在线密度计在成品油油库付油过程中的运用及探索

孙彦童（中国石油天然气股份有限公司河南销售分公司，河南　郑州　450000）

摘　要：随着人工成本的不断上涨和环保要求的提高，如何采用新技术实现油库油品贸易交接计量的自动化，成为成品油销售企业亟待解决的重要问题。油库选用谐振筒式在线密度计对发油管道密度自动测量，详细介绍了密度计的结构设计、测量原理、安装方式、性能测试等。实际应用表明：谐振筒式在线密度计可以准确测量管道发油密度和温度，满足贸易计量交接要求。

关键词：在线密度计；油库付油；计量效率

1 管理创新项目实施背景

近年来，随着成品油市场的快速发展，人们对油品的数量问题越来越关注，特别是在贸易交接方面，数量的纠纷时有发生，如何快速的、准确的测量出油品的密度等参数，从而计算出油品的准确数量，是一个迫切需要解决的问题。目前，国内大多油库发油主要采用体积式流量计计量油品体积，而客户购买油品则需以质量为计量单位进行核算，因此，必须通过密度、温度等参数将测量得到的油品体积换算为油品质量。发油时油品密度的精准测量，是保证发出油品质量准确的前提和基础。油库对油品密度的测量有严格规定，要求发油期间每隔两个小时测量一次，且上午测量密度必须在 8 点以前完成。现阶段通用的密度测量方式为人工上油罐车取样测量。在此过程中，取样和测量工作量较大，约占油库整体计量工作量的 65%，采用人工取样的静态测量方法会出现诸多问题。

目前，人工测密的方法存在的主要问题有：人为影响大，精度低；实时性差、油品测量过程油样发生改变测量效率低，劳动强度大计量数据无追溯性、追责性；测量数据无法追溯查询，数据无法管理，同时人工进行数据记录和人工换算标准密度的时候容易出错；对计量人员素质、专业性要求高；受外界环境温度影响大，测量数据不科学等。同时，随着人工成本的不断上涨和环保要求的提高，采用新技术实现油库油品贸易交接计量自动化的需求迫在眉睫，其中最迫切需要解决的是人工测量发油密度问题。

基于现状，公司通过市场考察，目前，成品油密度测量常用的传感器有振动管式、谐振管式及谐振筒式 3 种。振动管式密度测量传感器采用科里奥利原理，测量密度不够准确；谐振管式密度测量传感器尺寸较大，无法安装在油库发油管道上，故这两种密度测量方式均不适合成品油油库发油时的油品密度测量。谐振筒式密度测量传感器的尺寸小，准确度高且安装简单便捷，因此成为油库发油管道新型高准确度在线密度计的首选传感器。

2 管理创新成果实施举措与办法

2.1 谐振筒式在线密度计结构及原理

2.1.1 在线密度计整体结构

管道在线密度计由表头、谐振筒式密度测量传感器、通信电缆及连接管道组成（图 1），密度测量传感器安装在连接管道内，通过安装在法兰上的镀锌管道将密度测量传感器的通信电缆引入表头，表头能够实时读取密度测量传感器测量的油品密度和温度。表头内还有 1 路容积式流量计脉冲信号输入，可以实现流量计发油体积的实时监测，其通过容积式流量计测量的发油体积及在线密度计测量的油品密度、温度等参数，换算得到管道内的油品质量。

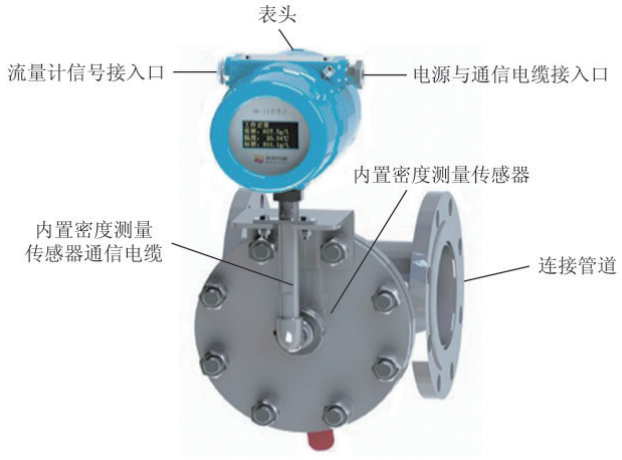


图 1 在线密度计结构图

2.1.2 谐振筒式密度测量传感器结构及原理

谐振筒式密度测量传感器由谐振筒、检测陶瓷棒、振动陶瓷棒、驱动器、放大器、温度传感器及信号处理单元组成（图 2）。谐振筒是一个由特殊金属材质

制成的薄壁圆筒，保证了谐振筒容易谐振，且谐振时需要的驱动能量小，谐振稳定，受外部震动、压力、流速、扰动等干扰因素影响小。

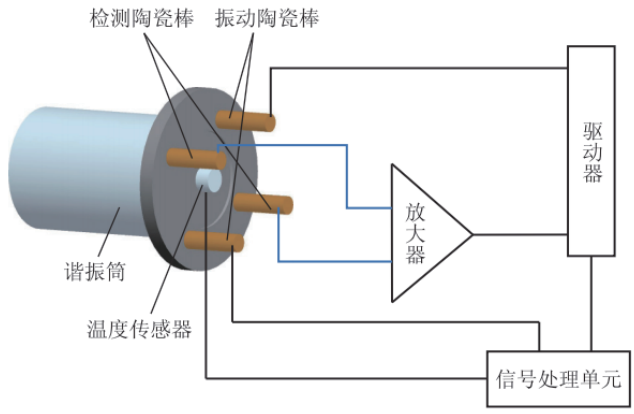


图 2 谐振筒式密度测量传感器结构及原理示意图

谐振筒式密度测量传感器浸入油品中，驱动器驱动振动陶瓷棒，使谐振筒按一定的固有频率和特定的模态振动。当谐振筒振动时，振动筒内的油品随之振动并产生谐振，谐振改变了原有振幅。通过测量振动筒在最大谐振振幅下的固有频率，即可计算得到管道内的油品密度。谐振筒的容积固定不变，其振动频率与油品密度存在严格的对应关系，同时利用温度传感器测定的温度进行自动温度补偿，使其测量密度不受外部环境温度的影响。其测量油品密度的关系式为：

$$\rho = K_0 + K_1 T + K_2 T^2 \qquad (1)$$

式中：ρ 为油品密度，kg/m^3；K_0、K_1、K_2 均为经标定的仪表系数；T 为谐振周期，s。

注：对于同一个系统，负载质量增加，振动频率下降；负载质量减小，振动频率提高。

2.1.3 在线密度计特性

①结构特性：该谐振筒式管道在线密度计结构简单、体积小、安装方便、准确度高，受外部振动、压力、流速、扰动等干扰因素影响小；

②密度测量特性：可精确测量液体的实时密度，其密度测量误差为 ±0.2 kg/m^3；能自动换算标准密度、计重密度、VCF；可间接实现酒度、含水率等的测量；含水报警，保证油品质量；

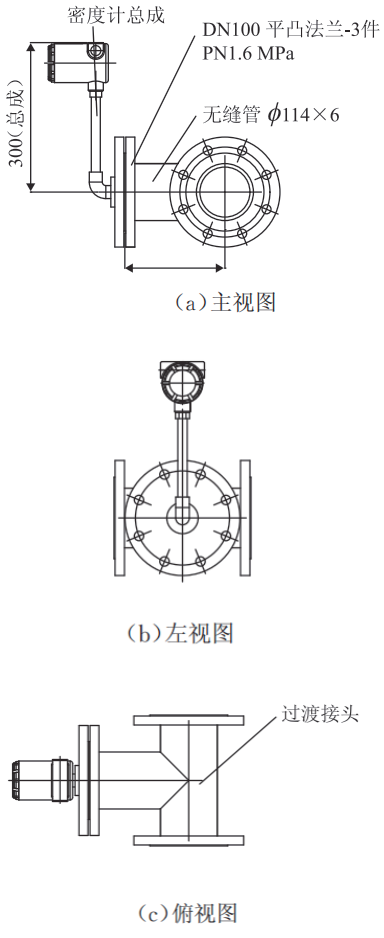
③温度测量特性：采用 Pt100 的高精度铂电阻温度传感器，准确度 0.1℃，免校正；

④质量流量测量特性：集成脉冲读取功能，能实时读取体积流量计的脉冲信号，通过公式计算，获得实时的累计质量；

⑤通信控制特性：能读取体积流量计的脉冲信号；能实现双路 4~20mA 输出，输出内容可组态设置，包括密度、温度等；能实现脉冲输出，内容可组态设置，包括质量、体积等；能和各种 RS485 设备实现实时通讯，全面的信息共享；能实现无线传输。

2.2 安装方式

为了便于管道在线密度计的安装，可选择 2 种安装方式：支管安装（图 3）和总管安装，其中密度计探头均需水平放置。支管安装方式是指在发油台下连接鹤管的支管道上安装密度计，因此，每个发油鹤管需要对应安装一台密度计，若一种油品有多个发油鹤管，则需要安装多台密度计。这种方式设备投资成本较高，但安装简单，只需将发油台下的某段管道拆下，拿到库外切割与焊接，然后复原，一般在 2 h 内即可完成。总管安装方式是指在某油品各储罐出油总管道上安装一台密度计，因此，一种油品只需安装一台密度计。这种方式设备投资成本较少，但安装时需要在出油总管道上进行切割与焊接，安装时间较长、危险性较大，会影响正常发油。公司根据所属油库生产实际，最终采用了支管的安装方式。



（a）主视图

（b）左视图

（c）俯视图

图 3 油库发油管道在线密度计支管安装方式示意图

2.3 应用测试

2.3.1 校准试验测试

中国石油河南销售A油库作为试点油库，为了减轻计量员的劳动强度，减少油品密度人工测量的误差，验证实际油品发油时的管道在线密度计的测量精度，结合A油库发油台改造情况，于2022年9月在油库发油台下的支管道上安装了4台管道在线密度计，实际使用8个月后，请河南省计量科学研究院进行现场实际发油密度、温度对比测试，现场对比结果（表1）表明：管道在线密度计的测量精度高于人工测量精度，优于GB/T 20901–2007《石油石化行业能源计量器具配备和管理要求》规定的数显密度计0.2级精度。

表1 中国石油河南销售A油库油品温度、密度对比测试统计表

设备序号	油品名称	温度测量值/℃		密度测量值/（kg·m^{-3}）	
		在线密度计	研究院仪表	在线密度计	研究院仪表
1	92#	18.4	18.4	746.6	746.8
2	95#	16.4	16.3	746.9	746.7
3	98#	17.6	17.5	744.1	744
4	0#	20.3	20.3	827.2	827.5

2.3.2 人工对比测试

为了实现全品种油品的人工对比验证管道在线密度计的准确度，A油库每天人工从鹤管出油口取样测试密度，并且记录管道在线密度计数据，进行密度计与人工取样测量密度的准确度对比试验（表2），对比测试时间从2022年10月1日–2023年5月1日，结果表明误差小于0.5 kg/m^3，且合格率达到100%。

表2 中国石油河南销售A油库管道在线密度计对比测试统计表

货位号	实测天数/d	误差不超过±0.5kg/m³的天数/d	合格率%
1	95	95	100
2	120	120	100
3	95	95	100
4	120	120	100
5	120	120	100
6	120	120	100

通过对比油库的测试数据可知，管道在线密度计能够提供实时准确的密度测量结果，准确度和稳定性均优于人工密度计量，完全满足贸易计量交接的准确度要求，可以代替人工实现油库发油管道的密度自动计量。

3 管理创新成果的效果

3.1 替代人工取样测量，密度客观、准确

现有的密度测量需要通过爬罐车、大罐等人工频繁取样，同时需要人工手动输入密度信息。在线密度计可以在线检测并显示管道内流体的实时密度和温度，最高精度可达 ±0.0002g/cm^3，从根本上杜绝了人工取样误差、提高效率，消除安全隐患，避免人为因素的影响。

3.2 解决油品混合、分层、换罐情况下密度计量难题

乙醇汽油、油品分层、换罐等情况下的密度测量是油品管控的一大难题。短时间内介质混合可能不均匀，人工取样少，很难代表真实值，容易造成测量误差大的问题。在线密密度计可以实现整车发油过程中的密度值实时检测，通过内置算法最终输出准确的整车平均密度值。

3.3 实现真正的付油自动化，提升效率

在线密度计与付油系统相集成，可以实时读取体积流量计脉冲信号，实时转换为质量和V20，并联机上传付油系统，实现质量和体积付油方式的灵活转换，换罐或分层时也无需停机复核密度，提升了付油效率。

3.4 避免纠纷，提升客户满意度

在线密度计可直接测量每辆槽罐车的平均密度及温度，密度测量准确度可达0.0002g/cm^3，数据直接上传到油品管理系统，便于数据追溯查询，减少了贸易交接过程中的纠纷，提高精细化管理水平。

3.5 形成新的成品油交接管理文件

在线密度计推广后，将彻底颠覆人们计量油品数量的历史，相关的计量标准、油品数量交接文件将改写并且逐步完善。

中国石油河南销售A油库已经成功应用了管道在线密度计。通过详细的测试对比数据可知，在排除人工对比测量的粗大误差后，在线密度计自动测量与人工测量密度之差在 ±0.5 kg/m^3 范围内，可以取代人工测量油品密度、温度，检测结果满足贸易交接计量要求。谐振筒式发油管道在线密度计结构设计合理，安装简单，运行稳定，计量结果准确，计量精度高，可以代替人工实现自动计量，减少了油品损耗，有显著的经济和社会效益，值得推广。

作者简介：

孙彦童（1982-），男，汉族，山东东营人，本科，工程师，研究方向：油库、加油站管理。