

# 生产企业原材料的订购与运输

## 摘要

生产企业原材料的订购与运输问题一直是制约或者推动企业发展的重大影响因素,合理地进行订货决策可以很大程度上提高企业的生存销售能力,本文基于某生产企业过去五年的订购、供应商和转运商数据,建立相关评价和决策模型,对供应商重要性进行评价,同时在不同具体要求下进行合理决策及评价。

针对问题一:本文综合考虑了**主观因素**和**客观因素**下进行供应商属性量化的方法,主观的属性量化采取 **AHP 层次分析方法**进行赋权,客观方面采用**熵权法**进行属性的赋权,最后采用最小偏差的思想进行两组权值向量的组合,得到组合权向量。利用组合权向量和预处理并标准化的供应商属性数据相乘,得到每个供应商最终的重要性评分,依据评分排序后选定 **50 家重要供应商**。

针对问题二:参考解决多双目标规划问题中的一种思想,采用最低预期的供货率和最大预期的供货量来确定一个供应商的**实际供货量期望**,据此进行排序分析,针对排序选择最少数目的能满足订购需求的供应商。在这里我们假定需要进行订货分析的 **24 周**为一年的前 24 周,由此可以根据过去五年供应商、转运商的经营情况估计每周实际的经营情况。随后,以使仓库原材料库存足够两周使用为订购标准,针对以上选择出来的供应商,进行**多阶段动态决策模型**的建立,通过**正序解法**,求得每周的订货详情。再根据订单情况结合转运商在不同周的经营情况,同样通过一个动态决策模型分配转运业务。得到最终的订购、转运方案,并进行评价。

针对问题三:在不考虑原材料不同产生的成本差距情况下,决策方式即为问题二中的决策模型。考虑到使用原材料 C 会比 A、B 产生额外的仓储费用和转运损失,因此更多地采购 A 原料是最经济的方案。建立**单目标线性规划模型**,目标函数是订购成本、转运成本、仓储成本之和达到最小,待求未知量为 A、B、C 三种原材料的总订购数量。

针对问题四:同样假设未来的 24 周为一年的前 24 周,针对过去五年各个供应商的前半年的经营情况,参考问题三中建立的最小成本模型,建立新的**多阶段规划决策模型**,目标函数为最大周产量,增加新的约束条件:总货量转运量小于 48000 方。这实质上是将每一周的决策视为一个相对独立的**单目标规划问题**,以转运量最大值为约束条件,使得总产能最大;类似地对所有周进行如上规划问题的求解。得到总体 24 周的订购、转运方案,以及每周提高的产能。

本文提出的模型的优点在于:

1. 对供应商属性的量化同时考虑了主观性和客观性。
2. 没有使用某些特征值表征供应商特性,更多地保留了原始的信息量。

**关键字:** AHP 层次分析 熵权法 单目标规划 分段函数 多阶段动态决策

# 一、 问题重述

## 1.1 问题背景

供应商与物流商的选择问题一直以来都是企业生存、发展和壮大所必须慎重考虑的问题。供应商和物流商选择不当不仅会导致企业生产成本不必要地增加，严重者还会导致原材料缺乏，生产、销售停滞，最终导致资金链的断裂等等。同时，目前很多企业的供应商、转运商选择也存在诸多问题，比如供应商规模参差不齐，应急订单处理能力有高有低，供货的质量和保证率也不尽相同。因此根据已有信息进行正确的决策，选择合适的并且成本低的供应商与转运商，对于企业的发展具有重要意义。对于生产型企业来说，订购策略是其供应链的核心关键要素，通过订购策略，生产企业可以形成对产业链上游的原材料供应商的影响，有助于协调产业链上中游的关系。供应商的选择和订货额度分配直接影响着整个产业链健康程度。因此，在存在限制条件下合理地进行供应商订货分配、选择同时也是现代产业链面临的关键问题。本文在已知的五年中各个供应商以及转运商的运营情况，在不同条件下，对某企业进行最优订货、物流方案决策的分析。

## 1.2 问题重述

问题一：某企业在过去五年有 402 家原材料供应商，每家供应商都只供应 A、B、C 三类原材料中的一种。根据过去五年中企业向各个供应商的订货量、供应商的供货量以及供货类型，建立数学模型，对相关数据进行量化分析，评价供应商对于此企业生成的重要性，并据此选择出 50 家最重要的企业。

问题二：在确定了哪些供应商较为重要之后，为方便进行订货、收货等流程的进行，可以选择尽量最少的能满足产能的供应商数量。同时为了与较重要供应商建立长期良好合作关系，考虑最低订单额度下，向以上供应商进行订货。同时考虑供货率问题，设计订货方案，使得成本最小。最后在此订货策略下，进行转运商的选择，以减少转运损耗。

问题三：经过简单计算，可以知道，A、B、C 三种原材料仅相对于生产来说成本完全一致，因此三种原材料的差别仅存在于转运损耗和仓储费用。为了使仓储费用最小，应该多选择单位生产价值高的原材料，从这一角度来讲，A 材料优于 B 材料优于 C 材料，因此通过尽量多订购 A 少订购 C 即可减少仓储成本。据此制定订购方案后，根据转运商转运损耗率的变化规律，制定转运方案，并进行评价。

问题四：企业为提高产能，需要加大订货数量，企业收货数量收到两方面因素限制，一是供应商供货能力，二是转运商转运货量最大值。评价并选择两个约束中更强的约束，在此条件下制定订购和转运方案，使得企业获取的原材料最多。

## 二、模型假设与符号说明

### 2.1 模型假设

1. 所有供应商都在过去五年中达到过最大供货量；
2. 供应商的供货率水平与某次订购的货量无关，视为此供应商的固有属性；
3. C 类原材料价格按照目前市场价格进行估计；
4. 转运费用采用目前市场上中长途陆路运输的价格进行估计；
5. 三种原材料的仓储费用只跟体积有关，与种类无关；
6. 转运商的转运水平在分析时期内没有较大变化；
7. 企业以实际供货量向供应商支付订单；
8. 订货、到货发生在周初，以上周末的仓储量决策后一周订货总量；
9. 在价格成本相同的情况下，对生产计划的影响也纳入评价项目方案经济性的指标。

### 2.2 符号说明

表 1 符号说明

符号	说明
$S_{ij}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供货商的第 i 周的供货量 ( $m^3$ )
$S_{maxj}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供应商的供货量最大值
$S_i^A$	第 i 周 A 材料的总供货量
$M_{ij}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供应商的第 i 周的供货价值 (元) 即供货量乘单价
$M_{maxj}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供应商的最大供货价值
$e_{ij}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供应商的供货生产效率值 ( $m^3$ ) 即供货量除以单位产能消耗材料
$e_{maxj}^A$	供货类型为 A 的编号为 j 的供应商的最大供货生产效率值
$O_{ij}^A$	向供货类型为 A 的编号为 j 的供货商的第 i 周的订货量
$O_i^A$	第 i 周材料 A 的总订货量
$m$	待评价供应商数量
$n$	评价准则指标数量
$C^B$	企业某一周的订购成本
$C^T$	企业某一周的转运成本
$C^S$	企业某一周的仓储成本
a、b、c	某时刻三种原材料的仓储量
x、y、z	某一周三种材料的订购量
$C_i$	企业第 i 周的总成本

$F_i$	企业第 $i$ 周产量
$P_o^A$	材料 A 的单价（元/方）
$P_t$	单位体积材料的转运费（元/方）
$P_{kn}^t$	编号为 $k$ 的转运商第 $n$ 周的转运损耗率
$\bar{p}_k^t$	编号为 $k$ 的转运商平均损耗率

---

其中，省略了 B、C 材料对应的相关变量，其形式与 A 相同。

### 三、模型的建立与求解

#### 3.1 问题一：重要企业的评价标准与选择结果

##### 3.1.1 过去五年订货量、供货量数据分析

影响平均供应商的因素有很多，比如交货率、突发订单处理能力、服务持续时间、产品合格率、技术水平、与企业联系密切程度等等，然而受限于题目所给数据的形式和数量，本文仅对其中可能存在的影响因素进行量化和分析处理。交货率即供货率，可由每周每个供应商收到的订货量和实际发货量求得。

突发订单处理能力、信誉、技术水平等很多时候取决于供应商的规模，依据本文的假设，可以由五年中某个供应商的最大供货量确定为此供应商的最大供货能力，并由最大供货能力表征供应商的突发订单处理能力、信誉和技术水平的综合情况。

一般的产品和企业都会存在一定的周期性发展，反映与供应商上可能表现为前期供货量快速提高，中间段趋于稳定，后期逐渐下降。在绘制了各个供应商的供货量随时间变化的曲线后（曲线见支撑材料），本文认为，此类原材料的供应商在分析期内不存在服务情况随时间发生变化的情况。

频繁的订单交易是反映供应商与企业的联系密切的重要表现之一，本文以 240 周内某一供应商向企业供货的天数多少来量化此供应商与企业的关系密切程度。

同时，考虑到不同供应商供应的原材料类别不同，单价和需求量不能直接进行比较，因此本文引入供货生产效率值，定义为理想状态下原材料能够生产出的产品数量，以单位 ( $m^3$ ) 计。

##### 3.1.2 建立针对企业生产重要性的层次分析和熵权法模型

AHP 层次分析法是基于主观重要性对比判断之下的一种权数确定方法，具有数学意义，但是依然具有很大主观性，而熵权法则是完全基于信息论相关知识的纯客观赋权方法，完全舍弃了权数赋值的主观性。因此以上两种方法任何单独一种都具有相当的局

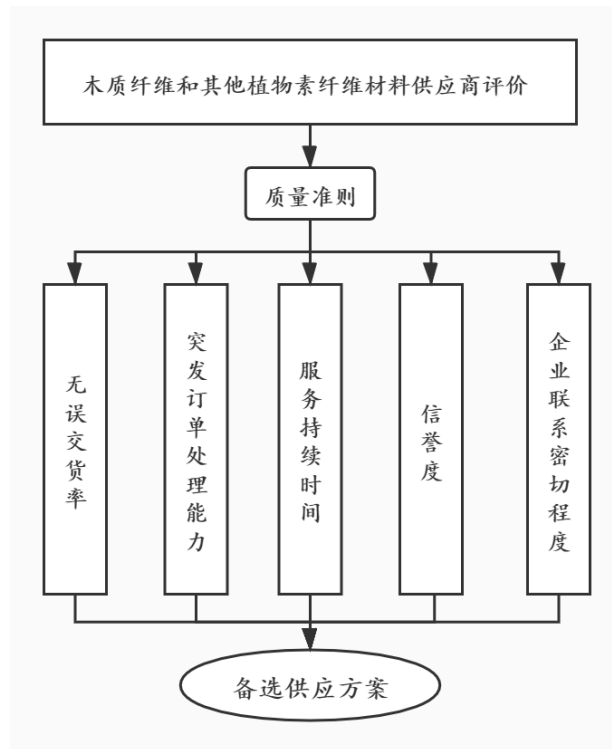


图 1 基于 AHP 的供应商评价模型

限性。为同时考虑对重要性判断准则赋权的主观与客观性，本文考虑同时计算两种方法下的权数，再通过使得偏差最小的原理将两组权数进行合理组合，得到最终的兼顾主客观因素的权数向量。

#### 建立层次分析模型：

建立三层层次分析模型，最上层目标层为供应商重要性；下层对供应商的评价分为三个准则：供货率、最大供货量、与企业的合作关系；最下层为每个准则对应下的 402 家供应商。根据层次分析法常用的相对重要程度量化表，本文参考相关资料后主观认定最大供货量相对于供货率介于稍微重要和相等之间，最大供货量相对于合作关系介于明显重要稍微重要之间。根据量化表，可以得到三个因素的相对重要程度表

表 2 相对重要程度量化表

相对重要程度	量化数值
相等	1
稍微重要	3
明显重要	5
强烈重要	7
极端重要	9
介于上述之间	2, 4, 6, 8

表 3 量化表

因素	相对重要量化值
供货量：供货率	2
供货率：合作关系	2
供货量：合作关系	4

于是形成判断矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

三个特征值为  $\lambda = (3, 0, 0)$ ，特征向量：  $(0.8729, 0.4364, 0.2182)^T$ 。

进行单准则下的一致性检验：

一致性指标  $CI = 0$ ，查表得随机性指标  $RI = 0.58$ ，一致性比率  $CR = CI/RI = 0 < 0.1$ ，可以认为矩阵有很满意的一致性。

对特征向量进行标准化，得到主观权数向量  $W^1 = (0.5714, 0.2857, 0.1429)$

**建立熵权法赋权模型：**

首先对数据进行预处理，利用如下标准化公式将数据进行标准化：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (1)$$

对标准化数据表分别计算三个指标在不同供应商中所占比重，利用如下公式：

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}} \quad (2)$$

进一步计算三个指标的信息熵，利用公式：

$$E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

最后计算指标的权重：

$$w_j = \frac{1 - E_j}{k - \sum_{j=1}^n E_j} \quad (4)$$

客观权数向量  $W^2 = (0.4453, 0.3811, 0.1736)$

### 3.1.3 重要企业选择过程及结果

假设主观与客观权数向量结合后的组合权数向量为  $w$ ，主观权数向量为  $W^1 = (\omega_1^1, \omega_2^1, \omega_3^1)^T$ ，客观权数向量为  $W^2 = (\omega_1^2, \omega_2^2, \omega_3^2)^T$ 。则  $w = W\omega$ ，其中  $\omega$  为线性组合系数向量，满足  $\omega^T \omega = 1$ ， $W = (W^1, W^2)$ 。由此，只要求得线性组合系数向量，即可得到组合后向量。参考最小二乘法原理，根据最小偏差原则求线性组合系数向量  $\omega$ ，即组合后的权数向量与主客观两个权数向量的差距之和最小。

目标属性矩阵  $B = (b_{ij})_{m \times n}$ ，对于单个待评价的供应商：

$$F_i(\omega) = \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^n [(\omega_j^t \omega - W^t) b_{ij}]^2 \quad (5)$$

总偏差为所有 402 个供应商偏差的累加：

$$F_i(\omega) = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^n [(\omega_j^t \omega - W^t) b_{ij}]^2 \quad (6)$$

得到单目标的非线性规划模型，求解此模型即可得到  $\omega$ ，并且由此得出组合后权数向量。

$$\begin{cases} \min F_i(\omega) = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^2 \sum_{j=1}^n [(\omega_j^t \omega - W^t) b_{ij}]^2 \\ \omega^T \omega = 1 \\ \omega_i \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

最终得到综合考虑了主观与客观因素的组合权数向量，为 (0.5094, 0.3341, 0.1565) 将系数逐个带入到标准化数据表中，可以得到最终的各个供应商的重要性评分，依据评分进行排序，即可得出对于企业最重要的 50 家供应商，评分排序结果见支撑材料——供应商重要性排序，企业选择结果见表 3。

表 4 企业选择结果

S348	S374	S140	S151	S139
S307	S201	S330	S076	S098
S007	S308	S108	S338	S126
S175	S174	S266	S150	S237
S114	S037	S213	S086	S314
S221	S169	S239	S123	S291
S067	S229	S324	S202	S143
S284	S064	S218	S172	S197
S113	S092	S080	S129	S361

### 3.2 问题二：最少供货商条件下订购及转运方案设计、评价

#### 3.2.1 最少数量供应商的确定

在满足生产的前提下，若要实现最低的供应商数目，则应该根据供应商的最大供货量进行排序，从高到底依次累加供货量，当总供货量达到企业产能需求时，即可确定最少的供应商数目。据此选择出的最少供应商数目为 9 家，分别是 S140、S139、S307、S108、S201、S348、S151、S229、S361。

#### 3.2.2 最低订购成本的订购方案设计

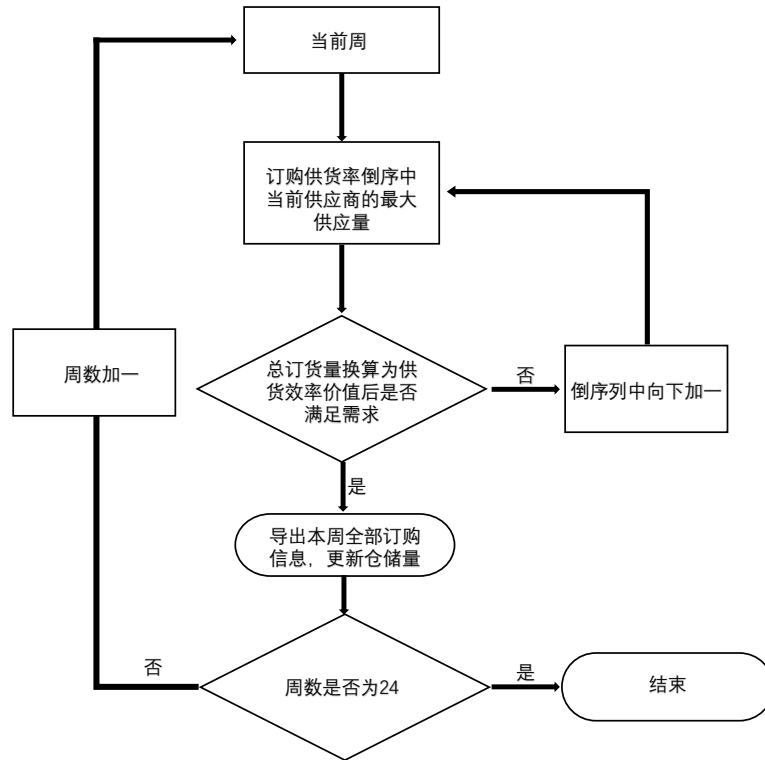
供应商的材料无误交货率是评价供应商的重要指标，因为交货率过低会导致生产厂家的生产、发展、销售计划收到影响。所以当货物的售价相同时，无误交货率可以作为选择供应商的决定性因素，并且将到货率作为评价订购方案的因素之一。在本题目中，我们假设订购货物的付款是发生在货物被送达给转运商之后，即按照实际参与转运的货量向供应商进行付款，同时假设货运费用的交付是发生在货物到达后，即按照实际到货量向转运商付转运费。本题中，在一定的生产计划（每周生产 2.82 万产品）下，购进三种原材料的资金成本与供应商的选择无关，因此进行订购方案的经济性评价时，主要考虑整体的到货率情况。反映到订购方案制定上，即尽可能选择供货率高的供应商。

根据上述原则，我们建立了多阶段的动态决策模型，基本程序如下：

本文假设进行制定订购方案的 24 周为一个年度的前 24 周或者后 24 周，即可以对此问题进行参数不同的两次求解，以下分析都是针对前 24 周的情况进行的。因此我们采用某个供应商过去五年的同一周的平均供货率作为此供应商在这时的供货率期望，如果在某一周，某供应商从未收到过订单，则认为此供应商在此时期存在某种原因导致企业不会在这周向此供应商订货，定义此供应商在此周的供货率为-1。所以 24 周内，每一周的供应商排序都会有所不同，较为符合实际情况。到货率排序情况见支撑材料——供应商按最大供应量效率值排序。

在每一周的分析内，按照供货率的排序，自上到下向各个供应商订购此供应商最大供货量数量的材料，并将材料量转化为效率值（即一定数量的材料能够生产出来的产品数量），直到累计效率值与仓储量效率值之和达到企业需要（5.64 万方）。这里需要说明一点，本文将某个供应商在过去五年 240 周中最大供货量的 10 周的平均值作为此供应商能够稳定供货的最大供货量，各个供应商在各周的最大供货量预期表见支撑材料。同时为了使得企业得到的原材料达到供应商的最高，需要根据供货率反算增加一定的订货





量。这样就得到了一周中不考虑材料差别下的最经济的订购方案。24 周的订购方案见附件 A。

### 3.2.3 新订购方案下转运方案制定

类似于供应商的供货率分析，为了减少不必要的数据处理导致的信息丢失，本文以某一转运商过去五年中在此周的平均转运损耗率作为此周的转运损耗率期望。五年中的转运损耗数据分析及预处理过程如下：

绘制各个转运商每个年序列中各周运输损耗率的曲线，可以发现除个别数据之外，转运商运输损耗率在一年之内的变化规律趋势是基本恒定的，有理由假设转运商运输损耗率在一年度内是与时间序列具有相关关系的，经过曲线图的观察，我们对以下几组转运商的某几个周的转运损耗进行处理，需要说明的是，本文在这里做的处理不是消噪处理，而是因为，这些数据点的存在影响了我们进行整体的特征分析，所以在计算之前予以剔除，并不意味着这些异常点数据存在不真实、误差等问题。

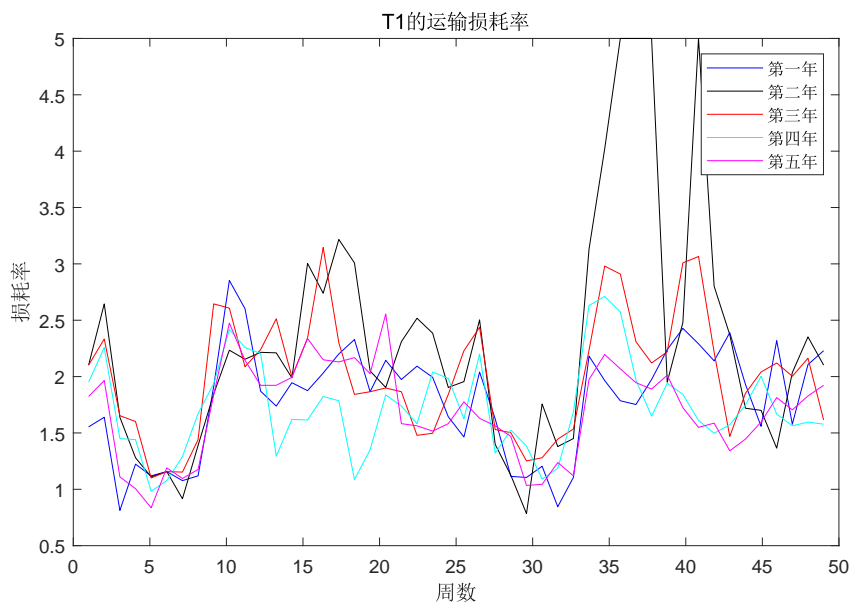


图 2 T1 转运商的第二年中明显异常增加的数据

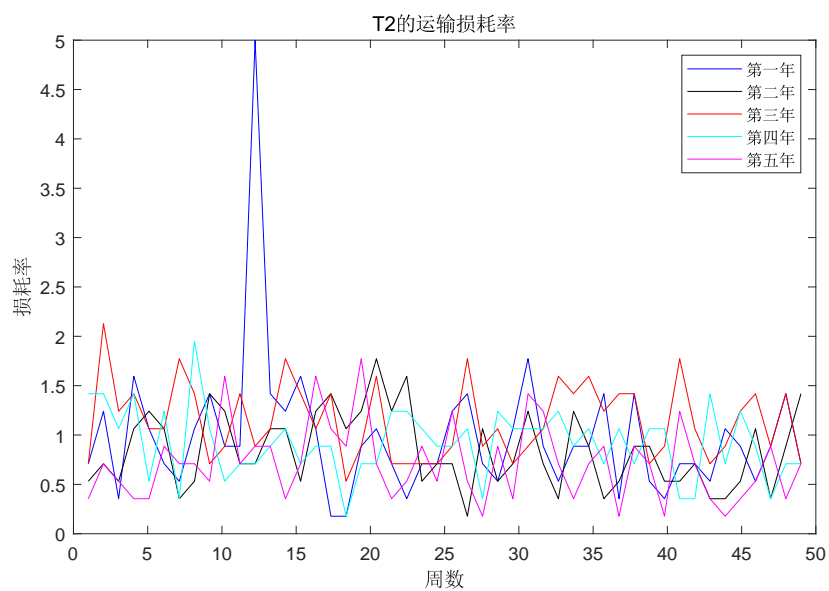


图 3 T2 转运商的第二年中明显异常增加的数据

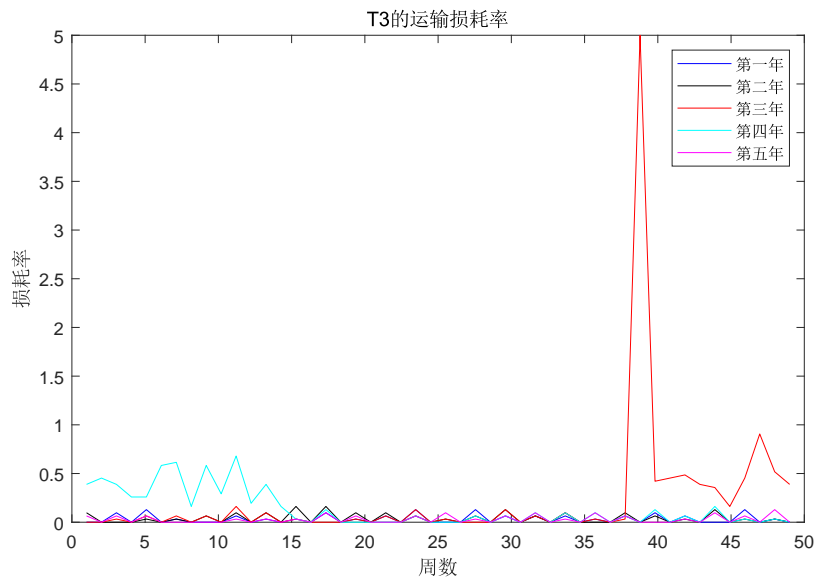


图 4 T3 转运商的第二年中明显异常增加的数据

其他转运商组别没有类似的需处理的数据点，在文中不再列出，图表可见支撑材料——五年内八家转运商损耗率图。

数据预处理结束之后，进行了各个转运商多年平均情况下的一年度内运输损耗率-时间变化曲线，见支撑材料——一年内八家转运商损耗率期望。

#### 转运方案的确定过程：

根据前边所得到的订购方案，已知某周的供应商以及对应供应商的订货量，按照此周转运商损耗率由低到高的序列将转运商最高的 6000 方转运量分配给供应商，即需要满足的原则为：低损耗率的转运商匹配高供货率的供应商。因为题目中提到，尽量使得一家供应商的材料由一家转运商转运，因此本文最终选择的转运方案确定准则如下图：

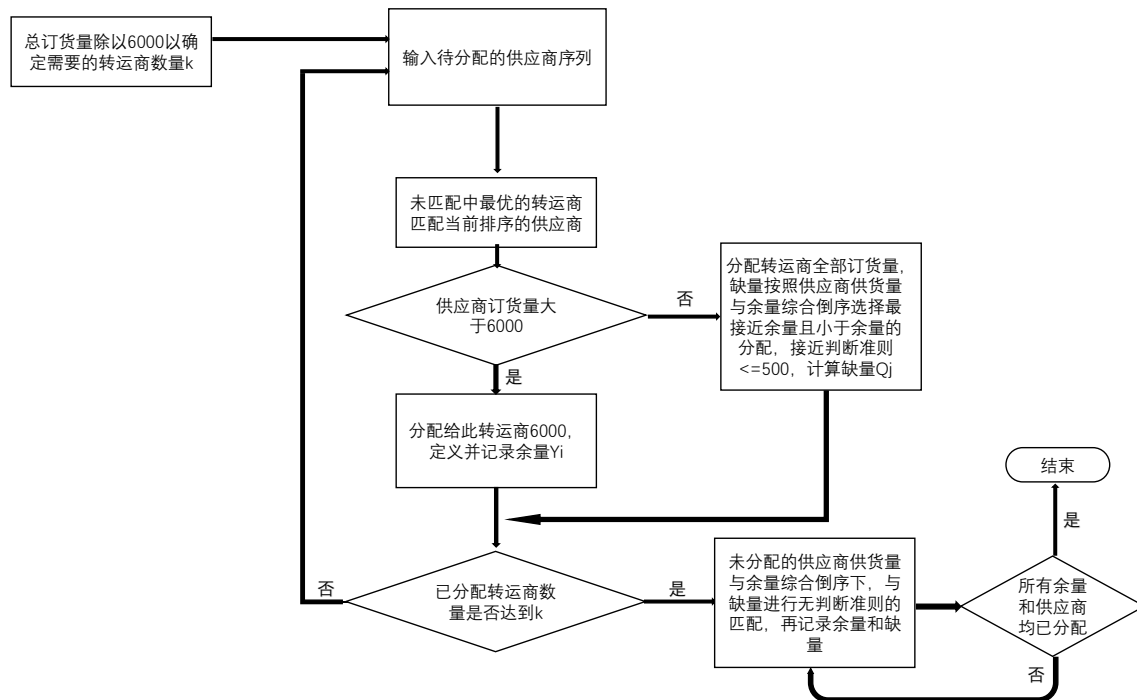


图 5 转运方案的确定

转运方案制定结果见附表 B。

### 3.2.4 订购及转运方案评价

对我们设计的订购方案进行时间序列的曲线绘制，同时绘制过去五年的订货、供货生产效率值图像，整合后如图：

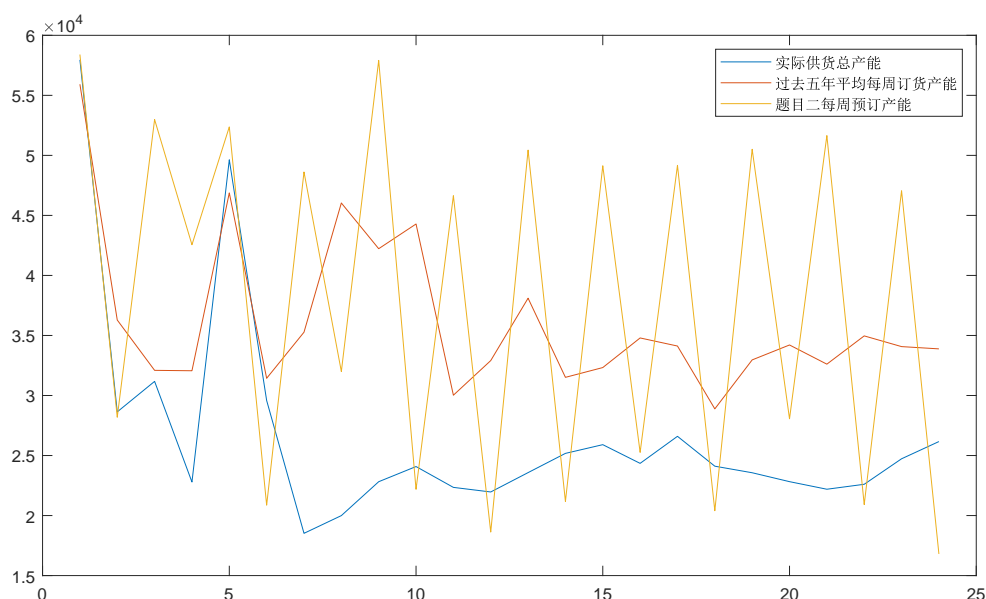


图 6 Q2 方案评价对比

可以看出，本文设计的订购方案相比较过去五年的实际订购方案，在订购曲线的平稳性上都优于从前的方案，呈现出较为规律的升降趋势，表面在此订购方案下，订购策略呈现如下规律：前一周订购接近双倍产能的材料，下一周由于仓库储量较大订购量大幅减小，再下一周由于仓储量小，订货量又一次达到接近第一周的水平，如此往复循环。这样一来，企业的订购方案趋向于一种通用决策，可以减少决策成本，同时保证生产计划顺利进行。

### 3.3 问题三：调整 A、C 原材料比例条件下方案设计

#### 3.3.1 前提条件分析

生产单位体积的产品所需的 A、B、C 三类原材料的体积分别为 0.6 方、0.66 方、0.72 方，而这三类原材料的单位体积售价之比为 1.2: 1.1: 1，因此不管使用哪种原材料，生产单位体积产品所需的原料费相同。因此采购原材料的种类不同不会影响采购成本。本文假设生产成本的组成只考虑采购成本、运输成本和仓储成本三种成本。因此选择不同供应商产生的成本差距主要体现在仓储成本和运输成本之中，原因是：要生产同等量的产品，A、B、C 三种原材料所需的体积之比是 1: 1.1: 1.2，即 C 材料占用的运输额度和仓储空间更大，产生更多运输成本和仓储成本。由此提出了增加 A 材料的采购，减少 C 材料采购的策略以减少运输、仓储成本。在此前提下，若要使得转运损耗最小，可以依然采用本文中解决问题二时使用的转运方案确定模型。

同时，为了增加我们进行成本分析的直观性和主观性真实性，我们参考现今市场上相关产品和服务的行情、价格，制定了成本分析的价格体系，具体数据见下表：

表 5 产品、服务价格表

原材料 A 单位体积售价	1200 元/方
原材料 B 单位体积售价	1100 元/方
原材料 C 单位体积售价	1000 元/方
原材料单位体积运费	100 元/方
原材料单位体积仓储费	30 元/周每方

### 3.3.2 订购方案及转运方案制定

考虑到本文先前假设，采购付款是按照在供应商将材料交付给转运商时的货量进行付款，因此供应商的供货率不会直接影响生产的成本，但同样根据前文问题二中的分析，供货率是通过对生产计划的潜在影响来影响生产成本的，因此对于供应商进行供货率的排序是合理且应该的。在第一问和第二问的基础上，将选择出来的 50 家最重要供应商作为一般情况下企业进行订购计划安排的首选备用供应商，即在此问中也是仅考虑在此 50 家供应商中选择，进行订购方案的确定。为实现 A、B、C 三类原材料的区别化处理，将供应商分为 A、B、C 三组，组内进行供货率的排序，作为订货时的选择顺序。分组情况见支撑材料——A 类供应商相关数据而最高效转运的实现主要通过以下原则：使低损失率的转运商尽可能转运 A 材料，这样一来，在损失掉同等体积的材料时，产生的成本损失最小。求解主要思路见如下框图：

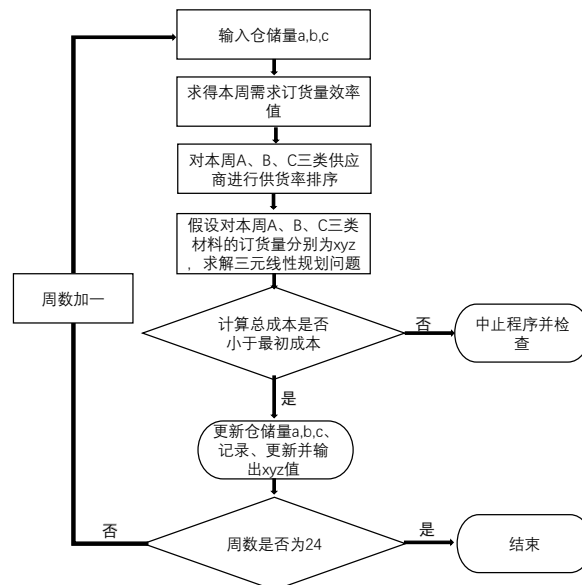


图 7 求解问题三程序框图

建立的线性规划模型为：

$$\min Y_i = C^B + C^T + C^S \quad (8)$$

$$s.t. \begin{cases} x \leq \sum S^A \\ y \leq \sum S^b \\ z \leq \sum S^C \\ \frac{x}{0.6} + \frac{y}{0.66} + \frac{z}{0.72} = 56400 \end{cases} \quad (9)$$

其中

$$C^B = xP_A(x)P_o^A + yP_B(y)P_o^B + zP_ZP_o^C \quad (10)$$

即订购成本等于三种原材料订购量乘供应商的综合供货率再乘以相应的单价，为方便表示，将不同供应商的不同供货率集合表示为一段函数  $P(x)$ ，在某一周内， $P(x)$  的分段依据是当周供应商排序后的累计最大供应量，这样，对于某一个固定周，供货率便类似于阶梯电价系统中的电价，不同的是供货率分段函数在订货量增加时，供货率是呈减小趋势；

$$C^T = [xP_A(x) + yP_B(y) + zP_Z](1 - P^t)P_t \quad (11)$$

即转运成本等于供应商提供的货物量乘以相应转运商完好率再乘以转运单价，最后求和，为方便表示，不同转运商的完好率在式子中综合表示为  $(1 - P^t)$ ，货运损失率  $P^t$  是关于供货量的分段函数，定义方式和单调性与供货率分段函数基本一致；

$$C^S = \frac{[xP_A(x) + yP_B(y) + zP_Z](1 - P^t) + (a + b + c) + (a' + b' + c')}{2} \quad (12)$$

即仓储成本等于周初仓储量与周末仓储量的平均值乘以仓储单价，周初仓储量为上周末仓储量加本周到货量，而周末仓储量为周初仓储量减去一周内因进行生产而消耗的材料体积。同时考虑到仓储成本最小，本文制定了以下材料消耗准则：生产时先消耗 C 类材料，耗尽后消耗 B 类材料，最后消耗 A 类材料。这样就使得占地最大的 C 类材料在仓库中存贮时间最短，降低仓储成本。

由于规划问题中目标函数价值系数的分段复杂性，我们考虑将一周内带有分段函数的规划问题分解成数百个定系数线性规划问题，即按照  $P_A(x)$ 、 $P_B(y)$ 、 $P_C(z)$  的不同分段，进行排列组合得到全部分段可能性下的相应价值系数，同时将约束条件更新为对应分段下  $x$ 、 $y$ 、 $z$  的取值范围。利用现有解决三元线性规划问题的程序求解上述数百个规划问题，列出所有具有可行解的规划问题的最优解，再进行排序寻优，便得到了整个规划问题的全局最优解，一周的最优订购、转运策略求解完成。

记录下此订购方案下周末的剩余仓储量，输入模型，更新下一周的供应商、转运商排序，即可用同样方法求解，递推到最后一周，整个问题三求解完毕。订购方案结果见附件 A，转运方案见附件 B。

### 3.3.3 相关方案的评价

待写

## 3.4 问题四：以提高产能为目的改进订购、转运方案

### 3.4.1 产能提高情况分析

企业为提高产能，必须要增加原材料的订购数量，原材料数量统一化为生产效率值后，实现最大产能即求得总供货效率值的最大，以总供货效率值为目标函数，制约总供货效率值提高的两大因素，一是供应商的最大供货量，二是转运商的最大转运量。简单计算得到，八家转运商的总最大转运量为 48000 方，而选出的 50 家供应商的总供货量就已经远超此值，因此最大转运量显然为有效约束，总供货量为无效约束。对于最终结果的计算则分为三个步骤，一是求解线性规划模型，求得能使得产量最高的订购策略，二是根据订购策略设计转运方案，由转运方案计算得到实际到达企业的各种材料数量期望，三是根据材料数量的期望计算产能。

### 3.4.2 约束条件的确定和规划模型求解

本文在问题三规划模型的基础上，建立新的带有分段函数的线性规划模型，程序框图和规划模型如下：



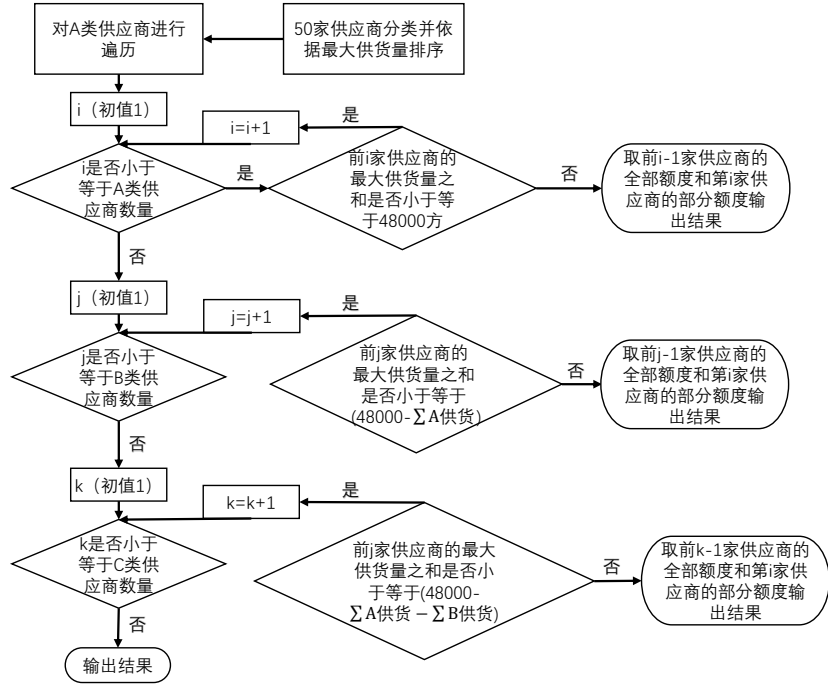


图 8 问题四流程图

$$\max F_i = \frac{xP_A(x)}{0.6} + \frac{yP_B(y)}{0.66} + \frac{zP_Z}{0.72} \quad (13)$$

$$s.t. \begin{cases} x \leq \sum S^A \\ y \leq \sum S^b \\ z \leq \sum S^C \\ x + y + z = 48000 \end{cases} \quad (14)$$

### 3.4.3 订购、转运方案评价

对求得的订购方案进行图像分析，图像见下图：

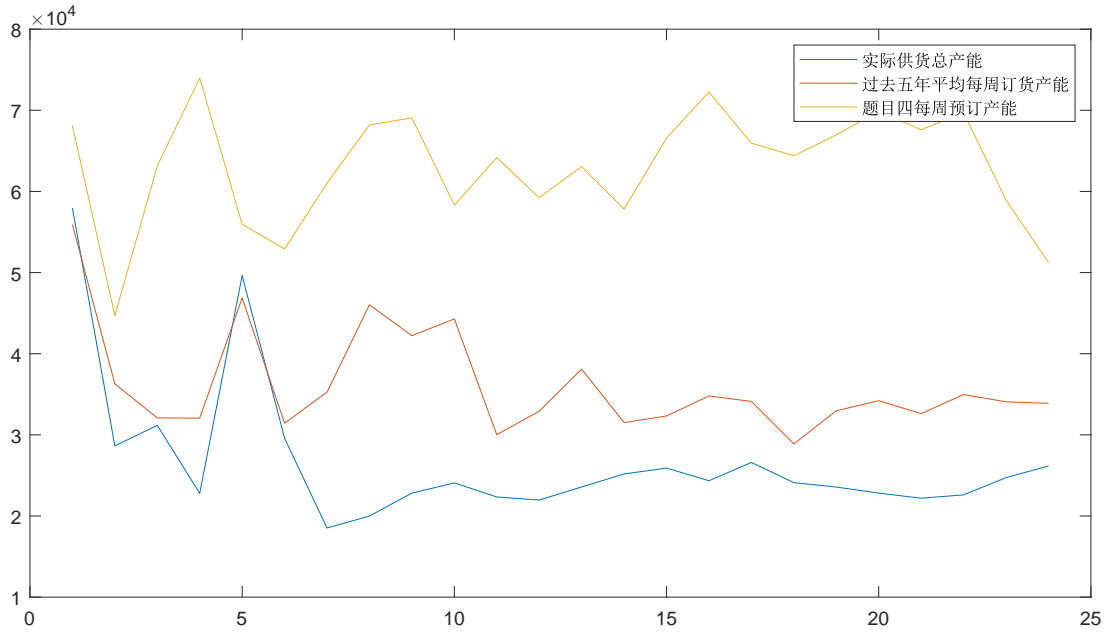


图9 Q4 方案评价对比

可以直观、明显地看出，本文在本题目中制定的增加产能的订购、转运策略是有效的，预期产能相比过去五年的实际情况有很大提升，总体的提升比例在 200% 以上。

## 四、模型改进与优化

### 4.1 问题一的模型改进优化

虽然我们为了增加量化权值的可信度和合理性综合考虑了主观和客观两方面，但主观权向量和客观全向量的组合方式有待改进，同时 AHP 层次模型分析的方法如今也稍显落后，可以采用 ANP 网络分析等更好的主观赋权分析方法。

### 4.2 问题二的模型改进优化

问题二中本文只考虑了需要设计方案的 24 周为一年中的前 24 周，时间序列因素的考虑稍显过强，而对供应商属性的整体性指标体现不足，可以在原本基础上考虑增加能够体现整体平均水平的特征量，如平均值、中位数等等。

## 五、模型的评价与推广

### 5.1 模型的缺点

1. 问题三中，线性规划模型的建立是完全基于待求解问题的属性，没有考虑数据形式的特点，因此在求解中对于分段函数作为系数的这类规划问题时，求解变得十分困

难，不得已只能进行枚举分割的方式逐步求得最优；

2. 问题三中，为了实现各项成本的可比性以及方便各项指标的量化表示，本文对题目中涉及的材料、服务进行了较为主观的定价，而这种定价的因人而异往往会使得模型求解的结果偏离实际。

## 5.2 模型的优点

1. 问题一建立的求解模型思路清晰，数据预处理、表达式的选定直观明了。
2. 引入吸引度这一概念，避免了考虑任务密度、会员密度等复杂步骤。

## 5.3 模型的推广

基于这种吸引度的计算，这类模型可以应用于其他互联网 app，如共享单车投放等问题。

## 参考文献

- [1] 王莹. 基于 ANP 和多目标模型的供应商订购策略研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [2] 孔尚萍, 张海瑞, 廖选平. 基于 AHP 与熵权法的空中目标威胁评估方法[J]. 战术导弹技术, 2018.

## 附录 A 转运商平均损耗率曲线

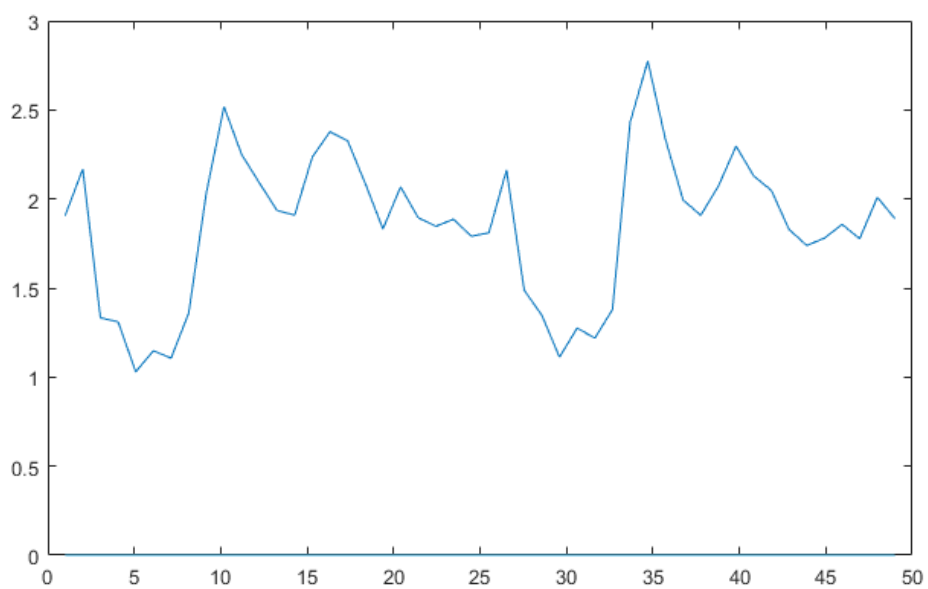


图 10 转运商 T1

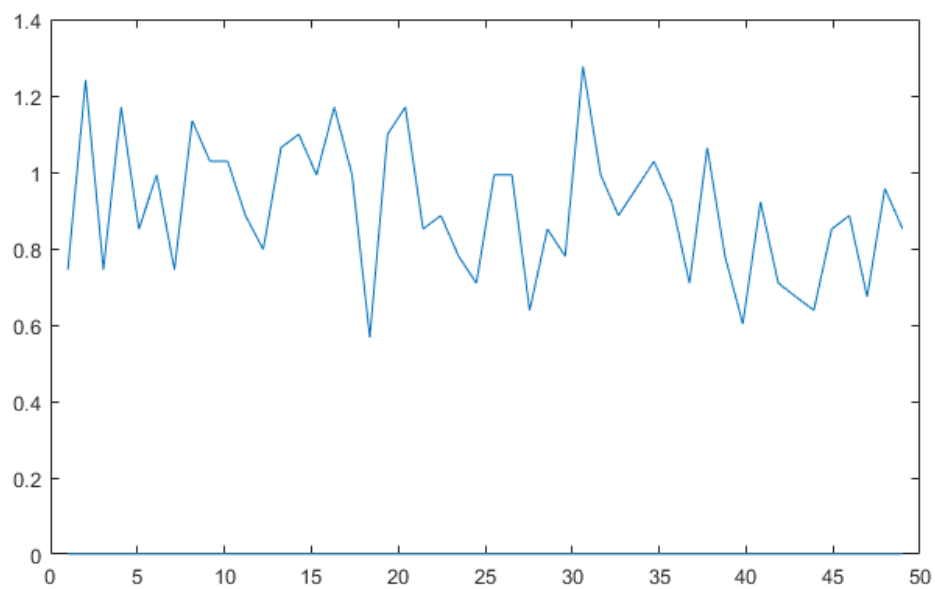


图 11 转运商 T2

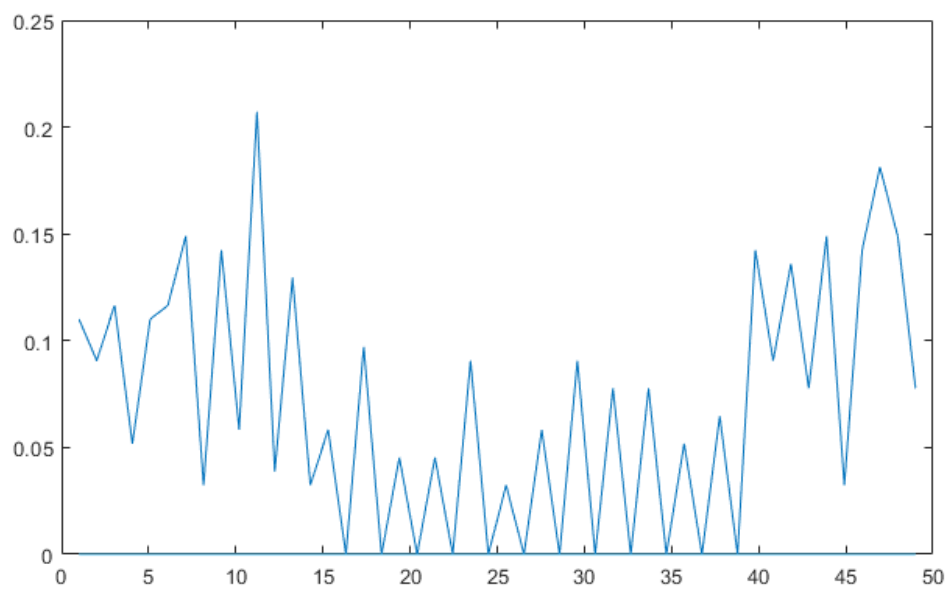


图 12 转运商 T3

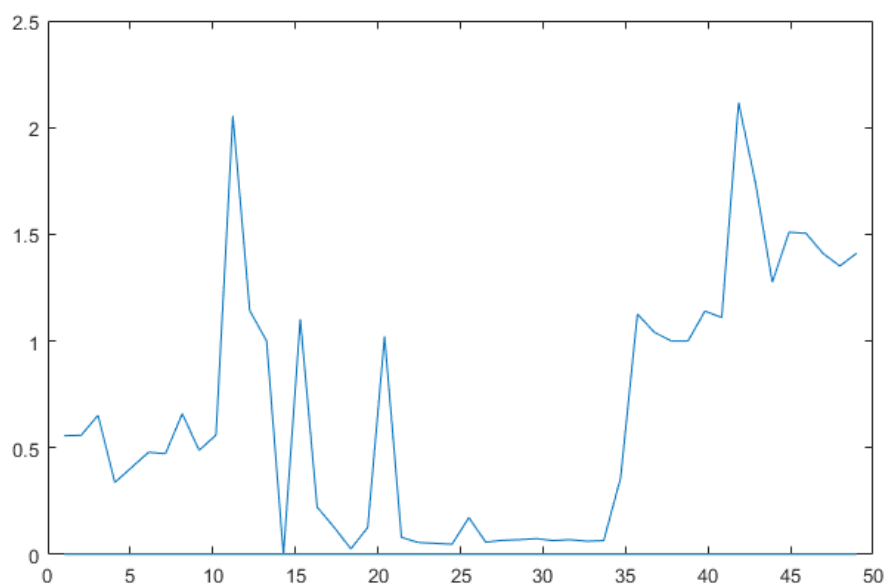


图 13 转运商 T4

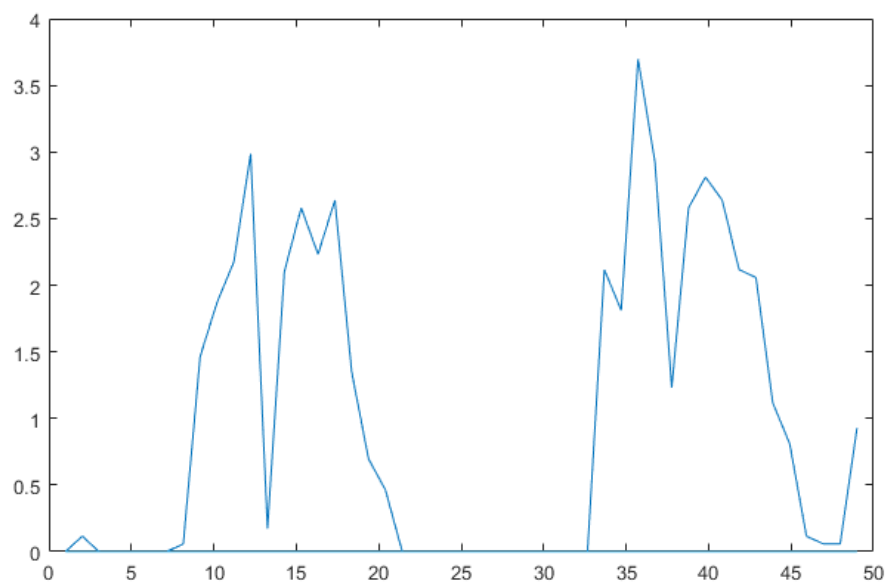


图 14 转运商 T5

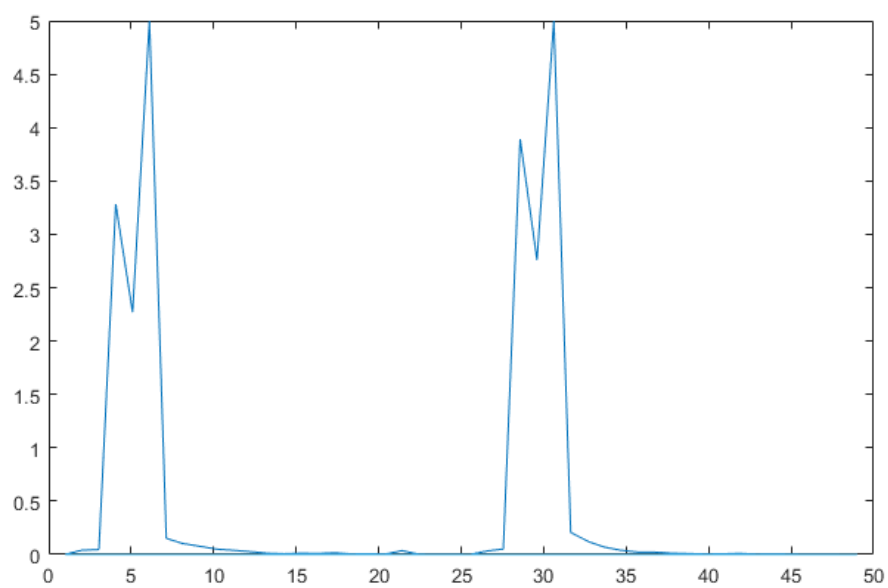


图 15 转运商 T6

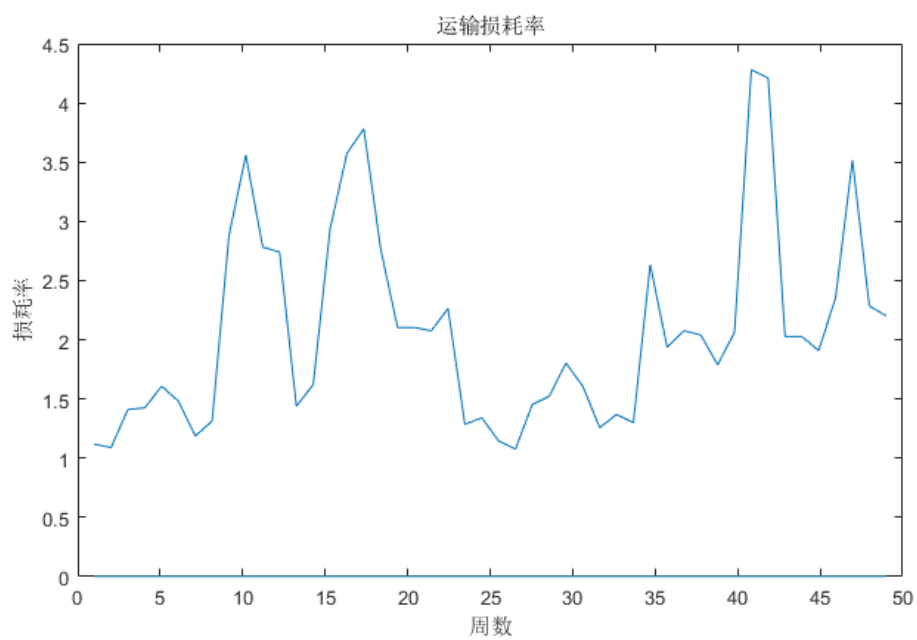


图 16 转运商 T7

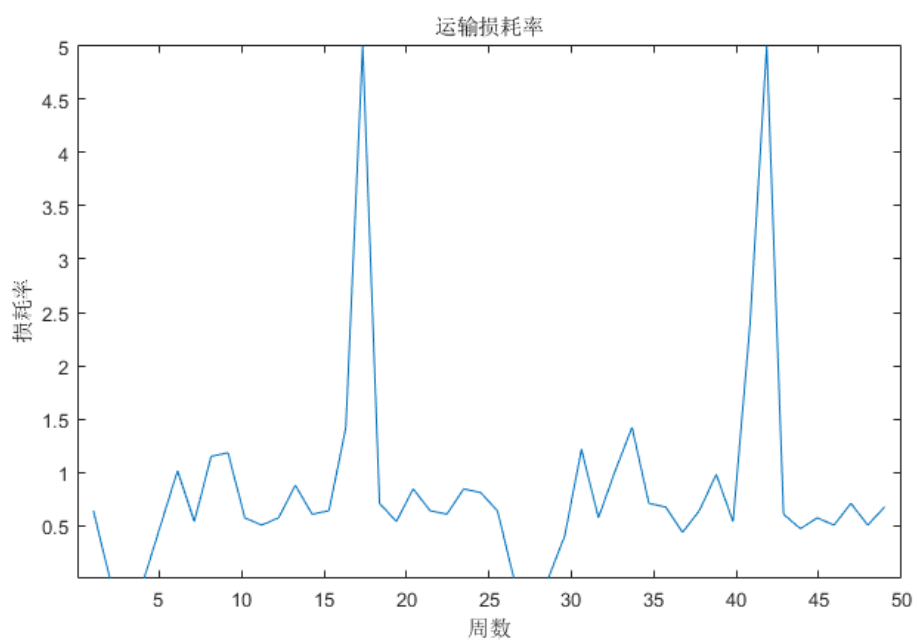


图 17 转运商 T8

## 附录 B 层次分析模型

```
import numpy as np
from numpy import matrix as mat

# 形成判断矩阵, 重要程度供货量>供货率>合作关系
judge = [
    [1, 2, 4],
    [0.5, 1, 2],
    [1/4, 1/2, 1]
]

# 求解特征值和特征向量
# 第一个为特征值, 第二个为特征向量
gamma, W = np.linalg.eig(judge)
print(gamma)
# gamma= [ 3.00000000e+00 6.16297582e-33 -7.50963641e-17]
# W = [[ 8.72871561e-01 -1.64728619e-16 8.42583120e-01]
# [ 4.36435780e-01 -8.94427191e-01 -5.35528847e-01]
# [ 2.18217890e-01 4.47213595e-01 5.71186433e-02]]

# 单准则下的一致性检验
# 一致性指标CI = (gamma_max-阶数) / (m-1)
print(max(gamma))
CI = (max(gamma) - 3) / 2
# 随机指标查表得RI = 0.58(当阶数为3时)
# 一致性比率 CR = CI / RI
CR = CI / 0.58
print(CR)
# 由于CR<0.1, 因此认为一致性可以接受

# 最大特征值对应的特征向量
W_max = np.array([0.8, 0.4, 0.2])
print(W_max)
# 标准化特征向量, 使得各分量都大于零, 各分量之和等于 1
array_weight = W_max / np.sum(W_max)
print(array_weight)

# array_weight = 0.5714, 0.2857, 0.1429
```

## 附录 C 熵权法

```
%目标属性矩阵大小402*3
%属性: 率 量 关系
```



%量: 最大供应价值  
%率: 供应率的均值  
%关系: 有订单周数/全部周数

%最大供应价值

```
values=zeros(1,402);  
for num=1:402  
    type=apply(num,2);  
    max=0;  
    if strcmp(type{1}(1),"A")==1  
        for day=1:240  
            value=cell2mat(apply(num,2+day))/0.6;  
            if value>max  
                max=value;  
            end  
        end  
    end  
    if strcmp(type{1}(1),"B")==1  
        for day=1:240  
            value=cell2mat(apply(num,2+day))/0.66;  
            if value>max  
                max=value;  
            end  
        end  
    end  
    if strcmp(type{1}(1),"C")==1  
        for day=1:240  
            value=cell2mat(apply(num,2+day))/0.72;  
            if value>max  
                max=value;  
            end  
        end  
    end  
    values(num)=max;  
end
```

%率: 供应率的均值

```
applyRate=zeros(1,402);  
for num=1:402  
    x=0;  
    rate=0;  
    for k=1:240  
        if cell2mat(demand(num,k+2)) ~=0  
            x=x+1;  
            rate=cell2mat(apply(num,k+2))/cell2mat(demand(num,k+2))+rate;  
        end  
    end  
    rate=rate/x;
```

```

        applyRate(num)=rate;
    end
    %关系
    relation=zeros(1,402);
    for num=1:402
        day=0;
        for k=1:240
            if cell2mat(demand(num,k+2)) ~=0
                day=day+1;
            end
        end
        relation(num)=day;
    end

%熵权法计算各属性权值
%计算各指标的熵值
    V = 0;
    R = 0;
    A = 0;
    for m=1:402
        V=V+values(m);
        R=R+relation(m);
        A=A+applyRate(m);
    end
    for m=1:402
        values(m)=values(m)/V;
        relation(m)=relation(m)/R;
        applyRate(m)=applyRate(m)/A;
    end
    e=zeros(1,3);
    for m=1:3
        for n=1:402
            e(m)=e(m)-1/log(402)*values(m)*log(values(m));
        end
    end
    %计算各指标权重
    w=zeros(1,3);
    W=0;
    for n=1:3
        W=W+1-e(n);
    end
    for n=1:3
        w(n)=(1-e(n))/W
    end
end

```

## 附录 D 组合赋权

```
from scipy.optimize import minimize
import numpy as np
from openpyxl import *

# 层次分析法得到的权值
W1 = [0.5714,0.2857,0.1429]
# 熵权法得到的权值
W2 = [0.4453,0.3811,0.1736]
W = [W1,W2]

# 读取决策矩阵
# 获取某列的所有值
def getColValues(decision,column):
    rows = decision.max_row
    columndata = []
    for i in range(1, rows + 1):
        cellvalue = decision.cell(row=i, column=column).value
        columndata.append(cellvalue)
    return columndata

wb = load_workbook("Values.xlsx")
sheets = wb.get_sheet_names()
decision = wb[sheets[0]]
value = getColValues(decision,1)
supply_rate = getColValues(decision,2)
rela = getColValues(decision,3)
b = [list(t) for t in zip(value,supply_rate,rela)]

# 最终的偏差值
def fun(args):
    bias = 0
    bias_sum = 0
    for i in range(402):
        for t in range(2):
            for j in range(3):
                bias = lambda w: (np.dot(W[t] , w) - W[t][j]) * b[i][j] ** 2
                bias_sum = bias_sum + bias(w)
    return bias_sum

args = (1) # a
w = np.zeros((3, 1)) # 初始猜测值
res = minimize(fun(args), w, method='SLSQP')
print(res.fun)
print(res.success)
```

```
print(res.x)
```

## 附录 E 50 家供应商选择

```
from scipy.optimize import minimize
import numpy as np
from openpyxl import *
import combination

W = np.dot(combination.W , combination.w)

# 读取决策矩阵
# 获取某列的所有值
def getColValues(decision,column):
    rows = decision.max_row
    columndata = []
    for i in range(1, rows + 1):
        cellvalue = decision.cell(row=i, column=column).value
        columndata.append(cellvalue)
    return columndata

wb = load_workbook("Values.xlsx")
sheets = wb.get_sheet_names()
decision = wb[sheets[0]]
value = getColValues(decision,1)
value = np.array(value) / max(value)
supply_rate = getColValues(decision,2)
rela = getColValues(decision,3)
# b = [list(t) for t in zip(value,supply_rate,rela)]

result = W[0] * np.array(value) + W[1] * np.array(supply_rate) + W[2]* np.array(rela)
wb = Workbook() #创建excel文件对象
ws = wb.active #获取excel文件的一个sheet
i = 0
for row in range(1,403):
    ws.cell(row=row,column=2,value=result[i])
    ws.cell(row=row, column=1, value=i+1)
    i = i+1
wb.save("test.xlsx") #保存文件
```

## 附录 F 供应商最大供货量期望

```

import numpy as np
from openpyxl import *

# 读取50家厂商的编号
wb = load_workbook("50家供应厂商的选择.xlsx")
sheets = wb.get_sheet_names()
supply = wb[sheets[0]]

# 获取某列的所有值
def getColValues(supply, column):
    rows = supply.max_row
    columndata = []
    for i in range(2, 52):
        cellvalue = supply.cell(row=i, column=column).value
        columndata.append(cellvalue)
    return columndata

# 获取某行的所有值
def getRowValues(supply, row):
    column = supply.max_column
    rowdata = []
    for i in range(3, column + 1):
        cellvalue = supply.cell(row=row, column=i).value
        rowdata.append(cellvalue)
    return rowdata

# 获取前50个备选供应商的编号值
number = getColValues(supply, 1)
print(number)

# 读取50家厂商的供货量信息
wb = load_workbook("附件1 近5年402家供应商的相关数据.xlsx")
sheets = wb.get_sheet_names()

# 获取对应编号的240周订货量数组
data1 = wb[sheets[0]]
order_data = []

# 获取对应编号的240周供应量数组
data2 = wb[sheets[1]]
supply_data = []

for i in range(len(number)):
    order_data.append(getRowValues(data1, number[i]+1))
    supply_data.append(getRowValues(data2, number[i] + 1))

# 对每一家供应商的供应量排序,并找出最高的前24供货量,然后求均值
max_supply = []
avr_supply = []

# 计算每一家供应商的供货率,并找出最低值

```

```

rate = []
min_rate = []
avr_rate = []

for i in range(len(number)):
    rate.append(np.array(supply_data[i]) / np.array(order_data[i]))
    for j in range(len(supply_data[0])):
        if order_data[i][j] == 0:
            rate[i][j] = 1000
    # 降序
    supply_data[i].sort(reverse=True)
    max_supply.append(supply_data[i][0:24])
    avr_supply.append(np.mean(max_supply[i]))
    # 升序
    rate[i].sort()
    min_rate.append(rate[i][0:24])
    avr_rate.append(np.mean(min_rate[i]))

if __name__ == '__main__':
    # 将每家厂商最大平均供应量存入excel
    wb = Workbook() #创建excel文件对象
    ws = wb.active #获取excel文件的一个sheet
    i = 0
    ws.cell(row=1,column=2,value="最大平均供应量")
    ws.cell(row=1,column=1,value="编号")
    for row in range(2,len(number) + 2):
        ws.cell(row=row,column=2,value=avr_supply[i])
        ws.cell(row=row, column=1, value=number[i])
        i = i+1
    wb.save("每家厂商最大平均供应量.xlsx") #保存文件

```

## 附录 G 问题二订购方案的确定

```

%Q2
%首先选择了supply元胞数组中的公司
%判断量（产能）多少是否可以满足大于等于5.64万
%每次订 量/率*0.6/0.66/0.72
%假设从第start周开始
start=1;%开始周数
all=56400;%总产能
remain=zeros(25,1);%记录每周在库存剩余产能
need=zeros(25,1);%记录每周仍然需要的产能
%初始化
need(1)=all;

```

```

remain(1)=all-need(1);
buy=zeros(24,50);%记录每周在每个公司的订购量 单位：立方米
t = zeros(24,50);%记录每周在每个公司的实际到达量（概率）

for week=1:24
    Now = mod(start+week-1,49);
    sum = 0;
    x=all-sum;
    for company=1:50
        for company2 = 1:50
            %自然连接两个表 以编号相连接 可以查询到对应的每周平均率
            if supply{company,1} == rate(company2,1)
                break
            end
        end
        if rate(company2,Now + 1) ~= -1 && rate(company2,Now+1) ~= 0

            if x<supply{company,2}
                zj=x;
            else
                zj=supply{company,2};
            end
            sum=sum+zj;%订购最高获得的产能
            %计算这个时候需要多少 单位：立方米
            if strcmp(supply{company,3},'A') == 1
                t(week,company) = zj * 0.66;
                buy(week,company) = zj / rate(company2,Now + 1) * 0.66;
            elseif strcmp(supply{company,3},'B') == 1
                t(week,company) = zj * 0.6;
                buy(week,company) = zj / rate(company2,Now + 1) * 0.6;
            else
                t(week,company) = zj * 0.72;
                buy(week,company) = zj / rate(company2,Now + 1) * 0.72;
            end
            if sum>=need(week)
                %如果超出了need 则订完了 进入下一周
                break
            else
                x=all-sum;
            end
        end
    end
    remain(week+1)=sum-28200;
    need(week+1)=all-remain(week+1);%在消耗之后需要的数量
end
amd=t;
xlswrite('Q2result3',buy,'订购方案')

```

```
xlswrite('Q2result3',amd,'运输方案')
```

## 附录 H 问题四订购方案确定代码

```
num=[16 16 18];%A B C三类数量
all = 48000;
buy=zeros(50,24);
name=zeros(50,24);
for week = 1:24
    need=all;
    name(:,week)=data(:,week*3-2);
    for m = 1:num(1)
        if need<data(m,week*3)
            buy(m,week)=need;
            need=0;
            break
        else
            need=need-data(m,week*3);
            buy(m,week)=data(m,week*3);
        end
    end
    if need==0
        continue
    else
        for m = 1+num(1): num(1)+num(2)
            if need<data(m,week*3)
                buy(m,week)=need;
                need=0;
                break
            else
                need=need-data(m,week*3);
                buy(m,week)=data(m,week*3);
            end
        end
    end
    if need==0
        continue
    else
        for m = 1+num(1)+num(2): num(1)+num(2)+num(3)
            if need<data(m,week*3)
                buy(m,week)=need;
                need=0;
                break
            else
                need=need-data(m,week*3);
            end
        end
    end
end
```



```
        buy(m,week)=data(m,week*3);
    end
end
end
end
x=buy;
result=zeros(50,48)
for i=1:24
    result(:,i*2-1)=name(:,i)
    result(:,i*2)=buy(:,i)
end

xlswrite('Q4订购方案.xlsx',result)
```