

用计划优化软件优化化工厂生产计划

刘 建¹ 闫庆贺¹ 杨友麒²

(1. 中国石油大庆石油化工总厂计算机开发公司, 黑龙江 大庆 163714;
2. 北京圣金桥信息技术有限公司, 北京 100083)

摘要:用计划优化软件对大庆石油化工总厂 7 套装置的生产做出生产计划,使这些装置能够按照生产计划合理分配原料量,确定装置的生产负荷,实现了装置加工量、原料互供、原料供应、整体以及外购资源的优化,通过使用该软件做出的排产方案,使生产达到了最佳化,使整体效益达到了最大化。

关键词:线性规划;计划优化;生产计划;经济效益

中图分类号:TQ021.8;TP31

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0037-05

Arranging production plan of petrochemical plant by planning optimization software

LIU Jian¹, YAN Qing-he¹, YANG You-qi²

(1. Computer Development Company, CNPC Daqing Petrochemical Complex, Daqing 163714, China;
2. Beijing Sunbridge SoftTech, Inc., Beijing 100083, China)

Abstract: The production plan of the seven sets of units in Daqing Petrochemical Complex was arranged by the planning optimization software, which made these units distribute materials reasonably, and the production load of the units be fixed. The production capacity of each unit, the mutual provision of materials, the materials provision, the resources from market were optimized. The scheme made by using this software made the production optimized best, and the total benefit largest.

Key words: linear programming; planning optimization; production planning; economic returns

大庆石油化工总厂化工厂包括丙烯腈装置、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物 (ABS) 装置、苯乙烯-丙烯腈共聚物 (SAN) 装置、苯乙烯装置、聚苯乙烯装置、弛放气装置和顺丁橡胶装置共 7 套装置。由于现在市场变化较快,生产的调整比较频繁,因此采用“石油化工企业生产计划编制优化软件”编制月份生产计划及最佳的生产方案,来指导装置的生产,合理利用有效资源量,使生产效益最大化。

该计划优化系统是根据线性规划理论,利用计算机来实现生产排产编制的生产管理工具。线性规划 (linear programming, LP) 是用于最优分配宝贵资源的一个数学方法。化工厂生产计划排产的编制就是对这 7 套化工装置的生产做出生产计划,使这些装置能够按照生产计划合理分配原料量,确定装置的生产负荷。以前化工厂的生产计划都是手工编制,从 2004 年 1 月份开始大庆石化总厂化工厂转向利用“石油化工企业生产计划编制优化软件”编制生产计划,实现了装置加工量、原料互供、原料供应、整体、外购资源以及 SAN 商品量的优化,通过使用该软件做出的排产方案,不仅合理利用了有限资源量,

而且使生产得到优化,使整体效益得到改善。

1 系统的优化原理和功能

“石油化工企业生产计划编制优化软件系统”包括炼油、化工的统一优化,建立优解灵敏度分析,非线性分布递归选油模型,原油浮动切割,装置非线性加工处理技术等功能,还包括多周期模型和多厂模型等技术。

炼化企业生产计划优化系统采用图形建模方式进行排产方案优化:首先根据生产流程绘制生产方案流程图,并通过图形界面输入数据,然后可以进行排产方案优化。该系统也可以建立多周期模型和灵敏度分析模型,还可以进行优选原油品种和数量的计算。

使目标函数取得最有利(最大或最小)值的可行解称为最优解或最优可行解,求解线性规划问题的最终目的是寻求最优解,可以描述为:

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

其中 Z 为目标值, x_j 为决策变量, c_j 为价格系数, b_j 为约束条件的右端项, a_{ij} 为矩阵系数。

在化工生产计划优化中, 目标值 Z 为利润:

$$\text{利润} = (\text{销售收入} - \text{原料成本} - \text{装置成本} - \text{税额} - \text{期间费用})$$

$$\text{约束条件: 收率} \times \text{装置加工量} - \text{产品量} = 0$$

其中, 化工装置中收率项为主产品量与进料量的比值。

每个变量均有一个称为折合成本的量。折合成本的值是当变量在优解中取得正值以前, 该变量的价格系数可以改进的范围。如果目标函数的单位是元, 变量单位是 t, 则折合成本的单位是元/t。当然, 如果某变量已在优解中出现(非零值), 则该变量的折合成本为 0。软件计算出来的变量的折合成本为零时的变量值即为该变量的最优解^[1]。

同时生产计划编制优化软件还能根据线性规划

的理论算法计算出方程的影子价格, 每个约束条件均有一个影子价格。如果目标函数的单位是元, 该约束条件的单位是 kg, 则影子价格的单位是元/kg。影子价格的值就是当该约束条件的右端项或常数项增加一个小的量时, 目标函数值的改进率。变量的折合成本和方程的影子价格是进行灵敏度分析的有利工具^[1]。

生产计划编制优化软件采用图形界面, 利用视窗技术, 以计划人员熟悉的流程图作为建立数学模型的输入界面, 后台使用数据库来存储数据。在图形界面中, 用户可以自行绘制、修改、扩充炼油厂的流程图, 也可以方便地对某一套装置增加、删除或修改生产方案。这样不但使建模工作形象化, 还可以使各装置物流关系一目了然, 减少出错。这种图形人-机界面如图 1 所示。

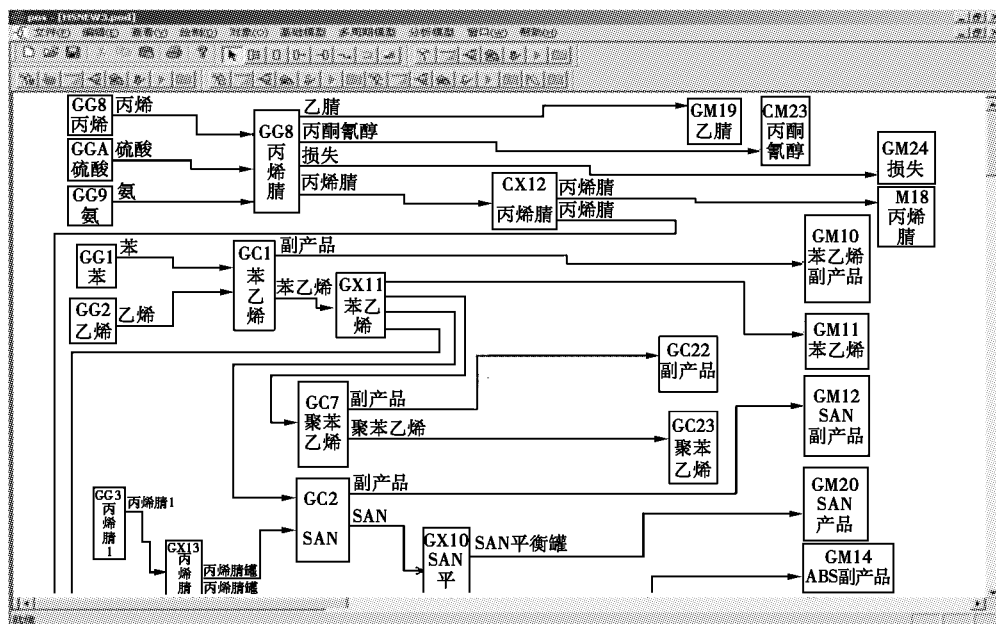


图 1 软件系统界面简图

整个计划优化软件系统的结构如图 2 所示。所有输入数据通过图形界面输入, 然后存储在数据库中, 建模模块由数据库中提取相应数据, 建立矩阵模型, 计算模块利用线性规划优化算法求得最优解, 然后提供给输出模块形成报表输出。

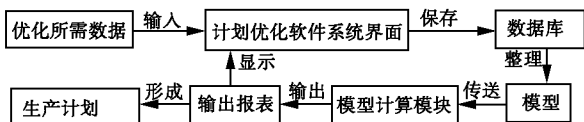


图 2 计划优化业务流程图

2 系统的应用

2.1 编制数据输入说明

使用该软件编制该化工厂 2004 年 1~5 月份的生产计划需要输入以下数据:

(1) 原料数据, 包括丙烯、氨、硫酸、苯、乙烯、丙烯腈、丁二烯、溶剂油、弛放气等原料用量的上限或下限、价格、增值税率等。

(2) 装置数据, 包括丙烯腈装置、苯乙烯装置、聚苯乙烯装置、SAN 装置、ABS 装置、顺丁橡胶装置和弛放气装置的加工量上限、下限, 可变单位加工

费等。

(3)产品数据,包括丙烯腈产品、乙腈、丙酮氰醇、苯乙烯、苯乙烯副产品、聚苯乙烯、聚苯乙烯副产品、ABS、ABS副产品、SAN产品、SAN副产品、顺丁橡胶、顺丁橡胶副产品的不含税价格、下限、上限、增值税率等。

(4)装置侧线数据,包括装置的各侧线量与主产品的比值(如果本身是主侧线,则比值是1)。

(5)经济数据,包括化工厂的期间费用合计、加工成本税率。

以2004年5月份数据为例,计划软件模型需要输入的原料、装置、产品数据见表1。

表1 计划软件模型需要的输入数据

原料数据(5月)					
原料名称	变量码	价格/元·t ⁻¹	原料名称	变量码	价格/元·t ⁻¹
苯	GG1	4521.8	丙烯	GG8	4883
乙烯	GG2	5525.8	氨	GG9	2392.1
丙烯腈	GG3	8540.2	硫酸	GGA	600
丁二烯	GG5	6123.8	弛放气	GGB	633
溶剂油	GG7	3023.7	苯乙烯	GGC	5000
装置数据(5月)					
原料名称	变量码	加工费/元·t ⁻¹	原料名称	变量码	加工费/元·t ⁻¹
苯乙烯装置	GC1	536	聚苯乙烯装置	GC7	587
SAN装置	GC2	384	丙烯腈装置	GC8	2000
ABS装置	GC3	1089	弛放气装置	GC9	15
橡胶装置	GC4	1260			
产品数据(5月)					
产品名称	变量码	价格/元·t ⁻¹	产品名称	变量码	价格/元·t ⁻¹
苯乙烯副产品	GM10	3726.5	聚苯乙烯	GM21	7606.8
苯乙烯	GM11	7094	聚苯乙烯副产品	GM22	5000
SAN副产品	GM12	982.9	丙酮氰醇	GM23	0
ABS副产品	GM14	5170	丙烯腈损失	GM24	0
ABS	GM15	9401.7	顺丁橡胶损失	GM25	0
顺丁橡胶副产品	GM16	6051.3	丙烷	GM26	2226.1
顺丁橡胶	GM17	9230.7	丙烯	GM27	4153.8
乙腈	GM19	2564.1	尾气	GM28	800
SAN产品	GM20	7400			

增值税率全部按17%计,装置和原料的上、下限分别参见下边的约束条件中的(33)项和(53)项的规定,其中的变量码与表1中的变量码相对应,如约束条件的(43)、(44)项中, $GGC1 \geq 0.5$, $GCl \leq 0.64$,即是表1中苯乙烯装置的下限为0.5,上限为0.64,原料的限制同样。

化工厂生产计划优化模型目标值计算方程如下所示:

$$\text{目标值 } Z(\text{经济效益}) = \text{销售收入} - \text{原料成本} - \text{装置成本} - \text{税额} - \text{期间费用}$$

其中,销售收入为各种商品量乘以其价格后加和;原料

成本为各种原料用量乘以其价格后加和;装置成本为加工量乘以其加工费用后加和;税额为销项税减进项税;期间费用为管理费、销售费和财务费用之和。

根据上表中所给的变量码和变量数据可以得到下面目标函数和约束条件:

目标函数:

$$Z = 3726.5 \times GM10 + 7094.0 \times GM11 + 982.9 \times GM12 + 5170.0 \times GM14 + 9401.7 \times GM15 + 6051.3 \times GM16 + 9230.7 \times GM17 + 2564.1 \times GM19 + 7400.0 \times GM20 + 7606.8 \times GM21 + 5000.0 \times GM22 + 0 \times GM23 + 0 \times GM24 + 0 \times GM25 + 2226.1 \times GM26 + 4153.8 \times$$

$$GM27 + 800.0 \times GM28 - 536 \times GC1 - 384 \times GC2 - 1089 \times GC3 - 1260 \times GC4 - 587 \times GC7 - 2000 \times GC8 - 15 \times GC9 - 4521.8 \times GG1 - 5525.8 \times GG2 - 8540.2 \times GG3 - 6123.8 \times GG5 - 3023.7 \times GG7 - 4883.0 \times GG8 - 2392.1 \times GG9 - 600.0 \times GGA - 633.0 \times GGB - 5000.0$$

$$\times GGC - 288 - 112 - 359.1 - 259.5 - 135.6 - 30 - 11.13 - 236.6 - 143.7$$

目标函数方程中最后一行的后边有 9 个数字, 分别是 7 套装置的固定成本、总税额、期间费用。

约束条件为:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| (1) $GG1 - 0.79GC11 = 0;$ | (19) $GM14 - 0.049GC31 = 0;$ | (37) $GG5 \geq 0.04;$ |
| (2) $GG2 - 0.258GC11 = 0;$ | (20) $GM15 - GC31 = 0;$ | (38) $GG7 \geq 0.027;$ |
| (3) $GG7 - 0.06GC41 = 0;$ | (21) $GM16 - 0.05GC41 = 0;$ | (39) $GG8 \geq 0.118;$ |
| (4) $GG8 - 1.18GC81 = 0;$ | (22) $GM17 - GC41 = 0;$ | (40) $GG9 \geq 0.06;$ |
| (5) $GG9 - 0.6GC81 = 0;$ | (23) $GM19 - 0.08GC81 = 0;$ | (41) $GGA \geq 0.016;$ |
| (6) $GGA - 0.16GC81 = 0;$ | (24) $GM20 - GX10 = 0;$ | (42) $GGC \geq 0.030;$ |
| (7) $GGB - 2.9GC91 = 0;$ | (25) $GM21 - GC71 = 0;$ | (43) $GC1 \geq 0.5;$ |
| (8) $GX10 - 0.66GC31 = 0;$ | (26) $GM22 - 0.012GC71 = 0;$ | (44) $GC1 \leq 0.64;$ |
| (9) $GX11 - 0.756GC21 = 0;$ | (27) $GM23 - 0.35GC81 = 0;$ | (45) $GC2 \geq 0.43;$ |
| (10) $GX11 - 0.148GC31 = 0;$ | (28) $GM24 - 0.51GC81 = 0;$ | (46) $GC3 \geq 0.55;$ |
| (11) $GX11 - 1.012GC71 = 0;$ | (29) $GM25 - 0.004GC31 = 0;$ | (47) $GC3 \leq 0.66;$ |
| (12) $GX13 - 0.267GC21 = 0;$ | (30) $GM26 - GC90 = 0;$ | (48) $GC4 \geq 0.45;$ |
| (13) $GX13 - 0.45CG31 = 0;$ | (31) $GM27 - 1.1GC90 = 0;$ | (49) $GC4 \leq 0.45;$ |
| (14) $GX14 - 0.155GC31 = 0;$ | (32) $GM28 - 0.8GC90 = 0;$ | (50) $GC7 \geq 0.25;$ |
| (15) $GX14 - 1.075GC41 = 0;$ | (33) $GG1 \geq 0.4;$ | (51) $GC8 \geq 0.04;$ |
| (16) $GM10 - 0.048GC11 = 0;$ | (34) $GG2 \geq 0.1;$ | (52) $GC8 \leq 0.12;$ |
| (17) $GM11 - GX11 = 0;$ | (35) $GG3 \geq 0.08;$ | (53) $GC9 \leq 0.058.$ |
| (18) $GM12 - 0.023GC21 = 0;$ | (36) $GG3 \leq 0.7;$ | |

2.2 优化方案对比

该软件采用线性规划方法进行方程求解计算, 计算结果得到了最优解。也就是说, 取得的可行解既满足所有约束条件, 又使目标函数取得最有利值, 在这个问题中就是使我们的生产活动获得最大的利润, 并且不超出有限的资源和装置加工能力的限制。按照经济效益最大的目标来分配生产原料、确定生产负荷和商品量^[2]。下面是计划优化软件对大庆石化总厂化工厂 2004 年的生产制定的生产计划方案, 方案计算出的各个装置的加工量和该方案的生产取得的预计经济效益见表 2。

表 2 计划软件模型效益计算结果 万元

月份	1	2	3	4	5
销售收入	10311.3	11831.7	13637.6	13662.9	11370.9
总成本	10485.5	10461.8	12548.5	13207.7	11991.9
总税额	548.6	813.4	692.4	536.5	386.3
利税合计	-722.8	556.4	396.5	-81.3	-1007.4

注: 表中负数数据表示亏损。

软件计算排产、手工排产、实际生产数据对比如表 3 所示。

表 3 软件计算排产、手工排产、实际生产

		数据对比结果				万 t/月
		苯乙烯	聚苯乙烯	SAN	ABS	顺丁橡胶
1 月	计算	6600	3000	4600	6215	4000
	手工	6200	1500	4300	6500	4500
	实际	6763	2580	4535	6800	3900
2 月	计算	6100	2600	4884	6215	4000
	手工	5800	2300	4000	5800	4000
	实际	6043	1792	3823	5917	3632
3 月	计算	6600	2000	4300	6000	4500
	手工	6200	1800	4000	6000	4000
	实际	6640	2458.5	4436	6547.2	4511
4 月	计算	6400	2500	4300	5500	4500
	手工	6100	2400	4500	6100	4000
	实际	6303	2236	4330	6527	4308
5 月	计算	4800	2300	4000	5500	2800
	手工	4800	2400	4200	6200	2800
	实际	4815	2319	4004	5120	2818

从表 3 可以看出, 实际生产与软件排产更接近。为了证明软件计算的生产计划是优化的, 我们

把按照手动排产生产的效益计算出来,与软件计算的排产效益进行对比,这样就可以分析出哪个排产可以得到较好的经济效益。手动排产经济效益数据及软件排产与手动排产经济效益对比分别见表4和表5。

表4 手动排产经济效益数据 万元

月份	1	2	3	4	5
销售收入	10338.4	12264.7	12561	13197.8	11328.3
原料成本	7849.4	7882.0	9122.1	9971.8	9936.2
加工成本	2060.6	1915.4	1939.3	1879.2	1787.7
固定成本	1195.3	1195.3	1195.3	1195.3	1184.2
总税额	423.1	745.0	584.6	548.4	236.6
利税合计	-1190.1	526.8	-280.3	-396.9	-1816.4

表5 软件排产与手动排产经济效益对比 万元

月份	1	2	3	4	5
软件计算	-722.87	556.4	396.5	-81.3	-1007.4
手工排产	-1190.1	526.8	-169.7	-396.9	-1816.4
差值	377.2	29.5	566.3	315.6	809.0

从表5可以看出软件计算的生产计划排产的经济效益普遍要比手工排产计算出来的经济效益好。

2.3 优化方案说明

根据计算结果可以对软件的优化计算分为以下几项。

(1)装置加工量的优化。通过软件计算结果可以看出,1、2月份苯乙烯装置、聚苯乙烯装置、顺丁橡胶装置都已经达到现有装置满负荷,而ABS装置由于加工成本和原料供给的原因,优化计算结果没有达到装置的最大生产量,ABS产量为0.6215万t。3月份情况与2月份类似,而在4、5月份时,随着原料价格的上涨,ABS装置、SAN装置和聚苯乙烯装置的效益逐渐变为亏损,其生产情况也由满负荷生产变为低负荷生产,苯乙烯装置生产的苯乙烯产品作为商品外销,这样就减少了亏损额。1月份少亏损377.2万元,4月份少亏损315.6万元,5月份少亏损809.0万元。

(2)原料互供的优化。通过软件计算结果得到

1、2月份苯乙烯装置生产的苯乙烯供给聚苯乙烯装置、SAN装置和ABS装置进一步加工,聚苯乙烯装置、SAN装置和ABS装置这3个装置相比较,聚苯乙烯装置的效益最好,因此,苯乙烯最先满足聚苯乙烯装置生产。而SAN装置产品也不外卖,而是作为ABS的原料。4、5月份的生产中,由于聚苯乙烯装置、SAN装置和ABS装置这3个装置的亏损,使得苯乙烯装置互供给聚苯乙烯装置、SAN装置和ABS装置这3个装置的苯乙烯量要减少的最小,剩余苯乙烯作为商品销售。

(3)整体优化。丁二烯原料既供给顺丁橡胶装置,又供给ABS装置,另外苯乙烯产品供给ABS装置和SAN装置,通过软件的计算,使得丁二烯原料对这2个装置的供应能够合理分配。4、5月份,丁二烯原料主要满足顺丁橡胶装置,保证顺丁橡胶装置以最大量生产,另外由于苯乙烯的效益要好于它下游的装置,所以苯乙烯供给以上3套的的量也减少到最低。

(4)SAN商品量的优化。1、2月份SAN商品没有外卖,3~5月份SAN装置的效益与前3个月相比保持较好的水平,而ABS装置的效益却下滑,所以减少了SAN装置对ABS装置的供应,剩余SAN作为商品外销,外销量分别为340、670、370t。

3 结论

(1)使用石油化工企业生产计划编制优化软件可以编制化工厂的生产计划,可以针对不同的原料、产品结构、市场情况制定优化的生产计划,从而利用较少的人力、物力、资金来获取较大的经济效益。

(2)方便灵活的图形化建模。以往编制生产计划都是手动操作,而通过图形建立模型,变量码在绘制流程图过程中都会由系统自动生成,保证了物料走向的准确衔接。操作简单,建模方便,而且可以在流程图上直接输入各种数据,并且可以直接浏览结果报表,大大提高了工作效率。

参考文献

- [1] 何银仁,陈先芽,张慧.石油化工生产经营计划优化[M].北京:中国石化出版社,1999.
- [2] 孙德敏.工程最优方法及应用[M].合肥:中国科技大学出版社,1991. ■