

基于确定条件的原油调度的非线性和线性优化问题

沿河流或者海洋石化企业的原油调度问题包括原油卸载装置、原油罐区、混合罐区和常减压（CDU）等加工装置。在一个给定的周期内，油轮需要先停靠在码头，如果码头繁忙，其必须等待前面油轮离港后才能驶入。然后，原油从油轮卸载到原油罐，再传输到混合罐进行调合，最终使得符合要求的混合原油连续不断的进入常减压装置。

作业中的原油调度模型是基于Lee等人的确定性模型，Mixed-integer linear programming model for refinery short-term scheduling of crude oil unloading with inventory management. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1996, 35(5): 1630-1641. 为了模型的完整性，首先对确定性模型进行描述，并且在模型简化原油调度中调和罐组分变化的情况中，还原出调合罐中由于原油进入调合产生的非线性，在传统的调度问题建模的MINLP问题中，通常采用线性化或者迭代的方式来回避或者分布的解决这一个困扰实际调度解决的非线性。在本次作业中，我采用了一个较小规模的原油罐区，并且试凑了一组可行数据来解决这个原油调度问题，由于这一个混合整数非线性问题的复杂程度，在用传统GAMS中提供个的求解策略对初始数据特别是组分浓度的上下限十分敏感。现将数学模型叙述如下，各个符号量说明见最后一页：

(1) 油轮到港和离开操作规则

为了描述油轮与港口的连接，我们定义了一个变量 $X_{F,v,t}$ 来表示油轮 v 在 t 时刻是否开始卸载， $X_{L,v,t}$ 表示油轮 v 在 t 时刻是否离开， $X_{W,v,t}$ 表示油轮 v 在 t 时刻内是否正在进行操作。规则约束如下所示：

每个油轮在整个时间周期内只能到港和离港一次，因此可以表达为：

$$\sum_{t=1}^{N_{SCH}} X_{F,v,t} = 1, \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{N_{SCH}} X_{L,v,t} = 1, \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (2)$$

根据以上约束，卸载开始时刻和离开时候可以表示为：

$$T_{F,v} = \sum_{t=1}^{N_{SCH}} t X_{F,v,t} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (3)$$

$$T_{L,v} = \sum_{t=1}^{N_{SCH}} t X_{L,v,t} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (4)$$

卸载只能在开始和完成时间内进行：

$$X_{W,v,t} \leq \sum_{h=1}^t X_{F,v,h} \quad v = 1, \dots, N_v, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (5)$$

$$X_{W,v,t} \leq \sum_{h=t}^{N_{SCH}} X_{L,v,h} \quad v = 1, \dots, N_v, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (6)$$

油轮必须到达时间 $T_{ARR,v}$ 后才能卸载：

$$T_{F,v+1} \geq T_{L,v} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (7)$$

$$T_{F,v+1} \geq T_{L,v} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (8)$$

$$T_{L,v} - T_{F,v} \geq \left[\frac{V_{V,v,0}}{\text{MAX}_i[F_{VS,v,i,\max}]} \right] \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (9)$$

$$T_{F,v} \geq T_{ARR,v} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (10)$$

(2) 油轮的物料平衡

油轮必须在规定时间内卸载原油，输送的速率应该在管道的运输能力内：

$$V_{V,v,t} = V_{V,v,0} - \sum_{i=1}^{N_{ST}} \sum_{h=1}^t F_{VS,v,i,h} \quad v = 1, \dots, N_v, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{ST}} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} F_{VS,v,i,t} = V_{V,v,0} \quad v = 1, \dots, N_v. \quad (12)$$

$$F_{VS,v,i,\min} X_{W,v,t} \leq F_{VS,v,i,t} \leq F_{VS,v,i,\max} X_{W,v,t} \quad (13)$$

$$v = 1, \dots, N_v, i = 1, \dots, N_{ST}, t = 1, \dots, N_{SCH}.$$

(3) 原油罐的物料平衡

$$V_{S,i,t} = V_{S,i,0} + \sum_{v=1}^{N_v} \sum_{h=1}^t F_{VS,v,i,h} - \sum_{i=1}^{N_{BT}} \sum_{h=1}^t F_{SB,i,j,h} \quad i = 1, \dots, N_{ST}, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (14)$$

$$V_{S,i,\min} \leq V_{S,i,t} \leq V_{S,i,\max} \quad i = 1, \dots, N_{ST}, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (15)$$

$$F_{SB,i,j,\min} (1 - \sum_{u=1}^{N_U} Y_{j,u,t}) \leq F_{SB,i,j,t} \leq F_{SB,i,j,\max} (1 - \sum_{u=1}^{N_U} Y_{j,u,t}) \quad (16)$$

$$i = 1, \dots, N_{ST}, t = 1, \dots, N_{SCH}, j = 1, \dots, N_{BT}.$$

(4) 混合罐的物料平衡

$$V_{B,j,t} = V_{B,j,0} + \sum_{i=1}^{N_{BT}} \sum_{h=1}^t F_{SB,i,j,h} - \sum_{l=1}^{N_{CDU}} \sum_{h=1}^t F_{BC,j,u,h} \quad j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (17)$$

$$V_{B,j,\min} \leq V_{B,j,t} \leq V_{B,j,\max} \quad j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (18)$$

$$F_{BC,j,u,\min} Y_{j,u,t} \leq F_{BC,j,u,t} \leq F_{SB,i,j,\max} Y_{j,u,t} \quad (19)$$

$$j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, u = 1, \dots, N_U.$$

(5) 关键组分 kk 在混合罐中的物料平衡

$$vk_{B,j,kk,t} = v_{B,j,kk,0} + \sum_{h=1}^t \left(\sum_{i=1}^{N_{ST}} f_{SB,i,j,kk,h} - \sum_{u=1}^{N_U} f_{BC,j,u,kk,h} \right) \quad (20)$$

$$j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$V_{B,j,t} \xi_{B,j,kk,\min} \leq vk_{B,j,kk,t} \leq V_{B,j,t} \xi_{B,j,kk,\max} \quad (21)$$

$$l = 1, \dots, N_{CDU}, j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$f_{SB,i,j,kk,t} = F_{SB,i,j,t} \xi_{S,i,kk} \quad (22)$$

$$i = 1, \dots, N_{ST}, j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$F_{BC,j,u,t} \xi_{B,j,kk,\min} \leq f_{BC,j,u,kk,t} \leq F_{BC,j,u,t} \xi_{B,j,kk,\max} \quad (23)$$

$$u = 1, \dots, N_{CDU}, j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$F_{BC,j,u,t} \xi_{B,j,kk} = f_{BC,j,u,kk,t} \quad (24)$$

$$u = 1, \dots, N_{CDU}, j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$\xi_{B,j,kk,\min} \leq \xi_{B,j,kk} \leq \xi_{B,j,kk,\max} \quad (25)$$

(6) 混合罐的操作约束

$$\sum_{u=1}^{N_U} Y_{j,u,t} \leq 1 \quad j = 1, \dots, N_{BT}, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^{N_{BT}} Y_{j,u,t} \leq 1 \quad u = 1, \dots, N_U, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (27)$$

切换可以表示为:

$$YY_{j,u,t} \geq Y_{j,u,t} + Y_{j,u,(t+1)} - 1 \quad j = 1, \dots, N_{BT}, u = 1, \dots, N_U, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (28)$$

$$YY_{j,u,t} \leq Y_{j,u,(t+1)} \quad j = 1, \dots, N_{BT}, u = 1, \dots, N_U, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (29)$$

$$YY_{j,u,t} \leq Y_{j,u,t} \quad j = 1, \dots, N_{BT}, u = 1, \dots, N_U, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (30)$$

$$CH_{u,t} \geq Y_{j,u,t} + Y_{j,u,(t+1)} - 2YY_{j,u,t} \quad j = 1, \dots, N_{BT}, u = 1, \dots, N_U, t = 1, \dots, N_{SCH}. \quad (31)$$

(7) 需求

混合原油 j 的总量应该满足 CDU 的加工需求:

$$\sum_{u=1}^{N_U} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} F_{BC,j,u,t} \geq Dem_j \quad j = 1, \dots, N_{BT}. \quad (32)$$

(8) 调度目标函数

整个优化问题的目标为最大化利润, 表示为:

Maximize

$$C_{PROFIT,j} \sum_{u=1}^{N_U} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} F_{BC,j,u,t} - \{C_{UNLOAD,v} \sum_{v=1}^{N_v} (T_{L,v} - T_{F,v} + 1) + C_{SEA,v} \sum_{v=1}^{N_v} (T_{F,v} - T_{ARR,v})$$

$$+ C_{INVT,i} \sum_{i=1}^{N_{ST}} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} (\frac{V_{S,i,t} + V_{S,i,t-1}}{2}) + C_{INVL,j} \sum_{j=1}^{N_{BT}} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} (\frac{V_{B,j,t} + V_{B,j,t-1}}{2})$$

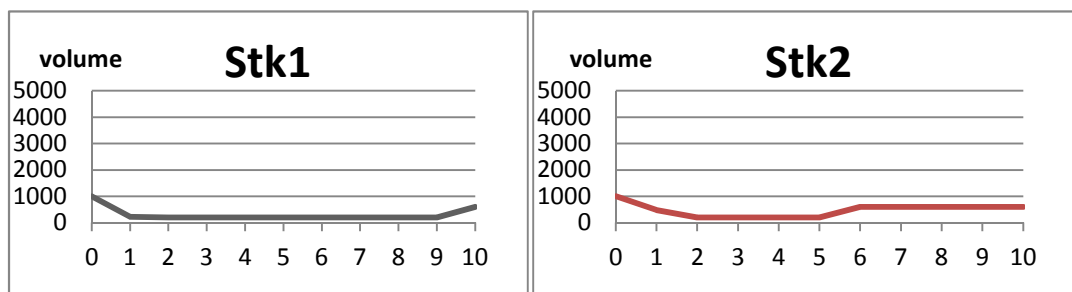
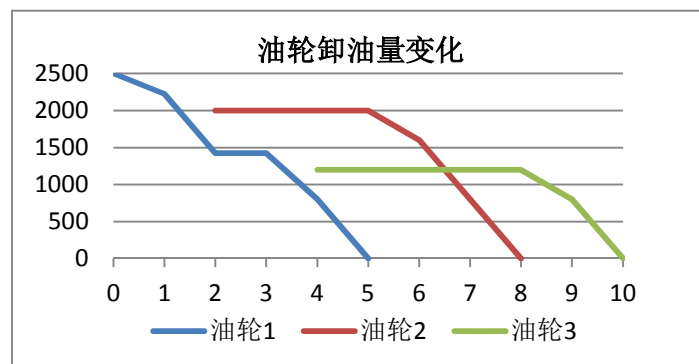
$$+ \sum_{u=1}^{N_U} \sum_{t=1}^{N_{SCH}} (C_{SETUP,l} CH_{u,t})\} \quad (33)$$

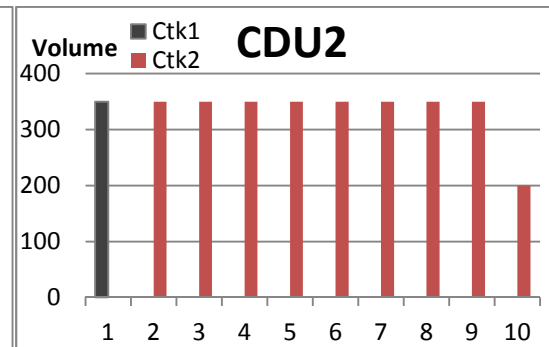
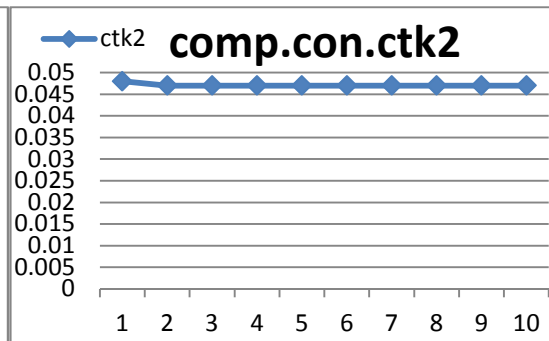
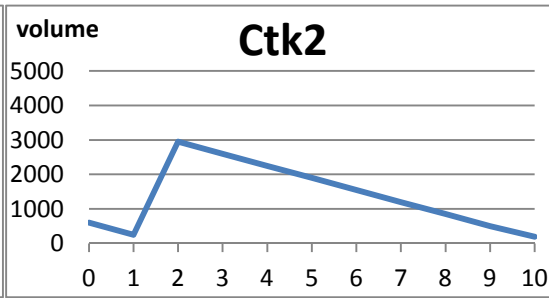
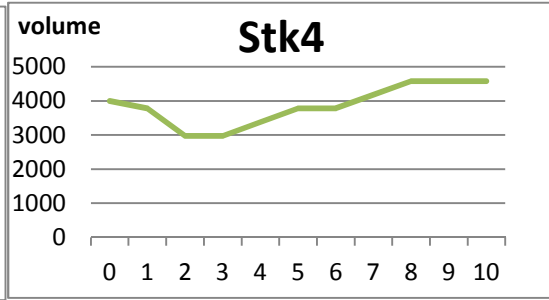
表 1. 调度问题的初始数据

调度周期长度	10
到达油轮的个数	3

	到达时间	载油量/t	关键组分浓度
Vessel1	1	2500	0.03
Vessel2	2	2000	0.05
Vessel3	4	1200	0.065
储油罐的个数		4	
储油罐	容量上下限/t	初始库存/t	初始关键组分浓度
Tank1	[200, 5000]	1000	0.031
Tank2	[200, 5000]	1000	0.03
Tank3	[200, 5000]	2000	0.05
Tank4	[200, 5000]	4000	0.065
调和罐的个数		2	
储油罐	容量上下限/t	初始库存/t	初始关键组分浓度 (min~max)
Tank1	[200, 5000]	600	0.0317 (0.03~0.035)
Tank2	[200, 5000]	600	0.0483 (0.043~0.05)
CDU 的个数		2	
油轮卸油操作成本		卸油 8, 等待 5	
罐储存成本		储罐 0.05, 调和罐 0.06	
常减压操作切换成本		[30, 30]	
调和罐输送需求上下限		[3000, 3100]	

在 GAMS 中代入上述数据和调度模型进行求解采用了 dicopt 来求解 MINLP 问题。最后得到的解如下图和表格所示：



[illegible]

vs3.stk3	0	0	0	0	0	0	0	0	400	400
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	-----

表 3. 原油罐向混合罐输送原油调度方案

Fsc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
stk1.ctl1	777.059	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stk1.ctl2	0	422.941	0	0	0	0	0	0	0	0
stk2.ctl1	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stk2.ctl2	0	677.059	0	0	0	0	0	0	0	0
stk3.ctl1	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stk3.ctl2	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0
stk4.ctl1	222.941	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stk4.ctl2	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0

在尝试几种初始数据的情况下,可以得知物性的上下限和初始的物性浓度对具有最明显的影响即使调度的周期减少也对求解问题无法起到作用,从解的结果可以看出,非线性的组分问题在第一周期结束以后就不再发生变化,因此才能够得到最后的优化解。常规算法对于实际的调度研究的混合整数非线性模型几乎不可能求出精确解。这一问题目前已经由 LI ZIKUI 解决和 GROSSMAN 提出的分步迭代等问题而最终解决。

调度问题 2

调度问题 2 的内容是智能工厂原油调度模块程序,在这里做了统一模块化的编程设计,为了数据库对整个调度仿真系统进行统一建模而采用了分汇流点模型,但其本质是一样的。

这里以小的原油调度模块为例:

在模型中认为油轮输送原油进入原油罐的组分变化可以忽略不计,认为其实固定不变的,如果需要按照实际处理也可以将原油罐区分成不同种原油罐分别接受不同种类的原油。

这里采用 CPLEX 的线性建模方式,我们规定每一个储罐只能接收固定的原油种类,并且定义物料的种类 $c1, c2, c3, \dots$, 并指定每一种到港油轮所含有的运输物料的种类

那么采用的逻辑如下:

$$F_{VS,v,i,\min} Tm_{m,i,t} \leq F_{VS,v,i,t} \leq F_{VS,v,i,\max} Tm_{m,i,t} \quad (34)$$

$$v = 1, \dots, N_v, i = 1, \dots, N_{ST}, m = m_v, t = 1, \dots, N_{SCH}.$$

$$V_{S,i,\max} - V_{S,i,t-1} \geq (TM_{m,i,t} - TM_{m,i,t-1}) * V_{S,i,\max} \quad (35)$$

$$V_{S,i,\max} - V_{S,i,t-1} \geq (TM_{m,i,t-1} - TM_{m,i,t}) * V_{S,i,\max} \quad (36)$$

$$TM_{m,i,t-1} = TM_{m,i,\text{ini}} \quad (37)$$

$$\sum_{m \in Mtr1} Tm_{m,i,t} = 1 \quad (38)$$

此外在物性部分同样通过固定的进料的组分浓度来判断从调合罐进入储罐的物料物性情况:

$$F_{VS,v,i,\min} Tm_{m,i,t} \leq fm_{SB,i,j,kk,t} \leq F_{VS,v,i,\max} Tm_{m,i,t}$$

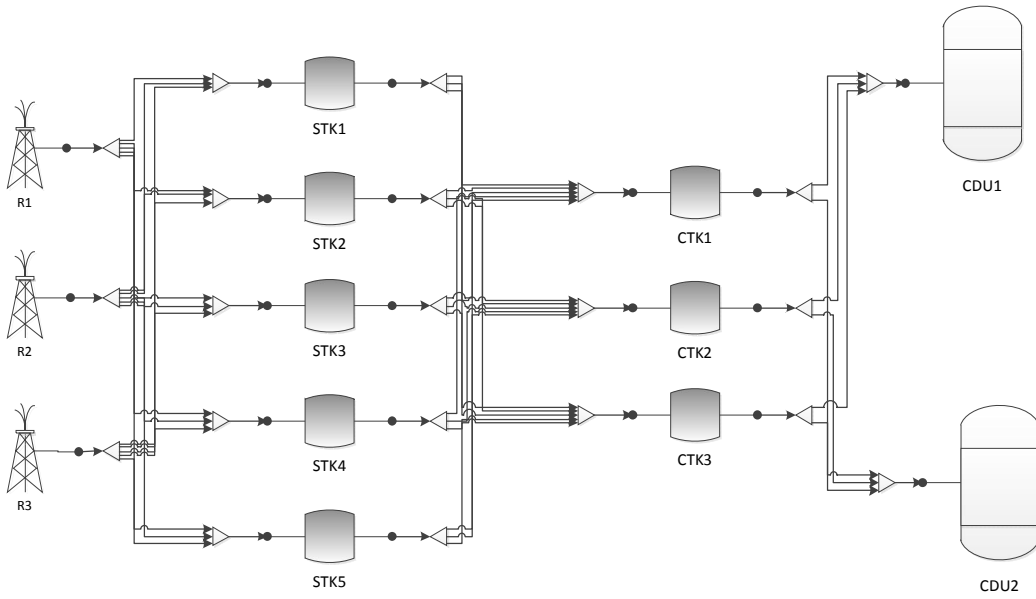
$$fm_{SB,m',i,j,kk,t} = Fm_{SB,m',i,j,t} \xi_{m',i,kk}$$

$$i = 1, \dots, N_{ST}, j = 1, \dots, N_{BT}, m = m', t = 1, \dots, N_{SCH}, kk = 1, \dots, N_{CE}.$$

$$\sum_{m \in M} Fm_{SB,m,i,j,t} = F_{SB,i,j,t}$$

$$\sum_{m \in M} fm_{SB,m,i,j,kk,t} = f_{SB,i,j,kk,t}$$

在线性模型中采用的结构如下，并且考虑到工程应用中的分汇流点问题，实际对分汇流点模型进行建模。此外我们将上述原油问题的所有运输用移动表示，这些改动是为了工厂调度模型统一建模的需要，工厂调度模型在此作业中暂时不提及。



主要的改动和模型变化为：

分汇流点模型为：

$$\sum_{p \in P_n^{in}} FL_{n,p,t} = \sum_{p \in P_n^{out}} FL_{n,p,t} \quad \forall n \in N^{SPS}, t$$

$$\sum_{p \in P_n^{in}} FL_{n,p,t} = \sum_{p \in P_n^{out}} FL_{n,p,t} \quad \forall n \in N^{SPM}, t$$

侧线与移动对应：

$$FL_{n,p,t} = MV_{n1,p1,n,p,t} \quad \forall n, p, t$$

$$FL_{n,p,t} = MV_{n,p,n2,p2,t} \quad \forall n, p, t$$

移动,运输上下限

$$FL_{n,p}^{LB} \leq FL_{n,p,t} \leq FL_{n,p}^{UP}$$

罐物料平衡改为：

$$V_{n,t} = V_{n,t-1} + FL_{n,p \in P_n^{in},t} - FL_{n,p \in P_n^{out},t} \quad \forall n, t > 1$$

$$V_{n,t} = V_n^{INI} + FL_{n,p \in P_n^{in},t} - FL_{n,p \in P_n^{out},t} \quad \forall n, t=1 \quad (48)$$

在此模型中，给出工厂调度方案的生产需求和质量需求，即给定值，并且同样给出原油到港等数据

满足需求：

$$\Delta Dem_{n,t} \geq Dem_{n,t} - \sum_{p \in P_n^{out}} FL_{n,p,t} \quad \forall n \in N^{UCDU}, t \quad (49)$$

这里为了仿真过程中的安全库存设计，考虑了两种安全库存，SAFE_LB 和 SAFE_UP 以及 CAP_LB 和 CAP_UP，对低于安全库存的情况进行惩罚，保证库存不经常处于最低值（这里最低值在调度中是由于储罐不足引起的）事实上在实际工厂中这一点也十分常见。

于是在目标函数中新增两项，其中 λ, β 是相应的惩罚值，可以调节对于储罐和调合罐中的库存值使得原油储罐中的原料不至于太少以因对可能波动

$$\lambda(V_{n \in V_s,t} - VSF_{n \in V_s}) + \beta(V_{n \in V_c,t} - VSF_{n \in V_c}) \quad (50)$$

N : Node, 节点

$N^T \in N$: Tank, 罐

$N^{SP} \in N$: Splitter and Mixer, 分汇流点

$N^{UCDU} \in N^U \in N$: Crude Distillation Unit 常减压装置

$N^{SPS} \in N^{SP} \in N$: Splitter 分流点

$N^{SPM} \in N^{SP} \in N$: Mixer 汇流点

P : Port, 接口，比如工厂里的侧线，一般表示为 $P_{N,p}$ ，节点 N 接口 P

L : Link, 连接关系， $L_{N1,P1,N2,P2}$

T : Time 周期

表 2.调度问题 2 的数据

调度周期长度		20	
到达油轮的个数		3	
	到达时间	载油量/t	关键组分浓度
Vessel1	1	2000	0.03
Vessel2	8	1500	0.05
Vessel3	14	5000	0.065
储油罐的个数		4	
储油罐	容量上下限/t	安全上下限/t	初始关键组分浓度

Tank1	[0, 5000]	[600, 4500]	1500	0.03 (M1)
Tank2	[0, 5000]	[600, 4500]	1000	0.05 (M2)
Tank3	[0, 5000]	[600, 4500]	1000	0.06 (M3)
Tank4	[0, 5000]	[600, 4500]	1000	0.03 (M2)
Tank4	[0, 5000]	[600, 4500]	1000	0.05 (M3)
调和罐的个数			2	
储油罐	容量上下限/t		初始库存/t	初始关键组分浓度 (min~max)
Tank1	[0, 5000]	[600, 4500]	1000	0.032 (0.032~0.047)
Tank2	[0, 5000]	[600, 4500]	1400	0.04 (0.038~0.058)
Tank3	[0, 5000]	[600, 4500]	1400	0.06 (0.045~0.065)
CDU 的个数			2	
油轮卸油操作成本			卸油 8, 等待 5	
罐储存成本			储罐 0.05, 调和罐 0.06	
常减压操需求每周期量			[200..]假定都相同	
调和罐输送需求上下限				

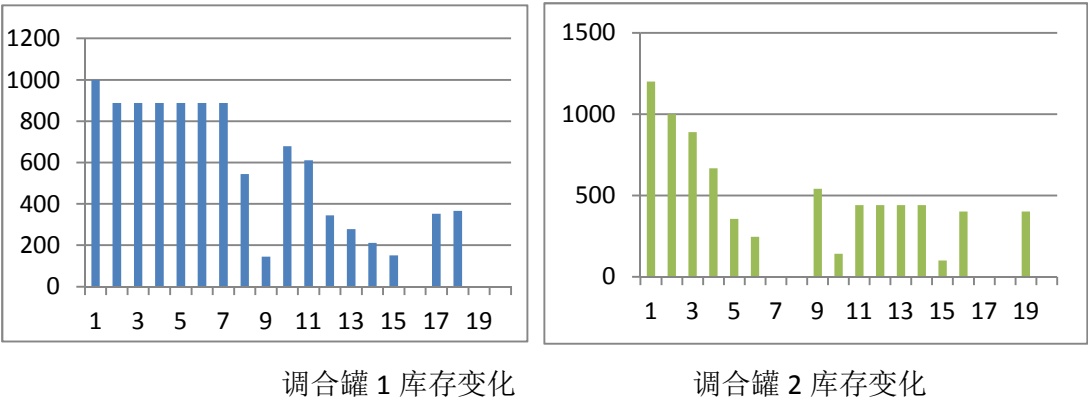
CDU1:LB	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
CDU1:UP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
CDU2:LB	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CDU2:UP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.055	0.055	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.06	0.06	0.06	0.06

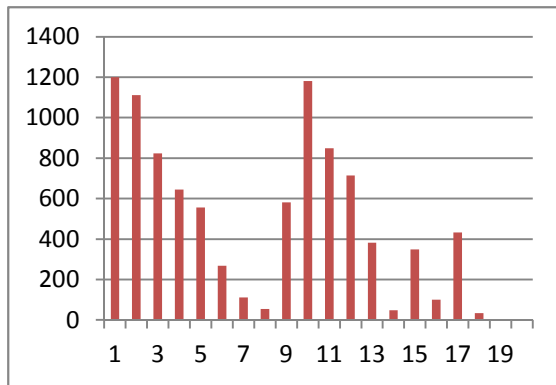
最后显示主要的结果参数如下：

我们考虑的是物料切换：那么产生切换的情况有：

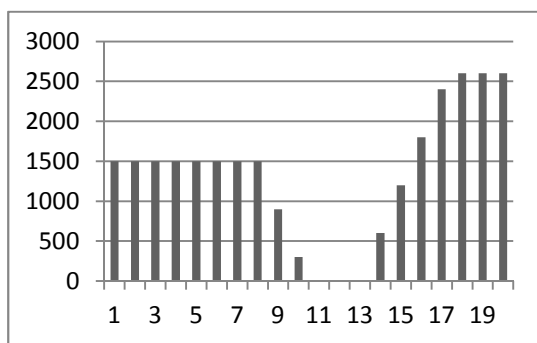
- 储罐 1，在第 12 个周期从原油 1 切换到切换到原油 2，此时在第 13 个周期清空后又切换到了原油 3
- 储罐 3，在第 11 个周期从原油 3 切换到原油 2，并在第 13 个周期清空后存放原油 3
- 储罐 5，在第 18 个周期从原油 2 切换到切换到原油 1，此时在第 19 个周期清空后又切换到了原油 2，在第 20 个周期存放原油 1

库存变化方案表：

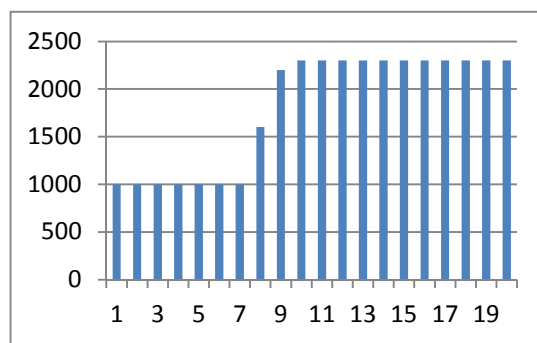




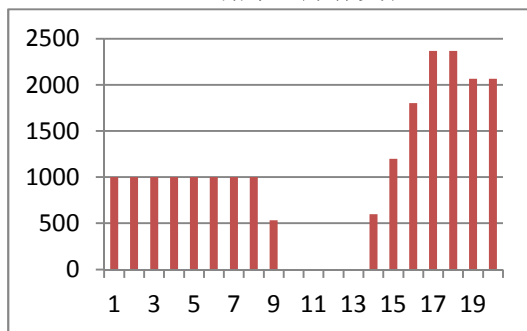
调合罐 3 库存变化



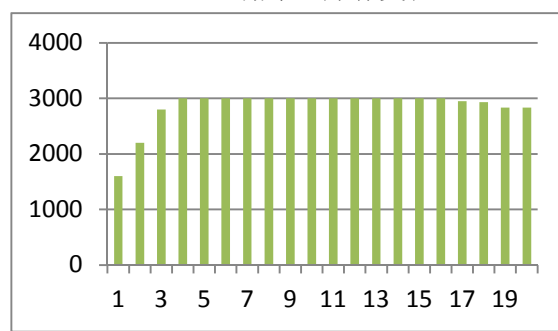
储罐 1 库存变化



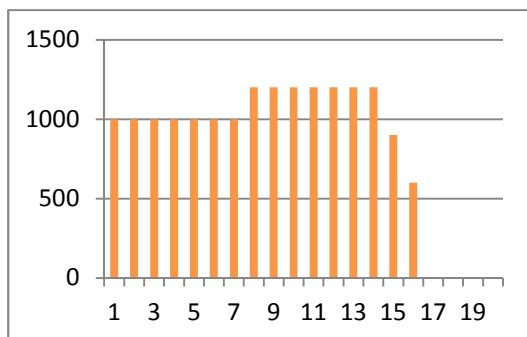
储罐 2 库存变化



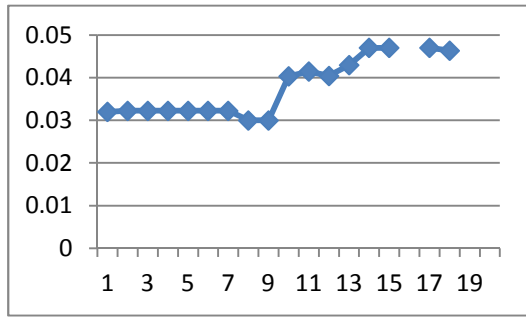
储罐 3 库存变化



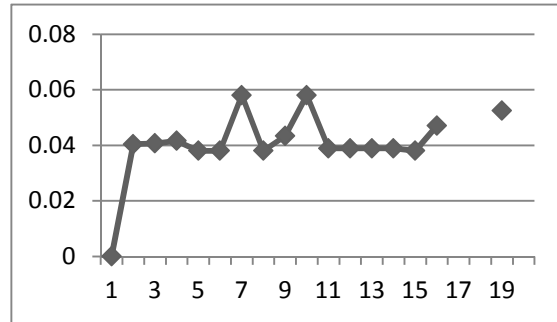
储罐 4 库存变化



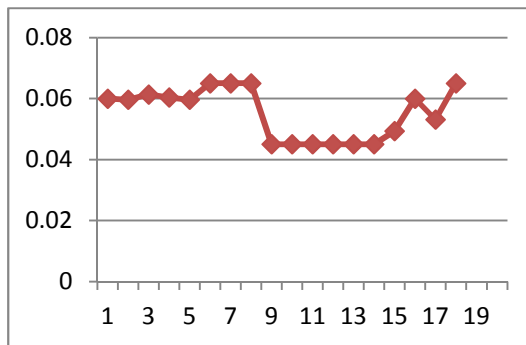
储罐 5 库存变化



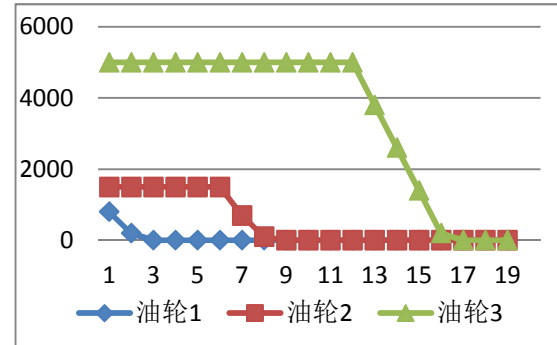
调合罐 1 浓度变化曲线



调合罐 2 浓度变化曲线



调合罐 3 浓度变化曲线



油轮变化曲线

从此案例中可以看出，当原油供应量较大并且，场内某种储罐不足的情况下，可能会需要倒罐等操作，并且需要清罐，以避免不同种原油预先混合，使得最后的调合操作存在误差。

在该案例中，需求是由工厂的计划过程所指定包括每个周期的原油量以及其所需要的组分浓度的上下限(混合原油的种类不同)，那么从案例中可以看出，混合原油的物料波动范围是较大的，三种调合罐的原油或者单独供应，有时需要在管道中再次进行混合后才能满足常减压装置的加工需求。事实上证明了该模型的鲁棒性依然较好，此外因为设置和安全库存上下限并对实际可能存在的需求量波动进行处理依然可以得到较好的优化解。当然如果能够用鲁棒优化的方法或者基于场景对需求的波动进行随机分布的场景假设，选择模型和解的鲁棒性，那么对于不确定优化的效果显然会更好。

从图中的库存变化量中表明由于物性的波动，以及较少的调合罐，储罐和较少的初期库存，为了满足原油 3 的存放（卸油周期较短）以及满足厂级混合原油的需求，都出现了末端库存为 0 的情况，这是由于储罐库存成本惩罚项引起的，而事实上只需要对这一库存的末端库存进行限制就可以解决这一问题。

集合

$kk = 1, \dots, N_{ce}$: 原油关键组分

$v = 1, \dots, N_v$: 油轮

$i = 1, \dots, N_{st}$: 原油罐

$j = 1, \dots, N_{BS}$: 混合罐

$u = 1, \dots, N_U$: 常减压装置

$t = 1, \dots, N_{SCH}$: 时间

变量

$X_{F,v,t}$: 0-1 变量, 油轮 v 在 t 是否开始卸载

$X_{L,v,t}$: 0-1 变量, 油轮 v 在 t 是否完成卸载

$X_{W,v,t}$: 0-1 变量, 油轮 v 在 t 是否正在卸载

$T_{F,v}$: 油轮 v 开始卸载时刻

$T_{L,v}$: 油轮 v 离开时刻

$Y_{j,u,t}$: 二元变量, 混合罐 j 是否对 u 在 t 时刻进料

$YY_{j,u,t}$: 混合罐 j 是否对 u 在 t 时刻和 $t+1$ 时刻进料

$CH_{u,t}$: u 在 t 是否发生切换

$F_{VS,v,i,t}$: t 时刻油轮 v 到原油罐 i 的流量

$F_{SB,i,j,t}$: t 时刻原油罐 i 到混合罐 j 的流量

$F_{BC,j,u,t}$: t 时刻混合罐 j 到 u 的流量

$V_{v,t}$: 油轮 v 在 t 时刻的载油量

$V_{S,i,t}$: 原油罐 i 在 t 时刻罐存

$V_{B,j,t}$: 混合罐 j 在 t 时刻罐存

$vk_{B,j,kk,t}$: 关键组分 kk 在混合罐 j 内 t 时刻含量

$f_{SB,i,j,kk,t}$: 关键组分 kk 在 t 时刻原油罐 i 到混合罐 j 的流量

$f_{BC,j,u,kk,t}$: 关键组分 kk 在 t 时刻混合罐 j 到 u 的流量

参数

$T_{ARR,v}$: 油轮 v 的预期到港时间

$F_{VS,v,i,\min}$: 油轮 v 到原油罐 i 的最小流量

$F_{VS,v,i,\max}$: 油轮 v 到原油罐 i 的最大流量

$F_{SB,i,j,\min}$: 原油罐 i 到混合罐 j 的最小流量

$F_{SB,i,j,\max}$: 原油罐 i 到混合罐 j 的最大流量

$F_{BC,j,u,\min}$: 混合罐 j 到 CDU u 的最小流量

$F_{BC,j,u,\max}$: 混合罐 j 到 CDU u 的最大流量

$V_{S,i,\min}$: 原油罐 i 的最小库存量

$V_{S,i,\max}$: 原油罐 i 的最大库存量

$V_{S,i,0}$: 原油罐 i 的初始库存量

$V_{B,j,\min}$: 混合罐 j 的最小库存量

$V_{B,j,\max}$: 混合罐 j 的最大库存量

$V_{B,j,0}$: 混合罐 j 的初始库存量

$\xi_{B,j,k,\min}$: 混合罐 i 中的关键组分 kk 的最少含量

$\xi_{B,j,k,\max}$: 混合罐 i 中的关键组分 kk 的最多含量

$\xi_{B,j,k,0}$: 混合罐 i 中的关键组分 kk 的初始含量

Dem_j : CDU 的混合原油 j 需求量

$C_{SEA,v}$: 油轮 v 的等待单价

$C_{PROFIT,j}$: 混合原油 j 的利润单价

$C_{UNLOAD,v}$: 油轮 v 的卸载单价

$C_{INVT,i}$: 原油罐 i 的存储单价

$C_{INVT,j}$: 混合罐 j 的存储单价

$C_{SETUP,u}$: CDU, u 的切换惩罚