

文章编号: 1000-8241(2018)11-1248-06

成品油运输优化模型的研究与应用

耿紫星¹ 朱海龙¹ 王大鹏²

1. 中国石油天然气股份有限公司西北销售分公司; 2. 中国石油天然气股份有限公司北京油气调控中心

摘要: 为降低成品油运输成本, 针对成品油从产地(炼厂)至销售终端(加油站)的全程运输优化问题, 分析了线性规划在成品油物流优化实际应用中运算数据量较大, 加油站和油库至发货地的单位数据不全等问题, 传统的一二次物流优化模型由于分次优化脱节, 影响整体优化效果。通过构造资源中心, 定义资源中心至炼厂、油库的运价公式, 建立新的综合运输优化模型, 并提出了相关计算方法。经过实例分析, 利用 LINGO 软件进行测算和求解, 结果表明: 该模型可以有效解决一二次运输优化模型中存在的分次优化脱节的问题, 优化后总运输费用较一二次运输优化模型优化结果低, 且解决了线性规划方法在成品油物流优化应用中运算数据量较大的问题。(图 2, 表 4, 参 20)

关键词: 成品油物流; 运输费用; 优化模型; 资源中心

中图分类号: U492.3

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2018.11.009

Research and application of products oil transportation optimization model

GENG Zixing¹, ZHU Hailong¹, WANG Dapeng²

1. PetroChina Northwest Marketing Company; 2. PetroChina Oil & Gas Pipeline Control Center

Abstract: When linear programming is applied in the optimization of products oil logistics, the quantity of operational data is huge and the unit data from oil stations and oil depots to the places of delivery is incomplete. In this paper, these problems were analyzed so as to reduce the transportation cost of products oil and realize the whole-course transportation optimization of products oil from the producing area (refinery) to the sales terminals (oil stations). It is shown that the overall optimization effect of the traditional first-order and second-order logistics optimization models are impacted by the disintegration between different models. Then, a new comprehensive transportation optimization model was established by constructing a resource center and defining the function of transportation price from the resource center to the refinery and the oil depot. Furthermore, its calculation method and procedure were put forward. Finally, based on the case study, the LINGO software was used to calculate and solve this model. It is indicated that this comprehensive transportation optimization model can effectively solve the disintegration between the traditional first-order and second-order logistics models. Its total transportation cost after the optimization is lower than results of the first-order and second-order transportation optimization models and the huge operational data during the application of the linear planning in the optimization of products oil logistics is reduced. (2 Figures, 4 Tables, 20 References)

Key words: products oil logistics, transportation cost, optimization model, resource center

目前, 中国成品油年消费量达 $3 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8$ t。降低成品油物流成本, 提高运输效率, 挖掘“第三利润源”逐渐成为石油石化企业的重要关注点。中国每年从上游炼化企业至终端市场的成品油运输成本很高, 达 500×10^8 元, 分析原因为: 资源与市场距离较远, 炼

化企业主要集中在原油供应较为便利的东北和西北地区, 而成品油用量较大的地区以华东、华南等地为主, 部分油品需运输 2 000~3 000 km 以上才能投入市场; 运输过程中仍然存在局部与整体优化矛盾、运输方式选择和运输路径规划不当等问题。

基于此,以降低成品油运输成本为目标,针对成品油从产地(炼厂)至销售终端(加油站)的全程运输优化问题进行研究,分析了线性规划在成品油物流实际应用中运算数据量较大,加油站和油库至发货地的单位数据不全等问题,针对传统的一二次物流优化模型由于分次优化脱节影响整体优化效果问题,构建了一种新的基于资源中心的物流优化模型,通过LINGO软件进行实例测算,结果较一二次物流模型更优化。

1 成品油运输模式

通常情况下,成品油通过4种运输方式从炼厂到达市场,按照运费由高到底的顺序依次为公路、铁路、管道、水运。油品从炼厂调和合格后,一部分通过公路近距离运送至周边加油站,另一部分通过铁路、管道、水运远距离运送至各地油库,随后通过油库二次拉运至各地加油站。目前中国主要石化企业的成品油运输组织按照一二次配送模式(图1),由大区公司组织一次配送,包括油品从炼厂通过公路直接进入加油站的配送组织,以及通过铁路、管道、水运进入油库的配送组织;由石油石化各省市公司组织辖区内油品的二次配送,负责将油品从油库通过公路发运至加油站。

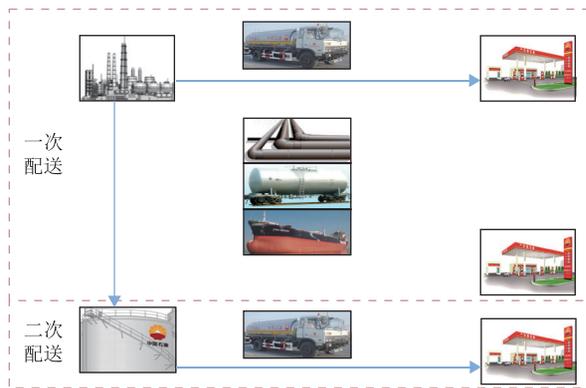


图1 成品油运输方式示意图

由于实际成品油运输优化数据量大、单位运输成本数据不全、一次进站和中间油库周转并存等特殊特性,目前成熟的物流优化算法和模型无法直接应用^[1-2],近年来,关于成品油运输优化模型、系统构架的研究和探讨逐渐增多。阚策^[3]提出了成品油运输中的局部优化,不能完全解决降低整体物流成本的问题,成品油运输“分层分离优化”技术模式不能支撑中国成品油物流一体化管理的进一步发展,提出需要在技术上突破,实现一二次运输的整合优化。王亮等^[4]分析了成品油

各种运输方式的特点,结合成品油运输流程及运输方式选择的基本原则对运输方式提出了建议,针对运输方式和路径不合理等问题,运用运筹学相关知识构建了运输系统模型,对路径优化问题进行了研究。沈坚华^[5]分析了当前中国成品油销售企业物流运作管理中存在的问题,从规划布局优化、运输管理优化、整合配送体系、加强信息化建设及物流人才培养等方面提出了对策。田立新等^[6]针对多个油库和加油站组成的成品油配送系统,建立库存-运输联合优化问题的0-1规划模型,并进行了实例分析和求解。Sear^[7]对石油工业下游提出了一个线性物流规划模型,但未建立完整的数学表达式。陆争光等^[8]从成品油一次物流相关的优化数学模型与应用、目标函数及求解方法方面,分析了国内外成品油一次物流优化现状,提出了符合中国国情的成品油一次物流优化基础框架和未来的研究方向。

此外,成品油物流优化中的关注重点不同,研究思路和方法也不同,如配送损耗、时间窗、体系构建、运输风险、库存等^[9-13],针对成品油物流优化中不同环节的研究结果也不同,如二次配送^[14-15]、越库调度^[16]优化模型等。参考关于原油等其他产品的供应链优化研究^[17-20],部分模型和思路也具备一定借鉴意义。

2 运输优化模型

2.1 一二次运输优化模型

成品油运输优化问题可以描述为:有 m 座炼厂 $A_i(i=1,2,\dots,m)$,某品号油品交货量分别为 $a_i(i=1,2,\dots,m)$, n 座加油站 $C_k(k=1,2,\dots,n)$,每座加油站的需求量为 $c_k(k=1,2,\dots,n)$, e 座油库 $B_j(j=1,2,\dots,e)$, A_i 至 B_j 的单位运输成本为 $\alpha_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,e)$, A_i 至 C_k 的单位运输成本为 $\beta_{ik}(i=1,\dots,m;k=1,2,\dots,n)$, B_j 至 C_k 的单位运输成本为 $\delta_{jk}(j=1,2,\dots,e;k=1,2,\dots,n)$ 。

假设 A_i 至 B_j 的运输量为 $x_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,e)$, A_i 至 C_k 的运输量为 $y_{ik}(i=1,2,\dots,m;k=1,2,\dots,n)$, B_j 至 C_k 的运输量为 $z_{jk}(j=1,2,\dots,e;k=1,2,\dots,n)$,运输成本为 P ,在满足所有加油站的运输需求,炼厂交货量全部调出,每座油库的入库量和出库量相等的情况下,运输优化问题可以转化为以下线性规划问题:

$$\begin{cases} \text{Min} P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^e \alpha_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_{ik} y_{ik} + \sum_{j=1}^e \sum_{k=1}^n \delta_{jk} z_{jk} \\ \sum_{i=1}^m y_{ik} + \sum_{j=1}^e z_{jk} = c_k \quad (k=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^e x_{ij} + \sum_{k=1}^n y_{ik} = a_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{k=1}^n z_{jk} \quad (j=1, 2, \dots, e) \\ x_{ij} \geq 0; y_{ik} \geq 0; z_{jk} \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

将线性规划方法应用在成品油物流优化中,需要每个加油站和每个炼厂、油库逐一配对,形成 $mn+en+me$ 个变量, $m+n+e$ 个等式或不等式约束条件,如某省区的 500 座加油站,3 座炼厂,20 座油库,利用线性规划方法需形成 11 560 个变量,523 个约束条件,计算过程复杂,难以快速完成大数据量的测算;另外一个问题是,线性规划中需要每座加油站至每个炼厂、油库的运输成本,但在实际优化中,不可能将所有加油站至每个炼厂和油库的单位运输成本均测算

一遍,一般情况下只测算 3~4 座距离较近的炼厂和油库,以供优化选择。

一二次运输优化模型从加油站的需求出发,首先各加油站按照运费最小的原则直接选择炼厂或油库,所有加油站确定拉运点后,再确定每座油库的入库需求,在此基础上进行炼厂至油库的优化,此问题可转化为 m 个炼厂至 e 个油库的简单线性规划,可以快速测算出优化结果,但是该方法存在的问题是一开始各加油站按照运费最小的原则选择炼厂或油库,在第一阶段是最优,但在全过程中不一定是最优结果。

2.2 综合运输优化模型

为解决线性规划在实际应用和目前常用的一二次运输优化模型中存在的问题,可以构造一个资源中心(图 2),即综合运输优化模型,将炼厂、油库至加油站的多对多模型,分步转化为炼厂、油库至资源中心以及资源中心至加油站的多对一和一对多的分步模型,简化运算过程的同时,还可以解决一二次运输优化模型中第一阶段与全过程优化不一致的问题。

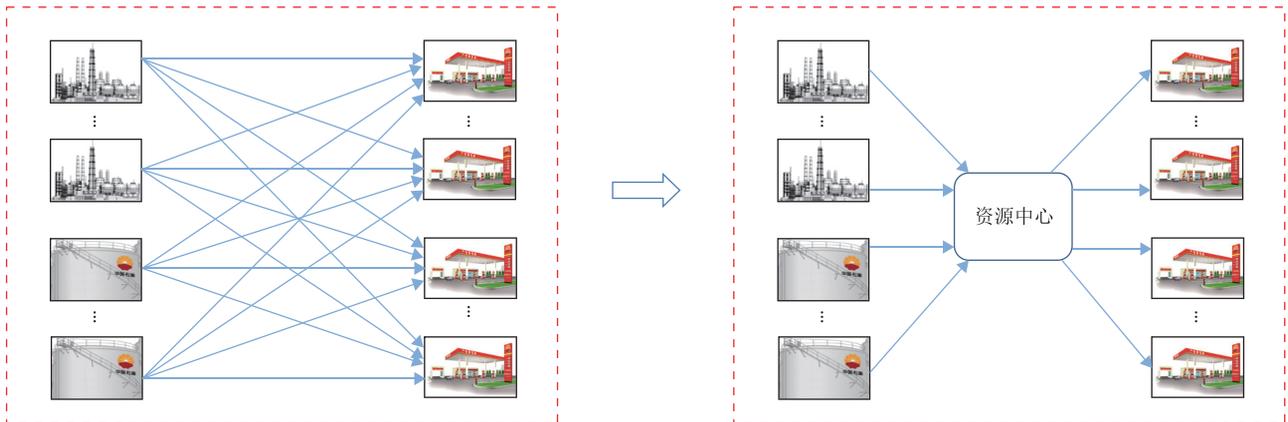


图 2 综合运输优化模型示意图

首先构造资源中心 A,定义每座炼厂 A_i 至资源中心 A 的吨油运输成本:

$$f_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_j f_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_j} \quad (2)$$

式中: f_{ij} 为炼厂 A_i 至另一炼厂 A_j 的吨油运输成本,元; a_j 为炼厂 A_j 的交货量,t。

定义每座油库 B_j 至资源中心 A 的吨油运输成本:

$$h_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_j h_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_i} \quad (3)$$

式中: h_{ij} 为炼厂 A_i 至油库 B_j 的吨油运输成本,元。

在进行炼厂或油库至加油站的物流优化时,不仅应考虑每座加油站至炼厂和油库的运输成本,同时应综合测算每座炼厂、油库至资源中心 A 的运价情况,定义加油站 C_k 至炼厂 A_i 和油库 B_j 的综合吨油运输成本:

$$g_k = \begin{cases} f_i + \beta_{ik} \text{ (炼厂)} \\ h_j + \delta_{jk} \text{ (油库)} \end{cases} \quad (4)$$

加油站在选择炼厂或者油库拉运时,不单纯按照加油站运费最低的原则测算,而是按照综合吨油运费成本最低的原则选择拉运量,确定每座油库的入库需

求以及炼厂满足加油站拉运需求后的剩余量后,进行炼厂至油库的线性规划,从而得到整体优化结果。

3 实例分析

假设某地区 30 座加油站在一定周期内的需求计划(表 1)。

表 1 某地区 30 座加油站需求计划 t

加油站	需求量	加油站	需求量
1	445.01	16	696.03
2	157.15	17	761.75
3	817.53	18	798.56
4	500.04	19	869.32
5	98.08	20	243.33
6	662.76	21	156.30
7	947.79	22	135.75
8	513.16	23	754.25
9	669.87	24	851.93
10	163.17	25	918.51
11	135.69	26	452.38
12	225.10	27	812.40
13	457.86	28	145.75
14	68.20	29	237.70
15	818.21	30	486.42

炼厂交货计划为:炼厂 1 交货量 10 000 t,炼厂 2 交货量 5 000 t,炼厂 1 至炼厂 2 的吨油运输成本为 114.97 元/t。

已知炼厂至周边油库的吨油运输费用(表 2),炼厂和油库至加油站的吨油运输费用(表 3)。根据一二次运输优化模型,首先按照运费最少原则,加油站挑选运费最少的炼厂或油库拉运,无吨油运输费用数据的视为距离太远,不予以考虑,加油站 1~8 选择炼厂 1 拉运,加油站 9~14 选择油库 1 拉运,加油站 15~21 选择炼厂 2 拉运,加油站 22~30 选择油库 2 拉运,公路入站费用 72×10^4 元,油库 1 的入库量为 1 719.89 t,油库 2 的入库量为 4 795.09 t,油库 3 的入库量为 0,炼厂 1 满足周边需求后剩余量为 5 858.49 t,炼厂 2 满足周边需求后剩余量为 656.49 t,结合表 3 中炼厂至油库的吨油运输费用,进行线性规划测算后,总运输费用为 72.4×10^4 元,炼厂 1 至油库 1 的运输量为 1 063.4 t,至油库 2 的运输量为 4 795.09 t,炼厂 2 至油库 1 的运输量为 656.49 t,优化后整体运输成本为 149.46×10^4 元。

表 2 炼厂至油库的吨油运输费用 元

炼厂	油库 1	油库 2	油库 3
1	159.27	116.03	47.13
2	74.39	276.99	163.00

表 3 炼厂和油库至加油站的吨油运输费用 元

加油站	炼厂 1	炼厂 2	油库 1	油库 2	油库 3	加油站	炼厂 1	炼厂 2	油库 1	油库 2	油库 3
1	40.80	584.80	296.48			16	445.40	98.60	241.40		
2	55.76	599.76	311.44			17	496.40	47.60	292.40		
3	40.80	584.80	296.48			18	435.20	108.80	231.20		
4	54.40	598.40	310.08			19	489.60	54.40	285.60		
5	56.44	600.44	312.12			20	482.80	61.20	278.80		
6	55.76	599.76	311.44			21	470.56	73.44	266.56		
7	43.52	587.52	299.20			22	239.36			14.28	64.60
8	44.20	588.20	299.88			23	265.20			40.12	90.44
9	257.72	286.96	2.04			24	244.80			19.72	70.04
10	261.80	291.04	6.12			25	248.20			23.12	73.44
11	257.04	286.28	1.36			26	248.20			43.52	63.24
12	127.00	352.92	90.44			27	259.76			55.08	59.84
13	145.00	367.88	78.20			28	253.64			48.96	53.72
14	193.00	403.92	127.16			29	255.68			51.00	101.32
15	497.08	19.72	252.28			30	261.12			56.44	59.16

通过以上实例分析可见,一二次运输优化模型在一定程度上可以实现控制和降低成品油运输费用的目的,但仍然存在优化空间。利用基于资源中心的优化模型对以上实例进行测算,第 1 步按照式(2)和式(3)计算 2 座炼厂、3 座油库至资源中心的吨油运输

成本,炼厂 1 为 38.32 元、炼厂 2 为 76.65 元、油库 1 为 130.97 元、油库 2 为 169.68 元、油库 3 为 85.75 元;第 2 步按照式(4)计算每座加油站至所有炼厂和油库的综合吨油运输成本;第 3 步对所有加油站按照综合吨油运输费用最低的原则选择拉运点,发现 12 座加油站

选择的拉运点发生了改变,加油站 12~14 选择直接到炼厂 1 拉运,而不是一二次运输优化模型选择的通过油库 1 拉运,加油站 22~30 选择的拉运点为油库 3,而不是一二次运输优化模型选择的油库 2(表 4)。

表 4 加油站至炼厂或油库的综合吨油运输费用

元

加油站	炼厂 1	炼厂 2	油库 1	油库 2	油库 3	加油站	炼厂 1	炼厂 2	油库 1	油库 2	油库 3
1	79.12	661.45	427.45			16	483.72	175.25	372.37		
2	94.08	676.41	442.41			17	534.72	124.25	423.37		
3	79.12	661.45	427.45			18	473.52	185.45	362.17		
4	92.72	675.05	441.05			19	527.92	131.05	416.57		
5	94.76	677.09	443.09			20	521.12	137.85	409.77		
6	94.08	676.41	442.41			21	508.88	150.09	397.53		
7	81.84	664.17	430.17			22	277.68			183.96	150.35
8	82.52	664.85	430.85			23	303.52			209.80	176.19
9	296.04	363.61	133.01			24	283.12			189.40	155.79
10	300.12	367.69	137.09			25	286.52			192.80	159.19
11	295.36	362.93	132.33			26	286.52			213.20	148.99
12	165.32	429.57	221.41			27	298.08			224.76	145.59
13	183.32	444.53	209.17			28	291.96			218.64	139.47
14	231.32	480.57	258.13			29	294.00			220.68	187.07
15	535.40	96.37	383.25			30	299.44			226.12	144.91

在确定了所有的加油站拉运点后,按照吨油运输成本测算公路进站费用为 92.8×10^4 元,油库 1 的入库量为 968.73 t,油库 2 的入库量为 0,油库 3 的入库量为 4 795.09 t,炼厂 1 满足周边需求后剩余量为 5 107.33 t,炼厂 2 满足周边需求后剩余量为 656.49 t,结合表 3 中炼厂至油库的吨油运输费用,利用 LINGO 软件进行线性规划测算后,入库运输费用为 32.46×10^4 元,整体运输费用为 125.26×10^4 元。

通过以上实例分析可见,该综合运输优化模型,较目前常用的一二次运输优化模型优化后的整体运输费用节约了 24.2×10^4 元。

4 结论

成品油运输优化环节多、数据量大、过程复杂,目前石油行业普遍使用的是一二次运输优化模型,但此模型存在两次优化脱节的问题,在优化的第一步,加油站仅根据自身运输费用最小化原则进行测算,选择最近的炼厂或油库拉运,未考虑炼厂至油库的后续运费问题,在进行炼厂至油库的二次优化时,以一次优化数据为基础,两次运输优化结果虽然合理,但整体运输效果却不尽人意,整体运输仍存在优化空间。通过构造资源中心,定义炼厂、油库至资源中心的运价公式,建立了综合运输优化模型,该模型将之前炼厂、油库至加油站的多对多模型,分步转化为炼厂、油库至资源中心以及资源中心至加油站的多对一和一对多的分步模

型,有效地解决了一二次运输优化模型中存在的两次优化脱节问题,通过实例分析测算,优化后运输费用较低,优化效果较好。

参考文献:

- [1] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994: 78-91.
Operations Research Group. Operations research[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994: 78-91.
- [2] 陈宝林. 最优化理论与算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 167-177.
CHEN B L. Optimization theory and algorithm[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 167-177.
- [3] 阚筑. 成品油运输优化问题分析[J]. 当代石油石化, 2010, 18(9): 23-26.
KAN Q. The analysis of problems in oil products transportation optimization[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2010, 18(9): 23-26.
- [4] 王亮, 曹迪. 成品油运输系统的构建及其路径优化[J]. 工业技术经济, 2009, 28(11): 124-127.
WANG L, CAO D. Construction of oil transportation system and its path optimization[J]. Industrial Technology & Economy, 2009, 28(11): 124-127.
- [5] 沈坚华. 成品油物流管理现状与对策研究[J]. 中国集体经济, 2011(19): 117-118.
SHEN J H. Study on current situation and countermeasures of

- oil product logistics management[J]. China Collective Economy, 2011(19): 117-118.
- [6] 田立新,唐焕超. 成品油单周期库存与运输联合优化[J]. 系统管理学报, 2009, 18(5): 588-590.
- TIAN L X, TANG H C. Integrated optimization on inventory and transportation of single-period product oil[J]. Journal of Systems & Management, 2009, 18(5): 588-590.
- [7] SEAR T N. Logistics planning in the downstream oil industry[J]. Journal of the Operational Research Society, 1993, 44(1): 9-17.
- [8] 陆争光,张劲军,高鹏. 成品油一次物流优化研究进展[J]. 油气储运, 2016, 35(9): 913-919.
- LU Z G, ZHANG J J, GAO P. Research progress of refined oil first logistics optimization[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(9): 913-919.
- [9] 杨雅光. 成品油二次配送环节损耗治理方案[J]. 油气储运, 2015, 34(1): 57-61.
- YANG Y G. Prevention of loss in the secondary distribution of products oil[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(1): 57-61.
- [10] 宋洁蔚,荣冈. 成品油配送中时间窗的确定及运输的安排[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(4): 63-69.
- SONG J W, RONG G. Time window confirmation and transportation arrangement of oil distribution[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2003, 23(4): 63-69.
- [11] 肖应文. 石油石化企业成品油现代物流体系的构建[J]. 湖南商学院学报, 2010, 17(3): 104-108.
- XIAO Y W. Construction of modern logistics system of refined oil in petroleum and petrochemical enterprises[J]. Journal of Hunan University of Commerce, 2010, 17(3): 104-108.
- [12] 张博,赵慧英. 考虑运输风险的成品油运输方式选择模型[J]. 油气储运, 2015, 34(11): 1236-1240.
- ZHANG B, ZHAO H Y. Transportation mode selection model of refined oil products with consideration of transportation risks[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(11): 1236-1240.
- [13] ERHAN K, DIVI L. Integrated inventory and transportation mode selection: A service parts logistics system[J]. Transportation Research, 2008, 44(5): 665-683.
- [14] 王博弘,梁永图,张浩然,等. 成品油二次配送研究进展[J]. 油气储运, 2018, 37(2): 121-126.
- WANG B H, LIANG Y T, ZHANG H R, et al. Research progress of secondary distribution of product oil[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(2): 121-126.
- [15] 马义飞,孙晓燕. 成品油二次配送调度优化模型及其遗传算法求解[J]. 运筹与管理, 2010, 19(6): 73-78.
- MA Y F, SUN X Y. Dispatching optimization model of second distribution of gasoline & diesel oil and solution based on genetic algorithm[J]. Operations Research and Management Science, 2010, 19(6): 73-78.
- [16] 吴斌,陈佳华,李玉,等. 物流领域的“JIT”——越库调度[J]. 油气储运, 2018, 37(2): 143-149.
- WU B, CHEN J H, LI Y, et al. The “JIT” in the field of logistics: study on the cross-docking scheduling[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(2): 143-149.
- [17] SAHEBI H, NICKEL S, ASHAYERI J. Strategic and tactical mathematical programming models within the crude oil supply chain context - A review[J]. Computers & Chemical Engineering, 2014, 68(9): 56-77.
- [18] MELO T, NICKEL S, GAMA F S D. Facility location and supply chain management - A comprehensive review[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(2): 401-412.
- [19] MASON S J. Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain[J]. Transportation Research, 2003, 39(2): 141-159.
- [20] 梁永图,廖绮,张浩然,等. 炼厂生产调度优化研究进展[J]. 油气储运, 2017, 36(6): 646-650.
- LIANG Y T, LIAO Q, ZHANG H R, et al. Research progress on production scheduling optimization of refinery[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(6): 646-650.

(收稿日期:2017-02-09; 修回日期:2018-06-02; 编辑:杜娟)

基金项目: 中国石油北京油气调控中心科研项目“成品油质量专项对标及小品种油品输送研究”, 2012J55800816。

作者简介: 耿紫星,男,1982年生,经济师,2008年硕士毕业于西北师范大学数学与应用数学专业,现主要从事管道调度运行工作。地址:甘肃省兰州市安宁区银滩路通达街中国石油兰州大厦5层综合营运指挥中心,730070。电话:13369455815,Email:gengzx@petrochina.com.cn