

炼油厂原油混输调度模型法研究与应用

王雁君 何银仁 张 慧

(中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院, 北京 100083)

摘要:针对炼油厂原油调度作业计划进行了模型法研究,充分考虑原油调度问题的经济性,以减少生产方案的切换次数,确保常减压原油蒸馏装置生产的平稳性,避免进料的质量超标,充分考虑以下游装置的生产需要为目标,用混合整数线性规划(MILP)技术和多周期技术建立原油混输调度模型,并通过实例介绍模型的应用。

关键词:原油混输调度;混合整数线性规划;多周期

中图分类号:TQ018

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0071-06

Research and application of crude oil scheduling model in refineries

WANG Yan-jun, HE Yin-ren, ZHANG Hui

(Research Institute of Petroleum Processing, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper focuses on model research of refinery scheduling of crude oil, and considers the economics of this problem fully, which consists of reducing the switch times of production scheme, improving the smooth operation of crude distillation unit, decreasing the disqualification of semi-finished product, and satisfying the production require of subsequent units. Mixed-integer linear program(MILP) method and multiperiod technique are used to build this model, and the application of the model is introduced by using a real case.

Key words: crude oil scheduling; mixed integer linear programming; multi-period

原油混输调度是炼化企业生产调度的源头,需要考虑的因素很多,我国炼油厂罐区的储油罐投入不足使得原油的调度问题变得较困难。很多企业炼制的原油种类繁多,性能差异较大,要将这些原油炼制成不同的成品油,必须在将原油输送到常减压装置之前,对这些原油进行精心的处理和混合。近些年,人们开始将数学规划方法引入生产调度系统的开发。1996年 Lee、Pinto 和 Grossmann 利用混合整数线性规划解决了炼油厂原油调度的最优化问题;Shah 采用模型分割技术研究了原油调度的数学规划问题;1997年 Steinschorn 和 Hofferl 等开发了动态循环调度系统,已用于 OMV Schwechat 炼油厂;2000年 J.M. Pinto, M. Joly 和 L.F.L. Moro 综合巴西 RPBC 炼油厂的柴油分配问题和 PEVAP 炼油厂的燃料油、芳烃和液化石油气的生产问题建立了炼油厂操作计划调度模型。

本文采用严格优化的模型法来解决炼油厂原油调度问题,考虑了如下几个方面的优化目标:①减少生产方案的切换次数;②常减压蒸馏装置(CDU)生产的平稳性,常减压蒸馏侧线收率的平稳性直接影响到常减压蒸馏装置的操作,因此在常减压蒸馏装置加工原料品种切换时,减少有关侧线收率的波动

性将有利于提高生产效率,如要求减压渣油收率尽量平稳等;③避免进料的质量超标;④充分考虑下游装置的生产需要。原油混输调度不仅要考虑码头罐、管道和装置罐的容量问题,还需要考虑下游装置的用料需求,如催化重整和乙烯裂解对石脑油原料在芳烃潜含量指标上的不同需要,催化裂化渣油的质量要求等。

1 原油混输调度模型

码头罐原油经管道输送到装置罐,在管道内实现原油的第一次混合,再由装置罐输送到常压蒸馏装置加工。混输与加工过程中,根据 R 炼油厂的调度特点设置以下调度原则:单输油要实现单独输送、储存与加工;原油在管道内混输过程中,要尽量实现混合原油中石脑油组分高低芳烃潜含量的分离,满足石脑油“宜烯则烯、宜芳则芳”的调度原则,同时分别满足两套常压蒸馏装置对混合原油的质量要求(如硫含量、一次轻油收率等);当装置罐向常压蒸馏装置进油时,该装置罐不能收油,反之亦然;在一个周期内,一个装置罐最多只能向一个常压蒸馏装置进料,同时一个常压蒸馏装置只能进一种混合油;尽量保证常压蒸馏装置的渣油收率平稳操作。

1.1 目标函数

$$\min OBJ = \sum_{t=1}^{SCH} \sum_{j=1}^{NBT} \sum_{j'=1}^{NBT} \sum_{i=1}^{NCDU} C_{CHA,j,j',i} Z_{j,j',l,t} + \sum_{t=1}^{SCH} \sum_{l'=1}^{SCH} \sum_{i=1}^{NCDU} P_{GAP}(GAP_{l,t,l'} + GAP_{l,l',t}) + P_{ETH} ANAE - E_{REF} ANAR$$

尽量减少常压蒸馏装置的进料切换次数是通过在目标函数中求总切换费用最小来实现的;尽量保证常减压蒸馏装置的渣油收率平稳操作,可以通过在管道混输原油时,对定向到常压蒸馏装置的装置罐进料中渣油组分的偏差最小化来实现;而对混合原油石脑油组分的芳烃潜含量高低优化分离,则是在目标函数中对相应物流变量通过设置调节奖励系数和罚款系数来实现。

1.2 码头罐的物料平衡方程

t 周期码头罐 i 的原油量

$$V_{S,i,t} = V_{S,i,t-1} - F_{ST,i,t} \\ i = 1, \dots, NST; t = 1, \dots, SCH$$

1.3 管道输油物料约束方程

(1) t 周期自码头罐 i 输送到管道的原油流量限制

$$F_{ST,i,\min} K_{ST,i,t} \leq F_{ST,i,t} \leq F_{ST,i,\max} K_{ST,i,t} \\ i = 1, \dots, NST; t = 1, \dots, SCH$$

(2) 管道输油能力约束

$$TB_t = \sum_{i=1}^{NST} F_{ST,i,t} \quad t = 1, \dots, SCH \\ TB_{\min} G_{T,t} \leq TB_t \leq TB_{\max} G_{T,t} \quad t = 1, \dots, SCH$$

1.4 管道输油质量约束方程

(1) t 周期管道输送原油组分 k 的量

$$v_{T,k,t} = \sum_{i=1}^{NST} F_{ST,i,t} \xi_{S,i,k} \quad t = 1, \dots, SCH; k = 1, \dots, NCE$$

(2) t 周期由管道输送到装置罐的原油组分 k 的量

$$v_{T,k,t} = \sum_{j=1}^{NBT} f_{TB,j,k,t} \quad t = 1, \dots, SCH; k = 1, \dots, NCE$$

(3) t 周期由管道输送到装置罐 j 的原油组分 k 的流量限制

$$\xi_{B,j,k,\min} F_{TB,j,t} \leq f_{TB,j,k,t} \leq \xi_{B,j,k,\max} F_{TB,j,t} \\ j = 1, \dots, NBT; t = 1, \dots, SCH; k = 1, \dots, NCE$$

1.5 石脑油组分物料平衡约束方程

(1) t 周期管道原油中的石脑油组分量

$$WNA_t = \sum_{i=1}^{NST} a_i F_{ST,i,t} \quad t = 1, \dots, SCH$$

(2) 石脑油组分物料平衡

$$WNA_t = WNA_t + WNAE_t \quad t = 1, \dots, SCH$$

$$WNA_t = \sum_{t=1}^{SCH} WNA_t$$

$$WNAE = \sum_{t=1}^{SCH} WNAE_t$$

(3) t 周期混合原油石脑油芳烃潜含量

$$ANA_t = \sum_{i=1}^{NST} \alpha_i \beta_i F_{ST,i,t} \quad t = 1, \dots, SCH$$

$$ANA_t = ANAR_t + ANAE_t \quad t = 1, \dots, SCH$$

(4) 催化重整石脑油组分与乙烯石脑油组分比例约束

$$\mu_{\min} WNAE \leq WNAE \leq \mu_{\max} WNAE$$

(5) 石脑油去向约束

$$WNAE_t \leq M(1 - INAR_t) \quad WNAE_t \leq M \times INAR_t$$

$$ANA_t \leq M(1 - INAR_t) \quad ANA_t \leq M \times INAR_t$$

$$t = 1, \dots, SCH$$

M 为足够大正数,如 $M = 1\,000$,这里 $INAR_t$ 为 0-1 变量,当 $INAR_t$ 为 0 时, $WNAE_t = ANAE_t = 0$,石脑油组分用于乙烯;当 $INAR_t$ 为 1 时, $WNAE_t = ANAE_t = 0$,石脑油组分用于重整。

1.6 渣油组分平稳约束方程

(1) 渣油量操作平稳约束

$$\sum_{j=1}^{NBT} f_{TB,j,k,t} - \sum_{j=1}^{NBT} f_{TB,j,k,t'} - GAP_{l,t,t'} + GAP_{l,t',t} \leq$$

$$M(2 - \sum_{\Omega_l} K_{TB,j,t} - \sum_{\Omega_l} K_{TB,j,t'})$$

$$\sum_{j=1}^{NBT} f_{TB,j,k,t} - \sum_{j=1}^{NBT} f_{TB,j,k,t'} - GAP_{l,t,t'} + GAP_{l,t',t} \geq$$

$$-M(2 - \sum_{\Omega_l} K_{TB,j,t} - \sum_{\Omega_l} K_{TB,j,t'})$$

k = 渣油收率, $t = 1, \dots, SCH, t' = 2, \dots, SCH, t' > t$,

Ω_l = 定向到 CDUL 的装置罐, $l = 1, \dots, NCDU$

该方程表明,对 CDUL 的进料装置罐而言,在整个调度周期内控制管道混合原油中渣油组分的偏差,与目标函数对渣油组分的偏差最小化的结合,使 CDUL 的定向装置罐的进料原油中渣油组分偏差最小,进而使得 CDUL 的渣油侧线操作平稳。

1.7 装置罐的物料平衡方程

(1) t 周期自管道输送到装置罐的混合原油量

$$\sum_{j=1}^{NBT} F_{TB,j,t} = TB_t \quad t = 1, \dots, SCH$$

(2) t 周期由管道输送到装置罐 j 的混合原油量限制

$$F_{TB,j,t} \leq M \times K_{TB,j,t} \quad j = 1, \dots, NBT; t = 1, \dots, SCH$$

(3) t 周期装置罐 j 混合原油量

$$V_{B,j,t} = V_{B,j,t-1} + F_{TB,j,t} - \sum_{l=1}^{NCDU} F_{BC,j,l,t}$$

$$j = 1, \dots, NBT; t = 1, \dots, SCH$$

(4) t 周期自装置罐 j 输入到 CDUL 的原油流量限制

$$F_{BC,j,l,\min} D_{j,l,t} \leq F_{BC,j,l,t} \leq F_{BC,j,l,\max} D_{j,l,t}$$

$$j = 1, \dots, NBT; \quad l = 1, \dots, NCD; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(5) t 周期装置罐 j 中油量限制

$$V_{B,j,\min} \leq V_{B,j,t} \leq V_{B,j,\max}$$

$$j = 1, \dots, NBT; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(6) 任何时候自管道最多向一个装置罐输油

$$\sum_{j=1}^{NBT} K_{TB,j,t} \leq 1 \quad t = 1, \dots, SCH$$

(7) 装置罐不能同时进出原油约束

$$K_{TB,j,t} + \sum_{l=1}^{NCDU} D_{j,l,t} \leq 1 \quad j = 1, \dots, NBT; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(8) 根据原油中石脑油组分高低芳潜确定原油进不同装置罐逻辑约束

$$INAR_t = \sum_{\Omega_1} K_{TB,j,t}$$

$t = 1, \dots, SCH; \Omega$ 为高芳潜石脑油组分装置罐

1.8 CDU 装置进料原则及物料平衡方程

(1) 任何时候装置罐 j 最多只能向一个 CDU 进料

$$\sum_{l=1}^{NCDU} D_{j,l,t} \leq 1 \quad j = 1, \dots, NBT; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(2) 任何时候 CDU l 只能由一个装置罐进料

$$\sum_{j=1}^{NBT} D_{j,l,t} = 1 \quad l = 1, \dots, NCDU; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(3) 如果 $t-1$ 周期 CDU l 进料为混合原油 j 而 t 周期切换为混合原油 j' , 则涉及到切换费用

$$Z_{j,j',l,t} \geq D_{j',l,t} + D_{j,l,t-1} - 1$$

$$j, j' (j \neq j') = 1, \dots, NBT, \quad l = 1, \dots, NCDU,$$

$$t = 1, \dots, SCH$$

(4) t 周期 CDU l 装置的进料量

$$C_{l,t} \sum_{j=1}^{NBT} F_{BC,j,l,t} \quad l = 1, \dots, NCDU; \quad t = 1, \dots, SCH$$

(5) t 周期 CDU l 装置的进料量限制

$$C_{l,\min} \leq C_{l,t} \leq C_{l,\max} \quad l = 1, \dots, NCDU; \quad t = 1, \dots, SCH$$

1.9 石蜡基原油的渣油平衡约束方程

(1) t 周期石蜡基原油的渣油罐渣油量

$$V_{Z,t} = V_{Z,t-1} + F_{BC,j,l,t} \xi_j - DZ_t$$

$t = 1, \dots, SCH; j$ 为石蜡基原油装置罐; l 为加工石蜡基原油的 CDU 装置

(2) t 周期石蜡基渣油罐的容量限制

$$V_{Z,\min} \leq V_{Z,t} \leq V_{Z,\max} \quad t = 1, \dots, SCH$$

1.10 定向操作约束方程

(1) 管道输油品种数约束

$$\sum_{\Omega_2} K_{ST,j,t} \leq n(1 - K_{ST,i',t})$$

$t = 1, \dots, SCH; \Omega_2$ 为可混输原油; i' 为单输油

(2) 单输油进单输油装置罐(单储罐)逻辑约束

$$K_{ST,j',t} = K_{TB,j',t}$$

$t = 1, \dots, SCH; i'$ 为单输油; j' 为单储罐

2 应用实例

某炼厂 R 有如下调度特点:卡宾达原油的渣油适合与蜡油掺炼进重油催化裂化装置,需要单输单储单炼;阿曼原油的直馏石脑油由于芳烃潜含量低适合进乙烯裂解装置,也需要单输单储单炼;装置罐 1、2 定向供给常减压 1# 装置,装置罐 3~6 定向供给常减压 2# 装置,混输原油种数不超过 2 种。根据月计划和原油到港日期及调度原则的要求,编制原油调度计划的初始数据,如表 1 至表 3 所示。

表 1 码头罐数据

编号	原油名称	期初库存/ kt	可供量/ kt	可用 日期/天	硫质量分数/ %	< 350℃ 收率/ %	渣油收率/ %	石脑油收率/ %	石脑油芳烃潜 含量/%	单输 标志
1	马西拉	64.0	0	1	0.554	45.70	26.77	13.09	36.21	
2	扎非洛	51.0	0	1	0.240	57.55	19.33	17.08	55.95	
3	奎都	0	128.0	2	0.660	35.96	36.20	5.25	68.29	
4	阿曼	0	128.0	5	1.018	46.44	32.91	7.43	27.33	yes
5	卡宾达	0	67.1	8	0.140	40.49	35.79	12.27	41.72	yes
6	奥都都	0	57.5	10	0.150	64.67	12.83	17.87	56.00	
7	科乐	0	135.0	15	0.280	54.50	23.84	15.80	38.28	
8	瓦利欧	0	119.4	24	0.585	62.70	14.03	18.54	36.41	
合计		115.0	630.0							

表 2 装置罐数据

编号	装置罐容量/ kt			硫质量分数/ %		< 350℃ 收率/%			渣油收率/ %		石脑油 收率/%	石脑油 芳潜/%	是否适 合 FCC	是否需 要单储	高低芳 潜标志
	期初库存	最低限	最高限	期初量	期高量	期初量	最低限	最高限	期初量	最高限	期初量	期初量	掺渣		
1	35.0	5.0	100	0.320	1.03	53.4	40	55	25.85	36	13.3	54.33	no	no	high
2	27.0	5.0	100	0.530	1.03	49.1	40	55	29.47	36	12.5	45.29	no	no	low
3	19.0	5.0	50	0.700	1.03	47.4	40	55	30.78	36	11.4	57.12	no	no	high
4	28.0	5.0	50	0.560	1.03	45.3	40	55	28.22	36	16.2	36.21	no	no	low
5	20.0	5.0	50	0.140	1.03	40.49	40	55	35.79	36	12.27	41.72	yes	yes	low
6	15.0	5.0	50	1.018	1.03	46.44	40	55	32.91	36	7.43	27.33	no	yes	low

表 3 常减压装置数据

装置名称	进料硫质量 分数/%	≤350℃轻油 收率/%	渣油收率/ %	进料量/ kt·d ⁻¹
常减压 1 [#]	≤0.65	45 ~ 55	≤30	14
常减压 2 [#]	≤1.03	40 ~ 48	≤36	7

表 4 其他控制条件

周期/ d	周期 个数	石蜡基渣油 日需求量/kt	管道日流量/kt		石蜡基渣油罐储量/kt		
			最小	最大	初期	最小	最大
1	10	0.8	22.0	22.0	4.0	0.8	8.0

根据上述调度模型对实例进行应用,模型的规模为 1231×1131 , 整型变量有 179 个, 用 CPLEX9.0 求解, 求解时间为 484 s。

管道输油结果如图 1 所示, 混输原油的质量如表 5 所示。从表 5 可以看到, 含有较高芳烃潜含量的石脑油组分用于催化重整, 该原油进入高芳潜装

置罐, 平均芳潜为 $(1.523 \times 3 + 1.190 \times 2) / (2.61 \times 3 + 1.95 \times 2) = 59.24\%$; 含有较低芳烃潜含量的石脑油组分用于乙烯生产, 该原油进入低芳潜装置罐, 平均芳潜为 $(1.043 \times 2 + 0.447 \times 2 + 1.126) / (2.88 \times 2 + 1.63 \times 2 + 2.70) = 35.03\%$, 实现了高、低芳烃潜石脑油组分的原油分输分储。装置罐的调度结果如图 2 ~ 图 6 所示, 各装置罐的库存、硫含量、轻油收率、渣油收率均满足进常减压装置的要求。由图 2 可见, 第一天装置罐 2 收油, 装置罐 1 和 5 付油; 第二天装置罐 1 收油, 装置罐 2 和 5 付油……根据装置罐收油情况, 可以得到进入装置罐 1 和 2 的混输原油渣油组分流量变化为零, 进入装置罐 3 ~ 6 的渣油组分流量变化为 2.49 kt。图 6 表明装置罐 1 和 3 是高芳潜含量的装置罐, 而装置罐 2、4、5、6 是低芳潜含量的装置罐。由图 7 和图 8 可以看到, 常减压 1[#] 装置的进料切换次数是 3 次, 常减压 2[#] 装置的进料切换次数是 5 次。图 9 表明渣油罐的库存满足容量限制要求。

表 5 管道输油质量表

日期	流量/kt	硫质量 分数/%	≤350℃轻油 收率/%	渣油收率/%	芳烃潜 含量/%	重整料量/ kt	乙烯料量/ kt	重整料芳 潜总量/kt	乙烯料芳 潜总量/kt
1	22.00	0.5540	45.70	26.77	36.21	0.00	2.88	0.000	1.043
2	22.00	0.4252	48.03	26.77	58.36	2.61	0.00	1.523	0.000
3	22.00	0.4252	48.03	26.77	58.36	2.61	0.00	1.523	0.000
4	22.00	0.4252	48.03	26.77	58.36	2.61	0.00	1.523	0.000
5	22.00	1.0180	46.44	32.91	27.33	0.00	1.63	0.000	0.447
6	22.00	0.5318	42.55	31.05	61.03	1.95	0.00	1.190	0.000
7	22.00	1.0180	46.44	32.91	27.33	0.00	1.63	0.000	0.447
8	22.00	0.1400	40.49	35.79	41.72	0.00	2.70	0.000	1.126
9	22.00	0.5540	45.70	26.77	36.21	0.00	2.88	0.000	1.043
10	22.00	0.5318	42.55	31.05	61.03	1.95	0.00	1.190	0.000

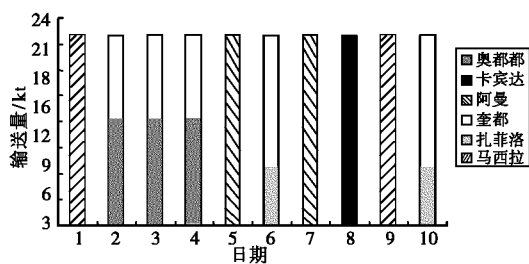


图1 管道原油混输结果

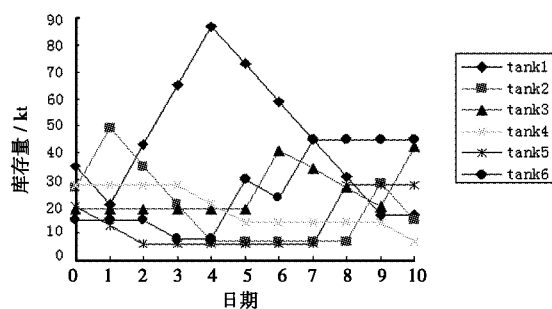


图2 装置罐在调度周期内库存的变化

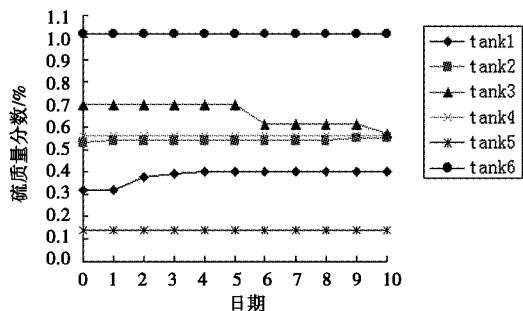


图3 装置罐在调度周期内硫质量分数的变化

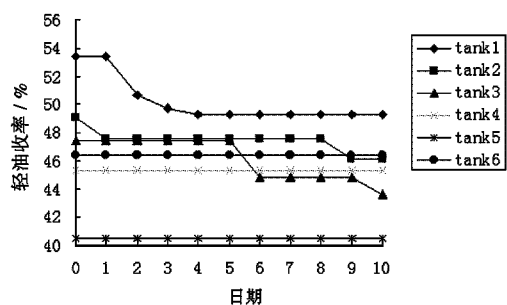


图4 装置罐在调度周期内轻油收率的变化

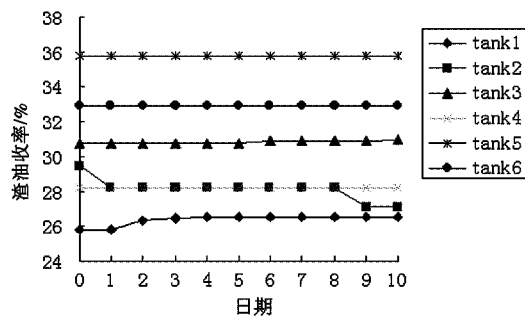


图5 装置罐在调度周期内渣油收率的变化

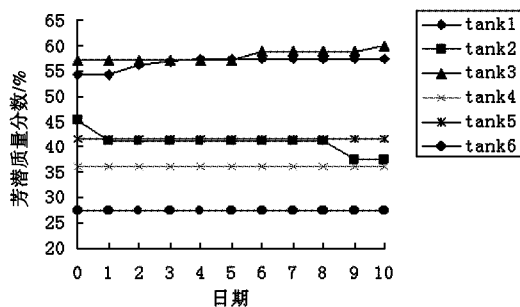


图6 装置罐在调度周期内芳烃潜质量分数的变化

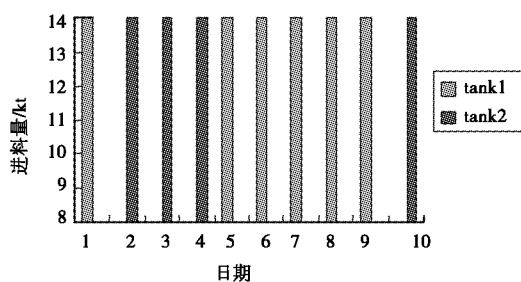


图7 CDU1#在调度周期进料来源

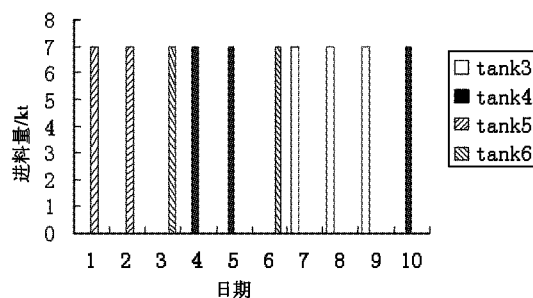


图8 CDU2#在调度周期进料来源

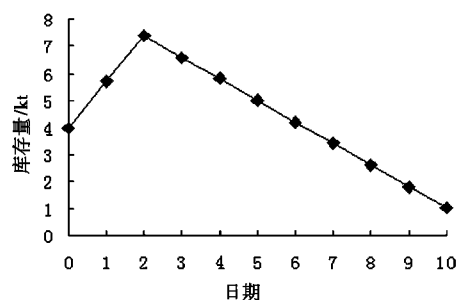


图9 渣油罐在调度周期库存的变化

3 结论

通过对炼油厂原油调度作业计划模型法的研究和应用,可以证明采用严格优化的方法能够充分考虑炼油厂原油调度问题的经济性,用 MILP 方法和多周期技术建立的原由混输调度数学模型,可以在

合理的时间内得到模型的最优解,此时的调度结果是可行的调度。但若调度时间加长,模型规模过大的情况下,即使用最先进的求解软件也得不到可行解,这时可以采用周期滚动的办法来实现更长时间的调度问题。

符号说明

下标变量

$i = 1, 2, 3, \dots, NST$: 码头罐;

$j = 1, 2, 3, \dots, NBT$: 装置罐;

$k = 1, 2, 3, \dots, NCE$: 原油关键组分;

$l = 1, 2, 3, \dots, NCDU$: 原油蒸馏装置;

$t = 1, 2, 3, \dots, SCH$: 时间周期。

变量

$K_{ST,i,t}$: 0-1 变量,若 t 周期码头罐 i 向管道输油,该变量值为 1,否则为 0;

$G_{T,t}$: 0-1 变量,若 t 周期管道输油,该变量值为 1,否则为 0;

$K_{TB,j,t}$: 0-1 变量,若 t 周期由管道向 j 装置罐输油,该变量值为 1,否则为 0;

$D_{j,l,t}$: 0-1 变量,若 t 周期由装置罐 j 向 CDU_l 进油,该变量值为 1,否则为 0;

$INAR_t$: 0-1 变量,若 t 周期管道输送原油的石脑油组分为高芳潜,该变量值为 1,否则为 0;

$Z_{j,j',l,t}$: 0-1 连续变量,若 t 周期进入 CDU_l 的混合原油由 j 切换为 j' ,该变量值为 1,否则为 0;

$V_{S,i,t}$: t 周期码头罐 i 中原油的库存量;

$V_{S,i,t-1}$: $t-1$ 周期码头罐 i 中原油的库存量;

$F_{ST,i,t}$: t 周期自码头罐 i 输送到管道的原油量;

TB_t : t 周期管道的输油量;

$v_{T,k,t}$: t 周期管道输送原油组分 k 的量;

$F_{TB,j,t}$: t 周期由管道输送到装置罐 j 的混合原油流量;

$f_{TB,j,k,t}$: t 周期由管道输送到装置罐 j 的混合原油中组分 k 的流量;

WNA_t : t 周期管道原油中的石脑油组分量;

WNA_R : 调度周期内管道原油中的高芳潜石脑油组分量;

WNA_E : 调度周期内管道原油中的低芳潜石脑油组分量;

$WNA_{R,t}$: t 周期管道原油中的高芳潜石脑油组分量;

$WNA_{E,t}$: t 周期管道原油中的低芳潜石脑油组分量;

ANA_t : t 周期管道原油中的石脑油组分的芳烃潜含量总量;

$ANAR_t$: t 周期管道原油中的高芳潜石脑油组分芳烃潜含量总量;

$ANAE_t$: t 周期管道原油中的低芳潜石脑油组分芳烃潜含量总量;

$GAP_{l,t,t'}$: t 周期与 t' 周期进入定向到 CDU_l 的装置罐的混输原油中渣油组分偏差;

$GAP_{l,t',t}$: t' 周期与 t 周期进入定向到 CDU_l 的装置罐的混输

原油中渣油组分偏差;

$V_{B,j,t}$: t 周期装置罐 j 中混合原油的库存量;

$V_{B,j,t-1}$: $t-1$ 周期装置罐 j 中混合原油的库存量;

$F_{BC,j,l,t}$: t 周期自装置罐 j 输送到 CDU_l 的混合原油量;

$C_{l,t}$: t 周期 CDU_l 的进料量;

$V_{Z,t}$: t 周期石蜡基原油的渣油罐渣油量;

$V_{Z,t-1}$: $t-1$ 周期石蜡基原油的渣油罐渣油量。

参数

$F_{ST,i,\min}$: t 周期自码头罐 i 输送到管道的原油量下限;

$F_{ST,i,\max}$: t 周期自码头罐 i 输送到管道的原油量上限;

$TB_{\min}$: t 周期管道输油量下限;

$TB_{\max}$: t 周期管道输油量上限;

$\xi_{S,i,k}$: 码头罐 i 中关键组分 k 的含量;

$\xi_{B,j,k,\min}$: 装置罐 j 中关键组分 k 的含量下限;

$\xi_{B,j,k,\max}$: 装置罐 j 中关键组分 k 的含量上限;

α_i : 码头罐 i 中石脑油组分含量;

$\mu_{\min}$: 调度周期内高芳潜石脑油组分量与低芳潜石脑油组分量比例下限;

$\mu_{\max}$: 调度周期内高芳潜石脑油组分量与低芳潜石脑油组分量比例上限;

$F_{BC,j,l,\min}$: t 周期自装置罐 j 输送到 CDU_l 的混合原油量下限;

$F_{BC,j,l,\max}$: t 周期自装置罐 j 输送到 CDU_l 的混合原油量上限;

$V_{B,j,\min}$: 装置罐 j 容量下限;

$V_{B,j,\max}$: 装置罐 j 容量上限;

$C_{l,\min}$: t 周期 CDU_l 的进料量下限;

$C_{l,\max}$: t 周期 CDU_l 的进料量上限;

D_t : t 周期石蜡基原油的渣油掺渣量;

ζ_j : 石蜡基原油的渣油组分含量;

$V_{Z,\min}$: t 周期石蜡基原油的渣油罐容量下限;

$V_{Z,\max}$: t 周期石蜡基原油的渣油罐容量上限。

参考文献

- [1] Kelly J D, Mann J L. [J]. Hydrocarbon Process, 2003, 6: 47-53.
- [2] Lee Heeman, Pinto J M, Grossmann I E, et al. [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1996, 35: 1630-1641.
- [3] Shah N. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1996, 20: S1227-S1232.
- [4] Steinschorn D, Hofferl F. Refinery scheduling using mixed integer LP and dynamic recursion. [A]. In: NPRA 1997 Computer Conference [C]. New Orleans, LA, 1997.
- [5] Pinto J M, Joly M, Moro L F L. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24: 2259-2276.
- [6] 王雁君, 张慧, 何银仁, 等. [J]. 计算机与应用化学, 2004, 21(1): 35-39. ■