

远程分段式油罐自动计量系统的设计与实现

刘荣志

(东胜精攻石油开发集团股份有限公司 山东 257000)

摘要 通过分析油罐内油品液位对罐储自动计量的影响,介绍了一种远程分段式油罐自动计量系统,阐述了系统的设计、实现及现场应用情况,分析了自动计量系统的实际应用效果,该系统为油田集输站库实现计量自动化提供技术支持。通过该系统的推广和应用,可以实现油田储罐液位的自动监测,降低员工劳动强度,提高综合效益,达到油罐液位远程自动化管理的目标。

关键词 油罐,液位,自动计量

Design and Implementation of Automatic Tank Gauging System Based on Remote Sectional Technologies

LIU Rong-zhi

(Shengli Oil Field Dongsheng Jinggong Petroleum Development(GROUP) Stock Co., LTD, Shandong 257000, China)

Abstract On basis of analyzing the important influence of oil level on the automatic tank gauge, a new type of remote sectional measurement system for oil tank and its principle were introduced. This paper described the design, implementation and on-site application of the system, focusing on analysis of the practical application level gauge results for the oil field station library to provide technical support for automated measurement. The promotion and application of the technologies enable automatic monitoring of oil tank liquid level, reduce the employee labor intensity, increase the overall efficiency, and achieve the purpose of automatic management of the tank liquid level.

Keywords Oil tank, Liquid level, Automatic gauge

1 引言

在原油的开采处理过程中,沉降分离罐和净化罐是重要的生产设备之一,各井口采出的原油被输送至沉降分离罐内,在其内部进行油水分离,分离出较为纯的原油产品,在通过净化罐进行原油净化,便可以外销。自动检测油罐内液位和油水界面是实现油罐自动控制的重要保障,也是储运系统管理和计算原油储量的主要依据。同时,及时获取油罐的日常统计数据对于掌握油田的原油产量具有重要意义。

针对油罐的自动计量要求,本文提出了一种远程分段式油罐自动计量系统。系统传感设备采用电容式油水界面传感器和半导体温度传感器,能够克服油罐高温、腐蚀、粘稠,具有挥发可燃气体及水蒸气、多介质(油、水、乳化液)等恶劣环境影响。液位测量采用分段式结构,逐段测量不同层面介质(油和水)介电常数和温度数据,将模拟信号数字化后送到单片机进行组合处理。传感数据通过无线网络实时传送到数据采集中心。上位机组态软件对采集的传感数据进行分析处理,图形化显示现场数据及预警值。计量系统对各个沉降分离罐的历史数据进行汇总统计,反映出指定时间段和油井的原油产量。通过该系统,操作人员在控制室内便能直观地观测沉降分离罐内的液位、油水界面、乳化层厚、温度等状况,有目的地控制进出液阀门的开启、破乳剂的添加、加温设备的起停,达到提高生产效率、提升设备、降低设备能耗的目标;管理人员可以在远程掌握各个油井的实时和历史生产情况,为相关决策提供依据。

2 系统原理

2.1 油水界面检测原理

经过多年的研究和实践,国内外学者在液位检测技术及装置的研究上取得了巨大的进展,发明了许多新的检测方法,从早期的钢带浮子液位计和伺服式液位计,到近些年出现的磁致伸缩液位计、微波雷达式液位计、激光雷达液位计、超声波液位计及光纤液位计等^[1],测量手段不断更新。然而,存在活动部件的接触式液位计在实际使用过程中易于被腐蚀损坏,频繁卡死上报虚假信号。其他新型的非接触式液位计易受温度、尘雾、蒸汽、挥发气体等环境因素的影响,而导致测量结果失真,对油水界面的检测必须考虑到沉降分离罐中油水混合物复杂的物理特性。

原油是由多种碳氢化合物混和而成,属于非极性物质,其相对介电常数为2~3。而水是极性分子,由水分子组成的液态水为极性电介质,其相对介电常数是80,两者相差很大。气体的相对介电常数为1,和原油的差别也很大。因此,我们可以通过检测介质的相对介电常数就能区分出不同的介质,根据不同介质介电常数不同的特点,采用电容传感器检测介电常数,测量分界面的位置^[2]。实际生产过程中,原油沉降分离罐里原油与水的分界面不是真正意义上的清晰的油水界面,而是一个从水到油的乳化层,传统的电容式液位传感器难以直接准确测定各个界面高度。针对这种情况,我们采用分段式电容传感器,将传统的全量程圆柱形电容传感器,改变为用从上至下相同长度的若干段独立的内外金属管圆筒形电

容,来分段测量不同液位的介电常数。乳化层一般有一定的厚度(具体厚度与原油的成分和生产过程中所添加的化学药剂有关),而且乳化层中油水混合物的含水率呈梯度变化,因此,只能测量出一个近似的油水界面值。采用分段式电容传感器进行测量,在进行界面计算时,等效成原油与水有理想的清晰分界面,这个等效界面必在乳化层中,通过对乳化层的梯度变化进行平均确定油水界面,这样测得的油水界面完全可以满足油水分离过程中对油水界面测量值的要求。

2.2 油品质量计量原理

受到加热储油工艺及日照等因素的影响,油罐中油品的温度分布不均,从而形成一个温度梯度场。对于大型储油罐,油品的密度与温度有线性对应关系,也存在一个与温度场相对应的密度梯度场。因此,要想对质量进行精确测量,就必须对油品密度分布,亦即对油品温度分布情况进行测量。

由于分段式电容传感器与油品直接接触,可同时部署温度传感器,对油罐中各个油层的温度进行实时在线测量。

根据油品表层温度 t_i 以及表层密度 ρ ,通过查找石油温度系数表的方式即可得到此种油品的标准密度 ρ_{20} (即 20℃ 时的密度)及温度系数 γ 的值。再根据式(1)计算出与 t_i 相对应的各采样点的密度值 ρ_i 。

$$\rho_{t_i} = \rho_{20} - \gamma(t_i - 20) \quad (1)$$

对于立式圆柱型油罐,由于其各个高度处的截面积近似相等,因此可采用平均密度法计算油品质量^[3]。即:

$$m = \bar{\rho} \cdot V \quad (2)$$

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^k \rho_i}{k-j+1} \quad (3)$$

式中, ρ_i 为通过式(1)计算出的各采样点处的密度值。

对于球型以及卧式油罐等不规则罐体由于其各个高度处的截面积各不相同,因此不能采用平均密度法。此时,一般采用罐表辅助的质量累加法^[4],即:

$$m = \sum_{i=j}^k \rho_i \cdot \Delta V_i \quad (4)$$

$$\Delta V_i = V_i - V_{i+1} \quad (5)$$

式中, V_i 为采样点 i 处的液位在罐表中对应的油品体积值。

3 系统设计

3.1 系统架构

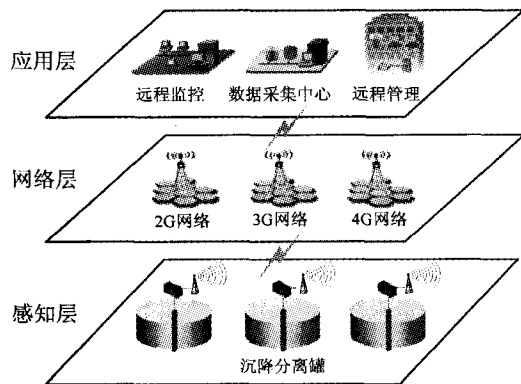


图1 远程分段式油罐自动计量系统结构图

该系统由感知层、网络层和应用层3部分组成,系统架构如图1所示。感知层通过液位传感器和温度传感器获得沉降分离罐内的液位、油水界面、乳化层厚度、各层温度等实时数

据,网络层利用移动、联通、电信等通信公司搭建的2G、3G、4G无线网络通信平台实现现场控制系统与远端数据采集中心的双向数据传输,应用层对相关数据进行分析统计实现对沉降分离罐的自动远程监控和远程管理。

3.2 感知层

该系统的感知层采用远程控制终端设备(RTU)为控制核心,实现对各个沉降分离罐的分段式电容传感器和温度传感器的状态监测,RTU将测得的状态或信号转换成可在通信媒体上发送的数据格式。它还将从监控系统发送来的数据转换成命令,实现对设备的功能控制。

通常情况下电容传感器电容值很小,有的甚至只有几个皮法到十几个皮法,这样微小的电容不易直接显示、记录和传输,因此本系统采用NE555芯片、电容及电阻组成间接反馈无稳态多谐振荡电路实现C/F变换,直接得到电容对应的频率信号。温度传感器采用美国DALLAS公司出品的DS18B20半导体温度传感器。其测量温度范围为-55℃~+125℃,测量最小分辨率为±0.125℃。RTU控制程序对传感器信号处理后再通过通信模块将数据传送给远程监控中心计算机进行分析处理。

为了集中本地测控功能和完善的网络通信功能于一体,远程控制终端设备采用Super 32系列RTU,主要模块包括:CPU及协处理器、存储器、局域网(LAN)接口、模拟I/O组件、数字I/O组件、通信接口、电源板等,还包括与上级管理计算机系统的通信通道接口(预留)、操作员接口等。通信接口采用标准的网络通信协议(MODBUS RTU/ASCII)能够方便地与上位机组成先进的数据采集与监视控制(SCADA)系统。

3.3 网络层

该系统无线数据终端单元采用基于通用分组无线业务(GPRS)的无线数据传输模块,通过无线远传方式与数据采集中心交换数据。GPRS是在传统GSM网络系统上发展起来的一种标准化的分组交换数据业务,主要用于无线通信。其覆盖范围基本上与GSM网络相同,大部分石油储运设施都在其无线通信网络覆盖范围内,理论上带宽可以达到171.2 kbps。当前系统使用的深圳宏电公司开发的H71 18CGPRS DTU,其核心部分为Motorola公司生产的高性能工业级GPRS模块,外加精心设计的MCU控制电路和通信接口电路,辅以完善的软件设计,使其使用方便、灵活、可靠。它将下位机采集的数字信号调制成模拟信号,然后根据写入H71 18C GPRS DTU或SIM卡中计算机的IP地址和端口号,通过GPRS网络传给远程监控中心。

目前,各主要移动通信运行商在完善2G、3G通信网络的同时,开始研发和部署4G通信网络,并大力推广其物联网应用,相关的无线传输设备也在不断更新,本系统的无线数据传输模块可以根据需要逐步更新为3G、4G产品。

3.4 应用层

该系统的应用层主要包括远程的数据采集中心、监控中心和管理中心。相关平台系统基于Espider组态软件开发,对原油沉降分离罐的各项参数进行监控、分析、统计和管理。Espider组态软件有数据实时采集、组态画面显示、参数处理、越限报警、制表打印等功能,并可对经常用到的趋势曲线进行定制开发,根据查询条件对时间段、参数范围、异常变化等进行对比显示。

应用层实现的功能如下。

3.4.1 监测功能

① 数据监测。利用 Espider 灵活的组态功能,在显示屏上以画面、报表、图像的形式动态显示系统的工艺过程、参数、设备工况。轮询周期受限于移动平台的响应速度,在此基础上系统有不多于 5 秒的延时。

② 流程画面监测。按照现场的实际工艺流程,设计油罐的工艺流程,并在流程的相应位置标识各测点,随系统数据刷新进行实时变化。

③ 系统参数表。按管理范围分各油罐的相关参数、设备运行状态。

④ 历史曲线。显示屏幕上可以显示当前监测的数据(趋势曲线),亦可显示历史数据(趋势曲线)。显示时,可以通过颜色变化等手段增强画面的可视性,并在同一坐标系内添加多条相关曲线进行对比。

⑤ 实时扫描。根据系统设置的扫描周期,可定时动态巡检各个油罐的现场情况,流程界面、参数界面的数据将随之实时变化。

3.4.2 报警功能

当油罐的参数发生异常时将按照事先系统设定的报警等级做出相应提示(如颜色)。本地和远程同时记录报警的信息。

单独设计报警控件。系统除具备单独的报警分析界面外,另还设单独的实时报警控件。该报警控件会显示于每个流程画面的下方,实时显示现场的报警情况,并通过事先设定的颜色区分正在报警、已恢复、已确认的记录。

当系统出现报警时,在相应的流程界面、参数界面也会按照事先设定的颜色和状态出现报警显示。

3.4.3 数据采集和存储功能

① 实时存储。对于系统的实时报警,SCADA 系统将实时地将信息分别存储到本地文件和中心数据库备查。

② 定时存储。现场 RTU 可按业主自行设定的采样时间采集并保存历史数据,这样既可保存所需要的完整数据(制作报表、图表使用),又可以减少通讯次数。

③ 数据集中存储。数据采集中心采用专用数据库服务器存储和备份历史数据,用于查询和统计分析。

3.4.4 互联网 Web 发布

对于实时遥测数据和历史遥测数据的查询,以及统计结果数据的查询,系统通过 Web 服务器直接对外发布。该系统的 Web 发布具有以下功能:

① 身份认证:用户通过用户名(或工号)、用户密码、验证码进行系统登录。用户登录时,系统对用户身份进行认证,通过认证的用户可获得被授予的相关操作操作权限,即只有通过认证的用户才能操作该系统的其它功能。

② 遥测实时数据查询:用户可以通过菜单选择,查看所有实时遥测数据和监控点状态,并可用颜色和符号表明数据的性质。查询到的每一时刻的遥测数据可以直接打印或导出到文件中保留。

③ 遥测历史数据的统计:对系统中保存的所有遥测历史数据可以进行各种要求的统计,同时可以以直方图、曲线图、饼图、表格等各种直观的方式显示统计结果,并可用颜色和符号表明数据的性质。统计结果可以打印和导出。

④ 统计报表:系统可以提供用户要求的所有统计报表,报表可分为:日报、月报、季报、年报等报表,对连续数据量可提供相应的报表曲线图。同时系统还提供一些简单的决策分析功能。

⑤ 趋势图:系统可以根据历史数据,绘制出历史趋势图。

4 系统应用实例

本系统在某油田投入试运行,对油罐自动进油、放水和计量等全过程进行自动化监控和管理。核心油气系统的原理流程图如图 2 所示,在相应位置实时显示各个检测点的测量值,值班人员可以很方便地掌握现场仪表运行情况。

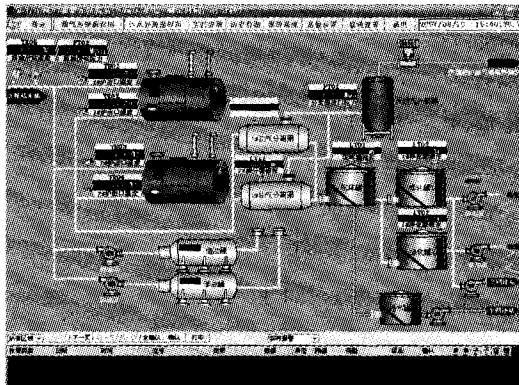


图 2 油气系统原理流程图

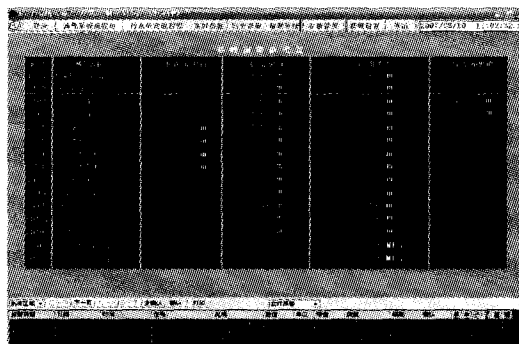


图 3 油气生产监控系统界面

在油气系统中,控制泵应用了 PID 调节,根据油罐设定的液位,系统自动加快或减慢控制泵电机转速,从而使油罐液位在设定值上下小范围浮动,既节省了电能,又避免了液位过高或过低给生产带来不利。

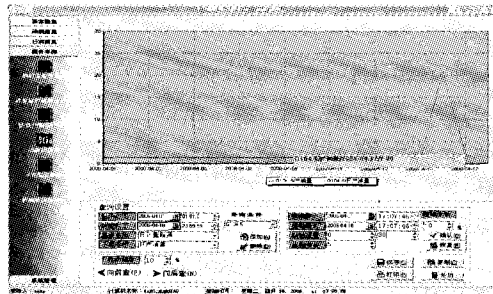


图 4 油气生产管理系统界面

系统运行过程中,相关测量点的实时数据动态反映在监控平台上,根据用户预设的各参数报警值,实时对异常指标进行报警指示,并根据预设动作向远程控制终端设备发出处理指令,油气生产监控系统界面如图 3 所示。

数据采集中心详细记录了生产过程中的各项测量参数采样数据,油气生产管理系统可在当日或事后对生产数据进行分析研究,系统界面如图 4 所示。

结束语 本文详细介绍了远程分段式油罐自动计量系统的结构原理、软硬件组成及实现的功能,目前该系统已通过现场安装调试与测试,系统工作良好,可以实现油罐多液位的远程监控和管理分析功能,提高了计量精度和工作效率,降低了工人劳动强度和人身安全风险,在实现油田数字化管理进程中,具有广阔的应用前景。

(上接第 458 页)

模型通过特殊通信服务映射(SCSM),将应用层数据直接映射到数据链路层和物理层,即传输层和网络层均空。这种映射方式的目的是避免传统的通信堆栈造成传输延迟,从而保证报文传输、处理的快速性。

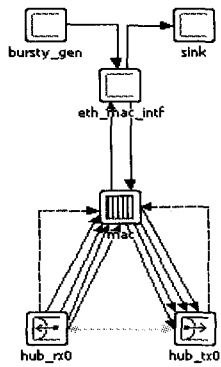


图 4 GOOSE 结点模型

从图 4 可以看出,GOOSE 结点的模型包括 6 个模块,分别为:bursty_gen、sink、eth_mac_intf、mac、hub_rx0 和 hub_tx0。其中各个模块的主要功能为:

(1) bursty_gen:该模块主要负责产生并发送 GOOSE 报文,其中包括了产生包的时间、大小及产生包的间隔时间等。另外,该模块还负责统计发送包的时间及发包数量等。

(2) sink:该模块主要负责接收发送来的 GOOSE 报文,其中还包括对收到的一些非法包的丢弃和销毁,对接收到的包的数量、包的一些特性及传送包的时间等的统计。

(3) eth_mac_intf:该模块主要负责接收来自 bursty_gen 的 GOOSE 包并向下发送给 mac 层,接收来自 mac 层的报文并向上发送给 sink 层,同时该模块还设置 mac 层的一些信息。

(4) mac:该模块主要负责对收到的 GOOSE 报文进行封装或将收到的 GOOSE 帧解封装,根据 GOOSE 报文的特征,采用相应的发送机制,将 GOOSE 帧或 GOOSE 报文发送到底层或高层。

(5) hub_rx0 和 hub_tx0 模块:这两个模块是分别负责最底层的数据流的接收和发送的接口模块。

GOOSE 网络中有测控装置、智能单元、保护装置、合并器等几种类型的 GOOSE 节点,这几种类型的节点模型包含相同的协议模块,只是在节点属性设置时有不同。

5.3 仿真平台中结点的进程模型搭建

进程模型是 3 层建模机制的最底层,是实施各种算法和协议的载体,因此大部分仿真工作量都集中在进程建模过程

[1] Schuller R B, Engebretsen B, Halleraker M. Measurement of water concentration in oil/Water dispersions by a single-electrode capacitance probe[J]. IEEE,2003(1):635-639
 [2] 招惠玲,周美娟,等.电容式液位测量系统的设计[J].传感器技术,2004,3(3):40-42
 [3] 张玉璜,陈伟民.小波变换自适应滤波器及在主动噪声控制中的应用[J].控制与决策,2002,17(1):107-110
 [4] 张民,丁常富等.小波分析在振动信号处理领域中的应用[J].电力情报,2001(3):5-7

中。对于事件驱动的仿真,进程模型是产生事件并处理事件的主体。仿真中进程模型采用的是有限状态机 FSM(Finite State Machine)来描述事件处理过程。当状态发生变化时,状态机才工作,状态不发生变化的时间段不执行任何模拟计算,即这个时间段被跳过。因此,与时间驱动的仿真相比,事件驱动的仿真计算效率得到很大的提高。

图 4 是 eth_mac_intf 模块的进程模型。从图中的 FSM 可以看出 eth_mac_intf 包含 6 个状态。其中 appl_layer_arrival 状态是当上层有数据到来时触发,即 bursty_gen 模块发送数据。mac_layer_arrival 是当 mac 层发送数据上来时触发。

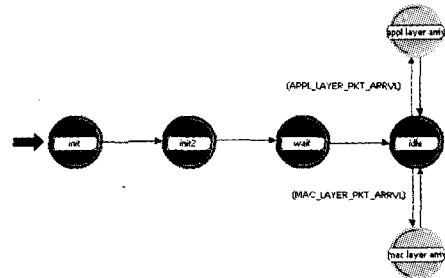


图 4 模块 eth_mac_intf 的进程模型

结束语 本文介绍了基于 OPNET 搭建 GOOSE 仿真平台的方法。该仿真平台符合 GOOSE 网的通信方式,能够对 GOOSE 网的各种性能进行仿真。根据需要,该平台还能对不同拓扑、不同规模的 GOOSE 网的各种操作进行仿真分析,具有很好的扩展性、可信性。另外,该仿真平台还可以为实际 GOOSE 网的建设提供预测分析,具有很大的实用意义。

[1] 高翔,周健,周红,等. IEC61850 标准在南桥变电站监控系统中应用[J].电力系统自动化,2006,30(16):105-107
 [2] 范建忠,马千里. GOOSE 通信与应用[J].电力系统自动化,2007,31(19):85-90
 [3] 沈健,黄国方,周斌. IEC 61850 在变电站综合自动化系统中的应用[J].电力系统自动化,2007,31(19):85-90
 [4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.基于 IEC61850 的通用变电站事件模型[J].电力系统自动化,2005,29(19):45-50
 [5] 李小滨,韩明峰. GOOSE 实时通信的分析与实现[J].电力系统保护与控制,2009,37(10):59-62
 [6] DL/T 860. 81-2006 第 8-1 部分:特定通信服务映射(SCSM)对 MMS(ISO 9506-1 和 ISO9506-2)及 ISO/IEC8802-3 的映射[S]
 [7] 宋丽君,王若醒,狄军峰,等. GOOSE 机制分析、实现及其在数字化变电站中的应用[J].电力系统保护与控制,2009,37(14):31-35
 [8] 陈敏. OPNET 网络仿真[S]