

# 成品油管道顺序输送调度运行优化模型及应用\*

李睿<sup>1,2</sup> 李长俊<sup>1</sup> 丁蕾<sup>3</sup>

**摘要:** 基于成品油管道顺序输送过程中损耗费用较多、运行调度复杂等问题, 主要从运行总费用(包括泵运行电费、混油贬值费用、设备与管线维检修费用以及工作人员管理费用)组成方面入手, 以其中最主要的混油贬值损失费用与泵运行电费两者之和最小作为目标函数, 建立管道调度与运行优化数学模型, 并编制相应软件, 可快速优化出总运行费用最小的流量方案, 方案下的泵运行参数即为最优开泵运行方案指标。该套运行优化模型在西部某成品油管道进行了应用, 软件计算结果与实际管道运行数据基本一致, 最高误差不到5%, 输送时间对泵运行费用增加最为敏感, 较大的管道输量可以有效降低混油量, 实现了对成品油管道顺序调度与运行优化的目的。

**关键词:** 顺序输送; 调度; 优化模型; 混油贬值损失; 泵运行费用

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.10.013

## The Optimization Model of Product Oil Pipeline Batch Transportation Scheduling Operation and Application Example

Li Rui, Li Changjun, Ding Lei

**Abstract:** Based on issues as high loss cost and complex operation scheduling in the process of product oil pipeline batch transportation, this paper mainly proceeded with the total operation cost composition, which including pump running electricity fees, devaluation expenses of mixed oil, maintenance costs of equipment and pipeline, and staff administration expenses, the most important influencing factors of those above were the mixed oil loss from devaluation and the pump running electricity fees, by minimizing the sum of the two factors as the objective function, the pipeline scheduling and operation optimization mathematical model was established, and the corresponding software was compiled, which could, optimize the flow plan of minimum total operation cost rapidly, and the pump running parameters of the plan were the optimal pump operation schemes indexes. This set of operation optimization model has been applied in a product oil pipeline in west China, the calculation results of the software match well with actual pipeline operation data, the maximum error is less than 5%, the delivery time is most sensitive to the increase of pump operation cost, larger pipeline throughput can effectively reduce the mixed oil volume, and the purpose of product oil pipeline sequence scheduling and operation optimization are realized.

**Key words:** batch transportation; scheduling; optimization model; mixed oil devaluation; pump running cost

## 1 成品油管道输送系统

成品油管道顺序输送系统主要包括输油首站、减压站、输油中间站、中间分输泵站、阀室以及输油末站。在对成品油管道系统深入研究的基础上,

明确管道顺序输送沿线费用来源、主要费用, 设计多种流量运行方案, 建立成品油顺序输送调度与优化运行模型。下面以西部某成品油管道为例, 在整理该管道顺序输送数据的基础上, 建立调度与优化模型<sup>[1-3]</sup>。成品油管道顺序输送系统结构见图1。

\*基金论文: 国家973项目(2009CB219604)资助。

<sup>1</sup>西南石油大学 <sup>2</sup>西安石油大学 <sup>3</sup>中国石油新疆技师学院

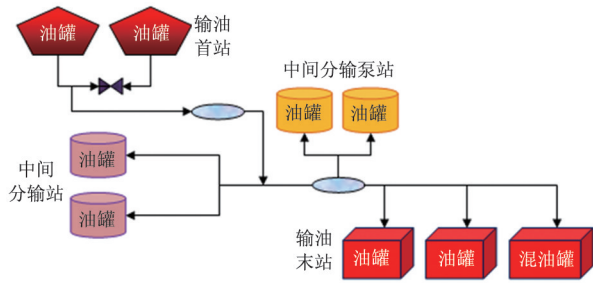


图1 成品油管道顺序输送系统结构

## 2 成品油调度运行优化数学模型

### 2.1 目标函数

成品油在输送过程中产生的费用包括泵运行电费、混油贬值费用、设备与管线维检修费用以及工作人员管理费用，其中，主要费用为混油导致贬值损失和泵运行所需电费，因此，以混油贬值损失费用与泵运行电费之和最小为目标函数，来建立管道运行优化模型<sup>[4-5]</sup>。

(1) 混油贬值损失。成品油管道顺序输送过程中，不同类油品在管道中形成混油经常发生，往往达不到油品销售标准，混油部分需要进行掺混、蒸馏或其他方法处理达标后方可进行销售，这不可避免会带来一定的混油贬值损失费用。一个顺序输送周期内混油贬值费用计算式为

$$S_h = \sum_{m=1}^n V_h(m) \cdot c_m(i,j) \quad (1)$$

式中： $S_h$ 为顺序输送周期内，混油贬值损失费，元； $V_h(m)$ 为第 $(m-1)$ 与 $m$ 批次油品混油体积， $m^3$ ； $c_m(i,j)$ 为第 $i$ 与 $j$ 类油品混油后损失费用单价，元/ $m^3$ 。

运行开始时管线终点所输油品为第1批次；运行结束时管线起点所输油品为第 $n$ 批次。

(2) 泵运行费用。假设成品油管道运行所需 $N$ 台泵，其泵运行所需电费计算式为

$$S_d = \int_0^T \sum_{j=1}^N O(j) \cdot e Q_z \rho(i) \cdot g(a - bQ_z^{2-m}) / \delta \cdot dt \quad (2)$$

式中： $S_d$ 为总电费，元； $O(j)$ 为 $j$ 台泵运行状态，其值等于1时为运行状态，等于0时为停止状态； $e$ 为输送单位油品的参考电价，元/ $m^3$ ； $Q_z$ 为管道输送流量， $m^3/h$ ； $\rho(i)$ 为第 $i$ 类油品密度， $m^3/kg$ ； $a$ 、 $b$ 为泵运行特征因子； $m$ 为流态因子，光滑区 $m=0.25$ ，混油摩擦区 $m=0.12$ ； $\delta$ 为泵效。

### 2.2 约束条件

(1) 输送量约束：调度计划内应完成的输送量。

$$V_{plan} = \sum_{m=1}^{nb} V_{plan}(m) = \sum_{m=1}^{nb} Q_z(m) \cdot T_z(m) \quad (3)$$

$$T_{plan} = \sum_{m=1}^{nb} T_z(m) \quad (4)$$

$$Q_{z,min}(m) < Q_z(m) < Q_{z,max}(m), \quad m = 1, \dots, nb \quad (5)$$

(2) 管线输送压力守恒：成品油在输送过程中，管道压力系统供应的压力应与管线沿线压力损失和输出压力保持平衡。

$$p_{ks} + p_p = p_1 + p_z + p_{in} + p_j + p_{js} \quad (6)$$

(3) 压力约束：首站输出压力与末站输入压力应在压力控制范围内。

$$p_s < p_{s,max} \quad (7)$$

$$p_{w,min} < p_w < p_{w,max} \quad (8)$$

(4) 各控制点压力约束：为了保证成品油在输送过程中安全运行，管线各压力控制点应满足实际输送压力限制，确保管线各压力点均在设计合理的压力范围内。

$$P_l(n) \leq P_{l,max}(n), \quad n = 1, \dots, 9 \quad (9)$$

上述各公式中： $V_{plan}$ 为调度计划内应完成的总输送量， $m^3$ ； $T_{plan}$ 为计划完成的总输送量所需时间，h； $V_{plan}(m)$ 为第 $m$ 批次计划完成输送量， $m^3$ ； $Q_z(m)$ 为第 $m$ 批次管道输入流量， $m^3/h$ ； $T_z(m)$ 为第 $m$ 批次注入管道时间，h； $Q_{z,min}(m)$ 为第 $m$ 批次注入管道流量下限， $m^3/h$ ； $Q_{z,max}(m)$ 为第 $m$ 批次注入管道流量上限， $m^3/h$ ； $n$ 为输送沿线阀室数目； $nb$ 为总输送批次； $p_{ks}$ 为管道输送起始压力，Pa； $p_{js}$ 为管道输送结束压力，Pa； $p_p$ 为输送过程中泵站供压之和，Pa； $p_1$ 为输送沿线管道摩阻损失，Pa； $p_z$ 为输送沿线高低位差压力损失，Pa； $p_{in}$ 为输送沿线站内损耗之和，Pa； $p_j$ 为输送沿线阀室、节流点损耗之和，Pa； $p_s$ 为首站输出压力，Pa； $p_{s,max}$ 为首站输出压力上限，Pa； $p_w$ 为终点站输入压力，Pa； $p_{w,min}$ 为终点站输入压力下限，Pa； $p_{w,max}$ 为终点站输入压力上限，Pa； $p_l(n)$ 为输送沿线各控制点压力，Pa； $p_{l,max}(n)$ 为输送沿线各控制点上限压力，Pa。

### 2.3 运行优化模型建立与求解

(1) 运行优化模型建立。根据上述目标函数与约束条件，建立成品油管道调度与运行优化模型

$$\min F = \int_0^T O(j) \cdot e Q_z \rho(i) \cdot g(a - bQ_z^{2-m}) / \delta \cdot dt + \sum_{m=1}^{nb} V_h(m) \cdot c_m(i,j) \quad (10)$$

$$V_{plan} = \sum_{m=1}^{nb} Q_z(m) \cdot T_z(m); \quad T_{plan} = \sum_{m=1}^{nb} T_z(m);$$

$$Q_{z,min}(m) < Q_z(m) < Q_{z,max}(m), \quad m = 1, \dots, nb;$$

$$p_{ks} + p_p = p_1 + p_z + p_{in} + p_j + p_{js};$$

$$p_s < p_{s,max}; \quad p_{w,min} < p_w < p_{w,max};$$

$$p_i(n) \leq p_{i,\max}(n), n = 1, \dots, 9$$

(2) 模型求解过程。求解过程为①输入第一组油品流量方案,应用上述成品油调度与运行优化数学模型,求取出油品顺序输送过程中混油贬值损失以及调度计划周期总时间;②依据流量方案,调整相应的各泵运行特性参数,并算出一个运行周期内所有的泵运行费用;③求得调度计划周期内总运行费用;④再输入下一组油品流量方案,按照①、②、③步骤重新计算;⑤将求得的所有方案总运行费用进行对比,从而优选出最小的总运行费用方案,即为最优油品流量方案,该方案下的泵运行参数即为最优开泵运行方案指标。

### 3 实例应用

基于上述成品油管道调度与运行优化模型,编制运行优化软件,实现快速计算,并根据软件运行界面调整运行指标数值,找出对运行结果有影响的敏感指标,然后进行整体运行体系完善,制定出合理的调度计划<sup>[6-7]</sup>。该套运行优化软件在西部某成品油管道一个输送周期内进行了实际应用,将软件模拟计算数据与实际运行数据进行了对比分析(表1)。

将上述成品油管道调度与运行优化模型软件进行实际管道应用,结果如表2所示。

由表2可知,成品油管线运行各项指标(运行流量、前行油品输送时间、后行油品输送时间、总周期、混油量、贬值损失、泵运行费用以及总费用)中,实际运行数据与运行优化模型模拟数据相对误差低于5%,整体基本一致,这说明该套成品油调度与运行优化软件计算结果可靠且合理,可以通过该套模型得到流量与混油量、贬值费用以及泵运行费用之间的关系,找出各项费用影响最为敏感的指标,输送时间对泵运行费用增加最为敏感,较大的管道输量可以有效降低混油量,并做出合理的调度计划。

表1 某成品油管道顺序输送数据

项目	实际数据
运行流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	385
初始油品	0 <sup>#</sup> 柴油
前行油品总量/m <sup>3</sup>	0 <sup>#</sup> 柴油, 50 000
后行油品总量/m <sup>3</sup>	93 <sup>#</sup> 汽油, 60 000
前行油品输送时间/h	78.53
后行油品输送时间/h	159.56
周期总时间/h	238.70
混油量/m <sup>3</sup>	105.10
泵运行费用/万元	20.36

表2 实际数据与运行数据对比

项目	实际数据	运行数据
运行流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	385	385
前行油品输送时间/h	79.59	78.96
后行油品输送时间/h	159.35	158.64
周期总时间/h	238.70	236.54
混油量/m <sup>3</sup>	105.10	109.86
混油贬值损失/万元	2.15	2.31
泵运行费用/万元	20.36	20.18
总运行费用/万元	22.51	22.49

### 4 结论

油品在顺序输送过程中会产生泵运行电费、混油贬值费用、设备与管线维检修费用以及工作人员管理费用,将运行总费用降到最低是建立优化模型的目的。在对整个成品油管道运行系统认知的基础上,建立调度与运行优化数学模型,根据目标函数和约束条件编制相应的软件,来实现快速计算各流量方案,优化最小总运行费用。该方案在西部某成品油管道一个输送周期内进行了实际应用,计算结果与实际运行数据基本一致,有利于快速找出敏感参数以及调整调度计划,降低了总体运行费用。

### 参考文献

- [1] 杨筱蓓. 输油管道设计与管理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006: 50-60.
- [2] 顾建栋. 减少西部管道顺序输送中混油的措施[J]. 油气田地面工程, 2007, 26 (12): 19-20.
- [3] 应斌. 原油输送管道安全运行参数的优化[J]. 油气田地面工程, 2014, 33 (6): 50-51.
- [4] 蒲家宁. 管道顺序输送混油分析中的若干问题[J]. 油气储运, 2000, 19 (12): 18-21.
- [5] 李栋, 贾永英, 吴国忠, 等. 寒区多相混输原油管道停输过程数值模拟[J]. 油气田地面工程, 2008, 27 (3): 14-15.
- [6] 王文秀, 郭光辉, 李劲松. 输油管道的优化设计[J]. 油气田地面工程, 2008, 27 (11): 38-39.
- [7] 康正凌, 宫敬等. 管道顺序输送高差混油研究[J]. 石油学报, 2003, 24 (4): 94-98.

### 作者简介

李睿: 讲师, 2010年毕业于西南石油大学石油工程学院油气储运工程专业, 博士在读, 主要从事油气储运工程、海洋油气工程专业相关的教学、科研工作, 18602907983, redcarp@163.com, 陕西省西安市电子二路18号西安石油大学石油工程学院, 710065。

收稿日期 2015-09-25

(栏目编辑 李娜)