

基于多目标规划的原材料订购与运输方案制定

摘要

随着建筑业等相关行业的发展，生产企业的产量保障需求不断提高，订购量与供货量的数值不匹配、转运中的原材料损耗都有可能导致产量的变动，因此研究未来的订货方案及转运方案能降低产量的不稳定变动，对于生产行业的运营及建筑业的推动具有一定的实际意义。

对于问题一，文章结合数据与文献基础，以市场平均占比、供货商平均供货完成比、供货量稳定性、供货商平均供货准确率、每个供货商的性价比、平均订货量、平均供货量 7 个特征指标为出发点，组成评价指标体系，再通过熵权法求取权重，结合 TOPSIS 法建立综合评价体系，对各供货商进行评分分析，得到对于生产企业最重要的 S229、S361、S275、S268、S329 等 50 家供货商。

对于问题二，首先对于问题有关的供货情况完成度、货运损耗率、市场占比 3 个相关指标进行平稳性检验，发现了数据的周期变化规律，然后我们使用 ARIMA 模型预测了未来 24 周的数据情况，结合预测结果，做出库存储备、运输关系、准确性预测等相关约束，并以最少的供货商选择为目标函数，建立 0-1 目标规划模型，解得最少的供货商选择数量为 39 家。之后我们更改目标函数为订购成本最低和转运损耗最少，将 39 家供货商新增为供货商数量约束建立多目标规划，通过分层序列法，解得最低的订购成本为 290339 元，最低的转运消耗为 3159.25m^3 。最后做出订购量的三维坐标图，根据其分布验证模型的合理性，并将 39 家重要供货商通过综合评价模型进行打分，与问题一中的 50 家供货商进行对比分析，验证求解的准确性。

对于问题三，我们以多采购 A 类原材料和少采购 C 类原材料、转运损耗率尽量低作为目标函数，并对问题二所建多目标规划模型补充原材料运达货物、实际产能、实际库存量约束建立模型，求得多采购 A 类原材料和少采购 C 类原材料情况下，最低转运及仓储成本为 295038.4 元，最低损耗率为 4105.6m^3 。最后做出订购量的三维坐标图、成本及损耗量相关数据表，与问题二结果进行对比，得出问题三的订购方案不如问题二，并对方案效果差的原因进行分析。

对于问题四，因为目标变为周产量的提高，所以我们首先将订购商的范围由 50 家扩大到 402 家，以问题二所建模型为基础，更改存储量、产能关系、实际产能约束，以提高后的周平均产量为目标函数，进行模型的求解，解得产量平均值为 31566.37m^3 ，相比原生产产能提高了 3366.37m^3 。

关键字：时间序列；TOPSIS 综合评价；多目标规划；原材料订购与运输

一、问题的背景与重述

1.1 问题的背景

随着我国建筑相关行业的发展与体制的完善，建筑业已经成为国民经济的重要组成部分之一，为保障该行业日益增高的设计、施工、装饰等需求，其生产企业对于产品原材料的供应保证要求日益提高，但生产企业与原材料供应商和运输商间，往往存在不可避免的材料损失，因此对于原材料的订购和转运的方案进行研究以保障产品的正常生产进程具有较为重要的数学意义与现实意义。

对于材料损失现象，其主要因素为：生产企业的订货量与供应商的供应量不对等、运输过程中存在损耗率两方面，从生产企业的计划制定到最终原材料到达生产企业仓库的流程图如下：

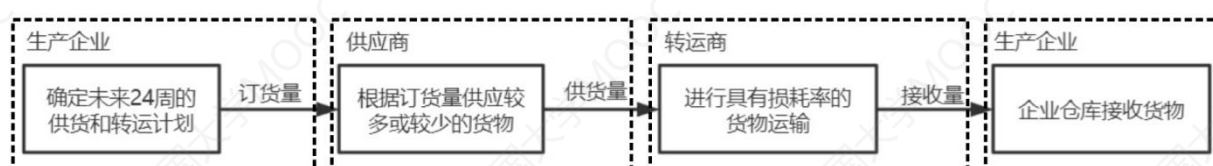


图 1-1 原材料订购与运输流程图

1.2 问题的重述

现有一生产企业欲对未来 24 周的原材料预订与转运策略提前进行制定，其生产产能及各类原材料的消耗和成本数据（假设 C 类原材料采购费用比例和运输储存费用比例为 100%）如下表：

表 1-1 生产产能及各类原材料的消耗和成本数据表

	单位体积产品消耗量(m^3)	材料采购费用比例	运输储存费用比例
A 类原材料	0.6	120%	100%
B 类原材料	0.66	110%	100%
C 类原材料	0.72	100%	100%
产品周产能(m^3)	28200		

假设生产企业将收购全部供货商所提供的供货量，每家转运商的转运量均为 6000 立方米/周，一家供应商提供的原材料尽可能由一家转运商对应。若要满足至少两周库存，根据实际和并结合附件 1~2 中的所给的该企业近 5 年 402 家原材料供应商的订货量和供货量数据，及 8 家转运商的运输损耗率数据，解决下述问题：

问题一：量化分析 402 家供应商的供货特征，按重要性的大小选出最重要的 50 家供应商，并给出结果。

问题二：在满足生产的情况下，求最少的供应商选择情况，并制定消耗最少的转运方案。

问题三：重新制定购买和转运方案，更改 A 类原材料和 C 类原材料的购买比例，并减少运输损耗，以实现产品原材料购入的成本。

问题四：根据实际原材料订购转运情况分析产能提升的最大提升量，制定未来 24 周的订购和转运方案。

二、问题分析

针对问题一，通过数据依据与文献基础，结合现实情况，以生产企业的角度为出发点，选取能够衡量供货商重要性的平均订货量、市场平均占比、供货商平均供货完成比、供货量稳定性、供货商平均供货准确率、每个供货商的性价比、供货量平均值 7 个特征指标，将其作为评价模型的评价指标，并采取符合使用条件的 TOPSIS 法进行综合评价模型的建立，对各供货商进行打分评价，排序得到符合题目要求的 50 家供货商。

针对问题二，通过数据可看出其变化规律满足经济市场的周期性变化，故我们结合问题一所设立的评价指标，使用 ARIMA 模型，预测能够满足题目要求的供货情况完成度、货运损耗率、市场占比指标，并根据预测结果求解相关约束条件，建立 0-1 规划模型求最少的供货商数量；接着只改变目标函数，建立多目标规划模型，对低成本和地损耗进行求解，并与第一问中的结果进行实施效果分析。

针对问题三，按题目要求，其目标函数为尽量多的使用 A 类型材料与尽量少的使用 C 类型材料、转运商的转运损耗率尽量少，对问题二中的模型添加新的约束，建立新目标函数的多目标规划模型，并进行求解，最后将结果与问题二所得结果进行对比，分析该方案的实施效果。

针对问题四，为建立以每周平均产能为目标函数的规划模型，我们从所有可选择的供货商中选择货源，即供货商数量为 402 家，保持其他约束不变，对问题二所建模型进行求解。

三、模型假设

- 1、假设所预测的 24 周发生在附录表中所给的 240 周刚刚结束之后。
- 2、假设生产企业仓库初始没有原材料库存。
- 3、假设附录数据的周期性变化与真实情况下经济市场的周期变化一致。
- 4、假设企业的周产量和周库存量不恒定，可进行合理的浮动调整。

四、符号说明

符号	含义	单位
a_i	未来 24 周内生产企业与第 i 各供货商是否发生交易($i=1,2,3,\dots,50$)	/
c_{ij}	第 j 周生产企业与供货商 i 是否发生交易 ($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)	/
$b_{ij}^{(z)}$	第 j 周内供货商 i 是否选择转运商 z 进行运输 ($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)($z=1,2,3,\dots,8$)	/
$q_{ij}^{(o)}$	第 j 周内供货商 i 的供货量($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)($o=1,2$)	m^3
$d_{ij}^{(z)}$	第 j 周内选择在供货商 i 处购买原材料并通过转运商 z 进行运输	/

	$(i=1,2,3,\dots,50)(j=1,2,3,\dots,24)(z=1,2,3,\dots,8)$	
$p_j^{(z)}$	第 j 周原材料通过转运商 z 运输的预测接收率 $(j=1,2,3,\dots,24)(z=1,2,3,\dots,8)$	/
$n_j^{(z)}$	第 j 周原材料通过转运商 z 运输的预测损耗率 $(j=1,2,3,\dots,24)(z=1,2,3,\dots,8)$	/
S_j	第 j 周运达生产仓库的原材料能够转换成产能产量($j=1,2,3,\dots,24$)	m^3
m_i	第 i 家供货种类的原材料转换率($i=1,2,3,\dots,50$)	/
D_j	第 j 周原材料转换成生产产能的剩余量($j=1,2,3,\dots,24$)	m^3
T_j	生产企业第 j 周的实际产能($j=1,2,3,\dots,24$)	m^3
y_{ij}	第 j 周内供货商 i 提供的实际供货量($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)	m^3
g_i	供货商 i 的最大供货量($i=1,2,3,\dots,50$)	m^3
h_{ij}	第 j 周内供货商 i 的预测完成度($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)	/
x_{ij}	第 j 周内供货商 i 的订购量($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)	m^3
V_{ij}	第 j 周内供货商 i 的预测订购占比($i=1,2,3,\dots,50$)($j=1,2,3,\dots,24$)	/

五、模型的建立与求解

5.1 问题一的建模与求解

经检验附录所给数据准确性较高，无明显错误，故对给出数据直接进行处理，首先分析得到所有具有合理性的可反映供货商供货情况的评价指标，基于指标类型求解各指标的权重，以此建立综合评价模型，对所有的供货商进行打分处理，排序挑选得分最高的前 50 名作为最能保障企业生产的 50 家最重要的供应商。

5.1.1 综合评价模型的建立

(1) 评价指标的选取

对于生产企业而言，供应商的诚信、品牌、对于订货量的实际供货情况等因素，均为判断是否选择该供应商的标准，故基于附录所给数据类型及查阅相关文献[1]，我们基于 5 年共 240 周的时间周期，以生产企业的思考角度分析，选取了符合实际发展的平均订货量、供货商平均供货完成比等 7 个特征指标作为评价指标以建立综合评价模型：

1) 平均订货量：

即某供货商在发生交易的周数内所接收到的订货量的平均值，该平均值能表现出生产企业对于该供货商供货能力的认可程度，反应出供货商供货的历史平均水平。

2) 平均供货量：

即某供货商在发生交易的周数内实际给出的供货量的平均值，该平均值能体现出供货商供货情况的平均水平。

3) 供货商平均供货完成度：

因实际的供货量与订货量间总存在数量上的不对等情况，故某供货商在发生交易的周数内的供货完成度能在一定程度上反应该供货商的供货保障能力，其比值越高，证明供货商对于供货量的保障越强：

$$\text{供货完成度} = \frac{\text{实际供货量}}{\text{生产企业订货量}} \quad (1)$$

4) 供货量稳定性：

供货商的供货量的变化幅度稳定情况也是衡量其保障能力的重要指标，其所得结果越低，证明供货商供货量与订购量差距较大的概率较低，反应一段时间内供货商供货的平均水平。首先求得某供货商供货量的标准偏差(S)，再通过标准偏差求出衡量供货量稳定性的变异系数(C.V)：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$C.V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3)$$

n 为 240 周内该供应商发生交易的总周数， x_i 、 \bar{x} 为第 i 周的供货量和平均供货量。

5) 每个供货商的性价比：

我们假设 C 类原材料的采购单价为标准 1，则 A 类和 B 类原材料的采购单价分别为 1.2 和 1.1，对于具有同样供货实力的供货商，因售卖原材料的不同，生产企业的订货量也会不同：

$$\text{性价比} = \frac{1}{\text{量化采购单价} \cdot \text{单位体积产品消耗量}} \quad (4)$$

6) 市场平均占比：

即某一周生产企业在某供货商进行某种原材料订购数量，与预订该类原材料的总数量之比的平均值，市场平均占比越大，越能证明该生产企业选择与该供货商进行交易所占的比重越大，该供应商越可能是行业内实力较强的龙头企业。

$$\text{占比平均值} = \frac{\text{该周与某企业发生交易的交易量}}{\text{该周购买该类原材料的总交易量}} \quad (5)$$

7) 供货商平均供货准确率：

供货商平均供货准确率为实际供货量与订货量的相近程度的平均值，供货准确率的数值越大，证明供货商供货数量更精准，其管理运营模式可能越完善，信誉度越高：

$$\text{供货准确率} = 1 - \left| \frac{\text{生产企业订货量} - \text{实际供货量}}{\text{生产企业订货量}} \right| \quad (6)$$

按上述指标介绍顺序，可假设 7 种评价指标为 $t_1 \sim t_7$ ，则供应商变化与指标间的对应结果如下表（所有数据结果见支撑材料）：

表 5-1 各供应商平均指标数值表

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
S001	0.9625	0.20417	0.3374	3.5703	1.3774	1.28E-05	0.0979
S002	1.2875	1.1375	0.9197	4.3836	1.3889	7.08E-05	0.2675
S003	59.4958	54.74167	1.0598	1.3940	1.3889	0.0033	0.4745
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
S401	0.8333	0.2792	0.5151	3.4701	1.3774	1.60E-05	0.3033
S402	3.9917	0.1458	0.1194	9.2393	1.3774	8.22E-06	0.0646

由表格结果可看出,其中 t_5 指标中 A 类原材料与 C 类原材料结果相等,故该指标只有两种情况数值。而对于 t_4 指标而言,随供货商重要性的提高,其指标逐渐变小,这与其他指标的变化方向相反,故取其倒数作为指标数值,以方便后续的权重分析。

(2) 熵权法求权重

基于实际分析,我们得到了以上 7 个相互独立的评价指标,根据各指标的分散程度,可采用熵权法,利用信息熵求解得到各特征评价指标的具体熵权值,所得数值越大,其指标权重就越大,从而对后续综合评价模型的建立提供权重基础。

1) 熵权法的解法步骤

首先为消除不同指标间因数量级与量纲产生的差异,我们对所得指标数据进行归一化处理,建立处理后的矩阵 T , 归一化处理如下:

$$T_{ij} = \frac{t_{ij} - \max(t_{ij})}{\max(t_{ij}) - \min(t_{ij})} \quad (7)$$

i 为 402 家供货商的序号($i=1,2,3,\dots,402$), j 为 7 个评价指标的序号($j=1,2,3,\dots,7$), t_{ij} 为 j 指标下第 i 家供货商的归一化结果,由此得到经标准化处理的矩阵:

$$T = \begin{pmatrix} t_{1,1} & \cdots & t_{1,7} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ t_{i,1} & \cdots & t_{i,7} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{402,1} & \cdots & t_{402,7} \end{pmatrix} \quad (8)$$

得到标准化矩阵后,为得到不同的信息熵,则先求解对应的不同指标下不同供货商的概率,建立概率矩阵 W , 概率求解如下:

$$p_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{i=1}^{402} t_{ij}} \quad (9)$$

其中 p_{ij} 表示第 j 指标下第 i 家供货商所占的比重,由此得到概率矩阵 P 如下:

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & \cdots & p_{1,7} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{i,1} & \cdots & p_{i,7} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{402,1} & \cdots & p_{402,7} \end{pmatrix} \quad (10)$$

根据所求的概率矩阵，可求得 j 指标下的信息熵为 r_j 与第 j 项的变异系数 I_j ：

$$r_j = -\frac{1}{\ln 402} \sum_{i=1}^{402} p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (11)$$

$$I_j = 1 - r_j \quad (12)$$

归一化得到有关于各个指标的权置系数 W_j 即为熵权。

$$W_j = \frac{I_j}{\sum_{j=1}^7 I_j} \quad (13)$$

2) 权重求解结果

通过上述熵权法可求得 $t_1 \sim t_7$ 共 7 个指标的指标权重如下表：

表 5-2 评价指标权重数值表

评价指标	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
权重	0.1144	0.1766	0.1529	0.1686	0.1061	0.1062	0.1753

由上述数据可看出，7 种评价指标权重数值较均衡，对于供货商重要性的影响平均供货值指标(t_2)最大，每个供货商的性价比(t_5)最小，基于评价指标的熵值，我们选择 TOPSIS 法进行综合模型的建立。

(3) TOPSIS 法建立综合评价模型

利用 TOPSIS 法建立综合评价模型，其算法思想为：先确定两个理想样本点，再通过欧氏距离与熵权结果进行分析，将各样本按照综合评分值进行排序。这种方法能充分利用原始数据的信息，其结果能精确地反映各评价方案之间的差距[2]，其具体步骤如下：

根据归一后处理后的数据矩阵确定最大的理想样本向量矩阵 T^+ ：

$$T^+ = (T_1^+, T_2^+, \cdots, T_7^+) = (\max\{t_{1,1}, t_{2,1}, \cdots, t_{402,1}\}, \cdots, \max\{t_{1,7}, t_{2,7}, \cdots, t_{402,7}\}) \quad (14)$$

以及最小的理想样本向量矩阵 T^- ：

$$T^- = (T_1^-, T_2^-, \cdots, T_7^-) = (\min\{t_{1,1}, t_{2,1}, \cdots, t_{402,1}\}, \cdots, \min\{t_{1,7}, t_{2,7}, \cdots, t_{402,7}\}) \quad (15)$$

此时求解被评价供应商与理想样本向量矩阵间的最大距离 Q_i^+ 和最小距离 Q_i^- ：

$$Q_i^+ = \sum_{j=1}^7 W_j * (T_j^+ - t_{ij})^2, Q_i^- = \sum_{j=1}^7 W_j * (T_j^- - t_{ij})^2 \quad (16)$$

其中 W_j 为上述熵权法所得权重，则我们可以得出第 i 家供应商的评判得分 G_i ：

$$G_i = \frac{Q_i^-}{Q_i^+ + Q_i^-} \quad (17)$$

至此综合评价模型建立完成，评判得分 G_i 及为评判供应商重要性和保障能力量化分析的综合得分。

5.1.2 最重要供货商的结果分析

对 402 家供应商逐一进行评判打分，按照由大到小的顺序进行排序，即可得到能够得分最高的前 50 家供货商如下表（全部得分情况见支撑材料）：

表 5-3 前 50 家供货商得分排序表

供货商	评价得分	供货商	评价得分	供货商	评价得分	供货商	评价得分	供货商	评价得分
S229	0.894	S356	0.635	S307	0.514	S126	0.468	S314	0.44
S361	0.889	S266	0.616	S108	0.514	S067	0.462	S114	0.439
S275	0.787	S352	0.61	S218	0.498	S362	0.457	S076	0.439
S268	0.781	S294	0.599	S244	0.495	S189	0.456	S221	0.438
S329	0.778	S143	0.56	S395	0.495	S005	0.45	S379	0.437
S194	0.737	S365	0.557	S123	0.491	S239	0.45	S178	0.436
S306	0.715	S348	0.537	S080	0.489	S003	0.449	S351	0.436
S282	0.696	S340	0.528	S037	0.484	S213	0.447	S086	0.435
S151	0.685	S284	0.528	S374	0.477	S007	0.445	S273	0.435
S247	0.676	S140	0.517	S131	0.469	S053	0.444	S342	0.433

上述表格中的 50 各供货商编号即对应最能够保障生产企业生产的 50 家供货商，其重要性最大。

5.2 问题二的建模与求解

通过数据分析可知，数据各数值的变化符合经济市场的周期性变化规律，但因未来 24 周的订货量及供货商数据未知，我们结合问题一相关评价指标，使用时间序列模型预测供货情况完成度、货运损耗率、市场占比，结合预测结果，求解相关约束条件，建立求解最少的供货商选择数量及最经济的原材料订购方案的规划模型，并对结果进行整理分析。

5.2.1 时间序列预测模型的建立与结果分析

因各供应商的供应量具有随机性与不确定性，故我们选择对 50 家供货商未来 24 周的供货情况完成度、货运损耗率、市场占比情况进行预测分析，首先我们对数据的平稳性进行检验，对于平稳的时间序列，其在任意点处随某一固定点波动为：

$$E(X_t) = u \quad (18)$$

时间序列任意部分的波动与整体波动趋势为：

$$\text{var}(X_t) = \sigma^2 \quad (19)$$

时间序列任意两部分的相关性只与时间间隔有关：

$$COV(X_t, X_{t+k}) = r_k \quad (20)$$

$$r_k = E(x_i - u)(x_{i+k} - u) \quad (21)$$

其中 r_k 为自相关系数， u 为 x_t 的平均值，基于以上条件，即可证明序列为平稳时间序列。通过检验，我们发现各供货商的数据均未满足平稳性，以货运损耗率为例，任取两组预测结果图如下：

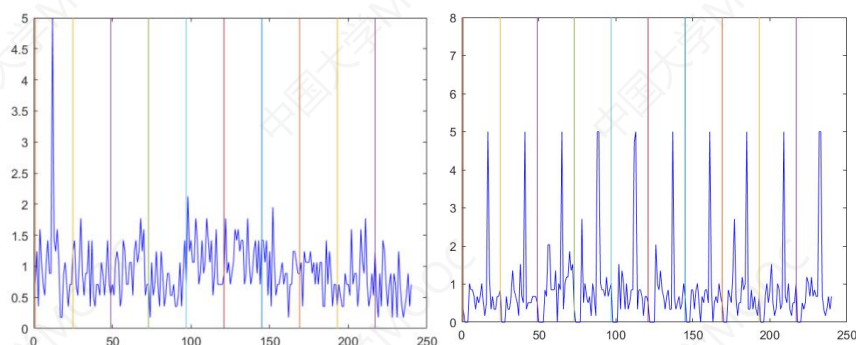


图 5-1 任取两组货运损耗率检验情况

分析图像可发现，货运损耗率的变化随时间产生周期性变化，而 ARIMA 模型能将具有季节性变化的非平稳时间序列转化为平稳时间序列，故针对 50 个供货商的时间数据建立 ARIMA 模型[3]。

(1) ARIMA 模型的建立

针对已有数据，我们先对 50 组数据进行季节差分运算，再检验其平稳性，发现各供货商的供货情况完成度、货运损耗率、市场占比均为平稳序列，我们仍以货运损耗率为例，使用数学软件 MATLAB 的 adftast 工具箱对其进行平稳性检验，检验结果如下表：

表 5-4 平稳性检验结果

	转运商 1	转运商 2	转运商 3	转运商 4	转运商 5	转运商 6	转运商 7	转运商 8
h	1	1	1	1	1	1	1	1
pValue	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

上述数据表表明，季节拟合后平稳性较好，基此我们建立 ARMA 模型进行预测：

若 x_t 可表示为之前 p 期历史数据的线性组合，并受到随机扰动的影响，则自回归 AR 模型部分为：

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (22)$$

其中 $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ 称为白噪声， $\varphi_1 \dots \varphi_p$ 为常数。

若 x_t 可以表示为本期以及之前 q 期的随机扰动 ε_t 的线性组合，则移动平均 MA 模型部分为：

$$x_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (23)$$

其中 $\theta_1 \dots \theta_q$ 为常数。

又因为 AR, MA 模型均为关于 x_t 的线性模型, 故将两模型线性组合, 得到自回归移动平均模型 ARMA 模型

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (24)$$

(2) 预测结果及分析

基于上述 ARIMA 模型, 对 50 家供货商未来 24 周供货情况完成度、货运损耗率、市场占比进行预测, 仍任取一组货运损耗率预测结果:

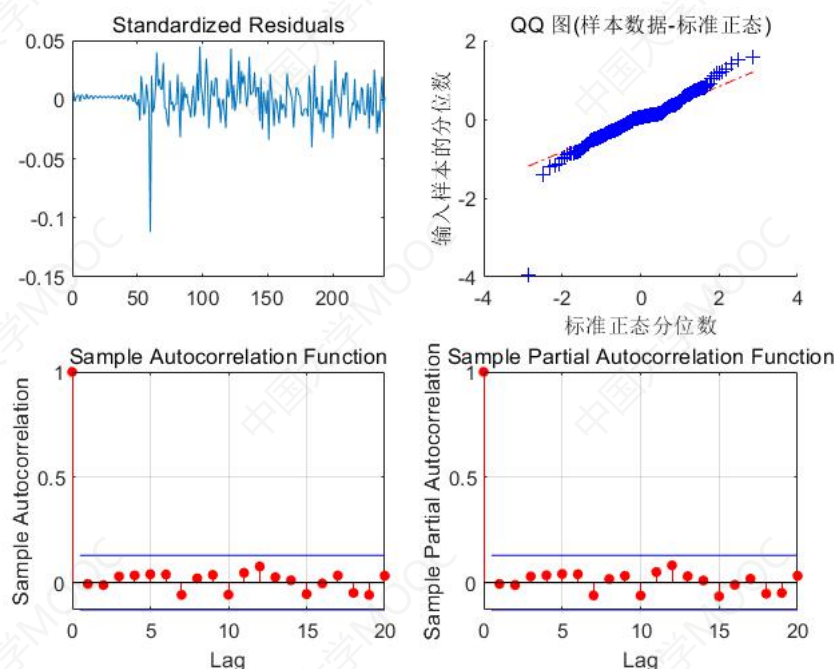


图 5-2 模型预测结果分析

分析图像可知, 预测数据标准偏差较小, qq 图拟合结果理想, 自相关系数及偏置相关系数在 k 的一阶后拖尾, 说明 AR 模型和 MA 模型拟合度较好, 可使用其预测结果进行约束建立。

5.2.2 最少供货商规划模型

基于处理得到的预测数据, 我们可以建立求解最少供货商选择的 0-1 目标规划模型:

(1) 决策变量

1) 未来 24 周内生产企业与供货商 i 是否发生交易。

$$a_i = \begin{cases} 0 & \text{未发生交易。} \\ 1 & \text{发生过交易。} \end{cases} \quad (25)$$

2) 第 j 周内供货商 i 是否选择转运商 z 进行运输。

$$b_{ij}^{(z)} = \begin{cases} 0 & \text{未选择转运商 } z \text{ 进行运输。} \\ 1 & \text{选择了转运商 } z \text{ 进行运输。} \end{cases} \quad (26)$$

3) 第 j 周内供货商 i 的供货量等级控制变量。

$$q_{ij}^{(1)} = \begin{cases} 0 & \text{供货量小于等于 6000。} \\ 1 & \text{在供货量大于 6000。} \end{cases} \quad (27)$$

$$q_{ij}^{(2)} = \begin{cases} 0 & \text{供货量小于等于 12000。} \\ 1 & \text{供货量大于 12000。} \end{cases} \quad (28)$$

4) $d_{ij}^{(z)}$: 第 j 周供货商 i 在转运商 z 的运货量。

其中 i 为第 i 个供货商($i=1,2,3,\dots,50$), j 为未来的第 j 周($j=1,2,3,\dots,24$), z 为第 z 家转运商($z=1,2,3,\dots,8$)。

5) x_{ij} : 生产企业第 j 周对供货商 i 的订购量。

(2) 目标函数

我们以未来 24 周内生产企业选择供货商的数量最少为目标函数:

$$\min \sum_i^{50} a_i \quad (29)$$

(3) 约束条件

1) 库存产能增加约束: 新到生产仓库的原材料能够转换成生产产能的量。

$$S_j = \sum_i^{50} \sum_z^8 m_i p_j^{(z)} b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} \quad (30)$$

$$p_j^{(z)} = 1 - n_j^{(z)} \quad (31)$$

其中 $p_j^{(z)}$ 为在第 j 周原材料通过转运商 z 运输的预测接收率, $n_j^{(z)}$ 为在第 j 周原材料通过转运商 z 运输的预测损耗率, S_j 为在第 j 周运达生产仓库的原材料能够转换成产能产量, m_i 为第 i 家供货种类的原材料转换率:

$$m_i = \begin{cases} 1/0.6, & \text{(转运商 i 供货种类为 A 类原材料)} \\ 1/0.66, & \text{(转运商 i 供货种类为 B 类原材料)} \\ 1/0.72, & \text{(转运商 i 供货种类为 C 类原材料)} \end{cases} \quad (32)$$

2) 未来第 j 周库存约束: 未来第 j 周仓库库存的原材料能够转换成生产产能的量。

$$D_{j+1} = D_j + S_j - T_j, j \leq 23 \quad (33)$$

其中 D_j 为第 j 周原材料转换成生产产能的剩余量; T_j 为第 j 周的实际产能。

3) 未来第 1 周库存约束: 未来第 1 周仓库仓储的原材料能够转换成生产产能的量。

$$D_1 = S_1 + S_0 - T_1 \quad (34)$$

其中 S_0 为仓库内初始原材料转换成生产产能的剩余量。

- 4) **库存储备约束：**保证仓库具有持不少于满足两周生产需求的原材料库存量。

$$D_i \geq 2 \times 28200 \times l_1 \quad (35)$$

其中 l_1 为库存量的变化裕度； l_1 能够使库存存储具有一定的浮动空间，更加符合实际情况。

- 5) **总实际产能约束：**企业 24 周的实际产能之和需达到一定指标。

$$\sum_j^{24} T_j \geq 24 \times 28200 \times l_2 \quad (36)$$

其中 l_2 能保证总产能的浮动变化。

- 6) **周产能约束：**保证企业每周的产能保持在一定范围内。

$$28200 \times (1 - l_3) \leq T_j \leq 28200 \times (1 + l_3) \quad (37)$$

其中 l_3 能够保障周产能的浮动变化。

- 7) **运输关系约束：**不同运输方式的运输量与实际供货量间的关系。

$$\sum_z^8 b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} = y_{ij} \quad (38)$$

其中 y_{ij} 在第 j 周内供货商 i 提供的实际供货量。

- 8) **最大运输量约束：**每家转运商的转运体积有最大限制。

$$\sum_i^{50} b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} \leq 6000 \quad (39)$$

- 9) **运货量范围限制：**供货商的供货量有最大与最小限制。

$$6000 \cdot (q_{ij}^{(1)} + q_{ij}^{(2)}) \leq y_{ij} \leq a_i g_i \quad (40)$$

其中 g_i 为供货商 i 的最大供货量。由 $q_{ij}^{(1)}, q_{ij}^{(2)}$ 两个 0-1 变量决定转运商运输的运货量范围。

- 10) **转运商数量约束：**转运商的数量具有最大限制。

$$\sum_z^8 b_{ij}^{(z)} \leq q_{ij}^{(1)} + q_{ij}^{(2)} + 1 \quad (41)$$

- 11) **供货量现实约束：**供货量与现实的供货量接收情况和供货完成度有关。

$$r_i h_{ij} x_{ij} = y_{ij} \quad (42)$$

其中 r_i 为供货商*i*接受生产企业的订货的概率，因诚信等现实问题，供货商有可能拒绝与生产企业进行交易该概率由统计可得； h_{ij} 为第*j*周内供货商*i*的预测完成度，即问题一中的 t_3 指标； x_{ij} 为第*j*周内供货商*i*的订购量。

12) 总订购量约束：原材料的订购总量为向各供货商订购的数量之和。

$$U_j = \sum_i^{50} x_{ij} \quad (43)$$

其中 U_j 为第*j*周三种原材料订购的总量。

13) 预测准确性约束：实际的订购量与预测的订购量相差不能过大，使得实际的订购占比与预测占比有最大限制。

$$\left| \frac{x_{ij}}{U_j} - \frac{V_{ij}}{\sum_i^{50} V_{ij}} \right| a_i \leq l_4 \quad (44)$$

其中 V_{ij} 为第*j*周内供货商*i*的预测订购占比； l_4 为实际订购占比与预测订购占比相差的最大裕度值。

依据上述条件，0-1 目标规划模型为：

$$\begin{aligned} & \min \sum_i^{50} a_i \\ & \text{s. t. } \begin{cases} S_j = \sum_i^{50} \sum_z^8 m_i p_j^{(z)} b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} \\ p_j^{(z)} = 1 - n_j^{(z)} \\ D_{j+1} = D_j + S_j - T_j, j \leq 23 \\ D_1 = S_1 + S_0 - T_1 \\ D_i \geq 2 \times 28200 \times l_2 \\ \sum_j^{24} T_j \geq 24 \times 28200 \times l_2 \\ 28200 \times (1 - l_3) \leq T_j \leq 28200 \times (1 + l_3) \\ \sum_z^8 b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} = y_{ij} \\ 6000 \cdot (q_{ij}^{(1)} + q_{ij}^{(2)}) \leq y_{ij} \leq a_i g_i \\ \sum_z^8 b_{ij}^{(z)} \leq q_{ij}^{(1)} + q_{ij}^{(2)} + 1 \\ \sum_i^{50} b_{ij}^{(z)} d_{ij}^{(z)} \leq 6000 \\ \sum_i^{50} x_{ij} = U_j \\ r_i h_{ij} x_{ij} = y_{ij} \\ \left| \frac{x_{ij}}{U_j} - \frac{V_{ij}}{\sum_i^{50} V_{ij}} \right| a_i \leq l_3 \\ d_{ij}^{(z)} \geq 0 \\ a_i, b_{ij}^{(z)}, q_{ij}^{(1)}, q_{ij}^{(2)} \in \{0,1\} \end{cases} \quad (45) \end{aligned}$$

(4) 0-1 目标规划模型的求解与分析

根据上述模型，通过 LINGO 直接进行编程求解，可得到按照约束条件满足度排序的供货商：

表 5-5 满供货商足度排序表

供货商 1-10	S229	S361	S275	S268	S329	S194	S306	S282	S151	S247
供货商 11-20	S356	S266	S352	S294	S143	S365	S348	S340	S284	S140
供货商 21-30	S307	S108	S218	S244	S395	S123	S080	S037	S374	S131
供货商 31-39	S126	S189	S005	S003	S007	S114	S379	S086	S273	

由表格数据可知，该企业应至少选择 39 家供应商供应原材料才可能满足生产的需求。

5.2.3 转运方案的建模与求解

为了得到定未来 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，我们以最经济的原材料订购和转运损耗最少为目标函数，仍采用 6.2.2 中模型的约束条件与决策变量，并以最少供货商选择为新约束条件，建立多目标规划模型。

(1) 多目标规划模型建立

1) 目标函数：

原材料订购最经济：

$$\min \sum_i^{50} \sum_j^{24} s_i y_{ij} \quad (46)$$

转运方案损耗最少：

$$\max \sum_i^{50} \sum_j^{24} m_i y_{ij} - \sum_j^{24} S_j \quad (47)$$

其中 s_i 为供货商 i 所售卖原材料的单位价格； y_{ij} 第 j 周内供货商 i 提供的实际供货量； m_i 为第 i 家供货种类的原材料转换率； S_j 为在第 j 周运达生产仓库的原材料能够转换成生产产能的量。

2) 新增约束：选取供货商的数目有最大限制。

$$\sum_i^{50} a_i \leq A^* \quad (48)$$

其中 A^* 为 6.2.2 中所求得的最少供货商数量。

由上述条件可得到多目标规划模型为（因所占篇幅过长，故我们只列出目标函数与新增的约束条件，其他约束与模型（45）中模型相同）：

$$\begin{aligned}
& \min \sum_i^{50} \sum_j^{24} s_i y_{ij} \\
& \max \sum_i^{50} \sum_j^{24} m_i y_{ij} - \sum_j^{24} S_j \\
& s. t \begin{cases} \sum_i^{50} a_i \leq A^* \\ \min \sum_i^{50} \sum_j^{24} s_i y_{ij} \end{cases} \quad (49)
\end{aligned}$$

(2) 多目标规划模型求解

基于该目标规划模型，我们采用分层序列法对目标函数进行求解，把两个目标函数按其重要程度进行排序，先求最重要目标的最优解，再求次重要目标的最优解，从而求得满足两个目标的最优解。

1) 订购成本最低求最优解

原材料的订购成本作为后续供货商选择及转运商运输的基础，其重要性大于转运方案损耗最少，我们首先将其作为目标函数，此时可以求得最低的订购成本为 290339 元。

2) 转运损耗最小求最优解

把最低的订购成本 290339 元作为最大成本约束，将转运方案损耗最少作为目标函数，此时求取最优解，可以求得最低的转运消耗为 $3159.25m^3$ 。

根据以上模型求解，可得到生产企业在未来 24 周内选择 39 家供货商的具体订购量，其订购量数据表格：

表 5-6 订购量数据表

	1	2	3	...	22	23	24
S229	11067.44	0	0	...	0	0	0
S361	9313.932	0	0	...	0	0	0
S275	3453.756	0	0	...	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S86	3776.941	0	0	...	203.062	203.0623	203.062
S273	1817.064	0	2374.088	...	0	0	0

根据订购量绘制三维坐标图如下：

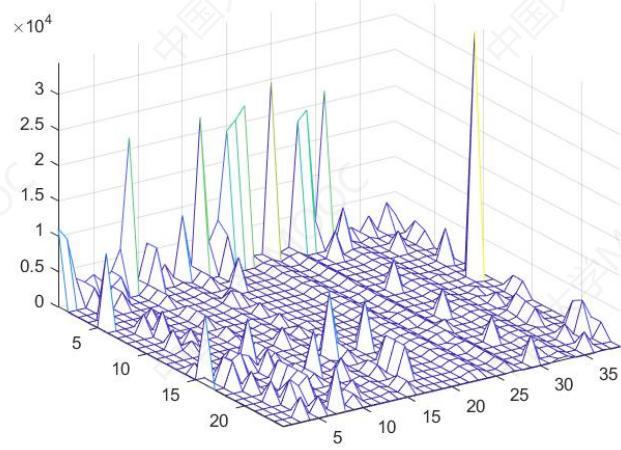


图 5-3 订购量数据三维坐标图

观察上图，我们可发现求解的订购方案较均匀，并且集中于特定供货商，符合模型建立约束。

(3) 最少供货商选择的分析

对于规划后的最重要的 39 家供货商，我们可将其通过问题一中的 TOPSIS 综合评价模型对其进行打分，并与问题一中的 50 家进行对比，做出对比折线图如下：

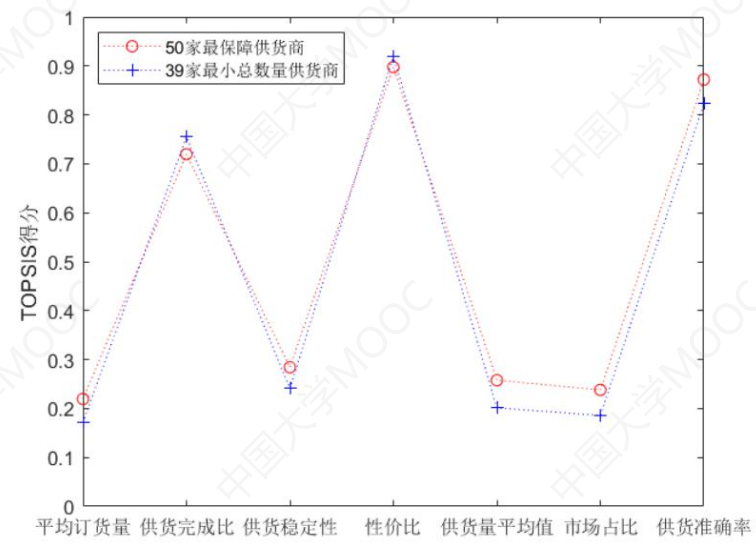


图 5-4 供货商对比图

由图像可看出，通过模型求得的 39 家最重要的供货商得分情况与问题一中的 50 家基本一致，反映出约束条件准确，对于最少供货商的求解模型真实可靠。

5.3 问题三的建模与求解

我们以尽量减少转运及仓储的成本、转运商的转运损耗率尽量少为目标函数，对原模型添加新的约束，建议全面考虑成本的新多目标规划模型，并对所得结果进行分析。

5.3.1 成本最低的多目标规划模型

(1) 目标函数:

采购 A 类型货物最少, C 类型货物最多:

$$\min \sum_i^{50} \sum_j^{24} t_{ic} y_{ij} - t_{ia} y_{ij} \quad (50)$$

转运商的转运损耗率尽量少:

$$\max \sum_i^{50} \sum_j^{24} m_i y_{ij} - \sum_j^{24} S_j \quad (51)$$

其中 t_{ik} 为判断商家售卖原材料的类型; k 为原材料种类 ($k=A, B, C$);

(2) 新增约束条件:

1) 原材料运达货物约束: 各种货物的运达数量为商家卖货种类的总量与运输接收率。

$$N_{jk} = \sum_i^{50} \sum_z^8 t_{ik} p_j^{(z)} d_{ij}^{(z)} \quad (52)$$

其中 N_{jk} 为第 j 周 k 种原材料的新增库存量; $p_j^{(z)}$ 为在第 j 周原材料通过转运商 z 运输的预测接收率。 t_{ik} 为判断商家售卖原材料的类型, 商家 i 是否售卖 k 类型原材料:

$$t_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{不售卖} k \text{ 类原材料} \\ 1 & \text{售卖} k \text{ 类原材料} \end{cases} \quad (53)$$

2) 实际产能约束: 实际产能为各类原材料产能转换之和。

$$T_j = \sum_k^3 e_k Q_{jk} \quad (54)$$

其中 e_k 为原材料 k 的产能转换比; Q_{jk} 为第 j 周 k 种原材料的消耗量; T_j 为第 j 周的实际产能。故对 A、B 两种原材料也有一定约束, 以满足产量一定时消耗库存原材料的体积最大。

$$Q_{jA} \leq \frac{\max\{(T_j - e_C W_{jC} - e_C W_{jC}), 0\}}{2}, \quad Q_{jB} \leq \frac{\max\{(T_j - e_C W_{jC}), 0\}}{2} \quad (55)$$

其中 W_{jk} 为第 j 周原材料 k 的剩余量。

3) 实际库存量约束: 实际库存量与消耗量和库存增减量有关。

$$W_{jk} = W_{j-1,k} + N_{jk} - Q_{jk}, j > 1 \quad (56)$$

通过上述条件, 建立多目标规划模型 (因所占篇幅过长, 故我们只列出目标函数与新增的约束条件, 其他约束与模型 (45) 中模型相同):

$$\min \sum_i^{50} \sum_j^{24} t_{iC} y_{ij} - t_{iA} y_{ij}$$

$$\max \sum_i^{50} \sum_j^{24} m_i y_{ij} - \sum_j^{24} S_j$$

$$s. t. \begin{cases} N_{jk} = \sum_i^{50} \sum_z^8 t_{ik} p_j^{(z)} d_{ij}^{(z)} \\ Q_{jA} \leq \frac{\max\{(T_j - e_C W_{jC} - e_C W_{jC}), 0\}}{2} \\ Q_{jB} \leq \frac{\max\{(T_j - e_C W_{jC}), 0\}}{2} \\ W_{jk} = W_{j-1,k} + N_{jk} - Q_{jk}, j > 1 \end{cases} \quad (58)$$

(3) 多目标规划模型求解与分析

1) 多采购 A 类原材料少采购 C 类原材料求最优解

原材料的订购成本作为后续供货商选择及转运商运输的基础，其重要性大于转运方案损耗最少，我们首先将其作为目标函数，解得最低转运及仓储成本为 295038.4 元。

2) 转运损耗量最低求最优解

以最低转运及仓储成本为 295038.4 元作为约束条件，将转运方案损耗最少作为目标函数，求取最优解，解得最低损耗率为 $4105.6m^3$ 。

根据以上模型求解，可得到生产企业在未来 24 周内选择 39 家供货商的具体订购量，其订购量数据表格：

表 5-7 订购量数据表

	1	2	3	...	22	23	24
S229	11067.44	0	0	...	0	0	0
S361	9313.932	0	0	...	0	0	0
S275	3453.756	0	0	...	3411.56	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S86	0	0	0	...	3761.40	0	0
S273	1817.064	0	0	...	2033.67	0	0

根据订购量绘制三维坐标图如下：

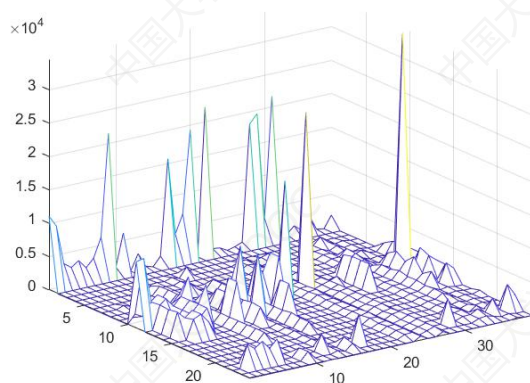


图 5-5 订购量数据图

观察上图，我们本次求解的订购方案仍较均匀，并且集中于特定供货商，符合模型建立约束。但与问题二中求解结果相比，本次订购的波动性明显较大，下面对所求的损耗率及各类费用进行对比分析。

3) 结果的比对分析

我们以 6.2.3 中所建多目标规划模型，对运输成本和储存成本进行求解，所得结果与问题三所得结果进行对比，对比数据如下表：

表 5-8 指标对比表

	问题三目标函数求解	问题二目标函数求解
损耗量	4105.6	3169.25
储存成本	295038.4	286642
运输成本	201079	181737
材料成本	330229.1	290338.7

分析表格可知，对比 4 项指标，问题二中所建模型的求解结果显然都更佳，对于损耗量和储存运输成本，问题 3 中因具有 A 类原材料与 C 类原材料的使用标准，其选择供货商和转运商的选择限制弱于问题二，导致该 3 项指标结果高于问题三；对于材料成本，问题二从 3 种原材料出发，所得最低成本更具有全局性，而问题三虽然明确说明了 A 类原材料与 C 类原材料的使用标准，却忽略了 B 类原材料与 C 类原材料的性价比关系，故所求材料成本高于第二问。对本题而言，问题二所建立的多模型效果要更好。

5.4 问题四的建模与求解

为求解产能的最大提高量，即以每周平均产能为目标函数，求取其最大值，由于所求产能为最大值，应从所有可选择的供货商中选择货源，即供货商数量为 402 家，更改约束条件，根据问题二所述模型进行改进求解。

5.4.1 规划模型的建立

(1) 目标函数：所提高的平均产能最大。

$$\max T_0 \quad (59)$$

(2) 更改约束条件

1) 存储量约束：存储量满足提高产能后的评价产能。

$$D_j \geq 2 \times T_0 \times l_1 \quad (60)$$

其中 D_j 为第 j 周储备产能， T_0 为提高后的平均产能， l_1 为产能变化裕度。

2) 产能关系约束：实际产能的累积与平均产能的累加相同。

$$\sum_j^{24} T_j \geq 24 \times T_0 \times l_1 \quad (61)$$

其中 T_j 为第 j 周的实际产能。

3) 实际产能约束：实际产能需保持在一定范围内。

$$(1 - l_3)T_0 \leq T_j \leq (1 + l_3)T_0 \quad (62)$$

基于目标函数和约束条件的更改，建立规划模型（因所占篇幅过长，故我们只列出目标函数与新增的约束条件，其他约束与模型（45）中模型相同）：

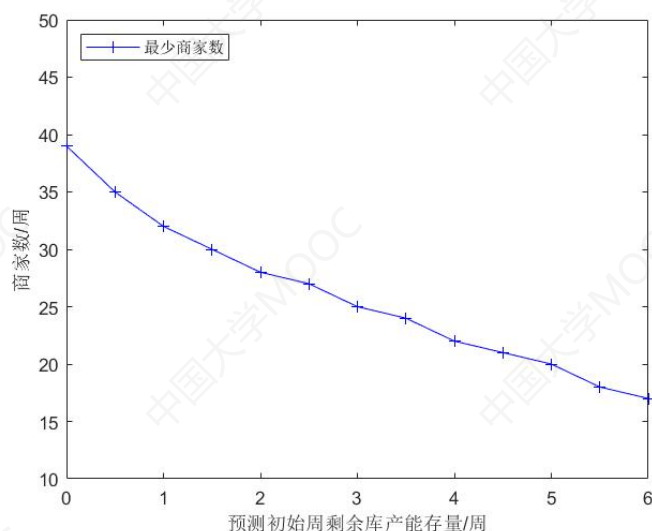
$$\begin{aligned} & \max T_0 \\ & s. t. \begin{cases} D_j \geq 2 \times T_0 \times l_1 \\ \sum_j^{24} T_j \geq 24 \times T_0 \times l_1 \\ (1 - l_3)T_0 \leq T_j \leq (1 + l_3)T_0 \end{cases} \end{aligned} \quad (63)$$

通过 LINGO 编程求解，得到产能提高后的周产量平均值为 $31566.37m^3$ ，相比原生产产能提高了 $3366.37m^3$ 。

六、灵敏度分析

由于本题求解的是未来 24 周的订单规划，但是在此之前已经存在了 240 周的生产活动了，所以我们并不能确定在未来下一周的时候有多少库存量，而下一周的库存量对订单的规划存在非常大的影响，故需要分析初始库存对未来订货量的灵敏度，在此以初始库存量对最少供货商商家数量选择进行分析为例说明其灵敏度：

考虑到初始库存的 A、B、C 三种货物的比例未知，而 A、B、C 三种货物的成本与生产效率存在差异，为了简化问题，在此假设该企业优先使用存储成本最大的材料进行生产，即生产优先度为 C、B、A，即我们只需考虑库存的产能存量，以 0.5 周为单位对存货量进行灵敏度分析得到下图：



5-6 灵敏度分析

从上图可以观察到，随着初始库存量对增加，最少需要的商家数量明显下降，可见两者存在较强的关联性，联系实际可以得知当库存量较多时企业无需进购货物或者只需进购较少的货物，该模型实际表现与事实相符，模型可靠性较好。

七、模型的评价与改进

7.1 模型的评价

7.1.1 模型的优点

- 1、从生产企业的角度进行指标选取，所选指标切合题目要求，符合实际，所建立的评价模型评价更为准确。
- 2、使用 ARIMA 模型对相关指标进行时间预测，充分吸收市场规律信息，且预测的情况较好，所建立模型考虑约束限制全面，符合现实情况，所求解的全局性较好。
- 3、模型考虑了供应商供货量超过 6000 的情况，以解决转运商转运量不足的情况。

7.1.2 模型的缺点

- 1、因模型考虑要素较多，符号定义较为复杂，维度定义较多。
- 2、未对不同目标函数进行量化分析，在改进效果的分析时，对比对结果造成一定影响。
- 3、对于未来数据的预测除时间序列外还可以使用神经网络，深度学习等方法，与 ARIMA 模型预测结果比较分析，挑选最优预测进行解题应用。

7.2 模型的改进

四问即使在最大产能为主目标的情况下引入其他目标进行分层规划，此时的解空间也非常小。此时必然会造成损耗过大，运输性价比低等问题。

可以将之前出现的材料成本，损耗，运输成本等指标作为约束加入模型，使得模型更为准确，并采用不同指标间做比的相对性指标，效果更为明显

损耗率约束：24 周内接收材料能转化的能耗与总的材料供应量比例不得过低：

$$\frac{\sum_j^{24} S_j}{\sum_i^{50} \sum_j^{24} m_i y_{ij}} \geq l_4 \quad (64)$$

其中 S_j 为每周接收的材料所能转化的能耗， m_i 为 i 供货商提供材料的能耗转化比

性价比约束：24 周内总的单位能耗的价格平均值不得过低：

$$\frac{\sum_j^{24} S_j}{\sum_i^{50} \sum_j^{24} s_i x_{ij}} \geq l_5 \quad (65)$$

s_i 为 i 供应商提供材料的单位价格。

货运成本占比约束：24 周内货运成本与材料成本的比例不得过高：

$$\frac{\sum_i^{50} \sum_j^{24} x_{ij}}{\sum_i^{50} \sum_j^{24} s_i x_{ij}} \leq l_6 \quad (66)$$

八、模型的应用与推广

本文通过 ARIMA 列模型对已知数据进行处理预测，并基于处理后的数据建立 0-1 规划模型和多目标规划模型，以解决在生产企业与供货商及转运商间存在的材料损失和成本浪费等问题。该模型的数据处理真实有效，预测结果具有一定真实性；约束条件考虑较为详细，能够反应现实情况，对各运输与材料订购相关的行业链具有一定的参考意义。

九、参考文献

- [1]李刚、金盈成、常友玲.基于变异系数赋权的上市公司信用风险评价研究.科技管理研究.东北大学秦皇岛分校.2012.11.08.
- [2]吴澎、吴群、周礼刚、陈华友.基于多目标属性权重优化的犹豫模糊语言 TOPSIS 决策方法.运筹与管理.安徽大学数学科学学院.安徽大学商学院.2021-06-25.
- [3]张文华.ARIMA 模型用于时间序列预测的算法改进与仿真.信息与电脑(理论版).唐山学院.2021-03-10

十、附录

附录一：

对第一题各种指标的求解（基于 MATLAB2020b 版本）

%% 第一题，求各指标

```
shop_data_ding=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','企业的订货量 (m3)','C2:IH403');
```

```
[~,shop_data_ding_type]=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','企业的订货量 (m3)','A2:B403');
```

```
get_data_ding=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','供应商的供货量 (m3)','C2:IH403');
```

```
[~,get_data_ding_type]=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','供应商的供货量 (m3)','A2:B403');
```

```
lost_pre=xlsread('附件 2 近 5 年 8 家转运商的相关数据.xlsx','运输损耗率 (%)','B2:IG9');
```

```
[n,p]=size(get_data_ding);
```

```
mean_ding=mean(shop_data_ding,2);%平均订货量 1
```

```
% xlswrite('T1_data.xlsx',mean_ding,'平均订货量')
```

```
finish_pre_2=cell(n,1);
```

```
finish_pre=zeros(n,1);%供货商平均供货完成比 2
```

```
for i=1:n
```

```
    finish_pre_2{i,1}=[];
```

```
    for j=1:p
```

```
        if shop_data_ding(i,j)==0
```

```
            continue;
```

```
        end
```

```
        finish_pre_2{i,1}=[finish_pre_2{i,1} get_data_ding(i,j)/shop_data_ding(i,j)];
```

```
    end
```

```
    finish_pre(i,1)=mean(finish_pre_2{i,1});
```

```
end
```

```
% xlswrite('T1_data.xlsx',finish_pre,'供货商平均供货完成比')
```

```
wd_get=std(get_data_ding,0,2)./mean(get_data_ding,2);%供货量稳定性 3
```

```
% xlswrite('T1_data.xlsx',wd_get,'供货量稳定性(综合评价时取倒数)')
```

```
wd_get=1./wd_get;
```

```
cost_per_good=[0.6,0.66,0.72];%每生产 1 单位产品需要的 A、B、C 类货物数量
```

```
price_per_item=[1.2,1.1,1];%A、B、C 类货物需要的开支（相对于 C 类价格）
```

```
xjb=cost_per_good.*price_per_item;%每种货物的性价比
```

```
shop_xjb=zeros(n,1);
```

```
for i=1:n
```

```
    if get_data_ding_type{i,2}=='A'
```

```

        shop_xjb(i,1)=xjb(1,1);
    elseif get_data_ding_type{i,2}=='B'
        shop_xjb(i,1)=xjb(1,2);
    elseif get_data_ding_type{i,2}=='C'
        shop_xjb(i,1)=xjb(1,3);
    end
end
shop_xjb=1./shop_xjb;%每个供货商的性价比 4
% xlswrite('T1_data.xlsx',shop_xjb,'每个供货商的性价比')
mean_get=mean(get_data_ding,2);%供货量平均值 5
% xlswrite('T1_data.xlsx',mean_get,'供货量平均值')
feneSum=sum(get_data_ding);
pre_fene=mean(get_data_ding./feneSum,2);%市场占比 6
% xlswrite('T1_data.xlsx',pre_fene,'市场占比')
acc_pre_2=cell(n,1);
acc_pre=zeros(n,1);%供货商平均供货准确率 7
for i=1:n
    acc_pre_2{i,1}=[];
    for j=1:p
        if shop_data_ding(i,j)==0
            continue;
        end
        acc_pre_2{i,1}=[acc_pre_2{i,1}
            abs((shop_data_ding(i,j)-get_data_ding(i,j))/shop_data_ding(i,j))];
    end
    acc_pre(i,1)=1-mean(acc_pre_2{i,1});
end
% xlswrite('T1_data.xlsx',acc_pre,'供货商平均供货准确率')

all_sq_data=[mean_ding finish_pre wd_get shop_xjb mean_get pre_fene acc_pre];
all_sq_data=(all_sq_data-min(all_sq_data))./(max(all_sq_data)-min(all_sq_data));

k=log(n);
rj=zeros(7,1);
lj=zeros(7,1);
wj=zeros(7,1);%熵权法权重系数
pij=zeros(n,p);
sum_xij=sum(all_sq_data);
for j=1:7
    for i=1:n
        pij(i,j)=all_sq_data(i,j)/sum_xij(j);
    end
    lj(j,1)=-k*sum(pij(:,j).*mylog(pij(:,j)+0.000000001));
end

```



```

end
rj=1-Ij;
for i=1:7
    wj(i)=rj(i)/sum(rj);
end
% xlswrite('T1_data.xlsx',wj,'熵权法权重系数')

T_max=max(all_sq_data);
T_min=min(all_sq_data);

Q_max=((T_max-all_sq_data).^2)*wj;
Q_min=((T_min-all_sq_data).^2)*wj;

G_i=Q_min./(Q_max+Q_min);
[value,idx]=sort(G_i,'descend');
T1_answer=idx(1:50);

xlswrite('C_data.xlsx',G_i,'供货商综合评价指标');
xlswrite('C_data.xlsx',T1_answer,'最优的 50 家供货商');
xlswrite('best_shop.xlsx',T1_answer,'最优的 50 家供货商');

function y=mylog(x)
if x<=0
    y=0
else
    y=log(x)
end

```

附录二：

对第二题规划模型数据的预处理（基于 MATLAB2020b 版本）

%% 第二题数据预处理 请按顺序运行 lingo 程序

```

clear all;
tic
shop_data_ding=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','企业的订货量 (m³) ','C2:IH403');
[~,shop_data_ding_type]=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','企业的订货量 (m³) ','A2:B403');
get_data_ding=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','供应商的供货量 (m³) ','C2:IH403');
[~,get_data_ding_type]=xlsread('附件 1 近 5 年 402 家供应商的相关数据.xlsx','供应商的供货量 (m³) ','A2:B403');

```

```
lost_pre=xlsread('附件 2 近 5 年 8 家转运商的相关数据.xlsx','运输损耗率 (%)','B2:IG9');
best_shop=xlsread('best_shop.xlsx','最优的 50 家供货商');%C_T1.m 生成
cost_per_good=[0.6,0.66,0.72];%每生产 1 单位产品需要的 A、B、C 类货物数量
price_per_item=[1.2,1.1,1];%A、B、C 类货物需要的开支（相对于 C 类价格）
```

```
[n,p]=size(get_data_ding);
```

```
A_idx=find(cell2mat(get_data_ding_type(:,2))=='A');
B_idx=find(cell2mat(get_data_ding_type(:,2))=='B');
C_idx=find(cell2mat(get_data_ding_type(:,2))=='C');
```

```
A_used=sum(get_data_ding(A_idx,:))./0.6;
B_used=sum(get_data_ding(B_idx,:))./0.66;
C_used=sum(get_data_ding(C_idx,:))./0.72;
```

```
total_produce=A_used+B_used+C_used;
length(find(total_produce>28200));%供货量总数满足周产能的周数
```

```
itis_all=ones(n,1);
itis_all(A_idx,1)=itis_all(A_idx,1)./0.6;
itis_all(B_idx,1)=itis_all(B_idx,1)./0.66;
itis_all(C_idx,1)=itis_all(C_idx,1)./0.72;
xlswrite('C_data.xlsx',itis_all,'供货商单位产能');
```

```
%% 预测未来 24 周（各供货商市场份额）
pre_fene=sum(shop_data_ding.*itis_all);%曾经的市场总份额
transfer_h=zeros(1,1);
Y=pre_fene;
diffS1_Y = Y(49:end)-Y(1:end-48);
[transfer_h,pre]=adftest(diffS1_Y);
length(find(transfer_h<1))%数据不平稳的样本量
```

```
T2_model_all=cell(1,7);%模型 AR MA res 预测数据 预测上限 预测下限
this_Y=pre_fene(1,:);
max_L = 5;
aSet = zeros(max_L, max_L);%测阶，行为 AR，列为 MA，值为 AIC
for opp = 1:max_L
    for oqq = 1:max_L
        model_this = arima('Seasonality',48,...
            'D', 0, ...
            'ARLags', [1:opp], ...
            'MALags', [1:oqq] ...
```

```

    );
    try
        [Mdl, Para, LL, ifo] = estimate(model_this,this_Y);
    catch
        aSet(opp, oqq)= inf;
        continue;
    end
    aSet(opp, oqq)= aicbic(LL, length(ifo.X), p);%测阶，行为 AR，列为 MA，值为
AIC
    end
end
c_min=min(aSet);
idx_c_min=min(find(c_min==min(c_min)));
idx_r_min=min(find(aSet(:,idx_c_min)==min(aSet(:,idx_c_min))));

model_this = arima('Seasonality',48,...
    'D', 0, ...
    'ARLags', 1:idx_r_min, ...
    'MALags', 1:idx_c_min);
[Mdl, Para, LL, ifo]=estimate(model_this,this_Y);
T2_model_all{i,1}=model_this;%模型
T2_model_all{i,2}=idx_r_min;%AR
T2_model_all{i,3}=idx_c_min;%MA

res=infer(Mdl,this_Y);

[hop,pop]=lbqtest(res);
T2_model_all{i,4}=hop;%是否存在自相关

[T2_model_all{i,5},yMSE] = forecast(Mdl,24,'Y0',this_Y);
T2_model_all{i,6} = T2_model_all{i,5} + 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信区间上限
T2_model_all{i,7} = T2_model_all{i,5} - 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信区间下限

%画图观测未来 24 周市场总份额预测结果
figure,plot([1:240],pre_fene(1,:), 'h-',[241:264],T2_model_all{1,5}, 'r-',[241:264],T2_model_al
l{1,6}, 'b:',[241:264],T2_model_all{1,7}, 'b:');

%存放预测量数据和相关处理数据
shi_pre=zeros(1,24);

for j=1:24
    shi_pre(i,j)=T2_model_all{i,5}(j);
end

```

```

%画图观测未来 24 周市场总份额处理后预测结果
figure,plot([1:240],pre_fene(1,:), 'h-',[241:264],shi_pre(1,:), 'r-');

xlswrite('C_data.xlsx',shi_pre,'市场总份额预测');

%% 预测未来 24 周（各货运公司损耗比）
pre_fene=lost_pre;%曾经的损耗比
figure,
%% 观察原始数据
plot([1:240],pre_fene(8,:), 'b-');
hold on
for i=1:24:240
    plot([i i],[0 8]);
    hold on
end

transfer_h=zeros(1,8);
pre=zeros(1,8);
for i=1:8
    Y=pre_fene(i,:);
    diffS1_Y = Y(49:end)-Y(1:end-48);
    [transfer_h(i),pre(i)]=adftest(diffS1_Y);
end
length(find(transfer_h<1))%数据不平稳的样本量
T2_model_tan=cell(8,7);%模型 AR MA res 预测数据 预测上限 预测下限
for i=1:8
    this_Y=pre_fene(i,:);
    max_L = 5;
    aSet = zeros(max_L, max_L);%测阶，行为 AR，列为 MA，值为 AIC
    for opp = 1:max_L
        for oqq = 1:max_L
            model_this = arima('Seasonality',48,...%'Seasonality',48,
                'D', 0, ...
                'ARLags', [1:opp], ...
                'MALags', [1:oqq] ...
            );
            try
                [Mdl, Para, LL, ifo] = estimate(model_this,this_Y);
            catch
                aSet(opp, oqq)= inf;
                continue;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
        aSet(opp, oqq)= aicbic(LL, length(ifo.X), p);%测阶，行为 AR，列为 MA，
值为 AIC
    end
    end
    c_min=min(aSet);
    idx_c_min=min(find(c_min==min(c_min)));
    idx_r_min=min(find(aSet(:,idx_c_min)==min(aSet(:,idx_c_min))));

    model_this = arima('Seasonality',48,...%'Seasonality',48,
        'D', 0, ...
        'ARLags', 1:idx_r_min, ...
        'MALags', 1:idx_c_min);
    [Mdl, Para, LL, ifo]=estimate(model_this,this_Y);
    T2_model_tan{i,1}=model_this;%模型
    T2_model_tan{i,2}=idx_r_min;%AR
    T2_model_tan{i,3}=idx_c_min;%MA

    res=infer(Mdl,this_Y);
    figure,
    subplot(2,2,1), plot(res./sqrt(EstMdl.Variance))
    title('Standardized Residuals')
    subplot(2,2,2)
    qqplot(res)
    subplot(2,2,3)
    autocorr(res)
    subplot(2,2,4)
    parcorr(res)

    [hop,pop]=lbqtest(res);
    T2_model_tan{i,4}=hop;%是否存在自相关

    [T2_model_tan{i,5},yMSE] = forecast(Mdl,24,'Y0',this_Y);
    T2_model_tan{i,6} = T2_model_tan{i,5} + 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信区间上限
    T2_model_tan{i,7} = T2_model_tan{i,5} - 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信区间下限
end

%画图观测未来 24 周损耗比预测结果
for i=1:8

    figure,plot([1:240],pre_fene(i,:), 'h-',[241:264],T2_model_tan{i,5}, 'r-',[241:264],T2_model_tan{i,6}, 'b:',[241:264],T2_model_tan{i,7}, 'b:');
    end
    close all;

```

```

%存放预测量数据
sun_pre=zeros(8,24);
for i=1:8
    for j=1:24
        sun_pre(i,j)=max([T2_model_tan{i,5}(j) 0]);
    end
end

%画图观测未来 24 周损耗比预测处理后结果
for i=1:8
    figure,plot([1:240],pre_fene(i,:), 'h-', [241:264], sun_pre(i,:), 'r-');
end
close all;
xlswrite('C_data.xlsx', (100-sun_pre)/100, '损耗比预测');

%% 预测未来 24 周（各货运公司完成度）
finish_pce=zeros(402,240);%供货商完成度
for i=1:402
    for j=1:240
        if shop_data_ding(best_shop(i),j)==0
            finish_pce(i,j)=1;
        else
            finish_pce(i,j)=get_data_ding(best_shop(i),j)/shop_data_ding(best_shop(i),j);
        end
    end
end
pre_fene=finish_pce;%曾经的完成度
tansfer_h=zeros(402,1);
for i=1:402
    Y=pre_fene(i,:);
    diffS1_Y = Y(49:end)-Y(1:end-48);
    [tansfer_h(i),pre]=adftest(diffS1_Y);
end
length(find(tansfer_h<1))%数据不平稳的样本量
T2_model_wanchen=cell(402,7);%模型 AR MA res 预测数据 预测上限 预测下限
for i=1:402
    this_Y=pre_fene(i,:);
    max_L = 5;
    aSet = zeros(max_L, max_L);%测阶，行为 AR，列为 MA，值为 AIC
    for opp = 1:max_L
        for oqq = 1:max_L
            model_this = arima('Seasonality',48,...%'Seasonality',48,

```

```

        'D', 0, ...
        'ARLags', [1:opp], ...
        'MALags', [1:oqq] ...
    );
    try
        [Mdl, Para, LL, ifo] = estimate(model_this,this_Y);
    catch
        aSet(opp, oqq)= inf;
        continue;
    end
    aSet(opp, oqq)= aicbic(LL, length(ifo.X), p);%测阶，行为 AR，列为 MA，
值为 AIC
    end
end
c_min=min(aSet);
idx_c_min=min(find(c_min==min(c_min)));
idx_r_min=min(find(aSet(:,idx_c_min)==min(aSet(:,idx_c_min))));

model_this = arima('Seasonality',48,...%'Seasonality',48,
    'D', 0, ...
    'ARLags', 1:idx_r_min, ...
    'MALags', 1:idx_c_min);
[Mdl, Para, LL, ifo]=estimate(model_this,this_Y);
T2_model_wanchen{i,1}=model_this;%模型
T2_model_wanchen{i,2}=idx_r_min;%AR
T2_model_wanchen{i,3}=idx_c_min;%MA

res=infer(Mdl,this_Y);

[hop,pop]=lbqtest(res);
T2_model_wanchen{i,4}=hop;%是否存在自相关

[T2_model_wanchen{i,5},yMSE] = forecast(Mdl,24,'Y0',this_Y);
T2_model_wanchen{i,6} = T2_model_wanchen{i,5} + 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信
区间上限
T2_model_wanchen{i,7} = T2_model_wanchen{i,5} - 1.96*sqrt(yMSE); % 95%置信区
间下限
end

%画图观测未来 24 周完成度预测结果
for i=1:50

figure,plot([1:240],pre_fene(i,:), 'h-',[241:264],T2_model_wanchen{i,5}, 'r-',[241:264],T2_mo
del_wanchen{i,6}, 'b:',[241:264],T2_model_wanchen{i,7}, 'b:');
end

```

```

close all;

%存放预测量数据
wan_pre=zeros(402,24);
for i=1:402
    for j=1:24
        wan_pre(i,j)=T2_model_wanchen{i,5}(j);
    end
end

%画图观测未来 24 周完成度预测处理后结果
for i=1:50
    figure,plot([1:240],pre_fene(i,:), 'h-', [241:264], wan_pre(i,:), 'r-');
end
close all;
xlswrite('C_data.xlsx', wan_pre, '完成度');

%统计供货商接单概率
acce_pre_c=zeros(402,2);

for i=1:402
    for j=1:240
        if shop_data_ding(i,j)>0
            acce_pre_c(i,1)=acce_pre_c(i,1)+1;
        end
        if get_data_ding(i,j)>0
            acce_pre_c(i,2)=acce_pre_c(i,2)+1;
        end
    end
end
acce_pre=acce_pre_c(:,2)./acce_pre_c(:,1);
xlswrite('C_data.xlsx', acce_pre, '供货商接单概率');
toc

```

附录三：

对于 lingo 模型求解的数据的分配处理（基于 MATLAB2020b 版本）

```

best_shop=xlsread('best_shop.xlsx','最优的 50 家供货商');
h_ij=xlsread('C_data.xlsx','完成度');
h_ij=h_ij(best_shop,:);
p_jz=xlsread('C_data.xlsx','损耗比预测');
m_i=xlsread('C_data.xlsx','供货商单位产能');
m_i=m_i(best_shop,:);
v_ij=xlsread('C_data.xlsx','市场占比');

```



```

v_ij=v_ij(best_shop,:);%
v_ij_sum=sum(v_ij);
v_ij=v_ij./v_ij_sum;
r_i=xlsread('C_data.xlsx','供货商接单概率');
r_i=r_i(best_shop,:);
g_i=xlsread('C_data.xlsx','历史商铺最大值');
g_i=g_i(best_shop,:);

% xlswrite('C_data_50.xlsx',h_ij,'h_ij');
% xlswrite('C_data_50.xlsx',p_jz,'p_jz');
% xlswrite('C_data_50.xlsx',m_i,'m_i');
% xlswrite('C_data_50.xlsx',v_ij,'v_ij');
% xlswrite('C_data_50.xlsx',r_i,'r_i');
% xlswrite('C_data_50.xlsx',g_i,'g_i');

a_i=xlsread('answer.xlsx','Sheet1');
a_i_idx=find(a_i);
true_idx=best_shop(a_i_idx);
[n,p]=size(a_i_idx);
now_v_ij=v_ij(a_i_idx,:);
now_v_ij_sum=sum(now_v_ij);
now_v_ij=now_v_ij./now_v_ij_sum;
now_m_i=1./m_i;
now_ss_i=zeros(n,1);

now_t_iz=zeros(n,3);
for i=1:n
    if now_m_i(i)==0.6
        now_t_iz(i,1)=1;
        now_ss_i(i)=1.2/0.6;
    elseif now_m_i(i)==0.66
        now_t_iz(i,2)=1;
        now_ss_i(i)=1.1/0.66;
    elseif now_m_i(i)==0.72
        now_t_iz(i,3)=1;
        now_ss_i(i)=1/0.72;
    end
end

% xlswrite('C_data_39.xlsx',h_ij(a_i_idx,:), 'h_ij');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',p_jz,'p_jz');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',m_i(a_i_idx,:), 'm_i');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',now_v_ij,'v_ij');

```

```

% xlswrite('C_data_39.xlsx',r_i(a_i_idx,:), 'r_i');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',g_i(a_i_idx,:), 'g_i');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',now_ss_i,'ss_i');
% xlswrite('C_data_39.xlsx',now_t_iz,'t_iz');
m_i_402=xlsread('C_data_402.xlsx','供货商单位产能');
now_t_iz_402=zeros(402,3);
now_m_i_402=1./m_i_402;
now_ss_i_402=zeros(402,1);
for i=1:402
    if now_m_i_402(i)==0.6
        now_t_iz_402(i,1)=1;
        now_ss_i_402(i)=1.2/0.6;
    elseif now_m_i_402(i)==0.66
        now_t_iz_402(i,2)=1;
        now_ss_i_402(i)=1.1/0.66;
    elseif now_m_i_402(i)==0.72
        now_t_iz_402(i,3)=1;
        now_ss_i_402(i)=1/0.72;
    end
end
% xlswrite('C_data_402.xlsx',now_ss_i_402,'ss_i');

T2_x_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet4');
T2_d_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet3');
T3_x_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet7');
T3_d_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet6');
T4_x_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet9');
T4_d_pre=xlsread('answer.xlsx','Sheet8');

T2_x=zeros(402,24);
T2_d=zeros(402,192);
T3_x=zeros(402,24);
T3_d=zeros(402,192);
T4_x=T4_x_pre;
T4_d=T4_d_pre;

for i=1:39
    T2_x(true_idx(i,:))=T2_x_pre(i,:);
    T2_d(true_idx(i,:))=T2_d_pre(i,:);
    T3_x(true_idx(i,:))=T3_x_pre(i,:);
    T3_d(true_idx(i,:))=T3_d_pre(i,:);
end

```

```

xlswrite('full_data.xlsx',T2_x,'T2_x');
xlswrite('full_data.xlsx',T2_d,'T2_d');
xlswrite('full_data.xlsx',T3_x,'T3_x');
xlswrite('full_data.xlsx',T3_d,'T3_d');
xlswrite('full_data.xlsx',T4_x,'T4_x');
xlswrite('full_data.xlsx',T4_d,'T4_d');

```

附录四：

问题二的第一步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

shop/1..50/:m_i,r_i,a_i,g_i;

tran/1..8/;

type/1..3/;

two/1..2/;

week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;

S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij;

W_TR(week,tran):p_jz;

S_TY(shop,type):t_ik;

S_TR(shop,tran);

W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;

S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;

S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz;

endsets

l1=0.8;

l2=0.4;

l3=0.9;

min=@sum(shop(i):a_i(i));

@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));

@for(week(j)|j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j));

D_j(1)=S_j(1)-T_j(1);

@for(S_W(i,j):D_j(j)>=56200*l1);

@sum(week(j):T_j(j))<=24*28200*(1+l2);

24*28200*(1-l2)<=@sum(week(j):T_j(j));

@for(week(j):T_j(j)<=28200*l3);

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z)));

@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));

@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));

```

@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);

```

```

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

```

data:

```

p_jz=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_50.xlsx','g_i');
@ole('yourpath\answer.xlsx','x_ij')=x_ij;
@ole('yourpath\answer.xlsx','a_i')=a_i;
enddata

```

end

附录五:

问题二的第二步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

```

shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;
tran/1..8/;
type/1..3/;
two/1..2/;
week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij;
W_TR(week,tran):p_jz;
S_TY(shop,type):t_ik;
S_TR(shop,tran);
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz;
endsets

```

l1=0.7;

l2=0.28;

l3=0.8;

```

min=@sum(S_W(i,j):ss_i(i)*y_ij(i,j));

```

```

@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));
@for(week(j)|j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j));
D_j(1)=S_j(1)+113152.8-T_j(1);
@for(S_W(i,j):D_j(j)>=56200*11);
@sum(week(j):T_j(j))<=24*28200*(1+12);
24*28200*(1-12)<=@sum(week(j):T_j(j));
@for(week(j):T_j(j)<=28200*13);

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));
@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));

@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

```

data:

```

p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_2_T_j')=T_j;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_2_y_ij')=y_ij;
enddata
end

```

附录六：

问题二的第三步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;

tran/1..8/;

type/1..3/;

two/1..2/;

```

week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij,true_x;
W_TR(week,tran):p_jz;
S_TY(shop,type):t_ik;
S_TR(shop,tran);
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz,true_d;
endsets
l1=0.7;
l2=0.28;
l3=0.8;

max=@sum(S_W(i,j):m_i(i)*y_ij(i,j))-@sum(week(j):S_j(j));
T3_type_1=@sum(S_W(i,j):m_i(i)*y_ij(i,j))-@sum(week(j):@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*(1-p_jz(j,z))*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));

sy_min=@sum(S_W(i,j):ss_i(i)*y_ij(i,j));

sy_min<290338.7*1.01;

@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));
@for(week(j))j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j);
D_j(1)=S_j(1)+113152.8-T_j(1);
S_j(24)>282*2;
@for(S_W(i,j):D_j(j)>=56200*11);
@sum(week(j):T_j(j))<=24*28200*(1+l2);
24*28200*(1-l2)<=@sum(week(j):T_j(j));
@for(week(j):T_j(j)<=28200*13);
@for(S_W(i,j):true_x(i,j)=x_ij(i,j)/l2);
@for(S_W_TR(i,j,z):true_d(i,j,z)=d_ijz(i,j,z)/l2);

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));
@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));

@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));

```

```
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));
```

data:

```
p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');  
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');  
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');  
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');  
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');  
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');  
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');  
@ole('yourpath\answer.xlsx','T2_x_ij')=true_x;  
@ole('yourpath\answer.xlsx','T2_d_ijz')=true_d;  
enddata  
end
```

附录七:

问题三的第一步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

```
shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;  
tran/1..8/;  
type/1..3/:e_k;  
two/1..2/;  
week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;  
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij;  
W_TR(week,tran):p_jz;  
S_TY(shop,type):t_ik;  
S_TR(shop,tran);  
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;  
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;  
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz;  
endsets  
l1=0.8;  
l2=0.4;  
l3=0.9;
```

```
max=@sum(S_W(i,j):-t_ik(i,3)*y_ij(i,j)+t_ik(i,1)*y_ij(i,j));
```

```
@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));
```

```
@for(week(j)|j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j));
```

```
D_j(1)=S_j(1)+113152.8-T_j(1);
```

```
@for(S_W(i,j):D_j(j)>=56200*l1);
```

```

@sum(week(j):T_j(j))<=24*28200*(1+l2);
24*28200*(1-l2)<=@sum(week(j):T_j(j));

@for(week(j):T_j(j)<=28200*13);

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));
@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));

@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

data:
p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');
t_ik=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','t_iz');
e_k=1.67 1.52 1.39;
enddata
end

```

附录八：

问题三的第二步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;

tran/1..8/;

type/1..3/:e_k;

two/1..2/;


```

week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij,true_x;
W_TR(week,tran):p_jz;
S_TY(shop,type):t_ik;
S_TR(shop,tran);
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz,true_d;
endsets
l1=0.8;
l2=0.28;
l3=0.9;

```

```

min=@sum(S_W(i,j):m_i(i)*y_ij(i,j))-@sum(week(j):S_j(j));

```

```

T3_type_1=@sum(S_W(i,j):m_i(i)*y_ij(i,j))-@sum(week(j):@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*(1-p_jz(j,z))*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));

```

```

@sum(S_W(i,j):-t_ik(i,3)*y_ij(i,j)+t_ik(i,1)*y_ij(i,j))<=41960.3*1.0;

```

```

@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));
@for(week(j))j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j);
D_j(1)=S_j(1)+113152.8-T_j(1);
@for(S_W(i,j):D_j(j)>=56200*11);
@sum(week(j):T_j(j))<=24*28200*(1+l2);
24*28200*(1-l2)<=@sum(week(j):T_j(j));
S_j(24)>282*2;
@for(week(j):T_j(j)<=28200*13);

```

```

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));
@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));
@for(S_W(i,j):true_x(i,j)=x_ij(i,j)/l2);
@for(S_W_TR(i,j,z):true_d(i,j,z)=d_ijz(i,j,z)/l2);

```

```

@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);

```

```

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));

```

```
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));
```

data:

```
p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');
t_ik=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','t_iz');
e_k=1.67 1.52 1.39;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_1_T_j')=T_j;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_1_y_ij')=y_ij;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_d_ijz')=true_d;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_x_ij')=true_x;
enddata
end
```

附录九:

问题三的第三步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

```
shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;
tran/1..8/;
type/1..3/:e_k;
two/1..2/;
week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij;
W_TR(week,tran):p_jz;
S_TY(shop,type):t_ik;
S_TR(shop,tran);
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz;
endsets
l1=0.8;
l2=0.4;
l3=0.9;
```

```
min=@sum(W_TY(j,k):W_jk(j,k));
```

```

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

```

```

T3_type_3=@sum(S_W(i,j):y_ij(i,j));
T3_type_4=@sum(S_W(i,j):y_ij(i,j)*ss_i(i));

```

```

@for(W_TY(j,k):N_jk(j,k)=@sum(S_TR(i,z):t_ik(i,k)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(week(j):T_j(j)*1.1>@sum(type(k):e_k(k)*Q_jk(j,k)));
@for(week(j):T_j(j)*0.9<@sum(type(k):e_k(k)*Q_jk(j,k)));
@for(W_TY(j,k):Q_jk(j,k)<W_jk(j,k));
@for(week(j):Q_jk(j,1)<=@smax((T_j(j)-e_k(3)*W_jk(j,3)-e_k(2)*W_jk(j,2))/2,0));
@for(week(j):Q_jk(j,2)<=@smax((T_j(j)-e_k(3)*W_jk(j,3))/2,0));
@for(W_TY(j,k)j#GT#1:W_jk(j,k)=W_jk(j-1,k)+N_jk(j,k)-Q_jk(j,k));
@for(type(k):W_jk(1,k)=0);

```

data:

```

p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');
t_ik=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','t_iz');
e_k=1.67 1.52 1.39;
T_j=@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_1_T_j');
y_ij=@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_1_y_ij');
enddata
end

```

附录十:

问题三的第四步求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

shop/1..39/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;

tran/1..8/;

type/1..3/:e_k;

two/1..2/;

```

week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;
S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij;
W_TR(week,tran):p_jz;
S_TY(shop,type):t_ik;
S_TR(shop,tran);
W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;
S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;
S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz;
endsets
l1=0.8;
l2=0.4;
l3=0.9;

```

```

min=@sum(W_TY(j,k):W_jk(j,k));

```

```

T3_type_3=@sum(S_W(i,j):y_ij(i,j));
T3_type_4=@sum(S_W(i,j):y_ij(i,j)*ss_i(i));

```

```

@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

```

```

@for(W_TY(j,k):N_jk(j,k)=@sum(S_TR(i,z):t_ik(i,k)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)));
@for(week(j):T_j(j)*1.1>@sum(type(k):e_k(k)*Q_jk(j,k)));
@for(week(j):T_j(j)*0.9<@sum(type(k):e_k(k)*Q_jk(j,k)));
@for(W_TY(j,k):Q_jk(j,k)<W_jk(j,k));
@for(week(j):Q_jk(j,1)<=@smax((T_j(j)-e_k(3)*W_jk(j,3)-e_k(2)*W_jk(j,2))/2,0));
@for(week(j):Q_jk(j,2)<=@smax((T_j(j)-e_k(3)*W_jk(j,3))/2,0));
@for(W_TY(j,k)j#GT#1:W_jk(j,k)=W_jk(j-1,k)+N_jk(j,k)-Q_jk(j,k));
@for(type(k):W_jk(1,k)=0);

```

data:

```

p_jz=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','ss_i');
t_ik=@ole('yourpath\C_data_39.xlsx','t_iz');

```

```

e_k=1.67 1.52 1.39;
T_j=@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_2_T_j');
y_ij=@ole('yourpath\answer.xlsx','T3_2_y_ij');
enddata
end

```

附录十一：

问题四的求解（基于 lingo11.0 版本）

model:

sets:

shop/1..402/:m_i,r_i,a_i,g_i,ss_i;

tran/1..8/;

type/1..3/;

two/1..2/;

week/1..24/:D_j,S_j,U_j,T_j,ok;

S_W(shop,week):h_ij,y_ij,x_ij,v_ij,c_ij,true_x;

W_TR(week,tran):p_jz;

S_TY(shop,type):t_ik;

S_TR(shop,tran);

W_TY(week,type):N_jk,Q_jk,W_jk;

S_W_TW(shop,week,two):q_ijo;

S_W_TR(shop,week,tran):d_ijz,b_ijz,true_d;

endsets

l1=0.8;

l2=0.2;

l3=0.1;

max=Tm/max_jin-@sum(S_W(i,j):x_ij(i,j))/max_jin/24;

max_jin=@sum(shop(i):g_i(i));

@for(week(j):S_j(j)=@sum(S_TR(i,z):m_i(i)*p_jz(j,z)*d_ijz(i,j,z)*b_ijz(i,j,z)));

@for(week(j)j#LT#24:D_j(j+1)=D_j(j)+S_j(j)-T_j(j));

D_j(1)=S_j(1)-T_j(1);

S_j(24)>Tm;

@for(S_W(i,j):D_j(j)>=Tm*l1);

@sum(week(j):T_j(j))<=24*Tm*(1+l2);

24*Tm*(1-l2)<=@sum(week(j):T_j(j));

@for(week(j):T_j(j)<=Tm*(1+l3);T_j(j)>=Tm*(1-l3));

!(@sum(week(j):S_j(j)))/(@sum(S_W(i,j):m_i(i)*y_ij(i,j)))>=0.9;

```

!(@sum(week(j):S_j(j)))/(@sum(S_W(i,j):ss_i(i)*x_ij(i,j)))>=0.6;
!(@sum(S_W(i,j):x_ij(i,j)))/(@sum(S_W(i,j):ss_i(i)*x_ij(i,j)))>=0.2;

```

```

@for(S_W(i,j):y_ij(i,j)=@sum(tran(z):d_ijz(i,j,z)));
@for(S_W(i,j):r_i(i)*h_ij(i,j)*x_ij(i,j)=y_ij(i,j));
@for(week(j):U_j(j)=@sum(shop(i):x_ij(i,j)));
@for(shop(i):@sum(W_TR(j,z):b_ijz(i,j,z)*d_ijz(i,j,z))<=6000);
@for(S_W(i,j):6000*@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))<=y_ij(i,j);y_ij(i,j)<=a_i(i)*g_i(i));
@for(S_W(i,j):@sum(tran(z):b_ijz(i,j,z))<=@sum(two(o):q_ijo(i,j,o))+1);
@for(S_W(i,j):q_ijo(i,j,1)>q_ijo(i,j,2));
@for(S_W_TW(i,j,o):@bin(q_ijo(i,j,o)));
@for(shop(i):@bin(a_i(i)));
@for(S_W(i,j):true_x(i,j)=x_ij(i,j)/(12*2));
@for(S_W_TR(i,j,z):true_d(i,j,z)=d_ijz(i,j,z)/(12*2));
@for(S_W_TR(i,j,z):@bin(b_ijz(i,j,z)));

```

data:

```

p_jz=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','p_jz');
m_i=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','m_i');
h_ij=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','h_ij');
v_ij=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','v_ij');
r_i=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','r_i');
g_i=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','g_i');
ss_i=@ole('yourpath\C_data_402.xlsx','ss_i');
@ole('yourpath\answer.xlsx','T4_x_ij')=true_x;
@ole('yourpath\answer.xlsx','T4_d_ijz')=true_d;
enddata
end

```