

提高双兰线管道输油泵机组运行效率措施探讨

梁 艳 (国家管网西部管道甘肃输油气分公司, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 输油泵是原油成品油长输管道的“心脏”，它将机械能传递给油品以增加其位能、压能，使其可以翻山越岭实现长距离输送。作为双兰线中间输油站的主要耗能设备，输油泵机组耗电约占站场总耗电的94%，本文对影响输油泵机组运行效率的因素进行了分析，提出了提高效率的措施，对促进原油成品油管道节能降耗、经济运行具有一定的参考意义。

关键词: 输油泵机组；效率；节能；经济

鄯兰原油管道与乌兰成品油管道合称为双兰线。原油管道与成品油管道同沟敷设，途经新疆、甘肃两省，终点均为兰州市。管道沿线地形地貌复杂，途经天山、戈壁滩、祁连山区、黄土高原等地区，设有多个原油成品油合建中间输油站，主要动力设备为泵机组，以此实现油品的增压输送。

1 输油泵机组工作原理

双兰线站场原油成品油输油泵均为离心泵。离心泵驱动机通过泵轴带动叶轮旋转产生离心力，在离心力作用下，油品沿叶片流道被甩向叶轮出口，经蜗壳收集送入排出管。油品从叶轮获得能量，使压力能和速度能均增加，并依靠此能量将油品输送到目的地。在油品被甩向叶轮出口的同时，叶轮入口中心处形成了低压，在吸液罐和叶轮中心处的油品之间就产生了压差，吸液罐中的油品在这个压差作用下，不断地经吸入管路及泵的吸入室进入叶轮中，当叶轮旋转时，离心力使油品加速排出，从而实现油品的连续输送。

除了首站、末站以外，原油中间输油站一般设置5台定速串联外输泵，3用2备；成品油中间站设置4台串联外输泵，3用1备，隔一个站场设置2台变频调速泵加2台定速泵，其余站场4台输油泵全部为定速泵。

2 输油泵机组运行效率计算

2.1 输油泵机组运行总效率

输油泵机组由泵和带动泵运转的电动机组成，总效率按式(1)进行计算。

$$\eta = \eta_b \times \eta_d \times \eta_g \times \eta_c \quad (1)$$

式中：

η —液体输送系统总效率

η_b —泵运行效率；

η_d —电动机运行效率；

η_g —输送效率；

η_c —传动效率。

2.2 输油泵效率

输油泵运行效率按式(2)计算：

$$\eta_b = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{3.6 \times 10^6 \times N_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

η_b —泵运行效率；

ρ —油品密度，单位为 kg/m^3 ；

g —重力加速度，单位为 m/s^2 ；

Q —泵的流量，单位为 m^3/h ；

H —泵扬程，单位为 m ；

N_2 —泵轴功率，单位为 kW 。

表1 双兰线中间站原油、成品油输油泵信息

| 序号 | 设备描述 | 设备型号 | 扬程(米) | 级数(级) | 额定流量(m^3/h) | 驱动机额定功率(KW) | 备注 |
|----|--------|---------------|-------|-------|-------------------------------|-------------|----|
| 1 | 原油输油泵 | ZLM IP 440/06 | 135 | 1 | 1600/2800 | 1370 | 定速 |
| 2 | 原油输油泵 | ZLM IP 530/06 | 250 | 1 | 1600/2800 | 2250 | 定速 |
| 3 | 成品油输油泵 | 12×14×23B HSB | 250 | 1 | 1450 | 1112 | 定速 |
| 4 | 成品油输油泵 | 12×14×23A HSB | 400 | 1 | 1450 | 1801 | 定速 |
| 5 | 成品油输油泵 | 12×14×23B HSB | 400 | 1 | 1600 | 1987 | 变频 |

2.3 电动机效率

电动机运行效率按式(3)计算:

$$\eta_d = \frac{P_{zh}}{P_r} = \frac{P_N \times \beta}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi} \quad (3)$$

式中:

η_d —电动机运行效率;

P_{zh} —电动机的输出功率, kW;

P_r —电动机的输入功率, kW;

P_N —电动机的额定功率, kW;

β —电动机的负载率, $\beta = \sqrt{\frac{I - I_0^2}{I_N^2 - I_0^2}} \times \frac{U}{U_N}$,

$$I_0 = I_N \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - 0.2 \times \cos \varphi \times \sqrt{1 - 100 \times S_N^2} \right);$$

U —电动机的输入电压, kV;

I —电动机的输入电流, A;

$\cos \varphi$ —电动机的功率因数。

η_c —传动效率。

3 影响输油泵机组运行效率的因素

离心泵机组运行效率受多种因素影响, 主要包括泵本体结构、输量、泵进出口压力、节流损失、电机效率等。

3.1 泵本体结构对效率的影响

离心泵内的能量转换主要集中在叶轮和油品之间, 泵运行过程中会出现水力损失、容积损失和机械损失, 降低各种损失量有利于提高泵效。水力损失是油品流经叶轮等水力部件所产生的能量损失, 其中沿程摩阻损失与泵内流道部分表面粗糙度、流道形状和油品黏度有关。摩擦损失是由于油品黏性, 造成流体分层, 层与层之间速度各不相同所产生的摩擦效应。容积损失是由于泵的叶轮与静止部件存在间隙, 间隙两侧存在压差, 一部分高压液体经叶轮与泵壳密封环之间的间隙窜向进口低压区, 还有一部分液体经轴与壳体的轴封装置外漏, 使泵有效流量减小。机械损失中影响泵效的主要是圆盘摩擦损失, 指叶轮在旋转时叶轮盖板两侧面与液体之间的摩擦损失。随着输油泵运行时间的增加, 泵内部件磨损会加剧, 间隙变大, 水力损失、容积损失会增加, 泵运行效率会逐渐下降。

3.2 输油流量对泵机组效率的影响

当运行流量大于或小于设计流量时, 由于液流方向与设计工况的液流方向偏离, 油品相对运动方向角与叶片进口角不等, 存在冲角, 将产生冲击损失。冲击损失随着运行流量与额定流量的差异增大而逐渐增大。输油泵的高效区在额定流量附近, 运行流量越大,

泵的效率就越高。以新堡站 2# 泵为例, 该泵机组在 2429m³/h 流量下的效率比 1986m³/h 流量下的效率高 3.8%。如果运行流量过低或过高, 输油泵机组效率均会下降, 能耗也会增加, 因此需要合理控制输油泵的流量。

3.3 输油泵进出口压力对效率的影响

入口压力越大, 泵吸入阻力越小, 油品进入泵内的速度越快、越顺畅, 流量也越大, 泵做相对较少的功便可实现输送任务, 泵效率提高。当入口压力过高时, 会导致泵的工作效率降低。入口压力降低, 泵需做更多的功来克服进口侧的阻力, 泵效率降低。若入口压力过小, 泵的吸入能力受限, 将无法正常工作。泵出口压力的大小直接影响着泵的流量和扬程, 这在很大程度上决定了泵的运行效率。若泵出口压力过大, 会导致泵的能耗过高, 同时也会使泵的流量下降, 降低其运行效率。若泵出口压力过小, 虽然可以提高泵的流量, 但也会同时导致泵扬程下降, 对泵的有效运行产生不利影响。

3.4 电机效率对输油泵机组效率的影响

电机效率是指电机输出功率与输入功率的比值, 是衡量电机能量利用效率的指标。在泵运行过程中, 电机效率越高, 就可以提供更大的输出功率, 从而带动更大的流量和扬程。启用效率高的设备能耗更低, 有利于降低输油成本。以西靖站节能监测情况为例, 在同样的输油条件下, 2# 电机比 4# 电机的效率高 1.6%, 2# 泵比 4# 泵效率低 0.6%, 2# 泵机组较 4# 泵机组整体效率高 1%, 高效率的电机可以提供更大的输出功率, 从而带动更大的流量和扬程, 使泵工作在正常状态下, 减少其损耗程度, 延长泵的使用寿命。而泵的使用寿命延长, 也可以减少维修和更换的频率, 进一步降低维护成本。另外随着电机功率因数增加, 泵机组效率随之增大, 所以在输入电压固定时, 可以通过增加输油流量提高电机功率因数, 达到提升泵机组效率的目的。

3.5 节流损失对泵效率的影响

节流损失会导致泵运行效率下降、能耗增加。在实际运行过程中, 为适应输油计划和流量的变化, 有时会采用调节泵出口阀法实现节流调节, 节流损失是由于关小了泵出口阀门, 增加了管路阻力, 使得管路特性曲线变陡, 泵的工作点左移, 排量下降, 扬程升高。关小出口阀, 若流量降至较高效率点运行时, 表面上提高了泵的效率, 但泵机组提供的相当一部分能量又消耗在了克服泵出口阀门的阻力上, 导致输油泵机组在

运行过程中需要额外消耗更多能量,长期是不经济的。

3.6 油品物性对输油泵机组效率的影响

离心泵的流量、扬程均与油品密度无关,当被输送油品密度发生变化时,泵的特性曲线 $H-Q$ 与效率曲线 $\eta-Q$ 基本不变,但泵的轴功率与油品密度成正比。当被输送油品的黏度越大时,泵内液体的能量损失增大,导致泵的流量、扬程减小,效率下降,但轴功率增加,泵的特性曲线发生变化。

4 提高输油泵机组运行效率的措施

4.1 加强泵机组维护保养

定期做好输油泵及其控制系统、阀门、管路的检查、维护、保养、大修及运行状态监测,减少容积损失。确保输油泵机组的密封、润滑、冷却系统完好并运行正常,及时加注润滑油和润滑脂,避免机件干磨引起离心泵机组过热,大修时若发现叶轮严重损坏应进行更换。为减少圆盘摩擦损失,如有不严重腐蚀和缺陷问题可进行研磨处理,提高输油泵液流流道的光洁度,降低板面摩擦损失及水力损失,提高泵的效率。应定期对输油泵机组进行运行效率监测,监测报告可作为泵大修的参考依据。

4.2 合理配置输油排量

应统筹考虑双管线原油成品油输送能力、资源供应、市场需求及炼厂加工需要等因素,合理安排输油计划。根据月度输油计划,对收销油量和首末站库存量进行综合平衡,编制最优运行方案。结合流量和运行条件变化,及时调整工艺参数和运行方式,优化泵的组合及开机台数,使输油泵在高效区工作。原油管道低负荷运行时,可采用低排量输油泵、小叶轮泵输送,高负荷运行时,可采用大叶轮泵等搭配输送,成品油管道可采用相应排量的定速泵与变频泵搭配使用,使泵压与管压合理匹配,确保泵机组尽可能运行在节能、经济状态。

4.3 降低油品输送阻力

合理开泵并控制泵出口流量,正确切换阀组运行,减少油流在站内的摩阻压降。避免出口阀开度小造成节流损失大、泵效率不合格。在输油管线允许压力范围内,尽可能增大输油泵出口压力,增大管网压力,提升泵机组效率。防止输油管道系统结蜡、结垢等影响输油效率,按期开展原油成品油管道清管作业,降低管道输送的阻力。对清管数据进行统计分析,根据结蜡规律平衡水力和热力条件,对能耗进行评价后确定清管周期。原油管道可根据资源配置、库存油品及玉门炼厂、兰州石化及四川石化加工需求,合理配比

掺混输送,降低混油原油凝点、黏度,降低管道运行摩阻,提高输油效率。

4.4 提高电机运行效率

按照效率最高的原则分配电机负荷或安排机组的启停,一般原则是使综合效率较高的机组处于经常稳定和满负荷运行状态。在输入电压固定时,可以通过增加输油流量实现提高电机功率因数,达到提升泵机组效率的目的。根据运行情况合理投用就地无功补偿装置,减少无功损失,提高电机功率因数。定期开展电机检修和维护,做好轴承监测与校准,保持轴承和变速箱的良好润滑,确保电机通风散热良好,避免电机散热不良效率下降。对于采用变频调速器的成品油中间站,可通过改变定子供电频率、电源电压来改变同步转速,完成电机调速,从而改变泵的排量、扬程,实现经济运行。

5 结论

综上所述,为了提高输油泵机组的运行效率,需要综合考虑各种因素,并采取相应的措施进行优化和改进。为了使相关措施更具时效性,可通过自动化、信息化、数字化手段实现输油泵效率在线监测,完善输油泵、电机及相关工艺运行参数在线采集功能,利用 FineBI 等工具实现泵机组效率在线实时计算,及时分析设备、管道运行效率下降的原因并提出改进方案。建立泵机组效率数据库,分析不同机组效率变化规律,找出最优工况,合理开泵,达到预期的输送效率,降低能耗,提高管输油品的经济性。

参考文献:

- [1] 吕爱华,赵会军.油气储运节能技术概论[M].北京:中国石化出版社,2012.
- [2] 魏亚平,赵跃进,魏思远,等.GB/T 16666-2012 泵类液体输送系统节能监测[M].北京:中国标准出版社,2013.
- [3] 辛定国,翟克俊,赵跃进,等.GB/T 12497-2006 三相异步电动机经济运行[M].北京:中国标准出版社,2006.
- [4] 陶江华,李智勇,张玉蛟,等.SYT 6723-2014 输油管道系统经济运行规范[M].北京:石油工业出版社,2015.
- [5] 刘国豪,张志军,黄晓真,等.输油泵机组运行效率的测试与分析[J].油气储运,2007,27(6),31-33.

作者简介:

梁艳(1986-)女,汉族,大学本科,陕西兴平人,工程师,研究方向:能源管理。