

# 稠油油田双管掺稀油集输系统的优化设计

黄善波\* 徐明海

(石油大学(山东))

陈泽芳 冯桦 张勇

(中国石油天然气集团公司规划设计总院)

黄善波 徐明海等:稠油油田双管掺稀油集输系统的优化设计,油气储运,2000,19(4) 11~14。

**摘要** 双管掺稀油集输流程是稠油油田普遍采用的一种流程。通过对双管掺稀油集输流程的系统分析,以初始投资与运行费用相结合的等额年费用为优化目标,建立了优化设计的数学模型,给出了优化设计变量的约束条件及数学模型的求解方法,并编制了相应的求解软件,以实例说明了该软件的应用情况。

**关键词** 油气集输 优化设计 数学模型 软件应用

## 一、前言

在稠油油田普遍采用双管掺稀油集输流程。在小二级布站的情况下,将稀油在联合站内加热至一定的温度后,通过掺液管道输送至计量站,由计量站分配至各油井,在井口处将稀油与稠油混合,从而达到提高原油温度、降低原油粘度的目的,然后将原油混输至计量站,最后到达联合站。

集输系统是稠油油田地面工程的主体工程,其投资一般占整个油田地面工程的60%~70%。油气集输主要是通过“管一站”组成的管网系统进行的。该系统投资巨大,其中一座联合站的造价就可高达上千万元,管材费用也高达每公里数万元。系统投入运行后要消耗大量的热能、动力能等。另外,稠油的污水处理和药剂费用也相当大。因此在对稠油集输系统进行设计时,不仅要考虑其初始投资,而且还要考虑系统投入运行后的各种费用情况。这样探索一种将初始投资和运行费用结合在一起的整体优化设计方法,就具有十分重要的意义。

## 二、数学模型的建立

在双管掺稀油集输流程中,其初始投资应包括

联合站、计量站、管道和保温防腐材料、辅助材料和施工等的投资。初始投资主要与站的座数、管道的长度、管径、保温防腐层的厚度有关,而管道长度与各站位置以及站与站、站与井之间的连接关系有关。在系统投入运行后,其动力与热力消耗是稠油集输系统运行费用的重要组成部分,与掺油量、掺油温度、管道长度、管径、保温防腐层厚度及油井产液量、含水率等因素有关,而这些因素又是相互影响和制约的。例如系统的动力消耗主要表现在管道的压力损耗上,压力损耗是由管径、管道长度、介质流量及粘度决定的,而管径、管道长度又是影响初始投资的因素。由此可见,影响初始投资的因素也会影响到运行费用。因此在设计时不能只考虑初始投资,也不能只考虑运行费用,二者必须同时考虑。根据这一原则,通过对双管掺稀油集输流程的系统分析,以系统的等额年费用<sup>(1)</sup>为优化目标,建立如下的最优化数学模型:

$$\min F = \alpha(F_S + F_P + F_F + F_C) + F_O \quad (1)$$

式中  $F$  —— 目标函数,即等额年费用,元/a;

$F_S$  —— 联合站和计量站的初始投资,元;

$F_P$  —— 管道投资,包括钢管和保温防腐材料投资,元;

$F_F$  —— 辅助材料投资,元;

$F_C$  —— 施工费用,元;

\* 257062,山东省东营市泰安路149号;电话:(0546)8392309。

$\alpha$  —— 年资金回收系数;

$F_O$  —— 运行费用, 元/a。

在该数学模型中, 年运行费用  $F_O$  可表示为:

$$F_O = F_H + F_E + F_W + F_D + F_R \quad (2)$$

式中  $F_H$  —— 系统的热损失折合费用, 元/a;

$F_E$  —— 系统的压力损失折合费用, 元/a;

$F_W$  —— 污水处理费用, 元/a;

$F_D$  —— 药剂费用, 元/a;

$F_R$  —— 维修费用, 元/a。

其中的  $F_H$  和  $F_E$  是在管网水力热力计算的基础上得到的。

通过分析各项对优化目标的影响, 得到的优化设计变量有联合站的位置及座数, 计量站的位置及座数, 油井至计量站、计量站至联合站集油管道的管径及防腐保温层厚度, 油井至计量站、计量站至联合站的掺液管道的管径及防腐保温层厚度, 各井的掺油量及联合站的掺油温度。

优化设计变量应满足的约束条件有以下几项。

(1) 油井至计量站的距离  $d_i$  应大于给定的距离  $d_{min}$ , 以保证油井能够正常作业, 即:

$$d_i > d_{min} \quad (i = 1, 2, \dots, N_w) \quad (3)$$

式中  $N_w$  —— 油井总数。

(2) 井口处的回压  $P_i$  不能大于给定的最大压力  $P_{max}$ , 即:

$$P_i < P_{max} \quad (i = 1, 2, \dots, N_w) \quad (4)$$

(3) 进站(联合站)温度  $T_i$ 、进站压力  $P_i$  应大于规定的最小进站温度  $T_{min}$  和最小进站压力  $P_{min}$ , 即:

$$T_i > T_{min} \quad P_i > P_{min} \quad (i = 1, 2, \dots, N_L) \quad (5)$$

式中  $N_L$  —— 联合站总数。

(4) 管径限制主要包括三个方面: ①管径应在标准的管径系列内选取; ②上一级管道的管径应大于下一级管道的管径; ③掺液管道的管径应小于相应的集油管道的管径。

### 三、数学模型的求解

从上面的数学模型可以看出, 在目标函数中, 优化变量既有连续变量(各站的位置坐标), 也有整型变量(站的座数等), 这显然是一个混合优化问题。另一方面, 由于站与站、站与井之间的连接关系尚未确

定, 这就增加了求解的难度和工作量, 而且该问题随着油田规模的增大而变得复杂, 从而使计算量达到难以接受的程度。因此, 必须做某些假设并寻求有效的求解算法。

为了减少设计变量的数目, 假设所有油井至计量站的集油管道都采用同一种管径和同一防腐保温层厚度, 所有计量站至联合站的集油管道亦是如此, 对掺液管道也做同样的处理。另外在实际设计过程中, 由于站的数量(联合站、计量站)相对较少, 因此在本次优化设计中没有将其列为优化变量, 而是采用枚举法进行人工选择。

对于作了上述假设后的数学模型, 采用分级优化法<sup>[2]</sup>进行求解, 即将优化过程分成管网优化和参数优化两个阶段。管网优化主要是确定管网之间的连接关系(如井与站, 站与站之间的连接关系)和各站的位置。而参数优化则是在管网优化的基础上进行的, 主要是确定各种管径大小、防腐保温层厚度以及掺液参数。两级优化之间通过迭代来协调, 这样处理就可以大大提高寻优的速度。

无论是管网优化还是参数优化, 都属于有约束的非线性规划问题, 本文采用直接法中的随机试验法<sup>[3]</sup>进行求解。

### 四、计算实例

胜利油区某稠油油田共有 81 口油井, 已知各井的井位坐标、产量、含水率及含气率。采用小二级布站的双管掺稀油集输流程。在该油区内建联合站 1 座, 计量站 6 座。利用本软件进行了优化设计。图 1 是优化得到的管网结构(图中联合站与 1 号计量站重合)。表 1 是联合站的优化结果, 其中的位置坐标和掺油温度均是优化所得。表 2 是计量站的优化结果, 其中计量站的坐标也是优化所得。表 3 是部分油井的优化结果。其中的掺油量为优化所得, 表 3 中的“所属站号”项表明了油井和计量站的从属关系, 也是优化结果。表 4 和表 5 是优化得到的集油管道和掺液管道的最佳管径和最佳防腐保温层厚度。在优化设计过程中, 同时对整个管网系统进行了水力热力计算。

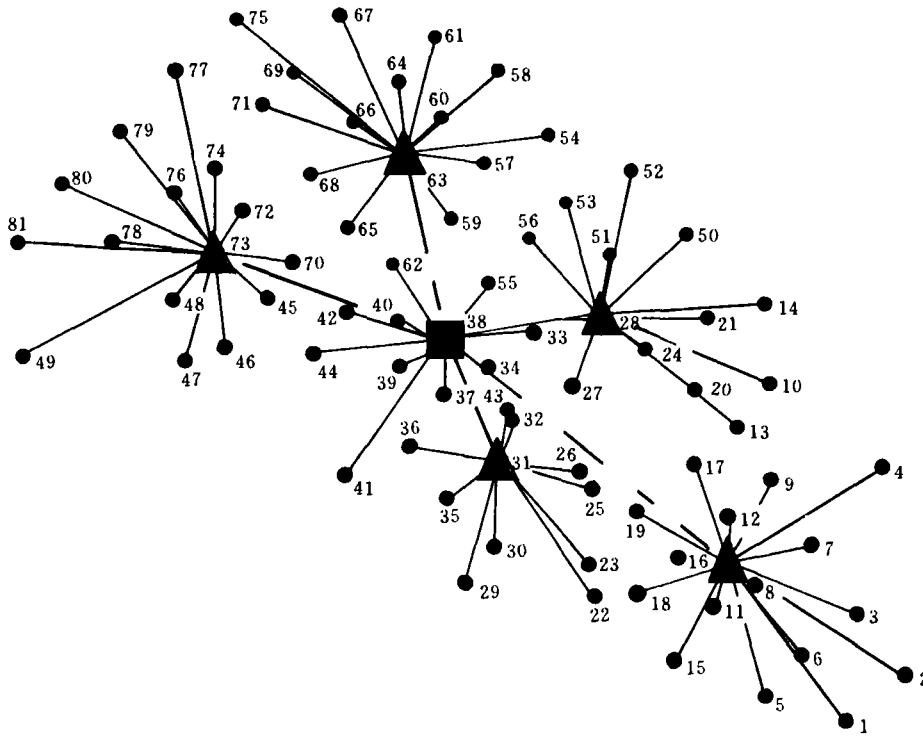


图1 双管掺稀油集输系统的最佳管网结构

□ 联合站      ▲ 计量站      ● 油井

表1 联合站的优化结果

站号	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	总液量 (t/d)	进站压力 (MPa)	进站温度 (°C)	掺油压力 (MPa)	掺油温度 (°C)
1	11 172.95	31 449.59	6 015.77	0.35	52.26	1.818	79.741

表2 计量站的优化结果

站号	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	所辖井数	管长 (m)	出站压力 (MPa)	出站温度 (°C)	掺油温度 (°C)	掺油压力 (MPa)	掺油量 (t/d)
1	11 155.18	31 450.32	10	17.78	0.35	54.13	79.671	0.416	199.481
2	10 997.04	32 268.61	15	837.70	0.68	53.01	77.967	0.946	364.805
3	11 393.05	30 924.65	11	569.21	0.53	54.90	78.346	0.755	316.300
4	12 385.75	30 455.93	16	1 567.88	0.99	52.76	76.847	1.186	415.014
5	10 167.06	31 846.20	15	1 081.25	0.89	54.40	78.062	1.227	497.828
6	11 853.02	31 541.40	14	686.25	0.61	53.71	78.365	0.765	386.585

表3 油井的优化结果

序号	所属站号	管长 (m)	产液量 (t/d)	产液温度 (°C)	混合温度 (°C)	井口回压 (MPa)	掺油温度 (°C)	掺油量 (t/d)
1	4	873.38	50.32	50	53.77	1.065	61.02	27.17
2	4	924.89	61.99	50	54.42	1.104	62.98	33.47
3	4	607.80	65.54	50	56.02	1.069	67.84	35.39
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
79	5	664.30	44.44	50	54.72	0.941	63.91	24.00
80	5	714.83	50.29	50	54.93	0.957	64.53	27.15
81	5	847.37	88.89	50	56.28	1.087	68.64	47.99



# 东辛输油管道总传热系数测试与分析

安家荣\*      刘绍亮  
(石油大学(山东))      (胜利石油设计院)

安家荣 刘绍亮:东辛输油管道总传热系数测试与分析,油气储运,2000,19(4) 14~18。

**摘 要** 介绍了东辛输油管道总传热系数的测试情况。根据运行参数测试结果计算了东辛管道沿线一年中不同月份的总传热系数,分析了各种因素对总传热系数测试结果的影响,指出管道运行工况的稳定程度、站间温降的大小以及进出站温度和地温的测量精度是影响总传热系数测试结果的主要因素,摩擦热对总传热系数计算结果具有显著影响,不可忽略。根据输油管道目前存在的问题,提出了如何提高管道总传热系数测试精度的建议。

**主题词** 输油管道    总传热系数    测试    分析    建议

总传热系数是热油管道设计和运行管理中的重要参数,在管道的日常运行管理中定期测试和分析管道的总传热系数,不仅可以为新建管道提供选择总传热系数的依据,而且还可根据总传热系数的变化分析管道沿线的散热和结蜡情况。为了掌握东辛输油管道总传热系数的分布及变化情况,对东辛输油管道进行了为期一年的跟踪测试,利用运行参数反算法得到了沿线各个站间每个月的管道总传热系

数,并对测试结果和影响测试结果的因素进行了分析。

## 一、管道概况

东辛输油管道总长 73.81 km,管径为 529×8 mm,管道材质为 16 Mn 钢和 A3 钢。全线设有东营原油库(首站)、2号加热站、3号分输站、4号热泵站

表 4 集油管道的最佳管径和防腐保温层厚度

站间位置	外径 (mm)	内径 (mm)	防腐保温层厚度 (mm)
联合站—计量站	219	207	58.299
计量站—油井	89	82	59.472

表 5 掺液管道的最佳管径和防腐保温层厚度

站间位置	外径 (mm)	内径 (mm)	防腐保温层厚度 (mm)
联合站—计量站	76	69	52.447
计量站—油井	48	41	52.738

另外,在软件中输入不同的联合站和计量站座数,通过比较等额年费用,还可以选择最佳的联合站和计量站座数。

稠油油田双管掺稀油集输系统的投资巨大,投入运行后又要消耗大量的热能和动力能。要寻求最

佳的设计方案,必须以整个系统作为研究对象,既要考虑初始投资,又要考虑运行费用。本文对稠油油田常用的双管掺稀油集输系统建立了整体优化的数学模型,并编制了软件。该软件可服务于地面规划人员,有助于提高设计效率和设计质量。

### 参 考 文 献

1. 中国石油天然气总公司计划局等编:石油工业建设项目经济评价与参数,石油工业出版社(北京),1998。
2. 刘 扬:石油工程优化设计理论及方法,石油工业出版社(北京),1994
3. 刘惟信:机械最优化设计(第二版),清华大学出版社(北京),1994。

(收稿日期:1999-12-21)

编辑:张彦敦

\* 257062,山东省东营市泰安路 173 号;电话:(0546)8396103。