

原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法

肖文涛¹, 徐 宁², 刘志玲², 周晓玲^{2,3}, 王 震³, 李 启²

(1. 中国石油化工股份有限公司抚顺石油化工研究院, 辽宁抚顺 113001; 2. 中国国际石油化工联合有限责任公司, 北京 100728; 3. 中国石油大学中国能源战略研究院, 北京 102249)

摘要:总结中国原油采购-远洋运输业务流程,分析原油采购-远洋运输方案优化问题的特殊属性。原油采购-远洋运输方案优化是包含多种高维度变量的动态-模糊组合优化的大规模 NP(non-deterministic polynomial) 难问题,需要多个区域业务人员根据市场和需求的动态变化协作完成,超出现有方法的解决范畴。提出模糊聚类图优化法,通过实时挖掘和利用启发性优化信息以及全局视野拼接由启发式算法所搜索到的局部静态优化方案,实现大规模原油采购-远洋运输方案的全局优化。应用结果表明,模糊聚类图优化法弥补了传统建模求解的方法的不足,充分结合了人的灵活决策优势与计算机暴力计算特点,可辅助业务人员适应原油采购-远洋运输方案优化的动态-模糊特性,通过合理调整运输任务(即调整优化模型的目标函数和限制条件)实现原油采购-远洋运输方案优化,具有较强的决策支持作用。

关键词:原油远洋运输优化; NP 难问题; 差分进化算法; 聚类图解法

中图分类号: TE 832 **文献标志码:** A

引用格式:肖文涛,徐宁,刘志玲,等. 原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(3): 176-182.

XIAO Wentao, XU Ning, LIU Zhiling, et al. A vague cluster graphical method for optimization of purchase & ocean shipping schemes of crude oil [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(3): 176-182.

A vague cluster graphical method for optimization of purchase & ocean shipping schemes of crude oil

XIAO Wentao¹, XU Ning², LIU Zhiling², ZHOU Xiaoling^{2,3}, WANG Zhen³, LI Qi²

(1. Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemicals, SINOPEC, Fushun 113001, China;
2. China International United Petroleum & Chemicals Company Limited, Beijing 100728, China;
3. Academy of Chinese Energy Strategy in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The procedure of purchase & ocean shipping of crude oil in China was summarized, and the characteristics in optimizing the procedure were analyzed. The optimization can be categorized in a dynamic-fuzzy NP(non-deterministic polynomial) hard problem involving the optimization of multidimensional variables, which needs to be dealt with by the cooperation of staffs coming from different areas, and is thus beyond the solving ability of existing optimizing algorithms. A vague cluster graphical method was put forward. By discovering and utilizing of heuristic optimization information in real time, and by utilizing global view to joint local static optimized schemes searched by heuristic optimization algorithms, this method achieved the goal of global optimization. The vague cluster graphical method for optimizing of purchase & ocean shipping schemes of crude oil, coving the shortage of traditional model solving and taking the advantages of the combination of human interaction and computer's ability for brutal calculation, can help staffs to adapt the dynamic-fuzzy attributes of the optimization of purchase & ocean shipping procedure of crude oil, and to optimize the purchase & ocean shipping plan by adjusting the transporting task (objective function and restricted conditions), and can support decision effectively.

收稿日期:2016-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71303258)

作者简介:肖文涛(1984-),男,副研究员,博士,研究方向为油气远洋运输及长距离管输技术。E-mail: xiaowentao.fshy@sinopec.com。

Keywords: ocean shipping optimization of crude oil; NP (non-deterministic polynomial) hard problem; differential evolution algorithm; vague cluster graphical method

当前中国石化每年从海上进口原油约 1.7 亿 t, 年度运费高达 20 多亿美元, 其中滞期损失约 2 亿美元, 存在较大的优化空间。当前中国原油远洋运输方案优化是包含装/卸港航线、装/卸时间、船型选择、油种替换、批次拆分、数量增减等多种高维度变量组合优化的大规模 NP (non-deterministic polynomial) 难问题^[1], 主要应用传统数学规划方法优化中国海运网络^[2-10], 不能有效解决当前运作模式下的原油采购-远洋运输方案优化问题。此外, 原油采购-远洋运输方案优化问题还具有动态-模糊特性, 即运输任务与限制条件随采购进程不断变化, 而周晓玲等^[11]提出的优化模型与求解算法则是针对某一时间节点的确定运输任务进行的局部方案优化, 缺少月度全局性。为弥补当前研究结论的不足, 笔者提出一种模糊聚类图优化法, 以实现原油采购-远洋运输方案全局协同优化。

1 原油采购-远洋运输流程

中国石化原油采购-远洋运输流程如图 1 所示。原油采购-远洋运输方案编制过程按图 1 中步

骤①、②、③、④依次执行。在步骤③中,贸易公司将密切跟踪市场资源,动态采购并制定远洋运输计划。其间若发现因需求不合理而影响运输计划的编制时,贸易公司须与炼厂反复磋商,协调变更需求。最终需求变更方案需通过步骤④获得总部许可。根据市场资源情况,步骤③与④一般需反复执行,直至获得完整的经济运输方案为止。

根据炼厂需求情况和市场资源供应情况,原油采购-远洋运输过程以油轮为纽带,形成了装港拼装、远洋运输和卸港配送 3 层运输过程,如图 2 所示。

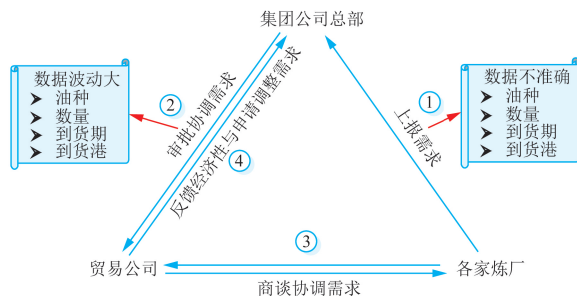


图1 原油采购-远洋运输流程图
Fig.1 Schematic of crude oil purchase & ocean shipping

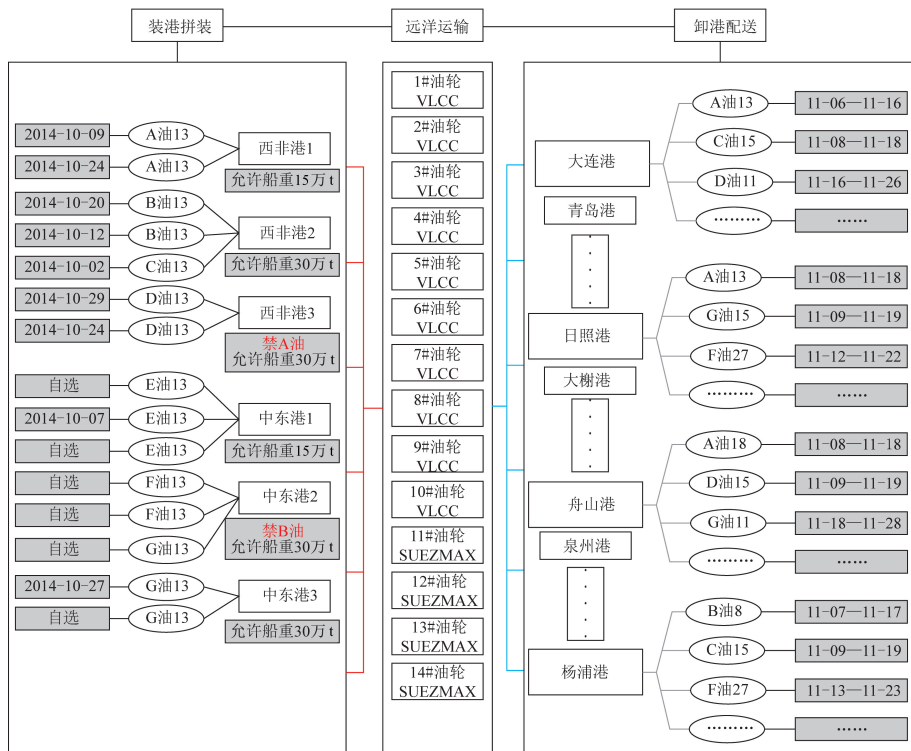


图 2 原油远洋运输过程示意图

Fig.2 Schematic of ocean shipping process of crude oil

原油远洋运输一般按航次租船,租借的油轮从装港拼装、远洋运输到卸港配送全流程执行运输任务,不考虑中途换船或海上分卸的情况。国际航运市场油轮数量充足,各类船型可无限量租借,但常用的经济船型一般为VLCC(计费吨26万t)和SUEZ-MAX(计费吨13万t)两种。

2 原油采购-远洋运输优化问题的特性

原油远洋运输优化问题的最终目标是将国际场所采购的零散批次原油以最优的船型组合、拼装航线组合和配送航线组合运回中国卸港,以满足炼厂生产需求。优化模型以运费(包括油轮运输费、靠港费、滞期费)最低为目标函数,涉及到的决策变量包括:船型组合、拼装航线组合、配送航线组合、装油日期、油种替换、批次拆分、数量增减等,涉及到的限制条件包括供需平衡、港口水深、环保法规、油品装期、到货期限等^[11],具有以下特性:

(1)大规模NP难问题。原油采购-远洋运输优化是包含多种高维度变量的大规模NP难问题。中国各炼厂每月提报的资源需求超过100个批次,各批次数量不规整,常在2~29万t之间浮动;需求货源来自中东、西非、美洲、远东、中亚-欧洲等五大区域的原油装港,原油接收港口则位于从大连至湛江等沿海地区;需求的到货期限一般在炼厂提报的到货期的前后10d范围内。

(2)动态-模糊性。原油采购-远洋运输优化具有动态-模糊性,需要贸易公司各主管区域的业务人员根据市场资源动态变化情况及临近地域炼厂(主要指炼厂的原油卸载港口临近)的需求动态变化情况,及时与各家炼厂协商调整,实时地反馈调整到货港、到货期、到货油种、到货数量等参数,并上报总部批准。由于需求的变化须经炼厂计划团队通过PIMS等系列专业软件优化后确定,因而原油远洋运输优化问题的解域是模糊的,单靠建立数学模型并采用优化算法求解方案的传统方法不能有效解决实际问题。总体而言,采购-远洋运输优化模型的目标函数及限制条件本身也是需要不断被优化的,即问题超出了现有优化方法的解决范畴。

(3)处理规则复杂。为适应国际原油市场及国际租船行情的快速变化,降低油轮拼装-配送亏舱里程及提高总体到港均衡度,优化时往往采用各类手段灵活处理问题,即原油采购-远洋运输优化问题的变量繁多,且可行域不规整。若要将各类变量

及限制条件写入数学模型是非常困难且耗时的,也难以满足业务的时效性要求。

(4)分散的业务全局相关。原油采购-远洋运输优化须由贸易公司各主管区域的业务人员协同配合完成。中国石化采购的原油来自世界五大区域,各区域的业务人员分别承担各自的月度原油采购-远洋运输优化业务,其中中东地区950万t(资源装期自选),西非地区380万t(资源装期固定),美洲地区100万t,中亚-欧洲地区50万t,远东地区20万t。

除来源广泛外,各区域的原油采购-远洋运输计划编制又是按时间进度交错进行的,如图3所示。

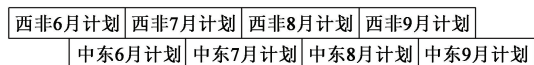


图3 不同区域原油采购-远洋运输计划交错图

Fig.3 Schematic of schemes interleaving for purchase & ocean shipping of crude oil in different areas

由于各区域业的运输计划是全局紧密相关的,因而采购-远洋运输优化需要密切的协同配合。原油远洋运输计划数据规模庞大,各种数据之间存在复杂的联系,加之各区域划编制时间是又相互交错和动态进行的,因此方案全局协同编制的难度极大。

3 原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法

当前一般采用差分进化等启发式算法求解小规模NP难问题,而原油采购-远洋运输优化是具有动态-模糊属性的大规模NP难问题,仅依靠差分进化算法难以完全满足业务的时效性要求。模糊聚类图优化法能够有效适应原油远洋运输业务的动态-模糊特性,可直接用于运输计划的动态编制,也可间接用于拼接由差分进化算法搜索到的各时间节点的局部运输优化方案,从而形成全局优化方案。

3.1 模糊聚类图优化法的提出

原油远洋运输优化问题的变量繁多,处理规则复杂,“解域”模糊且不规整,优化问题的目标函数和限制条件本身也须不断被优化,因此用数学模型阐述问题较为困难,且数学模型中也不包含较利于问题求解的启发性信息(例如线性、可导、可剪枝等)。

鉴于此,原油远洋运输优化一般通过控制油轮到港均衡度、油轮船型、靠港次数、亏舱航程(油轮在装港的拼装航程和在卸港的配送航程)等4个主要参数来实现。为控制上述4种参数,特提出模糊

聚类图优化法。该方法主要包含 4 个要素,分别是需求类、资源类、需求类与资源类之间的关联和油轮类,如图 4 和图 5 所示。

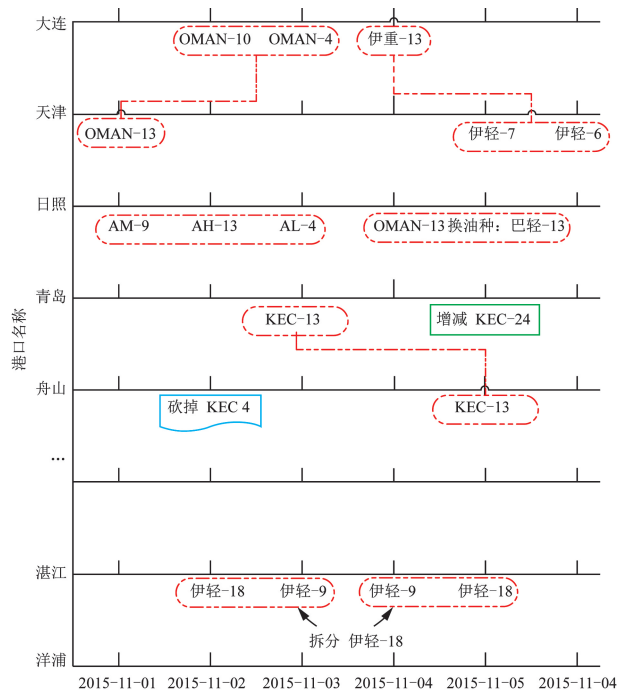


图4 中东地区原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法示意图

Fig. 4 Schematic of vague cluster graphical method for optimization of purchase & ocean shipping schemes of crude oil in the middle east area

(1)需求类:可以满足所有运输约束条件,并能够以最经济的船型、最经济的装/卸航线、最少的装卸靠港次数运回中国原油接卸码头的油品批次集合。

(2)资源类:根据其自带的装期和所处的地域,用单船运输时可以在同一天内抵达卸港的资源油品的集合。

(3)需求类与资源类之间的关联:需求类和资源类之间以需求-资源相交线建立联系。需求-资源相交线的含义为:该资源可以用于供应哪些炼厂的需求。当资源-需求相交时,若二者油种相同或相近,则可以重点关注其价格波动,在适当时刻执行采购。对于已采购的油品,要注意关注附近的需求-资源相交线。执行下一次采购时,应当注意拼装运输的经济性。

(4)油轮类:对应着油品批次需求的约束条件限定,将所采购的资源拼装成大型油轮后即形成了油轮类。油轮类是船载各批次实际到港原油的组合,由虚线链接而成。

原油采购-远洋运输优化模糊聚类图优化法的实质是将需求、资源数据按时间、空间分布,而后根据资源-需求相交线、装/卸港口之间的航程、装/卸时间、油种、批次数量等聚类属性参数进行聚类,最终将零散批次的原油拼装大型油轮进行远洋运输和卸港配送。聚类目标为:力争同一油轮上的各批次油品的装/卸港靠近且允许相互拼装,装油滞期时间少、数量加和接近计费吨位,以及各油轮抵达卸港时间均衡等。

3.2 模糊聚类图优化法的步骤

模糊聚类图优化法的最优方案求解步骤如下:

- (1) 炼厂需求按时间-空间-油种-数量聚类;
- (2) 市场资源按时间-空间-油种-数量聚类;
- (3) 需求-资源相交线建立供需聚类联系;
- (4) 据供需联系,以油轮为运输聚类中心;

(5)根据聚类中心对各需求批次的类属性进行动态反馈调整(替换油种、更改船期、增减数量、拆分批次等)。

3.3 模糊聚类图优化法的优点

模糊聚类图优化法以油轮为聚类中心,利用港口、时间、图形、颜色、文字等手段将各种维度的业务数据压缩成二维平面图,以辅助各区域业务人员形成“全局视野”,促进相互之间密切配合,协同制定全局优化采购-运输方案。

在动态拼装油品的过程中,业务人员可利用模糊聚类图实时发现炼厂提报需求的不合理性以及市场资源的局限性,在综合考虑市场资源的价格、装期、货量、港口水深、环保法规等影响因素的基础上,通过在炼厂可接受的范围内合理地追加、减少、替换、拆分、调整炼厂提报的原油批次的种类、数量、到货期等参数,可有效地减轻“需求协调繁琐”、“采运业务脱节”、“区域沟通不畅”等因素所造成的不利影响,实现每一油轮的船型、航线优化,以及全体油轮船的抵港时间优化,最终实现减少亏舱费用、滞期费用和靠港费用的目标。

模糊聚类图优化法可视性及启发性强。对于在市场资源及炼厂需求动态变化过程中形成的静态局部优化任务,由启发式算法所搜索到的局部最优解可通过模糊聚类图优化法进行全局优化拼接。在全局视野的控制下,聚类图解法能有效减轻乃至完全避免各静态局部优化方案之间的油轮抵港时间冲突。

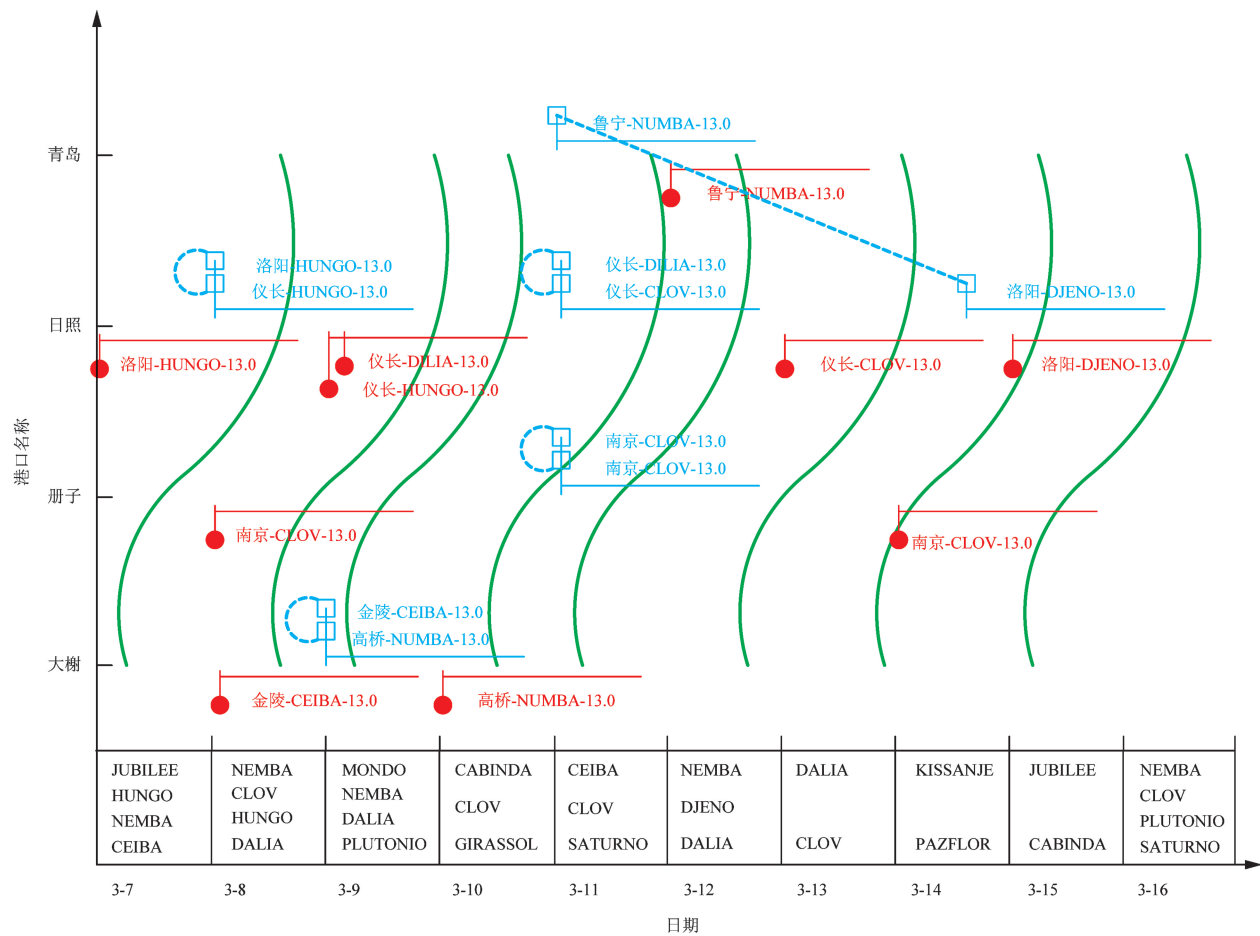


图 5 西非地区原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法示意图

Fig. 5 Schematic of vague cluster graphical method for optimization of purchase & ocean shipping schemes of crude oil in the western Africa

3.4 模糊聚类图优化法的应用

以图 4 所示的中东油品需求为例,介绍模糊聚类图优化法具体步骤。

- (1) 绘制聚类图,横轴代表日期,纵轴代表港口。
- (2) 将炼厂提报的需求按到货期和到货港要求绘于聚类图中,并标记需求的油种和数量。
- (3) 将市场资源按抵达中国各港口的时间绘于聚类图中洋浦港的下方。(中东区域市场资源装期自选,可以忽略该步骤。西非地区市场资源装期固定,市场资源聚类参见图 5 横轴上方文字标记。)
- (4) 需求-资源相交线建立供需聚类联系(中东地区装期自选,该步骤可忽略。西非地区资源装期固定,供需联系见图 5 绿线。)
- (5) 拼船。按时间从早至晚,空间从北向南(或从南向北)拼装油品。

从图 4 中可以看出,大连港 11 月 2 日 OMAN-

10、11 月 3 日 OMAN-4 与天津港 11 月 1 日 OMAN-13 油品,装港允许拼装,总数量 27 万 t,可聚成一个 VLCC 油轮进行拼装和配送。油种可在一个港口装载,卸港为大连和天津两个港口。评判此船拼装方案运输经济性指标:总靠港次数较少(3 次);装港亏舱航程较短(0),卸港亏舱航程较短(天津—大连)。

同理,日照港 11 月 1 日 AM-9、11 月 2 日 AH-13、11 月 3 日 AL-4,装港允许拼装,总数量 26 万 t,可聚成一个 VLCC 油轮进行拼装和配送。油种可在一个港口装载,卸港只有日照 1 个港口。评判此船拼装方案运输经济性指标:总靠港次数较少(2 次);装港亏舱航程较短(0),卸港亏舱航程较短(0)。

日照港 11 月 4 日 OMAN-13 油品无其他油品可以进行经济拼装,11 月 5 日巴轻-13 油品也无其他油品可以进行经济拼装,因而可建议炼厂将需求巴轻-13 的油种改为 OMAN 等其他油种,从而与 11 月 4 日 OMAN-13 拼装成 VLCC 进行运输。若协商无果,也可协商炼厂将 11 月 4 日 OMAN-13 的油种

改为巴轻油种进行 VLCC 拼装。若也协商无果,则可以考虑用 2 艘经济性较差的载重为 13 万 t 的 SUZMAX 分别运输。

舟山港 11 月 2 日 KEC-4 油品无其他油品可以进行经济拼装,因而可建议炼厂视自身情况“砍掉”该不合理需求,待下月度追加提报量,避免使用经济性较差的小型油轮运输。

青岛港 11 月 5 日 KEC-24 油品无其他油品可以进行经济拼装,因而可建议炼厂增加至 26 万 t,用 VLCC 油轮运输,从而达到 1 港装,1 港卸,并充分利用 VLCC 油轮运量的目的。

若协商未果,也即舟山港 11 月 2 日 KEC-4 油品与青岛港 11 月 5 日 KEC-24 油品运输任务都不可变动,则可以考虑将二者拼装成 1 个 VLCC 进行运送,但油品总量为 28 万 t,超出 VLCC 载重极限的部分应按比例裁减数量。

湛江港 11 月 2 日伊轻-18、11 月 3 日伊轻-18、11 月 5 日伊重-18 油品,都不满 26 万 t,可将 11 月 3 日伊轻-18 拆分为伊轻-9 和伊轻-9,并分别与 11 月 2 日伊轻-18 和 11 月 5 日伊重-18 拼成 2 个 VLCC 进行运输。评判此 2 船拼装方案运输经济性指标:总靠港次数都较少(2 次);装港亏舱航程都较短(0),卸港亏舱航程也都较短(0)。

(6)综合评判总体拼装运输经济性指标。若各油轮船型经济,装/卸港航程较近,靠港次数较少,全体油轮到港均衡度较好,则方案通过;否则返回步骤(5),调整各油轮的拼装方案,并合理选择装期和调整配送顺序,以提高全体油轮的到港均衡度。

模糊聚类图优化法不但可用于优化零散油品的拼装运输方案,也可用于调整由启发式算法搜索到的各时间节点的局部静态运输优化方案。方法同上述步骤(5)、(6),通过适当调整各油轮的装期和配送顺序,可以避免各时间节点的局部静态运输优化方案之间的时间冲突,达到全局优化拼接的目标。

西非地区原油采购-远洋运输方案模糊聚类图优化法示意图如图 5 所示。与中东地区不同的是,由于西非地区的市场资源都带有固定装期,在采购时就要考虑运输的可行性,比中东地区多了一个市场资源类。市场资源类存储于横坐标轴上的第一横格内,横格内的每一纵格的资源用单船运输时都可在同一天内抵达中国各卸港,抵达时间如图中绿线所示。图 5 为根据需求类、资源类、资源与需求间的联系曲线而编制的某年度 3 月份的采购运输方案。从图中可以看出,具有油轮到港均匀,靠港次数少,

亏舱航程少等优点,具有较好的运输经济性。

4 结 论

(1)原油采购-远洋运输优化问题是具有动态-模糊性的大规模 NP 难问题,需要各资源采购区域的业务人员根据市场资源和炼厂需求的动态变化进行协同响应,采用传统建模求解的方法不能有效满足业务需求。

(2)模糊聚类图优化法可适应原油采购-运输业务的动态、模糊特性,能够辅助业务人员动态挖掘和利用启发性优化信息,通过在炼厂可接受的范围内合理调整运输任务(即调整优化模型的目标函数和限制条件)实现原油采购-远洋运输方案优化。

(3)模糊聚类图优化法可为业务人员提供“全局视野”控制,将启发式算法搜索到的各业务区域的不同时间节点的局部静态优化方案拼接成月度全局最优方案,充分结合了人的灵活决策与计算机的暴力计算优势,具有较强的决策支持作用。

参考文献:

- [1] 王勇,肖文涛,李雪,等.我国原油远洋运输的运作模式及面临挑战[J].油气储运,2016,35(7):788-792.
WANG Yong, XIAO Wentao, LI Xue, et al. Operation mode and challenges of crude oil ocean shipping in China [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35 (7): 788-792.
- [2] 冯高伟.沿海石油物流方案设计[D].大连:大连海事大学,2004.
FENG Gaowei. The logistic program of costal oil [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2004.
- [3] 陈飞儿,张仁颐.我国原油进口航线网络的优化[J].上海海事大学学报,2006,27(2):75-80.
CHEN Feier, ZHANG Renyi. Optimization of Chinese crude oil import route network [J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2006, 27(2): 75-80.
- [4] IAKOVOU E T. An interactive multi-objective model for the strategic maritime transportation of petroleum products, risk analysis and routing [J]. Safety Science, 2001, 39: 19-29.
- [5] AI-OTHTMAN W B E, LABABIDI H M S, ALATIQUI I M, et al. Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189: 822-840.
- [6] 初良勇.我国水上石油物流系统与分拨运输网络研究 [D].大连:大连海事大学,2007.

- CHU Liangyong. Study on waterborne petroleum logistics system and distribution & transportation network of China [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2007.
- [7] 陈超,李霏. 我国原油进口海运网络优化模型[J]. 油气储运,2011,30(2):97-100.
- CHEN Chao, LI Fei. Optimization model of China crude oil importation[J]. Oil & Gas Storage and Transportation,2011,30(2):97-100.
- [8] 王尧,吕靖. 中国原油进口运输通道安全研究[J]. 大连海事大学学报,2014,40(1):109-116.
- WANG Yao, LÜ Jing. Transportation safety of China crude oil import[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2014,40(1):109-116.
- [9] 潘洹洹. 中石化原油进口供应链运输成本优化模型研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2012.
- PAN Huanhuan. Research on the costs of transportation supply chain optimization model of Sinopec's crude oil imports [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology,2012.
- [10] 王廷林. 中东至美湾原油海上运输模式比较研究[D]. 大连:大连海事大学,2010.
- WANG Tinglin. The research on the middle east to America bay crude oil maritime transportation model comparing[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.
- [11] 周晓玲,王震,肖文涛. 原油远洋拼船运输方案优化研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):174-180.
- ZHOU Xiaoling, WANG Zhen, XIAO Wentao. Optimization of ocean shipping schemes of LCL crude oil[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2016,40(2):174-180.
- (编辑 修荣荣)