

南输管道泵机组的优化配置

戴福俊* 吴迪

(抚顺石化公司储运公司)

戴福俊,吴迪.南输管道泵机组的优化配置.油气储运,1995,14(3):22~26

摘 要 抚顺至营口鲅鱼圈港成品油管道(简称南输管道),长 240 km,有三个输油站,为了实现泵机组的优化运行,通过调整机泵数量和型号的合理配置,达到节能降耗的目的。分析了冬、夏季管道内油品的平均输量,根据雷诺数确定油品的流态区间,计算出了不同油品的平均摩阻损失。泵机组的配置要求是:①应保证输量;②各输油站的出口压力不大于 5.88 MPa;③入口压力控制在 0.196~0.882 MPa。通过管路和泵站压力损失计算,建立能量平衡方程,对泵机组进行不同的排列组合,由计算机编程计算,求出全线不同油品的不同季节泵机组的最佳配置,再将其进一步的校核计算,得出各站泵机组的最佳配置,并指出,切换时机不准确也将直接影响管道的经济效益。

主题词 成品油管道 泵机组 最优化 摩擦损失

正在建设中的抚顺至营口鲅鱼圈港成品油管道(简称南输管道)是一条工业化长输成品油管道,全长 240 km,其中首站至中间站管道(以下称第一段管道)长 130 km,规格为 $\phi 355.6 \times 6$;中间站至末站管道(以下称第二段管道)长 110 km,规格为 $\phi 377 \times 6$ 。该管道的设计年输量为 240×10^4 t,主要输送 90[#] 无铅汽油、90[#] 有铅汽油、0[#] 柴油和 -10[#] 柴油等。

由于该管道采用单管顺序密闭输送的输油方式,因此,当密度、粘度等理化指标相差较大的不同油品,按一定的顺序周期性在管道内交替运行时,要求管道的运行工况也要经济合理地进行经常性的变化和调节。以下就如何配置全线及各站的泵机组,使全线的运行工况始终处于最佳状态,达到既经济又合理运行的问题进行探讨。

泵机组的最优化

在管道的各种运行工况中,通过调整调速电机转数或调整机泵的数量和型号,来实现最低的输油年耗。一般情况下,对运行管道工况的调节方法有三种:

- ①调节电机转速;
- ②调整机泵的数量和型号;
- ③调节阀门的开启程度。

前两种方法皆可调整泵机组的组合,是最经济的;而后一种调节方法,则能量损失较大,既不经济又不合理。

由于南输管道没有采用调速电机来调节工况,因此泵机组组合的最优化是靠调整机泵的数量及型号来实现。进入管道的油品种类、数量及理化指标见表 1。

* 113001,辽宁省抚顺市望花区演武街;电话:(0413)6686983。

表 1 管道输送油品的参数

油 品 名 称	相对密度 d_4^{20}	粘度/ $m^2 \cdot s^{-1}$		年输量 / $t \cdot a^{-1}$	年生产日 /d
		冬季	夏季		
90# 无铅汽油	0.720 3	0.85 $\times 10^{-6}$	0.78 $\times 10^{-6}$	80	350
90# 含铅汽油	0.724 0	0.85 $\times 10^{-6}$	0.78 $\times 10^{-6}$	40	350
0# 柴油	0.830	6.5 $\times 10^{-6}$	5.2 $\times 10^{-6}$	110	350
-10# 柴油	0.827	5.0 $\times 10^{-6}$	4.0 $\times 10^{-6}$	10	150

由于末站不承担输送成品油的任务,因此,首站及中间站主输机泵型号及其配置情况见表 2。

表 2 各站机泵的配置

站 名	机泵型号	机泵参数		各站选用(备用)
		Q	H	
首 站	KYS390-80	390	80	1
	KYS390-190	390	190	1
中 站	KYS390-380	390	380	1 (1)
间 站	KYS390-80	390	80	1
	KYS390-190	390	190	1
站	KYS390-380	390	380	1 (1)

油品的输送顺序

按照油品的理化性质、质量要求,以及对混油的二次加工处理等问题,将所输几种油品的输送顺序排列如下:

夏季:0# 柴油→90# 无铅汽油→90# 有铅汽油→90# 无铅汽油→0# 柴油;

冬季:-10# 柴油→0# 柴油→90# 无铅汽油→90# 有铅汽油→90# 无铅汽油→0# 柴油→-10# 柴油。

平均摩阻损失

1. 平均输量

根据年输量及标准密度,可得出冬、夏季管道内油品的平均输量,计算公式为:

$$Q_{\text{平}} = \frac{1}{350 \times 24} \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(d_i^{20})}$$

$$(年操作按 350 天) \quad (1)$$

$$\text{冬季 } Q_{\text{平}} = 370.23 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$\text{夏季 } Q_{\text{平}} = 370.109 \text{ m}^3/\text{h}。$$

2. 油品的流态

流态是由雷诺数的大小来判断的^[1],

$$\text{即 } Re = \frac{4Q_{\text{平}}}{\pi \cdot d \cdot \nu}; \quad (2)$$

$$Re_1 = \frac{59.5}{\epsilon^{8/7}}; \quad (3)$$

$$Re_2 = \frac{665 - 765 \lg \epsilon}{\epsilon}; \quad (4)$$

$$\text{其中 } \epsilon = \frac{2e}{d} (e=0.1 \text{ mm})$$

式中 Re —— 雷诺数;

d —— 管道内径, m;

ν —— 油品运动粘度, m^2/s 。

计算及判断结果见表 3。

表 3 雷诺数计算结果及其所处状态

油 品 节	季	水力光滑区	
		第一段管道	第二段管道
		2 000~296 269	2 000~317 449
0# 柴油	冬	58 659	55 220
	夏	73 323	69 025
-10# 柴油	冬	76 256	71 786
油 品 节	季	混合摩擦区	
		第一段管道	第二段管道
		296 269~2 499 265	317 449~5 766 756
汽油	冬	448 567	422 268
	夏	488 663	460 013

3. 平均摩阻损失

由于汽油、柴油分别处于混合摩擦区和水力光滑区内,因此,可采用阿尔特舒尔公式计算管道的摩阻损失^[1]。

$$\text{即 } p_f = cQ^{7/4}(\alpha Q + \beta)^{1/4} \cdot l \cdot \rho \quad (5)$$

$$\text{其中 } \alpha = \frac{e}{d};$$

$$\beta = 17\pi \cdot d \cdot \nu;$$

$$c = \frac{0.88}{\pi^2 \cdot d^5}$$

将式(5)应用于南输管道(管道的局部摩阻损失取沿程摩阻损失的1%，站内摩阻损失取20 m.)，得出计算公式如下，计算结果见表4。

$$p_t = 1.01[c_1(\alpha_1 Q + \beta_1)^{1/4} \cdot l_1 + c_2(\alpha_2 Q + \beta_2)^{1/4} \cdot l_2] \cdot Q^{7/4} \cdot \rho + 40\rho g \quad (6)$$

式中 l_1, l_2 ——分别为两管道长度, m;

Q ——管道内的平均流量, m³/s;

d_1, d_2 ——分别为两段管道的内径, m。

$$c_1 = \frac{0.88}{\pi^2 \cdot d_1^5};$$

$$c_2 = \frac{0.88}{\pi^2 \cdot d_2^5};$$

$$\alpha_1 = \frac{e}{d_1};$$

$$\alpha_2 = \frac{e}{d_2};$$

$$\beta_1 = 17\pi d_1 \nu;$$

$$\beta_2 = 17\pi d_2 \nu.$$

表4 平均摩阻损失计算结果

油品名称	平均摩阻损失/ MPa			
	夏	季	冬	季
90 [#] 有(无)铅汽油	6.48		6.43	
0 [#] 柴油	8.63		8.28	
-10 [#] 柴油	8.23			

最佳泵机组的配置

确定最佳泵机组涉及两方面的内容：一是全线最佳泵机组的配置方案；二是首站和中间站泵机组的配置方案。

1. 泵机组运行时的限定条件

泵机组的配置要求运行时满足下列条件：

- ①保证年输量；
- ②各输油站的出口压力不大于允许压力

值 $P_{max}(P_{max}=5.88 \text{ MPa})$ ；

③各站的入口压力保持在最小压力值 $P_{min}(P_{min}=0.196 \text{ MPa})$ 与0.882 MPa 的范围之内。

2. 建立能量平衡方程

泵站及管道的能量及其损失包括：

- (1)首站泵机组的入口压力 P_H (这里取0.39 MPa)；
- (2)泵站提供的压力 P_i ；
- (3)泵站节流的压力损失 P_{pi} (这里取0)；
- (4)各站内的压力损失 P_{si} (这里每站取0.2 MPa)；
- (5)首、末站位差提供的压力 P_z (这里取0.39 MPa)；
- (6)管道的压力损失 P_{pi} ；
- (7)末站的压力 P_K (这里取0.2 MPa)。

根据能量平衡原理得出：

$$P_H + \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n (P_{pi} + P_{si} + P_{pi}) + P_z + P_K \quad (7)$$

①泵机组压力的计算公式：

$$\sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m (a_{ij} - b_{ij} Q^{7/4}) \right] \cdot \rho \cdot g \quad (8)$$

式中 n ——泵站数(末站除外)；

m ——第 i 站的机泵数；

a_{ij}, b_{ij} ——第 i 站第 j 台泵的特性参数。

经过数学回归，三种型号机泵的 a, b 两参数值见表5。

表5 机泵特性参数的回归值

参数	SAY390-380	SAY390-190	SAY390-80
a	438.6	219.3	95.8
b	2 865.6	1 432.8	773

②管路及站内压力损失的计算公式为：

$$\sum_{i=1}^n (P_{pi} + P_{si}) = \sum_{i=1}^n [c_i Q^{7/4} (\alpha_i Q + \beta_i)^{1/4} \times l_i \cdot \rho + P_{si}] \quad (9)$$

其中 c_i, α_i, β_i 的具体数值见表6。

表6 c_1, α_1, β_1 计算结果

油品名称	季节	第一段管道		
		c_1	α_1	β_1
90# 汽油	冬	18.64	0.000 29	0.000 015 6
	夏			0.000 014 3
0# 柴油	冬	18.64	0.000 29	0.000 119 2
	夏			0.000 095 4
-10# 柴油	冬	18.64	0.000 29	0.000 091 7

油品名称	季节	第二段管道		
		c_2	α_2	β_2
90# 汽油	冬	13.78	0.000 27	0.000 016 6
	夏			0.000 015 2
0# 柴油	冬	13.78	0.000 27	0.000 126 6
	夏			0.000 101 3
-10# 柴油	冬	13.78	0.000 27	0.000 097 4

3. 泵机组的最佳配置方案

将基础数据代入式(7)、(8)、(9),把机泵各种可能的排列组合分别代入算式,经计算机编程运算后,得出机泵的最佳配置,见表7。

表7 全线机泵配置

油品名称	冬 季	夏 季
90# 汽油	$P_K + P_{中}$	$P_K + P_{中}$
0# 柴油	$P_K + 2P_{中} + P_{小}$	$P_K + P_{中} + 2P_{小}$
-10# 柴油	$P_K + 2P_{中} + P_{小}$	

注 P_K ——KYS390-380; $P_{中}$ ——KYS390-190;
 $P_{小}$ ——KYS390-80。

上述机泵组合的校核工况点见表8,年占用时间见表9。

表8 全线运行工况点

油 品 名 称	季 节	校核工况点	
		流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	扬程/m
90# 汽油	冬	363	640
	夏	376	635
0# 柴油	冬	377	908
	夏	371	800
-10# 柴油	冬	387	902

表9 年占用时间校对

油 品 名 称	季 节	年输量 /万 t	占用时间 /d	合计 /d
90# 无铅汽油	夏	80	123.0	346.6
90# 有铅汽油		40	61.2	
0# 柴油		120	162.4	
90# 无铅汽油	冬	80	127.5	350.4
90# 有铅汽油		40	63.4	
0# 柴油		110	146.5	
-10# 柴油		10	13.0	

4. 各站的机泵配置

以上是把全线作为一个统一的水力系统来研究,得出的泵机组组合,要将其分配给各输油站,还需进一步的校核计算才能确定。

经计算机的反复运算和校核,首站和中间站机泵的配置及出、入口压力值见表10。

表10 首站、中间站相应机泵配置及参数

油 品 名 称	季 节	首 站		中 间 站		
		配置	出口压力 /MPa	配置	入口压力 /MPa	出口压力 /MPa
90# 汽油	夏	P_K	3.602	$P_{中}$	0.413	0.995
0# 柴油		$P_K + P_{小}$	3.717	$P_{中} + P_{小}$	0.250	2.923
90# 汽油	冬	P_K	3.630	$P_{中}$	0.451	1.011
0# 柴油		$P_K + P_{中}$	4.485	$P_{中} + P_{小}$	0.586	2.906
-10# 柴油		$P_K + P_{中}$	4.440	$P_{中} + P_{小}$	0.584	3.020

上述结果满足各油品单独充满管道,即管内同一时间输送单一油品时的输送条件。

油品交替时机泵的切换

1. 混油段在第一段管道内运行时的压力损失

$$P_{p1} = c_1(\alpha_1 Q + \beta_1)^{1/4} Q^{7/4} (L_1 - l) \rho_1 + c_2(\alpha_2 Q + \beta_2)^{1/4} \cdot Q^{7/4} \cdot L_2 \cdot \rho_1 + c_1(\alpha_1 Q + \beta_{11})^{1/4} \cdot Q^{7/4} \cdot l + \rho_2 \quad (10)$$

式中 ρ_1 ——前行油品的密度, kg/m^3 ;

ρ_2 ——后行油品的密度, kg/m^3 ;

β_{11} ——后一种油品在第一段管道内的参数;

l ——混油段距首站的长度, m。

2. 混油段在第二段管道内运行时的压力损失

$$P_{p2} = c_1(\alpha_1 Q + \beta_1)^{1/4} Q^{7/4} \cdot L_1 \cdot \rho_2 + c_2(\alpha_2 Q + \beta_2)^{1/4} \cdot Q^{7/4} \cdot (L_1 + L_2 - l) \rho_1 + c_2(\alpha_2 Q + \beta_{22})^{1/4} \cdot Q^{7/4} (l - L_1) \cdot \rho_2 \quad (11)$$

式中 β_{22} ——后行油品在第二段管道内的参数。

3. 管内含有混油段时的能量平衡方程

由式(7)扩展后得到下列公式:

$$P_H + \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n (P_{pi} + P_{si}) + P_z + P_k \quad (12)$$

因南输管道所在的地势较平坦,故 P_z 不再做分析,仍采用原数值。

将机泵的组合特性方程及式(10)、(11)代入能量平衡方程后经计算机编程计算,即可得出结果。冬季“0#柴油→90#无铅汽油”的计算过程数据见表11。

根据各季节和输油的排列顺序得出机泵切换的时机,见表12。

按照机泵切换的原则条件,即:

①首站、中间站的出站压力要低于管道的许用压力;

表11 混油界面移动过程参数计算结果

机 泵 组 合							
$P_{K1}+P_{K2}$				$P_{K1}+P_{K1}+P_{K2}+P_{K2}$			
混油段位置 /km	流 量 /m ³ ·h ⁻¹	扬 程 /m	中间站进站压力 /MPa	混油段位置 /km	流 量 /m ³ ·h ⁻¹	扬 程 /m	中间站进站压力 /MPa
2	363	640.4	0.461	2	431	874.3	0.647
31	355	643.3	0.382	30	423	879.4	0.539
58	348	646.1	0.304	48	418	882.6	0.470
70	345	647.4	0.265	70	412	886.1	0.392
85	341	647.9	0.232	93	406	890.0	0.314
94	339	649.3	0.206	98	405	890.7	0.304
98	338	649.6	0.196	121	399	894.7	0.225
106	336	650.0	0.176	150	393	898.4	0.294
179	322	655.3	0.294	182	387	901.6	0.441
221	315	657.3	0.441	222	380	906.3	0.608
240	312	658.4	0.500	239	377	907.8	0.686

注 表中下角1表示首站;2表示中间站。

表12 泵机组切换位置

油品交替顺序 (后油品→前油品)	季节	泵机组转换 (原机组⇒新机组)	切换时机	
			混油段位置 /km	当时流量 /m ³ ·h ⁻¹
0#柴油→90#无铅汽油	夏	$(P_{K1}+P_{K2})⇒(P_{K1}+P_{K2}+P_{K1}+P_{K2})$	71	361⇒385.5
90#无铅汽油→0#柴油		$(P_{K1}+P_{K2}+P_{K1}+P_{K2})⇒(P_{K1}+P_{K2})$	240	418⇒376
-10#柴油→0#柴油	冬	$(P_{K1}+P_{K1}+P_{K2}+P_{K2})$		
0#柴油→90#无铅汽油		$(P_{K1}+P_{K2})⇒(P_{K1}+P_{K1}+P_{K2}+P_{K2})$	98	338⇒405
90#无铅汽油→0#柴油		$(P_{K1}+P_{K1}+P_{K2}+P_{K2})⇒(P_{K1}+P_{K2})$	240	407⇒363

②中间站的进站压力要大于或等于0.196 MPa,而又要小于0.882 MPa(泄压阀定值);

③切换前后的流量平均值应基本趋近于年平均输量。

由此得出,如果切换的时机不准确、不及时,就可能造成某些运行参数不合理,直接影响到管道的经济效益,甚至造成事故。另外,机泵切换时要求将要切换的机泵同时切换,否则就可能影响到中间站的入口压力,使其压力值得不到满足而造成事故。

参 考 文 献

1 严大凡. 输油管道设计与管理. 北京:石油工业出版社. 1986:246~252

(修改稿收到日期:1995-02-16)

编辑:吕 彦

欢 迎 来 稿

欢 迎 订 阅