

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
G06F 17/60



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310119152.5

[43] 公开日 2005 年 6 月 22 日

[11] 公开号 CN 1629859A

[22] 申请日 2003.12.18

[21] 申请号 200310119152.5

[71] 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街 114 号

[72] 发明人 罗焕佐 宋国宁

[74] 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司
代理人 闵宪智

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称 基于综合物流的智能优化排产方法

[57] 摘要

本发明公开一种基于综合物流的智能优化排产方法，它通过对企业物流、资金流的分析，从生产工艺入手掌握生产中的物流走向，并在物流中融入反映生产成本的资金流，建立反映生产成本递增的正向综合物流模型和反映盈利能力递减的逆向综合物流模型；根据中间产品在各道加工工序中的分配规律，建立反映工艺流程联接情况的联接矩阵；利用逆向综合物流模型，建立反映工艺流程盈利能力的盈利系数矩阵；通过联接矩阵和盈利系数矩阵，建立物流分配矩阵；再在物流分配矩阵上进行“最大-最小”优化作业，获得最优物流分配计划；最后，利用逆向综合物流模型并采用最优切割算法，进一步获得各油品的最优切割计划。本发明参数少、智能程度高、实用性强。

1. 一种基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 包括正向综合物流模型、逆向综合物流模型、联接矩阵、盈利系数矩阵、解耦优化算法、最优切割算法 6 个部分, 通过对企业物流、资金流的分析, 从生产工艺入手掌握生产中的物流走向, 并在物流中融入反映生产成本的资金流, 建立反映生产成本递增的正向综合物流模型和反映盈利能力递减的逆向综合物流模型; 根据中间产品在各道加工工序中的分配规律, 建立反映工艺流程联接情况的联接矩阵; 利用逆向综合物流模型, 建立反映工艺流程盈利能力的盈利系数矩阵; 通过联接矩阵和盈利系数矩阵, 建立物流分配矩阵; 然后, 通过解耦优化算法, 在物流分配矩阵上进行“最大-最小”优化作业, 获得最优物流分配计划; 最后, 利用逆向综合物流模型并采用最优切割算法, 进一步获得各油品的最优切割计划。

2. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述正向综合物流单元模型中设: C_1 为输入物料成本, C_{x1} 为可变成本, C_{y1} 为固定成本, C_{11} 、 C_{12} 分别为产品或中间产品的成本, δ_{11} 、 δ_{12} 分别为全部成本在产品或中间产品中的分配比例, α_1 、 α_2 分别为产品或中间产品物流的比例, m_{11} 、 m_{12} 分别为产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的市场价, 输入到装置中的资金量为: $C_{\lambda} = C_1 + C_{x1} + C_{y1}$, 输出到产品或中间产品的资金量为:

$$C_{\text{出}} = C_{11} \cdot \alpha_1 + C_{12} \cdot \alpha_2, \quad C_{11} = \left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_1}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}), \quad C_{12} = \left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_2}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}), \quad \text{比值} \\ \frac{\delta_{11}}{\alpha_1} \quad \frac{\delta_{12}}{\alpha_2}$$

(α_1)、(α_2) 称为成本的浓缩或稀释系数; 将综合物流单元模型按工艺流程关系相互串联起来, 构成正向综合物流网络模型; 产品成本 C_1 、 C_2 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{21} 、 C_{31} 、 C_{32} 按单元模型的分析, 经递推得正向综合物流模型。

3. 按照权利要求 2 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述正向综合物流模型具有如下递推关系:

$$C_1 = \left(\frac{\delta_1}{\alpha_1}\right)(C_0 + C_{x0} + C_{y0}); \quad C_2 = \left(\frac{\delta_2}{\alpha_2}\right)(C_0 + C_{x0} + C_{y0}); \quad C_{11} = \left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_{11}}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}); \\ C_{12} = \left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_{12}}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}); \quad C_{21} = \left(\frac{1}{\alpha_{21}}\right)(C_2 + C_{x2} + C_{y2}); \quad C_{31} = \left(\frac{\delta_{31}}{\alpha_{31}}\right)(C_2 + C_{x3} + C_{y3}); \\ C_{32} = \left(\frac{\delta_{32}}{\alpha_{32}}\right)(C_2 + C_{x3} + C_{y3})$$

4. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述逆向物流模型推导过程如下:

从所述产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的盈利能力:

$$P_{11} = (m_{11} - C_{11});$$

$$P_{12} = (m_{12} - C_{12});$$

推出该生产装置的总盈利能力:

$$P_1 = \alpha_{11}P_{11} + \alpha_{12}P_{12} = \alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12} - \alpha_{11}C_{11} - \alpha_{12}C_{12};$$

将 C_{11} 、 C_{12} 的成本公式代入可得:

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (\delta_{11} + \delta_{12})(C_1 + C_{x1} + C_{y1});$$

由于 $\delta_{11} + \delta_{12} = 1$ 即成本全部被产品成本分摊掉, 于是:

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (C_{x1} + C_{y1}) - C_1 = m_1 - C_1;$$

m_1 的经济意义是把装置看成是一个“市场代理”, 它将原料成本 C_1 转化成商品价 m_1 , 从而获得盈利能力为 $(m_1 - C_1)$, 由此构成逆向综合物流单元模型; 将单元的模型按由市场端逆向递推, 则组成盈利网络。

5. 按照权利要求 4 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述组成盈利网络中盈利能力的递推公式为:

$$m_1 = (m_{11}\alpha_{11} + m_{12}\alpha_{12}) - (C_{x1} + C_{y1})$$

$$m_2 = (m_{21}\alpha_{22} + m_{22}\alpha_{22}) - (C_{x2} + C_{y2})$$

$$m_0 = (m_1\alpha_1 + m_2\alpha_2) - (C_{x0} + C_{y0}) \quad ;$$

$$P_1 = m_1 - C_1$$

$$P_2 = m_2 - C_2$$

$$P_0 = m_0 - C_0 \quad ;$$

上式中, m_i 为“代理市场”价, P_i 为装置的盈利能力, 其中: P_0 的盈利能力中包含了 P_1 和 P_2 。

6. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述联接矩阵为 $(L_{ij})_{n \times p}$, 当 X_i 不能与 Y_j 相连时 $L_{ij}=0$, 或当 X_i 可能与 Y_j 相连时 $L_{ij}=1$ 。其中: X_i 表示各侧线的油品, Y_j 表示各后续加工流程的入口。

7. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述盈利系数矩阵为 $(m_{ij})_{n \times p}$, m_{ij} 为油品 X_i 通过入口 Y_j 进入加工后所产生的盈利系数。

8. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法, 其特征在于: 所述解耦优化算法为以盈利系数矩阵数据为目标、以联接矩阵数据为

约束条件，求一组分配 $(q_{ij})_{n \times p}$ ，使得： $J = \max \sum_i \sum_j q_{ij} m_{ij}$ ，约束条件为：物

料平衡约束 $\sum_{j=1}^p q_{ij} L_{ij} = X_i$ ($i=1, \dots, n$)；生产能力约束 $\sum_{i=1}^n q_{ij} \leq Y_j$ ($j=1, \dots, p$)；该目标函数利用利用稀疏矩阵特点，按最大-最小方法求解。

9. 按照权利要求 1 所述基于综合物流的智能优化排产方法，其特征在于：所述最优切割方法用来确定 X_i ，同时利用逆向综合物流模型，以及分配矩阵 q_{ij} 和盈利系数矩阵 m_{ij} ，计算出每个 X_i 的盈利系数，具体为：

$$P_i = m_i - c_i, \quad m_i = q_{i1} m_{i1} + \dots + q_{ij} m_{ij} + \dots + q_{ip} m_{ip} = \sum_{j=1}^p q_{ij} m_{ij},$$

X_i 取值主要由原料成份决定，在正常的 X_i 上下可以有 Δx_i 的变化，所以在实际计算时，只要计算其增量即可；根据 $(\sum X_i, m_i) = \max$ 的策略，其增量方程为：

$$\Delta X_i = \begin{cases} (\Delta R)[\text{sign}(m_1 - m_2)] & , i=1; \\ (\Delta R)[\text{sign}(m_i - m_{i-1}) + \text{sign}(m_i - m_{i+1})] & , i=2, \dots, n-1; \\ (\Delta R)[\text{sign}(m_n - m_{n-1})] & , i=n; \end{cases}$$

其中， $(m_i - m_{i-1})$ 、 $(m_i - m_{i+1})$ 分别表示本中间产品与上下相邻的中间产品的盈利之差， sign 是符号函数：

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0; \\ 0 & x = 0; \\ -1 & x < 0; \end{cases}$$

ΔR 是调整量。

基于综合物流的智能优化排产方法

技术领域

本发明涉及石油化工领域，具体地说是在石油化工生产中实现的一种基于综合物流的智能优化排产方法。

背景技术

目前，国内外流程企业所采用的优化排产算法基本上都是采用线性规划模型。为了求解一个企业的排产优化问题，需要建立上百个约束方程，每个方程都包含许多参数。一方面，很难获得全部参数；另一方面，由于生产情况处于经常的变动之中，这些参数也随之而发生变化，必须进行不断的修正，这就给模型的使用带来很多不便。若这些参数的更新不及时、不完全，就会给模型本身带来很多“病态”，造成不一致性，以致优化结果不能应用。久而久之，企业排产人员就不愿意使用这些方法。据调查，不少企业耗费巨额资金从国外买来的基于这类算法的优化排产软件，刚刚投产时效果很好，但国外专家一走，就用不好，最后付诸高阁，不实用。

发明内容

为了克服上述不足，本发明的目的是提供一种参数少、计算量小、编程简单、界面友好、智能程度高、实用性强、能在石油化工生产中实现的基于综合物流的智能优化排产方法。

为了实现上述目的，本发明的技术方案是：包括正向综合物流模型、逆向综合物流模型、联接矩阵、盈利系数矩阵、解耦优化算法、最优切割算法 6 个部分，通过对企业物流、资金流的分析，从生产工艺入手掌握生产中的物流走向，并在物流中融入反映生产成本的资金流，建立反映生产成本递增的正向综合物流模型和反映盈利能力递减的逆向综合物流模型；根据中间产品在各道加工工序中的分配规律，建立反映工艺流程联接情况的联接矩阵；利用逆向综合物流模型，建立反映工艺流程盈利能力的盈利系数矩阵；通过联接矩阵和盈利系数矩阵，建立物流分配矩阵；然后，通过解耦优化算法，在物流分配矩阵上进行“最大-最小”优化作业，获得最优物流分配计划；最后，利用逆向综合物流模型并采用最优切割算法，进一步获得各油品的最优切割计划；

所述正向综合物流单元模型中设： C_1 为输入物料成本， C_{x1} 为可变成本， C_{y1} 为固定成本， C_{11} 、 C_{12} 分别为产品或中间产品的成本， δ_{11} 、 δ_{12} 分别为全部成本在产品或中间产品中的分配比例， α_1 、 α_2 分别为产品或中间产品物流的比例， m_{11} 、 m_{12} 分别为产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的市场价，输入到装置中的资金量为： $C_\lambda = C_1 + C_{x1} + C_{y1}$ ，输出到产品或中间产品的资金量为：

$$C_{\text{出}} = C_{11} \cdot \alpha_1 + C_{12} \cdot \alpha_2, \quad C_{11} = \left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_1}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}), \quad C_{12} = \left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_2}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}), \quad \text{比值}$$

$\left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_1}\right)$ 、 $\left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_2}\right)$ 称为成本的浓缩或稀释系数；将综合物流单元模型按工艺流程关系相互串联起来，构成正向综合物流网络模型；产品成本 C_1 、 C_2 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{21} 、 C_{31} 、 C_{32} 按单元模型的分析，经递推得正向综合物流模型；所述正向综合物流模型具有如下递推关系：

$$\begin{aligned} C_1 &= \left(\frac{\delta_1}{\alpha_1}\right)(C_0 + C_{x0} + C_{y0}); & C_2 &= \left(\frac{\delta_2}{\alpha_2}\right)(C_0 + C_{x0} + C_{y0}); & C_{11} &= \left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_{11}}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}); \\ C_{12} &= \left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_{12}}\right)(C_1 + C_{x1} + C_{y1}); & C_{21} &= \left(\frac{1}{\alpha_{21}}\right)(C_2 + C_{x2} + C_{y2}); & C_{31} &= \left(\frac{\delta_{31}}{\alpha_{31}}\right)(C_2 + C_{x3} + C_{y3}); \\ & & C_{32} &= \left(\frac{\delta_{32}}{\alpha_{32}}\right)(C_2 + C_{x3} + C_{y3}). \end{aligned}$$

所述逆向物流模型推导过程如下：

从所述产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的盈利能力：

$$P_{11} = (m_{11} - C_{11});$$

$$P_{12} = (m_{12} - C_{12});$$

推出该生产装置的总盈利能力：

$$P_1 = \alpha_{11}P_{11} + \alpha_{12}P_{12} = \alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12} - \alpha_{11}C_{11} - \alpha_{12}C_{12};$$

将 C_{11} 、 C_{12} 的成本公式代入可得：

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (\delta_{11} + \delta_{12})(C_1 + C_{x1} + C_{y1});$$

由于 $\delta_{11} + \delta_{12} = 1$ 即成本全部被产品成本分摊掉，于是：

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (C_{x1} + C_{y1}) - C_1 = m_1 - C_1;$$

m_1 的经济意义是把装置看成是一个“市场代理”，它将原料成本 C_1 转化成商品价 m_1 ，从而获得盈利能力为 $(m_1 - C_1)$ ，由此构成逆向综合物流单元模型；将单元模型按由市场端逆向递推，则组成盈利网络；所述组成盈利网络中盈利能力的递推公式为：

$$\begin{aligned}
 m_1 &= (m_{11}\alpha_{11} + m_{12}\alpha_{12}) - (C_{x1} + C_{y1}) \\
 m_2 &= (m_{21}\alpha_{22} + m_{22}\alpha_{22}) - (C_{x2} + C_{y2}) \\
 m_0 &= (m_1\alpha_1 + m_2\alpha_2) - (C_{x0} + C_{y0}) \quad ; \\
 P_1 &= m_1 - C_1 \\
 P_2 &= m_2 - C_2 \\
 P_0 &= m_0 - C_0 \quad ;
 \end{aligned}$$

上式中, m_i 为“代理市场”价, P_i 为装置的盈利能力, 其中: P_0 的盈利能力中包含了 P_1 和 P_2 。

所述联接矩阵为 $(L_{ij})_{n \times p}$, 当 X_i 不能与 Y_j 相连时 $L_{ij}=0$, 或当 X_i 可能与 Y_j 相连时 $L_{ij}=1$ 。其中: X_i 表示各侧线的油品, Y_j 表示各后续加工流程的入口; 所述盈利系数矩阵为 $(m_{ij})_{n \times p}$, m_{ij} 为油品 X_i 通过入口 Y_j 进入加工后所产生的盈利系数; 所述解耦优化算法为以盈利系数矩阵数据为目标、

以联接矩阵数据为约束条件, 求一组分配 $(q_{ij})_{n \times p}$, 使得: $J = \max \sum_i \sum_j q_{ij} m_{ij}$,

约束条件为: 物料平衡约束 $\sum_{j=1}^p q_{ij} L_{ij} = X_i$ ($i=1, \dots, n$); 生产能力约束 $\sum_{i=1}^n q_{ij} \leq Y_j$ ($j=1, \dots, p$); 该目标函数利用利用稀疏矩阵特点, 按最大-最小方法求解;

所述最优切割方法用来确定 X_i , 同时利用逆向综合物流模型, 以及分配矩阵 q_{ij} 和盈利系数矩阵 m_{ij} , 计算出每个 X_i 的盈利系数, 具体为:

$$P_i = m_i - c_i, \quad m_i = q_{i1} m_{i1} + \dots + q_{ij} m_{ij} + \dots + q_{ip} m_{ip} = \sum_{j=1}^p q_{ij} m_{ij}$$

X_i 取值主要由原料成份决定, 在正常的 X_i 上下可以有 Δx_i 的变化, 所以在实际计算时, 只要计算其增量即可; 根据 $(\sum X_i m_i) = \max$ 的策略, 其增量方程为:

$$\begin{aligned}
 \Delta X_i &= \begin{cases} (\Delta R)[\text{sign}(m_1 - m_2)] & , i=1; \\ (\Delta R)[\text{sign}(m_i - m_{i-1}) + \text{sign}(m_i - m_{i+1})] & , i=2, \dots, n-1; \\ (\Delta R)[\text{sign}(m_n - m_{n-1})] & , i=n; \end{cases}
 \end{aligned}$$

其中, $(m_i - m_{i-1})$ 、 $(m_i - m_{i+1})$ 分别表示本中间产品与上下相邻的中间产品的盈利之差, sign 是符号函数:

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0; \\ 0 & x = 0; \\ -1 & x < 0; \end{cases}$$

ΔR 是调整量。

本发明具有如下优点：

1) 本发明克服了大型线性规划系统在实际应用中所带来的困难，把庞大的线性规划模型简化为盈利网络的计算以及分配矩阵的计算，这些过程符合工艺排产人员考虑优化问题的思路，容易被操作人员所掌握，从而轻松、熟练地驾驭本方法。

2) 本发明把要求的参数降低到最小限度，避免了在实际运行中不断更新数据引起的麻烦。

3) 本发明通过逆向综合物流模型，避免了对成本的分摊计算。一方面简化了计算，另一方面也消除了企业中各单位之间由于不同核算方法带来的经济利益的冲突，有利于企业各部门的协同应用。

4) 本发明适应性广，可以在大、中、小型流程企业计划排产系统中应用，使计划得到优化，从而产生较好的经济效益。

5) 本发明充分体现了以人为本的思想。本发明利用了分配矩阵是一个稀疏矩阵的特点，而且抓住了排产优化的最本质的问题。这些算法，可以由计算机软件自动实现，也可以通过人机对话的方式半自动的实现，这样便于使用人员在特殊情况下的灵活机动处理，提高了系统对外界环境变化的智能反应。而且，通过反映盈利能力的逆向综合物流模型的测算，可以立即获得操作者输入方案的效益情况；通过多种方案的对比，就可以确定满意方案。

附图说明

图1为本发明逻辑关联图。

图2为本发明正向综合物流单元模型。

图3为本发明正向综合物流网络模型。

图4为本发明逆向综合物流单元模型。

图5为本发明逆向综合物流网络模型。

图6为中间产品的盈利计算网络。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明。

本发明通过对企业物流、资金流的分析，从生产工艺入手掌握生产中的物流走向，并在物流中融入反映生产成本的资金流，建立反映生产成本递增的正向综合物流模型和反映盈利能力递减的逆向综合物流模型；根据中间产品在各道加工工序中的分配规律，建立反映工艺流程联接情况的联接矩阵；利用逆向综合物流模型，建立反映工艺流程盈利能力的盈利系数矩阵；通过联接矩阵和盈利系数矩阵，建立物流分配矩阵；然后，通过解耦优化算法，在物流分配矩阵上进行“最大-最小”优化作业，获得最优物

流分配计划；最后，利用逆向综合物流模型并采用最优切割算法，进一步获得各油品的最优切割计划。由此可知，本发明包括正向综合物流模型、逆向综合物流模型、联接矩阵、盈利系数矩阵、解耦优化算法、最优切割算法等6个部分，其逻辑关联如图1所示。

1) 正向综合物流模型

所述综合物流模型，本质上是在纯物流模型中融入资金流的内容。对于一个生产单位来说，生产过程中的资金流主要体现在成本上，成本可以分为原料成本、辅料成本、能源成本、工资、折旧、预提、待摊等成本。为了处理方便，将辅料成本与能源成本归入可变成本，将工资、折旧、预提、待摊等成本归入固定成本，而原料成本则单独列为原料成本（它占成本的较大比重）。在图2所示的正向综合物流单元模型中

C_1 —入物料成本（按每吨原料所需资金计算）

C_{x1} —可变成本（按处理每吨原料所需辅助资金计算）

C_{y1} —固定成本（按处理每吨原料所需固定资金计算）

C_{11} 、 C_{12} —产品或中间产品的成本（按每吨产品计算）

δ_{11} 、 δ_{12} —本装置中全部成本在产品或中间产品中的分配比例

α_1 、 α_2 —本装置中产品或中间产品物流的比例

m_{11} 、 m_{12} —产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的市场价

输入到装置中的资金量为：

$$C_{\lambda} = C_1 + C_{x1} + C_{y1}$$

输出到产品或中间产品的资金量为：

$$C_{\text{出}} = C_{11} \cdot \alpha_1 + C_{12} \cdot \alpha_2$$

而

$$C_{11} \alpha_1 = (C_1 + C_{x1} + C_{y1}) \cdot \delta_{11}$$

$$C_{12} \alpha_2 = (C_1 + C_{x1} + C_{y1}) \cdot \delta_{12}$$

故

$$C_{11} = \left(\frac{\delta_{11}}{\alpha_1} \right) (C_1 + C_{x1} + C_{y1})$$

$$C_{12} = \left(\frac{\delta_{12}}{\alpha_2} \right) (C_1 + C_{x1} + C_{y1})$$

比值 $(\frac{\delta_{11}}{\alpha_1})$ 、 $(\frac{\delta_{12}}{\alpha_2})$ 称为成本的浓缩或稀释系数。当成本的分配与物流的分配相等时， $\alpha_1 = \delta_{11}, \alpha_2 = \delta_{12}$ ，此时 $C_{11} = C_{12} = (C_1 + C_{x1} + C_{y1})$ 。

将综合物流单元模型按工艺流程关系相互串联起来，就构成图 3 所示的正向综合物流网络模型。图 3 中，产品成本 C_1 、 C_2 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{21} 、 C_{31} 、 C_{32} 的计算可按单元模型的分析，可以得出如下递推关系：

$$C_1 = (\frac{\delta_1}{\alpha_1})(C_0 + C_{x0} + C_{y0}) ;$$

$$C_2 = (\frac{\delta_2}{\alpha_2})(C_0 + C_{x0} + C_{y0}) ;$$

$$C_{11} = (\frac{\delta_{11}}{\alpha_{11}})(C_1 + C_{x1} + C_{y1}) ;$$

$$C_{12} = (\frac{\delta_{12}}{\alpha_{12}})(C_1 + C_{x1} + C_{y1}) ;$$

$$C_{21} = (\frac{1}{\alpha_{21}})(C_2 + C_{x2} + C_{y2}) ;$$

$$C_{31} = (\frac{\delta_{31}}{\alpha_{31}})(C_2 + C_{x3} + C_{y3}) ;$$

$$C_{32} = (\frac{\delta_{32}}{\alpha_{32}})(C_2 + C_{x3} + C_{y3}) ;$$

以上算式是按上游到下游的顺序递推完成的，它反映了成本递增的过程，所以称为正向综合物流模型。系数 δ_{ij} 反映了成本在主副产品之间的分摊关系，本发明为简化模型的计算与使用，还以正向模型为基础，推导出逆向物流模型，消去 δ_{ij} 。

另一方面，成本递增网络还不能直接反映某生产流程盈利的情况，它必须与市场情况相结合，从市场反推到流程的入口端，才能直观地了解到某生产流程能为企业带来多少利润，从而决定生产方案的选择。

2) 逆向综合物流模型

首先考虑图 2 所示的某单元的正向综合物流模型。由图 2 可以得出产品 Q_{11} 、 Q_{12} 的盈利能力为：

$$P_{11} = (m_{11} - C_{11}) ;$$

$$P_{12} = (m_{12} - C_{12}) ;$$

由此推出该生产装置的总盈利能力为：

$$P_1 = \alpha_{11}P_{11} + \alpha_{12}P_{12} = \alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12} - \alpha_{11}C_{11} - \alpha_{12}C_{12};$$

将 C_{11} 、 C_{12} 的成本公式代入可得:

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (\delta_{11} + \delta_{12})(C_1 + C_{x1} + C_{y1});$$

由于 $\delta_{11} + \delta_{12} = 1$ 即成本全部被产品成本分摊掉, 于是:

$$P_1 = (\alpha_{11}m_{11} + \alpha_{12}m_{12}) - (C_{x1} + C_{y1}) - C_1 = m_1 - C_1.$$

m_1 的经济意义是把装置看成是一个“市场代理”, 它将原料成本 C_1 转化成商品价 m_1 , 从而获得盈利能力为 $(m_1 - C_1)$, 由此构成了图 4 所示的逆向综合物流单元模型。在这个模型中, δ_{11} 、 δ_{12} 已经被消去, 只保留了物流分配系数 α_{11} 、 α_{12} , 一般它是由工艺因素决定的。将单元的模型按由市场端逆向递推, 就可以组成图 5 所示的盈利网络图。

盈利能力的递推公式可直接写出:

$$m_1 = (m_{11}\alpha_{11} + m_{12}\alpha_{12}) - (C_{x1} + C_{y1})$$

$$m_2 = (m_{21}\alpha_{22} + m_{22}\alpha_{22}) - (C_{x2} + C_{y2})$$

$$m_0 = (m_1\alpha_1 + m_2\alpha_2) - (C_{x0} + C_{y0})$$

$$P_1 = m_1 - C_1$$

$$P_2 = m_2 - C_2$$

$$P_0 = m_0 - C_0$$

上式中, m_i 为“代理市场”价, P_i 为装置的盈利能力。需要说明的是: P_0 的盈利能力中包含了 P_1 和 P_2 , 这是因为 P_1 和 P_2 是 P_0 的后续装置, 是依附于 P_0 的。

3) 联接矩阵

为了把盈利网络计算的结果用于计划优化算法之中, 还需要作两方面的准备, 这就是构造反映工艺联接关系的联接矩阵和反映盈利效果的盈利系数矩阵。

在一类典型的流程企业中, 都有一个“龙头”装置, 通过它将原料分解成很多中间产品, 这些中间产品再经过后续装置的加工, 最终变成产品出售。但是, 这些中间产品并不是任意地分配给各道加工工序的, 而是有一定的规律, 这些规律反映在数学模型上就是联接矩阵。例如炼油厂的常减压装置就是这样的龙头装置, 它分解出的各侧线从汽油、煤油、柴油、蜡油直到渣油等共 10 多种, 这些油品再经过重整、碱洗、尿素脱蜡、催化、糠醛精制、丙脱沥青、焦化、重催、氧化沥青、减粘等后续加工, 才能变成最终产品。计划优化的任务就是合理分配各侧线的油品到不同的后续流程的入口。在工艺上, 哪些侧线能分配到哪些流程的入口, 都是由装置的

特性决定的。

联接矩阵 $(L_{ij})_{n \times p}$ 的具体形式如下：

$$\begin{cases} L_{ij}=0 & (\text{当 } X_i \text{ 不能与 } Y_j \text{ 相连时}) \\ L_{ij}=1 & (\text{当 } X_i \text{ 可能与 } Y_j \text{ 相连时}) \end{cases}$$

其中 X_i 表示各侧线的油品， Y_j 表示各后续加工流程的入口。

由于工艺设备是专门为加工某类产品设计的，所以联接矩阵表现出“稀疏”的特点，这就为优化算法提供了简化的可能。

4) 盈利系数矩阵

根据前面所述的逆向综合物流模型可以计算出每个流程的入口端的盈利系数。由于不同原料的成分不同，各种收率 α_{ij} 也不同，所以虽然是同一入口，不同原料产生的盈利系数也是不同的。由此可得到盈利系数矩阵 $(m_{ij})_{n \times p}$ ，其中 m_{ij} = 油品 X_i 通过入口 Y_j 进入加工后所产生的盈利系数。显然，对于 $L_{ij}=0$ 的地方， m_{ij} 也是没有意义的。

5) 解耦优化算法

在已知联接矩阵和盈利系数矩阵的情况上，下一步工作就是分配物流，使得总盈利最大。从数学上，就是求一组分配 $(q_{ij})_{n \times p}$ ，使得：

$$\begin{aligned} J &= \max \sum_i \sum_j q_{ij} m_{ij} ; \\ \text{S} \cdot \text{T} \quad & \sum_{j=1}^p q_{ij} L_{ij} = X_i \quad i=1, \dots, n; \\ & \sum_{i=1}^n q_{ij} \leq Y_j \quad j=1, \dots, p; \end{aligned}$$

上式中，第一个约束条件是物料平衡约束，第二个约束条件是生产能力约束。

对于某些企业， $n=1$ ，即被分配的物料只有一种。例如氯碱类企业，它以食盐为原料，通过电解装置分解出烧碱、氯气和氢气。由于氯气有毒，必须全部“消化”掉，因此设置了很多后续流程，例如漂白粉、润滑油、氯苯、氯蜡、盐酸、环氧、PVC、合成等。对于这类企业，盈利系数矩阵退化成了一个向量 (m_1, m_2, \dots, m_p) ，分配物流也退化成一个向量 (q_1, q_2, \dots, q_p) 。

$$\begin{aligned} J &= \max \sum_j m_j q_j ; \\ \text{S} \cdot \text{T} \quad & \begin{cases} \sum_j q_j = \text{氯气产量} \\ q_j \leq Y_j \end{cases} \quad j=1, \dots, p \end{aligned}$$

对于这个问题的优化就非常简单，可以用最大化原则来求解。具体地说，就是把氯气先分配给盈利系数最大的那个流程，然后把剩余的氯气分配给盈利系数次大的流程；依此类推，直至全部氯气分配完毕。这个最大化操作过程非常简单，无论在计算机上求解还是人工目测求解都是简单易行的。其中关键的因素在于利用逆向综合物流模型，已经求出了每个流程中单位氯气量产生的盈利值。由于有这些盈利系数值作基础，大大简化了最终的优化过程。

当 $n > 1$ 时，就变成二维的情况，需要将上述最大化方法扩充为最大-最小方法，具体算法如下：

第一步：对每一个 X_i ，利用最大化方法，将物流分配到盈利系数最大的一组流程的入口端。

第二步：检查每个入口，是否有超过最大允许量的情况。若没有，说明耦合不存在，优化结束。

第三步：若存在某个入口输入总量已超过最大允许量的情况，则采用损失量最小化的原则，调整分配量。不失一般性，假定 Y_j 列发生超限情况。为了将超过部分在 q_{ij} 中进行调整，要计算每行上盈利损失的情况 Δm_{ij} ($i=1, 2, \dots, n$)，挑选损失最小者，将 q_{ij} 减少。若调整后仍然超限，则选择损失次小者继续调整，直至超限量全部被“吸收”，即满足 $\sum q_{ij} \leq Y_j$ 。

通过最大-最小方法，可使得所有约束方程得到满足。由于是稀疏矩阵，这个调整过程很快就能结束，不需要反复调整。

6) 最优切割算法

前面已介绍了最优化分配方案，但要确定 X_i 本身，需要用到最优切割算法。利用逆向综合物流模型，以及分配矩阵 q_{ij} 和盈利系数矩阵 m_{ij} ，可以方便地计算出每个 X_i 的盈利系数（参见图 6）：

$$P_i = m_i - c_i;$$

$$m_i = q_{i1}m_{i1} + \dots + q_{ij}m_{ij} + \dots + q_{ip}m_{ip} = \sum_{j=1}^p q_{ij}m_{ij};$$

对于龙头装置，通过切割，得出一批中间产品 (X_1, X_2, \dots, X_n) 他们的盈利系数是 $(m_i - c_i)$ ，总盈利是：
$$J = (\sum_i X_i m_i) - (C_0 + C_{x0} + C_{y0})$$

对一个企业来说， $(C_0 + C_{x0} + C_{y0})$ 是与 X_i 无关的常量，所以为使目标函数取最大，只要：
$$J' = \max(\sum_i X_i m_i);$$

由于受质量指标的约束， X_i 不可能任意取值，它主要由原料成份（如

原油组分) 决定, 但在一定范围内还是有一些“弹性”的, 即在正常的 X_i 上下可以有 Δx_i 的变化。所以在实际计算时, 只要计算其增量就行了。根据 $(\sum X_i, m_i) = \max$ 的策略, 其增量方程为:

$$\Delta x_i = (\Delta R)[\text{sign}(m_i - m_{i-1}) + \text{sign}(m_i - m_{i+1})] ;$$

$(m_i - m_{i-1})$ 、 $(m_i - m_{i+1})$ 分别表示本中间产品与上下相邻的中间产品的盈利之差, sign 是符号函数:

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

ΔR 是调整量, 这一系数由排产人员根据产品质量卡边的的情况决定: 若产品质量指标离质量边界裕度较大, ΔR 适当放大; 若已接近质量边界, 则 ΔR 适当变小。

上式 Δx_i 的表达式中, 对于 $i=0$ 和 $i=n$ 的两端, 应当修改为:

$$\begin{cases} \Delta X_1 = \Delta R[\text{sign}(m_1 - m_2)] \\ \Delta X_n = \Delta R[\text{sign}(m_n - m_{n-1})] \end{cases} ;$$

这是因为在端点只能与一个相邻产品比较, 所以只使用一次 Sign 函数。

在实际计算成本时, 只要考虑原料成本 C_i 与可变成本 C_{xi} , 不必考虑固定成本 C_{yi} , 因为不论如何分配物流, 固定成本是不变的, 对于比较经济效果不起作用。由于删除了 C_{yi} 的计算, 可使成本计算问题大大简化。

在综合物流算法推导中, 不必计算实际物流量, 而只计算相对量, 即把输入端原料设置为 1, 其输出端 α_i 就是“收率”。

在软件实现过程中, 可采用面向对象的方法或面向“Agent”的方法。因为本发明中的模型都是一个个单元模块, 这就为采用面向对象的设计方法提供了最自然的对应关系。

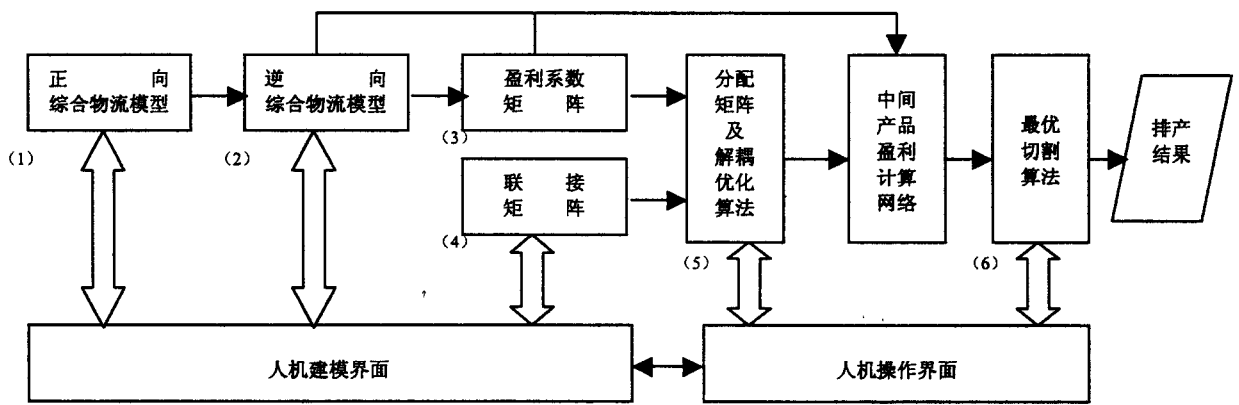


图 1

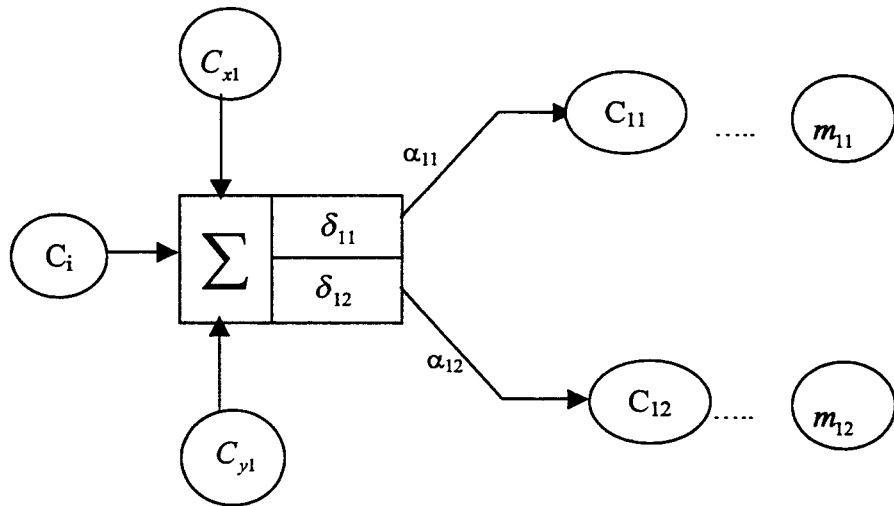


图 2

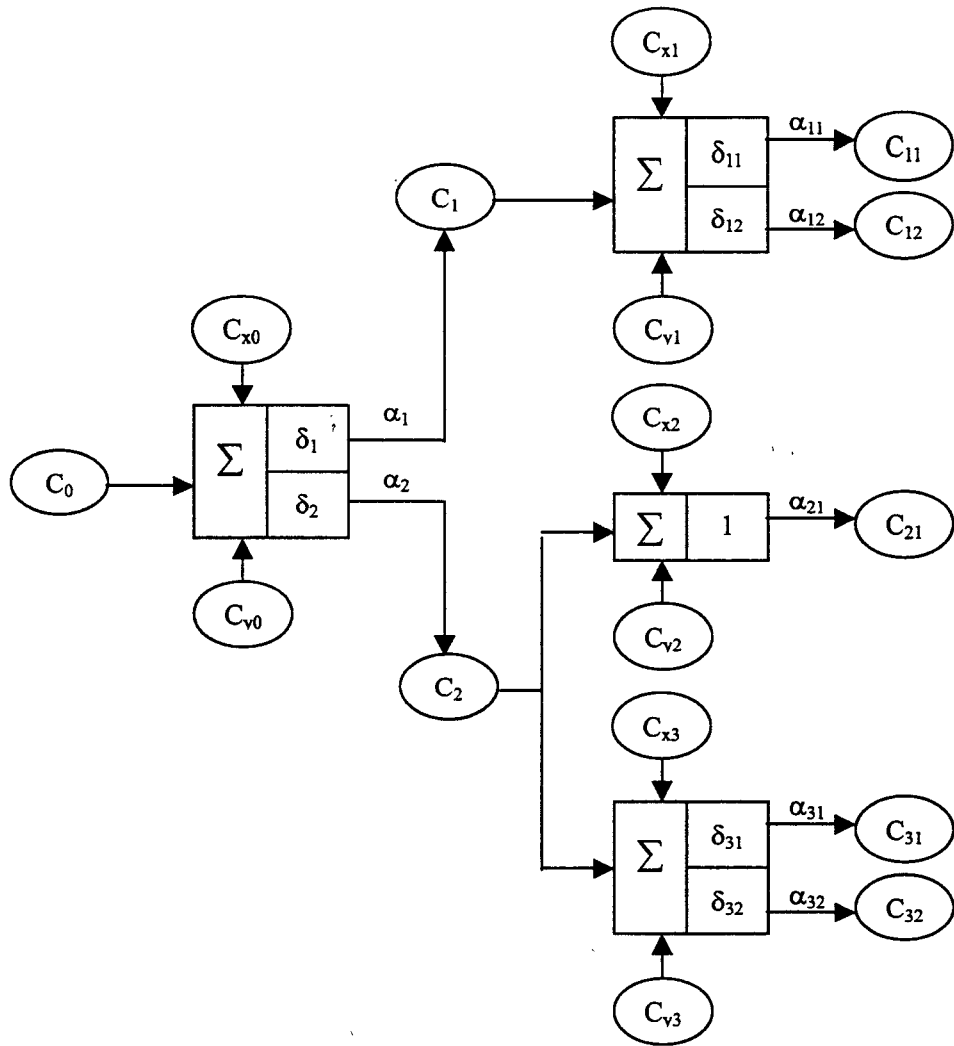


图3

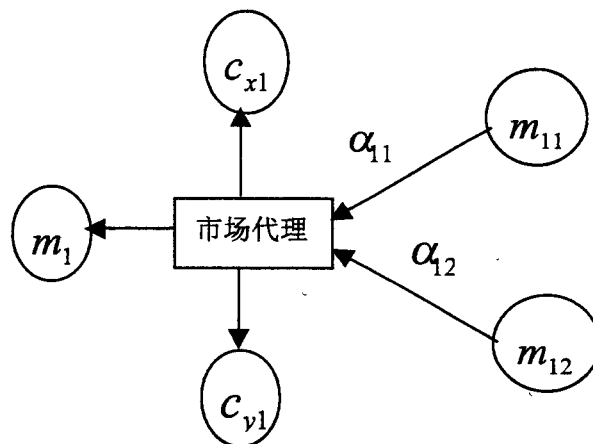


图4

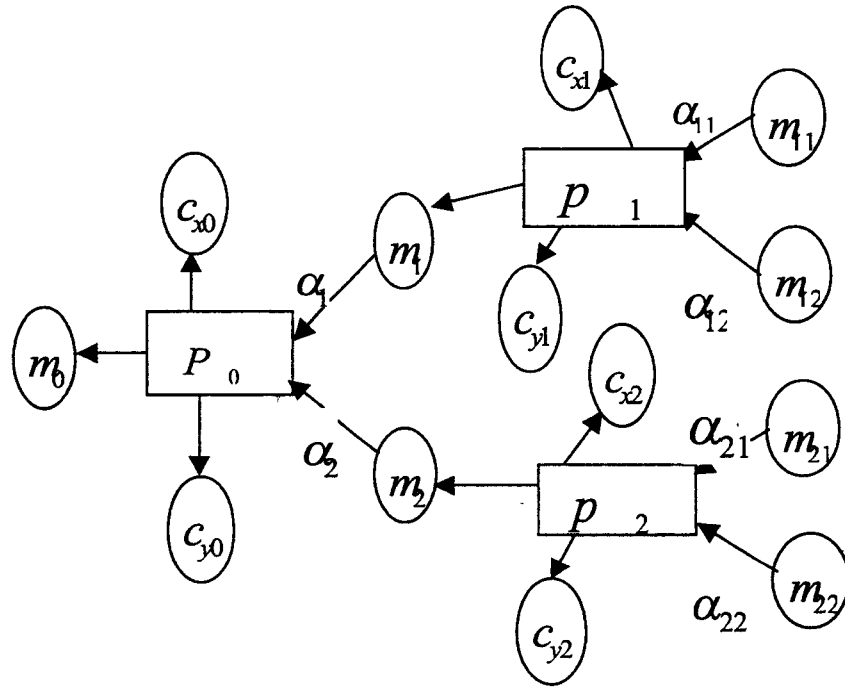


图 5

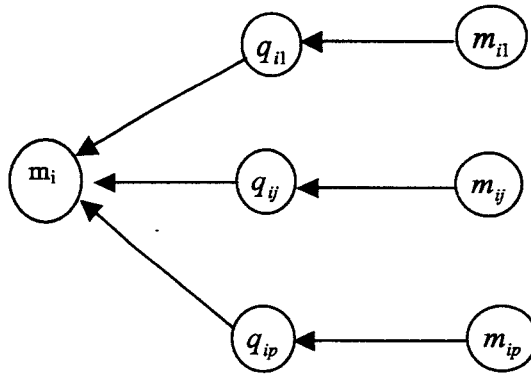


图 6