针对生产企业下游供应链订购与运输决策研究

摘要

在生产企业中，保证供应链的平稳运行极其重要。但事实上，供应链整体结构复杂，极其容易产生较大波动，供应商不能保证严格按订货量供货，故采购成为了企业的一项关键能力。而若想根据历史数据制定采购方案，这就需要一个合理，准确的供应商保障企业生产的量化模型，并根据此建立最优采购和转运决策模型。研究生产企业供应链最优采购和转运决策，有利于稳定相关市场的稳定；另一方面有利于促进生产企业以及其上下游企业健康发展。

针对问题一，主要解决量化各供应商保障企业生产能力的量化模型。文章首先通过对数据分析和预处理，从中提炼了订货量总量、供货量总量、有效交易次数、订货量变异系数、供货量变异系数、供需差量变异系数、各类材料供应商综述、供货量在各类中占比、优质交易订单占比、严重违约订单占比、完全失信订单占比等 11 个指标，分别从供货商实力、供求关系稳定性、行业内竞争压力、企业信誉度四个方向对各供应商保障企业生产能力进行综合评估，最后使用熵权法和 TOPSIS 方法量化各供应商保障企业生产能力。根据评估结果，选择出 S140 等保障能力最强的 50 家企业。

针对问题二，问题二共含有四个问题，在问题一的基础上，在五十家优秀供应商的范围内，以最少企业为目标函数，建立 0-1 规划模型，得到 19 家企业。随后，需要对各个企业制定相应的订单购买量进行决策。公司的订单量决策与供应商的保障企业企业生产能力密切相关，在考虑购买金额，运输金额，存储企业最低的情况下，依照长鞭理论，给出针对每一家供应商的具体订单数量。第三个问题，对运输问题同样建立线性规划模型，以最少损失数量作为目标函数，得到针对各个转运商的转运策略，使每一问达到最优。最后，对上述提出的订单购买策略和转运策略进行可行性分析。

针对问题三，在问题一、二的基础上，为尽量多地采购 A 类和尽量少地采购 C 类原材料，在 TOPSIS 模型中引入能体现购买意向的指标，建立新的量化模型，得出新的企业排名。并参照问题二，建立 0-1 规划模型，在前五十家中选择出 18 家企业。为同时考虑减少购买成本和减少转运损失率，此时建立多目标决策模型，以最少购买成本和最少转运损失率为目标函数，同时针对 C 类原料供应引入惩罚系数，对 A 类原料供应引入激励系数，最终得出新的订单购买策略和转运策略。最后，对提出的订单购买策略和转运策略进行可行性分析。

针对问题四，本问企业具备了提高产能的潜力，文章综合考虑最大转运量和最大供应量，建立起单目标优化模型，求解出此时针对各个企业的订购量，随后在保证最小转运损失量的情况下，确定最优的转运策略。由于企业的最大供应量存在波动，故企业能提高的产能在 27445.83 立方米--61309.21 立方米之间，平均产能提升在 71.02%以上。

关键词： 量化分析　供应链决策　线性规划　多目标优化　长鞭理论

一、问题分析

本文主要研究的问题是在已知生产原料的特性、供应商的供货特征以及转运商转运能力的情况下，评估不同供应商保障企业生产的重要性，并分别在满足基本约束要求的情况下，选择最优的采购方案与转运方案。解题的思路主要为通过建立评估体系，用得分来衡量供应商保障企业生产的能力。在此基础上，利用题目中的约束条件以及所求目标建立规划模型为未来 24 周制定最优订购方案与转运方案，在压缩成本或者扩大产能时，再利用新的条件建立不同约束与目的的规划模型，得到不同限制条件下的最优方案。

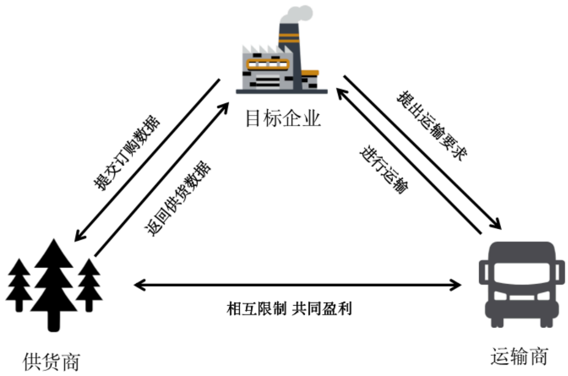


图 1 企业下游供应链采购运输示意图

1.1 问题一的分析

本问中拟解决的问题为根据附件 1 中供货商数据信息挖掘供货特征，借此建立供货商供货保障能力评价体系，选择供货商实力、供求关系稳定性、行业内竞争压力、供应商信誉度这四个一级指标，在此基础上设置了包括订货量总量、供货量总量、有效交易次数、订货量变异系数、供货量变异系数、供需差量变异系数、各类材料供应商综述、供货量在各类中占比、优质交易订单占比、严重违约订单占比、完全失信订单占比等 11 个二级指标，纳入评价体系。通过对特征指标进行熵权法分析，将各个指标的权重量化，利用 TOPSIS 方法建立综合考虑多个指标的评价体系得到供货商的排序，进而得到本问的解，且能够得到排名前 50 家供应商信息。

1.2 问题二的分析

本问包含四个小问，依据问题一的结果对供应商保障企业生产的能力进行了排序，并确定 50 家最重要的供货商。第一小问预选择最少的供应商来满足生产的需求，由于保障能力排名靠后的供应商会对生产造成较大影响，故选择范围确定在问题一中所确定的 50 家供应商；采用单目标线性规划模型，以 24 周内参与供应的供应商总数最少为目标函数，将保障两周的正常生产作为约束，确定能满足生产的最少供应商数量。第二小问在此基础上，以企业保证生产所需量为约束条件，以购买成本最低为目标函数，解得不同供应商在每周内向企业供货量的最优方案。第三小问在确定好订购最优方案后，以转运的限制条件为约束，以转运损耗原材料的价值最低为目标函数，求解得到最优的转运方案。最后综合分析本题中订购方案与转运方案的实现效果，观察模型的可靠性。

1.3 问题三的分析

本问在第二问的基础上，考虑到成本对原材料 A 类、C 类进行了有偏向的选择，由于一家供货商只提供一种原材料，故在对供货商评价体系中添加一个能体现购买意向的指标，重新使用熵权法对指标权重进行分配，利用新的权重和指标进行 TOPSIS 方法分析，得到更符合选择意向的供货商新排序。在规划模型中，为了更多的选择 A 类原料的供货商且更少的选择 C 类原料的供货商，在订购方案的规划时，在目标函数费用值的计算中给予一个惩罚系数用于提升或降低不同类材料购买意愿。由于本问中希望购买和转运能够同时达到最优的结果，故将单目标规划模型改为多目标线性规划模型进行求解。

1.4 问题四的分析

在本问中企业具备了提高产能的潜力，在不考虑成本的情况下，其产能的限制条件为原材料供应商的供应量与转运商可转运的的实际情况，此时转运商可转运的材料总量存在限制，同时也限制了供应商可供应的货量，在此限制条件下求得订购方案，再从此方案的基础上建立单目标归化模型求得最优的转运方案，并依据得到的方案求出每周的新的产能，与以前的产能比较得到结果。

二、模型假设

1、假设企业在制定订购方案前处于平稳运营状态，在预制定计划的第一周之前有两周的库存量。

2、为了使周内每天都能保证至少两周的库存量，则购进时在满足本周的消耗的同时，仍保持至少两周的库存量。

3、在未来二十四周内，企业正常经营，无意外变故。

4、供应商的供货信息可以完全反映供应商保障企业正常生产的能力且数据没有遗漏。

三、符号说明

符号	含义
f_i^*	排序指标值
I_i	评价体系中选择意向指标
M_{ij}	第i个供货商在第j周的所能提供的最大供货量
N_{ij}	第i个供货商在第j周的实际供货量
L_j	经过第j周后仓储剩余总量
η_j	第j周产品生产原料消耗量
D_i	供货商提供不同类材料的售价
TM_k	第k个转运商对 24 周内转运总量
TP_k	第k个转运商在 24 周内的转运损失价值
l_{jk}	第k家转运商在第j周的转运耗损率
E_{ijk}	第k个供货商第j周对第i个供货商提供的转运量
TT	24 周内 8 家转运商转运损耗总价值
G_i	不同类原材料的惩罚系数

四、模型建立与求解

4.1 问题一模型的建立与求解

4.1.1 问题一的分析

本问中拟解决的问题为在已给的供货商数据信息中挖掘供货特征，借此建立供货商供货保障能力评价体系，通过对指标进行熵权法分析，量化各个指标，利用 TOPSIS 方法建立综合考虑多个指标的评价体系，最终求得供货商的排序。

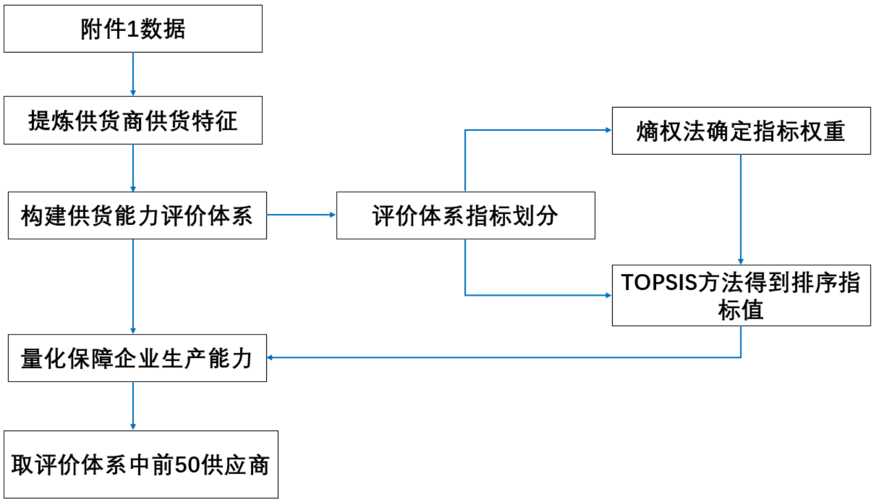


图 2　评价体系建立示意图

4.1.2 供货商特征变量选取与供货保障能力指标评价体系的构建

将可以评价供货商供货保障能力的具体指标给出定义，借助这些指标构建可以量化并衡量供货商供货特征的评价体系。根据对数据分析，选择了 4 个一级指标和 11 个二级指标，如下：

1）供货商实力

可反映供货商实力的指标包括：订货量总量、供货量总量、有效交易次数。

①订货量总量TO_{wi}

订货量总量指近五年来企业每周向单个供货商所发起的订单中订购的材料总和，该值越高，说明供货商可周转的材料总量大，可以作为衡量供货商实力的有效指标，表示为：

$$TO_{wi}=\sum_{w=1}^{240}O_{wi} \tag{1}$$

其中TO_{wi}代表第i个供应商近五年来的订货量总量，O_{wi}表示在第w周第i个供应商所收到的企业的订货量。

②供货量总量TS_{wi}

供货量总量与订货量总量定义相似，都可以反应供货商可周转的材料量，作为衡量其实力的指标，表示为：

$$TS_{wi}=\sum_{w=1}^{240}S_{wi} \tag{2}$$

其中TS_{wi}代表第i个供应商近五年来的供货量总量，S_{wi}表示在第w周第i个供应商所供给到企业的货量。

③有效交易次数N_i

有效交易次数指在近五年的交易中，每周订单中凡是供货商供货量大于 0，则将此次订单记为一次有效交易，其次数表示为：

$$N_i=\sum_{w=1}^{240} n_{wi} \tag{3}$$

其中N_i表示五年来有效交易次数，n_{wi}表示第w周第i家供应商是否供货，若供货量为正值记为 1，没有供货量记为 0。

2）供求关系稳定性

通过对供求订货量的离散波动情况进行分析，来表征单个供货商本身供货能力是否稳定、与企业合作关系是否稳定，若两者都稳定，体现了改供货商与企业的供求关系稳定，可纳入综合评价指标。

①订货量变异系数c_{oi}

利用变异系数可以反映一段时间内单个供货商订货量的波动情况，通过此指标反映企业向供货商需求关系的稳定性，变异系数越大，则说明企业向该供货商提交的订单要求量波动越大，与此供货商合作需求不稳定，此量表示为

$$c_{oi}=\frac{\sigma_{oi}}{\mu_{oi}} \tag{4}$$

其中c_{oi}表示第i个供货商的周订货量变异系数，σ_{oi}为第i个供货商周订货量标准差，其计算公式为$\sqrt{\sum_{w=1}^{240}\frac{(x_{owi}-\bar{x}_{ow})^2}{w-1}}$，$\mu_{oi}$为第$i$个供货商周订货量均值，计算公式为$\frac{1}{n}\sum_{w=1}^{240} x_{owi}$。

②供货量变异系数c_{si}

与订货量变异系数类似，将一段时间内供应商供货数量的波动进行分析，借以反映供货商供货的稳定性，变异系数越大，说明供货商供货越不稳定，与企业的供应关系不稳定，同样表示为：

$$c_{si}=\frac{\sigma_{si}}{\mu_{si}} \tag{5}$$

其中c_{si}表示第i个供货商的周供货量变异系数，σ_{si}为第i个供货商周供货量标准差，其计算公式为$\sqrt{\sum_{w=1}^{240}\frac{(x_{swi}-\bar{x}_{sw})^2}{w-1}}$，$\mu_{oi}$为第$i$个供货商周订货量均值，计算公式为$\frac{1}{n}\sum_{w=1}^{240} x_{swi}$。

③供需差量变异系数c_{di}

供需差量是指企业提交给单个供应商的订货量与该供应商实际提供的供货量之间的差值，若对于同一供应商，其供需差值波动越大，则说明其供应能力不足以使其较好地满足订单需要，说明其供需稳定能力不强，将此量表示为：

$$c_{di}=\frac{\sigma_{di}}{\mu_{di}} \tag{6}$$

其中c_{di}表示第i个供货商的周供需差量变异系数，σ_{di}为第i个供货商周供需差

量标准差，其计算公式为$\sqrt{\sum_{w=1}^{240}\frac{(x_{dwi}-\bar{x}_{dw})^2}{w-1}}$，$\mu_{di}$为第$i$个供货商周订货量均值，计算公式为$\frac{1}{n}\sum_{w=1}^{240}|x_{dwi}|$。

3）行业内竞争压力

由于 A、B、C 三种材料都可以单独生产得到产品，同时由附件信息可以知道单个供货商只供应一种材料，则供应不同的材料的供货商有着不同的行业压力，可以作为评判供应商供应能力的指标之一。

①各类材料供货商总数S_j

经过统计，提供不同材料的供应商数量不同，具有更多供应商的材料使得企业具有更多的选择，相应地也增加了对应材料供应商的竞争压力，故将各类材料供应商数量作为指标之一，记为S_j，表示可提供第j种材料的供应商的数量，通过此指标可以区分不同材料供应商的竞争能力。

②单个供货商的供货量在各类材料中占比R_{ij}

使用S_j只能区分不同材料供应商的能力，在同类材料的供应商中，他们所占用的市场份额也有区别，使用该供应商供货量在本类材料供应商供货总量的占比，来体现其在同类材料中所占有的市场份额，其计算公式为：

$$R_{ij}=\frac{\sum_{w=1}^{240}x_{swi}}{\sum_{i=1}^{402}\sum_{w=1}^{240}x_{swi}}\times 100\% \tag{7}$$

其中，R_{ij}表示单个供货商的供货量在本类材料供应商供应总量中占比，x_{swi}为供应j材料第i个供应商周供货数量。

4）供货商信誉度

原材料的特殊性使实际供货量多余或少于订货量且多余的货量会全部收购，由于订购数量是按照需求进行购买且存在存储成本，则供货商供货数量超过或者少于订单量都会对保障生产能力造成影响，故需要评估供货商供货量与订单量的吻合情况。

①优质订单数量占比R_{HQ}

当单个供货商供应货量量与订单要求货量波动在 10%以内，认为是优质订单，设置标志变量F_{iw}，优质订单为 1，非优质订单为 0：

$$F_{iw}=\begin{cases}0 & \frac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}\geq 10\% \\ 1 & \frac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}< 10\%\end{cases} \tag{8}$$

其中，x_{owi}为单次订购量，x_{swi}供货商实际供货量；

则对于第i个供应商，其优质订单占比为：

$$R_{HQ}=\frac{\sum_{w=1}^{240}F_{iw}}{\sum_{w=1}^{240}F_{io}}\times 100\% \tag{9}$$

其中$\sum_{w=1}^{240}F_{iw}$ 表示第i个供应商近五年来优质订单次数， F_{io}表示订购是否为零的标志变量，订购量非零记为 1，反之记为 0， $\sum_{w=1}^{240}F_{io}$表示第i个供应商近五年来所有有效订单数，其定义为订购量不为零的订单数之和。

②严重违约订单数量占比R_{MB}

当单个供货商供应货量量与订单要求货量波动超过在 50%，认为是严重违约订单，设置标志变量F_{iw1}，优质订单为 1，非优质订单为 0：

$$F_{iw1}=\begin{cases}1 & \dfrac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}\geq 50\% \\ 0 & \dfrac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}<50\%\end{cases} \tag{10}$$

其中，x_{owi}为单次订购量，x_{swi}为供货商实际供货量；
则对于第i个供应商，其严重违约订单占比为：

$$R_{MB}=\frac{\sum_{w=1}^{240}F_{iw1}}{\sum_{w=1}^{240}F_{io}}\times 100\% \tag{11}$$

其中$\sum_{w=1}^{240}F_{iw1}$ 表示第i个供应商近五年来严重违约订单次数， F_{io}表示订购是否为零的标志变量，订购量非零记为 1，反之记为 0， $\sum_{w=1}^{240}F_{io}$表示第i个供应商近五年来所有有效订单数，其定义为订购量不为零的订单数之和。

③完全失信订单数量占比R_{CD}

当单个供货商供应货量量与订单要求货量波动超过在 50%，认为是严重违约订单，设置标志变量F_{iw1}，优质订单为 1，非优质订单为 0：

$$F_{iw2}=\begin{cases}1 & \dfrac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}=100\% \\ 0 & \dfrac{x_{owi}-x_{swi}}{x_{owi}}\neq 100\%\end{cases} \tag{12}$$

其中，x_{owi}为单次订购量，x_{swi}为供货商实际供货量；
则对于第i个供应商，其完全失信订单占比为：

$$R_{CD}=\frac{\sum_{w=1}^{240}F_{iw2}}{\sum_{w=1}^{240}F_{io}}\times 100\% \tag{13}$$

其中$\sum_{w=1}^{240}F_{iw2}$ 表示第i个供应商近五年来完全失信订单次数， F_{io}表示订购是否为零的标志变量，订购量非零记为 1，反之记为 0， $\sum_{w=1}^{240}F_{io}$表示第i个供应商近五年来所有有效订单数，其定义为订购量不为零的订单数之和。

综上，本模型共总结了四个方面的 11 个指标进行供货商可保障生产能力的评估，将供货商实力、供求关系稳定性、行业内竞争压力、供货商信誉度四个方面中选择了订货量总量、供货量总量、有效交易次数、订货量变异系数、供货量变异系数、供需差量变异系数、各类材料供应商综述、供货量在各类中占比、优质交易订单占比、严重违约订单占比、完全失信订单占比等 11 个指标纳入评价体系，如图：

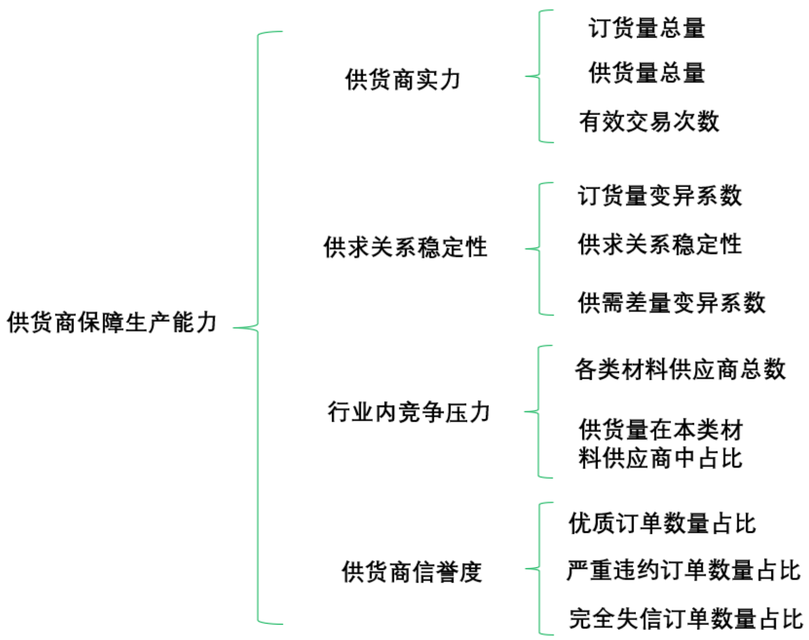


图 3 评价体系指标分类图

4.1.3 量化供应商供货特征及保障能力

利用评价体系选择的指标将供应商的供货特征进行量化，首先要确定各个指标所占的权重，使用消除主观赋权的熵权法，由数据本身得到指标的权重，再利用 TOPSIS 方法对每个供应商的保障能力进行量化。

（1）熵权法

熵权法是根据指标的变化程度来分配权重的，使用熵权法的好处就是可以消除主观赋权的影响，由数据本身得到其权重大小，指标的变异程度越小，所反映的信息量也越少，其对应的权值也应该越低。

使用标准 0-1 变换对本评价体系的指标进行归一化和正向化处理，保证指标数据的非负性，计算方式为：

$$z_{ij}=\frac{x_{ij}-x_j^{min}}{x_j^{max}-x_j^{min}} \tag{14}$$

其中z_{ij}为归一化处理后的结果，且无负数；

计算第 j 项指标下第 i 个供货商所占的比重，作为相对熵计算时用到的概率p_{ij}

$$p_{ij}=\frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} z_{ij}} \tag{15}$$

对于第 j 个指标而言，其信息熵的计算公式为：

$$e_j=-\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} p_{ij}\ln(p_{ij}),(j=1,2,\cdots,m) \tag{16}$$

则信息效用值定义为

$$d_j=1-e_j \tag{17}$$

信息效用值d_j越大，其对应的信息越多，最终将信息效用值归一化处理得到每个供货特征指标的熵权：

$$\omega_j=\frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j},(j=1,2,3,\cdots,m) \tag{18}$$

利用附件中的数据，得到各个指标的权重分配结果为：

指标	订货量总量	供货量总量	有效交易次数	订货量变异系数	供货量变异系数	供需差量变异系数
权重	0.2783	0.3126	0.0687	0.0016	0.0007	0.0094
指标	各类材料供应商数量	供货量在本类材料占比	优质交易订单占比	严重违约订单占比	完全失信订单占比	
权重	0.0658	0.0013	0.0130	0.1660	0.0827	

（2）TOPSIS 方法量化供货商生产保障能力

作为一种有效的多指标评价方法，TOPSIS 方法通过构造评价问题的正理想解和负理想解，即将各指标的最优解与最劣解组成理想化方案，通过分析每个方案与最优解和最劣解的距离，进而得到多指标下的方案排序，离正理想解越近且里负理想解越远，则方案越优。

由熵权法得到的权重$w=[w_1,w_2\dots w_n]^T$与规范化决策矩阵$B=(bij)_{m\times n}$构造加权规范阵$C=\left(c_{ij}\right)_{m\times n}$，表示为

$$c_{ij}=w_j\cdot b_{ij}，\ i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n \tag{19}$$

寻找各个指标中最优解与最劣解，组合得到正理想解C^*与负理想解C^0，得最理想的供货商表示为向量：

$$C^*=\{c_1^*,c_2^*,\cdots c_m^*\} \tag{20}$$

其中，$c_i^*(i=1,2,\cdots,m)$代表每个指标中的最优值；
最不理想的供货商表示为：

$$C^0=\{c_1^0,c_2^0,\cdots c_m^0\} \tag{21}$$

其中，$c_i^*(i=1,2,\cdots,m)$代表每个指标中的最劣值；

计算各方案到整理想解与负理想解的距离，第 i 个供货商到最理想供货商的距离为：

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(c_{ij} - c_j^*\right)^2} \tag{22}$$

到最不理想供货商的距离为：

$$s_i^0 = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(c_{ij} - c_j^0\right)^2} \tag{23}$$

计算各方案的排序指标值，即

$$f_i^* = \frac{S_i^0}{s_i^0 + S_i^*} \tag{24}$$

若f_i^*越接近 1，则该供货商距离理想目标越近，其生产保障能力就越强，反之则生产保障能力越弱，根据f_i^*对供货商保障企业生产的能力进行排序。

4.1.4 模型的求解

使用 python、matlab 等进行数据处理以及模型求解，得到供应商能够保障企业生产能力的排序结果（见附录），下表中列出在此评价体系中最重要的 50 家供应商：

排序	供应商 ID	排序指标值	排序	供应商 ID	排序指标值
1	S140	0.704929771	26	S126	0.340082288
2	S229	0.687877815	27	S238	0.331939928
3	S361	0.651094516	28	S247	0.328296865
4	S108	0.577734938	29	S031	0.324219422
5	S151	0.528726924	30	S374	0.323656236
6	S201	0.486933013	31	S284	0.319207046
7	S282	0.472128533	32	S040	0.318294524
8	S139	0.472080041	33	S037	0.316532329
9	S340	0.467137222	34	S365	0.316518177
10	S275	0.458587235	35	S364	0.314281681
11	S329	0.455965967	36	S367	0.312849378
12	S308	0.449048419	37	S055	0.311808309
13	S330	0.440782813	38	S346	0.311492374
14	S131	0.424855837	39	S123	0.311354022
15	S348	0.411758932	40	S097	0.311295564
16	S356	0.407545086	41	S204	0.311277139
17	S268	0.404971286	42	S394	0.310858501
18	S306	0.400465405	43	S208	0.310352701
19	S352	0.378870352	44	S114	0.309953845
20	S143	0.378679708	45	S328	0.309289304
21	S194	0.372030124	46	S291	0.308818375
22	S307	0.370126765	47	S334	0.307995836
23	S395	0.361970451	48	S251	0.307812273

24	S321	0.357953992	49	S338	0.307218379
25	S007	0.347163829	50	S078	0.30588423

使用 python 生成数据可视化图像来观察指标能力强度，如图所示，为方便显示，剔除两家供货商数据，显示了四百家供货商保障企业生产能力强弱对比，图像中看出数据排序指标值越高，其颜色越深，反之越浅，可以较为直观地看出 400 家企业能力存在显著差异。

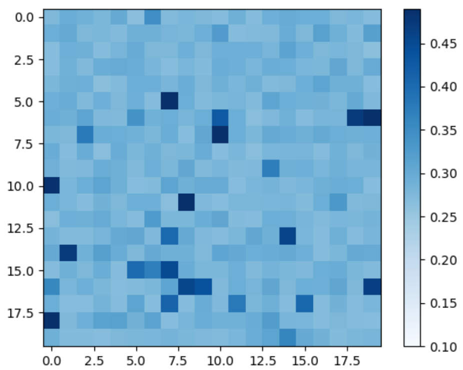


图 4 400 家供应商评分热力图

4.2 问题二模型的建立与求解

4.2.1 问题二的分析

依据第一问的结果对供应商保障企业生产的能力进行了排序，并确定 50 家最重要的供货商，本问拟选择最少的供应商来满足生产的需求，如果选择保障企业生产能力排名靠后的供应商，会对生产造成较大影响。故选择范围限制在问题一中所选择的 50 家供应商，确定最少供应商数量。然后，以保证企业生产所需量为约束条件，以购买成本最低为目标函数，解得不同供应商在每周内向企业供货量的最优方案；在此基础上，同样以转运的限制条件为约束，以转运损耗价值最低为目标函数，得到最优的转运方案。

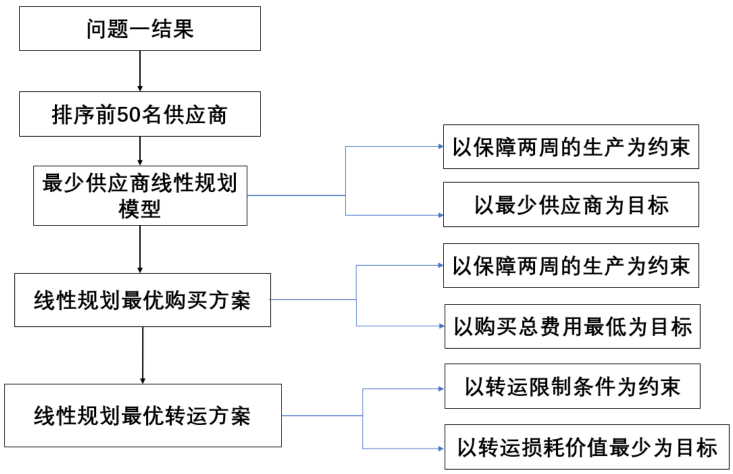


图 5 问题二决策流程图

4.2.2 最少供应商线性规划模型的建立

首先对数据进行处理，将近五年 240 周的数据分为十组，每组包含 24 周的

数据，对不同组别同周数的数据进行纵向分析，对数据进行清洗，为保证一家供应商每周供应的原材料尽量由一家转运商运输，故对于超过 6000 的数值设置为 6000，得到不同组别第i个供应商中第j周有能力提供的最大供货量，记为M_{ij}；

由于生产相同量的产品需要的不同原材料的货量不同，首先对表格数据进行统一化处理，换算后得到原材料货量可对应的产能，不同组别第i个供应商中第j周有能力提供的最大供货量转化的产能记为m_{ij}。

（1）约束条件

数据处理后，所有货量转化为其所对应的产能，在此标准下，则经过第j周后剩余量L_j表示为：

$$L_j = \sum_{i=1}^{50} m_{ij} \cdot x_i + L_{j-1} - \eta, j = 1,2,\cdots,24 \tag{25}$$

其中L_j表示经过第j周之后货量剩余量；m_{ij}不同组别第i个供应商中第j周有能力提供的最大供货量转化的产能量；η表示每周的产能，在本问中为固定值；x_i为标志变量，用以标志第i家供应商在每一周内是否被选择，即

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{将被购买} \\ 0, & \text{未被购买} \end{cases} \tag{26}$$

则$\sum_{i=1}^{50} m_{ij} \cdot x_i$表示第$j$周所计划购进货量总和。

由于企业平稳运行，假设预制定计划的第一周之前仍留有两周的库存，即

$$L_0 = 2\,\eta$$

在正常生产运营中要保证库存量可保证两周的正常生产，则此时的约束可写为：

$$\sum_{i=1}^{50} m_{ij} \cdot x_i + L_{j-1} - \eta > 2 * \eta，\ j = 1,2,\cdots,24 \tag{27}$$

其中$\sum_{i=1}^{50} m_{ij} \cdot x_i$表示第$j$周所计划购进货量总和，需要满足经过第$j$周之后剩余量满足大于 2 周的库存量。

（2）目标函数

根据题目要求，为选用最少的供货商来满足生产需求，则目标函数为选择的供应商数最少，即：

$$\min C = \sum_{i=1}^{50} x_i \tag{28}$$

综上得到线性规划模型如下：

$$\min C = \sum_{i=1}^{50} x_i \tag{28}$$

$$
s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i + L_{j-1} - \eta > 2\eta, \qquad j=1,2,\cdots,24 \\ L_j = \sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i + L_{j-1} - \eta \\ L_0 = 2\eta \end{cases} \tag{29}
$$

经过 lingo 求解，得到了最少需要 19 家供应商供货才能满足生产需求，这 19 家供应商分别为:

供应商ID	S229	S275	S329	S352	S143	S307	S395	S140	S108	S139
供应材料类型	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B
供应商ID	S340	S308	S330	S131	S361	S151	S356	S268	S306	
供应材料类型	B	B	B	B	C	C	C	C	C	

4.2.3 不同供应商购买方案的单目标线性规划模型

在确定满足最少供应商的线性规划模型时，供应量为每家供应商所能提供的最大供货量M_{ij}，再利用不同原材料产出不同换算得到统一产出量m_{ij}，由于上个模型得到的 15 家供货商虽然一定会供货，但每一家供货量不一定达到本身供货量的最大值，记实际规划供货量为N_{ij}，利用不同原材料产出不同换算得到统一产出量n_{ij}。

（1）约束条件与目标函数

在确定了供货商之后，需要在约束条件下考虑如何分配在不同购货商的购买数量可以使得总花费最小，由于 A 材料和 B 材料价格分别高于 C 材料 20%和 10%，故将 C 的定价定为单位 1，则 A 的定价为 1.2，B 的定价为 1.1，构造分段函数D表示单位定价：

$$
D = \begin{cases} 1.2, & \text{第 i 家企业售卖 A 材料} \\ 1.1, & \text{第 i 家企业售卖 B 材料} \\ 1.0, & \text{第 i 家企业售卖 C 材料} \end{cases} \tag{30}
$$

则 24 周购买方案中购买原材料总花费表示为:

$$
Y = \sum_{j=1}^{24}\left(\sum_{i=1}^{19} D\cdot N_{ij} + P\cdot L_j\right) \tag{31}
$$

其中N_{ij}为各类材料实际供货量，$\sum_{i=1}^{15} D\cdot N_{ij}$表示第$j$周付给供货商的费用，$P$

为存储费用，L_j代表在第j周所剩余的仓储量：

$$L_j=\sum_{i=1}^{50}n_{ij}+L_{j-1}-\eta \tag{32}$$

注：三种材料的存储费用P相同，为了使购买费用与存储费用量纲一致，分别调研了顺德、东莞、佛山等我国木材家具加工的主要地的木材原料存储费用均价为$0.9¥/m^3\cdot d$，且市面上常见家具制作木材原料有低级到高级价格由1000$¥/m^3$～7000$¥/m^3$不等，取大概均值3500$¥/m^3$，进行量纲换算将P_s确定为0.0018。

此时目标函数可以表示为：

$$minY=\sum_{j=1}^{24}\left(\sum_{i=1}^{19}D\cdot N_{ij}+P\cdot\sum_{i=1}^{50}n_{ij}+L_{j-1}-\eta_j\right) \tag{33}$$

由于本问中需一直满足保证每周的库存量可以满足两周的生产需要，故本模型的约束条件同前，为

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{50}m_{ij}\cdot x_i+L_{j-1}-\eta>2\eta, \qquad j=1,2,\cdots,24\\ L_j=\sum_{i=1}^{50}m_{ij}\cdot x_i+L_{j-1}-\eta\\ L_0=2\,\eta\end{cases} \tag{34}$$

（2）供应方案的求解

使用lingo进行求解，得到19家供应商在24周内的供货量分配，此处仅列出其中六家供货商前五周的供货量，详细数据见支撑材料；

供应商ID	供应材料类型	第01周	第02周	第03周	第04周	第05周
S229	A	3088	1897	1762	1705	1897
S275	A	875	952	1066	997	1222
S140	B	7792	0	9	1	7792
S108	B	1061	7792	1379	987	1274
S361	C	2445	2947	2265	3065	3134
S151	C	559	848	1003	969	1138

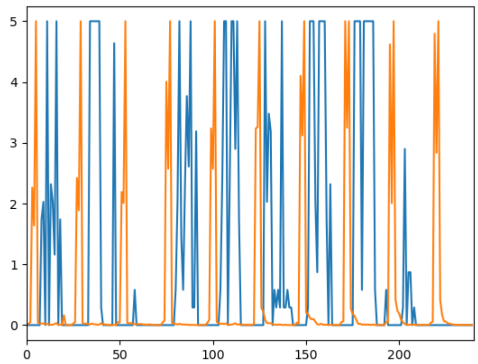
求解的结果为需要供应商供给的货量，虽然企业订购量与供应商实际发货量存在差量，但为了不因供应链管理学中的“长鞭效应（bullwhip effect）”引起市场波动，故在保障企业正常运行重要性的前50家供货商中选择，经统计分析，其供货量大概为订货量的0.77倍，故将求解得到的供应商供货方案与企业应向供货商提交订购量的方案进行换算得到最终结果。

4.2.4 转运方案线性规划模型的建立

（1）目标函数

转运过程中存在损耗，对附件中给出近五年240个周损耗率进行分析，发现

其大致存在周期性变化，如图所示，则根据波峰数量将 240 个周数据分为十组，每组包含 24 周的数据，分别对十组内相同周数的数据进行比较，取出共 24 组的耗损率均值，作为未来 24 周内不同转运商的运输耗损率，记为l_{jk}，表示第k家转运商在第j周的转运耗损率。



为了能够求得最优的转运方案，需要满足在转运过程中转运损失总价值最少，则以第k个转运商为例，其在 24 周内转运 19 个供货商的损失供货价值为：

$$TP_k = \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{24} l_{jk} \cdot E_{ijk} \cdot D \tag{35}$$

其中，E_{ijk}为转运方案模型中所得到的第k个转运商第j周对第i个供货商提供的转运量，l_{kj}为第k家转运商在第j周的转运耗损率，D为不同供货商提供不同材料的售价；

则 24 周内 8 家转运商所转运的损耗总价值为：

$$TT = \sum_{k=1}^{8} TP_k \tag{36}$$

目标函数可表示为：

$$minTT = \sum_{k=1}^{8} \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{24} l_{jk} \cdot E_{ijk} \cdot D \tag{37}$$

（2）约束方程

每一家转运商对 24 周内转运 19 个供货商的转运总量为：

$$TM_k = \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{24} E_{ijk} \tag{38}$$

根据题目所给条件，每家转运商运输能力为 6000 立方米/周，即需满足：

$$\sum_{i=1}^{19} E_{ijk} \leq 6000，j = 1,2,\ldots,24, k = 1,2,\cdots 8; \tag{39}$$

同时需要满足转运商的转运总量与供货商的供货总量相同，即：

$$\sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24}E_{ijk}=\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24}n_{ij} \tag{40}$$

其中，E_{ijk}为转运方案模型中所得到的第k个供货商第j周对第i个供货商提供的转运量，n_{ij}为第i个供货商在第j周的经过不同材料统一换算后的实际供货量。

综上，转运方案的线性规划模型如下：

目标函数为：

$$minTT=\sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24}l_{jk}\cdot E_{ijk}\cdot D \tag{41}$$

约束条件为：

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{19}E_{ijk}\leq 6000，j=1,2,...,24, \quad k=1,2,\cdots 8\\ \sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24}E_{ijk}=\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24}n_{ij}\end{cases} \tag{42}$$

（3）转运方案线性规划模型的求解

通过 lingo 求解，得到各个转运商在 24 周内对于每个供货商提供转运量的转运方案，下表列出第一周的转运方案：

供应商 ID	第 01 周							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S229							2378	
S201		251					423	
S282		822						
S275		499						
S329		679						
S348		1						
S352		3748						

注：图中蓝色表示没有转运

4.2.5 订购方案和转运方案实施效果分析

我们通过仿真模拟对方案的实施效果进行分析，设定供货量在订货量的50%~110%之间波动，损耗率在 3%范围内波动，进行 1000 次仿真，结果如下：

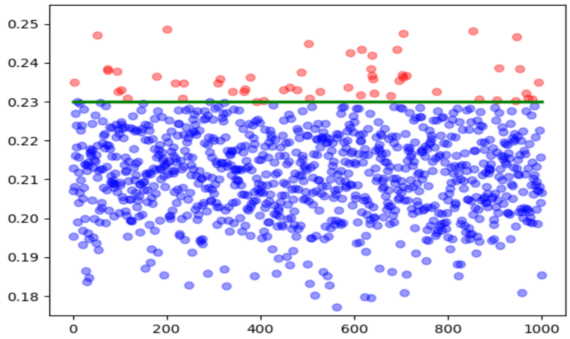


图 6 仿真实验数据可视化

其中，供货误差的计算方法为：

$$\frac{\text{模拟总供货量} - \text{理论总供货量}}{\text{订单量}}$$

我们认为在供货误差小于 0.23 时，结果是可接受的，观察结果可知，散点图中点的分布基本都在 0.23 以下，根据我们的订货方案，大部分的仿真模拟结果都符合我们的约束条件，并且供货总误差均在我们可接受的范围内，所以我们的订购方案是合理的。

4.3 问题三的分析与求解

4.3.1 问题三的分析

为了压缩生产成本，计划尽可能多地采购 A 类且尽可能少地采购 C 类原材料，则需要对问题一、二中的模型进行改动，对问题一中的评价模型增加与原料种类相关的指标，并将此指标纳入到原来的体系构成新的评价体系，在此基础上得到供货商保障企业生产重要性的排序。在制定订购方案时，在原本价格不同的 A 类和 C 类原材料基础上乘以不同的惩罚系数，来使得模型在进行最优购买方案尽可能的增加对 A 类的购买而减少 C 类材料的购买。由于需要同时满足订购方案最优且转运损耗率尽量少，本问使用多目标线性规划模型来求解。

4.3.2 对问题一评价模型的改动

（1）选择意向I_i

由于对 A 类和 C 类原材料的选择有了偏向，故在进行评价体系的建立时，需要增加对选择原材料种类的意向指标，记此指标为I_i，表示对于第 i 种原材料的购买意向值。

假设生产固定量的产出时，使用的原材料 A、B、C 占比 50%，30%，20%，由于生产每立方米产品需要 A、B、C 类原材料分别为 0.6、0.66、0.72 立方米，故确定此时 A、B、C 三类原材料供应商的选择意向值分别为 0.30、0.198、0.144。

将此选择意向I_i加入原来的评价体系，使用熵权法得到增加新指标后各指标的权重，结果如下表所示：

指标	订货量总量	供货量总量	有效交易次数	订货量变异系数	供货量变异系数	供需差量变异系数
权重	0.2620	0.2943	0.0646	0.0015	0.0006	0.0088
指标	各类材料供应商数量	供货量在本类材料占比	优质交易订单占比	严重违约订单占比	完全失信订单占比	选择意向
权重	0.0619	0.0012	0.0121	0.1562	0.0778	0.0586

加入新指标后通过熵权法得到各个指标的权重，利用 TOPSIS 方法进行评价得到每家供应商的排序指标值f_i^*，对其保障企业生产的能力进行排序，得到在新的评价体系中最重要的 50 家供应商，下表中列出前十家，详细见附录：

排序	供应商 ID	排序指标值	排序	供应商 ID	排序指标值
1	S140	0.6999447	6	S201	0.4925042
2	S229	0.690101	7	S282	0.4783922
3	S361	0.6417208	8	S139	0.4704904
4	S108	0.5748242	9	S340	0.4657502
5	S151	0.5221515	6	S201	0.4925042

4.3.3 对问题二中模型的改动

（1）最少供应商

依据问题二单目标规划模型求解最少供应商，本问中为选用最少的供货商来满足生产需求，则目标函数需要求所有标志第i家供应商是否被购买的变量x_i累加之和最小，即：

$$\min z=\sum_{i=1}^{50} x_i \tag{43}$$

其约束条件为改变：

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i+L_{j-1}-\eta_j>2\eta, \quad j=1,2,\cdots,24\\ L_j=\sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i+L_{j-1}-\eta\\ L_0=2\,\eta\end{cases} \tag{44}$$

通过 lingo 求解，得到了至少需要 7 家供应商才能满足生产需要。

（2）多目标规划模型建立

本问中取消了保证供应商最少的限制，我们只需要依据新评价体系下的排名，选取不少于 7 家供应商的的数量进行供货即可，我们选择排序指标值在 0.4 以上的供应商综合排名排进行供货，认为他们有保障企业生产的供货能力，共选取了 18 家，在此基础上进行订购方案的最优化求解。由于需要同时满足转运方

案最优，故建立多目标规划模型。

通过理想点法来求解多目标线性规划问题，即通过求解$\min_{x\in D} f[Z(x)] = \sqrt{\sum_{i=1}^{2}[Z_i(x)-Z_i^*]^2}$，将多目标线性规划问题转换为单目标最优解问题，得到有效解$x*$作为多目标规划的最优解，其中，理想点为$\left(Z_1^*，Z_2^*\right)$，综合购买方案单目标优化模型与转运方案优化模型购买方案，得到本问的目标函数为

$$\mathrm{Min}\, Z = \sqrt{(Y-Y^*)^2+(T-T^*)^2} \tag{45}$$

其中，Y^*表示订购方案的最优解，T^*表示转运方案的最优解；

订购所需要的总费用表示为：

$$Y=\sum_{j=1}^{24}\left(\sum_{i=1}^{15} D\cdot N_{ij}\cdot G_i + P\cdot\sum_{i=1}^{50} n_{ij} + L_{j-1}-\eta\right) \tag{46}$$

其中N_{ij}为各类材料实际规划供货量，D为各类材料单位售价，$\sum_{i=1}^{15} D\cdot N_{ij}$表示第$j$周付给供货商的费用，$P$为存储费用，$L_j$代表在第$j$周所剩余的仓储量，$G_i$表示惩罚系数，用以使模型更偏向于选择 A 类而非 C 类原材料；

转运材料所需要的损失总价值：

$$T=\sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24} l_{jk}\cdot E_{ijk}\cdot D \tag{47}$$

其中，E_{ijk}为转运方案模型中所得到的第k个供货商第j周对第i个供货商提供的转运量，l_{jk}为第k家转运商在第j周的转运耗损率，D为不同供货商提供不同材料的售价；

总的约束条件为两个单目标规划模型约束条件的集合：

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i + L_{j-1}-\eta > 2\eta, & j=1,2,\cdots,24\\ L_j=\sum_{i=1}^{50} m_{ij}\cdot x_i + L_{j-1}-\eta, & j=1,2,\cdots,24\\ L_0 = 2\,\eta & \\ \sum_{i=1}^{19} E_{ijk}\le 6000，j=1,2,\ldots,24, & k=1,2,\cdots 8\\ \sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24} E_{ijk} = \sum_{i=1}^{19}\sum_{j=1}^{24} n_{ij} & \end{cases} \tag{48}$$

4.3.4 多目标线性规划问题的求解

通过编写程序 lingo 求解得到多目标规划问题的解，下表展示了最优采

购方案与最优转运方案的部分数据，详细见支撑材料。
最优采购方案部分数据（截取六个供应商前五周的采购方案）：

供应商 ID	供应材料类型	第 01 周	第 02 周	第 03 周	第 04 周	第 05 周
S229	A	3088	1897	1762	1705	1897
S201	A	201	0	0	0	0
S140	B	7792	4416	1009	1603	7792
S108	B	1061	7792	1379	987	1274
S361	C	2575	2947	2265	3065	3134
S151	C	1170	848	1003	969	1138

最优转运方案部分数据（截取部分转运商转运商第一周的转运方案）：

供应商 ID	第 01 周							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S229		1929					449	
S275		155						
S329		415						
S352		674						
S143		822						

注：图中蓝色表示没有转运

4.3.5 最优方案的实施效果
1）仿真模拟：
与问题二分析方法相同，我们通过仿真模拟对方案的实施效果进行分析，结果如下：

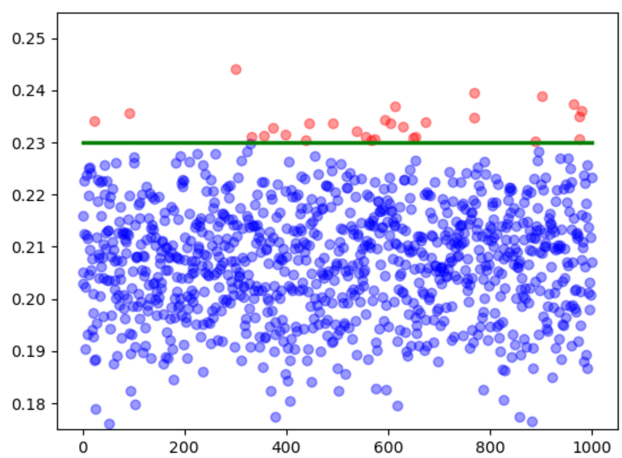


图 7 仿真实验可视化

观察结果可知，散点图中点的分布基本都在 0.23 以下，根据我们的订货方案，大部分的仿真模拟结果都符合我们的约束条件，并且供货总误差均在我们可

接受的范围内，所以我们的订购方案是合理的。

2）纵向数据对比

在问题三中为压缩生产成本，需尽可能地采购 A 类和尽量少地采购 C 类原材料，故对购买 A 和 C 类原材料计划的调整尤为重要，我们通过将本问数据和第二问数据对比，发现在本问的约束下 C 类原材料购买数量较第二问明显下降，A 类数据明显增多，这与目标期望完全相符。数据对比如下图所示：

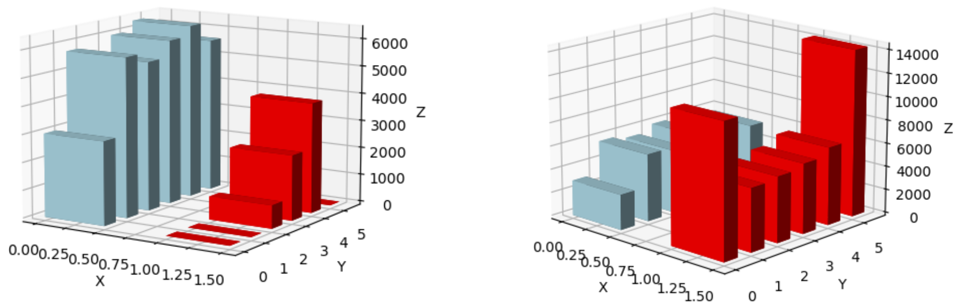


图 8　C 类与 A 类材料采购量对比图

4.4 问题四分析与求解

4.4.1 线性规划模型的建立

在本问中企业具备了提高产能的潜力，在不考虑成本的情况下，其产能的限制条件为原材料供应商的供应量与转运商可转运的的实际情况，此时转运商可转运的材料总量存在限制条件，即每家转运商的运输能力为 6000 立方米，经统计分析，供货量所提供的材料总量少于所有转运商运输能力最大值，故设置目标函数：

$$\min\{\sum_{k=1}^{8} e_k - \sum_{i=1}^{402} N_{ij}\}，\quad j = 1,2\cdots 24\,;$$

其中e_k表示第k个供应商最大运输能力，N_{ij}' 为第i家供应商在第j周的供货量，$\sum_{i=1}^{402} N_{ij}$为第j周 402 家供货商供货量总和；

其约束条件为

$$N_{ij} \le M_{ij}, i = 1,2,\cdots,402, j = 1,2,\cdots,24 \tag{49}$$

其中M_{ij}为不同组别第i个供应商中第j周有能力提供的最大供货量；

通过求解得到N_{ij}'，在固定的N_{ij}' 下，若运输过程中产生的损耗越大，则企业收到的供货量越少，产能也会相应的降低，因此建立优化模型的目标函数为：

$$minTT = \sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{402}\sum_{j=1}^{24} l_{jk} \cdot N'_{ij} \cdot x_{ijk} \tag{50}$$

即满足运输过程中损耗总量最低，其中l_{jk}为第k家转运商在第j周的转运耗损率，N'_{ij} 为第i家供应商在第j周的供货量，x_{ijk}为转运商标准转运变量，标记第i家供应商在第j周的供货量是否由第k家转运商承担，若是，值为 1，不是，值为 0；

其约束条件包括：

对于第i家供货商，每周尽量只使用一种转运商，即第j周的第i家供货商对于所有转运商的标准转运变量之和为 1：

$$\sum_{k=1}^{8} x_{ijk} = 1, (i = 1,2, \cdots 402; j = 1,2, \cdots 24) \tag{51}$$

且满足每家转运商每周转运量总和小于 6000 立方米：

$$\sum_{i=1}^{402} N'_{ij} \cdot x_{ijk} \le 6000, (j = 1,2, \cdots 24; k = 1,2, \cdots 8) \tag{52}$$

综上，线性规划模型如下：

$$minTT = \sum_{k=1}^{8}\sum_{i=1}^{402}\sum_{j=1}^{24} l_{jk} \cdot N'_{ij} \cdot x_{ijk} \tag{53}$$

$$s.t.\begin{cases} \sum_{k=1}^{8} x_{ijk} = 1, (i = 1,2, \cdots 402; j = 1,2, \cdots 24) \\ \sum_{i=1}^{402} N'_{ij} \cdot x_{ijk} \le 6000, (j = 1,2, \cdots 24; k = 1,2, \cdots 8) \end{cases} \tag{54}$$

4.4.2 线性规划模型的求解

通过编写程序 lingo 求解得到规划问题的解，下表展示了最优采购方案与最优转运方案的部分数据，详细见附录。

产能最大采购方案部分数据（截取六个供应商前五周的采购方案）：

供应商 ID	供应材料类型	第 01 周	第 02 周	第 03 周	第 04 周	第 05 周
S229	A	3088	1897	1762	1705	1897
S201	A	201	0	0	0	0
S140	B	7792	0	9	1	7792
S108	B	1061	7792	1379	987	1274
S361	C	2445	2947	2265	3065	3134
S151	C	1040	848	1003	969	1138

产能最大转运方案部分数据（截取各个转运商转运商第一周的转运方案）：

供应商ID	第 01 周							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S229					2378			
S201		155						
S282			415					
S275		674						
S329	822							
S348		27						
S352	499							

注：图中没有转运为空白

通过不同材料与产能的换算关系，由订购方案确定产能大小，每周之间订购方案所产出的产能也不同，经运算，周产能$\eta_{\max} = 27445.83m^3$，$\eta_{\min} = 61309.21m^3$，$\bar{\eta} = 48229.54m^3$，认为$\bar{\eta}$为产能提高后的周产能量，则每周产能提高：

$$\frac{\bar{\eta} - \eta_0}{\eta_0} \times 100\% = 71.02\% \tag{55}$$

故在现有原材料供应商和转运商的实际情况下，该企业每周产能提高71.02%。

五、模型评价与改进

5.1 模型评价

5.1.1 模型的优点

1. 在第一问建立供货保障能力指标评价体系时，我们通过充分的论证后，选取了多个方面多个指标来衡量，指标数量多，涉及方面广，可以有效的量化供货商的保障能力。

2. 问题解答层层递进，每一问的模型建立都息息相关。在问题二建立的规划模型的基础上，通过优化和改进，求解问题三和问题四。

3. 在分析方案的实施效果时，本文采用了仿真模拟过程，使数据结果更具有说服性。

4. 在处理多目标线性规划问题时，我们采用了理想点法，处理方便简洁，对该规划问题的适用度高。

5.1.2 模型的缺点

1. 本文数据量较大，在剔除数据时，没有充分考虑异常数据对各个指标的影响。

2. 在提取各个指标时，可能忽略了某些指标内部的关联性。

3. 在规划模型中，我们使用的规划模型的收敛速度太慢，可能会出现局部最

优解，无法得到全局最优解。

5.2 模型改进

1.在第一问建立指标评价体系时，我们可以先使用主成分分析法对指标进行筛选，得到更加具有说服力的指标。

2.在第一问中，对优质订单的判定我们可以建立一个判定模型，得到订单分级和订单的波动之间更加紧密的关系，从而给出更加合理的分级标准。

3.我们可以在第一问的评价体系中加入一个惩罚制度，对于经常不能及时供应原料的供货方，我们对其进行降级处理。

4.我们可以使用粒子群算法或者遗传算法来进行模拟，辅助规划模型的求解，既可以提高运算速度，也可以避免局部最优解的出现。

六、参考文献

[1] 张相斌,林萍,张冲.　供应链管理[M].人民邮电出版社:,　201507.350.

[2] 李果.不确定交货条件下两供应商—单制造商协同供货研究[D].华中科技大学,2009.

[3] 李春泉.不确定系统中的多目标规划模型及其应用[D].电子科技大学,2019.

七、附录

Question 1

```
clc
clear
data=xlsread('各供应商指标数据.xlsx','sheet1','A1:K402');
da=data();
for i=1:11
    maxx=max(da(:,i));
    minn=min(da(:,i));
    if maxx==minn
        maxx=maxx+1;
    end
       if i==4||i==5||i==6||i==7||i==10||i==11
           da(:,i)=(maxx-da(:,i))/(maxx-minn);
       else
           da(:,i)=(da(:,i)-minn)/(maxx-minn);
       end
end
da(find(da==0))=[0.0001];
da(find(da==1))=[0.9999];

s=sum(da);
p=da./s;
e=p.*log(p);
k=-1/log(402);
Ej=sum(e)*k;
Dj=1-Ej;
w=Dj/sum(Dj);
c=da.*w;
Cstar=max(c);
Cstar(4)=min(c(:,4));
Cstar(5)=min(c(:,5));
Cstar(6)=min(c(:,6));
Cstar(7)=min(c(:,8));
Cstar(10)=min(c(:,9));
Cstar(11)=min(c(:,10));
C0=min(c);
C0(4)=max(c(:,4));
C0(5)=max(c(:,5));
C0(6)=max(c(:,6));
C0(7)=max(c(:,8));
```

```
C0(10)=max(c(:,9));
C0(11)=max(c(:,10));
for i=1:402
    Sstar(i)=norm(c(i,:)-Cstar);
    S0(i)=norm(c(i,:)-C0);
end
f=S0./(Sstar+S0);
```

Question 2 (1)

```
sets:
S/1..50/: x;
T/1..24/:  ;
U(S,T): b;
endsets

data:
b =
@ole('lin.xls','da');
enddata

min = @sum(S(i):x(i));

@for(S:@bin(x));
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))>=2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))>=2*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))>=3
*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))>=4*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))>=5*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))>=6*2
.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))>=7*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))>=8*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
```

```
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))>=9*2.8
2*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))>=10*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))>=11*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))>=12*2
.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))>=13*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))>=14*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))>=15*
2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))>=16*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))>=17*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
```

```
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))>=18
*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))>=19*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))>=20*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))>=2
1*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,22))>=22*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,22))+@sum(S(i):x(i)*b(i,23))>=23*2.82*10000;
```

```
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@sum(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@sum(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@sum(S(i):x(i)*b(i,22))+@sum(S(i):x(i)*b(i,23))+@sum(S(i):x(i)*b(i,24))>=
24*2.82*10000;
```

Question 2（2)

```
sets:
S/1..19/: ;
T/1..24/: ;
U(S,T): a,b,c,d ;
endsets
data:
a=@ole('lin2.xls','da');
b=@ole('lin1.xls','da');
enddata
min =
1.2*@sum(S(i)|i#le#6:d(i,1))+1.1*@sum(S(i)|i#gt#6#and#i#le#13:d(i,1))+@sum(S(i)|i#gt#13:d(i,1))+@sum(S(i):c(i,1))-2.82*10000;
@for(S(i)|i#le#6:0.6*c(i,1)=d(i,1));
@for(S(i)|i#gt#6#and#i#le#13:c(i,1)=d(i,1)/0.66);
@for(S(i)|i#gt#13:c(i,1)=d(i,1)/0.72);
@for(S(i):d(i,1)<=b(i,1));
@sum(S(i):c(i,1))>=2.82*10000;
```

Question 2（3)

```
sets:
S/1..19/:c ;
T/1..8/: a ;
```

```
U(S,T): x ;
endsets
data:
c = 2105,833,857,572,911,0,599,5,913,16,961,6000,4253,0,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ;
a =1.6729,0.7092,1.033532,1.79324,3.55161,1.13076,1.93076,2.00798;
@ole('24.xls','da')=x;
enddata
min =
1.2*@sum(S(i)|i#le#7:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+1.1*@sum(S(i)|i#gt#7#and#i
#le#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+@sum(S(i)|i#gt#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j))
);
@for(T(j):@sum(S(i):x(i,j))<=6000);
@for(S(i):@sum(T(j):x(i,j))=c(i));
```

Question 3

```
sets:
S/1..50/: x;
T/1..24/:  ;
U(S,T): b;
endsets

data:
b =
@ole('lin.xls','da');
enddata

min = @sum(S(i):x(i));

@for(S:@bin(x));
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))>=2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))>=2*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))>=3
*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))>=4*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))>=5*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))>=6*2
.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
```

```
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))>=7*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))>=8*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))>=9*2.8
2*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))>=10*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))>=11*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))>=12*2
.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))>=13*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))>=14*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))>=15*
2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))>=16*2.82*10000;
```

```
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))>=17*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))>=18
*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))>=19*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))>=20*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))>=2
1*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,22))>=22*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
```

```
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,22))+@sum(S(i):x(i)*b(i,23))>=23*2.82*10000;
@sum(S(i):x(i)*b(i,1))+@sum(S(i):x(i)*b(i,2))+@sum(S(i):x(i)*b(i,3))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,4))+@sum(S(i):x(i)*b(i,5))+@sum(S(i):x(i)*b(i,6))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,7))+@sum(S(i):x(i)*b(i,8))+@sum(S(i):x(i)*b(i,9))+@sum(S
(i):x(i)*b(i,10))+@sum(S(i):x(i)*b(i,11))+@sum(S(i):x(i)*b(i,12))+@sum(
S(i):x(i)*b(i,13))+@sum(S(i):x(i)*b(i,14))+@sum(S(i):x(i)*b(i,15))+@sum
(S(i):x(i)*b(i,16))+@sum(S(i):x(i)*b(i,17))+@sum(S(i):x(i)*b(i,18))+@su
m(S(i):x(i)*b(i,19))+@sum(S(i):x(i)*b(i,20))+@sum(S(i):x(i)*b(i,21))+@s
um(S(i):x(i)*b(i,22))+@sum(S(i):x(i)*b(i,23))+@sum(S(i):x(i)*b(i,24))>=
24*2.82*10000;

sets:
S/1..19/:c ;
T/1..8/: a ;
U(S,T): x ;
endsets
data:
c = 2105,833,857,572,911,0,599,5,913,16,961,6000,4253,0,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ;
a =1.6729,0.7092,1.033532,1.79324,3.55161,1.13076,1.93076,2.00798;
@ole('24.xls','da')=x;
enddata
min =
1.2*@sum(S(i)|i#le#7:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+1.1*@sum(S(i)|i#gt#7#and#i
#le#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+@sum(S(i)|i#gt#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j))
);
@for(T(j):@sum(S(i):x(i,j))<=6000);
@for(S(i):@sum(T(j):x(i,j))=c(i));
```

Question 4

```
sets:
S/1..402/:c ;
T/1..8/: a ;
U(S,T): x ;
```

```
endsets
data:
c =
2378,155,415,674,822,27,499,679,1,3748,31,0,0,38,0,502,632,356,0,0,8,28
,40,79,177,1,6,42,72,0,1,0,1,1,2,0,58,0,3,1,1,1,17,1,0,0,2,0,0,1,42,0,7
,0,0,0,8,2,0,0,1,4,1,5,6,0,0,2,0,0,5,1,1,3,1,6,1,6,1,1,0,0,6,0,3,4,0,2,
1,0,39,0,4,0,0,0,4,1,0,0,0,5,1,1,1,0,0,1,1,0,1,0,0,0,0,1,2,1,0,0,1,0,1,
1,1,0,1,0,0,0,0,1,2,0,1,0,2,0,0,6,0,5,0,0,0,0,6000,817,6000,883,771,114
5,696,0,0,180,406,393,184,75,110,0,2081,0,0,2,3,0,2,1,0,1,1,0,3,0,1,0,1
,0,1,0,5,16,4,0,0,6,0,3,3,6,0,0,7,6,4,2,5,0,5,0,4,5,4,5,5,5,6,1,6,1,1,0
,0,1,0,2,1,6,1,0,0,5,2,5,0,0,0,0,6,1,2,2,0,2,0,0,2,1,2,0,1,0,2,1,0,0,16
,0,0,0,0,1,1,0,0,1,0,2,0,0,5,0,0,0,1,0,0,1,2,0,0,2,0,0,0,1,0,0,1883,801
,690,586,554,450,6,258,1,126,228,1,0,194,60,324,76,0,642,133,1035,0,11,
0,7,3,143,2,1,5,3,13,2,1,6,1,5,1,1,1,2,9,9,0,4,0,1,0,0,1,0,2,4,5,0,0,0,
2,0,0,5,0,0,0,1,6,0,0,0,0,1,5,1,3,0,1,0,0,6,0,0,0,0,2,0,1,0,0,0,1,0,0,0
,0,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,1,0,0,0,0,0,2,0,0;
a =1.6729,0.7092,1.033532,1.79324,3.55161,1.13076,1.93076,2.00798;
@ole('24.xls','da')=x;
enddata
min =
1.2*@sum(S(i)|i#le#7:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+1.1*@sum(S(i)|i#gt#7#and#i
#le#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j)))+@sum(S(i)|i#gt#14:@sum(T(j):a(j)*x(i,j))
);
@for(T(j):@sum(S(i):x(i,j))<=6000);
@for(S(i):@sum(T(j):x(i,j))=c(i));
```

Photo

```
problem_1.py
import pandas as pd
import numpy as np
df_i = pd.read_excel("附件1 近5年402家供应商的相关数据.xlsx")
df_o = pd.read_excel("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）")

data_1 = np.array(df_i)
data_i = data_1[:, 2:].copy()
data_2 = np.array(df_o)
```

```
data_o = data_2[:, 2:].copy()
sum_i = np.zeros((402, 1))
sum_o = np.zeros((402, 1))
num_s = np.zeros((402, 1))
coe_i = np.zeros((402, 1))
coe_o = np.zeros((402, 1))
coe_d = np.zeros((402, 1))
ord_A = np.zeros((402, 1))
ord_B = np.zeros((402, 1))
ord_C = np.zeros((402, 1))

dif = data_i - data_o
diff = np.maximum(dif, -dif)

for i in range(402):
    num_o = 0
    num_i = 0
    num_A = 0
    num_B = 0
    num_C = 0

    sum_i[i] = data_i[i].sum()
    sum_o[i] = data_o[i].sum()

    for a in range(240):
        if data_o[i, a] > 0:
            num_o = num_o + 1

        if data_i[i, a] > 0:
            num_i = num_i + 1
            if diff[i, a] / data_i[i, a] < 0.1:
                num_A = num_A + 1
            if diff[i, a] / data_i[i, a] > 0.5:
                num_B = num_B + 1
            if diff[i, a] / data_i[i, a] == 1:
                num_C = num_C + 1

    num_s[i] = num_o
    ord_A[i] = num_A
    ord_B[i] = num_B-num_C
    ord_C[i] = num_C


    std_i = np.std(data_i[i])
```

```python
    mean_i =np.sum(data_i[i])/num_i
    coe_i[i] = std_i/mean_i

    std_o = np.std(data_o[i])
    mean_o =np.sum(data_o[i])/num_o
    coe_o[i] = std_o/mean_o

    std_d = np.std(diff[i])
    mean_d = np.mean(diff[i])
    coe_d[i] = std_d/mean_d
All =[]

All = np.hstack((sum_i, sum_o))
All = np.hstack((All, num_s))
All = np.hstack((All, coe_i))
All = np.hstack((All, coe_o))
All = np.hstack((All, coe_d))
All = np.hstack((All, ord_A))
All = np.hstack((All, ord_B))
All = np.hstack((All, ord_C))
df = pd.DataFrame(All)


writer = pd.ExcelWriter('1.xlsx')
df.to_excel(writer, float_format='%.5f')
writer.save()
writer.close()
```

find_max.py

```python
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

df = pd.read_excel("max_find.xlsx",header=None)
data = np.array(df)
b = np.zeros((50, 24))
for n in range(50):
    a = np.zeros((1, 24))
    for i in range(10):
        a = np.vstack((a,data[n, 0+i*24:24+24*i]))

    a=a.T
    print(a)
```

```
    for x in range(24):
        b[n,x]=a[x].max()

df = pd.DataFrame(b)


writer = pd.ExcelWriter('2.0.xlsx')
df.to_excel(writer, float_format='%.5f')
writer.save()
```