

# 成品油顺序输送管道优化设计

张其敏\* 陈宁

(重庆石油高等专科学校)

张其敏 陈宁:成品油顺序输送管道优化设计,油气储运,2004,23(3) 5~7。

**摘要** 成品油顺序输送管道优化设计的原则为,在安全可靠完成输送任务的前提下,尽量节约投资及运行费用,减少混油造成的损失。根据最优化理论和成品油管道输送特点,对技术经济指标的影响因素(如管径、壁厚、输送压力、泵站数、首末站总罐容、批次以及批量)进行了全面分析,优选了设计变量,建立了优化模型,并给出了混合离散变量求解的方法。

**关键词** 成品油管道 顺序输送 优化设计 数学模型

## 一、优化设计的特殊性<sup>[1]</sup>

与原油管道系统类似,成品油顺序输送管道的优化设计也是寻求管径、壁厚等主要工艺参数的最佳组合,使管道系统的技术经济指标(包括初期投资费用和后期运行管理费)达到最小。但由于顺序输送自身的特点,其优化设计不同于原油管道,主要有以下几个特点。

### 1、 输送品种的多样性

顺序输送管道经常更换输送油品,使管内流体的粘度和密度变化较大,从而引起输油站的管道系统工作点发生变化。设计顺序输送管道时,应考虑两种极端情况,即在全年低温季节输送高粘油品和在高温季节输送低粘油品。通常按全年最低月平均地温输送高粘油品进行设计,再对最高月平均地温下输送低粘油品的工况进行校核。

### 2、 设计输量的确定

原油管道的设计输量可根据年任务输量直接确定,该输量是一个已知条件,而对于顺序输送的管道,在已知每种油品年任务输量的情况下,不同的批次批量对应不同的设计输量。成品油输送的批次批量不同,相应首末站油罐的投资和混油损失也不相同,管道投资运营费用经常发生变化。对于顺序输

送管道优化设计而言,其设计输量是一个待求变量,可以通过批次批量来确定,因此批次批量应作为优化设计的设计变量。

### 3、 目标函数的构成

经济指标(通常用总费用表示)是优化模型三大要素之一。普通原油管道的总费用由管道、泵站投资和运行维护费用组成,不包括油罐的投资运营费用。对于顺序输送管道而言,顺序输送过程会产生混油,需要专门建造混油罐,进行混油处理以减少混油损失;同时,顺序输送存在批量批次的问题,为了解决来油与输油和输油与转油的不平衡,需在首末站建罐,批次越少批量越大,油罐投资就越多,产生的混油量就越小,混油损失也越少;相反,批次越多,批量越小,则混油损失多而油罐投资少,因此混油损失及首末站罐的投资必然是影响管道经济指标的重要因素,在优化设计中需加以特殊考虑。

## 二、优化设计数学模型<sup>[2]</sup>

由设计可知,当线路选定后,对顺序输送管道初期建设投资、运行管理费用及混油损失影响最大的经济参数主要有,管径( $D$ )、壁厚( $\delta$ )、输送压力( $P$ )、泵站数( $n$ )、首末站总罐容( $V$ )、批次( $K$ )和批量( $q$ )。对顺序输送管道的最优化设计即是寻求最佳

的经济参数组合,使得建设投资费用和运行管理费用最小,同时全线所产生的混油损失最少。在此即选这 7 个参数为顺序输送管道的优化设计变量: $X = (D, \delta, P, n, V, K, q)$ 。

### 1、 目标函数

顺序输送管道在其寿命期内产生的费用包括管道、泵站和油罐的初期建设投资费用、运行管理费用、混油处理及损失费用。在此引入终值费用作为管道的经济指标。终值指的是发生在或折算到投资系统期末的货币金额,此处的终值费用即是将管道、泵站和油罐的建设投资费用,以及各年运行管理费用均按相同的年利率折算到设备寿命末年时的费用,从而建立目标函数(见式(1))。

$$S = (S_1 + S_2 + S_3)(F/P, i, m) + (S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8)(A/F, i, m) \quad (1)$$

- 式中  $S_1$  ——管道的初始投资,  $S_1 = S_1(D, \delta)$ ;  
 $S_2$  ——泵站的初始投资,  $S_2 = S_2(P, n)$ ;  
 $S_3$  ——油罐的初始投资,  $S_3 = S_3(D, K, q_i)$ ;  
 $S_4$  ——管道的年维护管理费用,  $S_4 = S_4(P, D, \delta)$ ;  
 $S_5$  ——泵站的年维护管理费用,  $S_5 = S_5(P, D, n)$ ;  
 $S_6$  ——罐的年维护管理费用,  $S_6 = S_6(V, K, q_i)$ ;  
 $S_7$  ——泵站的年能耗费用,  $S_7 = S_7(P, D, K, q_i)$ ;  
 $S_8$  ——年混油处理费用及损失费用,  $S_8 = S_8(D, K, q_i)$ ;  
 $m$  ——设备使用寿命, a;  
 $i$  ——资金年利率。

式(1)中  $(F/P, i, m)$ 、 $(A/F, i, m)$  为技术经济学中资金等值计算系数。

### 2、 约束条件

成品油管道优化设计的约束条件是为了保证管道安全可靠地运行,各设计参数相应需要满足的各种条件主要有以下几种。

(1)水力约束(即能量约束)条件 根据能量平衡原理,管道全线  $n$  个泵站提供的总能量应等于管道总的压降损失。联立泵站和管路特性方程就可以得到顺序输送管道的能量平衡方程。

$$g_1(D, P, n, K, q_i) = 0 \quad (2)$$

在计算能量平衡方程时,应以全年最低月平均

地温进行分析。

(2)强度约束条件 约束条件是,在工作压力下,管壁承受因内压所引起的应力应小于管材的最低屈服极限。管道的承压能力与壁厚成正比,可见壁厚不但是影响长输管道经济参数的重要因素,也是强度约束条件的重要因素。根据壁厚的计算公式,可以得到强度条件。

$$g_2(D, P_i, \delta) \geq 0 \quad (3)$$

(3)流态约束条件 一般成品油管道都在阻力平方区工作,要求雷诺数大于第二边界雷诺数  $Re_{II}$ , 对不同管段,由于其管径不同,可能造成流态变化,因此需要分段判断。

根据雷诺数计算公式,可以得到该约束条件。

$$g_3(D, K, q_i) \geq 0 \quad (4)$$

(4)稳定性约束条件 为了防止管道径向失稳,在国内,一般根据经验取管径与壁厚之比小于 110~120,而在国外已普遍采用“管子刚度”这一概念来精确表达钢材稳定性问题。因此,采用一最小刚度值  $(M)$  来防止管道失稳,即要求各管段的管径与壁厚之比小于  $M$ 。

$$g_4(D, \delta) \geq 0 \quad (5)$$

(5)首末站罐容约束 首末站罐容的大小由混油量决定,而混油量的多少与输送油品的物性、输送次序、输量及批次等因素有关,故:

$$g_5(D, K, q_i) = 0 \quad (6)$$

(6)管道规格约束条件 由于管道的管径和壁厚只能按规格取离散值,因此有:

$$D_i \in (D_1, D_2, \dots) \quad (7)$$

$$\delta_i \in (\delta_1, \delta_1, \dots)$$

(7)泵站数约束条件 由工程实际可知,压气站数为非负整数:

$$n \geq 0 \quad (8)$$

## 三、顺序输送管道优化模型

根据数学模型三大要素(设计变量、目标函数和约束条件),并结合式(1)~式(8),则可得到成品油顺序输送管道优化设计的数学模型(见式(9))。

$$\begin{aligned} & \min F(X) \\ \text{St. } & \begin{cases} g_i(X) \leq G_i & (i=1, 2, 3, 4, 5) \\ g_j(X) = 0 & (j=6) \\ X \in U \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

# 成品油管道实时应用软件

梁永图\* 宫 敬

(石油大学(北京)石油天然气工程学院储运系)

邢永琦 张 栋

(大港油田)

梁永图 宫 敬等:成品油管道实时应用软件,油气储运,2004,23(3) 7~9。

**摘 要** 目前,SCADA 系统已成为现代油气管道系统不可缺少的一个重要组成部分,为了更好地管理成品油管道系统,结合现场需要,对 SCADA 系统所采集的数据进行二次开发和利用。介绍了成品油管道实时应用软件系统的组成,给出了各个软件的程序框图和应用功能。

**主题词** 成品油管道 运营管理 自动化控制 应用软件

## 一、开发成品油管道实时应用软件的必要性

随着 4C (computer, control, comunication 和 CRT)技术的发展,先进的 SCADA(监控和数据采集)系统更加广泛地应用于电网、水网、油气输送管

对顺序输送管道优化模型可采用以下方法求解。

顺序输送管道优化模型的特点是,除了工作压力、首末站罐容和批量取连续值外,管径、壁厚为离散变量,而压气站数和批次为整型变量,同时目标函数和约束条件多为非线性,因此,该模型属于混合离散变量非线性优化模型,选用目前混合离散变量优化方法中的直接搜索法(MDOD)进行求解<sup>[2]</sup>效果最好,且速度最快。

MDOD 法是在综合非线性规划中的“爬山”离散搜索策略和组合优化中的“查点”策略思想的基础上得出的一种约束非线性混合离散变量优化设计方法,它由“爬山”搜索和“查点”两大部分组成,采用了不同于以前的新的搜索方法和迭代公式,加快了搜索效率,并采用一维搜索技术来确定搜索步长。当搜索陷入僵局时,又用一种根据非线性函数特点构

网等领域,通过主机和以微处理器为基础的远程终端装置 RTU、PLC 或其它输入/输出设备的收集数据,实现整个工业网络的监控,从而保证系统的安全运作及优化控制。最近几年,国内加快了成品油管道建设的步伐,在管道建成的同时,基本都配套安装了比较先进的 SCADA 系统,协助运营者完成日常的管道调度。为了保证系统的实时性和安全性,

造的“查点”技术,找到新点,摆脱困境,继续搜索,或者由此点通过判断确已找到最优解<sup>[3]</sup>。

成品油顺序输送管道其输送品种多且工艺复杂,在优化设计模型建立中应考虑油品输送批次批量、混油损失和罐的投资等因素的影响。为了保证模型能反映实际情况,优化结果符合实际,目标函数中各种费用的计算应力求准确。

### 参 考 文 献

- 1, 刘 伟:成品油管道总体工艺方案优化设计,油气储运,1999,18(3)。
- 2, 杨晓衡:输油管道设计与管理,石油大学出版社(山东),1995。
- 3, 陈立国等:工程离散变量最优化设计方法,机械工业出版社(北京),1990。

(收稿日期:2003-03-24)

编辑:张彦敏