

# 基于非线性优化和 0-1 整数规划的订购转运方案研究

## 摘 要

本文为向企业提供订购和转运方案，建立基于非线性优化的原材料订购决策模型和基于 0-1 整数规划的转运决策模型，运用熵权法、K-means 聚类等方法对模型进行分析，使用 Python、MATLAB 等软件对模型进行求解和验证，为企业提供合理的订购和转运方案，且经分析方案实施效果较好，满足实际情况。

对于问题一：首先对原始数据进行预处理，保留 348 家有效供货商，对其进行特征提取，确定供货实力、信誉度、合作关系三个供货特征：以平均供货量反映供应实力，以可靠度和可靠度平均增长率反映信誉度，以订单数和订货量反映合作关系亲密度，分别对三个供货特征进行量化，采取动态加权综合评价法，对供货特征变量赋权，以三个供货特征为评价指标，建立**基于熵权法的综合实力评价函数**，通过综合实力反映供货商对企业生产的重要性。将数据代入评价函数中，根据综合实力降序排序，选择排名前 50 的供货商为对企业最重要的供货商，分别为 S140、S229、S361 等，具体结果见表 1。

对于问题二：假定企业的初始库存满足两周的产能，为了保证正常生产，企业至少需要订购能维持一周生产活动的原材料。以接收量满足不小于企业一周的产能为约束条件，求解所需供应商的最小数量，可得企业至少需要 19 家供应商。

为确定最经济的订购方案，本文以企业的订货量为决策变量，以最小化企业总材料成本为优化目标，建立**基于非线性优化的原材料订购决策模型**，利用 MATLAB 对模型求解，将结果填入附件 A 中。实施效果分析可知，第 1 周企业需要大量订货，未来 23 周的订货量稳定且略低于企业产能，且供货实力越强，企业在该供货商中需要的订货量越大，实施效果较好。为制定损耗最少的转运方案，需要考虑转运商的损耗率。由于一家供应商仅由一个转运商运输，本文建立 0-1 转运选择矩阵来表示双方的选择关系。以转运选择矩阵为决策变量，以最小化损耗产能为优化目标，建立**基于 0-1 整数规划的转运决策模型**，为企业提供合理的转运决策方案，将结果填入附件 B 中。分析转运方案，损耗率低的转运商更加受企业的欢迎，如转运商 T3、T6 等。方案结果分析与实际情况相符，实施效果好。

对于问题三：为压缩成本，企业优先订购低生产成本的原材料，根据生产成本大小确定的原材料订购优先级顺序为  $A > B > C$ 。结合供应商综合实力，使用一维 K-means 聚类算法将供货商根据重要性分为三个等级，在每个等级内部按照原材料订购优先级顺序排序。基于问题二的模型，求解出此时所需供货商数量为 20 个，具体的订购及转运方案见附件 A、B。订购方案中，ABC 类原材料供应商比例为 13:7:0，调整原材料结构，可以完成压缩成本的目标；转运方案中，损耗率小的转运商运输 A 类材料的比例大，且较问题二方案，损耗产量的降低率为 7.24%，方案实施效果好。

对于问题四：考虑到企业产能与原材料订购量呈正相关，当原材料接收量最大时，企业产能达到最大值。因此本文建立**基于线性规划的产能模型**，确定在何种订购方案和转运方案下，企业的产能达到最大值。求解可得，企业每周最多可以提高  $10057\text{m}^3$  的产能，并将此时最优的订购及转运方案填入附件 A、B。

最后本文对模型进行验证：对订购模型进行灵敏度分析，当 A 与 C 类材料的成本比值小于 2 时，模型灵敏度较高，满足对实际问题的考量；对转运模型进行灵敏度分析，材料转化率可以灵敏地反映转运方案的变化，模型灵敏度较好。

**关键字：**订购与转运方案 非线性优化 0-1 整数规划 熵权法 K-means 聚类

## 一、 问题重述

### 1.1 背景与研究意义

当前，企业在国民经济发展中占据重要地位，为中国经济的发展注入汨汨活力，极大地推动了中国的高速度高质量发展。在竞争力极强的国际国内大环境下，企业要想提高生产效益，降低成本，则需要对每一个生产环节保持高度重视。

在供应链的相关环节中，作为首要环节的采购环节至关重要，其中供应商和转运商的选择更是采购环节的重中之重<sup>[1]</sup>。合理选择供应商和转运商已经成为降低企业成本提升企业竞争力的有力手段之一。而面对成百上千的原材料供应商，企业往往会依据一定的经验，综合考虑供应商的市场影响力、原材料质量、原材料供给能力等多维因素，定性地选择供应商<sup>[2]</sup>。

然而，在实际生产生活中，供应链中的各个环节存在一定风险，例如供应商无法严格完成订单、物流运输过程存在损耗等问题，根据经验定性选择可能会对企业的原材料采购产生影响。因此，根据现有的供应商和转运商信息进行定量分析，为企业制定合理的原材料订购和转运方案，提高企业的生产效益，具有十分重要的现实意义。

### 1.2 需要解决的问题

设某建筑类生产企业需要采购 A、B、C 三类原材料，且需要提前 24 周制定原材料的订购和转运计划。根据实际情况和题目提供的数据，本文主要解决以下问题：

(1) 从附件 1 中提供的 402 家供应商信息中提取供货特征，并对此进行量化分析，建立企业生产保障重要性的数学模型，确定 50 家最重要的供应商。

(2) 在满足生产需求的前提下，确定企业选择供应商的最小数量，为企业制定未来 24 周最经济的采购方案和损耗最少的转运方案，并对两个方案的效果进行分析。

(3) 为降低转运和存储成本，以“多 A 少 C”原则采购原材料，重新制定新的订购和转运方案，并对两个方案的效果进行分析。

(4) 假设企业具备提高产能的潜能，则根据现有信息确定每周企业的产能提高量，并制定未来 24 周的订购和转运方案。

## 二、 问题分析

### 2.1 问题一的分析

企业往往希望选择供货实力强、信誉度高、合作关系紧密的供应商，它们可以为其提供稳定且充足的原材料，以保证生产环节的正常运作。根据附件 1 中的数据，首先对数据进行预处理，删除总订单量极少的供货商和订单量极少的单个数据，最终保留 348 家有效供应商数据；分析 348 家供货商在 240 周内的订货量和供货量信息，对数据进行特征提取，确定供货实力、信誉度、合作关系三个供货特征。

从供货特征中进一步分析可量化的五个供货指标：平均供货量、可靠度、可靠度平均增长率、总订货量、总订货次数。因此，以平均供货量分析供应实力，可靠度和可靠度平均增长率分析信誉度，订单数和订货量分析合作关系的亲密程度，分别对三个供货特征进行量化。企业最终的选择是综合考虑三个特征而确定的，因此以供应商的综合实力评价其对企业生产重要性。为分析三个供货特征对综合实力的影响程度，使用熵权法计算三个特征的权重，对综合实力进行评估，作为企业做出选择的依据。

基于以上分析，本文将建立基于熵权法的综合实力评价函数，以供货实力、信誉度、

合作亲密指数为自变量，以综合实力为因变量，计算 348 家供应商的综合实力并对其进行排名，则排名前 50 的供应商为该企业的最佳供应商。

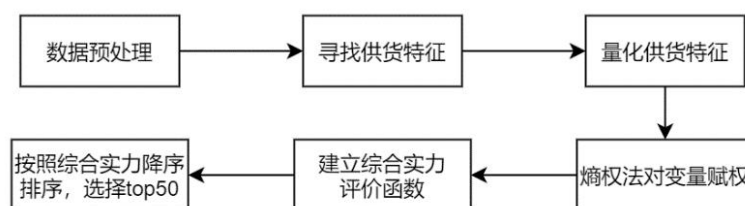


图 1 求解问题一思路

## 2.2 问题二的分析

根据题目分析可知，在未知仓库中具体的存货量时，为了保证正常生产，企业至少需要订购能维持一周生产活动的原材料。因此，第一小问可以转化为：在假设存货量可以满足企业两周产能的前提下，供货量转化成的产能不小于企业一周的产能时，供应商的最小数量是多少。

为预测未来 24 周最经济的原材料订购方案，本文将以每周各家供应商的订货量为自变量，以总材料成本为因变量，以满足企业生产需求和供应商的供货能力范围为约束条件，建立基于非线性优化的原材料订购决策函数，为企业提供合理的订购决策方案；

为制定损耗最少的转运方案，需要考虑转运商的损耗率。由于一个供应商仅由一个转运商运输，则将该问题转化为供应商与转运商的单向选择问题，因此可以建立一个转运选择矩阵来表示双方的选择关系。基于上述分析，以转运选择矩阵为自变量，以损耗产能为因变量，以一个供应商仅有一个选择和转运商运输能力范围为约束条件，建立基于 0-1 整数规划的转运决策函数，为企业提供合理的转运决策方案。

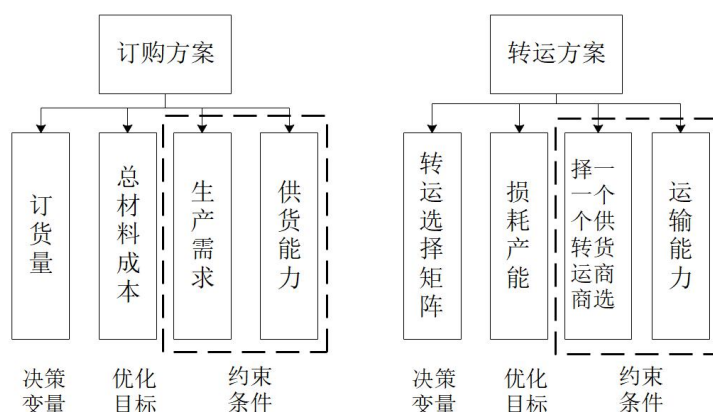


图 2 订购方案与转运方案思路

## 2.3 问题三的分析

调整原材料的购买比例，是企业提高利润降低成本的重要方式之一。由于 A 材料的转化率最高，则其转化为单位产能时所需体积最小，可以减少转运及仓储的成本，因此企业计划按照“多 A 少 C”的原则采购原材料。原材料的生产成本由材料成本、运输成本、仓储成本三部分构成，将三种材料的生产成本做比较，按照生产成本从小到大依次排序，确定更加合理的原材料订购优先级，并使用 K-means 聚类算法将供货商分级，使得在保证 A 材料供应商被优先选择的同时，选择的供货商整体综合实力尽可能高。

问题三是对问题二的改进，即更新供应商排名规则，求得新的排名规则下企业需要的供货商数量，并运用问题二的模型求解，即可获得订购策略和转运策略。基于以上分

析，本文将根据供货商分级原则、原材料优先级和生产重要性原则，对 348 家供货商重新排序，求出此时为公司提供原材料的供货商数量，代入问题二的模型中，求解在总生产成本最小的优化目标下，企业的订购方案和转运方案。

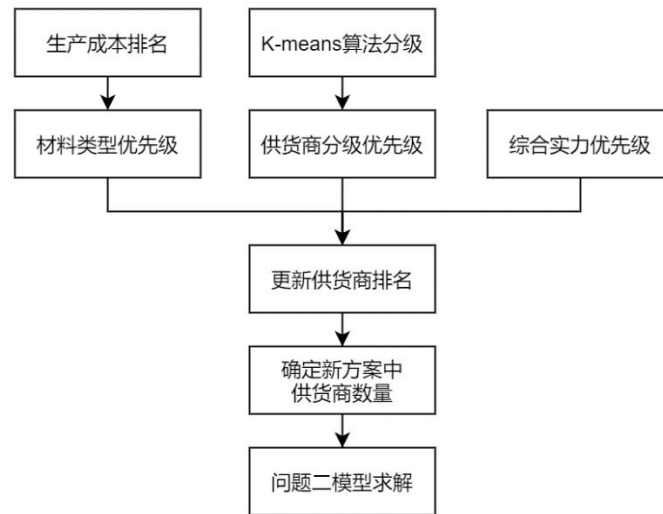


图 3 求解问题三的思路

## 2.4 问题四的分析

为推动企业规模扩大和进一步发展，企业通常更加注重生产技术提高，以提高产能。不考虑库存量，在保证企业均衡且稳定发展的前提下，考虑到企业产能与原材料订购量呈正相关，当原材料接收量最大时，企业产能达到最大值。但是，由于供货商的供货能力和转运商的运输能力对企业产能的约束，企业产能的大小受到限制。基于以上分析，本文将建立基于线性规划的产能函数，确定在何种订购方案和转运方案下，企业的产能达到最大值。

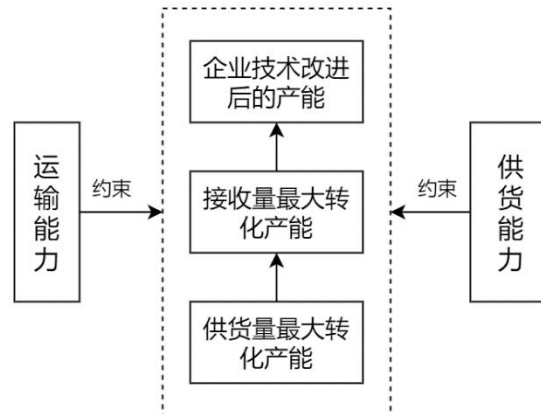


图 4 求解企业技术改进后产能的问题思路

## 三、 模型假设

1. 假设企业在每周周末的固定的时间点订购原材料。
2. 假设第 0 周企业有可以满足企业两个周运营的库存量，从第 0 周周末开始采购原材料，采购的原材料和库存一起用于第 1 周的生产活动。
3. 假设企业、供应商和转运商未来 24 周没有极端情况发生，均保持正常的生产活动。
4. 假设除转运商运输损耗外没有其他的原材料损失。

#### 四、 符号说明

符号	意义	单位
$X_{ij}$	第 $i$ 个供应商的第 $j$ 个指标	/
$M_{ik}$	第 $i$ 个供应商第 $k$ 周的已知订货量	$m^3$
$N_{ik}$	第 $i$ 个供应商的第 $k$ 周的已知供货量	$m^3$
$V$	供货实力	$m^3$
$C$	信誉度	/
$S$	合作亲密指数	/
$W$	综合实力	/
$z$	企业决策选择的供应商数量	个
$E$	企业产能	$m^3/\text{周}$
$f$	原材料转换率	/
$\mu_{ik}$	第 $k$ 周企业第 $i$ 个供应商订货量	$m^3$
$B_k$	第 $k$ 周实际供货量可转化成的企业产能	$m^3$
$Q_k$	第 $k$ 周企业存货量可转化成的企业产能	$m^3$
$c_\alpha$	$\alpha$ 类的单位材料成本	元/ $m^3$
$K$	企业订购总材料成本	元
$\eta_{ik}$	第 $i$ 个转运商第 $k$ 周的损耗率	/
$D_{ri}$	转运选择矩阵	/
$\xi$	损耗产能	$m^3$
$a$	单位运输成本	元/ $m^3$
$b$	单位仓储成本	元/ $m^3$
$C_p$	单位生产成本	元/ $m^3$
$P_k$	第 $k$ 周企业接收量可转化成的企业产能	$m^3$
$E^*$	企业技术改造后的最大产能	$m^3/\text{周}$

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 问题一模型的建立与求解

#### 5.1.1 数据预处理

为分析供货特征，首先需要将附件 1 中数据进行预处理。数据预处理的原则为：

- 原则一：删除订货量小于  $10\text{m}^3$  的供应商信息。

通常情况下，企业给予对其生产重要性大的供货商的订单量较大，而提供极少原材料的供货商往往不会成为企业的优先选择，尤其是对于建筑类的大规模企业而言。因此，删除该部分供应商的信息，不将其纳入 50 个对企业生产重要性高的供应商考量范围内。

- 原则二：对其他的供货商，删除单周订货量小于  $10\text{m}^3$  的数据。

以 S201 供货商为例，如图 5 所示。若计算订货量的期望，则平均订货量为  $1673\text{m}^3$ 。而实际上，其最高可以提供  $30977\text{m}^3$  的供货量，且在其他有订单的周数中，订货量普遍较高，部分  $1\text{m}^3$  的数据会影响企业对供货商供货实力的判断。删除极小数据后，计算可得新的平均订货量为  $7116\text{m}^3$ ，有利于对 S201 实际供货能力的评估，因此可以使用该原则删除异常数据。

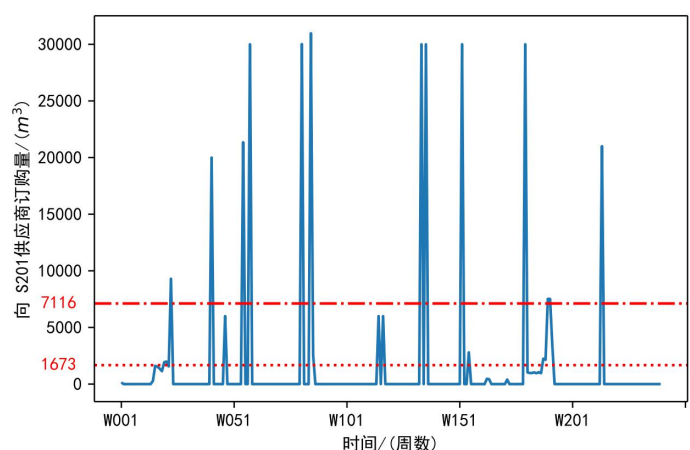


图 5 S201 供货商的订货量统计

经上述数据预处理后，保留有效供应商数量为 348 个，且后续分析和研究将仅围绕该 348 个供应商展开。

#### 5.1.2 供货特征的量化分析

供应商的供货能力主要由三个部分组成：供应实力、信誉度和合作关系。本文使用供应商的平均供货量作为指标分析供应实力，供应商可靠度和可靠度平均增长率分析信誉度，总订单数和总订货量分析企业与供应商合作关系的亲密程度。具体内容如下：

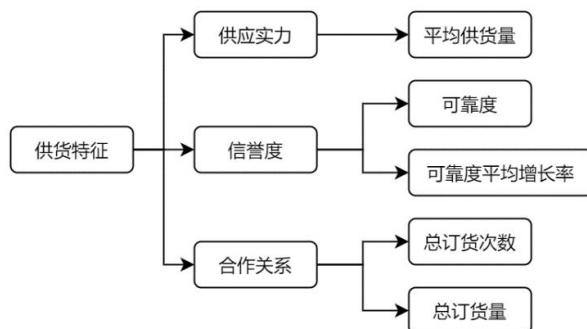


图 6 供应商的供货特征

设第  $i$  个供应商的第  $j$  个指标  $X_{ij}$  为:

$$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}, X_{i5}) \quad (1)$$

其中  $X_{i1}$ ,  $X_{i2}$ ,  $X_{i3}$ ,  $X_{i4}$ ,  $X_{i5}$  分别表示平均供货量、可靠度、可靠度平均增长率、总订货次数和总订货量五个指标。

在附件 1 中, 每个供应商中有 240 个周的数据信息, 设其中  $n$  个周有订单,  $M_{ik}$  表示第  $i$  个供应商第  $k$  周的订货量,  $N_{ik}$  表示第  $i$  个供应商的第  $k$  周的供货量。设供货实力为  $V$ , 信誉度为  $C$ , 合作亲密指数为  $S$ 。对具体指标分析如下:

#### ● 供货实力 $V$

供货实力是指供货商能够为企业供给原材料的能力, 本文采用供应商的平均供货量  $X_{i1}$  表示。平均供货量越多, 代表该供应商的供货实力越强, 则企业选择该供应商时能够获取的原材料就越多, 可以更好地保障企业的正常运作和生产。平均供货量  $X_{i1}$  可以用公式 (2) 表示为:

$$X_{i1} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{240} N_{ik} \quad (2)$$

则供货实力  $V$  表示为:  $V_i = X_{i1}$ 。

#### ● 信誉度 $C$

供应商信誉度的好坏会直接影响企业对其的选择, 信誉度高的供应商往往会收到更多的订单, 且可以完成甚至超额完成订货要求, 有利于企业采购环节的稳步进行。供应商的信誉度主要分为可靠度和可靠度平均增长率。

##### (1) 可靠度 $X_{i2}$

可靠度  $X_{i2}$  可以通过订单完成率的期望表示, 订单完成率的期望越高, 可靠度越高, 供应商的信誉度越高。设供应商收到订单, 即  $M_{ik} \neq 0$  时, 第  $i$  个供应商在第  $k$  周的订单完成率  $\phi_{ik}$ :

$$\phi_{ik} = \frac{N_{ik}}{M_{ik}} \quad (3)$$

可靠度  $X_{i2}$  采用供应商在收到订单的  $n$  周内的平均订单完成率表示, 即:

$$X_{i2} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \phi_{ik} \quad (4)$$

##### (2) 可靠度平均增长率 $X_{i3}$

$X_{i3}$  的含义是该供应商的可靠度是否具有保持或者上升的趋势, 若  $X_{i3} \geq 0$ , 则该供应商的可靠度具有保持相对稳定或者增长的趋势, 且  $X_{i3}$  越大, 供应商的信誉度越高。可靠度平均增长率  $X_{i3}$  表示为:

$$X_{i3} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \frac{\phi_{ik} - \phi_{i(k-1)}}{\phi_{i(k-1)}} \quad (5)$$

根据上述指标分析, 采用动态加权综合评价法<sup>[3]</sup>量化供货商的信誉度。首先, 将  $X_{i3}$  标准化处理为  $X'_{i3}$ :

$$X'_{i3} = \frac{X_{i3} - \bar{X}_{i3}}{\sigma_{i3}} \quad (6)$$

以  $X_{i2}$  和  $X'_{i3}$  为自变量，以信誉度  $C$  为因变量，以 sigmoid 函数为变权函数，建立信誉度函数  $C$ ：

$$C_i = \text{sigmoid}(X'_{i3}) \cdot X_{i2} \quad (7)$$

供应商的可靠度是先缓慢增长，中间有一个快速增长的过程，随后增长平缓至趋于最大，且  $X_{i3}$  是  $X_{i2}$  的变化率。为将数据映射到  $[0,1]$  之间，同时消除数据极端情况，因此确定 sigmoid 函数为变权函数，以实现信誉度的综合评价。sigmoid 函数的一般表示为：

$$\text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (8)$$

### ● 合作亲密指数 $S$

通常情况下，企业与供应商的合作次数越多，合作任务量越大，则企业从经验上认为该供应商可以为其提供原材料，以保障企业正常运作。因此，本文采用总订货次数  $X_{i4}$  和总订货量  $X_{i5}$  来衡量企业与供应商的合作亲密程度。

(1) 总订货次数  $X_{i4}$

总订货次数越多，则代表企业与供应商的合作次数越多，合作亲密指数越大，因此  $X_{i4}$  可以作为衡量合作亲密指数大小的一个指标。

(2) 总订货量  $X_{i5}$

与  $X_{i4}$  类似，总订货量  $X_{i5}$  也能够反映双方的合作亲密程度，且与  $S$  成正相关关系。设  $M_{ik}$  为第  $i$  个样本第  $k$  周的订货量，则

$$X_{i5} = \sum_{k=1}^m M_{ik} \quad (9)$$

根据上述指标分析，采用动态加权综合评价法，以  $X'_{i4}$  和  $X'_{i5}$  为自变量，以合作亲密指数  $S$  为因变量，以 sigmoid 函数为变权函数，建立合作亲密指数函数  $S$ ：

$$S_i = \text{sigmoid}(X'_{i4}) \cdot X'_{i4} + \text{sigmoid}(X'_{i5}) \cdot X'_{i5} \quad (10)$$

其中， $X'_{i4}$ ， $X'_{i5}$  分别为  $X_{i4}$ ， $X_{i5}$  的标准化形式，标准化方法与公式 (6) 相同。

### 5.1.3 基于熵权法的综合实力评价函数

根据供货特征的量化分析可知，企业是否选择某一供应商取决于供货实力、信誉度和合作亲密程度三个评价变量。为选择 50 个最佳供应商，需要对全部供应商的综合实力进行评估，综合实力越强的供应商，对该企业的生产重要性越大。因此，设供应商的综合实力为  $W$ ，以供货实力  $V$ 、信誉度  $C$ 、合作亲密指数  $S$  为自变量，以综合实力  $W$  为因变量，建立综合实力评价函数  $W$ ：

$$W = \omega_V \cdot V + \omega_S \cdot S + \omega_C \cdot C \quad (1)$$

其中， $\omega_V$ 、 $\omega_S$ 、 $\omega_C$  分别代表  $V$ 、 $S$ 、 $C$  的权重。

为求解不同评价变量的权重，本文采用熵权法<sup>[4]</sup>。分别将正项指标标准化，以第  $i$



个供货商的供货实力  $V_i$  为例:

$$V'_i = \frac{V_i - \min V}{\max V - \min V} \quad (2)$$

则对于该供应商而言, 指标  $V$  的比重为:

$$p_{iV} = \frac{V'_i}{\sum_{i=1}^{348} V'_i} \quad (3)$$

则  $V$  的熵值为:

$$e_V = -\frac{1}{\ln 348} \sum_{i=1}^{348} p_{iV} \ln p_{iV} \quad (4)$$

指标  $V$  的差异系数越大, 表示供货实力对于综合实力的影响程度越大。 $V$  的差异系数为:

$$g_V = 1 - e_V \quad (5)$$

指标  $V$  的权重  $\omega_V$ :

$$\omega_V = \frac{g_V}{g_V + g_C + g_S} \quad (6)$$

同理,  $\omega_S$ 、 $\omega_C$  均可使用上述公式求得。将权重  $\omega_V$ 、 $\omega_S$ 、 $\omega_C$  代入公式 (11) 中, 使用 Python 求解可得:  $\omega_V = 0.512036$ ,  $\omega_S = 0.330897$ 、 $\omega_C = 0.157066$ , 则基于熵权法的综合实力评价函数为:

$$W_i = 0.512036 \cdot V'_i + 0.330897 \cdot S'_i + 0.157066 \cdot C'_i \quad (7)$$

#### 5.1.4 确定 50 家最重要的供应商

将附件 1 中的数据代入公式 (17) 中, 计算 348 家供货商的综合实力, 将其按照  $W$  的降序排序, 绘制供应商对于企业生产重要性如图 7 所示, 其中红线上方为重要性前 50 名的供应商。

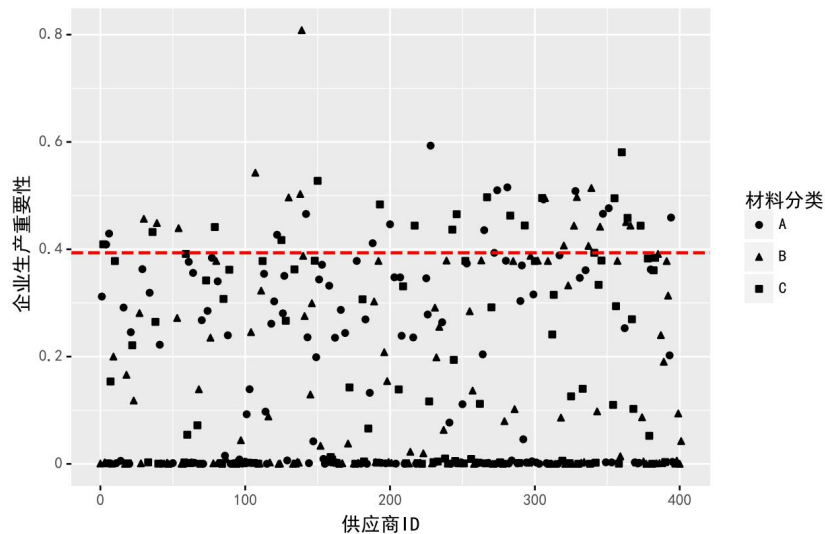


图 7 348 家供应商对企业生产的重要性  
选择排名前 50 的供应商为最重要的供应商, 如表 1 所示:

表 1 50 家最重要的供应商

排名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
供应商	S140	S229	S361	S108	S151	S282	S340	S275	S329	S139
排名	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
供应商	S330	S268	S131	S306	S308	S356	S307	S194	S352	S348
排名	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
供应商	S143	S247	S284	S395	S365	S031	S364	S040	S201	S294
排名	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
供应商	S367	S218	S328	S374	S346	S080	S055	S244	S266	S037
排名	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
供应商	S007	S123	S126	S189	S003	S005	S321	S338	S342	S273

## 5.2 问题二模型的建立与求解

### 5.2.1 确定满足生产需求的最小供货商数

由问题二分析，在未知仓库中具体的存货量时，为了保证正常生产，企业至少需要订购能维持一周生产活动的原材料。设至少需要  $z$  个供应商为企业提供原材料，且  $z$  个供应商按照综合实力排序；设企业每周产能为  $E$ ， $E=28200\text{m}^3$ ；原材料转换率为  $f$ ，材料类型  $\alpha$ 。对于不同类型的原材料而言，每立方米产品需消耗 A 类原材料 0.6 立方米，或 B 类原材料 0.66 立方米，或 C 类原材料 0.72 立方米，其消耗单位立方米制成产品的转化率不同，即：

$$f_{\alpha} = \begin{cases} 1.67 & \alpha = A \\ 1.5 & \alpha = B \\ 1.39 & \alpha = C \end{cases} \quad (1)$$

$X_{il}$  表示第  $i$  个供应商的平均供货量，则：

$$\sum_{i=1}^z X_{i1} f_{\alpha} \geq E \quad (2)$$

寻找满足公式（19）的最小整数  $z$  即为满足生产需求的最小供货商数量。

将数据代入公式中，求解可得满足生产需求的最小供货商数量  $z=19$ ，供货商按照综合实力排名分别为：

表 2 满足生产需求的最小数量的供货商

排名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
供货商	S140	S229	S361	S108	S151	S282	S340	S275	S329	S139
排名	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
供货商	S330	S268	S131	S306	S308	S356	S307	S194	S352	

### 5.2.2 基于非线性优化的原材料订购决策函数

#### ● 决策变量

由 5.2.1 小节结论可知，已知选择 19 个供应商 S140、S229 等，则对于原材料订购的问题，只需求出未来 24 个周每个供应商的订货量即可，因而原材料订购决策函数的决策变量为每个供应商的订购量。本文设第  $k$  周企业向第  $i$  个供应商订货量为  $\mu_{ik}$ ，则求解出 24 个周 19 个供应商的订货量即可为企业提供合理的决策方案。

#### ● 约束条件

(1) 满足企业的生产需要

为了保证正常生产的需要，企业要尽可能满足不少于两周生产需求的原材料库存量。假设该公司第 0 周有库存，且可以满足企业至少两周的生产需要，从每周周末固定时间订购原材料，因此公司需要保证在每周周末订购原材料之前，依然要保证库存量不少于两个周的生产需求。根据上述分析，则满足生产需要的约束条件可以转化为：第 1 周的实际供应量可以供给公司不小于一个周的产能需求，第 2 周至第 24 周的实际供应量可以供给公司不小于三个周的产能需求。

设第  $k$  周实际总供货量为  $B_k$ ， $B_k$  表示当前供货商的供货量可以转化的产能大小，则：

$$B_k = \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \quad (1)$$

库存量表示企业当前仓库中原材料可以转化的产能大小，设企业第  $k$  周的库存量为  $Q_k$ ，则：

$$Q_k = Q_{k-1} - \min(Q_k, E) + B_k \quad (2)$$

为了保证正常的生产需要，第一周仅需要保证本周的生产需求，而其他时间需要保证在新一周订货之前，仓库中仍有能够满足至少三个周的生产需要，则：

$$\begin{cases} B_k \geq E, & k=1 \\ Q_k \geq 3E, & 2 \leq k \leq 24 \end{cases} \quad (3)$$

根据上述分析，则决策函数的 24 个约束条件为：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \geq E, & k=1 \\ Q_{k-1} - \min(Q_k, E) + \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \geq 3E, & 2 \leq k \leq 24 \end{cases} \quad (4)$$

(2) 供货实力范围内提供原材料

供货商的供货能力是有限的，不能认为供应商可以无限供货，因而可以对成本进行约束。由供货特征可知，用平均供货量  $X_{il}$  表示企业的供货能力。因此，假设供货商的供货能力上限为  $2X_{il}$ ，则总供货量的范围为：

$$0 \leq \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} \leq 2X_{i1} \quad (5)$$

● 目标决策函数

为确定最经济的原材料订购方案，则需要寻找材料成本最小的决策函数。材料成本由 A、B、C 三类原材料的供货量和单位成本决定。由题目可知，A 类和 B 类原材料的采购单价分别比 C 类原材料高 20% 和 10%，则设 C 类产品的材料成本为单位 1，则成本函数  $c_{\alpha}$ ：

$$c_{\alpha} = \begin{cases} 1.2 & \alpha = A \\ 1.1 & \alpha = B \\ 1 & \alpha = C \end{cases} \quad (6)$$

则企业订购产品的总材料成本为  $K$ ：

$$K = \sum_{k=1}^{24} \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} c_{\alpha} \quad (7)$$

基于上述分析，以供货商订货量为自变量，以总成本为因变量，以满足企业生产条件和供货商供货能力范围为约束条件，建立基于非线性优化<sup>[5]</sup>的原材料订购决策函数：

$$\min \sum_{k=1}^{24} \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} c_{\alpha}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \geq E, \quad k=1 \\ Q_{k-1} - \min(Q_k, E) + \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \geq 3E, \quad 2 \leq k \leq 24 \\ 0 \leq \sum_{i=1}^z \mu_{ik} X_{i2} \leq 2X_{i1} \end{cases} \quad (8)$$

### 5.2.3 基于 0-1 整数规划的转运决策函数

#### ● 决策分析

为研究转运商的决策，首先需要分析不同转运商的损耗率。设第  $i$  个转运商第  $k$  周的损耗率为  $\eta_{ik}$ ，则第  $i$  个转运商的平均损耗率为：

$$\bar{\eta}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \eta_{ik} \quad (1)$$

将转运商按照平均损耗率顺序排序，结果如图 8 所示：

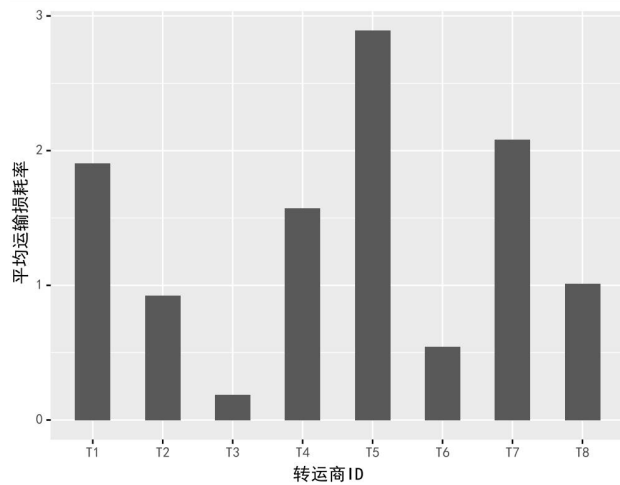


图 8 转运商的平均损耗率

转运商平均损耗率列向量  $\bar{\eta}$ ：

$$\bar{\eta} = (\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2, \dots, \bar{\eta}_8)^T \quad (2)$$

供应商可信度列向量  $X_2$ ：

$$X_2 = (X_{21}, X_{22}, \dots, X_{219})^T \quad (3)$$

供货商第  $k$  周的订货量列向量  $\mu_k$ ：

$$\mu_k = (\mu_{1k}, \mu_{2k} \cdots, \mu_{19k})^T \quad (4)$$

设实际供货量列向量 $\gamma_k$ :

$$\gamma_k = X_2 \odot \mu_k \quad (5)$$

其中,  $\gamma_k$  中的每一个元素均是由  $X_2$  和  $\mu_k$  对应元素相乘而得。

#### ● 决策变量

根据题目可知, 一个供应商往往对应一个转运商, 则需要考虑供应商与转运商的匹配问题。设  $D_{ri}$  为 8 行 19 列的 0-1 转运选择矩阵, 其中转运选择因子  $d_{ri}$  表示第  $i$  个供应商对应第  $r$  个转运商, 且:

$$d_{ri} = \begin{cases} 1 & \text{供货商 } i \text{ 选择转运商 } r \text{ 运输} \\ 0 & \text{供货商 } i \text{ 不选择转运商 } r \text{ 运输} \end{cases} \quad (6)$$

#### ● 约束条件

(1) 转运商的运输能力

一个转运商的运输能力为  $6000\text{m}^3/\text{周}$ , 选择第  $r$  个转运商的总实际供货量不能超过  $6000\text{m}^3$ , 设矩阵  $D_{ri}\gamma_k$  的元素为  $\lambda_r$ ,  $\lambda_r$  表示第  $r$  个转运商运输的总实际供货量, 则:

$$0 \leq \lambda_r \leq 6000 \quad (7)$$

(2) 一个供应商只能选择一个转运商

为保证一个供应商仅有一个选择, 则对于第  $i$  个供应商而言:

$$\sum_{r=1}^8 d_{ri} = 1 \quad (8)$$

#### ● 目标决策函数

根据上述分析, 企业的损耗产能 $\xi$ :

$$\xi = \bar{\eta}^T D_{ri} \gamma_k f_{\alpha} \quad (9)$$

因此, 为确定损耗最少的方案, 即计算当  $\min \xi$  时, 自变量的取值。

基于上述分析, 以转运选择矩阵  $D_{ri}$  为自变量, 以损耗产能 $\xi$ 为因变量, 以一个供应商仅有一个选择和转运商运输能力范围为约束条件, 建立基于 0-1 整数规划的转运决策函数:

$$\begin{aligned} & \min \bar{\eta}^T D_{ri} \gamma_k f_{\alpha} \\ & s.t. \begin{cases} 0 \leq \lambda_r \leq 6000 \\ \sum_{r=1}^8 d_{ri} = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

### 5.2.4 方案实施结果分析

#### ● 原材料订购方案

使用 MATLAB 的 `fmincon` 函数对公式 (27) 进行求解, 全部数据结果见附件 A。对结果进行分析, 并统计公司总订购量随时间的变化:

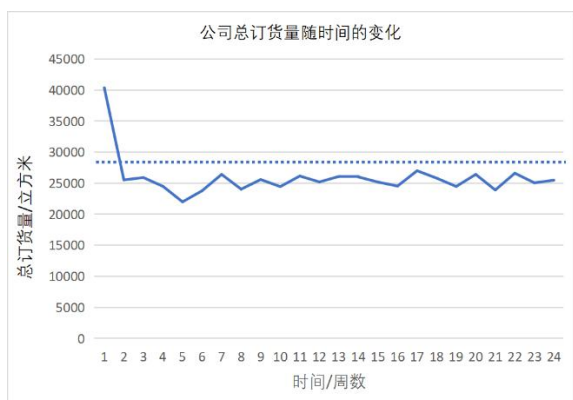


图9 公司总订货量随时间的变化

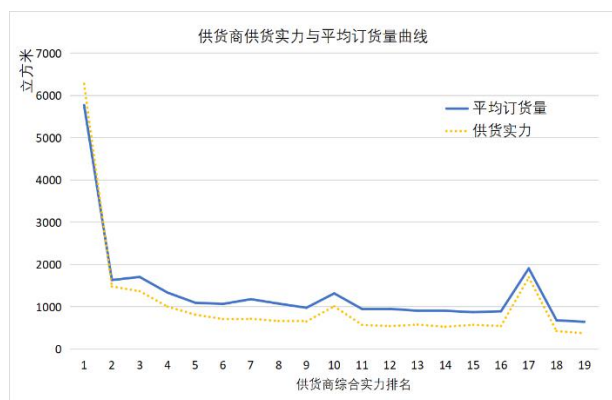


图10 供货商供货实力与平均订单量曲线

由图9可知，第1周公司的订货量较多，从第2周至第24周，订货量在25000m<sup>3</sup>波动，且趋于稳定，说明本文提出的订货方案中，第1周需要大量订货，未来23周的订货量稳定且略低于企业每周产能，与实际生产情况类似。因此，在满足了企业的生产需求和供应商的供应能力的前提下，本文可以为企业提供一个合理的订购方案，使其在未来的24周能够稳定地订购原材料，实施效果理想。

由图10可知，供货商的供货实力与其在该方案中的平均订货量趋势基本一致，这与实际情况是相符合的，即供货实力越强，企业在该供货商中需要的订货量越大，该方案实施效果理想。

### ● 转运方案

使用MATLAB的intlinprog函数对公式(37)进行求解，具体方案结果见附件B。由表格可以看到，每个转运商的运输总量不超过6000m<sup>3</sup>，且一个供应商对应一个转运商，满足题目要求。

为研究转运商的损耗率与企业对转运商选择的关系，计算并统计不同转运商的周平均转运量，如图11所示，并将该图与图8比较可知：对于转运商T1、T4、T5、T7而言，其损耗率较高，则对应的周平均转运量越低，表示损耗率越高的转运商不受企业的欢迎；对于T2、T3、T6、T8而言，其损耗率低，对应的周平均周转率极高，接近极限值6000m<sup>3</sup>，表明损耗率低的转运商更加受企业的欢迎，与实际情况相符，则方案实施结果较好。

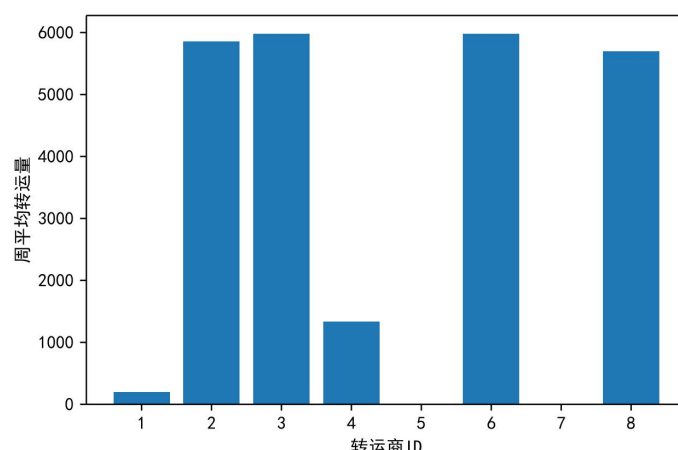


图11 转运商的周平均转运量

## 5.3 问题三模型的建立与求解

### 5.3.1 确定原材料的订购优先级

为压缩生产成本，企业往往需要考虑订购原材料的优先级，原材料优先级越高，则

代表企业会优先考虑尽量多地购买该类材料，而生产成本决定了企业订购原材料的优先级，生产成本越低，优先级越高。

首先，需要分析三类原材料的生产成本。生产成本由运输成本、仓储成本、材料成本组成，由图 12 所示。

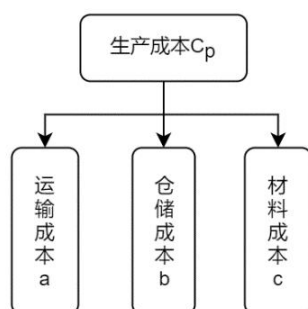


图 12 原材料的生产成本

根据题目可知，三类原材料运输和储存的单位费用相同，因此，设单位原材料的运输成本为  $a$ ，仓储成本为  $b$ ，C 类产品的材料成本为单位 1，生产成本为  $C_p$ 。其中，每种材料的成本表达为：

表 3 不同类型原材料的成本

原材料类型	A	B	C
运输成本	$0.6a$	$0.66a$	$0.72a$
仓储成本	$0.6b$	$0.66b$	$0.72b$
材料成本	$0.72$	$0.726$	$0.72$
生产成本	$0.6(a+b) + 0.72$	$0.66(a+b) + 0.726$	$0.72(a+b) + 0.72$

为根据生产成本大小确定优先级，将 ABC 三种原材料的生产成本两两比较，并绘制优先级选择边界曲线如图 13 所示。其中，边界直线表示两种材料生产成本相同的界限。以蓝色的点划线为例：当  $C_{PB} = C_{PC}$  时，边界直线表达式为： $b = -a + 0.1$ ；当  $C_{PB} > C_{PC}$  时， $b < -a + 0.1$ ，区域位于边界直线的下方，表示此时 B 材料的生产成本高于 C，则 C 的优先级比 B 高；当  $C_{PB} < C_{PC}$  时， $b > -a + 0.1$ ，区域位于边界直线的上方，表示此时 C 材料的生产成本高于 B，则 B 的优先级比 C 高，其他两个边界曲线同理可获得如上结论。

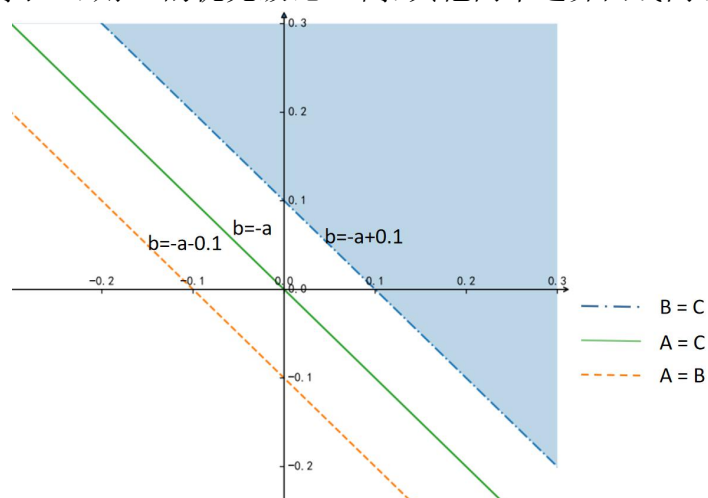


图 13 材料类型优先级选择边界曲线

根据实际情况，运输成本和仓储成本的总和通常大于 0.1，即  $a+b > 0.1$ ，此时 ABC 生产成本由图 13 中的阴影部分分析比较。按照上述分析过程，当  $a+b > 0.1$  时，生产成

本的大小为  $C > B > A$ ，则企业订购的优先级为  $A > B > C$ ，满足多 A 少 C 的原则。

### 5.3.2 使用 K-means 算法对供货商分级

为保证 A 材料供应商被优先选择的同时，选择的供货商整体综合实力尽可能高，本文使用 K-means 聚类算法，将 348 家供应商分为  $k$  级，企业按照从第 I 级的 A 类原材料供应商到第  $k$  级的 C 类原材料供应商的优先级顺序，完成原材料的订购和转运决策。

#### ● 手肘法确定聚类数量 $k$

以  $x$  轴为聚类数量， $y$  轴为 348 个样本点到聚类中心距离的均方差，绘制聚类数量与均方差的关系曲线图，如图 14 所示。可以看到，当聚类数量  $k < 3$  时，均方差下降很快； $k > 3$  时，均方差变化缓慢，因此确定供应商可以聚为三类：I 级，II 级，III 级。

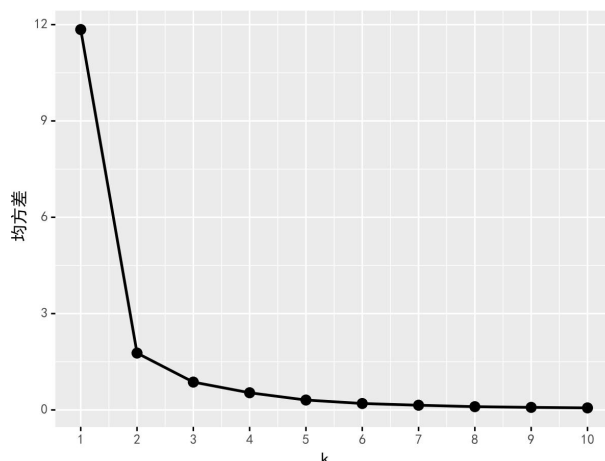


图 14 聚类数量与均方差的关系曲线图

#### ● K-means 实现对样本的分级

K-means 算法以  $k$  为参数，把多个对象分成  $k$  个簇，以使簇内具有较高的相似度，而簇间的相似度较低<sup>[6]</sup>。因此，本文采用 K-means 聚类算法，确定 3 个供应商类型，对供应商进行分类。聚类分析获得供货商的分级结果为：

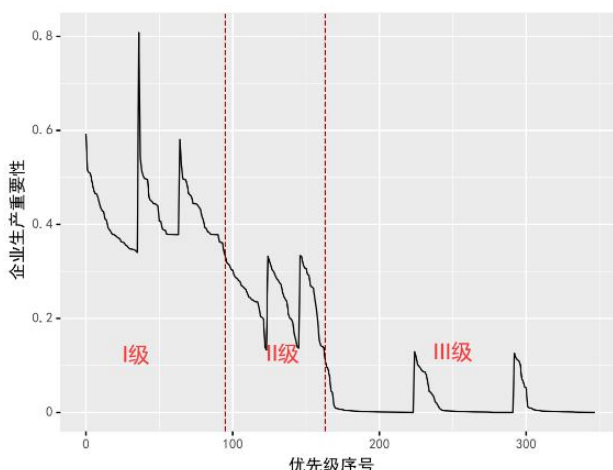


图 15 供应商的三级分类结果

根据上述供应商分级顺序和原材料优先级顺序，保留按照企业生产重要性的排序原则，对 348 家供应商重新排序，使得每个供应商的优先级发生变化。以选择的供应商数量  $z$  为横坐标，以  $z$  个供应商的不同材料类型占比为纵坐标，比较分级前后原材料占比：



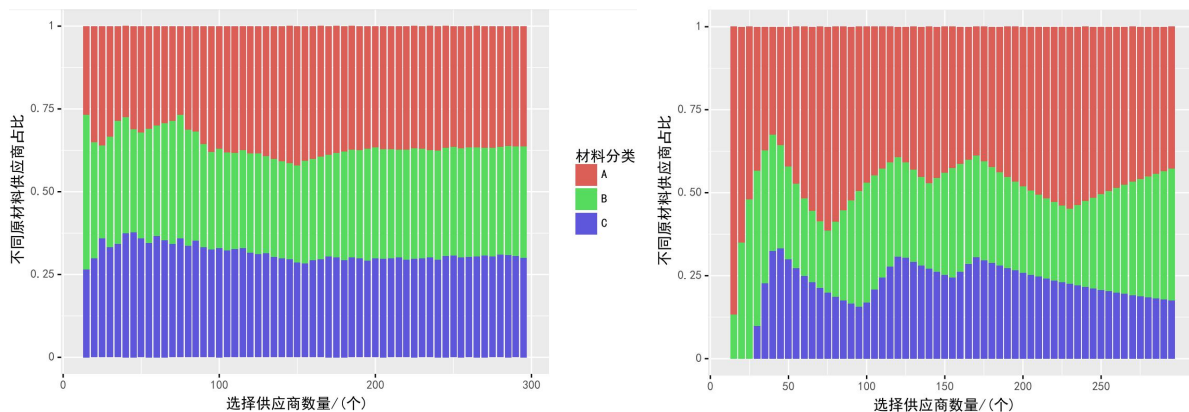


图 16 不分级供应商（左）和分级供应商（右）的原材料供应商占比对比

由图 16 对比可知，将供应商分级处理后，材料 A 的占比明显增加，C 的占比明显降低，满足“多 A 少 C”的原则，且优先选择的供应商在同类材料供应商中的综合实力较高。因此，对供应商进行分级可以更好地满足企业的期望，使得总材料成本低的同时，供应商整体的综合实力较高。

### 5.3.3 以压缩成本为原则的原材料订购方案和转运方案

相较于问题二，问题三提供了新的优先级排序，使得供货商不仅仅以企业生产重要性排名，还要考虑供应商分级和材料类型，因此确定的最小供货商数量是不同的。将重新排序的供货商数据代入公式（19）中，计算求得新的  $z = 20$ ，即需要至少 20 个供应商为企业提供原材料。

确定供应商数量后，将该 20 个供应商数据代入基于非线性优化的原材料订购决策函数和基于 0-1 整数规划的转运决策函数模型，提出新的原材料订购方案和转运方案，具体方案见附件 A、B。

### 5.3.4 方案实施结果分析

#### ● 原材料订购方案

问题三的希望完成压缩成本的目标，因此方案降低了总生产成本，则其实施效果好。根据问题三可知，ABC 三类材料的生产成本大小排序为  $C > B > A$ ，即“多 A 少 C”原则下，企业的生产成本较低。因此，统计问题二与问题三的方案中选择供货商所提供的材料类型，结果如表 4 所示：

表 4 两个方案的供应商组成结构对比

问题二方案	材料类型	供应商个数	问题三方案	材料类型	供应商个数
	A	6		A	13
	B	7		B	7
	C	6		C	0

可以看到，对于问题二的方案，ABC 三类的材料的分配比例均匀，而问题三的方案中，为了压缩成本，优先选择 A 类的供应商提供原材料， $A:B:C = 13:7:0$ ，没有 C 类材料，供应商组成结构发生较大的变化，且符合“多 A 少 C”的压缩成本的原则。

#### ● 转运方案

问题三中，企业希望转运损耗尽可能小，以提高产能。根据题目分析，单位体积可以转化为高产能的材料应该使用平均损耗率较小的转运商来运输，以降低产能的损耗。因此，提供材料 A 的供应商往往需要损耗率低的转运商来运输。

将转运商按照平均损耗率的大小升序排序，统计问题三的转运方案下不同原材料供应商的占比，如图 17 所示。

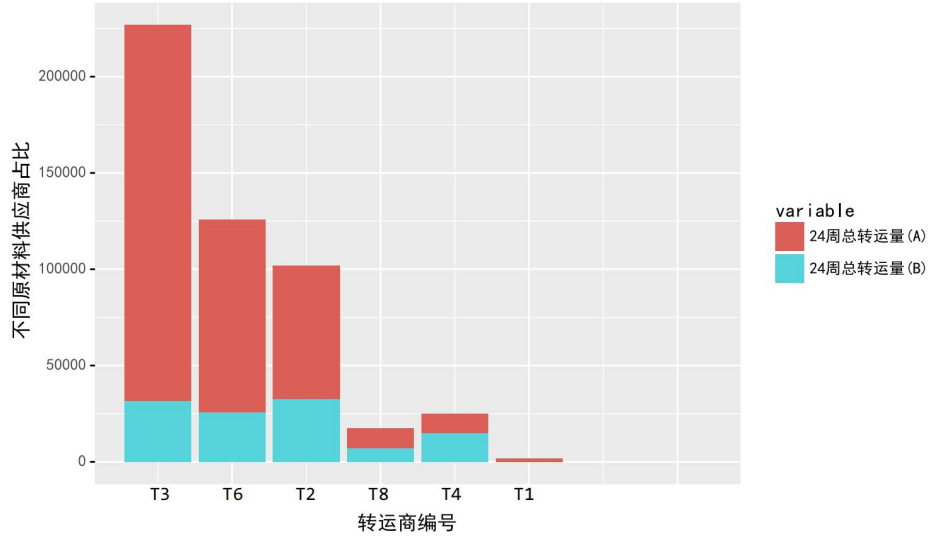


图 17 不同原材料供货商的比例

可以看到，在平均损耗率较低的转运商 T3、T6、T2 中，A 材料供应商占比较大，且损耗率越低，A 类占比越大，则其转运过程中的损耗越小；而对于损耗率较大的转运商 T1、T5、T7 而言，采取非必要不选择的原则，在本次转运方案中，仅有极少数的 A 材料由 T1 运输，没有使用到 T5、T7，这种情况也是由损耗较小的需求决定的。

分别计算问题二中的转运方案和问题三中的转运方案的损耗产能大小，可知：

$\xi_{model1}=27749.85m^3$ ， $\xi_{model2}=25739.73m^3$ ，则损耗产量的降低比例为 **7.24%**，则问题三可以完成降低损耗产量的目标。

基于上述分析，转运方案能够满足损耗尽可能少的题目要求，实施效果较好。

#### 5.4 问题四模型的建立与求解

实际上，供货商的供货能力和转运商的运输能力均会限制企业产能最大值的大小，因此需要用 348 个供货商的供货能力和 8 个转运商的运输能力作为约束条件。设企业产能变量最大值为  $E^*$ ，第  $i$  个供货商第  $k$  周的订货量为  $\mu_{ik}$ ，可靠度为  $X_{i2}$ ，转化率为  $f_{\alpha}$ ，供货量可以转化的产能  $B_k$  用公式 (20) 表示，接收量可以转化的产能  $P_k$  表示为：

$$P_k = \sum_{i=1}^{348} \mu_{ik} X_{i2} (1 - \bar{\eta}_i) f_{\alpha} \quad (1)$$

不考虑库存量的大小，在保证企业均衡稳定发展的前提下，当接收的原材料全部用于企业本周产能  $E^*$ ，即“收支平衡”时，企业产能的最大值等价于接收量可以转化的产能最大值，即：

$$E^* = \max P_k = \max \sum_{i=1}^{348} \mu_{ik} X_{i2} (1 - \bar{\eta}_i) f_{\alpha} \quad (2)$$

据公式 (39) 分析，要求  $E^*$ ，只需求  $\max P_k$  即可。而接收量为供货量与损耗率的乘积，则供货量达到最大值是接收量达到最大值的必要条件。因此，当  $\max B_k$  时，求解的订货量  $\mu_{ik}$  代入  $P_k$ ，即可求得  $E^*$ 。公式表示为：

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^{348} \mu_{ik} X_{i2} f_{\alpha} \\ & s.t. \quad \sum_{i=1}^{348} \mu_{ik} X_{i2} \leq 8 * 6000 \end{aligned} \quad (3)$$

使用 MATLAB 的 linprog 函数对公式 (40) 求解, 结果填入附件 A 中。分析可知, 由于 348 家供货商的周总平均供货量位为  $32271.7\text{m}^3$ , 小于转运商的最大运输能力  $48000\text{m}^3/\text{周}$ , 则限制企业产能的是供货商的供货能力, 此时需要 348 家供货商全部供货, 才能满足企业更大产能的需求。基于以上分析, 企业的订购方案为: 供货商的数量  $z=348$ , 供货商每周均按照供货实力  $X_{il}$  提供原材料。

确定  $z=348$  后, 将数据代入公式 (37) 求解, 结果填入附件 B 中, 并求解可得:  $E^*=38257\text{m}^3$ , 即企业每周产能可以提高  $10057\text{m}^3$ 。

## 六、模型的检验

### 6.1 订购模型的灵敏度分析

材料成本的变化会使得订购方案发生变化, 设 A 材料与 C 材料单位材料成本之比为  $\rho$ 。以  $\rho$  为自变量, 分别取  $\rho=0.5、1、1.5、2、3、4$ , 观察 A 材料与 C 材料的订购量比值, 如图 18 所示:

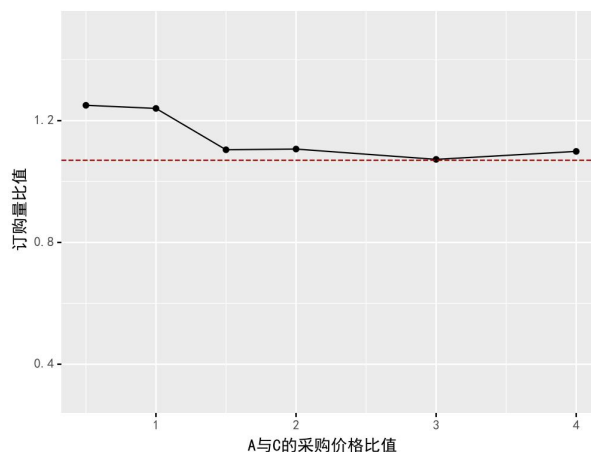


图 18 订购模型的灵敏度分析

可以看到, 随着  $\rho$  的增加, A 材料的订购比逐渐减小, 且趋于某一个定值; 当  $\rho<2$  时, A 成本越高, 订购量占比越少, 且变化明显, 灵敏度较高; 当  $\rho>2$  时, AC 材料的订购量比值趋于稳定。

### 6.2 转运模型的灵敏度分析

由公式 (37) 可知, 转化率会对转运方案的确定产生影响, 改变转化率的大小, 不同原材料供应商占比会发生变化。以材料 A 为例, 以当  $f_A=1.67、1.39、1.19$  时, 观察不同材料供应商占比的变化, 如图 19 所示:

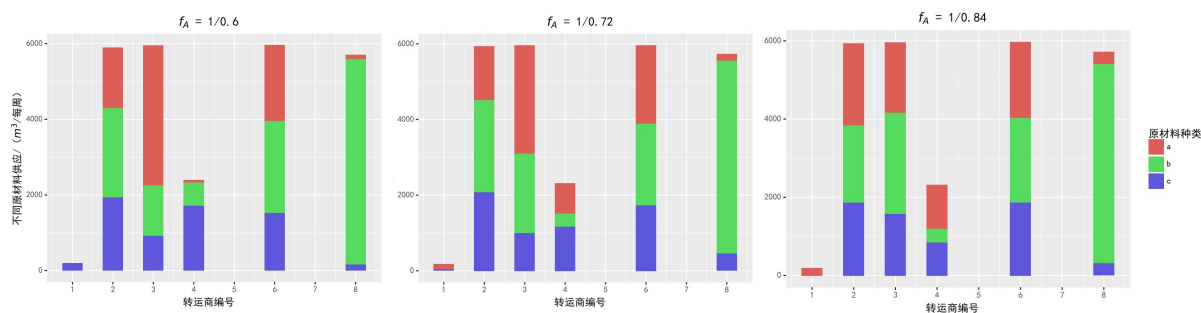


图 19 转运模型的灵敏度分析

可以看到, 当材料 A 的转化率减小时, A 类材料供应商的供应量在损耗率小的转运

商的转运量中占比减小。例如对于平均损耗率最小的 T3 转运商而言,随着  $f_A$  的减小, A 类材料的占比也逐渐减小;而对于平均损耗率较高的 T1 转运商而言,随着  $f_A$  的增加, A 类材料的占比增加。上述分析说明,材料的转化率降低时,单位体积转化的产能减小,材料的使用价值降低,使用损耗率较低的转运商会造成转运商使用价值的浪费,符合实际情况。由图 19 可知,当材料转化率发生变化时,转运商运输的不同原材料占比会发生变化,进而会影响转运方案的改变,因此转运模型灵敏度较好。

## 七、 模型的评价与推广

### 7.1 模型的优点

(1) 在量化供货指标前,本文对数据进行预处理,剔除异常数据干扰,确保供货指标能够更好地反映供应商真实的供货能力,有利于企业制定合理的订货方案。

(2) 在问题三的模型中,除了考虑原材料优先级和企业生产重要性两个排序优先级外,使用 K-means 算法对供应商进行分级处理,使得 19 个供应商的供给能够更好地满足“多 A 少 C”的原则,达到压缩成本的目标。

(3) 模型综合考虑了成本、库存、损耗等因素的影响,模型较为完整,且经验证,模型的灵敏度较高。

### 7.2 模型的缺点

(1) 没有具体分析初始库存的情况,仅考虑第 0 周的库存可以满足两个周的产能。然而实际情况较为复杂,可能会出现库存不足或者库存过饱和的情况,若对其分类讨论,结果会更具有现实意义。

(2) 模型运行时间较长,非线性优化对计算机要求较高。

### 7.3 模型的推广

针对缺点一,可以假设在确定订购计划前,企业的库存量是服从正态分布的,随机的库存量可以更好地模拟企业的多种生产状况,并可以根据库存量的大小制定不同的订货和转运方案,满足实际的生产生活需要。

除了建筑业外,汽车行业、零售商品加工业、服装加工业等均存在订货与转运的选择决策问题,而本文的模型可以广泛应用于多个领域,针对其采购过程中出现的成本、损耗等问题提供较为合理的解决方案。

## 八、 参考文献

- [1] 周永生,黄昊.企业原料采购中的供应商选择研究[J].现代商业,2012(02):60-61.
- [2] 朱铎辉,吴志军,张玉峰.基于层次分析法的供应商评价模型的研究[J].计算机应用研究,2004(06):90-91+96.
- [3] 动态加权综合评价方法,<https://wenku.baidu.com/view/dead0114814d2b160b4e767f5acfa1c7aa008280.html?re=view>,2018.08.18
- [4] 孙代玥.BTO 模式下汽车零部件供应商选择及供应过程管理研究[D].重庆:重庆大学,2018.
- [5] 姜启源,谢金星,叶俊.数学模型(第四版)[M].北京:高等教育出版社,2010:58-84
- [6] 张忠林,曹志宇,李元韬.基于加权欧式距离的 k\_means 算法研究[J].郑州大学学报(工学版),2010,31(1):89-92. DOI:10.3969/j.issn.1671-6833.2010.01.022.

## 附录

支撑材料清单			
编号	文件名称	文件类型	文件功能
1	附件 A 订购方案数据结果	Excel 文件	问题二至问题四的全部原材料订购方案
2	附件 B 转运方案数据结果	Excel 文件	问题二至问题四的全部转运方案
3	数据预处理	Python 文件	对 402 家供货商的数据进行预处理
4	选取 50 家最重要的供应商	Python 文件	按照顺序选择综合实力前 50 的供应商
5	数据可视化	Python 文件	部分数据的可视化呈现
6	特征分析与提取	Python 文件	供货特征的提取与量化
7	问题 2 求供应商最小数量	Python 文件	求解供货商的最小数 $z$
8	问题 2 求平均损耗率	Python 文件	计算八个供应商的平均损耗率
9	问题 3 求解优先顺序	Python 文件	计算新的优先级下供应商排序
10	模型 1 最小成本	MATLAB 文件夹	订货模型的建立与求解
11	模型 2 最小损耗产能	MATLAB 文件夹	转运模型的建立与求解
12	模型 3 最大潜在产能	MATLAB 文件夹	产能函数的建立与求解
13	348	Excel 文件	348 家供应商的排名及相关特征信息

### 附件 1

附件 A 订购方案数据结果

问题二至问题四的全部原材料订购方案，由于数据量太大，仅在支撑材料中展示。

### 附件 2

附件 B 转运方案数据结果

问题二至问题四的全部转运方案，由于数据量太大，仅在支撑材料中展示。

### 附录 3

数据预处理.py

```
# 数据预处理
# region import package needed
# %%

import math
from os import access
from numpy import array
import pandas as pd
```

```

import numpy as np
from plotnine import *
import matplotlib.pyplot as plt
from plotnine.labels import xlab
plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['SimHei']
plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False
import warnings
warnings.filterwarnings(action = 'ignore')

from sklearn.model_selection import train_test_split,KFold,LeaveOneOut,LeavePOut
from sklearn.model_selection import cross_val_score,cross_validate
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
import sklearn.linear_model as LM
from sklearn.metrics import classification_report
from sklearn.datasets import make_regression
from sklearn import tree
# %%
# endregion
# region 数据预处理
# %%
df1_din = pd.read_excel('data/附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx',sheet_name="企业的订
量 (m³) ")
df1_gong = pd.read_excel('data/附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx',sheet_name="供应商的
供货量 (m³) ")

# df1 = pd.read_excel("data/附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx")
# df2 = pd.read_excel("data/附件 2 近 5 年 8 家转运商的相关数据.xlsx")
# df3 = pd.read_excel("data/附件 A 订购方案数据结果.xlsx")
# df4 = pd.read_excel("data/附件 B 转运方案数据结果.xlsx")
# %% 数据整体信息 删除不考虑的数据

t_ = df1_din.iloc[:, 2:]
t_[t_ < 10] = 0
df1_din.iloc[:, 2:] = t_

t__ = df1_gong.iloc[:, 2:]
t__[t_ < 10] = 0
df1_gong.iloc[:, 2:] = t__

```

#### 附录 4

##### 选取 50 家最重要的供应商.py

```

# %%
df1_X['企业生产重要性'] = w.loc["C","weight"] * df1_X["C"] \
+ w.loc["S","weight"] * df1_X["S"] \

```

```

+ w.loc["V","weight"] * df1_X["V"]
# %%
df_sort = df1_X.sort_values("企业生产重要性", ascending=False)
# %% 直接取前 50
df_res = df_sort.head(50)
df_res['材料分类'].value_counts()
# %%

# %% 按照 18. 17. 15 选
# df_res = pd.concat([df_sort[df_sort["材料分类"] == "A"].head(18), \
#   df_sort[df_sort["材料分类"] == "B"].head(17), \
#   df_sort[df_sort["材料分类"] == "C"].head(15)], axis=0)
# df_res = df_res.sort_values("企业生产重要性", ascending=False)
# %%
df_ = df_res.reset_index()
df_["企业生产重要性"].plot()
# %%
df1_X['50 家最重要的供应商'] = 0
df1_X.loc[df_['index'], "50 家最重要的供应商"] = 1
# %% 绘制 所有企业按企业序号
# %%
# --重要性
from plotnine import *
(
  ggplot(df1_X.reset_index())
  + geom_point(aes('index', '企业生产重要性', shape='材料分类'))
  + geom_hline(yintercept = 0.393355,
    color='red', # set line colour
    size=1, # set line thickness
    linetype="dashed" # set line type
  )
  # + theme(legend_position = 'none')
  + theme(text=element_text(family="SimHei"))
  # + geom_text(aes(label='efef', x=0, y=0.121))
  # + annotate('text', x=0, y = 0.121, label='0.121', size=2)
  + xlab("供应商 ID")
)
# %%

# %%
df1_X.columns=['供应商 ID', '材料分类', '总订货量', '总订货次数', '周供货量', '可靠度', '供应实力', '
平均可靠度增长率', '供应商信誉实力', '合作亲密指数', '企业生产重要性',
'50 家最重要的供应商']

```

```

# %%
df1_din.T.iloc[3:, 2].plot()
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('index', '企业生产重要性', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('index', '合作亲密指数', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('index', '供应商信誉实力', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('合作亲密指数', '供应实力', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('供应商信誉实力', '供应实力', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
(
    ggplot(df1_X.reset_index())
    + geom_point(aes('供应商信誉实力', '合作亲密指数', fill = '50 家最重要的供应商'))
    # + theme(legend_position = 'none')
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
)

```



```
# %%
```

## 附录 5

### 数据可视化.py

```
# 数据可视化
# region 画 a, b 图
# %%
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
x = np.linspace(-1, 1, 100)
y1 = -x + 0.1
y2 = -x - 0.1
y3 = -x
# %%
import mpl_toolkits.axisartist as axisartist
# 创建画布
fig = plt.figure(figsize=(8, 8))
# 使用 axisartist.Subplot 方法创建一个绘图区对象 ax
ax = axisartist.Subplot(fig, 111)

# 将绘图区对象添加到画布中
fig.add_axes(ax)
# 通过 set_visible 方法设置绘图区所有坐标轴隐藏
ax.axis[:].set_visible(False)
# ax.new_floating_axis 代表添加新的坐标轴
ax.axis["x"] = ax.new_floating_axis(0,0)

# 给 x 坐标轴加上箭头
ax.axis["x"].set_axisline_style("->", size = 1.0)
# 添加 y 坐标轴，且加上箭头
ax.axis["y"] = ax.new_floating_axis(1,0)

ax.axis["y"].set_axisline_style("-|>", size = 1.0)
# 设置 x、y 轴上刻度显示方向
ax.axis["x"].set_axis_direction("top")
ax.axis["y"].set_axis_direction("right")
ax.plot(x,y1,linestyle="-.")
ax.plot(x,y2, linestyle='--')
ax.plot(x,y3)

ax.fill_between(x, 0.3, y1, alpha=0.3)
plt.xlim((-0.3, 0.3))
plt.ylim((-0.3, 0.3))
# 设置坐标轴刻度
```

```

# my_x_ticks = np.arange(-2, 2, 0.5)
# my_y_ticks = np.arange(-2, 2, 0.5)
# plt.xticks(my_x_ticks)
# plt.yticks(my_y_ticks)
# %%
# endregion
# region
# %%
df = pd.read_excel("data/问题 2.xlsx")
df = df.T
df=df.reset_index()
df = df.iloc[1:, :]
df.columns=['合计 2','合计 3']
# %%
df = df.fillna(0)
# %%
df
# %%
ar1 = np.array(df['合计 2'])
# %%
ar1.reshape(24,8)
# %%
df
# %%
data = [199.555902777778, 5850.85391997084, 5974.10808050543, 1332.84138350215, 0, 5976.589
95573448, 0, 5693.84417888425]
# %%
label = [1,2,3,4,5,6,7,8]
# %%
plt.bar(label, data)
plt.xlabel("转运商 ID")
plt.ylabel("周平均转运量")
# %%
df = pd.read_csv("data/第三问.csv")
# %%
df = df.reset_index()
# %%
df['index'] = df['index'] + 1
# %%
df['index_'] = df['index'].map({5:8,7:7,1:6,8:5,4:4,2:3,6:2,3:1})
# %%
# %%
df = df.melt(id_vars=["index_", "index"])
# %%

```

```

(
ggplot(df,aes(x='index_',y='value', fill = 'variable')) #传入数据来源和映射
+ geom_bar(stat='identity') #统计方式为原数据
+ theme(text=element_text(family="SimHei"))
+ xlab("转运商编号")

+ ylab("不同原材料供应商占比")

+ xlim(0,6)
# + scale_x_continuous(breaks=range(1,7,1))

)
# %%
df = pd.DataFrame(
{
"A 与 C 的采购价格比值":[0.5, 1, 1.5, 2, 3,4],
"订购量比值
":[1.25053859444714,1.24025882266888, 1.10447226722918,1.10674567848540,1.0728983592134,1.099
04625188386]
}
)
# %%
(
ggplot(df,aes("A 与 C 的采购价格比值", "订购量比值"))
+ geom_line()
+ geom_point()
# + geom_smooth()
+ geom_hline(aes(yintercept=1.07), colour="#990000", linetype="dashed")
+ ylim(0.3, 1.5)
+ theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# %%
# endregion
# region
# %%
df = pd.read_excel("data/task3.xlsx")
# %%
df.columns = ['转运商编号', 'a', 'b', 'c', 'al']
# %%
df1 = df[df['al'] == "1/0.6"][['转运商编号', 'a', 'b', 'c']]
df1 = df1.melt(id_vars=['转运商编号'], var_name='原材料种类')
# %%
(

```

```

ggplot(df1, aes(x='转运商编号', y='value', fill='原材料种类'))
+ geom_bar(stat='identity', width=0.5)
+ theme(text=element_text(family="SimHei"))
+ ylab("不同原材料供应/（ $m^3$ /每周）")
+ scale_x_continuous(breaks=range(0,9,1))
+ ggtitle('$f_A$ = 1/0.6')
)
# %%
df1 = df[df['al'] == "1/0.72"][['转运商编号', 'a', 'b', 'c']]
df1 = df1.melt(id_vars=['转运商编号'], var_name='原材料种类')
# %%
(
  ggplot(df1, aes(x='转运商编号', y='value', fill='原材料种类'))
  + geom_bar(stat='identity', width=0.5)
  + theme(text=element_text(family="SimHei"))
  + ylab("不同原材料供应/（ $m^3$ /每周）")
  + scale_x_continuous(breaks=range(0,9,1))
  + ggtitle('$f_A$ = 1/0.72')
)
# %%
df1 = df[df['al'] == "1/0.84"][['转运商编号', 'a', 'b', 'c']]
df1 = df1.melt(id_vars=['转运商编号'], var_name='原材料种类')
# %%
(
  ggplot(df1, aes(x='转运商编号', y='value', fill='原材料种类'))
  + geom_bar(stat='identity', width=0.5)
  + theme(text=element_text(family="SimHei"))
  + ylab("不同原材料供应/（ $m^3$ /每周）")
  + scale_x_continuous(breaks=range(0,9,1))
  + ggtitle('$f_A$ = 1/0.84')
)
# %%
# endregion
# region 产能的灵敏度
# endregion

```

## 附录 6

### 特征分析与提取.py

```

# %% X5 总订货量
df1_X = pd.DataFrame()
df1_X['供应商 ID'] = df1_din['供应商 ID']
df1_X['材料分类'] = df1_din['材料分类']
df1_X['X5'] = df1_din.iloc[:,2:].sum(axis=1)
# %% 总订货次数

```

```

df1_X['X4'] = (df1_din.iloc[:,2:] != 0).astype(int).sum(axis=1)
# 总供货量 --> 周供货量
df1_X['X1'] = df1_gong.iloc[:,2:].sum(axis=1)

# 最大供货量
df_zhou_max = pd.DataFrame()
df_zhou_max['X1'] = df1_gong.iloc[:,2:].max(axis=1)
# 可靠度 X 2
df_ = (df1_gong.iloc[:,2:] / df1_din.iloc[:,2:])
# 
count = (df_).count(axis=1)
# 
df_ = df_.fillna(0)
df_[df_ > 1] = 1
# 
df1_X['X2'] = df_.sum(axis=1)/count
df1_X['X2'].fillna(0)
# 供货实力 V
df1_X['V'] = df1_X['X1'] / count
df1_X['X1'] = df1_X['X1'] / count
# 可靠性变化率
df_ = (df1_gong.iloc[:,2:] / df1_din.iloc[:,2:])
for i, r in df_.iterrows():
    s = r
    s = s.dropna()
    if s.diff().sum()/s.count() >= -1000:
        df1_X.loc[i,"X3"] = s.diff().sum()/s.count()
    else:
        df1_X.loc[i,"X3"] = 0
    # tmp_.append(s.diff().sum()/s.count())
    # if(i == 0):
    #     print(s.diff().sum()/s.count())
    # s.hist()

# 信誉指数 C
df1_X['C'] = df1_X['X3'].map( lambda x : 1/(1+np.exp(-x))) * df1_X['X2']
# 合作关系实力 S
df_ = pd.DataFrame()
df_['X4'] = (df1_X['X4'] - df1_X['X4'].min())/(df1_X['X4'].max()-df1_X['X4'].min())
df_['X5'] = (df1_X['X5'] - df1_X['X5'].min())/(df1_X['X5'].max()-df1_X['X5'].min())

df1_X['S'] = df1_X['X4'].map( lambda x : 1/(1+np.exp(-x))) * df_['X4'] + df1_X['X5'].map( lambda x : 1/(
1+np.exp(-x))) * df_['X5']

```

```

# %% 熵权法
# 标准化 C S V
df1_X['S'] = (df1_X['S'] - df1_X['S'].min()) / (df1_X['S'].max() - df1_X['S'].min())
df1_X['C'] = (df1_X['C'] - df1_X['C'].min()) / (df1_X['C'].max() - df1_X['C'].min())
df1_X['V'] = (df1_X['V'] - df1_X['V'].min()) / (df1_X['V'].max() - df1_X['V'].min())
# %%
# %%
df1_X['V'].describe()
# %%
df1_X.plot.scatter("V", "C")
# %%
df1_X.plot.scatter("S", "C")
# %%
df1_X.plot.scatter("S", "V")
# %%
# 定义熵值法函数
def cal_weight(x):
    """熵值法计算变量的权重"""
    # 标准化
    # x = x.apply(lambda x: ((x - np.min(x)) / (np.max(x) - np.min(x))))
    # 求 k
    rows = x.index.size # 行
    cols = x.columns.size # 列
    k = 1.0 / math.log(rows)

    lnf = [[None] * cols for i in range(rows)]

    # 矩阵计算--
    # 信息熵
    # p=array(p)
    x = array(x)
    lnf = [[None] * cols for i in range(rows)]
    lnf = array(lnf)
    for i in range(0, rows):
        for j in range(0, cols):
            if x[i][j] == 0:
                lnfi_j = 0.0
            else:
                p = x[i][j] / x.sum(axis=0)[j]
                lnfi_j = math.log(p) * p * (-k)
            lnf[i][j] = lnfi_j
    lnf = pd.DataFrame(lnf)
    E = lnf

```

```

# 计算冗余度
d = 1 - E.sum(axis=0)
# 计算各指标的权重
w = [[None] * 1 for i in range(cols)]
for j in range(0, cols):
    wj = d[j] / np.sum(d)
    w[j] = wj
# 计算各样本的综合得分,用最原始的数据
w = pd.DataFrame(w)
return w
# %%
# 计算 df 各字段的权重
df1_X = df1_X.dropna(axis=0)
df = df1_X[['C', 'S', 'V']]
w = cal_weight(df) # 调用 cal_weight
w.index = df.columns
w.columns = ['weight']
print(w)
print('运行完成!')
weight

```

## 附录 7

### 问题 2 求供应商最小数量.py

```

# region 问题 2 求最小 n
# %%
df2_X = df1_X.sort_values("企业生产重要性", ascending=False).head(50)
# %%
df2_X.reset_index(inplace=True)
# %%
df2_X['周供货量'].plot()
# %%
df1_din.iloc[200, 2:].sum()/(df1_din.iloc[200, 2:] != 0).astype(int).sum()
# %% 以 200 举例 说明删除较小值的必要性
fig, ax = plt.subplots()
ttt = df1_din.iloc[200, 2:]
ttt.plot(ax=ax)
ax.axhline(y=1673.24, linestyle='-', color="red")
ax.axhline(y=7116.30, linestyle='-', color="red")
ax.text(-20, 1673.24, "{:.0f}".format(1673.24), color="red", ha="right", va="center")
ax.text(-20, 7116.30, "{:.0f}".format(7116.30), color="red", ha="right", va="center")

ax.set_xlabel("时间/(周数)")
ax.set_ylabel("向 S201 供应商订购量/($m^3$)")
# %%

```

```

# (
#   ggplot(df1_din.iloc[200, 2:])
#   ++ geom_point(aes(""))
# )
# %%
df1_sort = df1_X.sort_values("企业生产重要性", ascending=False)
# %%
df_zhou_max.reset_index(inplace=True)
# %%
df_ = pd.concat([df1_X, df_zhou_max['X1']], axis=1)
df_res = df_.sort_values("企业生产重要性", ascending=False)
# %%
n = 0
cost = 2.82e4
tmp = 0
f = [1/0.6, 1/0.66, 1/0.72]
for i, row in df_.sort_values("企业生产重要性", ascending=False).iterrows():
    n = n + 1
    tmp = tmp + row['周供货量'] * f[ord(row['材料分类']) - 65] * row['可靠度']
    if(tmp > cost):
        print("n: ", n)
        break
    print(row['周供货量'] * f[ord(row['材料分类']) - 65] * row['可靠度'])
    print(i, tmp)
    print("-----")
# %%
df_res['周供货量'].count()
# 348 / 402
# %%
df_res1 = df_res.head(19)
# %%
df_res1['材料分类'] = df_res1['材料分类'].map({"A":1, "B":2, "C":3})
# %%
df_res1.to_excel("matlab.xlsx")
# %%
# %%
# endregion

```

## 附录 8

### 问题 2 求平均损耗率.py

```

# region 问题 2.2 求损耗率
# %%
# df2 = pd.read_excel("data/2.1 问.xlsx")

```



```

# %%
df2 = pd.read_excel("data/附件 2 近 5 年 8 家转运商的相关数据.xlsx")
# %%
sum = df2.iloc[:, 1:].sum(axis=1)
# %%
mu = (df2.iloc[:, 1:] != 0).astype(int).sum(axis=1)
# %%
df2['平均运输损耗率'] = sum/mu
# %%
from plotnine import *
(
    ggplot(df2)
    + geom_bar(aes("转运商 ID", "平均运输损耗率"), stat='identity', width=0.5)
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)
# 0    1.904769
# 1    0.921370
# 2    0.186056
# 3    1.570482
# 4    2.889825
# 5    0.543761
# 6    2.078833
# 7    1.010283
# %%
df2[['转运商 ID', '平均运输损耗率']].to_excel('平均运输损耗率.xlsx')
# %%
#endregion

```

## 附录 9

### 问题 3 求解优先顺序.py

```

# region 问题 3 求分级 和 优先级 a>b>c 的条件下的优先顺序以满足产能需要
# 通过聚类将供应商分级
#
# %%
df3_X = df1_X.sort_values("企业生产重要性", ascending=False)
# %%
df3_X = df3_X.dropna(axis=0, how='any')
# %%
alist = []
blist = []
clist = []
for n in range(15, 300, 5):
    print(n)

```

```

df3_selected = df3_X.head(n)
alist.append(df3_selected['材料分类'].value_counts()['A'])
blist.append(df3_selected['材料分类'].value_counts()['B'])
clist = [ 15 + 5*i - alist[i] - blist[i] for i in range(57)]
# %% 计算比率
for i in range(len(alist)):
    sum = alist[i] + blist[i] + clist[i]
    alist[i] = alist[i]/sum
    blist[i] = blist[i]/sum
    clist[i] = clist[i]/sum

# %%
tmp = []
for i in range(len(alist)):
    tmp.append((15 + 5*i, alist[i], "A"))
    tmp.append((15 + 5*i, blist[i], "B"))
    tmp.append((15 + 5*i, clist[i], "C"))

# %%
zhu = pd.DataFrame(tmp)
zhu.columns = ["n", "mix", "材料分类"]
# %%
(
ggplot(zhu,aes(x='n',y='mix', fill = '材料分类'))#传入数据来源和映射
+ geom_bar(stat='identity', width=4)#统计方式为原数据
+ theme(text=element_text(family="SimHei"))
+ xlab("选择供应商数量/(个)")
+ ylab("不同原材料供应商占比")
+ scale_x_continuous(breaks=range(0,300,50))

)
# %%
df3_X['材料分类'].value_counts()
# A    126
# B    118
# C    104
# %% 聚类
from sklearn.cluster import KMeans
SSE = []
x = np.array(df3_X['企业生产重要性'])
y = x.reshape(-1,1)

for k in range(1,11):
    estimator = KMeans(n_clusters=k) # 构造聚类器

```

```

estimator.fit(y)
SSE.append(estimator.inertia_)
X = range(1,11)
plt.xlabel('k')
plt.ylabel('SSE')
plt.plot(X,SSE,'o-')
#%%%
from plotnine import *
df_plt = pd.DataFrame({"k":X, "均方差":SSE})
(
    ggplot(df_plt, aes("k", "均方差"))
    + geom_line(size=1)
    + geom_point( size=3)
    + scale_x_continuous(breaks = range(0, 11,1))
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
)

#%%% 聚类得到 label
estimator = KMeans(n_clusters=4) # 构造聚类器
estimator.fit(y)
labels = [estimator.labels_]
#%%%
labels
#%%%
df_label = pd.DataFrame(labels)
df_label = df_label.T
df_label.columns = ["label"]
df_label["label"] = df_label["label"].map({0:0, 1:2, 2:1, 3:3})
#%%% 将 label 加入 df3x 中
df_1 = df3_X.reset_index(drop=True)
df_2 = df_label.reset_index(drop=True)
df3_X_ = pd.concat([df_1,df_2], axis = 1)
#%%%
(
    ggplot(df3_X_.reset_index())
    + geom_line(aes("index","企业生产重要性", color='label'))
)
#%%%
df_ = df3_X_[df3_X_["label"] == 3]
df3_fenzu1 = pd.concat([df[df['材料分类'] == 'A'],df[df['材料分类'] == 'B'],df[df['材料分类'] == 'C']], axis=0).reset_index()
df_ = df3_X_[df3_X_["label"] == 2]
df3_fenzu2 = pd.concat([df[df['材料分类'] == 'A'],df[df['材料分类'] == 'B'],df[df['材料分类'] == 'C']], axis=0).reset_index()

```

```

df_ = df3_X[df3_X["label"] == 1]
df3_fenzu3 = pd.concat([df[df['材料分类'] == 'A'],df[df['材料分类'] == 'B'],df[df['材料分类'] == 'C']], axis=0).reset_index()
df_ = df3_X[df3_X["label"] == 0]
df3_fenzu4 = pd.concat([df[df['材料分类'] == 'A'],df[df['材料分类'] == 'B'],df[df['材料分类'] == 'C']], axis=0).reset_index()
df3_fenzu = pd.concat([df3_fenzu1,df3_fenzu2,df3_fenzu3, df3_fenzu4], axis=0).reset_index()
df3_fenzu = df3_fenzu[['供应商 ID', '材料分类', '总订货量', '总订货次数', '周供货量', '可靠度',
    '供应实力', '平均可靠度增长率', '供应商信誉实力', '合作亲密指数', '企业生产重要性', '50 家最重要的供应商',
    'label']]

# %%
# df3_fenzu['企业生产重要性'].plot()
(
    # 42, 121, 170
    ggplot(df3_fenzu.reset_index() )
    + theme(text=element_text(family="SimHei"))
    + geom_line(aes("index", "企业生产重要性", shape="label"))
    + geom_vline(aes(xintercept=42), colour="#990000", linetype="dashed")
    + geom_vline(aes(xintercept=121), colour="#990000", linetype="dashed")
    + geom_vline(aes(xintercept=170), colour="#990000", linetype="dashed")
    + xlab("优先级序号")
    # + geom_area(aes(x="index", y="企业生产重要性", fill="材料分类"))
)
# %%
tp_ = df3_fenzu[['材料分类', '总订货量', '总订货次数', '周供货量', '可靠度', '供应实力', '平均可靠度增长率',
    '供应商信誉实力', '合作亲密指数', '企业生产重要性']].head(20)
tp_['材料分类'] = tp_['材料分类'].map({"A":1, "B":2, "C":3})
tp_.to_excel("matlab1.xlsx")
# %% 选择满足需求的吗?
n = 0
cost = 2.82e4
tmp = 0
f = [1/0.6, 1/0.66, 1/0.72]
for i, row in df3_X.iterrows():
    n = n + 1
    tmp = tmp + row['周供货量'] * f[ord(row['材料分类']) - 65] * row['可靠度']
    if(tmp > cost) :
        print("n: ", n)
        break
    print(row['周供货量'] * f[ord(row['材料分类']) - 65] * row['可靠度'])
    print(tmp)

```

```

    print("-----")
# %%
alist = []
blist = []
clist = []
for n in range(15, 300, 5):
    # print(n)
    df3_selected = df3_fenzu.head(n)
    alist.append(df3_selected['材料分类'].value_counts()['A'])
    blist.append(df3_selected['材料分类'].value_counts()['B'])
clist = [15 + 5*i - alist[i] - blist[i] for i in range(57)]
# %% 计算比率
for i in range(len(alist)):
    sum = alist[i] + blist[i] + clist[i]
    alist[i] = alist[i]/sum
    blist[i] = blist[i]/sum
    clist[i] = clist[i]/sum

# %%
tmp = []
for i in range(len(alist)):
    tmp.append((15 + 5*i, alist[i], "A"))
    tmp.append((15 + 5*i, blist[i], "B"))
    tmp.append((15 + 5*i, clist[i], "C"))
# %%
zhu = pd.DataFrame(tmp)
zhu.columns = ["n", "mix", "材料分类"]
# %%
(
ggplot(zhu,aes(x='n',y='mix', fill = '材料分类'))#传入数据来源和映射
+ geom_bar(stat='identity', width=4)#统计方式为原数据
+ theme(text=element_text(family="SimHei"))
+ xlab("选择供应商数量/(个)")
+ ylab("不同原材料供应商占比")
+ scale_x_continuous(breaks=range(0,300,50))
)

```

### 附录 10-13

对三个模型的建立与求解及 348 家供应商数据——MATLAB 文件夹及 348.xlsx

该部分内容详见支撑材料