

队伍编号	MC2310407
题号	C

基于多目标规划模型及熵权法-TOPSIS 模型的电商物流网络包裹应急调运与结构优化问题

摘要

接货仓、分拣中心、营业部等物流场地与物流场地之间的运输线路共同组合成了物流网络。当物流场地临时或永久停用时,会影响货物的正常流转,从而影响物流网络。因此,本文主要采用 ARIMA 时间序列预测模型、多目标规划模型、基于熵权法的 TOPSIS 模型等对物流场地停用后货物分流方案及物流网络优化等问题进行深入研究,解决了以下若干问题:

针对问题一,首先,对数据进行预处理生产新的数据集。其次,建立 **ARIMA 时间序列预测模型**来预测 2023 年 1 月每条线路每天的物流线路的运输情况。再次,进行白噪声检验,该模型 ACF、PACF 均接近于 0,数据平稳符合 ARIMA 的特征。最后,将预测的指标数据代入多元回归方程,得出预测结果。其中,线路 DC14→DC10、DC20→DC35、DC25→DC62 的每日运输货量预测结果如表 4 所示。

针对问题二,在 DC5 关停以后,需要尽可能使货物流转不受影响,同时尽可能使因 DC5 关停而受影响的线路数少。因此,构建**多目标规划模型**,设置目标函数为最小化未能正常流转的货量和最小化受影响的线路数,约束条件考虑线路运输能力限制、场地处理能力限制、线路工作负荷均衡。首先,使用数据透视表计算出每条线路和场地历史容量最大值,使用模拟退火算法进行求解,得出结果:可以设计合理的分流方案使得所有货物均能正常流转且所有线路的工作负荷均未超过 100%。具体分流方案见表 7。

针对问题三,首先,引入决策变量表示是否开通新路。其次,建立**多目标动态决策规划模型**,设置目标为最小化未能正常流转的货量、最小化受影响的线路数以及最小化路线工作负荷不均衡,约束条件考虑场地处理能力及线路运输能力上限。最后,使用模拟退火算法进行求解,得出:将从 2023 年 1 月 1 日开始新增从 DC3 到 DC1 的新线路且在所有线路工作负荷均未超过 100%通过合理分流可以使得所有货物正常流转。DC9 关停后其余路线的货物数量以及工作负荷以及 DC9 关停后新增路线时间及货量见表 8。

针对问题四,首先,为解决物流网络重线路及物流场地重要性评价问题,采用基于熵权法确定权重的 TOPSIS 评价模型。通过合理分析,分别为线路和场地评价选取合适评价指标,再利用熵权法得到各指标,将该权重与各指标数值相乘得评价矩阵,最后计算出各线路和场地重要性综合指标排名,结果:最重要的线路前三名分别是 DC36-DC10、DC14-DC8、DC14-DC9,最重要的场地前三名分别是 D17、DC10、DC8。基于第一问预测结果及第二问评价结果,其次,通过结合实际合理分析得出新增场地为 DC82,新增线路及其最大运输能力设置为 DC36→DC82 (200000)、DC82→DC8 (300000)、DC82→DC9 (200000)。最后讨论鲁棒性时,利用复杂网络分析法分析该新物流网络遭受攻击的鲁棒性,通过随机增加扰动项,由鲁棒性指标的广义指数分布函数定量计算鲁棒性。得出结果:模型受攻击的影响变化不大,鲁棒性强,模型稳定。

关键词: ARIMA; 多目标规划; 模拟退火算法; 熵权法-TOPSIS 评价法

目录

一、 问题重述	1
二、 问题分析	1
2.1 问题一的分析	1
2.2 问题二的分析	2
2.3 问题三的分析	2
2.4 问题四的分析	2
三、 模型假设	2
四、 符号说明	3
五、 模型的建立与求解	3
5.1 问题一：未来货量预测	3
5.1.1 数据预处理	3
5.1.2 时间序列对未来 30 天每日各线路每日货量预测	3
5.2 问题二：DC5 停用后货量合理分配的目标规划	9
5.2.1 数据预处理	9
5.2.2 多目标规划模型的建立	12
5.2.3 基于模拟退火算法多目标规划模型的求解	13
5.3 问题三：多目标动态决策规划	16
5.3.1 数据预处理	16
5.3.2 基于多目标动态决策规划模型设计分配方案及线路规划	16
5.3.3 基于模拟退火算法对多目标动态决策规划模型的求解	17
5.4 问题四：物流网络评价及改善	19
5.4.1 基于熵权法确定权重的 TOPSIS 法评价模型的建立与求解	19
5.4.2 新增物流场地及线路的建议	23
5.4.3 新物流网络鲁棒性分析	23
六、 模型优缺点	23
6.1 优点	23
6.2 缺点	24
七、 参考文献	24

一、 问题重述

21 世纪以来，互联网技术蓬勃发展，大量零售商发现电商行业有着受众面广、运营成本低等优点，开始进军互联网，而这也直接为物流业带来大量顾客[1]。接货仓、分拣中心、营业部等物流场地与物流场地之间的运输线路共同组合成了电商物流网络。由于每日运输量巨大，加之节假日等促销活动或疫情、流感、地震、台风等突发事件导致的物流场地临时或永久停用[2]，多重因素会影响各线路运输的包裹数量。因此，为降低运营成本、提高运营效率、缓解突发情况下物流场地停用对运输的影响，需要提前预测各物流场地及线路的包裹数量，并基于预测结果合理规划分拣、运输。

在本题中，题目给出了一由 81 个物流场地、1049 条线路构成的物流网络在 2021 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日不同物流场地之间流转的包裹数量数据，基于以上背景，要求建立数学模型，解决以下问题：

1. 建立线路货量预测模型，预测 2023 年 1 月份每日每条线路的货量。
2. 若物流场地 DC5 停用，基于预测结果，建立数学模型，合理处理与该场地相关线路的货量分配。
 - (1) 使所有包裹尽可能正常流转，且各线路货量变化尽可能小，各条线路的工作负荷尽可能均衡，并给出出因 DC5 关停导致 货量发生变化的线路数及网络负荷情况。
 - (2) 若该场地部分日期部分货量未正常流转，应使该场地日累计未正常流转货量尽可能少，并给出给出因 DC5 关停导致货量发生变化的线路数、不能正常流转的货量及网络的负荷情况。
3. 若物流场地 DC9 停用，允许对物流网络结构进行动态调整（关闭或新开线路），建立数学模型，合理处理与该场地相关线路的货量分配。
 - (1) 使所有包裹尽可能正常流转，且各线路货量变化尽可能小，各条线路的工作负荷尽可能均衡，并给出出因 DC9 关停导致 货量发生变化的线路数及网络负荷情况。
 - (2) 若该场地部分日期部分货量未正常流转，应使该场地日累计未正常流转货量尽可能少，并给出给出因 DC9 关停导致货量发生变化的线路数、不能正常流转的货量及网络的负荷情况及每天线路的增减情况。
4. 评价该物流网络的不同物流场地及线路的重要性。
5. 基于预测结果，通过新增物流场地及线路，改善网络性能，并探讨该新建网络的鲁棒性。

二、 问题分析

2.1 问题一的分析

通过观察数据，选择运用时间序列预测 2023-1-1 至 2023-1-31 各线路的货量。首先构造序列图，其次建立合适的时间序列预测模型，绘制预测结果示意图，最后进行白噪声检验。

2.2 问题二的分析

针对问题二，需要我们依据预测结果合理分配 DC5 在 2023-1-1 至 2023-1-31 日将会接受或发出的货量，并且尽可能地使各线路的货量变化小且均衡，对于超出各场地及线路最大运输或处理包裹量的部分予以统计。首先，对数据进行预处理，计算每条线路历史运输最大货量及各物流场地能够处理的最大接受货量和发出货量。其次，建立结构优化模型，设置目标函数 1 为使 DC5 的所有包裹都能分配出去、未能正常流转的包裹日累计总量尽可能少，目标函数 2 为货量发生变化的线路尽可能少，约束条件函数考虑各线路及物流场地的最大限制容量、各线路货量负荷尽可能均衡，最后使用模拟退火模型进行求解。

2.3 问题三的分析

针对问题三，在问题二的基础上允许对物流网络结构进行动态调整，且每日均可调整，调整措施为在原有物流场地间新增路线。需要我们依据问题一的预测结果设计分流方案，使得 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 1 月 31 日间因 DC9 场地关停而受影响的货量得到合理分配后尽可能正常流转，并使货量发生变化的线路数尽可能少，且各线路的工作负荷尽可能均衡。若存在部分日期部分货物未能正常流转，应统计累计未能正常流转的货量总和，并使未能正常流转的货量尽可能少。

首先，对数据进行预处理，得出每个物流场地能处理的货量的最大值，以及每条线路能够接收和发出的最大货量，并找出与 DC9 有货物运输关联的物流场地及其货量。其次，建立多目标动态决策规划模型，确定目标函数及约束条件。设置目标函数为最小化未能正常流转的货量、最小化每条线路的工作负荷标准差以及最小化线路变化数；设置约束条件为某物流场地关闭时，该物流产地发出和接收的货量均为 0，线路货量不得超过其最大货量，物流场地货流不得超过其最大可处理货量，货物数量为非负整数。最后，使用模拟退火算法进行求解。

2.4 问题四的分析

物流网络中，各线路重要性，可以由该线路是否为双向线路、该线路的最大运输量、工作天数、运输总量等决定，于是考虑确定以上指标并利用熵权法分别确定线路和场地的各指标权重，接着结合 TOPSIS 法评价出运输线路及物流场地的重要性。

新增线路的运输能力应该根据场地的转运能力进行调整。新线路的运输能力该与已有线路的最大运输能力相近或略高，以确保流量能够合理分配。由于预测结果存在一定的随机性，需要分析新物流遭受攻击的鲁棒性。考虑通过随机增加扰动项，由鲁棒性指标的广义指数分布函数定量计算鲁棒性。

三、 模型假设

1. 假设每日每一物流场地无滞留商品。
2. 某个物流场地的停运不会引起其他场地相继失效。
3. 所有物流场地只存在完全失效和完全正常两种状态。
4. 假设新开线路的运输能力的上限为已有线路运输能力的最大值。
5. 假设每个物流场地的处理能力和每条线路的运输能力上限均为其历史货量最大值。

四、 符号说明

符号	含义
i	发出地
j	接收地
t	第 t 天
x'_{ijt}	DC5 关停后，第 t 天发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的货量
x_{ijt}	若 DC5 没关停，第 t 天发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的货量
m_{ij}	发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的最大包裹量
V	所有与 DC9 有运输关联的场地以及新增线路中包含的场地
w_{ijt}	在第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 的路线的工作负荷
\bar{w}	工作负荷的平均值

五、 模型的建立与求解

5.1 问题一：未来货量预测

5.1.1 数据预处理

首先由原始数据整理出每条数据的对应线路，并利用数据透视图求出各线路历史最大货运量作为其运输能力上限，各物流场地历史最大接受量及发出量分别作为接受包裹与发出包裹的处理能力上限。

5.1.2 时间序列对未来 30 天每日各线路每日货量预测

以下时间序列预测过程以线路 DC14→DC10、DC20→DC35、DC25→DC62 为例。

步骤一：时间序列图的构造

首先，本文构建出 2021-1-1 至 2022-12-31 期间内线路 DC14→DC10、DC20→DC35、DC25→DC6 货量的时间序列图，用于观察图形中曲线的走向以判断长期变动趋势、季节变动规律等走向。[3]

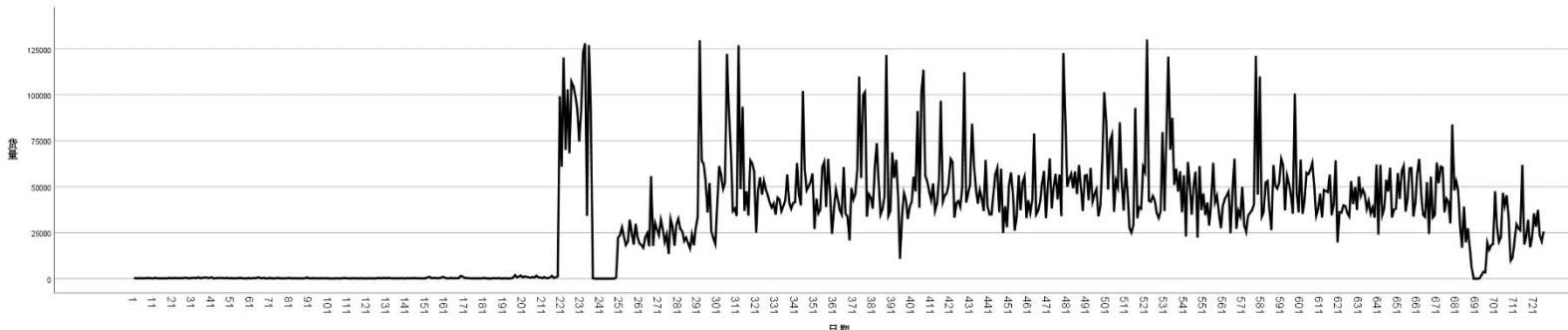


图 1 2021-1-1 至 2022-12-3 间线路 DC14-DC10 每日货量时间序列图

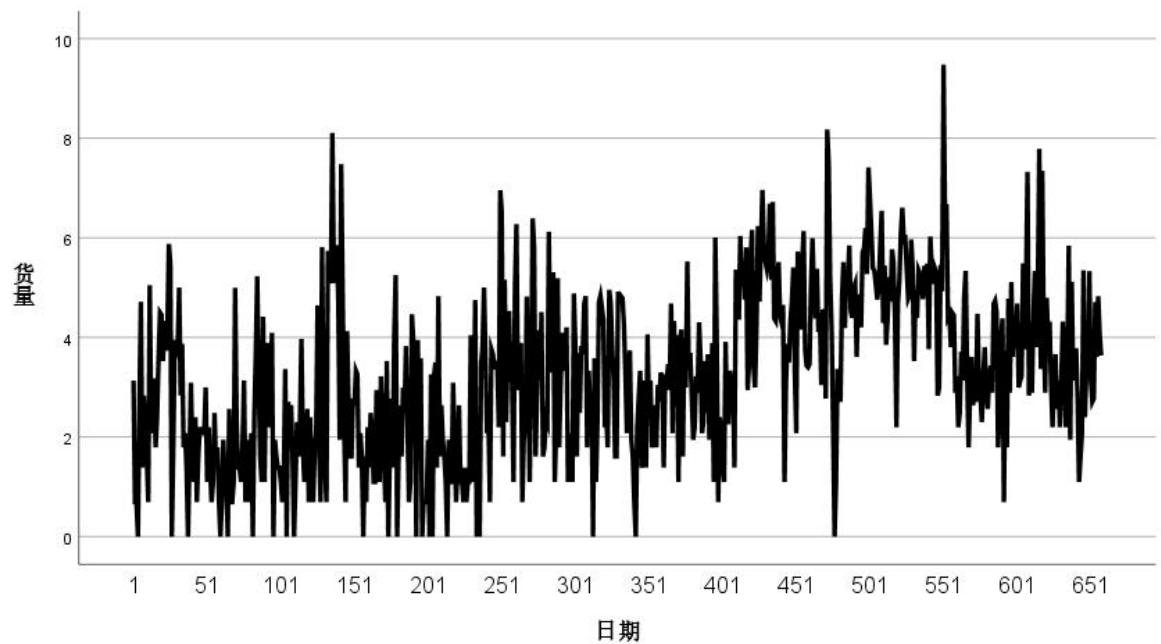


图 2 2021-1-1 至 2022-12-3 间线路 DC20-DC35 每日货量时间序列图

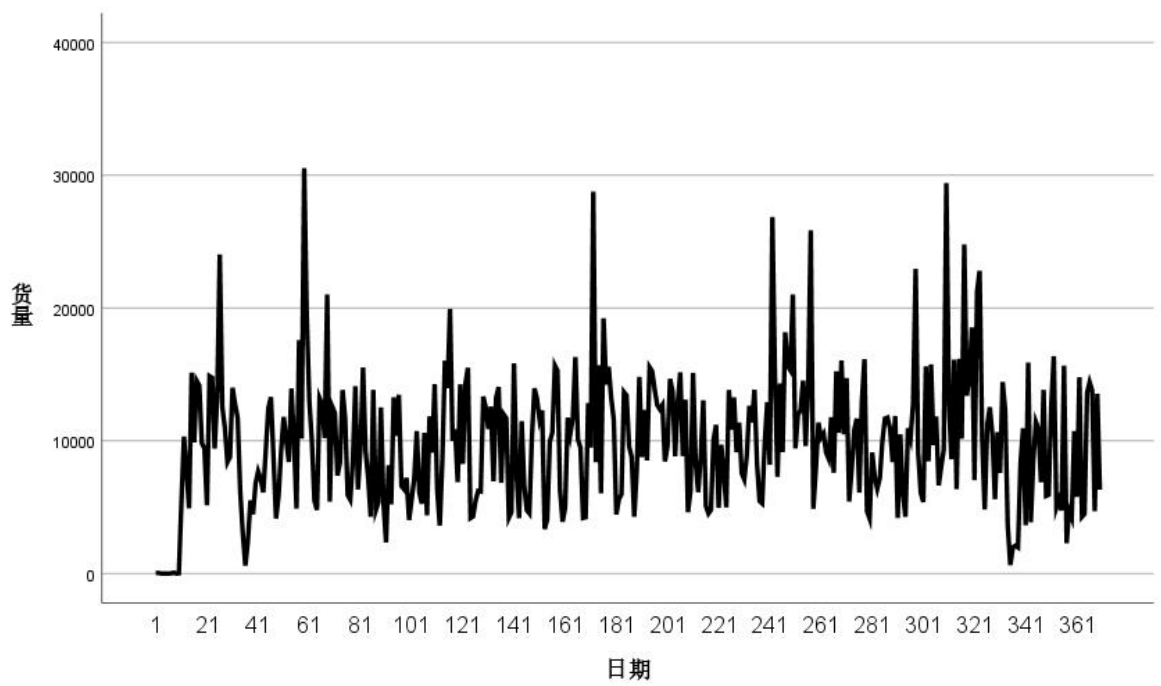


图 3 2021-1-1 至 2022-12-3 间线路 DC25-DC62 每日货量时间序列图

步骤二：利用 ARIMA 模型求取预测货量图

下面利用 SPSS 中专家建模器进行建模，建模器推荐结果如下：

表 1 DC14-DC10 模型描述			
模 型 ID	货 量	模型_1	ARIMA(0,1,1)

表 2 DC20-DC35 模型描述			
模型 ID	货 量	模型_1	ARIMA(1,0,1)

表 3 DC25-DC62 模型描述			
模型 ID	货 量	模型_1	ARIMA(1,0,1)

预测货量图示如下：

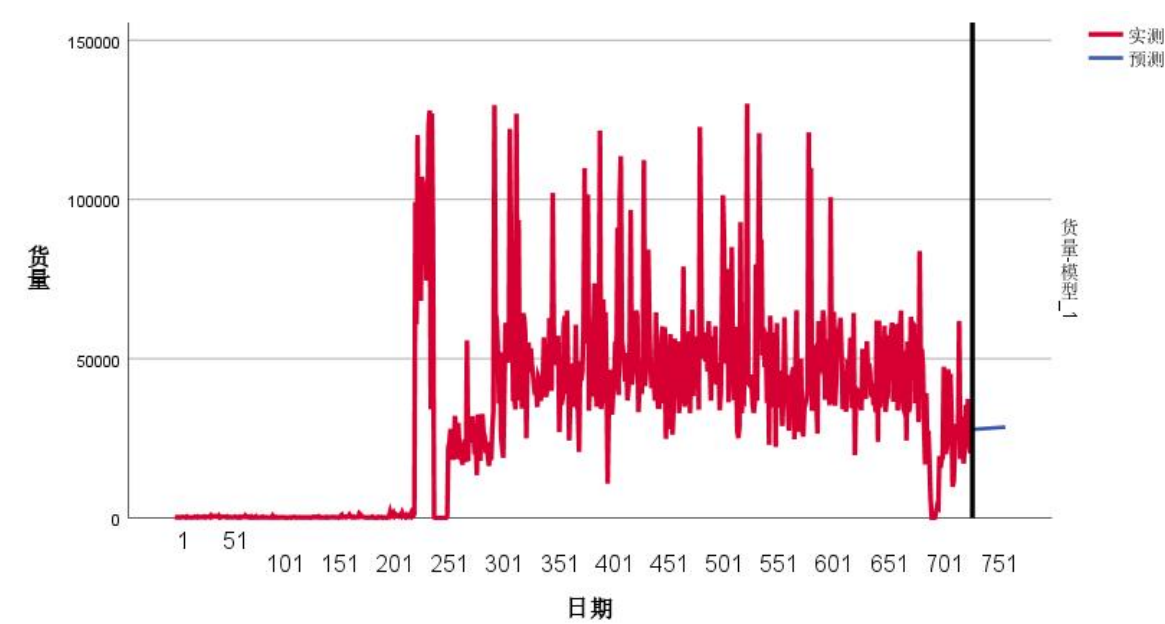


图 4 2023-1-1 至 2023-1-31 线路 DC14-DC10 每日货量预测

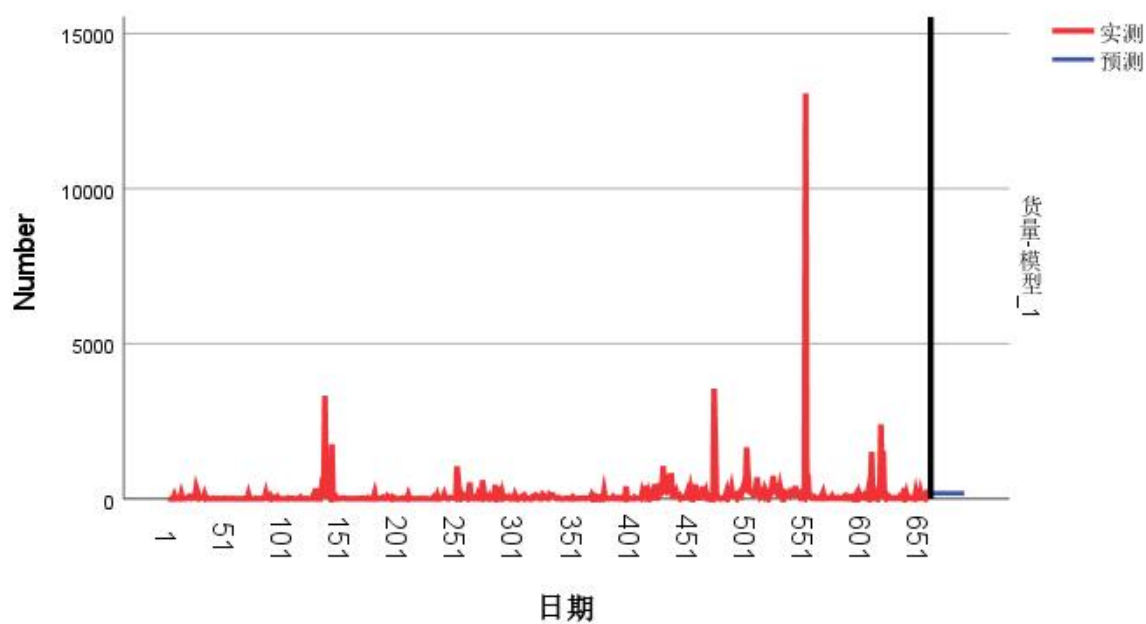


图 5 2023-1-1 至 2023-1-31 线路 DC20-DC35 每日货量预测

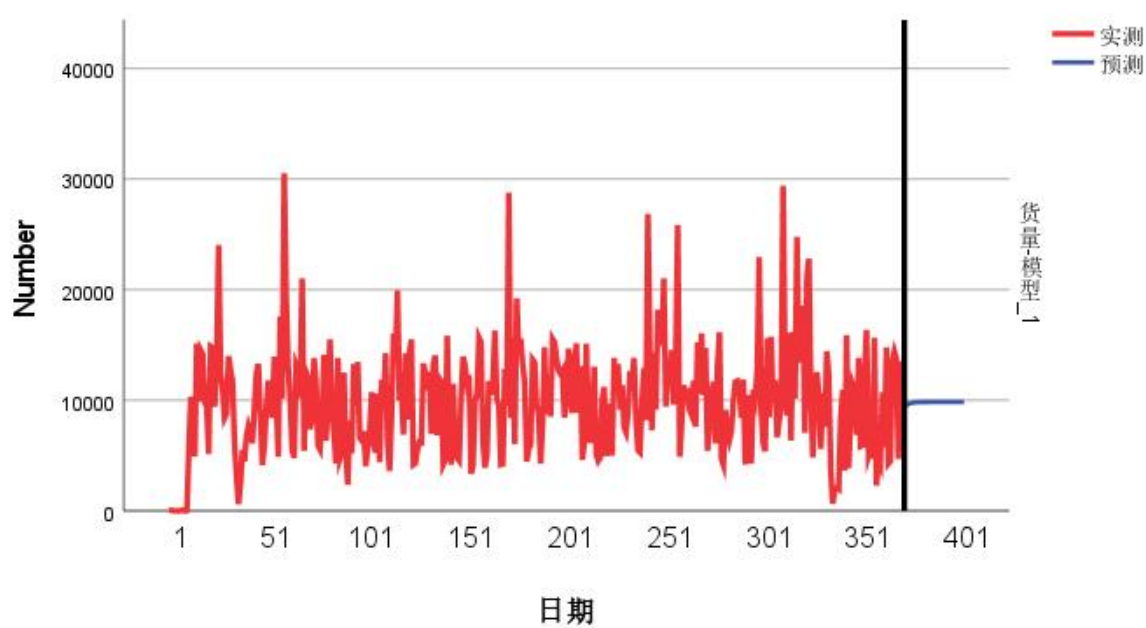


图 6 2023-1-1 至 2023-1-31 线路 DC25-DC62 每日货量预测

可以发现，拟合效果较好，模型合理。同理，通过重复上面的过程也可以得到其他线路的每日货量预测图。

步骤三：ARIMA 模型的白噪声检验

因为 ARIMA 模型运用的基础为样本数据为白噪声序列，因此本文需要对数据的白噪声进行检验，检验结果如下：

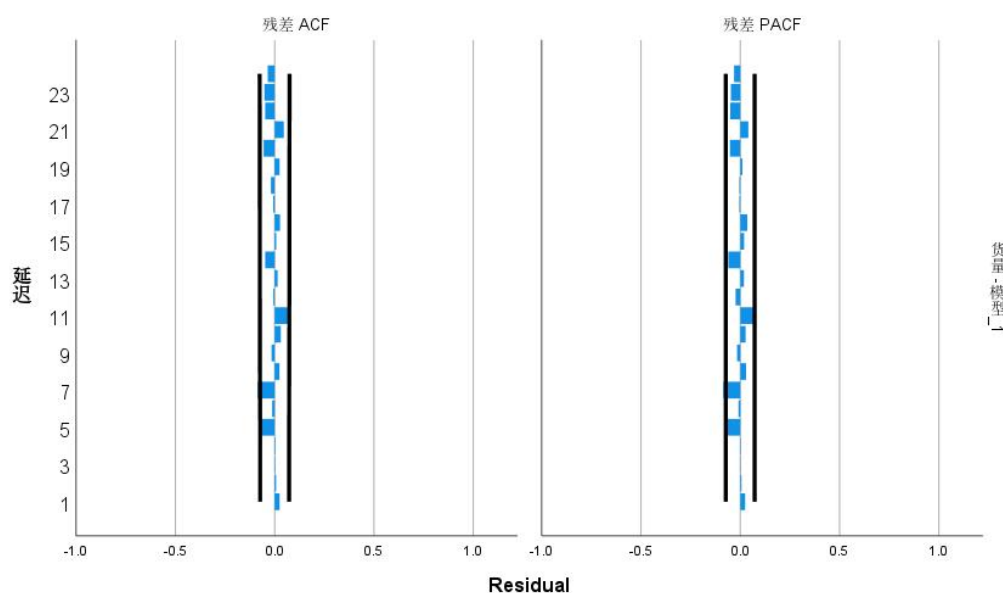


图 7 D14-D10 线路数据残差 ACF、PACF

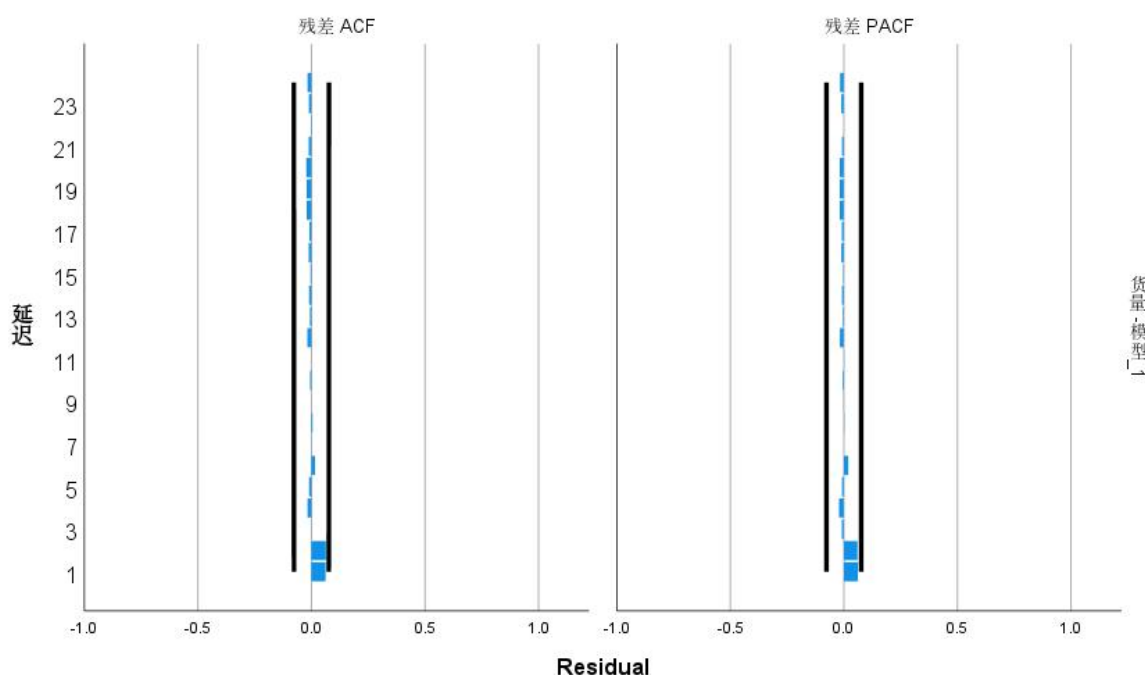


图 8 D20-D35 线路数据残差 ACF、PACF

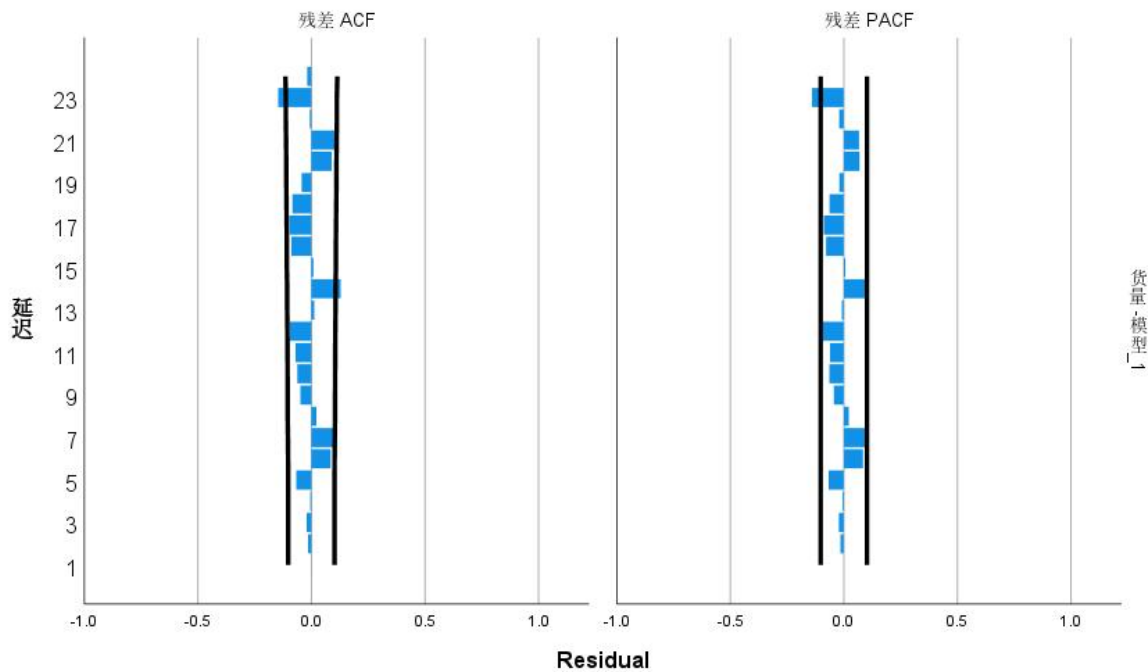


图 9 D25-D62 线路数据残差 ACF、PACF

通过观察残差自相关系数与偏自相关系数，可以发现 ACF、PACF 均在临界范围内，与零无差异，因此数据平稳可以证明为白噪声序列。

最终得到预测结果如下：

表 4 货量预测结果

时间	DC14→DC10	DC20→DC35	DC25→DC62
2023 年 1 月 1 日	27480	97	15730
2023 年 1 月 2 日	26683	98	13060
2023 年 1 月 3 日	26625	100	10299
2023 年 1 月 4 日	27186	102	11368
2023 年 1 月 5 日	28019	103	6841
2023 年 1 月 6 日	28715	105	8304
2023 年 1 月 7 日	28802	107	12856
2023 年 1 月 8 日	28229	108	13949
2023 年 1 月 9 日	27452	110	11430
2023 年 1 月 10 日	26835	112	7454
2023 年 1 月 11 日	26406	114	7527
2023 年 1 月 12 日	26037	116	8404
2023 年 1 月 13 日	25578	118	10802
2023 年 1 月 14 日	25057	119	12937
2023 年 1 月 15 日	25177	121	8571

2023 年 1 月 16 日	28357	123	11452
2023 年 1 月 17 日	40175	125	11558
2023 年 1 月 18 日	65244	127	8802
2023 年 1 月 19 日	67847	129	7935
2023 年 1 月 20 日	41640	132	15814
2023 年 1 月 21 日	34693	134	9036
2023 年 1 月 22 日	34403	136	4699
2023 年 1 月 23 日	31830	138	12165
2023 年 1 月 24 日	30069	140	7937
2023 年 1 月 25 日	30809	143	5652
2023 年 1 月 26 日	35136	145	8356
2023 年 1 月 27 日	42462	147	10269
2023 年 1 月 28 日	48225	150	7308
2023 年 1 月 29 日	48675	152	10752
2023 年 1 月 30 日	59678	155	10827
2023 年 1 月 31 日	56923	158	11422

5. 2 问题二：DC5 停用后货量合理分配的目标规划

首先，对数据进行预处理，计算每条线路历史运输最大货量及各物流场地能够处理的最大接受货量和发出货量。其次，建立结构优化模型，设置目标函数为最小化货量变化量，约束条件函数考虑各线路及物流场地的最大限制容量、各线路货量偏差量、时间等，最后使用模拟退火模型进行求解。

5. 2. 1 数据预处理

利用数据透视表计算出每条线路历史运输最大货量及各物流场地能够处理的最大接受货量和发出货量。结果见下：

表 5 各接受地最大包裹处理量	
作为接受地（场地二）	最大值项:货量
DC10	251835
DC11	1
DC12	71112
DC13	26
DC14	64007
DC15	2
DC17	14
DC19	14
DC20	7
DC21	68
DC22	32
DC23	604
DC25	44
DC28	8

DC29	628
DC3	98905
DC30	50
DC31	2
DC32	1564
DC33	60
DC34	476
DC35	101949
DC36	90
DC37	5
DC38	15
DC4	248759
DC40	28631
DC45	4
DC48	7
DC5	63906
DC50	77
DC51	2
DC54	3
DC58	1
DC6	2
DC61	10
DC62	86858
DC67	142
DC70	51136
DC76	8
DC78	1
DC79	2
DC8	505833
DC81	16240
DC9	439995

表 6 各发出地最大包裹处理量

作为发出地（场地 1）	最大值项:货 量
DC10	124567
DC11	9190
DC12	548
DC13	400
DC14	505833
DC15	86858
DC16	13017
DC17	235018
DC19	248759
DC2	164

DC20	130546
DC21	129674
DC22	235177
DC23	204894
DC24	36
DC25	126037
DC26	27912
DC28	60448
DC29	1
DC3	2011
DC30	29192
DC31	5105
DC32	1323
DC33	244
DC34	3608
DC35	1700
DC36	251835
DC37	3431
DC38	100451
DC39	15
DC4	5983
DC40	31454
DC41	29520
DC42	28457
DC43	38055
DC44	192275
DC45	20473
DC46	60686
DC47	72159
DC48	64292
DC49	27048
DC5	15505
DC50	33218
DC51	261337
DC52	2232
DC54	53
DC55	1201
DC56	945
DC57	196
DC58	39928
DC61	301
DC62	73
DC63	26
DC66	496
DC67	2979
DC7	9598

DC70	202
DC71	13758
DC72	4616
DC73	49618
DC74	3862
DC75	2
DC76	12
DC77	2
DC8	32688
DC9	31880

各线路最大运输量见支撑材料。

5.2.2 多目标规划模型的建立

建立结构优化模型[4]，设置目标函数 1 为使 DC5 的所有包裹都能分配出去、未能正常流转的包裹日累计总量尽可能少，目标函数 2 为货量发生变化的线路尽可能少，约束条件函数考虑各线路及物流场地的最大限制容量、各线路货量负荷尽可能均衡等，最后使用模拟退火模型进行求解。

步骤一：确定目标函数

目标函数一：最小化未能分配出包裹量

该题规划所需达到的目标一是使 DC5 的所有包裹都能分配出去、未能正常流转的包裹日累计总量尽可能少，以 x'_{ijt} 表示 DC5 关停后，第 t 天发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的货量， $i \in I$ ； $j \in J$ ，（集合 I 为预测 DC5 场地在第 t 天所能通向的场地，集合 J 为预测 DC5 场地在第 t 天所能接受的场地），以 x_{ijt} 表示若 DC5 没关停，第 t 天发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的货量，则该目标函数具体表示为：

$$\min \{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x'_{ijt} - x_{ijt}) - x_{i5t} \},$$

$$t=1, 2, \dots, 31$$

目标函数二：最小化发生变化的线路数量：

目标二设置为货量发生变化的线路尽可能少，记 $A_{ijt} \begin{cases} 1, & x'_{ijt} - x_{ijt} > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

则该目标函数具体表示为：

$$\min \{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J A_{ijt} \},$$

$$t=1, 2, \dots, 31$$

步骤二：确定约束条件

1.是不能使各线路及各场地的包裹运输或处理能力超过其最大限制（历史最大值），以 m_{ij} 表示发出地为 i ，接收地为 j 的这条线路上的最大包裹量，以 $\max\{m_{ij}, m_{ji}\}$ ， $i \in I$ ； $j \in J$ 表示场地DC i 的历史最大处理货量，则该条件的具体表达式为：

$$0 \leq x'_{ijt} \leq m_{ij}, \\ t=1, 2, \dots, 31; i \in I; j \in J$$

$$x'_{ijt} \leq \max\{m_{ij}, m_{ji}\}, \\ t=1, 2, \dots, 31; i \in I; j \in J$$

2.为各线路负荷量尽可能均衡，令 $\alpha > 0$ ，则该条件具体表达式为：

$$\max(x'_{ijt}/m_{ij}) - \min(x'_{ijt}/m_{ij}) \leq \alpha, \\ t=1, 2, \dots, 31; i \in I; j \in J$$

3. 各线路货运量为非负整数，具体表达式为：

$$x'_{ijt}, x_{ijt} \in Z \\ t=1, 2, \dots, 31; i \in I; j \in J$$

5.2.3 基于模拟退火算法多目标规划模型的求解

步骤一：得出多目标规划模型

根据上述推导过程，对所要求解的目标与条件进行总结，得到以下模型：

$$\begin{aligned} & \min \{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x'_{ijt} - x_{ijt}) - x_{i5t} \}, \\ & \min \{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J A_{ijt} \} \\ & st. \begin{cases} 0 \leq x'_{ijt} \leq m_{ij} \\ x'_{ijt} \leq \max\{m_{ij}, m_{ji}\} \\ \max(x'_{ijt}/m_{ij}) - \min(x'_{ijt}/m_{ij}) \leq \alpha \\ x'_{ijt}, x_{ijt} \in Z \end{cases} \end{aligned}$$

步骤二：利用模拟退火算法进行求解

模拟退火算法实质上可以大致分为两层循环：循环一，反复迭代产生新解，在降温的过程中的任一温度下通过随机扰动新解，并计算目标函数值的变化，决定是否被接受。循环二，缓慢降温重复迭代过程，在固定温度迭代完成后缓慢的降温算法最终可能收敛到全局最优解，[6]模拟退火算法的求解过程如图：

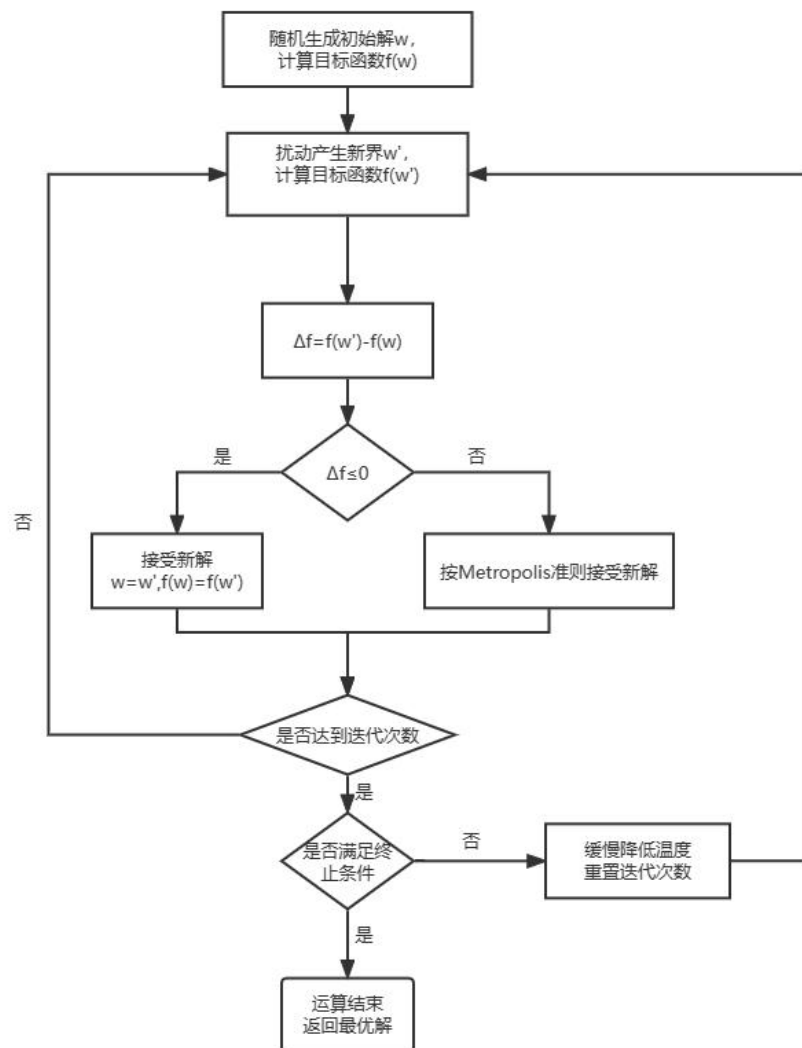


图 10 模拟退火算法流程图

模拟退火算法的伪代码见下：

```
1 s:=s0;e:=E(s)//设定目前状态为s0，其能量E(s0)
2 k:=0//评估次数k
3 while k<kmax and e>emax//若还有时间（评估次数k还不到kmax）且结果还不够好（能量e不够低）则：
4   sn:=neighbour(s)//随机选取一临近状态sn
5   en:=E(sn)//sn的能量为E(sn)
6   if random()<P(e,en,temp(k/kmax)) then//决定是否移至临近状态sn
7     s:=sn; e:=en//移至临近状态sn
8     k:=k+1//评估完成，次数k加一
9   returns//回转状态s
```


图 11 模拟退火算法伪代码

具体步骤:

随机生成一个初始解，作为模拟退火算法的起点。可以随机生成一个 x'_{ijt} 的整数解作为初始解。选择初始 T_0 为 500，控制参数 T_i 。为 T_i 构造一种适合本题使用的自适应

衰减函数： $T_{i+1} = \frac{a}{\ln T_i}$ (a 为常数)， a 的取值范围为 0.5~0.99。

在每一次迭代中，根据当前温度 T_0 和控制参数 T_i ，对当前解进行随机扰动，得到一个新的解。同时可以采用随机交换两个 x'_{ijt} 的值的方式进行扰动。

计算新解的目标函数值，根据加权法将两个目标函数组合为一个单目标函数 $F(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x)$ ，得到新解的适应度值。

判断新解是否符合约束条件，如果符合，则接受该解；否则，根据一定的概率接受该解，可以使用 Metropolis 准则来确定接受非法解的概率，从而以便更好地探索搜索空间。

降低温度，减小控制参数 T_i ，进入下一次迭代。

当达到停止迭代的条件，算法结束搜索，返回最优解。本题中可设置停止条件为温度 T 降至足够低，并且算法已经在高温状态下进行了充分的广域搜索，在低温状态下进行了足够的局部搜索之后，认为算法已经找到了可能存在最优解的区域，并有很大可能性找到全局最优解。因此，将 L 设置为 $L=0.1$ ，当模拟退火算法的温度至 L 以下时，算法停止迭代，返回当前的最优解。

求解结果

表 7 DC5 关停后发生变化线路的货物数量变化以及工作负荷

路线	超出/剩余货量 (件)	工作负荷 (%)
69-8	28132	100.00%
69-14	4479	100.00%
69-62	5174	100.00%
69-10	10561	94.86%
23-32	604	57.90%
64-8	1696	54.24%
60-8	21799	53.17%
60-10	7433	52.20%
27-10	16133	51.47%
8-14	32291	51.38%
52-8	3998	50.48%
26-64	11493	49.19%
4-23	3519	48.67%
70-4	385	48.46%
38-64	14273	47.00%
27-8	57062	46.25%
27-14	15669	44.31%

59-62	4037	43.62%
30-14	7599	43.62%
10-4	129442	42.91%

5.3 问题三：多目标动态决策规划

5.3.1 数据预处理

首先由问题一的预测结果数据整理出与 DC9 有货物运输关联的物流场地及其货量得出每个物流场地能处理的货量的最大值，并利用数据透视表求出各物流场地历史最大接收量及发出量，分别作为接受包裹与发出包裹的处理能力上限；各线路历史最大货运量作为其运输能力上限，进而得出所有线路的历史最大货运量的最大值作为新增线路的运输能力上限。

5.3.2 基于多目标动态决策规划模型设计分配方案及线路规划

步骤一：决策变量的构造

首先，定义 L_{ijt} 来表示在第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 之间是否开通新路线，若 $L_{ijt}=0$ ，表示在第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 之间未开通新路线；若 $L_{ijt}=1$ ，表示在第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 之间开通了新路线。

其次，定义 l_{ijt} 来表示从物流场地 i 到物流场地 j 之间开通新路线的新路线在第 t 天是否投入使用，若 $l_{ijt}=0$ ，表示第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 之间的新路线未投入使用；若 $l_{ijt}=1$ ，表示第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 之间的新路线投入使用。

最后，定义 V 为所有与 DC9 有运输关联的场地以及新增线路中包含的场地。

步骤二：确定目标函数

设置目标函数为最小化未能正常流转的货量、最小化每条线路的工作负荷标准差以及最小化线路变化数，因此，我们将问题三的目标设置为多目标，共有以下三个目标函数。另外，我们将 DC9 接收和发出的货量分开讨论、求解，下文以 DC9 接收的货量为例讨论。

目标函数 1：最小化未能正常流转的货量：

将新增路线每日运输的货量与原有路线每日因 DC9 关停而增加的货量相加即可得到 DC9 原本接收的货量被分配给其他线路的总货量，总货量与 DC9 接收总货量的差值即为未能正常流转的货量，表达式如下：

$$\min \{ \sum_{t \in [1, 31]} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (x'_{ijt} - x_{ijt}) - x_{i9t} \}$$

目标函数 2：最小化路线工作负荷标准差：

尽可能使各条路线的工作负荷均衡，即：使各条线路的工作负荷接近。标准差使反映一组数据离散程度常用的一种量化形式，标准差越小，说明数据越集中，因此在此处选用最小化标准差来使各条路线工作负荷趋于均衡。

为了便于表示，将 w_{ijt} 定义为在第 t 天从物流场地 i 到物流场地 j 的路线的工作负荷，即 $\sum x'_{ijt} / 31m_{ij}$ ，该条线路的平均货量与其运输能力上限的比值。 \bar{w} 表示工作负

荷的平均值。n 代表有运输任务的线路数。表达式如下：

$$\min \sqrt{\frac{\sum \sum (w_{ijt} - \bar{w})^2}{n}}$$

$$t \in [1, 31]; i \in V; j \in V$$

目标函数 3：最小化线路变化数

将每天开通的所有新路线和货量发生变化的所有路线的数目相加可以得到货量发生变化的线路总和，表达式如下：

$$\min \sum \sum \sum (L_{ijt} + A_{ijt})$$

$$t \in [1, 31]; i \in V; j \in V$$

其中， $A_{ijt} = \begin{cases} 1, & x'_{ijt} - x_{ijt} > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ ，

$$t \in [1, 31]; i \in V; j \in V$$

步骤三：确定约束条件

在实现上述目标的同时需要满足以下约束条件。

1、每条线路上的货量不超过其最大运输量，即

$$0 \leq x'_{ijt} \leq m_{ij}$$

$$t \in [1, 31]; i \in V; j \in V$$

2、每个物流场地的货量不超过其处理能力上限，即

$$x'_{ijt} \leq \max \{m_{ij}, m_{ji}\}$$

$$t \in [1, 31]; i \in V; j \in V$$

3、货量应为正整数

$$x'_{ijt}, x_{ijt} \in Z$$

5.3.3 基于模拟退火算法对多目标动态决策规划模型的求解

步骤一：基于上述分析过程，我们将目标函数和约束条件整理如下：

$$\min \{ \sum \sum \sum ((x'_{ijt} - x_{ijt}) - x_{i9t}) \}$$

$$\min \sqrt{\frac{\sum \sum (w_{ijt} - \bar{w})^2}{n}}$$

$$\min \sum \sum \sum (L_{ijt} + A_{ijt}),$$

$$st. \begin{cases} 0 \leq x'_{ijt} \leq m_{ij} \\ x'_{ijt} \leq \max\{m_{ij}, m_{ji}\} \\ x'_{ijt}, x_{ijt} \in Z \end{cases}$$

步骤二：使用模拟退火模型求解

使用模拟退火算法对上述模型求解，同问题二。

得出 DC9 停用后，其余路线的最大运输量、一月平均送货量、剩余的货量及其工作负荷如表 8 所示。

从表中可以，看出路线 69→5、69→8、69→14 工作负荷达到 100%，所有路线均未超出其可运输的最大货物量，符合要求。

表 8 DC9 关停后其余路线的货物数量以及工作负荷

路线	最大运输量	1 月平均运输量	剩余货量	工作负荷
69→5	1807	1807	0	100.00%
69→8	28132	28132	0	100.00%
69→14	4479	4479	0	100.00%
69→62	5174	5174	0	100.00%
69→10	10561	10018.26	542.7419	94.86%
60→5	5443	4312.71	1130.29	79.23%
23→32	604	349.7419	254.2581	57.90%
64→8	1696	919.9355	776.0645	54.24%
60→8	21799	11591.1	10207.9	53.17%
60→10	7433	3880.226	3552.774	52.20%
27→10	16133	8303.161	7829.839	51.47%
8→14	32291	16591.9	15699.1	51.38%
52→8	3998	2018.194	1979.806	50.48%
26→64	11493	5653.935	5839.065	49.19%
4→23	3519	1712.774	1806.226	48.67%
70→4	385	186.5806	198.4194	48.46%
38→64	14273	6707.71	7565.29	47.00%
30→5	3986	1873.065	2112.935	46.99%
27→8	57062	26392.87	30669.13	46.25%
47→14	64007	29391.06	34615.94	45.92%

同时，得出 DC9 停用后新增线路及其运输量、运行时间如下表所示。从表中可以看出，仅增加了从 DC3 到 DC1 这条线路，最早投入运用的时间为 2023 年 1 月 1 日，平均运输量 1008.68。

表 9 2023 年 1 月 DC9 停用后新增路线时间及货量

发出站	接收站	运行时间	运输量
3	1	2023-1-1	59
3	1	2023-1-2	120
3	1	2023-1-3	269
3	1	2023-1-4	646

3	1	2023-1-5	1098
3	1	2023-1-6	935
3	1	2023-1-7	689
3	1	2023-1-8	614
3	1	2023-1-9	522
3	1	2023-1-10	494
3	1	2023-1-11	531
3	1	2023-1-12	569
3	1	2023-1-13	627
3	1	2023-1-14	721
3	1	2023-1-15	842
3	1	2023-1-16	998
3	1	2023-1-17	1201
3	1	2023-1-18	1450
3	1	2023-1-19	1759
3	1	2023-1-20	2148
3	1	2023-1-21	2640
3	1	2023-1-22	3259

5. 4 问题四：物流网络评价及改善

5. 4. 1 基于熵权法确定权重的 TOPSIS 法评价模型的建立与求解

步骤一：指标分类与代号

物流网络中，各线路重要性，可以由该线路是否为双向线路、该线路的最大运输量、工作天数、运输总量等决定，在给定的时间内，若一条运输线路其是双向线路，且最大运输量越大、运输总量越多、工作天数越多，其对整个物流网络影响越大，越重要。对于各物流场地的评价指标，可以由该场地的最大接受量，最大发出量、工作天数、发出货物总量、接收货物总量构成。当该场地的最大接受量，最大发出量、工作天数、发出货物总量、接收货物总量越多，该物流场地对整个物流网络的影响越大、其越重要。

其中，对线路评价指标中的是否为双向线路进行量化，用 0 表示该线路为单向，用 1 表示该线路为双向线路。

表 10 指标量化		
原指标	单向	双向
量化指标	0	1

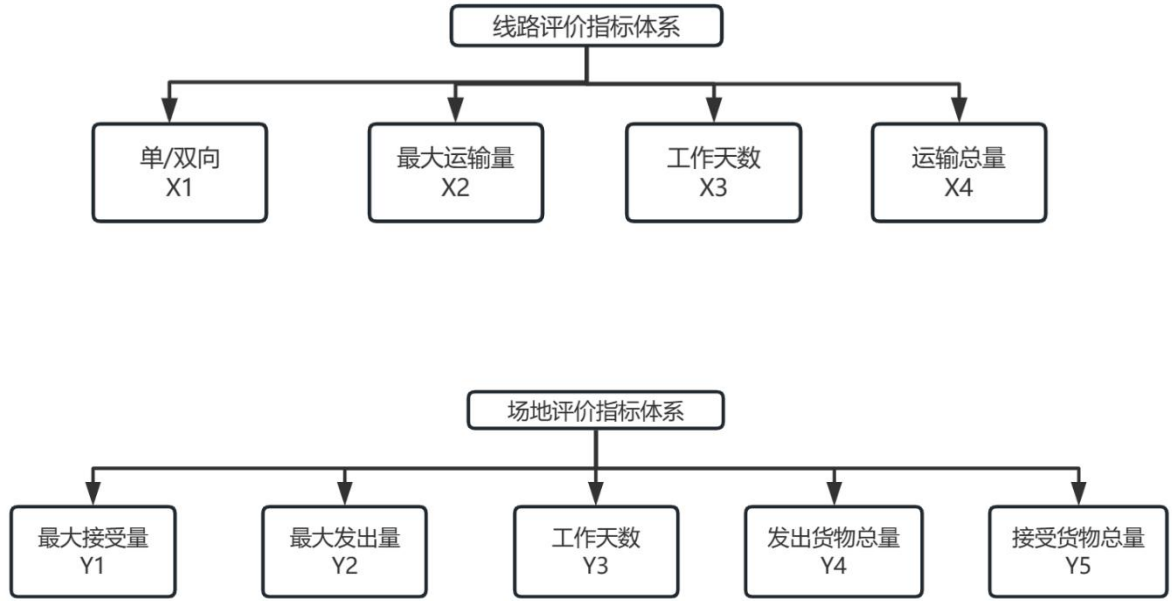


图 12 线路和物流场地的评价指标体系

步骤二：数据正向化与标准化处理

由于所有指标均为正向化指标，故无需进行正向化处理。下面对数据进行标准化处理：

对于第 n 个样本， m 个指标， x_{pq} 为其第 p 个指标的数值，本文采用极大值和极小值法对数据进行无量纲化处理，具体处理公式见下：

$$x_{pq} = (x_{pq} - \min \{x_{1q}, \dots, x_{nq}\}) / (\max \{x_{1q}, \dots, x_{nq}\} - \min \{x_{1q}, \dots, x_{nq}\})$$

以线路

步骤三：权重的确定

由原始数据可得各线路与各物流场地对于各指标的统计数据表，见支撑材料。计算各线路/场地各指标权重[7]：

$$P_{pq} = x_{pq} / \sum_{p=1}^n x_{pq}$$

计算熵值：

$$e_q = k \sum_{p=1}^n P_{pq} \ln(P_{pq}),$$

$$\text{其中, } k = \frac{n}{-\ln n}$$

确定指标的差异系数：

$$s_q = 1 - e_q,$$

$$q=1,2,\dots,m$$

对于确定的 q ，差异系数 s_q 越小，则熵值 e_q 越大， q 项指标在评价中的作用较小；

反之，差异系数 s_q 越大，则熵值 e_q 越小， q 项指标在评价中的作用越大。

计算各项指标权重：

$$w_q = 1 - s_q / \sum_{q=1}^m (1 - s_q),$$

q=1,2...m

使用熵权法计算每个指标的权重见下：

表 11 求解出的线路指标的权重

线路评价指标	熵值 e_q	差异系数 s_q	权重
单/双向 X1	0.995	0.005	10.067%
最大运输量 X2	0.765	0.235	28.874%
工作天数 X3	0.886	0.114	36.504%
运输总量 X4	0.654	0.364	24.556%

表 12 求解出的场地指标的权重

场地评价指标	熵值 e_q	差异系数 s_q	权重
最大接受量 Y1	0.721	0.279	16.997%
最大发出量 Y2	0.753	0.247	18.895%
工作天数 Y3	0.698	0.302	14.589%
发出货物总量 Y4	0.873	0.127	25.763%
接受货物总量 Y5	0.815	0.185	23.756%

将各项指标权重 w_q 与所有指标数值相乘，得到一个加权后的评价矩阵 H，即：

$$H = (r_{pq})_{n \times m} = (w_q x_{pq})_{n \times m}$$

步骤四：求最优解

确定正理想解 O^+ 及负理想解 O^- ：

$$O^+ = \max \{(r_{1q}, r_{2q}, \dots, r_{nq})\}$$

$$O^- = \min \{(r_{1q}, r_{2q}, \dots, r_{nq})\}$$

计算各评价指标到正理想解与负理想解的距离：

$$D^+ = \sqrt{\sum_{p=1}^n (r_{pq} - O^+)^2}$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{p=1}^n (r_{pq} - O^-)^2}$$

计算评价对象与最优解的相对接近度

$$T_q = \frac{D^+}{D^+ + D^-}$$

最终求得各路线及物流场地的重要性评价结果见下，本结果仅展示排名前 15 的路线和场地数据。

表 13 线路重要性最终评价结果

线路	正理想解距 D^+	负理想解距 D^-	综合得分指数	名次
36-10	0.605870687	0.488991527	0.446623804	1
14-8	0.093394712	0.971512866	0.912297824	2
14-9	0.412087169	0.700474902	0.629605233	3
36-4	0.547280073	0.473832174	0.464035345	4
23-4	0.572964601	0.449640516	0.439701023	5
23-10	0.61783829	0.472302135	0.433248896	6
19-4	0.588153937	0.444480714	0.430433662	7
17-4	0.589481202	0.44165235	0.428317311	8
17-10	0.630909005	0.470272726	0.427061867	9
14-10	0.651389532	0.450088691	0.408622415	10
22-4	0.615938593	0.423863346	0.407638541	11
22-10	0.662287764	0.454400903	0.406918165	12
19-10	0.678923387	0.431204607	0.388427829	13
10-4	0.640653721	0.399794584	0.384252232	14
20-10	0.757419599	0.3912168	0.340592376	15

表 14 场地重要性最终评价结果

场地	正理想解距 D^+	负理想解距 D^-	综合得分指数	名次
DC17	0.875029266	0.318420964	0.266807074	1
DC10	0.409007698	0.784556192	0.657322326	2
DC8	0.494035503	0.617281792	0.55545054	3
DC62	0.66760099	0.372354893	0.35804874	4
DC14	0.419891016	0.76842821	0.646651332	5
DC4	0.549340949	0.753922844	0.57848829	6
DC3	0.807256083	0.262610085	0.245460687	7
DC9	0.720799717	0.355629788	0.330379079	8
DC35	0.855666587	0.344858479	0.287256375	9
DC23	0.869162708	0.330314699	0.275382176	10
DC36	0.871578507	0.329463667	0.274314819	11
DC19	0.880307041	0.310335953	0.26064568	12
DC5	0.801587912	0.26991832	0.251905507	13
DC22	0.887381094	0.29777126	0.251251461	14
DC25	0.904470974	0.270069462	0.229936283	15

由表可知，最重要的线路前三名分别是 DC36-DC10、DC14-DC8、DC14-DC9，

最重要的场地前三名分别是 D17、DC10、DC8

5.4.2 新增物流场地及线路的建议

由上述结果显示，D17、DC10、DC8 场地 DC36-DC10、DC14-DC8、DC14-DC9 线路对整个物流网络影响较大，经过分析考虑将在 DC17、DC10、DC8 附近增加站点，以分担其货运量并能缓解其关停带来的影响。同时，将新增场地与距离近的场地相连，并且优先考虑评价结果比较重要的线路中的场地，如 DC8、DC36、DC9，以分担其运输压力，增加相关区域的运输效率。

相关线路的运输能力应该参考若 D17、DC10、DC8 关停，其构成的较重要线路的运输能力，并使新构成的线路运输能力与之相当。

综上，考虑新增一个物流场地 DC82，并将其与 DC8、DC36、DC9、DC10、DC23 相连，其最大运输能力设置见下表：

表 15 新增线路及其运输能力设置

新增线路	运输能力设置
DC36→DC82	200000
DC82→DC8	300000
DC82→DC9	200000

5.4.3 新物流网络鲁棒性分析

由于预测结果的随机性，该新建物流网络可能存在不稳定的情况[8]，需要利用复杂网络分析法分析该新物流网络遭受攻击的鲁棒性[9]。考虑通过随机增加扰动项，由鲁棒性指标的广义指数分布函数定量计算鲁棒性。

鲁棒性指标的广义指数分布[10]，其主要形式为：

$$P = 1 - e^{-\lambda C}$$

其中：P 是指系统的鲁棒性，C 是指破坏系统的成本，λ 是指系统正常运行的概率。若 C 趋近于 0 时，P 趋近于 0，意味着组件或系统的鲁棒性较低；若 C 趋近于无穷大，则 P 趋近于 1，意味着组件或系统是高度可靠的。

通过计算可得当改变 C 的取值时，使其分别取 0.01、0.02、0.03，P 计算结果均趋近于 1。由结果可知该新建物流网络的鲁棒性较强。

六、 模型优缺点

6.1 优点

1、问题二、三模型用合适合理的的数学语言转化了目标函数与约束条件，考虑充分，能够更准确地求得最优解。

2、模拟退火算法以往的近似算法相比， 还行效率高且较少受到初始条件约束，且较为适合求解图论规划等问题。

3.问题四考虑较为全面，考虑了现实情况，确定了合适评价指标，采用熵权法确定权重，更为客观准确，使评价更中肯。

6.2 缺点

- 1.对线路进行评价时，未考虑具体距离、运营成本等，缺乏一定的现实性。
2. 模拟退火算法可能陷入局部最优解，可能收敛到局部最小值，在大规模数据上收敛较慢。

七、参考文献

- [1]李然,孙涛,曹冬艳.平台经济视角下新物流新业态运营模式研究[J/OL].当代经济管理:1-14[2023-04-17].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1356.F.20230324.1706.004.html>. [1]卢建锋,韩霜,赵佳虹.考虑缺失风险的连续消耗型应急物资调度优化研究[J].公路交通科技,2023,40(02):246-254.
- [2]卢建锋,韩霜,赵佳虹.考虑缺失风险的连续消耗型应急物资调度优化研究[J].公路交通科技,2023,40(02):246-254. [3]雷雨,赵丹宁,蔡宏兵等.集成奇异谱分析与 ARIMA 模型预测日长变化[J/OL].武汉大学学报(信息科学版):1-17[2023-04-17].<https://doi.org/10.13203/j.whugis20210256>.
- [4]何珊珊,郭彦,朱文海等.疫情下考虑均衡松弛库存的双目标应急物流网络优化研究[J].铁道运输与经济,2023,45(01):16-22+29.DOI:10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2023.01.03.
- [5]卢义桢,李西兴,朱传军等.基于自适应遗传模拟退火算法的多目标车间布局优化[J].制造技术与机床,2022,No.721(07):173-179.DOI:10.19287/j.mtmt.1005-2402.2022.07.029.
- [6]李朝迁,裴建朝.新型模拟退火遗传算法在路径优化的应用[J].组合机床与自动化加工技术,2022,No.577(03):52-55.DOI:10.13462/j.cnki.mmtamt.2022.03.013.
- [7]张慧,熊欢欢,刘越群.基于 TOPSIS 熵权法的我国区块链产业生态系统绩效评价研究[J].科技管理研究,2023,43(05):38-45.
- [8]张亚萌,余国林.鲁棒多目标规划近似拟弱有效解的最优性条件和鞍点定理[J].吉林大学学报(理学版),2021,59(02):250-256.DOI:10.13413/j.cnki.jdxblxb.2020195.
- [9]石褚巍,马昌喜,麻存瑞.基于两阶段鲁棒优化的可靠性物流网络设计[J/OL].交通运输系统工程与

信息:1-20[2023-04-17].[http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4520.U.20230330.1452.014.ht](http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4520.U.20230330.1452.014.html)
ml.

[10]王世瑞,吴薇薇.基于航线网络结构特征的鲁棒性研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2022,38(06):714-722.DOI:10.19492/j.cnki.1672-0946.2022.06.008.

附录

附录 1
介绍：支撑材料的文件列表
1. CMC2310407 附件.zip （1）文件夹：问题一

SPSS 程序.pdf

问题一：过程数据.xlsx

问题一：时间序列预测结果.xlsx

(2) 文件夹：问题二

C2.m

data1.mat

问题二：DC5 关停后其余路线的货物数量以及工作负荷.xlsx

(3) 文件夹：问题三

C3.m

Data2.mat

问题三：DC9 关停后其余路线的货物数量以及工作负荷.xlsx

问题三：DC9 关停后新增路线时间及货量. xlsx

(4) 文件夹：问题四

C4.m

问题四：场地数据.xlsx

问题四：路线数据.xlsx

问题四：场地 TOPSIS 结果.xlsx

问题四：路线 TOPSIS 结果.xlsx

附录 2

MATLAB 问题二模拟退火求解最优值

```
function [result, vals, tempRouteData] = calculateRoute(graph, startVal,
dataRouteDetail, timeIdx, resultData2, toPosListOut, targetPos)
    result = 0;
    vals = {0, 0, 0, []};
    tempRouteData = dataRouteDetail(:,3);
    % 新增路线
    Addages =
[14,82,300000;36,82,300000;23,82,200000;82,8,300000;82,9,200000;82,10,200000;82,
4,200000];
    s = dataRouteDetail(2:end,2);
    t = dataRouteDetail(2:end,3);
    G_all = digraph(s,t);
    highLightEd = [];
    for idx1 = 1:size(Addages,1)
        G_all = G_all.addedge(Addages(idx1,1),Addages(idx1,2));
        highLightEd = [highLightEd,Addages(idx1,1),Addages(idx1,2)];
    end
    % 计算最近的位置并添加其运输能力
    if ~isempty(startVal{2})
        totalValOut = sum(toPosListOut(:,3));
        for i = 1:length(startVal{2})
            addVal = round(totalValOutStartVal{2}(i));
            tempPos = toPosListOut(i,1);
            targetList = calculateNearbyPositions(G_all, tempPos, 1, timeIdx,
```

```

resultData2, dataRouteDetail); % 使用 G_all 进行计算
if ~isempty(targetList)
for j = 1:size(targetList, 1)
if targetList(j,1) ~= targetPos
routeIdx = targetList(j,1) + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
break;
end
if targetList(j,4) - addVal > 0
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,3) + addVal;
addVal = 0;
break;
else
temp = addVal - targetList(j,4);
addVal = addVal - temp;
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,2);
end
end
end
else
result = result + 1000;
vals{1} = vals{1} + 1;
for mm = 1:81
routeIdx = mm + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
vals{4} = [vals{4}; tempPos, mm, addVal];
break;
end
end
end
if addVal > 0
result = result + addVal;
vals{2} = vals{2} + 1;
end
end
end
end

```

附录 3

MATLAB 问题三模拟退火求解最优值

```

% 要删除的节点为 DC5
TargetPos = 9;%要删除的节点
data2 = load('data2.mat');
data2 = data2.data2;
% 初始化 ResultData3
ResultData3 = cell(TotalRoute+1,33);
for i=2:TotalRoute+1
ResultData3{i,1} = Data_route_detail(i,2);
ResultData3{i,2} = Data_route_detail(i,3);
end
ResultData5 = cell(1,4);
ResultData5(1,:) = {"站点 1","站点 2","添加时间","流量"};

```

```

% 计算每一天的节点流量有向图
for kkk = 1:31
    dateIdx = kkk;
    s = [];
    t = [];
    for i = 2:size(data2,1)
        if data2{i,2+dateIdx} > 0
            s = [s data2{i,1}];
            t = [t data2{i,2}];
        end
    end
    G = digraph(s,t);
    if dateIdx == 1
        figure(1)
        h = plot(G);
        title([datestr(738886 + dateIdx,'yyyy/mm/dd') '各节点流量有向图']);
        [eid,nid] = outedges(G,TargetPos);
        [eid2,nid2] = inedges(G,TargetPos);
        highlight(h,[TargetPos],'NodeColor','red','MarkerSize',5);
        highlight(h,'Edges',eid,'EdgeColor','g','LineWidth',2);
        highlight(h,'Edges',eid2,'EdgeColor','r','LineWidth',2);
    end
    ToPosList_in = CalNearPos(G,TargetPos,0,dateIdx,data2,Data_route_detail);
    ToPosList_out = CalNearPos(G,TargetPos,1,dateIdx,data2,Data_route_detail);
% 模拟退火参数设置
    initial_temperature = 30000; % 初始温度
    cooling_rate = 0.99; % 冷却系数
    allowed_error = 0.005; % 允许的误差
    end_temperature = 1; % 结束的温度
    split_ratio = 0.15; % 分流比例
    weight_limit = 20; % 权重上限
    perturbation_ratio = 0.5; % 每次扰动比例
    time_index = date_index;
% 构造初始解
    initial_solution = create_new_solution(to_pos_list_in, to_pos_list_out,
weight_limit);
    current_solution = initial_solution;
    current_temperature = initial_temperature; % 当前温度
% 计算初始数据
    [initial_result, vehicle_count] = calculate_value(G, initial_solution,
target_pos, time_index, to_pos_list_in, to_pos_list_out, result_data_7,
data_route_detail);
    best_value_list = [];
    best_solution = initial_solution;
    total_count = 0;
% 降温过程
    while current_temperature >= end_temperature
% 等温过程
        while true
% 扰动当前的解
            perturbed_solution = disturb(current_solution, to_pos_list_in,
to_pos_list_out, weight_limit, perturbation_ratio);
% 扰动形成新解与旧解的比较
            [result_current, vehicle_count_current] = calculate_value(G,
current_solution, target_pos, time_index, to_pos_list_in, to_pos_list_out,
result_data_7, data_route_detail);
            [result_perturbed, vehicle_count_perturbed] = calculate_value(G,

```

```

perturbed_solution, target_pos, time_index, to_pos_list_in, to_pos_list_out,
result_data_7, data_route_detail);
diff = (result_perturbed - result_current) / (result_current + 1e-7);
total_count = total_count + 1;
% 该温度下已经达到了平衡则退出等温过程, 降温
if abs(diff) < allowed_error
break;
% 否则以退火准则接受新的最优解
elseif diff < 0 || rand < exp(- (result_perturbed - result_current) /
current_temperature)
current_solution = perturbed_solution;
end
% 如果新解更优, 则更新最优解
if diff < 0
best_solution = perturbed_solution;
end
end
current_temperature = current_temperature * cooling_rate; % 更新温度
best_value_list = [best_value_list, result_perturbed];
% 判断是否达到结束温度, 结束降温
if current_temperature < end_temperature
break;
end
end
% 计算最优解
[BEST_VAL, BESTVC] = CalValue(G, Solution0, TargetPos, timeidx,
ToPosList_in, ToPosList_out, data2, Data_route_detail);
% 把最优解的某些信息存储到 ResultData3 中
ResultData3(:, kkk+2) = BESTVC{3};
ResultData3{1, kkk+2} = datestr(738886 + dateIdx, 'yyyy/mm/dd');
% 把最优解新增的边信息存储到 ResultData5 中
Addages = BESTVC{4};
startLen = size(ResultData5, 1);
for idx1 = 1:size(Addages, 1)
ResultData5(startLen + idx1, :) = {Addages(idx1, 1), Addages(idx1, 2),
ResultData3{1, kkk+2}, Addages(idx1, 3)};
end
% 显示替换后的结果
if dateIdx == 1
figure(2)
s = [];
t = [];
for i = 2:size(data2, 1)
if BESTVC{3}{i} > 0 && data2{i, 1} ~= TargetPos && data2{i, 2} ~=
TargetPos
s = [s, data2{i, 1}];
t = [t, data2{i, 2}];
end
end
G = digraph(s, t);
highLightEd = [];
for idx1 = 1:size(Addages, 1)
highLightEd = [highLightEd, Addages(idx1, 1), Addages(idx1, 2)];
end
h = plot(G);
title([datestr(738886 + dateIdx, 'yyyy/mm/dd') '各节点流量有向图(删去 DC'
num2str(TargetPos) ')']);
if ~isempty(ToPosList_in)

```

```

    highlight(h, ToPosList_in(1:length(Solution0{1}), 1)', 'NodeColor', 'red',
'MarkerSize', 5);
    end
    if ~isempty(ToPosList_out)
        highlight(h, ToPosList_out(1:length(Solution0{2}), 1)', 'NodeColor',
'green', 'MarkerSize', 5);
    end
    highlight(h, 'Edges', highLightEd, 'EdgeColor', 'black', 'LineWidth', 2);
    BESTVC{3}{1} = 0;
    valout1 = sum(cell2mat(BESTVC{3}));
    valout2 = sum(Data_route_detail(:, 5)) - Data_route_detail(1, 5);
    fprintf(['全路网负荷量' num2str(valout1/valout2*100) '\n' ]);
    end
    % 打印进度
    fprintf(['进度 ' num2str(kkk/31*100) '...\n']);
    %% 保存结果数据
    % 将删除 DC 后的所有路线数据保存在 Excel 文件中
    ResultData4 = ResultData3(1,:);
    idx4 = 2;
    for i=2:TotalRoute+1
        if ResultData3{i,1}~=TargetPos && ResultData3{i,2} ~= TargetPos
            ResultData4(idx4,:) = ResultData3(i,:);
            idx4 = idx4 + 1;
        end
    end
    ResultData4{1,1} = '站点 1';
    ResultData4{1,2} = '站点 2';
    fnew = ['23 年 1 月删除 DC' num2str(TargetPos) '后所有路线数据.xlsx'] ;
    xlswrite(fnew,ResultData4); % 将数据写进 Excel 文件中
    fprintf(['数据已经保存在 ' fnew '文件中。'\n']);
    % 将新增路线数据保存在 Excel 文件中
    fnew5 = ['23 年 1 月删除 DC' num2str(TargetPos) '后新增路线数据.xlsx'] ;
    xlswrite(fnew5,ResultData5);
    fprintf(['新增路线数据已经保存在 ' fnew5 '文件中。'\n']);
    %% 函数部分
    function targetList = CalNearPos(G, idx, isout, timeidx, ResultData2,
Data_route_detail)
    % 计算最近的站点
    if isout > 0
        [~,nid] = outedges(G,idx);
    else
        [~,nid] = inedges(G,idx);
    end
    if isempty(nid)
        targetList = [];
        return;
    end
    temp1 = zeros(length(nid),4);
    for i = 1:length(nid)
        if isout > 0
            routeIDX = idx*100 + nid(i);
        else
            routeIDX = nid(i)*100 + idx;
        end
        findResult = find(Data_route_detail(:,1)==routeIDX);
        if isempty(findResult)
            fprintf("ERROR!\n");

```



```

targetList = [];
return;
end
temp1(i,1) = nid(i);
temp1(i,2) = Data_route_detail(findResult(1),5);
temp1(i,3) = ResultData2{findResult(1),timeidx+2};
temp1(i,4) = temp1(i,2) - temp1(i,3);
end
temp1s = sortrows(temp1,4,'descend');
targetList = temp1s;
end
function StartVal = CreateNewSolution(ToPosList_in, ToPosList_out, P2)
% 针对进站点和出站点, 创建一个新的解决方案
P1 = rand;
if isempty(ToPosList_in)
StartVal{1} = [];
else
selectPosList_in =
ToPosList_in(1:max(1,round(P1*size(ToPosList_in,1))),1);
StartVal{1} = CreateRand(1,length(selectPosList_in),P2);
end
if isempty(ToPosList_out)
StartVal{2} = [];
else
selectPosList_out =
ToPosList_out(1:max(1,round(P1*size(ToPosList_out,1))),1);
StartVal{2} = CreateRand(1,length(selectPosList_out),P2);
end
StartVal{3} = P1;
end
function temps0 = CreateRand(a,b,P2)
% 创建一个大小为 a*b 的随机矩阵
temps0 = round(P2*rand(a,b));
% 若所有元素之和等于 0, 则将所有元素设为 1/(a*b)
if(sum(temps0)==0)
temps0 = ones(a,b)./(a*b);
else
% 将元素值归一化, 使得所有元素之和为 1
temps0 = temps0./sum(temps0);
end
end
function Solution = Disturb(Solution0,ToPosList_in,ToPosList_out,P2,P3)
% 在 ToPosList_in 和 ToPosList_out 中选择部分位置, 创建一个新的解决方案
Solution = CreateNewSolution(ToPosList_in,ToPosList_out,P2);
% 注释掉的代码未被使用, 因此可以删除
% Soutlion{1} = Disturb2(Solution0{1},P2,P3);
% Soutlion{2} = Disturb2(Solution0{2},P2,P3);
end
function Solution = Disturb2(Solution0,P2,P3)
Solution = Solution0;
if ~isempty(Solution0)
le = length(Solution0);
for i=1:le
% 以 P3 的概率, 将 Solution 中的某个元素随机设置为 0~P2 之间的值
if rand < P3
Solution(i) = round(rand*P2);
end
end
end

```

```

% 若所有元素之和等于 0，则将所有元素设为 1/le
if(sum(Solution)==0)
    Solution = ones(1,le)./le;
else
% 将元素值归一化，使得所有元素之和为 1
    Solution = Solution./sum(Solution);
end
end
end
function [Result, Vals] = CalValue(G, StartVal, TargetPos, timeidx,
ToPosList_in, ToPosList_out, ResultData2, Data_route_detail)
% 初始化结果和值
Result = (length(StartVal{1}) + length(StartVal{2})) * 50;
Vals = cell(1, 4); % {爆仓站点数量,爆仓路线数量}
Vals{1} = 0;
Vals{2} = 0;
% 备份路径数据
tempRouteData = ResultData2(:, timeidx + 2);
% 遍历内部调拨站点
if ~isempty(StartVal{1})
% 计算总调拨货物价值
totalValIn = sum(ToPosList_in(:, 3));
for i = 1:length(StartVal{1})
% 计算当前站点需要调拨的货物价值
addVal = round(totalValIn * StartVal{1}(i));
% 获取当前站点编号
tempPos1 = ToPosList_in(i, 1);
% 计算当前站点的周围可达站点列表
targetList1 = CalNearPos(G, tempPos1, 0, timeidx, ResultData2,
Data_route_detail);
% 如果有可达站点
if ~isempty(targetList1)
for j = 1:size(targetList1, 1)
% 如果可达站点不是目标站点
if targetList1(j, 1) ~= TargetPos
% 计算当前路线编号
routeIDX = targetList1(j, 1) * 100 + tempPos1;
% 查找当前路线在数据中的索引
findResult = find(Data_route_detail(:, 1) == routeIDX);
% 如果找到了对应路线
if ~isempty(findResult)
% 如果当前站点需要调拨的货物价值小于可达站点的剩余货物价值
if targetList1(j, 4) - addVal > 0
% 更新路线上的货物价值
tempRouteData{findResult(1), 1} = targetList1(j, 3) + addVal;
addVal = 0;
break;
else
% 更新剩余的货物价值，并更新路线上的货物价值
temp2 = addVal - targetList1(j, 4);
addVal = temp2;
tempRouteData{findResult(1), 1} = targetList1(j, 2);
end
else
% 如果没有找到对应路线，记录到 Vals{4}中
Vals{4} = [Vals{4}; targetList1(j, 1), tempPos1, addVal];
break;

```

```

end
end
end
else
% 如果当前站点周围没有可达站点，记录到 Vals{1}中
Result = Result + 1000;
Vals{1} = Vals{1} + 1;
for mm = 1:81
routeIDX = mm * 100 + tempPos1;
findResult = find(Data_route_detail(:, 1) == routeIDX);
if isempty(findResult)
Vals{4} = [Vals{4}; mm, tempPos1, addVal];
break;
end
end
end
% 如果还有剩余的货物价值，记录到 Vals{2}中
if addVal > 0
Result = Result + addVal;
Vals{2} = Vals{2} + 1;
end
end
end
end
if ~isempty(startVal{2})
totalValOut = sum(toPosListOut(:,3));
for i = 1:length(startVal{2})
addVal = round(totalValOutStartVal{2}(i));
tempPos = toPosListOut(i,1);
targetList = calculateNearbyPositions(graph, tempPos, 1, timeIdx,
resultData2, dataRouteDetail);
if ~isempty(targetList)
for j = 1:size(targetList, 1)
if targetList(j,1) ~= targetPos
routeIdx = targetList(j,1) + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
break;
end
if targetList(j,4) - addVal > 0
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,3) + addVal;
addVal = 0;
break;
else
temp = addVal - targetList(j,4);
addVal = addVal - temp;
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,2);
end
end
end
else
result = result + 1000;
vals{1} = vals{1} + 1;
for mm = 1:81
routeIdx = mm + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
vals{4} = [vals{4}; tempPos, mm, addVal];
break;

```

```

end
end
end
if addVal > 0
result = result + addVal;
vals{2} = vals{2} + 1;
end
end
end
vals{3} = tempRouteData;

```

附录 4

MATLAB 熵权法-TOPSIS 评价

```

function [result, vals, tempRouteData] = calculateRoute(graph, startVal,
dataRouteDetail, timeIdx, resultData2, toPosListOut, targetPos)
result = 0;
vals = {0, 0, 0, []};
tempRouteData = dataRouteDetail(:,3);
% 新增路线
Addages =
[14,82,300000;36,82,300000;23,82,200000;82,8,300000;82,9,200000;82,10,200000;82,
4,200000];
s = dataRouteDetail(2:end,2);
t = dataRouteDetail(2:end,3);
G_all = digraph(s,t);
highLightEd = [];
for idx1 = 1:size(Addages,1)
G_all = G_all.addedge(Addages(idx1,1),Addages(idx1,2));
highLightEd = [highLightEd,Addages(idx1,1),Addages(idx1,2)];
end
% 计算最近的位置并添加其运输能力
if ~isempty(startVal{2})
totalValOut = sum(toPosListOut(:,3));
for i = 1:length(startVal{2})
addVal = round(totalValOutStartVal{2}(i));
tempPos = toPosListOut(i,1);
targetList = calculateNearbyPositions(G_all, tempPos, 1, timeIdx,
resultData2, dataRouteDetail); % 使用 G_all 进行计算
if ~isempty(targetList)
for j = 1:size(targetList, 1)
if targetList(j,1) ~= targetPos
routeIdx = targetList(j,1) + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
break;
end
if targetList(j,4) - addVal > 0
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,3) + addVal;
addVal = 0;
break;
else
temp = addVal - targetList(j,4);
addVal = addVal - temp;
tempRouteData{findResult(1),1} = targetList(j,2);

```

```
end
end
end
else
result = result + 1000;
vals{1} = vals{1} + 1;
for mm = 1:81
routeIdx = mm + tempPos * 100;
findResult = find(dataRouteDetail(:,1)==routeIdx);
if isempty(findResult)
vals{4} = [vals{4}; tempPos, mm, addVal];
break;
end
end
end
if addVal > 0
result = result + addVal;
vals{2} = vals{2} + 1;
end
end
end
end
```