

成品油管道不同工况输送的混油量与能耗分析

李伟东 (中海油销售东莞储运有限公司, 广东 东莞 523988)

摘要: 管道顺序输送通常在设计工况下运行, 相对泵的选用与能耗较为固定。但在实际管道的优化运营中, 采用不同的工况输送, 输送产生的混油量与管道耗能分析是评价整体能耗的关键指标, 特别是在管道计划时间不紧迫时, 优化管道运行工况, 在混油量可处理情况下有效降低管输能耗, 是管道运行优化控制的关键。本文通过对惠莞成品油管道在不同工况下顺序输送的运行分析, 总结对比对管道的混油量与耗能的综合分析, 得出管道节能降耗的优化控制方案, 对管道顺序输送的经济运行具有较强的借鉴意义。

关键词: 顺序输送; 节能降耗; 能耗分析

成品油长输管道顺序输送实际运行中, 管道产生的混油量及能耗, 是运营控制是否经济性的重要衡量指标。在保证管输任务按时完成的前提下, 降低管道能耗是目前管道经济运行主要考虑因素。启用泵组的功率越大, 相应耗能越多, 在满足最低输量工况下, 使用的泵数越少, 输送能耗能降低越有效, 但单泵工况相较于双泵工况, 输送油品流速降低, 随之带来的混油量增加而产生的处理代价也是必须考虑的因素, 因此综合顺序输送不同工况下的混油量与能耗分析, 从而优化管输批次安排计划, 对管道经济运行有重大意义。惠莞管道通过理论计算与实际运行的数据分析, 综合分析了不同工况下的混油量与用电能耗, 提出了降低管道能耗的有效方法。

1 管道概况

惠莞成品油管道是中国海油所属首条成品油管道, 管道于2009年5月投产, 管道主线全长162km, 输油主线管径 $\Phi 457\text{mm}$, 设计压力8.0MPa, 管道沿线设有7座阀室, 顺序输送柴油、汽油、航煤3个品种, 设计输量为400万t/a成品油。

管道采用密闭输送工艺, 混油切割采用的是四段式切割方法。即将前段1%的混油段切入前行油品纯净油罐中, 后段油品浓度达到99%后即切入后行油品纯净油罐下载; 将中间2~98%的混油段按体积浓度分为富汽混油和富柴混油, 分别下载到2个不同的500m³混油罐中。选择这样的切割方式, 可以在保证油品批次量和质量指标的前提下, 可以尽可能实现混油回掺。

管道采用四台串联使用的800kW大功率输油主泵组以及配套的给油泵等设备, 管道输送流量600~830m³/h。日常运行中单输柴油时采用单泵经济输

送, 出站流量平均600m³/h, 顺序输送油品时采用双泵加速输送, 出站流量平均在800m³/h。两种工况下的主泵都是全频最大负荷运行, 单泵输送比双泵输送的能耗较为经济。为进一步评价不同工况顺序输送时的混油量与能耗比对关系, 管道进行了单泵顺序输送汽柴油的试验输送。

2 不同输送工况下的混油量理论分析

管道运营多年, 在双泵顺序输送下的混油量一般较为固定。理论上管道的混油量(混油长度)是个条件性参数, 它与所讨论的混油段浓度范围有关。计算成品油顺序输送的理论公式很多, 大致可以分为两类: 以紊流扩散理论为基础推导的公式和根据数据回归得到的经验公式。

根据扩散理论, 管道沿线油品浓度随时间及截面位置的变化取决于有效扩散系数的大小。扩散强度越大, D值越大, 混油段的浓度曲线越趋于平缓。有效扩散系数综合了油品交替过程中的对流、紊流扩散和分子扩散三种作用。目前所采用的计算公式多是从实践中总结出来的。若想确定相对混油量的具体计算公式, 只需将湍流扩散系数的计算式代入公式即可。在实际应用过程中, 一般要引入一个修正系数对计算结果加以修正, 具体的修正系数视湍流扩散系数计算式的具体情而定。采用较多有雅勃隆斯基-希兹基洛夫公式等。

由于影响运输过程中混油的因素很多, 计算混油量的经验公式一般是根据实测数据回归而得到的。相对于理论计算公式而言, 目前较广泛应用的是奥斯汀(J.E.Austin)和柏尔弗莱(J.R.Palfrey)经验公式。我国国标GB50253《输油管道工程设计规范》中也规定, 混油量的计算采用奥斯汀-柏尔弗莱经验公式计算。根据Austin-Palfrey公式, 管

道中混油的扩散速度不仅与雷诺数 R_e 有关, 而且与油品输送距离有关。在 R_e 相同情况下, 输送距离越长, 混油的扩散速度则越小。

根据不同工况下的混油量, 由扩散理论推导的雅勃隆斯基-希兹基洛夫公式混油计算公式套用计算, 管道在单泵输送工况时, 管道流量 $600\text{m}^3/\text{h}$, 管道内径 DN450, 管道总长度 $L=161.915\text{km}$, 管道油温 20°C , 前行油品 0# 柴油运动粘度 $4.8 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 后行油品汽油运动粘度 $0.76 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 计算出的管道混油量为 155.736m^3 。在双泵输送工况时, 管道流量 $800\text{m}^3/\text{h}$, 管道内径 DN450, 管道总长度 $L=161.915\text{km}$, 管道油温 20°C , 前行油品 0# 柴油运动粘度 $4.8 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 后行油品汽油运动粘度 $0.76 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 计算出的管道混油量为 145.178m^3 。

由经验回归的奥斯汀和柏尔弗莱经验公式套用计算。根据上述相同的条件参数计算, 管道在单泵输送工况时, 流量 $600\text{m}^3/\text{h}$ 计算出的管道混油量为 143.575m^3 。在双泵输送工况时, 流量 $800\text{m}^3/\text{h}$ 计算出的管道混油量为 139.503m^3 。

从计算结果比对可知, 虽然不同公式理论计算出的混油量有所差别, 但两种计算方式反映出的结果表明, 管输在单泵输送相较于双泵输送的工况运行, 因流速降低造成管道混油量有所增加, 但增幅比例均不超 10%, 增加的混油量可在末站及时处理完毕, 混油量的影响量可以克服, 说明采用单泵输送对能耗的降低理论上是有可行空间的。

3 不同输送工况下的耗能理论分析

输油主泵的电力耗能是管道输送能耗的主要构成部分, 在役管道运营中通过管道主泵的机组数量调整、调节转速等方式是影响管道能耗的关键。成品油在管道内顺序输送时, 油品界面在管道内移动, 随着油品界面的变化, 管道水力工况随时在发生变化。管道在输油泵选型时主要考虑的是在满足流量及扬程范围内同时满足输送不同油品时的流量要求, 并且应保证输油泵在高效区工作, 并且输油泵的总流量应确保成品油长输管道的流速不小于 $1\text{m}/\text{s}$, 输油泵应操作灵活、简单。因此惠莞管道采用的是国产 4 台串联使用的大功率输油主泵。

管道运行时主要是根据编制的批次计划要求来合理选用主泵运行方案。为了控制干线管道的流速不小于 $1.0\text{m}/\text{s}$, 不高于 $1.5\text{m}/\text{s}$, 惠莞管道设计采用的控制方式是出站调节阀采用流量控制, 并使调节阀的开度在 90% 以上, 如果输油主泵流量低于 $830\text{m}^3/\text{h}$, 输油主泵采用调速电机调速, 对首站出

站流量进行控制, 一般双泵运行的平均流量控制在 $800\text{m}^3/\text{h}$ 运行。管道一般采用 2 用 2 备输油主泵的方式, 一台工频主泵搭配一台变频主泵使用。2 台主泵在串联工艺密闭输送工况下, 通过变频调节后面主泵, 相对于调节阀来说, 可以实现较好的节能效果。但在此工况下, 综合能耗分析, 使用变频泵增加的流量与扬程, 与泵使用的电力能耗对比, 能耗比明显低于工频泵。在满足最低输送量要求的情况下, 同种油品批量的输送, 不用考虑混油量的因素, 使用单泵输送的时间增加, 但单泵的功效效率高。在同种条件下, 采用工频搭配变频泵的双泵工况运行, 时间压缩, 但由于变频泵的功效效率较低, 对管道整体的能耗增加较是更加明显的。

顺序输送双泵工况输送, 按常规方案采用 1 台工频主泵串联一台变频主泵。根据主泵的性能曲线, 采用 1 台工频配合 1 台变频串联方案泵的最高效率约为 86.5%。双泵的能耗约 $800 \times 0.865 \times 2 = 1384\text{kW}/\text{h}$ 。

顺序输送单泵工况输送, 采用的控制方式是全开出站调节阀, 一般使用一台工频或一台全频运行的变频主泵, 根据泵的性能曲线, 单泵运行的按最大流量 $600\text{m}^3/\text{h}$ 控制运行, 单泵的最高效率约为 80%, 单泵的能耗约 $800 \times 0.8 \times 1 = 640\text{kW}/\text{h}$ 。

惠莞管道全线管道容积 24908m^3 , 每次作业停输时要求汽油不能停留在管道, 产生的混油全部输送到末站接收, 为减少混油, 一般不安排二个混油界面同时在管道内运行。因此每批次量安排输送汽油量大于 2 万 t, 顶线柴油大于 2.3 万 t。根据此批次量安排, 理论上计算 4.3 万 t 油品使用单泵流量 $600\text{m}^3/\text{h}$ 输送, 全程需耗时 91.3h, 主泵全程耗电功率 58432kW , 换算吨油耗电量 1.358kW ; 使用双泵流量 $800\text{m}^3/\text{h}$ 输送, 全程需耗时 68.4h, 主泵全程耗电功率 94666kW , 测算吨油耗电 2.202kW 。在同一管道常规操作下, 不考虑其他影响因素, 单就耗电分析, 同批次量输送时单泵输送的总耗功率可节约 36234kW , 吨油耗电量理论上可减少约 38% 耗电量, 单泵顺序输送对于管道运行总能耗的下降效果是非常明显的。

4 不同工况输送的实测数据分析

为验证理论分析的结论, 惠莞管道组织了单泵输送与双泵输送不同工况运行的实际批次测试输送。在其他操作未改变的情况下, 启用单泵顺序输送 37000t 汽油 +25000t 顶线柴油批次, 同时安排双泵顺序输送 37000t 汽油 +25000 顶线柴油批次,

收集两批次的混油量及耗电量数据进行比对分析。

实际操作中,混油切割受操作人员的影响也较大,因此测试中采用了同一班组人员的同一操作方式,在其他操作未改变的情况下,启用单泵顺序输送 37000t 汽油 25000t 顶线柴油批次的混油量与双泵输送 37000t 汽油 25000 柴油批次的混油量进行比对。单泵输送工况两个混油界面共切割混油 275.886m³。在相同操作条件下,双泵输送工况两个混油界面共切割混油 264.412m³。同一管道不同工况,由于流速降低,单泵比双泵运行时管道切割混油增加 11.474m³,增加幅度 4.3%。混油量的增加幅度符合理论计算的趋势与分析。两个批次产生混油全部输送到立沙末站接收,输送的混油汽油柴油界面每批次按轻柴、重汽分别切割两个混油罐。通过对柴油中掺入汽油最敏感的闭口闪点质量指标,对汽油中掺入柴油最敏感的终馏点质量指标分别精确的计算回掺比例,轻柴油掺回柴油大罐,重汽油掺回汽油大罐。同时以敏感质量指标为控制目标,开始回掺后在管线取样口取出混合样即时检测,根据实测敏感指标来及时调整最佳回掺比例与方法,严格控制回掺油品质量。日常运输中,管道输送柴油批次量较大,因此增加的 11.477m³混油量可按正常操作流程在立沙末站进行回掺处理。通过回掺处理,单泵工况下输送产生增加的混油可按原处理流程全部回掺,并不增加处理的难度。因此在末站站场混油处理方面,不同工况下的混油量处理方式没有改变,混油量增加的处理难度在可接受范围内。

通过在配电系统对两次不同工况输送的耗电量抄表对比,根据启停泵时的抄表记录,实际测量出相同批次量的不同工况输送的耗电量。单泵顺序输送 6.2 万 t 全程耗电量为 112740kW,换算吨油耗电量 1.82kW;双泵输送 6.2 万 t 全程耗电量为 140911kW,换算吨油耗电量 2.27kW。虽然单泵输送时间上比双泵增加 33.6h,但整体的能耗减少了 28171kW,吨油实际耗电减少了 19.8%,虽然减少幅度与理论计算有所差距,但趋势方向基本符合,实际耗电节能效果也是非常明显。

综合数据比较,单泵工况对比双泵工况输送,虽然混油量增加 11.474m³,增加幅度 4.3%,但总体耗电量减少 28171kW,吨油能耗节省幅度达到 19.8%。增加混油可以在末站掺混处理,增加量在可接受范围内,分析比较的结果基本吻合理论计算趋势。管道在后续的顺序输送中,通过优化批次量

安排及降低能耗的输送工况方面相结合,在满足批次计划完成时间要求的前提下,采用优化运行降低能耗成本的单泵经济工况输送方案,不仅能够保证管道的油品质量控制,同时在管道经济运行管理上也能取得了非常明显的节能降耗成效,首站在每月的电费结算数据也充分反映出了这一方面的成果。

5 结论与建议

通过对惠莞管道混油理论计算与实际运行的数据分析,综合分析不同工况输送时的混油量与用电能耗,说明在混油接受能力内及流速符合基本要求时,使用单泵顺序输送,能够明显的降低首站主泵的能耗水平。在批次计划编排时,结合经济工况运行考虑,在管道节能降耗方面成效显著。

管道输送在低输量的情况下,末站混油处理能力留有空间,在不影响输送计划时间的情况下,可使用单泵经济流速顺序输送,节能效果明显,能够使管道输送运行效率更经济高效,对于专用输送管道的经济运行,具有很强的专业借鉴意义。

参考文献:

- [1] 谷俊标. 顺序输送管道不同工况下混油量的计算[J]. 油气田地面工程, 2005, 24(3).
- [2] 唐海燕. 顺序输送成品油管道混油量计算公式对比[J]. 石油工业技术监督, 2007, 23(1): 30-31.
- [3] 杜军, 陈世一. 油品顺序输送不同工况下混油量研究[J]. 中国民航大学学报, 2006(z1): 2.
- [4] 陈峰, 张国忠, 亓强. 顺序输送管道变流速下混油量的计算方法[J]. 油气储运, 2002, 21(9): 23-25.
- [5] 陈世一, 崔艳星, 崔艳雨. 成品油顺序输送管道混油量计算方法[J]. 油气储运, 2007, 26(8): 4.
- [6] 孙铁, 刘勇. 成品油顺序输送管道混油量的计算程序[J]. 管道技术与设备, 1997(1): 3.
- [7] 何国玺. 成品油管道输送过程混油特性及泄漏测算方法研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2018.
- [8] 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]. 管道技术与设备, 2007(2): 3.
- [9] 李向成. 成品油管道顺序输送混油量优化研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2015.
- [10] 邵婷. 成品油管道批次顺序输送调度优化研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018(32).
- [11] 蒋仕章, 蒲家宁. 成品油管道顺序输送运行优化与分析[J]. 管道技术与设备, 2002(5): 4.
- [12] 吕恩焕. 成品油管道顺序输送优化分析[J]. 中国化工贸易, 2015(35): 141-141.