

基于静态数据组合的供应链决策模型

摘 要

供应链决策是指对供应链系统整体进行计划、调整、操作、控制、优化的各种活动和过程。企业通过信息流、物资流、资金流等，与相关的制造、组装、零售企业共同设立相关供应链结构。企业通过这个网络链，将原材料变成产品，销售给最终用户。企业采用供应链管理技术，可以大幅降低生产成本和交易成本，提升企业市场竞争力。

针对问题一，主要需要解决的问题是如何建立合适的评价指标来评估供应商对保障企业生产的重要性。首先通过对往年的供定货数据进行分析，量化供应商的供货特征，提取出了供货商**最大供货量、平均供货量、原材料种类、订单完成率**四个评价指标。据此指标建立了供应商的重要性评价体系，并使用**灰色关联分析法**量化了供应商的重要性，挑选出了五十家高重要性的供应商。

问题二分为三个小问，第一小问要求用最少的供应商完成生产需求，其重点是需要考虑供应商的供货能力的未知性，采用了问题一所求出的平均供货量作为供应商的供货能力指标，以此确定最少的供应商数量；第二小问需要制定未来 24 周最经济的原材料订购方案，本问需要基于供应商的供应能力来制定方案，文章使用模式匹配从往年的决策中选择符合条件的优化方案，基于生产成本的约束条件进一步优化以确定每周订购方案；第三小问需要制定损耗最少的转运方案，本问主要需要考虑转运商的转运损耗率的随机性，采用转运商的平均转运率和转运损耗率作为转运商的评价指标，再根据第二小问的订购方案进一步采用**动态规划法**以制定优化转运方案。

针对问题三，本问题主要需要解决的是转运及仓储的成本应当用什么指标来表示。考虑转运成本和仓储成本与货物量成正相关，结合问题一的供货商排名，以转运和仓储成本最小化为优化目标，最后采用动态规划法计算出新的订购方案，同时根据订购方案以及转运商优先度制定转运方案。

针对问题四，企业的产能具有升级的潜力，本问主要需要解决的是要确定如何订购原材料以使产业的产能有明显的提升且供应商与转运商能够完成相关的任务。通过对往年的订购货数据进行分析，按照最大化原则订购原材料以使供转运商与供应商的能力得到最大的利用，采用动态规划计算出未来 24 周的订购方案，同时以 24 周订货量的中的最小值乘以最大平均损耗率算出的值作为企业的新产能指标。

关键词：灰色关联分析法、供应链管理、采购、动态规划、供给不确定性

1 问题重述

1.1 问题背景

目前市场经济竞争激烈，为了在新环境下保持企业的市场竞争力，企业不仅要注意在销量、品质、安全、环保等方面在市场处于领先地位，更要关注提高内部管理水平。其中着重提高原材料采购管理水平，随着供应链管理模式的兴起，以科学数据和数学模型为依据对原材料进行合理的分类，并针对各类别制定相对应的采购和运输方案，有效地对采购模式进行优化，以满足不稳定的市场需求，保质保量地实现产品交付，并有效降低库存成本，从而在市场竞争中取得成本优势。供应商的合理选择与科学订单分配策略直接关系着企业的运营成本、运作效率和客户服务水平，从而影响供应链的整体竞争力。因此对供应链管理的订购策略的研究，对优化成本、提高质量和提升市场竞争力都具有非常重要的意义，为企业带来了更加广阔的发展空间。

目前采购模式分为传统采购和现代采购两种模式，两者区别如表 1 所示，传统模式主要是基于库存的基础上进行库存补充，保持库存的充足以满足市场的需求。而现代模式主要包括供应链采购、准时采购、订货点采购。现代采购需要供货商在合适的时间地点，向企业提供恰当数量的质量合格的产品，能够有效减少库存的积压，提高经济效益。

表 1 传统采购与现代采购的区别

	传统采购	现代采购
库存	有合理库存，保证生产	减少库存，加速周转
采购驱动	被动，补给库存	主动，客户需求
采购批量	送货批量大，批次少	送货批量小，批次多
供应商选择	短期合作，多源供应	长期合作，单源供应

采购方案的选择，关系到原材料的采购成本，直接影响到企业的生产效益。只有在采购管理中选择合适的采购模式不断改进和完善采购及运输方案，才能降低采购成本以提高经济效益。采购成本是企业产品生产成本的主要部分，降低采购成本实际上就是提高产品的经济收益，提高企业的盈利水平。因此，改进采购方案，降低采购成本是增加企业竞争优势的重要举措。如何确定供货商、转运商，制定采购方案，使得在考虑不确定性的实际情况下取得最佳的经济收益是本文的重点研究对象。

1.2 问题提出

问题一：根据附件 1，对 402 家供应商的供货特征进行量化分析，建立反映保障企业生产重要性的数学模型，在此基础上确定 50 家最重要的供应商，并在论文中列表给出结果。

问题二：参考问题一，该企业应至少选择多少家供应商供应原材料才可能满足生产的需求？针对这些供应商，为企业制定未来 24 周每周最经济的原材料订购方案，并据此制定损耗最少的转运方案。试对订购方案和转运方案的实施效果进行分析。

问题三：该企业为了压缩生产成本，现计划尽量多地采购 A 类和尽量少地采购 C 类原材料，以减少转运及仓储的成本，同时希望转运商的转运损耗率尽量少。请制定新的订购方案及转运方案，并分析方案的实施效果。

问题四：该企业通过技术改造已具备了提高产能的潜力。根据现有原材料的供应商和转运商的实际情况，确定该企业每周的产能可以提高多少，并给出未来 24 周的订购和转运方案。

2 问题分析

2.1 问题一分析

针对问题一，根据企业往年原材料的订货量和往年供应商供货量数据进行分析，在保障企业生产需求的前提下确定重要性较高的供应商，以协调好供应链中供应商和订购量的关系。其中，供应商是供应链的重要组成部分，因此需要构建一个准确的数学模型协助企业对供应商进行科学合理的评价与选择，以寻找最优订购策略。

对于供应商的选择，一般根据原材料价格、原材料品质、供应商完成率、供应商产能等几个方面综合考虑。

首先对原材料的价格进行分析，得出不同供应商的同类型原材料单位体积的价格是相同的，但不同的原材料间的相对价格有一定差异。其中，A 类和 B 类原材料采购单价比 C 类原材料高 20% 和 10%，由此可计算单位体积下原材料生产成本如表 2 所示，故可得原材料订购的优先级为： $A=C>B$ ，同时原材料的价格可化为原材料的种类。

表 2 三类材料的对比

类型	单价	消耗原材料 (立方米)	相对价格 (以 C 为 1)	总相对价格	每周需要材料金额
A	0.6	1.2	0.72	16920	20340
B	0.66	1.1	0.726	18612	20473.2
C	0.72	1	0.72	20304	20304

原材料品质，是指供应商提供产品的质量，其中包括产品合格率。供货商信誉度(订单完成率)，是指供应商完成订单的总次数和企业向该供应商发起的所有订单次数的比值。供应商的供给能力，是指供应商在一定时间内的交货能力，包括供应商可承载的最大供货量以及平均供货量，可以反映出供货商的产能上限和稳定性。

综合以上几个供应商选择的关键因素，本文提出了基于灰色关联分析法^[1]，通过衡量供应商的质量水平构建订购策略。

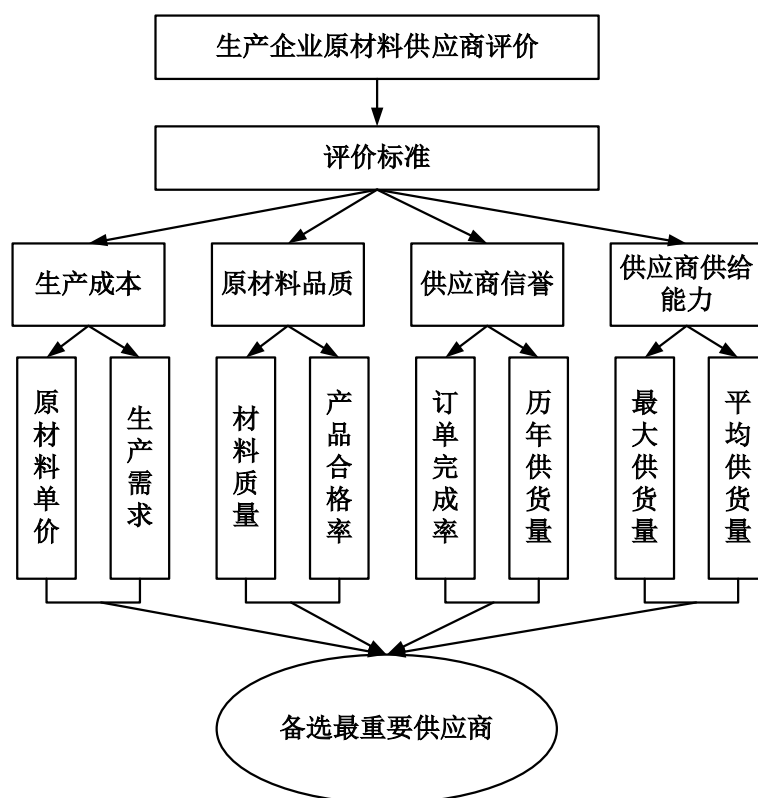


图 1 评价标准示意图

2.2 问题二分析

通过分析题目发现，问题二分为三个小问，其中第一个小问是要求得至少所需的供货商数量，第二小问是在问题一得出的排名数据基础上制定最经济的订购方案，第三小问则是根据第二小问的订购数据制定损耗最少的运输方案。

从分析中可以看出，这些方案是规划问题，故问题二可分为三个规划类问题，前两个小问暂不考虑运输损耗，仅以供货数据进行规划。三个问题的目标函数和约束条件及决策变量如图 2 所示。

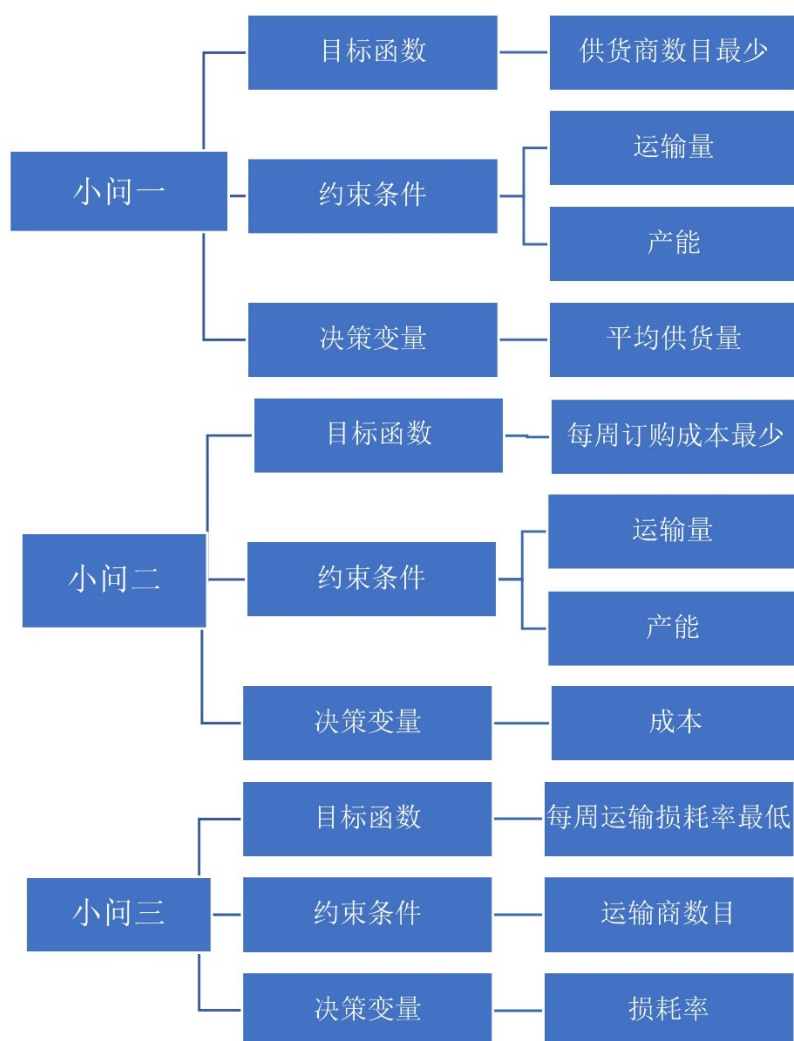


图 2 三类材料对比图

第一个规划问题聚焦于以供货商数量最少为目标函数。在不考虑运输损耗的情况下，参考问题一综合评价中供应商的平均供应量，对其按从大到小的顺序进行排序并依次累加每名供应商的平均供货量，求出刚好达到产量需求的供应商的数量，这个数即为问题所求。

第二个规划问题需设计最经济的 24 周订货方案，根据问题一的前 50 名综合评价分数，对往年的静态数据进行分析，选出符合约束条件且成本最少的 24 周数据并将其作为订货方案。

第三个规划问题需设计损害最少的转运商方案，根据往年的转运商损耗数据，可求得每家转运商的平均损耗数据，通过此数据，可评估每家转运商的情况，并以此对转运商进行优先级排序，在订购方案确定的情况下优先选择平均损耗率的转运商，再依据每家转运商每周的的转运极限以及订购方案求得转运方案。

2.3 问题三分析

通过分析题目可知，第三问在第二问的基础上增加了约束条件。第一个约束条件聚焦于原材料的选择,第一问已经分析得出三种原材料的订购的优先级为 $A > C > B$,因此尽可能选择 A 类材料，从而最大限度的降低生产成本。基于问题一模型的综合评价，选出高评分且占比为 10%的供应商，选取结果具有一定的科学性和稳定性。第二个约束条件聚焦于减少转运及仓储的成本，同时尽可能降低转运商的转运损耗率。针对该问题，在满足企业正常生产的情况下，本文选择尽可能减少供应商的数目，从而达到降低转运损耗率的目的。基于以上两点，可计算得到最经济的订购方案。

2.4 问题四分析

针对问题四，企业通过技术改造具备了提高产能的潜力，表明企业每周可接收原材料的供应量可以随之增加。但具体的增加量还需按照现有原材料的供应商和转运商的实际情况进行分析，故问题四依然属于规划问题。

经过分析可知，目标函数为每周运输的原材料转化为产能的函数值，约束条件为每周的最大运输量为八家转运商共同转运的极限值为每周48000立方米，决策变量为每周订购方案所支付的费用，其中包括购买原材料所需的费用与实际原材料量的运输费用。根据问题一求得的往年静态数据，本文选出满足约束条件且费用最低的24周并作为订购方案，根据订购方案同问题二制定转运方案。

3 问题假设

- 1、 假设供应商的原材料品质一致。

- 2、 假设企业采购环节中对于不同供应商产生的非仓储成本(主要指装卸、搬运成本)、订购成本(采购人员交通费、食宿费及相关采购业务成本等)一致。
- 3、 假设企业仓库存储容量足够大，能容纳企业正常生产两周以上所需的原材料。
- 4、 假设原材料供应商、转运商和生产企业之间是平等的市场供求关系。
- 5、 假设仓库存储成本与存储数量成正相关，转运费用与转运数量成相关，且皆为每立方米一元。

4 符号说明

本文中所涉及的主要符号及其含义如表 3 所示：

表 3 主要符号对照表

符号名称	符号含义	单位名称
ρ	分辨系数	
M	评价指标的个数	个
O	企业订货数据矩阵	
η	订货完成率	%
S	供货商供货数据矩阵	
ms	最大供货量	个
as	按需平均供货量	个

注：表中只列举了文中部分符号，其它符号在文中给出。其中，变量及函数名用斜体表示，向量用斜体加粗表示。

5 模型建立与求解

5.1 问题一模型建立及求解

问题一通过对已有数据的初步量化分析并进行数据可视化，本文设定了 4 个评定标准：最大供货量、平均供货量、订单完成率以及原材料的种类。采用灰色关联法建立模型，首先根据已确定的评价指标体系，收集相关数据，设立参考数据列。通过对指标数据进行无量纲化，形成矩阵并逐个计算每个被评价对象指标序列(比较序列)与参考序列对应元素的绝对差值。最后计算关联系数和关联序，利用排序结果挑选最重

要的供应商，以保障企业的生产需求。问题一模型建立及求解流程图如图 3 所示：

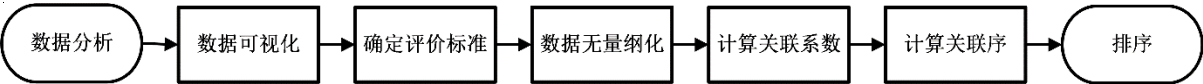


图 3 灰色关联法求解流程

5.1.1 数据可视化

为制定衡量供应商评价标准体系，本文全面考察了供应商的若干影响因素，并对所提供的近 5 年的 402 家供应商的订货量和供货量数据进行了统计分析。如图 4 所示，为确保该企业每周的生产所需，本文对所有供货商每周的订货量和供货量的总和进行分析，从图中可以得出每周的订货量总和普遍小于每周的供货量总和，说明供货商的供货能力能够满足企业正常生产所需的原材料。供货商的交货能力越强，说明其生产能力强，管理水平高。进一步能保证其对短期变更的交货需求应急能力，以提高供应商生产供应链的灵活性，对企业稳定生产起重要作用。

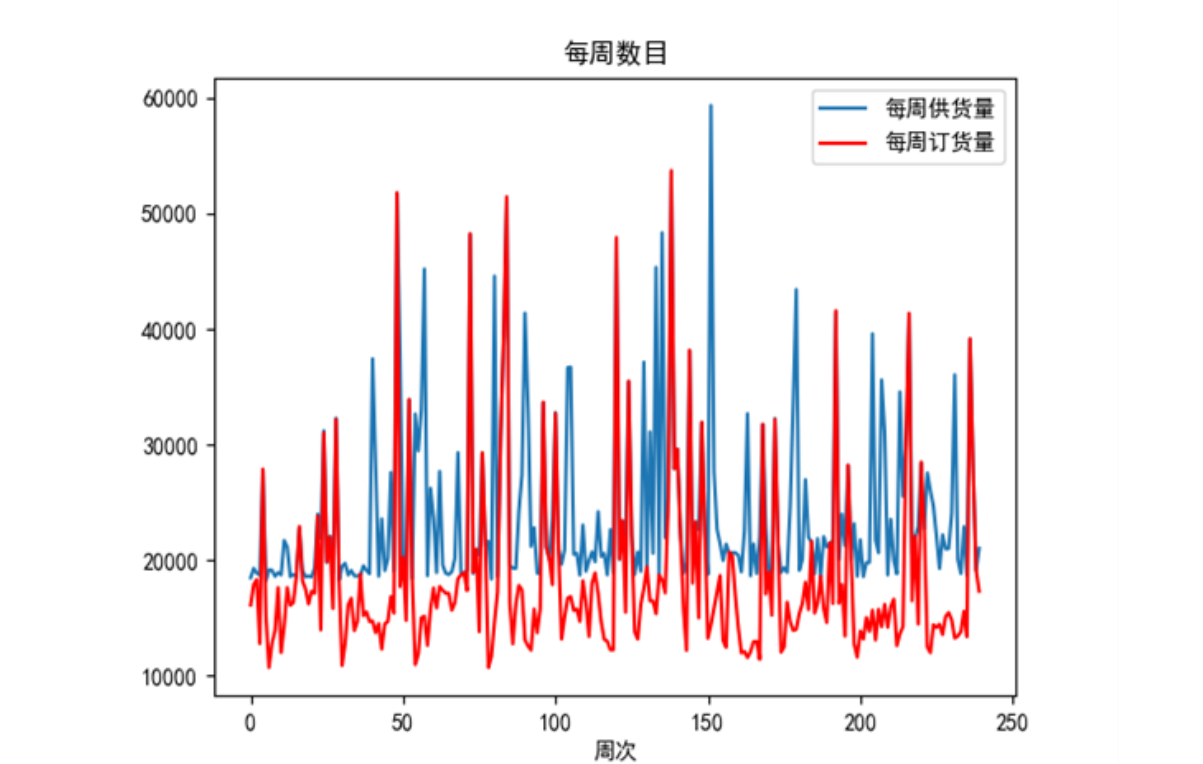


图 4 每周订、供货数目统计

由于三种原材料的消耗量和采购单价不同，从生产成本的经济效益上考虑，对所有供应商原材料每周的供应比例进行对比，由图 5 可知 B 材料在三种材料中每周占比中总体大于 A 材料和 C 材料，说明企业对 B 材料的使用较多，并且通过之前对原材料成本的分析可以得知 B 材料的成本最高，说明企业的利润仍有上升空间。可以通过科

学选择供应商并合理地规划订购策略，实现最优化的订购方案。

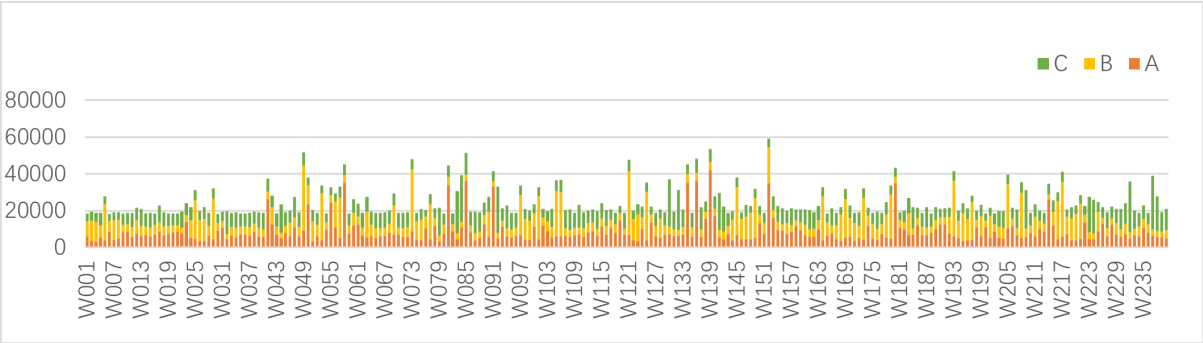


图 5 三类材料供应对比

5.1.2 评价指标

为使评价标准体系更加精准，全文设置了如下 4 个评价指标：

- (1) 最大供货量可以体现供货商最大的供货能力,供货商的最大供货量越大，则提供企业的供货量的最大上限也越高。
- (2) 平均供货量则可以体现该供货商每周的供应量，平均供货量越大，则说明该企业的供货能力越强。
- (3) 订单完成率则可以体现供货商供货的稳定性，订单完成率越大，则说明该供货商每周的订单完成率大。
- (4) 原材料的种类，通过计算(见表 2)每周需要不同种类材料的价格： $A=C<B$ ，所以 AC 类材料选择的越多，则企业的生产成本越少。

表 4 各指标展示

指标名	指标内容
最大供货量	供货商能提供的最大供货量
平均供货量	体现供货商每周的供货的平均值
订单完成率	供货商完成订单数与所有订单数的比值
原材料的种类	A，B，C 三种不同的原材料

5.1.3 数据处理

由题分析可知企业不会每周都向同一供货商发出订单，为保证计算得到的平均供货量、订单完成率的准确性，在计算供货商供货的周数时，须把已知数据中企业未向

供货商发出订单(即供货商未收到订单)的周数剔除,从而得到当企业向供货商发出订单时,供货商是否能够达到供货需求的真实情况。而供货量是否达标(订单是否完成)的判定标准是将供应商某周的供货量减去该周企业所需的订货量,若结果大于等于 0 则视为完成订单,否则视为未完成。故要得到供货商的平均供货量、订单完成率,需记录在供货商供货的总量及达标的总次数。将供货商的供货总量除以供货商收到订单的总周数,得到的结果即为平均供货量;将完成订单的总次数除以供货商收到订单的总周数得到的结果即为供应商的订单完成率。

根据附件一,可将近 5 年企业向 $m=402$ 家供货商订购 $n=240$ 周的原材料订货数据抽象为矩阵 O ,具体如下:

$$O = \begin{bmatrix} o_{11} & o_{12} & \cdots & o_{1n} \\ o_{21} & o_{22} & \cdots & o_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ o_{m1} & o_{m2} & \cdots & o_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

式中: $o_{i,j} (i=1,2,\dots,402; j=1,2,\dots,240)$ 表示企业对第 i 家供货商在第 j 周的订货量数据。

同时分别将 m 家供货商 n 周的供货数据抽象为矩阵 S ,具体如下:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

式中: $s_{i,j} (i=1,2,\dots,402; j=1,2,\dots,240)$ 为第 i 家供货商在第 j 周的供货量。

通常,供货商的最大供货量,平均供货量,订单完成率是最能反映供货商的供货保障能力的重要特征。为此定义:

(1) 最大供货量 ms :

$$ms(i) = \max(s_{i,j}) \quad (1.3)$$

式中: $\max(\cdot)$ 为取最大值。

通过对附件 1 中数据的处理,可以得到如图 6.1 所示的各供货商的最大供货量,供货商的最大供货量越大,就意味着其最大供货能力越大。

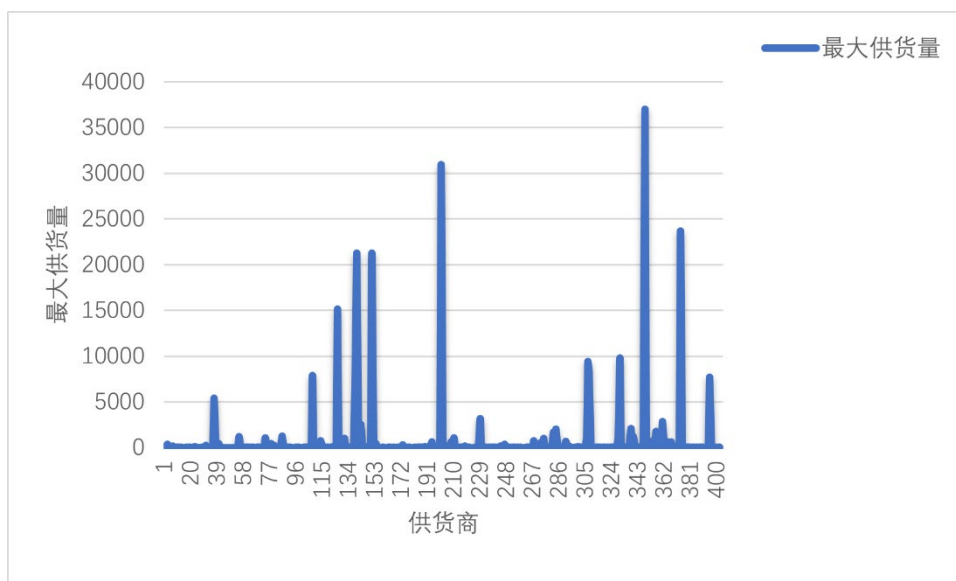


图 6.1 各供货商的最大供货量

(2) 按需平均供货量:

考虑到有些周次企业未发布订单，故不将这些周次的数据代入计算，最终计算得到按需平均供货量 as ：

$$as(i) = \frac{1}{n'} \sum_{j=1}^n s_{ij} \quad (1.4)$$

式中： n' 为供货商接收到企业订单的周次， $s_{i,j} (i=1, 2, \dots, 402; j=1, 2, \dots, 240)$ 为第*i*家供货商在第*j*周的供货量。

利用公式(1.4)对附件 1 中的数据进行处理可以得到如图 6.2 所示的各供货商的平均供货量，由此可反映出各供货商的总体供货能力，平均供货量越大，供应商的总体供货能力就越强，也就更能满足企业的订货需求。

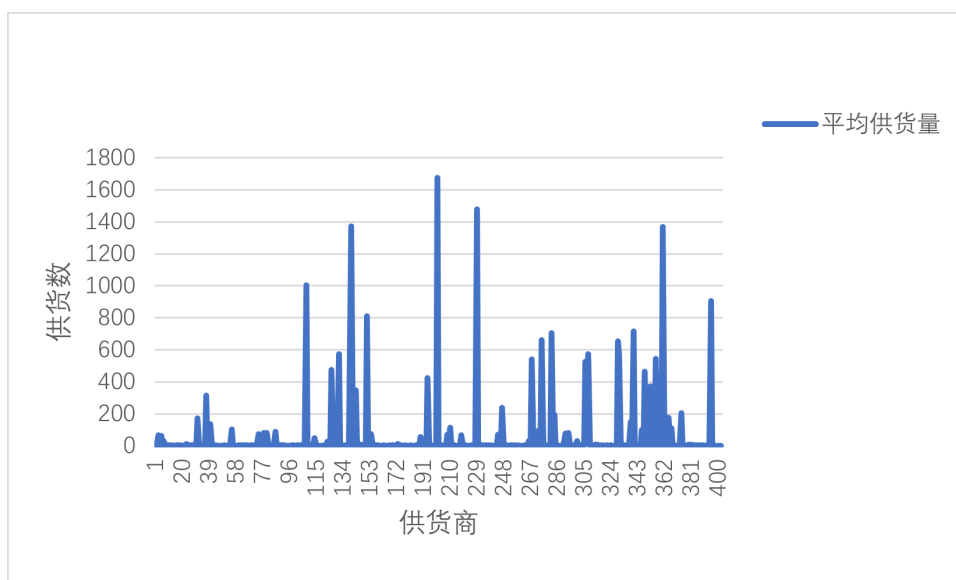


图 6.2 各供货商的平均供应量

(3) 订货完成率 η :

$$\eta = \frac{n(G \geq D) - n(G = D = 0)}{240 - n(G = D = 0)} \quad (1.5)$$

式中： $n(\cdot)$ 表示某种情况下的计数， G 表示供货商的供货量， D 表示企业给供货商的订单量。

订单完成率表示的是供货商的供货量能够满足企业的订货量的情况占有所有订单的情况的比例。订单完成率体现了供货商的供给能力和信誉问题，订单完成率越大，表示供货商越可靠，企业因为供货问题导致原料不足的可能性就越小，也就更能保障企业的生产。通过公式(1.5)对附件 1 中的数据进行分析，得到如图 6.3 所示的各供货商的订单完成率，不同供货商的订单完成率差距较大，因此基于订货完成率选择供货商将直接影响企业的生产能力和竞争能力。

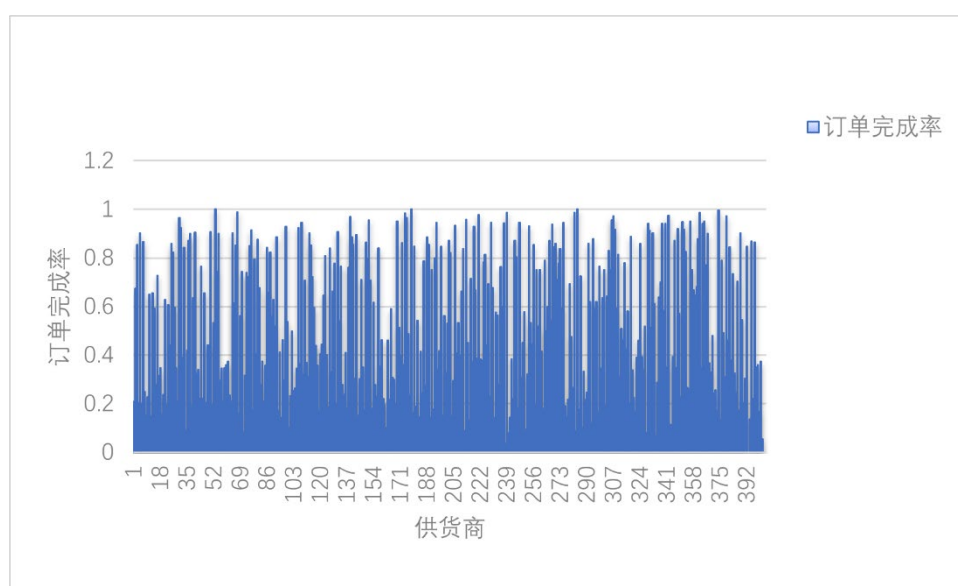


图 6.3 各供货商的订单完成率

5.1.4 计算关联度

关联度是衡量多个因素之间相关性大小的量度，为了在保障企业生产需求的前提下确定重要性较高的供应商，本文采用了灰色关联度分析法计算各样本序列与参考序列的关联度。该方法是一种多因素统计分析法，其通过线性差值方法将系统影响因素的离散观测值转化成为分段联系的折线图，进而根据折线图的几何特征构造出能够测量各影响因素之间关联程度的几何模型^[3]。其在很大程度上能够减少信息不对称带来

的损失，并且对数据要求较低，以减少计算复杂度。关联度计算步骤如下：

(1) 为了从 402 家供货商中选出 50 家最佳供货商，确定最大供货量、平均供货量、订单完成率、原材料的种类作为评价指标体系，使用附件 1 中的数据进行计算。

可设 n 个数据序列形成如下矩阵 $(X'_1, X'_2, \dots, X'_n)$ ：

$$(X'_1, X'_2, \dots, X'_n) = \begin{pmatrix} x'_1(1) & x'_2(1) & \cdots & x'_n(1) \\ x'_1(2) & x'_2(2) & \cdots & x'_n(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_1(M) & x'_2(M) & \cdots & x'_n(M) \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

其中 $x'_i(i=1, \dots, M)$ 表示评价指标， M 为指标个数 (即 $M=4$)；

$X'_i = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(M))^T$ ($i=1, 2, \dots, n$) 表示第 i 个数据序列；

(2) 确立参考数据列，参考序列是一个理想的比较标准。这里是以各指标的最优解构成参考数据列 X'_0 ：

$$X'_0 = (x'_0(1), x'_0(2), \dots, x'_0(m)) \quad (1.7)$$

式中 M 为指标数，即 $M=4$ 。

(3) 对指标数据进行无量纲化形成如下矩阵：

$$(X_0, X_1, \dots, X_n) = \begin{pmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \cdots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(m) & x_2(m) & \cdots & x_n(m) \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

其中 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(M))^T$ ($i=1, 2, \dots, n$) 表示无量纲化后的数据序列。

(4) 逐个计算每个比较序列与参考序列对应元素的绝对差值，即

$$|x_0(k) - x_i(k)| \quad (k=1, \dots, M; i=1, \dots, n; n \text{ 为被评价对象的个数}) \quad (1.9)$$

(5) 通过(4)的计算结果，可确定

$$\min_{i=1}^n \min_{k=1}^M |x_0(k) - x_i(k)|, \quad \max_{i=1}^n \max_{k=1}^M |x_0(k) - x_i(k)| \quad (1.10)$$

式中 $\min(\cdot)$ 表示取最小值； $\max(\cdot)$ 表示取最大值。

(6) 由下式分别计算比较序列(数据数列)与参考数列对应元素的关联系数：

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1.11)$$

式中 $k=1, \dots, m$ ； ρ 为分辨系数，在 $(0, 1)$ 内取值，通常 ρ 取 0.5。 ρ 越小关联系数间差异越大，区分能力越强。

(7) 计算关联序

对各评价对象(比较序列)分别计算其各项指标与参考序列对应元素的关联系数的均值,以反应各评价对象与参考序列的关联关系,并称其为关联序 r_{oi} :

$$r_{oi} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \zeta_i(k) \quad (i=1, \dots, n) \quad (1.12)$$

(8) 因各项指标在综合评价中所起的作用不同,对关联系数求加权平均数 r'_{oi} :

$$r'_{oi} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M W_k \cdot \zeta_i(k) \quad (k=1, \dots, M) \quad (1.13)$$

式中 W_k 为各指标权重。

5.1.5 结果展示

依据各评价对象的关联序(关联系数的均值)及关联系数的加权平均数,可得出综合评价结果,继而在保证企业生产的基础上选出 50 家最重要的供货商。如表 5 所示(从上至下,从左至右,重要性依次递减):

表 5 最重要的 50 家供货商

第一列	第二列	第三列	第四列	第五列
S201	S282	S306	S338	S086
S140	S330	S374	S210	S074
S229	S275	S194	S040	S346
S361	S308	S352	S364	S078
S108	S329	S037	S208	S080
S151	S126	S143	S367	S294
S395	S131	S247	S292	S003
S348	S356	S284	S055	S244
S139	S307	S365	S154	S218
S340	S268	S031	S273	S189

5.2 问题二模型建立及求解

订购策略是供应链^[4]中企业对供应商进行管理的一种有效方式,直接关系着企业的成本,影响整个供应链的整体性、协调性和连续性。因此,如何在资源有限的情况下有效地管理订单分配、订购方案和转运方案是现代供应链中企业必须解决的关键问题。本节提出了最优解类的模型。通过从这些供货商中筛选出平均供货量最大的供货商组合,从而达到选择供货商数量最少的目的。

5.2.1 供应商的最小选择

(1)合理假设

针对问题一，需要找到最少的供货商数量,即挑选的每家供货商需尽可能向生产公司供货。而其中本题的过程侧重于供货阶段,而非转运阶段,所以假定转运过程中材料无损耗。

(2)约束条件

由于该企业每周的产能为 2.82 万立方米，所以我们选择的所有供应商的供应量必须大于 2.82 万立方米。问题一已经筛选的 50 家重要供货商都具有稳定性、经济性，从这些供货商中筛选出平均供货量最大的供货商组合，从而达到最少选择的目的。

(3)结果展示

首先明确问题，目标函数是在满足生产需求的前提下选择最少的供应商。基于问题一的模型求解，在计算得出的 50 家重要企业中进行对目标的筛选。设 N 为供货商的数目，函数 $Avar(i)$ 表示为 i 的平均值，则供货商的平均值如下：

$$Avar(N) (N = 1, 2, \dots, 50) \quad (2.1)$$

将得到的供货商平均值按从大到小的顺序进行排列，设 i 为材料类型，则函数 $V(i)$ 表示企业生产每立方米产品需 i 类原材料的消耗量，设 $f(i) = \frac{Avar(i)}{V(i)}$ ，表示为企业能利用 i 类材料每立方米的产能。 sum 表示为 N 家供应商能给企业生产提供的总产能，利用如下公式计算：

$$sum = \sum_{i=1}^n f(i) \quad (2.2)$$

当 sum 大于或等于 2.82 万立方米时，满足目标要求，即所选的供货商为最少选择。

5.2.2 订购方案

(1)合理假设

针对附件一中的数据，我们有理由假设供货商的供货量具有复现性，即过去的周期中供货商的所有供货量可在未来周期中再次供应。

(2)目标函数

本问的要求是每周最经济的原材料订购方案，即目标为订购产品成本的最小值。这里成本的组成为 A,B,C 三种原材料的费用。根据题干中的假设,企业对供应商实际提

供的原材料为全部收购,所以成本的运算由供应商提供的供货量决定,而非企业的订货量。

(3)解决方案

由于企业需要提前制定 24 周的原材料订购计划，因此设定 24 周为一个周期，例如：1-25，2-26 周分别为一个周期。首先需要筛选出满足企业订单要求的周期，再从已筛选的周期中筛选最经济的周期即为目标周期。

设 a 为周期， $T(a)$ 为 a 周期所有供货商的原材料成本， $Z(a)$ 为 a 周期内所有供货商能为企业生产的全部产能，所以首先我们从中筛选 $Z(a)$ 满足企业产能的所有周期，并在筛选的周期中，将得到的该周期原材料订购成本 $T(a)$ 按从小到大的顺序进行排序即可。部分周次的订购方案如图 7 所示。

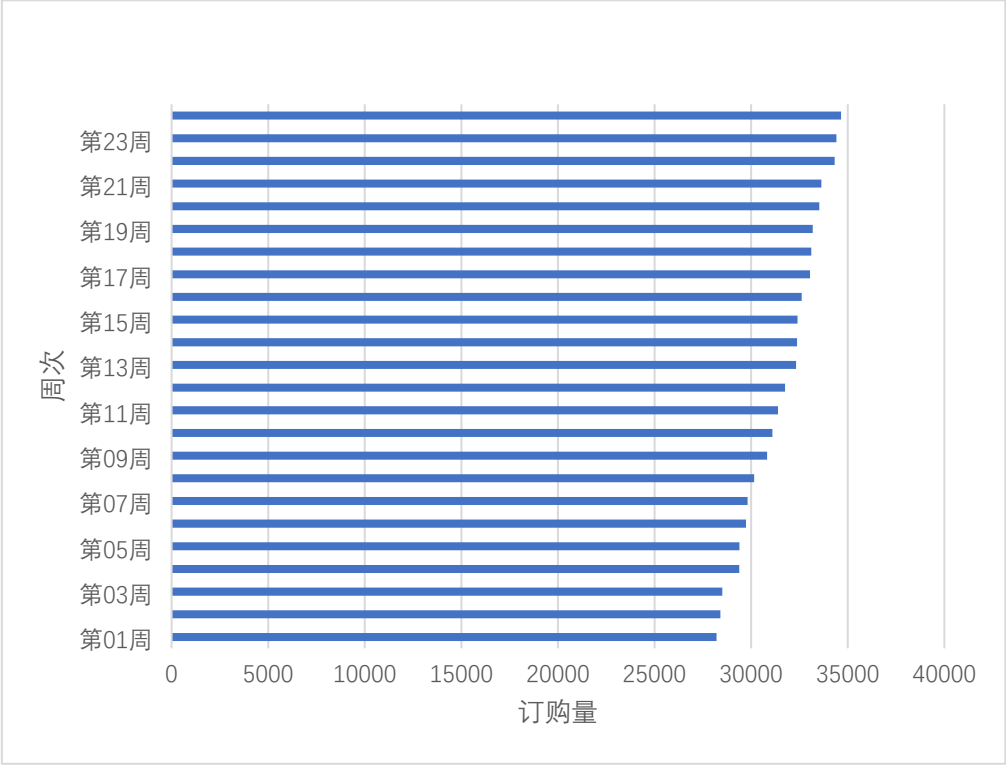


图 7 订购方案

5.2.3 转运方案

由于建筑和装饰板材企业所需原材料的特殊性，不同转运商的实际转运过程的损耗也有所区别。为了更好的了解每家转运商的运输状况以选择最优转运方案^[2]，首先根据附件 2 中所给数据，对过去 5 年每家转运商的损耗率 $k_{i,j}$ 计算其平均损耗率 $\bar{k}_i (i=1,2,...,8)$ ，其中 i 为对应的转运商 ID， j 表示周数，计算公式如下：

$$\bar{k}_i = \frac{\sum_{j=1}^{240} k_{i,j}}{\sum_{j=1}^{240} \text{sgn}(k_{i,j})} \quad (i=1, \dots, 8) \quad (2.3)$$

平均损耗率越高说明该转运商运输状况越不理想，对原材料损耗越大，从而对企业的原材料的接收量影响越大。经公式 2.3 计算各家转运商损耗率，可视化结果如图 8.1 所示，其中 T5 的平均损耗率最高，而 T3 的平均损耗率最低，基于损耗率而言 T3 商家更适合被制定到企业的转运方案中。

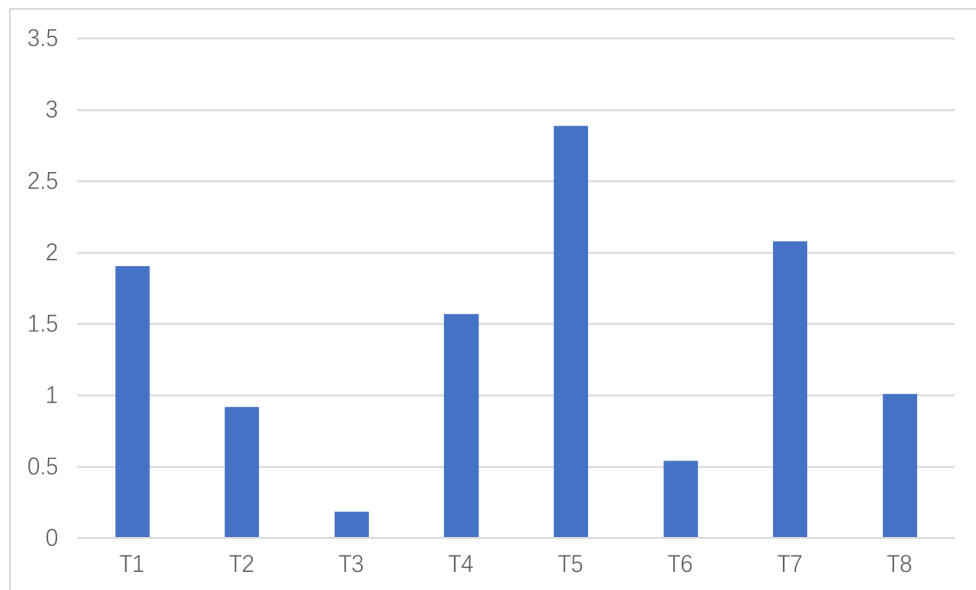


图 8.1 平均耗损率

其次，根据已制定的最经济的订购方案，分别计算出每周的总需运输量，计算结果如图 8.2 所示：

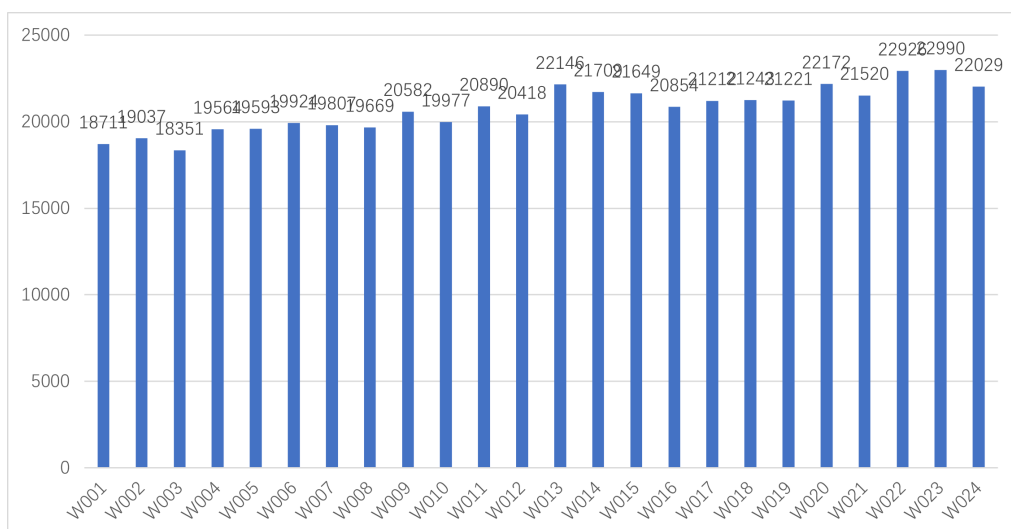


图 8.2 每周所需运输货物总量

从图中可以发现，每周货物总量都超过了 18000，根据题目所给条件，每个转运商每周只能转运 6000 立方米，因此每周至少需要 4 家转运商。而从图中数据来看，最大值也仅为 22926 立方米，低于 4 家转运商所能转运的 24000 立方米，故仅需选择 4 家转运商就能完成订购方案中全部货物转运。

为了方便地挑选转运商，将先前的平均损耗率进行了排序，结果如图 8.3 所示：

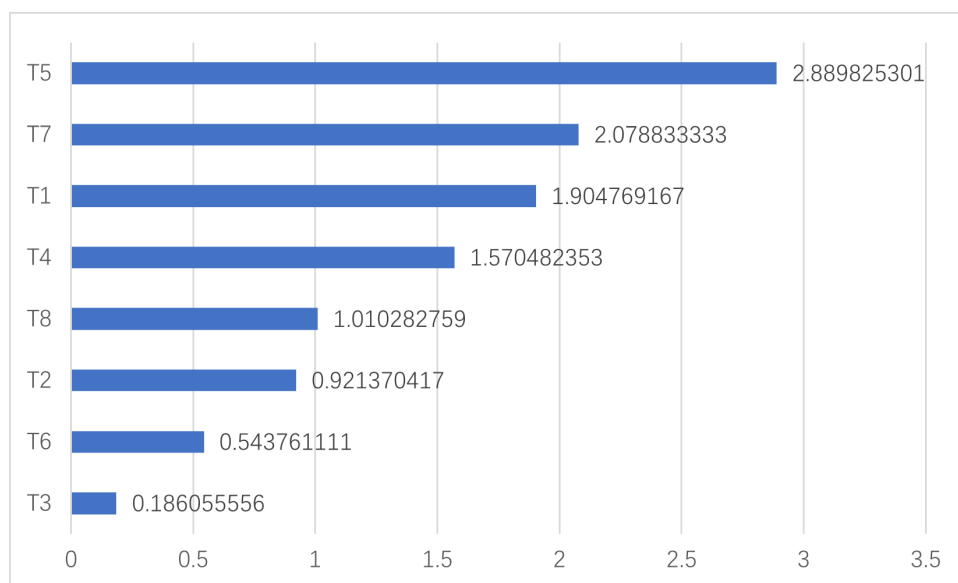


图 8.3 平均耗损率(排序后)

从图 8.3 中可以发现，T3、T6、T2、T8 的平均损耗率是最低的四家，因此我们首先选择此四家转运商作为我们的转运方案，同时根据尽量保持一家转运商转运一家供应商货物原则，我们优先将供应量大的分配至 T3 转运商，若有多的供应货物量，再往 T6 上放，以此类推。最终将分配数据放入附件 B 中进行保存。

5.3 问题三模型建立及求解

为解决生产企业成本过高的问题，从而达到提高企业利润的最终目的，通过对问题一中模型综合评分的前 10% 进行选取，将选取结果里的 C 类材料供应商进行筛选，将筛选结果进行评分按从大到小进行排序，累计相加，在所有周次的选择能满足企业正常生产的周次，计算成本最小的 24 家供货商作为订购方案。

5.3.1 决策变量

本问要求是在上一问所求得供应商中进行原材料的订购,按照供应商品的种类对

供应商进行分类。假设对于 A 原料,每家店第一周的供货量所组成的矩阵为 G_A ,同理定义 G_B, G_C :

$$G_a = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad G_b = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad G_c = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_t \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

式中: n 为 a 材料供应商数目, 同理, m 为 b 材料供应商数目, t 为 c 材料供应商数目。

5.3.2 目标函数

针对问题三, 要求是每周最紧急的原材料订购方案,即成本的最小值。成本组成即 A,B,C 原料的费用。根据题干中的假设,企业对供应商实际提供的原材料总是全部收购,所以成本的运算应该根据供应商提供的供货量来决定,而不是企业的订货量。再根据原材料 A,B,C 的单价,目标函数 z_2 的表达式为:

$$\min z = 1.2 \times \sum_{i=1}^n (G_a)_i + 1.1 \times \sum_{i=1}^m (G_b)_i + 1 \times \sum_{i=1}^t (G_c)_i \quad (3.2)$$

式中: i 为供应商。

5.3.3 约束条件

问题表明在制定订购方案时, 需尽可能多的使用 A 材料且减少 C 材料的采购, 从而达到降低生产成本的目的。本文选择对综合评分的前 10%进行筛选计算, 并在筛选数据上将 C 类材料供货商剔除。同时企业希望尽可能减少转运和仓储 C 成本并减少转运商的损耗率, 本文选择以减少供货商数量的形式来降低转运成本。综上, 具体的数学表达式为:

$$\left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (G_a)_i}{0.6} + \frac{\sum_{i=1}^m (G_b)_i}{0.66} + \frac{\sum_{i=1}^t (G_c)_i}{0.72} \right\} \geq 2.82 \times 10^4 \quad (3.3)$$

5.3.4 结果展示

依据对数据的筛选以及排序和相关公式计算, 可得出最优订购和转运方案如图 9.1 所示。

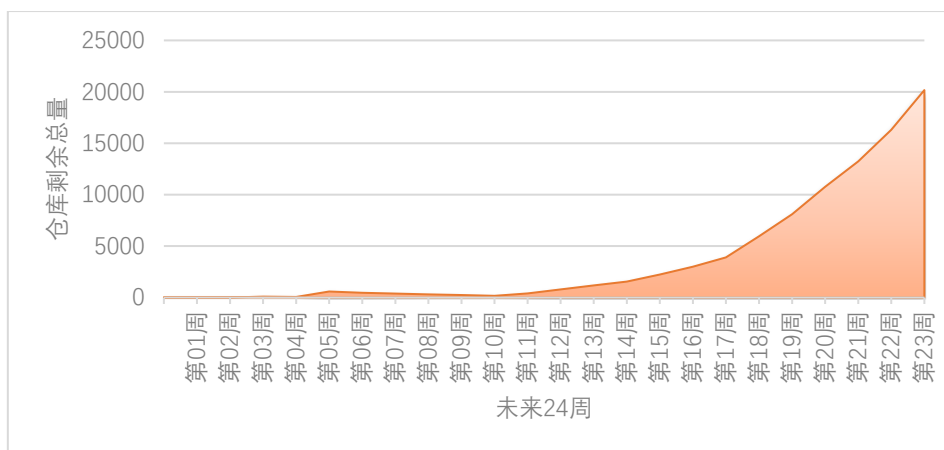


图 9.1 仓库余量

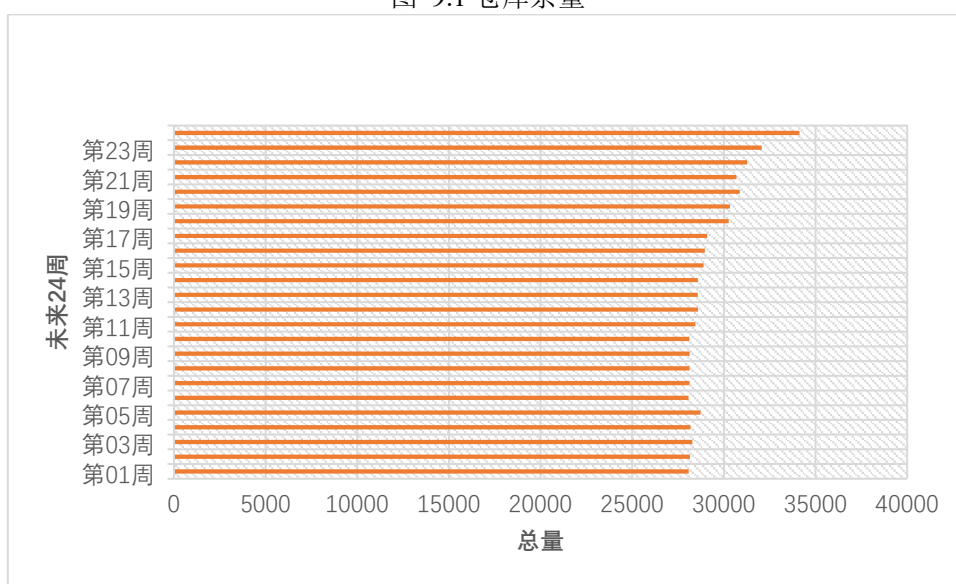


图 9.2 订购方案

5.4 问题四模型建立与求解

订购和转运方案是供应链中企业对供应商、转运商进行管理的一种有效方式，直接关系着企业的成本，对企业的产能有直接的影响。经济、合理的订购、转运方案能有效提高企业的产能。因此，如何在资源有限的情况下有效地管理订单分配、订购方案和转运方案是企业生产发展中必须解决的关键问题。本问通过对问题 2 中转运商的平均耗损率以及问题 1 中供货商的平均供货量、订单完成率的数据进行分析，依此制定使企业产能提高最大化的订购、转运方案。

5.4.1 订购方案

(1) 合理假设

本问要求使产能尽可能高的订购和转运方案，由此可假设供货商与转运商的合作

矩阵为 402 行 8 列的矩阵 S :

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

其中 $m=402, n=8$; $s_{i,j} (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ 表示第 i 家供货商和第 j 家转运商的合作关系。

(2) 约束条件

由于每家转运商的运输能力为 6000 立方米/周，而共有 8 家转运商，所以企业每周的订货量不能超过 8×6000 立方米；又因为该企业每周的产能为 2.82 万立方米，所以我们选择的所有供应商每周的供应总量必须大于 2.82 万立方米。

(3) 解决方案

结合问题 1、2、3 的分析过程可知，供货商每周的最大供货量的总和正常情况下是处于运输所能承载的范围之内的，同时不计运输次数所带来的成本，因此企业一般会接受每周全部的供货量。所以为了提高产能，就要考虑成本问题，尽量将成本降至最低。在问题 1 的解题过程中，我们已经得到了最佳的 50 家供货商(见表 5)的资料。只需在满足企业生产要求的基础下，按排名先后依次选取靠前的商家进行供货即可。

5.4.2 转运方案

为了节约企业生产成本，实现最大化提高产能，需要使转运过程中的损耗尽可能的少。根据问题 2 的解题过程中的图 8.3 可以知道各转运商的平均损耗率排序从低到高分别为 T3、T6、T2、T8、T4、T1、T7、T5，同时根据尽量保持一家转运商转运一家供应商货物原则，优先将供应量大的分配至 T3 转运商，若同一供货商有剩余供货量，再交给 T6 转运商运输，以此类推。最终将分配数据放入附件 B 中进行保存。最终的产能提高为 40.27%。部分方案如图 10.1、10.2 所示

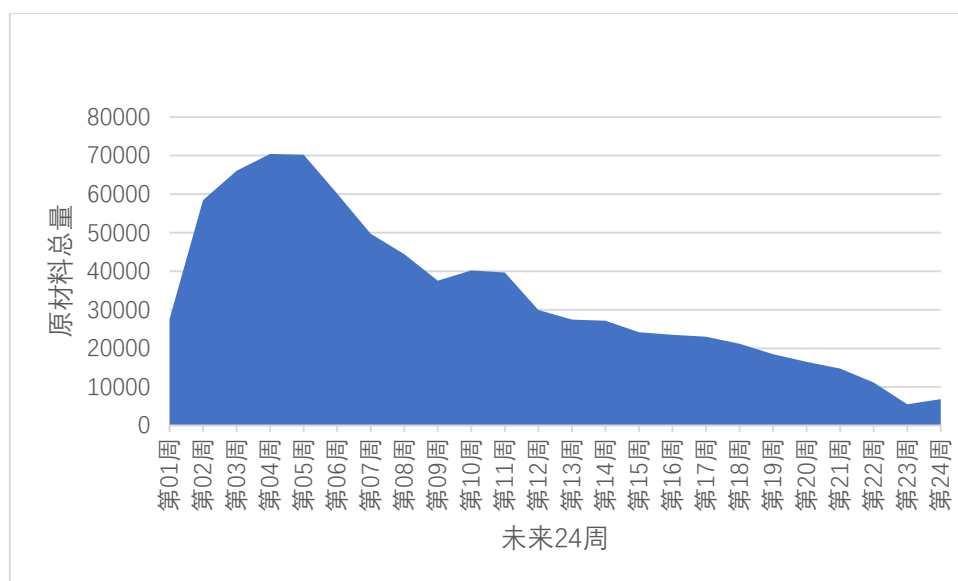


图 10.1 仓库余量



图 10.2 部分订购方案

6 模型评价

6.1 模型优劣

模型优点：

◎采用的灰色关联分析法思路明晰，可以在很大程度上减少由于信息不对称带来的损失，并且对数据要求较低，工作量较少。

◎采用规划类模型对订购方案进行分析，过程计算简单方便，易于求解

◎本文在建立模型时采用仿真过程,将理论值多次带入模型进行仿真测试,得出的数据更具有真实性。

模型缺点:

◎需要对各项指标的最优值进行现行确定,主观性过强,同时部分指标最优值难以确定。

◎一般的数学规划模型收敛速度较慢,且得到的结果很有可能是局部最优解,而非全局最优解。

6.2 模型推广

本文对判断企业供货商的供货能力建立了规划模型,并在此基础上分析了损耗率最少的转运方案,可根据市场需求来确定每周原材料的订购量和转运方式,文中用到的数学模型及规划方案也可应用到其他领域。例如:问题一中建立的反映保障企业生产重要性的数学模型可用于售卖、路径规划方面的规划;在解决问题二时建立的最优解类模型可用于求解最短路径等问题等。

7 参考文献

- [1] 孙芳芳,浅议灰色关联度分析方法即其应用[J].科技信息,2010(17):880-882
- [2] 陈旭忠,大型煤炭企业生产决策模型及支持系统研究[D].中国矿业大学,2015.
- [3] 刘思峰,蔡华,杨英杰,曹颖.灰色关联分析模型研究进展[J].系统工程理论与实践,2013,33(08):2041-2046.
- [4] 刘海云.S公司供应物流管理改进研究[D].山东大学,2019.
- [5] 魏敏,李书昊.新时代中国经济高质量发展水平的测度研究[J].数量经济技术经济研究,2018,35(11):3-20.
- [6] 张科学,杨海江,何满潮,孙健东,李东,程志恒,赵启峰,尹尚先,亢磊,王晓玲,朱俊傲.基于灰色关联分析的工作面智能化程度综合评价[J/OL].现代隧道技术:1-12[2021-09-12]
- [7] 黄卫来,张子刚,刘运哲.产量柔性下的最优生产批量和原材料订购决策模型[J].系统工程,1998(01):44-50.

附 录

1.1.1. ipynb

```
1. # 提取四个特征
2.
3. dh1 = pd.read_excel("./1.1.xlsx",sheet_name = 0) # 订货量数据
4. gh1 = pd.read_excel("./1.1.xlsx",sheet_name = 1) # 供货量数据
5.
6. def pd_(a):
7.     if a == "A":
8.         return 0.6
9.     elif a == 'B':
10.        return 0.66
11.    else:
12.        return 0.72
13.
14. m = []
15. for index,row in gh1.iterrows():
16.    all = 0
17.    cnt = 0
18.    for gh,dh in zip(row[2:],dh1.iloc[index][2:]):
19.        if dh == 0:
20.            continue
21.        cnt+=1
22.        all += gh
23.    #print(all)
24.    m.append(all/cnt)
25.    #print(all/cnt)
26. df = pd.DataFrame(m)
27. df['供应商 ID'] = dh1['供应商 ID']
28. df.to_csv("./mean.csv",encoding = "utf_8_sig")
29.
30. def count_rate(dh, gh):
31.    all = 0
32.    ok = 0
33.    no = 0
34.    for target, fact in zip(dh, gh):
35.        if target == 0:
36.            continue
37.        if fact >= target:
38.            ok += 1
39.        else:
40.            no += 1
```



```

41.         all += 1
42.
43.     rate = ok/all
44.     return rate
45.
46. gysid = gh1['供应商 ID']
47. clfl = gh1["材料分类"]
48. max_gh1 = []
49. mean_gh1 = []
50. rates=[]
51. cols=[x for i,x in enumerate(dh1.drop(['供应商 ID', '材料分类'],axis=1).columns) if dh1.iat[0,i]!=0]
52. #print(cols)
53. for index, row in gh1.iterrows():
54.     max_gh1.append(row[2:].max())
55.     mean_gh1.append(row[cols].mean())
56.     rates.append(count_rate(dh1.iloc[index][2:],row[2:]))
57.
58. df = pd.DataFrame({"供应商 ID":gysid,"材料分类":clfl,"最大供货量":max_gh1,"平均供货量":mean_gh1,"订单完成率":rates})
59.
60. df.to_excel("./特征.xlsx",encoding="utf_8_sig")

```

1.1.2. ipynb

```

1. # 灰色相关分析法
2.
3. def G_R_E(df):
4.
5.     n = list(df.columns)
6.     A1 = []
7.     for i in n:
8.         Max = np.max(df[i])
9.         A1.append(Max)
10.
11.     A1 = np.array(A1)
12.     for i in n:
13.         df[i] = df[i]/np.average(df[i])
14.     m = len(df)
15.     for i in range(m):
16.         df[i:i+1] = abs(df[i:i+1] - A1)
17.     # 最大值
18.     MAX = []
19.     # 每个指标的最大值
20.     for i in n:

```

```

21.         l = max(df[i])
22.         MAX.append(l)
23.     MAX = max(MAX)
24.     MIN = []
25.     for i in n:
26.         l = min(df[i])
27.         MIN.append(l)
28.     MIN = min(MIN)
29.     # 关联系数为 0.5
30.     for i in n:
31.         df[i] = (MIN + 0.5*MAX)/(df[i] + 0.5*MAX)
32.     score = []
33.     for i in range(m):
34.         s = sum(df[i:i+1].values[0])/len(n)
35.         score.append(s)
36.     return score

```

2.1.1.ipynb

```

1. # 求最少需要的供应商数量
2.
3. df = pd.read_excel("./问题一结果排名.xlsx",sheet_name="gh1")
4.
5. def pdlb(a):
6.     if a == "A":
7.         return 0.6
8.     elif a == 'B':
9.         return 0.66
10.    else:
11.        return 0.72
12.
13. all = 0
14. i = 1
15. for index,row in df.iterrows():
16.     rate = pdlb(row['材料分类'])
17.     i+=1
18.     all += row['平均供货量']/rate
19.     print(all)
20.     if all >= 28200:
21.         print( df['供应商 id'][index])
22.         break
23.
24.     all = 0
25.     i = 1
26. for index,row in df.iterrows():
27.     rate = pdlb(row['材料分类'])

```

```

28.     i+=1
29.     all += row['平均供货量']/rate
30.     #print(all)
31.     if i>27:
32.         print(all)
33.         break

```

2.2.1. ipynb

```

1. # 求第二题原材料订购方案
2. def pdlb(a):
3.     if a == "A":
4.         return 0.6
5.     elif a == 'B':
6.         return 0.66
7.     else:
8.         return 0.72
9.
10. gh = pd.read_excel("./问题一结果排
    名.xlsx", index_col=0, sheet_name="Sheet3").drop(['综合得分', '最大供货量', '平均供货量', '
    订单完成率'], axis=1)
11.
12. lis = []
13.
14. for i in gh['材料分类']:
15.     lis.append(pdlb(i))
16. #print(lis)
17. lis2=[]
18. for i in gh['材料分类']:
19.     if pdlb(i) == 0.6:
20.         lis2.append(1.2)
21.     elif pdlb(i) == 0.66:
22.         lis2.append(1.1)
23.     else:
24.         lis2.append(1)
25.
26. gh = gh.drop(['材料分类'], axis=1)
27. #print(gh)
28.
29. ln = []
30. for l, row in gh.iteritems():
31.     a = row[0:50].to_numpy()/lis
32.     all = a.sum()
33.     #print(all)
34.     if all>28200:

```

```

35.         ln.append((l,all))
36. print(len(ln))
37.
38. r = []
39. for n,l in ln:
40.     s = (lis2*gh[n].to_numpy()).sum()
41.     r.append((n,s))
42. pd.DataFrame(r).to_excel("./2.2.1.xlsx")
43. print(r)

```

2.3.1.py

```

1. # 计算并填入转运商方案
2.
3. data = []
4. trans_id = [2, 5, 1, 7, 3, 0, 6, 4]
5. for index in range(1):
6.     final = []
7.     sheet = wb.sheet_by_index(2)
8.     rows = 395
9.     columns = 24
10.
11.     for i in range(columns):
12.         # 24 个星期 每个星期画一张 402 * 8
13.         res = np.zeros((402, 8))
14.         weight = np.zeros(8)
15.         for k in range(8):
16.             weight[k] = 6000
17.             idx = 0 # 表示装箱到第 idx 个车厢
18.             data = [] # 读取数据
19.             for j in range(rows):
20.                 x = sheet.cell(j, i).value
21.                 ttttt = 0 if x == '' else x
22.                 data.append(ttttt)
23.
24.             data = np.array(data)
25.             sorted_data = np.sort(data)[::-1]
26.             sorted_id = np.argsort(data)[::-1]
27.             ttt = sorted_data.shape[0]
28.             for j in range(ttt):
29.                 tmp = sorted_data[j]
30.                 if sorted_data[j] == 0:
31.                     break
32.                 while(tmp > 0):
33.                     if tmp >= weight[idx]:

```

```

34.             res[sorted_id[j]][trans_id[idx]] = weight[idx]
35.             tmp -= weight[idx]
36.             weight[idx] = 0
37.             idx += 1
38.         else:
39.             try:
40.                 res[sorted_id[j]][trans_id[idx]] = tmp
41.             except:
42.                 print(i)
43.                 print(j)
44.                 print(idx)
45.                 weight[idx] -= tmp
46.                 tmp = 0
47.         if len(final) == 0:
48.             final = res
49.         else:
50.             final = np.concatenate((final, res), axis=1)
51.
52.     data = pd.DataFrame(final)
53.     writer = pd.ExcelWriter('sheet3.xlsx') # 写入 Excel 文件
54.     data.to_excel(writer, 'page_1', float_format='%.5f') # 'page_1'是写入 excel
55.     writer.save()
56.     writer.close()

```

3.1.1. ipynb

```

1. # 问题三订购计划
2.
3. df = pd.read_excel("./问题一结果排名.xlsx",sheet_name="Sheet8",index_col=0)
4.
5. def pdlb(a):
6.     if a == "A":
7.         return 0.6
8.     elif a == 'B':
9.         return 0.66
10.    else:
11.        return 0.72
12.
13. lis = []
14.
15. for i in df['材料分类']:
16.     lis.append(pdlb(i))
17.
18. lis2=[]

```

```

19. for i in df['材料分类']:
20.     if pdlb(i) == 0.6:
21.         lis2.append(1.2)
22.     elif pdlb(i) == 0.66:
23.         lis2.append(1.1)
24.     else:
25.         lis2.append(1)
26.
27. df2 = df.drop(['材料分类'],axis=1)
28.
29. ln = []
30. for l,row in df2.iteritems():
31.     a = row[0:100].to_numpy()/lis
32.     all = a.sum()
33.     #print(all)
34.     if all>28200:
35.         ln.append((l,all))
36. print(len(ln))
37.
38. #print(sorted(ln,key=lambda x:x[1],reverse=False))
39. k = sorted(ln,key=lambda x:x[1],reverse=False)
40. kd = pd.DataFrame(k)
41. #print(kd)
42.
43. jz = []
44.
45.
46.
47. for i in kd[0]:
48.     j = np.array(df[i])
49.     jz.append((j*lis2).sum())
50. print(jz)
51. kd['2']=jz
52. print(kd)
53. kd.to_csv("./3.1.1.csv")
54.
55. b1=[]
56. for l,row in df2.iteritems():
57.     a=0
58.     b=0
59.     c=0
60.     for i in range(100):
61.         if row[i]==0:
62.             continue

```

```

63.         else:
64.             if df['材料分类'][i] == 'A':
65.                 a+=1
66.             elif df['材料分类'][i] == 'B':
67.                 b+=1
68.             else:
69.                 c+=1
70.         bl.append({'A':a, 'B':b, "C":c})
71.
72. pd.DataFrame(bl).to_excel("./k.xlsx")

```

4.1.1. ipynb

```

1. # 第四问求解
2.
3. rank = pd.read_excel("./rank.xlsx", index_col=0)
4. #print(rank)
5. rank_2 = rank.drop(['综合得分', '材料分类', '最大供货量', '平均供货量', '订单完成率'], axis=1)
6. #print(rank_2)
7.
8. #ndh = pd.DataFrame()
9.
10. r = [] # 结果
11.
12.
13. for index, row in rank_2.iteritems():
14.     vs = 0 # 产量
15.     sl = 0 # 实际数量
16.     zz_sl = 0 # 最终数量
17.     gmcb = 0 # 购买成本
18.     zzcb = 0 # 最终成本
19.     dgqk = [] # 订购情况
20.     for id, v in enumerate(row):
21.         sl+=v
22.         if sl>=48000:
23.             sl = sl-v
24.             break
25.         if rank['材料分类'][id] == 'A':
26.             vs+=v/0.6
27.             gmcb+=v*1.2
28.         elif rank['材料分类'][id] == 'B':
29.             vs+=v/0.66
30.             gmcb+=v*1.1
31.     else:

```

```
32.         vs+=v/0.72
33.         gmcB+=v*1
34.         #dgqk.append(v)
35.         r.append({"实际数量":s1,"产量":vs,"购买成本":gmcB,"最终成本":gmcB+zz_s1,"订购
情况":id})
36.     pd.DataFrame(r).to_excel("./rankn.xlsx")
37.     print(r)
```