综合考虑管壁、介质密度、允许误差限、泄漏检测灵敏度和可靠性等影响因素, 根据管道端点所采集的流量、压力和温度数据, 确定管段内是否有介质泄漏。

要正确地判断管道的运行状态 (正常或泄漏), 必须进行复杂的随机分析和大量的计算, 并给出判断的可靠性。应进行下述处理: ①泄漏量计算; ②误差分析; ③最大容许管道储量变化; ④分类错误概率及状态分类的可靠性; ⑤泄漏状态报警域及报警限; ⑥可以通过系统的参数学习功能减少流量平衡检测的估计误差。

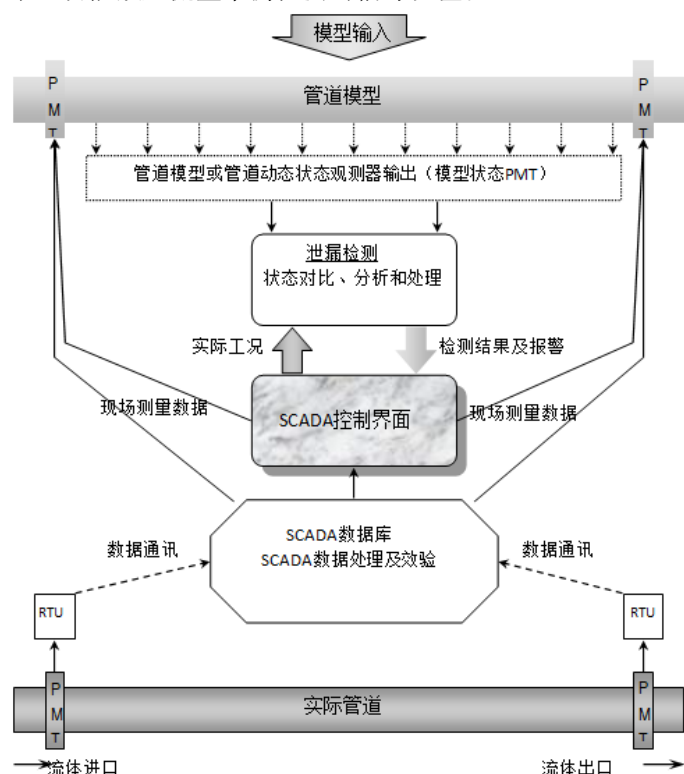


图 2 检漏系统原理

由于管道、流体参数本身的准确性较差, 这些参数又

随运行条件和时间而变化。所以根据管道实际运行数据进行参数学习, 对于准确描述管道系统具有重要意义。经学习所产生的管道和流体参数, 最能体现管道的当前状态。对管道泄漏检测的准确性和可靠性具有直接影响, 检漏系统原理如图 2。

PLF3.1 可对管径、摩阻系数、总传热系数和系统固定输差进行在线和离线学习, 学习结果可直接修改当前的管道泄漏检测项目。

根据上述几种检漏方法, 结合从 SCADA 系统获得的其他辅助数据 (如泵状态、泵变频信号、阀状态等), 系统可自动对管线产生的实际泄漏事件进行报警。

3 检漏系统的指标

管道泄漏检测及定位系统 PLF3.1, 根据管线、油品物性等参数, 以及计算机系统采集到的各个站点瞬时压力、流量、密度等参数。先经数据的有效性分析、小波变换和多种滤波方法对信号进行处理。再经过分析计算后动态实时地对管线进行泄漏报警及定位。在保证管线各段均满流的基础上, 检漏系统具体性能指标如下:

3.1 灵敏度

系统在 2min 之内应能检测出管道的突发性事故, 在 5min 内能检测出大于管道设计流量 2% 的泄漏。

3.2 泄漏量精确度

对于泄漏量 $\geq 5\%$ 流量, 泄漏量大小计算的精确度优于 $\pm 10\%$ 。对于 $1\% \text{ 流量} \leq \text{泄漏量} \leq 5\% \text{ 流量}$, 泄漏量大小计算的精确度优于 $\pm 15\%$ 。

3.3 定位精确度

对于泄漏量 $\geq 2\%$ 流量, 泄漏位置的确定在 $\pm 300\text{m}$ 的范围之内, 对于 $1\% \text{ 流量} \leq \text{泄漏量} \leq 2\% \text{ 流量}$, 泄漏位置的确定在 $\pm 400\text{m}$ 的范围之内。

4 检漏系统的功能

①当泄漏发生时发出声光报警, 在报警栏位置上显示报警信息。并产生必要的泄漏事件记录和文件; ②泄漏点的位置应在管线走向图上明确提示, 方便值班人员查找泄漏点的具体位置。该软件还可将泄漏位置通过预留的标准接口传输给 GIS (地理信息系统) 系统; ③系统在泄漏发生时实时进行泄漏量的统计计算, 并在泄漏结束时给出总泄漏数量, 便于统计损失情况; ④当泄漏量超出用户自行设定的门槛值 (微小泄漏) 时, 系统就发出报警; ⑤具有模式识别功能。能进行管道泄漏状态和正常运行状态判别和分类。消除管线正常操作而产生的误报警 (如: 末站倒罐、首站跳泵、流量调整等); ⑥离线泄漏状态检测和泄漏定位。具有历史数据回放器, 可回放某一时段的数据, 运用此功能进行事故分析; ⑦可设定基础门槛值, 检漏系统可根据仪表的精确度、重复性和数据的分辨率, 以及管道和输送的介质特性设定泄漏检测的基础门槛值; ⑧识别管道的正常瞬变流动, 对微小泄漏敏感但不受过程中噪声的影响; ⑨具有 WINDOWS 风格的全中文在线帮助功能; ⑩除具有 WINDOWS 的安全管理机制外, 系统还具有分级管理功能, 管理员和各操作员具有各自不同的操作权限。

5 泄漏报警系统应用分析

海滨油库 (石脑油管输首站) 中控室, 石脑油检漏系

统发生泄漏报警!当班岗位操作工发现后,根据检漏系统操作法对长输管道运行状况进行了初步分析。分析结果如下:

站点参数	正常状态下	报警时	变化
首站压力	4.102MPa	4.036MPa	↓
首站流量	129.18t/h	134.29t/h	↑
漕泾末站压力	0.155MPa	0.144MPa	↓
漕泾末站流量	128.08t/h	118.71t/h	↓
南环阀室压力	2.561MPa	2.35MPa	↓
首末站流量差	1.1t/h	15.58t/h	↑

当管道发生泄漏时,管道内压力、流量参数会发生变化。其特征为,压力:减压波传至上下游后,会引起两端压力的下降。流量:上游流量升高,下游流量下降。据此判断为管道某处有可能发生泄漏。

当班操作工迅速通过上述分析判断后,根据罐区石脑油长输管道泄漏应急预案要求立即启动预案。关停石脑油输油泵(P-38和P-36),关闭出站阀门,远程关闭南环阀室中间阀和漕泾赛科末站阀门。当班班长立即汇报罐区值班、罐区长、公司生产处调度。并通知管道公司输油处当班人员,石脑油长输管道发生泄漏报警,要求派管道巡线员去南环阀室附近的外管道查漏巡检。

罐区得到管道公司检查信息反馈,在距离首站 67# 桩(约 48kg)附近,发现了地面上有油渗出。罐区接到此信息后立即逐级汇报启动公司级事故应急预案。

6 泄漏定位分析

石脑油长输管道安装有检漏系统,以“动态方程定位法”对管线运行进行实时监控。其原理为实际管线的运行往往是一动态变化过程,可以用一动态系统来描述。随着泄漏位置、大小的不同,泄漏对这一动态变化过程的影响各异。该动态系统在边界点(即管道端点)运行参数的响应也不一样。该系统具有从管道实际运行动态规律出发,考虑泄漏的影响。根据管道端点运行参数的动态响应,建立管道泄漏检测系统模型及方法。判定管道中是否存在泄漏及其位置和大小,泄漏定性图如图 3,泄漏定位图如图 4。

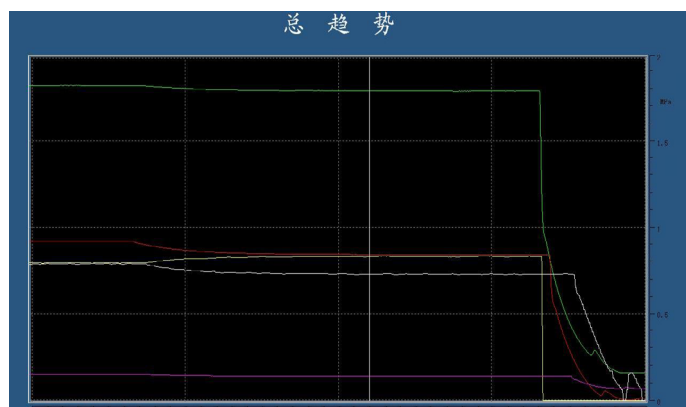


图 3 泄漏定性

根据现有的检漏系统,对本次管道泄漏进行了人工分析定位。泄漏点定位于距离首站 47.775kg 处,与实际泄漏点基本吻合。

绿色:首站出站压力,黄色:首站出站流量,红色:南环阀室压力,粉色:漕泾进站压力,白色:漕泾进站流

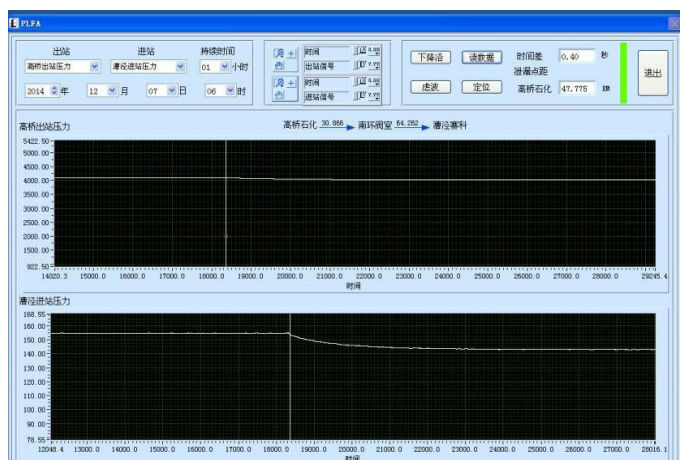


图 4 泄漏定位

7 泄漏报警系统误报的分析及改进

由于环境,工艺波动等各种外界因素的影响,漏油系统出现了几次漏油报警信号。漏油报警出现后,工艺参照前次状态,立即启动了紧急预案,并由巡道人员进一步查看。经过巡道员的再三实际查看,确认这几次报警信息均为系统误报。

为了保证系统的稳定工作,保证输油工作的顺利进行,我们联合工程人员协同工艺部门,对问题作了进一步的分析和探讨。石脑油管输主要参数有:压力,流量,主要的运算参数为:压力降,流量输差报警,仪表误差等。由于石脑油管输地域跨度较大,外界温度等环境对介质的影响也较大。由于温度直接影响到的是介质的密度,使得两端流量计的输出误差较大。为了更好的平衡这种由于外界环境因素导致的误差。经商讨决定,计划用两端体积输出差作为泄露的一个判断指标,附带判断压力降(压力下降趋势)。正常输送质量约为 130t/h,体积换算质量系数约为 1.4~1.5 左右,换算后的体积输送约为 188m³/h。仪表故障延时时间设定为 40s。最终系统做成质量/体积流量输差报警可切换的模式,工艺部门可根据实际情况选择,选用质量流量差还是体积流量差进行泄漏报警判断。经过一段时间的观察使用,管输泄露报警误报次数明显减少,有力的保证了输油工作的安全平稳运行。

8 结束语

总之,泄漏检测报警系统的实际应用,不但保证了生产的安全平稳运行,同时还提高了工作效率及管理能力,提高了装置的自动化水平。保护了环境,减少了不可控灾害事故的发生。我们将继续努力,深入探索研究,致力于仪控自动化系统的应用,保障泄漏检测系统的正常运行,为安全生产保驾护航!

作者简介:

任保卫(1977-),男,汉族,籍贯:陕西省咸阳市礼泉县,工程师,主要从事仪器仪表、DCS、ESD 运行维护,及计算机自动化技术的相关管理工作。