

原油管道顺序输送技术研究

韩耀兴 (山东莱克工程设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘要: 随着我国经济的快速发展, 原油使用需求不断上涨, 需从国外进口大量原油。在国内大型原油港口, 船运进口的多种原油常利用一条输油管道输往下游炼厂, 通过管道顺序输送的方式进行管输, 从而提高管道利用率。但在原油管道顺序输送过程中, 还存在着许多输送技术问题, 影响着原油顺序输送。本文就原油管道顺序输送技术进行分析和探讨, 并举例对孤永东管线顺序输送所产生的混油量进行分析计算, 给出顺序输送过程中减少混油量的措施及相关建议。

关键词: 原油管道; 顺序输送; 混油量; 界面; 切割; 技术研究

1 原油管道顺序输送必要性和发展

顺序输送是在一条管道内, 按照一定批次和顺序, 连续不断输送不同种类油品的输送方法, 亦称为“交替输送”或者“混油输送”。顺序输送可以最大限度地利用管道的运能, 以此节约成本, 增加效益。经过多年的努力, 国内成品油顺序输送管道基本能满足正常运行, 原油-成品油、国产原油-进口原油顺序输送管道也有了很大发展。

2 孤永东输油管道概况

胜利油田孤永东输油管线于1984年建成投产, 管线起点为孤岛原油库, 中间设永安输中间站, 末点为东营原油库, 管线全长72.51km, 其中孤岛原油库至永安中间站管线长32km, 规格 $\Phi 508 \times 7.1$; 永安中间站至东营原油库管线长40.51km, 规格为 $\Phi 508 \times 7.1$, 全线聚氨酯泡沫黄夹克保温, 并设置强制电流阴极保护。

孤永东输油管线设计最大输油能力为 $700 \times 10^4 \text{t/a}$, 最小输油量为 $350 \times 10^4 \text{t/a}$, 设计压力4.0MPa, 设计温度70℃。目前输送海桩和孤东采油厂低硫混合原油。孤永东管道是胜利油田目前口径输量较大、自动化水平较高的原油管道, 是连接黄河南北主要动脉之一。

表1 孤永东管道输送油品参数表

项目	海桩原油	孤东原油
密度 kg/m^3	920.6	943.3
含硫 /%	0.25	0.5
粘度 ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	85.31	273.1
凝固点/℃	-1	-2

表2 孤永东管线各段参数

序号	管段	管径 (mm)	壁厚 (mm)	长度 (km)	管段容积 (m^3)
1	孤岛原油库-永安中间站	508	7.1	32	6125
2	永安中间站-东营原油库	508	7.1	40.51	7754

3 原油管道顺序输送技术研究

3.1 顺序输送过程中混油的产生

原油在顺序输送时, 由于不同品质原油按次序在同一条管道内输送, 两种油品交替时, 在接触段内, 两种油品混合形成一定量的混油, 产生的混油与所输前后两种油品物理及化学性质都不同, 混油量的多少直接影响原油品质和价格, 造成一定经济损失。

顺序输送时产生混油可分为输送过程中起始点混油, 中间热泵站混油和管道沿程混油。在起输点混油开始形成时, 混油段长度增长较快, 之后逐步放缓, 主要原因是此时两种油品密度差别最大, 以致混油长度增长迅速。随着混油段的延长, 前后两种油品的密度逐步接近, 混油长度增长减缓。理论上来说, 在长输管道上采用顺序输送比短距离输送更有利。输送过程中, 原油在管道横截面上流速不均匀分布, 在层流状态下, 原油流速分布不均匀而引起的边界层滞缓和中心液流向前楔入现象, 此时管线轴心处的流速是平均流速的两倍, 造成输油管路中相当长的混油段, 因此顺序输送应避免在层流状态下运行。在紊流状态下, 虽有紊流脉动的影响, 但管道内紊流的速度分布较层流均匀, 因此混油量仍比层流状态下要少。试验表明, 应在雷诺数较高的紊流区内输油。选择恰当的流速, 是减少沿程混油的主要措施之一。

3.2 孤永东管线混油量计算

目前, 工程上顺序输送混油量计算公式主要采用 Austin-Palfrey 公式, 雷诺数 Re 是影响混油量的主要因素, 它对混油长度的影响大致分为两个不同的区域:

$$Re > Re_c \quad C = 11.75 \cdot d^{0.5} \cdot L^{0.5} \cdot Re^{-0.1} \quad (1)$$

$$Re < Re_c \quad C = 18384 \cdot d^{0.5} \cdot L^{0.5} \cdot Re^{-0.9} \cdot e^{2.18d^{0.5}} \quad (2)$$

其中:

$$Re = 4Q / (\pi d v); \quad (3)$$

$$Re_c = 10000 \cdot e^{272d^{0.5}} \quad (4)$$

上式中混油计算粘度 v 由下式给出:

$$\lg \lg(v \cdot 10^6 + 0.89) = 0.5 \lg \lg(v_1 \cdot 10^6 + 0.89) + 0.5 \cdot \lg \lg(v_2 \cdot 10^6 + 0.89) \quad (5)$$

$$V = C \left(\frac{\pi d}{2} \right)^2 \quad (6)$$

式中 Re —混油段雷诺数;

Re_c —临界雷诺数;

C —混油段长度, m;

Re_c —临界雷诺数;

C —混油段长度, m;

L —管道长度, 即混油界面通过长度, m;

d —管道内直径, m;

e —自然对数的底, $e=2.718$;

Q —油品在管线中的体积流量, m^3/s ;

V —混油量, m^3 ;

v —混油段计算粘度, m^2/s ;

v_1 —前行油品在输送温度下的运动粘度, m^2/s ;

v_2 —后行油品在输送温度下的运动粘度, m^2/s 。

由公式(3)、(4)计算可得,当孤永东管道($\Phi 508\text{mm} \times 7.1\text{mm}$)在顺序输送海桩和孤东原油时,临界雷诺数 $Re_c = 0.67 \times 10^4$,通过混油量计算公式(1)、(2)可以得出 Re 与混油长度的关系。在管道顺序输送过程中,若不考虑输送次序和初始混油量的影响,雷诺数是混油量大小的主要影响因素。当 $Re > 0.67 \times 10^4$ 时,混油长度随雷诺数的降低而缓慢增长;当 $Re < 0.67 \times 10^4$ 时,混油长度随雷诺数的降低而急剧增加。因此得出结论:为了减少混油量,尽可能使该管段在大于临界雷诺数 0.67×10^4 时输送原油。

通过 Austin 经验公式(5)计算可得,当输送海桩原油($v = 9.27 \times 10^{-5} m^2/s$)和孤东原油($v = 2.9 \times 10^{-4} m^2/s$)混油时,混油段运动黏度 $v = 1.59 \times 10^{-4} m^2/s$ 。通过公式(6)可以得出混油量为 $2339.11 m^3$ 。

3.3 顺序输送混油量影响因素

由以上混油量计算公式可以看出,管道中混油量主要影响因素有:油品平均流速、管道长度、管道内径及内壁的表面粗糙度、雷诺数、油品运动粘度等方面。

在首站中,初始混油量的多少还与切换油罐的阀门操作速度、外输泵的布置和排量有关。正常输送过程中,混油段通过中间热泵站,也受站内管道存油、站内管阀件的扰动以及过泵剪切等影响,混油长度也会增加。因此,顺序输送管道应尽量采用密闭输油方式运行,并尽量简化中间站流程。在中间热泵站对混油量的定量影响方面,不同文献有不同的结论。有国外文献介绍,混油以“从泵到泵”方式经过泵站时所增加的混油量,相当于通过 $10 \sim 15\text{km}$ 长的直管段时所增加的混油量。当管道停输时,如果混油界面处于地形起伏较大的地段,则不同油品在密度差的作用下产生运移也将使混油量增加。

4 减少混油量的工艺措施

①雷诺数越大混油量越小,因此管道应大于临界雷诺数 Re_c 运行。保持管内油流达到高度紊流状态下运行。②在站内运行工艺上盲管、支管、阀门、过滤器等附件应尽可能的减少且尽量靠近干线,以减少因流程切换带来混油的增加。③尽可能避免管道运行中的中途停输,中途停泵也会增加混油量。停输时间、线路地形等因素也会影响混油量。④站库内不同油品切割流程应采用自动化控制,应选用快速电动或电液联动阀门,减少人为因素带来的初始混油量增加。⑤运行上应采用泵到泵方式,避免因旁接油罐运行方式带来因油品物性的改变,使运行工况发生变化,造成纯油管路中掺入油罐中的混油。⑥在管道起点、分油点及进油点储罐容量允许前提下,尽量增加每一种油品批次输油量,混油量和混油尾尽量收入纯油储罐内,减少混油罐的混油量。⑦加热输送高凝、高黏油品时,应在混油头和混油尾界面处停止加热,待通过后再加热,防止因温度变化带来混油损失的增加。

5 混油界面的跟踪与切割

原油从起始站起输后在管道中运行的距离,即混油界面 L (km) 与起输站的累积流量 ΣQ (m^3) 有下式关系:

$$L = \frac{4000 \Sigma Q}{\pi (\Phi - 2d)^2} \quad (7)$$

式中 L —混油界面, km;

ΣQ —累积流量;

Φ —管道直径, mm;

d —管道壁厚, mm。

若此时起输站的瞬时流量为 Q , 则混油界面到达终点站所需的时间 T 为:

$$T = \frac{V - \Sigma Q}{Q} \quad (8)$$

式中 T—混油界面到达终点站所需的时间, h;
V—起输站到终点站的管道容积。

利用式(7)和式(8)即可对混油界面实施跟踪和预报到达终点的时间,结合表2数据,利用计算机编程计算,其中起输站的累积流量 ΣQ 和起输站的瞬时流量 Q 可以从SCADA数据表读入,也可以从各站报表参数手工录入。确保在线和离线状态下都能可靠地使用。

6 混油界面检测跟踪技术

混油界面检测跟踪技术有密度型检测法、超声波型检测法、荧光记号检测法、气体记号法、光学法检测浓度法等多种检测方式,国内长输管道顺序输送最常用有密度型检测方法和超声波型检测方法。

6.1 密度型检测方法

在首站和中间站出站前设置界面(密度)检测仪,在末站进站前主管线设1套界面检测仪,为站内切除混油段做提前预警,在末站站内设置高精度密度检测仪,实现对原油密度的精确测量,为混油段判断提供依据。

原油混油段密度与前后油品密度相关,混油的组成和混合油品的密度的关系可以用 $\rho_h = \rho_A + K_A + \rho_B K_B$ 表示,因为 $K_A + K_B = 1$,所以有 $K_A = \frac{\rho_h - \rho_B}{\rho_A - \rho_B}$,

$$K_B = \frac{\rho_h - \rho_A}{\rho_B - \rho_A}$$

现场操作人员可以实时测量混油段油品的密度,测量混油浓度的目的是为了检测混油段的浓度变化和确定混油量,以保障管道输送的安全运行、管道关键部位的流程变换、输送终点对混油进行切割和处理等操作。顺序输送能否成功的最基本的条件就是对混油段在管内的运动和位置进行检测。顺序输送的管道系统使用计算机进行批量跟踪、界面位置和泵站运行状态显示等,对输油全过程跟踪监视以保障生产。

密度型检测方法利用测量管道内不同油品的密度来检测其界面,该检测方式不适用密度等级相近的油品。国产重质原油-进口轻质原油的顺序输送界面由于密度差较大,密度型检测法较适用。该检测界面方法和技术应用最为成熟和广泛,也最为直接有效和经济便捷。随着国内工艺制造水平的提高,国产密度检测仪误差已做到0.2%,完全适用国内原油的工况。

6.2 超声波型检测方法

随着科技进步,超声波技术对混油界面检测使用范围越来越广泛。超声波油品界面检测仪具有灵敏度高、反应速度快等特点,能正确地判别和记录混油通过管路的情况。理论研究表明,油品密度越大,声波的传播速度越快。通过对输油管道进行实时连续测量并记录声波通过时间,经声波与密度公式计算后就能直接确定该管内混油油流的实际密度,从而分辨出油流的品种和混油浓度。声时,是指油流介质的声波通过实际管道两倍管径传播的所需的时间,单位为 μs 。声速 C 经 $2D$ 传播距离与声时 T 的关系为: $T = 2D/C$ 。

试验表明,影响油品声时值的主要因素是油品温度。油温升高,声速降低,声时值增加,而压力对声时值的影响较小。以10号柴油为例,温度为 $18^\circ C$ 时,声时为 $225.2 \mu s$;温度为 $19^\circ C$ 时,声时为 $226.1 \mu s$,即温度升高 $1^\circ C$,声时值增加 $0.9 \mu s$ 。在常压下其声时值为 $226.75 \mu s$,而在 $1 MPa$ 压力(表压)下,声时值为 $226.3 \mu s$,声时减小了 $0.45 \mu s$ 。经试验发现,利用声时差可检测原油界面。

7 结语

综上,对原油管道顺序输送技术研究分析和探讨,给出了相关建议。但在实际原油管道顺序输送过程中,还要根据管输的实际情况以及地理位置来选择合适的管输方法。总体来说,在当前我国原油管道顺序输送过程中,还存在着相关技术问题,需要技术人员进行解决。对技术人员来说,要通过不断地学习和积累,去提高原油管道顺序输送的效率。

参考文献:

- [1] 杨葆蕻. 输油管道设计与管理 [M]. 北京:石油大学出版社,2006.
- [2] 王昆,陈保东,王占黎等. 管道顺序输送中混油及混油量的研究 [J]. 管道技术设备,2007.
- [3] 张劲军. 原油管道输送的若干技术进展 [J]. 石化管道,2003.
- [4] 杨嘉瑜. 输油管道顺序输送的界面检测系统 [J]. 油气储运,1988.

作者简介:

韩耀兴(1989-)男,汉族,籍贯:山东嘉祥,学历:本科,职称:工程师,研究方向:油气集输及储运工程,目前从事的职业:油气集输及储运工程设计。