

# 一种新的界面检测方法在成品油管道上的应用

刘超<sup>1</sup> 赵天根<sup>2</sup> 翟培君<sup>1</sup> 杨滔<sup>2</sup> 毛振宇<sup>1</sup> 赵坤<sup>3</sup>

**摘要：**为了提高成品油管道中批次界面检测的准确性，结合物理声学理论（声音在不同种类油品中其传播速度不同），并将站场现有的超声波流量计采集的管道内流体声速值进行上传，完成该数据的远传，最终达到界面检测目的。通过数据处理软件，将郑州站批次界面进站时密度值、声速值及OID数值变化曲线绘制在同一时间轴下，可以看到三者基本同步变化，密度值与声速值变化趋势基本相同，而OID趋势变化相反。研究声速值随密度变化曲线可知，二者变化呈线性关系，这表明在检测批次界面时，使用声速值与密度值是等效的。

**关键词：**批次跟踪；声速；密度；超声波流量计

Doi : 10.3969/j.issn.1006-6896.2016.12.006

## The Application of A New Batch Interface Detection Method on Product Oil Pipelines

Liu Chao, Zhao Tiangen, Zhai Peijun, Yang Tao, Mao Zhenyu, Zhao Kun

**Abstract:** In order to improve the accuracy of batch interface detection in product oil pipelines combined with physical acoustics theory (sounds speed in different kinds of oil were not the same), the existing ultrasonic flowmeters were used in station to upload the collected velocity values of fluid in the pipeline, then the remote transmission of data was completed, and the interface was detected finally. The values of density, sound velocity and OID curves of the batch interface were drawn in the same time axis when it got into Zhengzhou oil station. The axis showed that the density and velocity values changed basically the same, while the OID trend was contrary. The curve of the sonic value changing with the density value showed that the relationship of the above two was linear which indicates that the sonic value is equivalent to the density value in the batch interface detection.

**Key words:** batch detection; sonic velocity; density; ultrasonic flowmeter

成品油管道采用顺序输送方式时，不同种类油品之间必然形成混油界面，批次界面跟踪与混油切割是成品油调度的主要工作。目前国内成品油管道常用的界面检测装置主要有密度计和OID（光学界面检测仪）。前者作为传统的界面检测设备应用范围广，时间长；后者作为界面检测手段的后起之秀已在多条管道得到成功应用<sup>[1]</sup>。但是，这两种界面检测设备也都有各自的缺点。

声波检测法是依据声波在不同油品中其传播速度不同的原理，同时利用管道上已有的超声波流量计设备，对其已测得的声速值进行处理，使其能够上传至站控PLC并最终上传至中控室，实现批次界面跟踪的目的。

## 1 兰郑长管道简介

兰郑长成品油管道西起兰州，东行郑州，南抵长沙，干线全长2 086 km，兰咸段、郑武段管径610 mm，咸郑段管径660 mm，武长段管径508 mm，采用常温密闭顺序输送方式，输送多种油品。自2009年投入运行以来共输送过0#柴油、-10#柴油、93#车用汽油、93#组分汽油。由于干线管径较大，管道中批次界面较多，而沿线站间距较大，使用人工计算批次界面到站时间难免产生误差。

兰郑长管道沿线在分输站场设有密度计橇座和OID，分输阀室也设置OID，用以检测混油界面。但是，密度计橇在实际运行中多次发生故障，例

<sup>1</sup> 中国石油北京油气调控中心 <sup>2</sup> 中国石油天然气股份有限公司管道郑州输油气分公司 <sup>3</sup> 辽河油田建设工程公司

如：流程中过滤器堵塞、密度计流程泵故障、振动管故障、数值丢包、机柜宕机等；而OID数值仅显示相对值，对于同一种油品，各站数值并不相同，且示数变化敏感，例如，同为汽油不同发油罐也会引起其数值改变。因此，亟需找到一种新的批次界面检测方法。

## 2 超声波流量计工作原理

兰郑长成品油管道计量采用的是西门子公司FUH1010PVN系列时差式超声波流量计，该流量计以时差法为测量原理，其主要由超声波换能器、信号处理电路及流量显示系统三部分组成<sup>[2-3]</sup>。时差式超声波流量计是根据超声波脉冲在被测介质顺流和逆流过程中形成的速度差测量流体的流速。在介质顺流方向，换能器 $P_1$ 向 $P_2$ 发射超声波信号，获得其传播时间 $t_1$ ；同理，换能器 $P_2$ 向 $P_1$ 发射超声波，获得其传播时间 $t_2$ 。二者时间差为

$$\Delta t = \frac{2Lu_D \cos \alpha}{c^2 - u_D^2 \cos^2 \alpha} \quad (1)$$

式中： $L$ 为超声波流量计水平安装距离，m； $c$ 为超声波在被测介质中传播速度，m/s； $\alpha$ 为换能器与管道水平夹角，( $^\circ$ )； $u_D$ 为管道介质在声程上平均流速，m/s。

由于声波速度远大于介质平均流速，即 $c \gg u_D$ ，故体积流量表达式为

$$Q = Au_D = A \frac{c^2 \operatorname{tg} \alpha}{2D} \Delta t \quad (2)$$

式中： $Q$ 为油品的流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ； $A$ 为管道横截面积， $\text{m}^2$ 。

由以上超声波流量计的基本原理可知， $t_1$ 、 $t_2$ 是装置测得的第一手数据，管道内流体声速值可以看作是中间数据，流量则是运算结果数据。在数据采集时，流量值作为关键数据转化为4~20 mA模拟信号，最终传输至站控PLC，声速值则与其他数据一起采用modbus协议通过RS485接口进行传送。

## 3 声速值与密度值的关系

液体周围受到的压强发生改变时，其体积也会相应地发生改变，以 $\Delta p$ 表示压强改变，以 $\Delta V/V$ 表示相应的体积相对变化即体应变<sup>[4-5]</sup>。根据胡克定律

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

由波动理论可知，机械波在介质中传播纵波时其速率为

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (4)$$

式中： $v$ 为流体中声波传播速度，m/s； $K$ 为体积模量， $\text{N}/\text{m}^2$ ； $\rho$ 为流体密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由式(4)可得

$$\rho = \frac{K}{v^2} \quad (5)$$

由式(5)可知，液体密度与其形变模量及声速存在对应关系。成品油中的汽、柴油是不同烃类组成的混合物，对于不同油品而言，其形变模量必然也不相同。因此可以通过对流体声速的测量实现对其密度值的间接测量。同时，也可理解为可以直接使用声速值这一流体固有物理量实现区分批次界面的目的。

## 4 应用效果及分析

图1为柴油推汽油批次界面在郑州站卸载时，郑州进站端密度计、OID及超声波流量计示值变化趋势图。

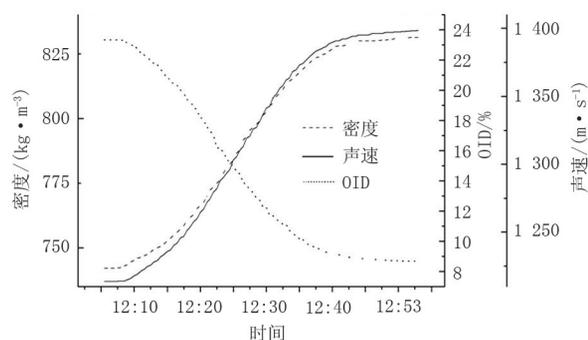


图1 混油界面相关物理量变化趋势

由图1可以看出，当混油开始进站时，汽油密度值由 $742 \text{ kg}/\text{m}^3$ 开始逐渐上升，声速值也由 $1314 \text{ m}/\text{s}$ 开始上升，OID数值也由23%产生变化。当纯柴油油头进站时，密度曲线、声速曲线及OID曲线也都趋于平缓，并最终稳定不变。三个物理量基本可以做到同步变化。

为了进一步揭示密度值与声速值的对应关系，以密度值为横轴，声速值为纵轴，将同一时刻的密度值与声速值逐点录入，进行数值优化(图2)。

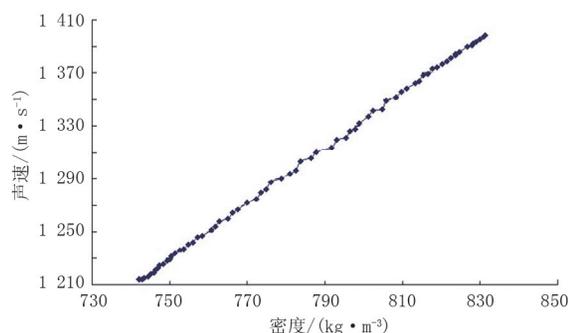


图2 液体密度与声速值关系

尽管由公式(5)可知油品密度与其声速值不

存在线性关系，但从图2曲线拟合可看出，对于石油烃类混合流体，随着其混合物平均相对分子质量的增大，密度值与声速值也逐渐增大，并且密度与声速呈线性关系。这一结果表明，检测批次界面时，使用声速值与密度值是等效的。

由超声波流量计测量原理可知，此声速值是在线工况声速，未经修正，不是流体标况声速，其数值受工况温度及压力影响。但在稳定工况或进站压力变化不大时，其可以作为油品批次界面的参考。图3即为某一异常工况出现时，郑州站进站油品声速值随压力变化趋势图。

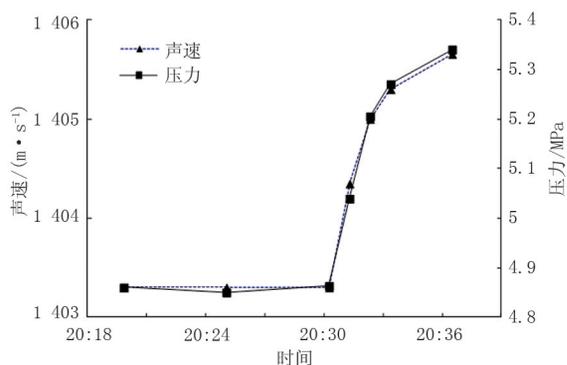


图3 在线声速值随压力变化趋势

## 5 结论

(1) 声速法批次跟踪依据不同烃类密度、弹性模量不同导致声速值也不同的声学原理，利用站场现有的西门子超声波流量计，在不增加其他附属装置的前提下，成功实现了柴、汽界面的识别，其识别精度与密度计法识别精度相同。即便在密度计设备失效的情况下，此系统仍可以独立工作。根据声速值的变化并参照OID变化趋势，中控调度甚至可以以其为标准进行混油切割。

(2) 与密度计和OID装置相比，外夹式超声波流量计测量声速时不需要与流体直接接触，彻底杜

绝了油品跑、冒、滴、漏的安全隐患，在高压站场则更能显出其在这方面的优越性；并且由于没有额外附属设备，现场维护工作量几乎为零，降低了基层站场的劳动强度。

(3) 由于超声波流量计所测得数值为在线实际工况数值，未经标况修正，在工况参数（例如压力、温度等）发生变化时其数值也会发生相应的变化，因此需要结合计算、密度计测量、设置OID等手段判断其准确性。但在稳定运行工况下，其数值变化有较强指示性。

(4) 使用声速法进行混油识别与区分仅限于汽、柴界面，对于密度十分接近的车用汽油和组分汽油界面仍需依靠OID装置。

## 参考文献

- [1] 孙岩, 陈世利. 一种新型光学管道界面检测仪的研究[J]. 电子检测技术, 2008, 31 (7): 124-127.
- [2] 宫川宝. 水对超声波气体流量计的影响分析[J]. 油气田地面工程, 2010, 29 (4): 63-64.
- [3] 陈刚, 郭祎, 于涛, 等. 兰郑长管道超声波流量计测量误差的修正[J]. 油气储运, 2012, 31 (11): 877-879.
- [4] 刘艳峰, 刘竹琴. 基于SV—DH声速测试仪研究液体的压缩系数[J]. 科学技术与工程, 2012, 12 (16): 3941-3943.
- [5] 冯斌, 龚国芳, 杨华勇. 液压油弹性模量提高方法与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41 (3): 219-222.

## 作者简介

刘超：工程师，大学本科，2008年毕业于东北石油大学油气储运专业，主要从事长输液体管道的调控运行，15010521823, liu\_chao@petrochina.com.cn, 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦B1911, 100007。

收稿日期 2015-07-18

(栏目编辑 杨军)

## 重点井上寻求突破

日前，中原石油工程公司钻井一公司50607钻井施工的中原油田重点探井赵4-6井发现油气良好显示。该井是中原油田今年在外围新区东濮凹陷西南斜坡带赵庄构造部署的第一口探井，该井设计井深4025 m，钻探目的是落实赵4块北断鼻高部位沙二下及沙三上砂组含油气状况及产能。自9月8日开钻以来，中原钻井一公司50607钻井队强化生产组织，认真落实技术措施，优选钻头，优化钻具和钻井参数，针对地层易垮塌的实际，提前转化KCl钻井液体系，保持井壁稳定，实现了优质快速钻井。近日该井钻至4013 m完成钻井进尺，油气显示良好，使得这一新区油气勘探有了新突破。

乔书民 报道