

# 集输管道效率分析方法及节能研究

梁光川<sup>1</sup> 程圆晶<sup>2</sup> 马培红<sup>3</sup> 廖冲春<sup>3</sup> 李鹏<sup>3</sup>

1.西南石油大学石油工程学院,四川 成都 610500

2.中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司,四川 成都 610017

3.中国石油化工集团公司西北油田分公司工程技术研究院,新疆 乌鲁木齐 830011

## 摘要:

以塔河油田稠油集输管道节能降耗课题为背景,在传统的管效分析方法基础上结合管道运行工况和流体特性参数,对其进行水利和热力计算,提出了理论对比分析法,该法可用于集输管道效率分析和储能能力的评价。介绍并推导了该方法涉及的理论计算模型和计算机求解方法,利用建立的模型对塔河油田三条管道进行管效分析,结合现场测试数据,运用理论对比分析法和传统的管道评价法对塔河集输管道效率进行了分析和评价,对比两种评价方法分别确定了集输管道最佳运行参数,从理论和实际上说明了该方法的可行性和优越性。

## 关键词:

集输管道;效率分析;节能

## 文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)05-0006-03

## 0 前言

塔河稠油属于超稠油系列,具有三高特性,即油中胶质沥青质含量高,密度高和粘度高。塔河油田地面集输系统集油半径大、站间距大,单井采出液和站间输油管道均采用单管加热输送。塔河集输系统的特点决定了集输管网的高能耗。2010年4月对塔河油田10、12区稠油集输系统效率测试的结果表明,采出液在站间输油管网的能耗占整个集输系统能耗的22.9%。本文针对塔河稠油集输管网特点,在管道水力热力计算基础上,建立稠油集输管道效率计算模型和分析方法,并进一步确定集输管道最佳运行参数。

## 1 管道效率分析方法

目前对热油管道效率的评价通常以单耗 ( $\text{kJ/t}$ ·

$\text{km}$ )和管效(末端能量/起点能量)作为指标,来判断热油管道储能能力的高低。旧指标存在的问题是各油井采出液的特性参数相差较大,流体特性参数的差异原本就会造成运动流体在管道内具有不同的流型,进而有不同的单耗。单耗和管效只能反应能量损失的多少,不能反应管道本身运行效率的高低,因此旧指标不能合理地评价管道的运行效率。

为合理分析管道,本文提出了理论对比分析法及其判断标准:先由管道运行工况和流体特性参数,按照管道设计条件,通过水力、热力计算得到理论损耗  $E_{\text{理论}}$ ,再由实际损耗  $E_{\text{实际}}$ 与  $E_{\text{理论}}$ 的比值  $N$ 来判定稠油集输管道效率的高低。

$N < 1.2$  时:管道运行效率较高,能量损失较小;

$N > 1.2$  时:管道运行效率较低,需要清管或加强保

## 收稿日期:

2011-06-16

## 基金项目:

“十一五”国家科技重大专项(塔里木盆地大型碳酸盐油气田勘探开发示范工程),(2008ZX05049-004-009HZ)

## 作者简介:

梁光川(1972-),男,重庆彭水人,副教授,博士,主要从事油气储运教学、研究和设计工作。

温效果。

采用  $N$  来判定管道效率高低的优点是:无量纲化处理后,排除了管径、流量、粘度等差异对各管道流体能量损失的影响,能真实地反应管道的保温效果和内部水力摩擦阻大小。该判断分析方法的难点是需要对油、水两相或油、气、水三相混输管路进行压降和温降计算,这也是影响理论对比分析法准确性的关键。

## 2 温降、压降计算模型和步骤

### 2.1 温降、压降计算模型

稠油集输管道效率评价和能耗数学模型的建立必须以管道内多相流的水力热力计算为基础,需选择合适的多相管流压降、温降计算模型,以提高计算精度,进而准确地分析管道的运行状况。

多相流温降计算主要受沿程压降和周围地层环境传热性的影响,同时温降计算也是压降计算的基础。本文的温降计算模型采用喻西崇、冯叔初推导的多相流温降公式,该公式同时考虑了焦耳-汤姆逊效应和液体的摩擦热效应,较其它方法具有更高的精度;并在倾斜管路中用持液率代替质量含气率,以获得更精确解<sup>[1]</sup>。温降计算模型如下:

$$T_z = (T_0 + b) + (T_R - T_0 - b) \exp(-agL) -$$

$$D_i g \frac{x_{wg} g c_{pg}}{c_p} \left( \frac{P_R - P_z}{agL} \right)$$

$$a = \frac{\pi k g D}{M g c_p}; b = \frac{i g g (1 - x_{wg})}{a g c_p};$$

$$c_p = [1 - H_l(\beta)] g c_{pg} + H_l(\beta) g c_{pl}$$

$$i = \frac{P_R - P_z}{g g \rho_i g L}; D_i = \frac{0.98 \times 10^6 \sqrt{T^2 - 1.5}}{1000 C_{pg} \times 10^6}$$

式中  $T_z$ ——长为  $L$  的混输管道终点温度, K;

$T_R$ ——长为  $L$  的混输管道起点温度, K;

$T_0$ ——混输管道周围地层环境温度, K;

$k$ ——管道传热系数,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$D_i$ ——焦耳-汤姆逊系数, 本文根据俄罗斯公式求解;

$H_l(\beta)$ ——管道倾角为  $\beta$  时的持液率。

地面集输管道大都存在高程差,压降计算采用倾斜气液两相管流常用的 Beggs & Brill 关系式<sup>[2]</sup>。该式综合考虑了摩擦压力梯度、位差压力梯度和加速压力梯度,并对分离流动、间歇流动和分散流动建立了不同的持液率相关规律计算式。影响精度的关键是持液率和沿程阻力系数的计算。详细计算式参考相关文献<sup>[2]</sup>。

### 2.2 管道温降、压降计算步骤

利用 Beggs & Brill 关系式计算压降需要在温降计

算的基础上求得介质热物性参数,如原油体积系数,气相压缩系数,混合物的密度、粘度等。因此多相管流的压降、温降计算需要迭代求解,图 1 为计算机迭代计算步骤框图。

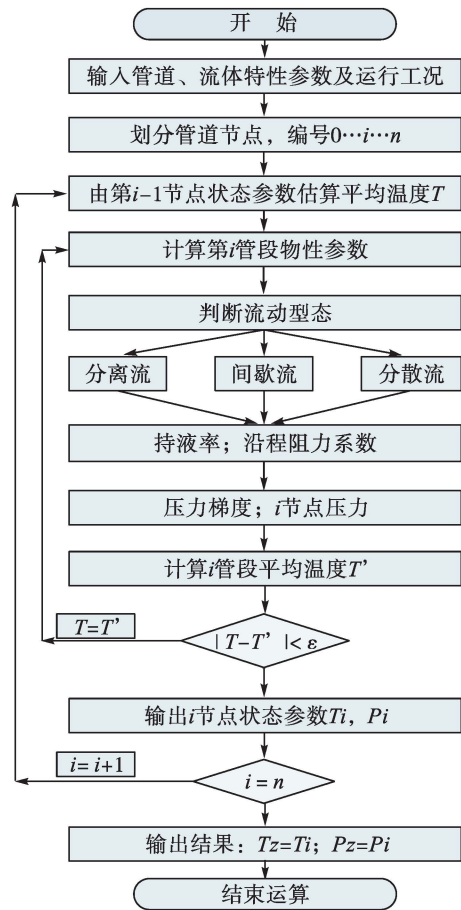


图 1 混输管路温降、压降计算框图

## 3 输油管道节能运行研究

管道节能研究的手段是通过数值模拟确定集输管道最佳运行参数。具体方法是通过测试数据反算出管道的传热系数和内部阻力系数,然后以起点温度(可变量)和终点压力(定值)为约束条件,根据水力热力计算,得到起点的温度压力与单耗和管效的曲线。在可行域内寻求能耗最小时的起点温度和起点压力。

### 3.1 塔河油田站间输油管道效率分析

测算并分析了塔河 10 区、12 区共 13 条站间输油管道运行效率,本文以其中 3 条管道为例,采用理论对比分析法分析管道效率,并计算确定了最佳运行参数。管道效率测试及旧法评价数据见表 1,理论计算数据及对比分析法评价指标值见表 2。

在管道理论计算时各参数的取值:假设管道为新管道,内部粗糙度值同新管道 0.045 7 mm;假设保温

层完好,导热系数  $0.027 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;管道周围地层温度恒为测试平均温度  $5^\circ\text{C}$ ;管道实际流量存在波动,计算时取测试期间管道的平均流量;气液比由当日生产数

据确定;混合油粘度采用当日油样测试数据;塔河油田稠油粘温关系式为:

$$\ln\mu_7 = \ln\mu_{50} - 0.06525(T-50)$$

表1 管道效率测算数据

管道编号	长度 / m	流量 / $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	原油密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水率 / (%)	起点温度 / $^\circ\text{C}$	起点压力 / MPa	终点温度 / $^\circ\text{C}$	终点压力 / MPa	热能单耗		管效 / (%)	
									热能单耗	压能单耗		
									MJ/t·km			
①	6 678	11 745	0.974	19.7	64	0.65	36	0.32	10.314	0.102	10.417	54.4
②	7 500	4 387	0.913 3	5	63	0.82	22	0.35	11.891	0.060	11.950	32.7
③	15 180	18 039	0.959 9	20	76	0.82	55	0.35	3.579	0.020	3.599	70.5

表2 理论计算数据

管道编号	规格型号 / mm	保温层厚度 / mm	$30^\circ\text{C}$ 粘度 / $\text{Pa}\cdot\text{s}$	气液比	高程差	理论终点温度 / $^\circ\text{C}$	理论终点压力 / MPa	理论单耗 / $\text{MJ}\cdot(\text{t}\cdot\text{km})^{-1}$	理论管效 / (%)	效率之比 $N, \eta$	单耗之比 $N$
①	$\phi 219 \times 6$	30	2.5	1.5	-47.4	41.2	0.411	8.44	62.45	0.87	1.23
②	$\phi 219 \times 6$	30	0.94	0.7	32.2	23	0.408	11.69	33.5	0.98	1.02
③	$\phi 273.1 \times 7.1$	30	5.44	0	-71	53.5	0.436	3.84	68.12	1.03	0.94

由表1可得:热能损耗是管道的主要能耗方式。管道效率由高到低依次为③>①>②。

由表2可以发现:管①的  $N > 1.2$ ,即实际单耗大于理论值的1.2倍,且实际终点温度压力均低于理论值,说明管道在投产后,保温层遭破坏或内部腐蚀结垢,使得管道运行效率降低。管②和③实际单耗接近理论值,  $N < 1.2$ ,说明投产后管道运行效率较高。管③内部可能结蜡,增加了压降,但增强了保温效果,使得实际温度略高于理论温度,或为计算误差。

通过两表对比,可以发现理论对比分析法评价管道效率有以下优点:

a)能更合理地判断管道运行情况。通过计算理论单耗和理论管效得到判断该管道运行效率高低的标,解决了旧法判断管道运行效率的不准确性。例如,管②的测试管效远低于管①,单耗也高于管①。按旧法判断,则管②运行效率应明显低于管①,但是由理论对比分析法得出的结论却是管②运行效率优于管①。因为管②实际单耗与理论单耗之比小于管①,实际效率也更接近于理论效率,表示管②运行状况更接近于理论最佳状况。

b)量化实际值与理论值之间的差距,为管道节能研究提供明确的方向。

### 3.2 塔河稠油集输管道节能运行参数的确定

表3是以管③为例,当终点压力恒为  $0.35 \text{ MPa}$ ,根据水力热力计算得到的起点温度、压力与单耗和管效的关系表,图2为其趋势图。

表3 管③起点温度与单耗和管效的关系

起点温度 / $^\circ\text{C}$	起点压力 / MPa	单耗 / $\text{MJ}\cdot(\text{t}\cdot\text{km})^{-1}$	管效 / (%)	起点温度 / $^\circ\text{C}$	起点压力 / MPa	单耗 / $\text{MJ}\cdot(\text{t}\cdot\text{km})^{-1}$	管效 / (%)
82	0.64	4.15	68.09	70	0.87	3.53	68.24
80	0.68	4.06	68.07	68	0.92	3.42	68.36
78	0.7	3.94	68.18	66	0.99	3.32	68.33
76	0.74	3.84	68.16	64	1.05	3.21	68.46
74	0.78	3.74	68.14	62	1.13	3.11	68.42
72	0.82	3.63	68.26	60	1.2	3.00	68.56

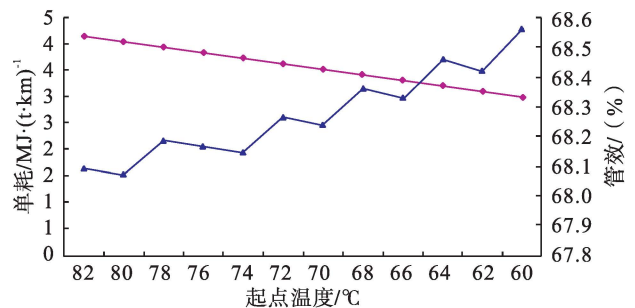


图2 管③起点温度同单耗与管效的关系

由图2所示,随着起点温度的下降,管道单耗线性降低,且管效呈上升趋势。因此,降低输油温度能降低管输过程的能耗。根据安全运行要求,确定最低输油温度需要考虑的因素有:a)温度越低,压力越高,压力不能超过泵额定压力或管道安全运行压力;b)温度越低,管道允许停输时间越短,应防止停输造成稠油

(下转第30页)