

基于应急供应商策略的产线断料 解决方案研究

Research on Solution of Production Line Material Breakage Based on Emergency Supplier Strategy

周奕昕¹,王召婷²,石佳圆³,朱 磊²(1. 中国联通江苏分公司,江苏 南京 210000;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;3. 北方民族大学,宁夏 银川 750021)

Zhou Yixin¹, Wang Zhaoting², Shi Jiayuan³, Zhu Lei² (1. China Unicom Jiangsu Branch, Nanjing 210000, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China; 3. North Minzu University, Yinchuan 750021, China)

摘 要:

针对生产企业中出现的生产线缺料问题制定解决方案。从应急供应商选择和应急取货的角度出发,考虑突发断料时种类和数量的不确定性、采购来源的动态性和补货成本的有限性,构建利用MILP的两阶段DERESS模型,制定基于应急供应商策略的产线断料解决方案。首先,以生产企业所在地为中心,考虑运输和采购成本,扩散式选择最优应急供应商;其次,规划最优取货路径以便最大程度缩短运输时间。

关键词:

应急供应商;产线断料;厂外物流调度;MILP;DCMVRPPTW;DERESS

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.06.005

文章编号:1007-3043(2025)06-0023-07

中图分类号:TP391

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Aiming at the shortage of materials in production lines in manufacturing enterprises, it develops a solution. From the perspectives of contingency supplier selection and emergency pickup, considering the uncertainty of the types and quantities of sudden material breakage, the dynamics of purchasing sources, and the limited replenishment costs, it constructs a two-stage DERESS model using MILP to formulate a solution to the problem of material breakage in the production line based on the emergency supplier strategy. Firstly, the optimal emergency suppliers are selected diffusively by considering the transportation and procurement costs around the location of the production company. Secondly, the optimal pick-up route is planned to minimize the transportation time.

Keywords:

Emergency supplier; Production line material breakage; Logistics scheduling outside the plant; MILP; DCMVRPPTW; DERESS

引用格式:周奕昕,王召婷,石佳圆,等. 基于应急供应商策略的产线断料解决方案研究[J]. 邮电设计技术,2025(6):23-29.

0 引言

工业4.0向全球制造业的传统发展模式发起了挑战,要求制造企业必须应对动态变化的环境。同时,中国多地积极推进制造业高质量发展,实现产业结构整体优化和发展方式的根本转变成为发展趋势。而市场波动,不可预测的材料短缺造成的影响,高度可变的产品需求和劳动力可用性等都对生产系统的稳

健性、灵活性和弹性提出了更高要求。能够快速适应不确定性环境和稳定的生产系统代表着当前全球制造业领域智能化和数字化最高水平。对此,确保生产物料持续且稳定的进入生产系统成为首要前提。

作为制造资源的重要组成部分,生产线物料在制造企业生产运作管理中是不可或缺的。物料有序且持续不断地投入生产线中是维持工厂正常运作的关键。但是,生产线断料却时有发生,这不仅会影响所在生产线的生产进度,而且会影响成品的按时交付,严重时甚至会影响企业信誉,为企业带来巨大损失。

收稿日期:2025-04-10

有效解决产线断料问题是减少生产运作管理中资源短缺和浪费的关键,而生产断料发生的时间、资源数量和种类的不确定性进一步增加了解决的难度。因此,为制造企业提供一个不确定性环境下解决生产线断料的有效的、系统的方案或思路,既是紧迫的也是势在必行的。

1 国内外研究现状

设计合理的紧急补给方案是解决生产线断料的关键,这不仅可以降低因物料短缺而带来的延期成本,还可以提高客户满意度和服务水平。目前针对企业生产线断料问题的研究主要集中在生产线断料的内涵及其影响因素和解决策略两大方面。

1.1 生产线断料内涵及其影响因素

生产线断料是指在各项生产活动开展的过程中,原本应该按照生产计划投入生产线的物料无法在规定时间内或者无法按照规定的数量投入到相应工序中^[1]。且断料是突发性事件,不具备周期性特点,这在很大程度上限制了生产系统的性能^[2]。客户需求发生变化(例如插单、急单等)、生产周期和交付周期不匹配、缺乏对物料的及时补给^[3]等都会导致生产线发生断料。文献[4]对一个纸浆和造纸公司面临的制造木托盘的材料短缺进行了研究,主张利用3-R(减少、再利用、回收)来满足公司对托盘的需求。而生产线断料往往会导致生产延期,产品延迟交付,进而造成额外的生产成本和延期成本。

1.2 生产线断料解决策略

生产线断料的解决有助于维持企业内生产运作正常、有序、持续地进行,更好地满足客户动态变化的需求。目前,学者们根据生产线断料解决流程,分阶段给出了基本库存策略、应急供应商策略、紧急运输策略等。

1.2.1 基本库存策略

基本库存策略主要是指当库存水平低于某个阈值,且该阈值远远低于订货点时^[5],则系统立即将常规订单快速转为紧急订单,通过选择合适的订货点和阈值,达到补货总成本最低的目的。文献[6]建立了定期回顾库存模型,在使用基本库存策略的基础上,进一步考虑了与时间相关的库存量和短缺成本,同时假定零售商可以从具有无限容量的供应商处补充库存;后续他们又考虑使用基于数量的紧急运输策略^[7],确定了最佳基本库存水平、最佳周期长度以及紧急订单

的最佳规模和阈值,以使总预期成本率最小化,研究结果表明基于数量的策略相较于基于时间的策略更好。

1.2.2 应急供应商策略

应急供应商策略则是指当制造商库存不足且没有足够的时间从常规供应商处获取足够多需要的物料时^[8],转而选择从合适的应急供应商处订购需要的物料的一种物料采购策略。物料的质量、价格、交付时间等很大程度上决定着成品的成本和生产周期,而物料的质量、价格、交付时间等又取决于供应商,因此,供应商是产品完成的基础。为了应对多变的客户需求,即客户需求存在不确定性,制造商必须提前订购材料以生产其产品^[9]。文献[10]研究了在备件缺货的情况下,服务提供商决定将问题移交给应急供应商时的多资源服务供应链中的契约设计。

1.2.3 紧急运输策略

紧急运输策略被认为是减轻短缺风险和提高库存系统弹性的有效方法^[11-13]。在紧急运输中,时间和载货量非常重要^[14],需要优化路线,在极短的时间内将货物配送到目的地。这时,VRP^[15-16]可以帮助确定最佳运输路线,从而快速、安全地按时交付货物。紧急运输和VRP的结合使用可以帮助提高客户满意度和运输效率^[17]。

2 问题描述

外部资源供应不足导致产线断料是指当内部生产资源发生短缺时,如果制造企业无法在外部(上游供应商)及时获得缺失的生产资源,会进一步加剧企业内对现有资源的争夺,影响产品的按时交付,严重时甚至会导致停产,给企业造成巨大损失,不可避免地会影响企业在行业内的交货信誉^[18]。

在这种情况下,制造企业除了需要向长期供应商询问资源供应情况外,还需要采取应急供应商策略,在现有的供应商库里寻找应急供应商来及时供应缺失的资源。这种情况下,企业会面临如何在有限的前置时间内,筛选出可以供应短缺资源的供应商,并确定最终与之合作的应急供应商;之后,如何保障生产资源及时入库,确保生产任务顺利执行也是必须要考虑的,如运输时间、运输成本、采购成本等。

3 基于应急供应商策略的产线断料解决方案

在解决外部生产资源供应不足时,采取的措施为

制定基于应急供应商策略的产线断料的两阶段解决方案,分别为确定最佳应急供应商和确定最优运输路径,并构建对应的数学模型。

产线断料触发的动态紧急补给流程如图1所示。

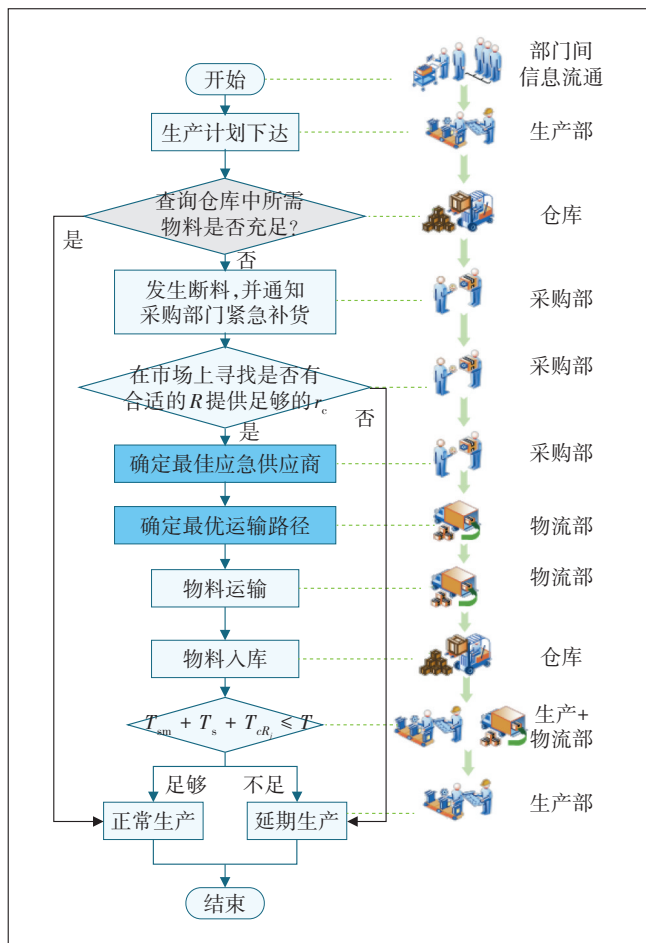


图1 动态紧急补给流程

第1步,生产部根据客户订单,制定产品的生产计划,随后在投料前根据生产计划向仓库确认物料的库存情况。

第2步,查询仓库后,如果物料充足,则会直接向生产部进行反馈,随后生产部在接到反馈后,会按照生产计划安排物料有序投入生产;如果物料库存不满足生产计划的需求,仓库需要及时通知采购部门开展紧急补给。

第3步,采购部在接到紧急补给的请求后,会快速做出反应,考虑向库存水平符合紧急补货需求,同时物料单价经横向对比后较低的零售商寻求帮助,并选择最佳应急供应商与之合作,同时通知物流部及时运输短缺的物料。

第4步,物流部会根据采购部提供的应急供应商名单及物料采购需求,规划最优运输路径在前置时间内达到最小总取货成本,之后开始向货车司机安排运输任务。物料运回后由仓库统一安排入库。

其中,第3步的“选择最佳应急供应商”和第4步的“规划最优运输路径”被统称为动态紧急补给阶段。如图2所示,从发现产线资源冲突到缺失的资源入库,如果整个流程的时间多于前置时间,则会发生延期生产;反之,则可做到正常生产。

4 数学模型

为了更好地解决由于制造企业外部生产资源供应不足导致的产线断料问题,除了图1给出的动态紧急补给流程,本章首先梳理建模思路,然后作出模型假设,对研究的问题进行数学化描述和定义,最后构建了两阶段的数学模型,分别为选择最佳应急供应商和规划最优运输路径,确保在前置时间内获取缺料,保证生产活动有序开展。

4.1 建模思路

图3所示为采购部“选择最佳应急供应商”和物流部“规划最优运输路径”的过程。

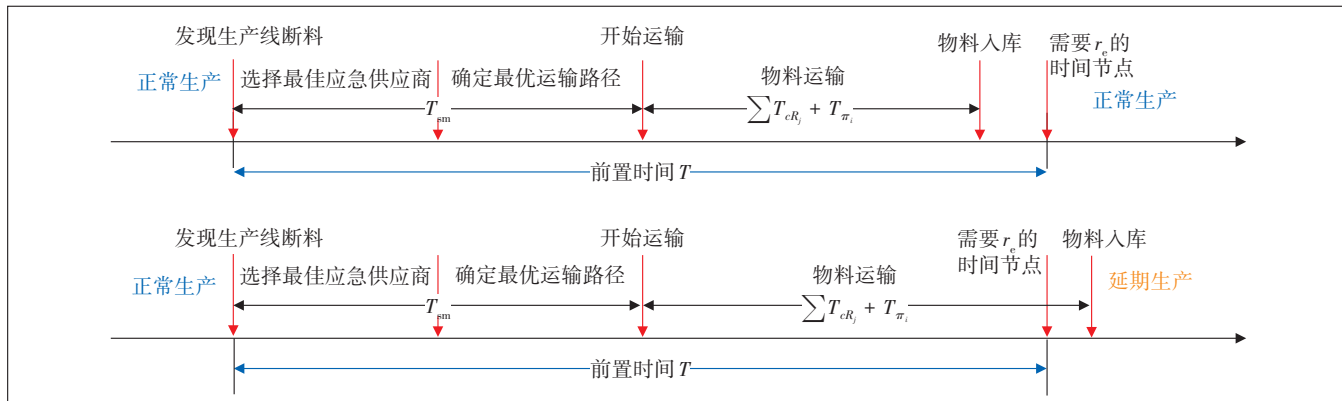


图2 动态紧急补给实施时间线

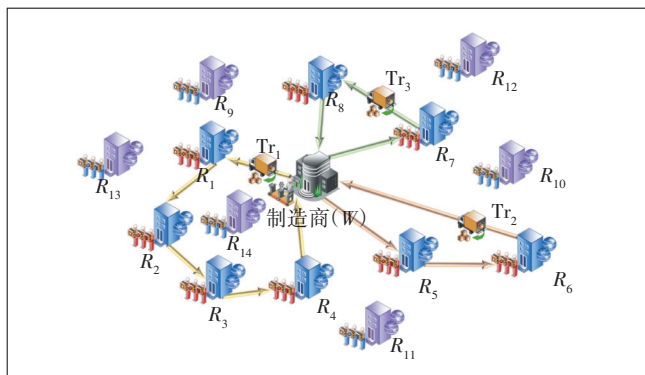


图3 紧急补给情景模拟

a) 以 W 公司(深灰色建筑物)为中心,采购部找到了若干家可以提供所缺物料的零售商(蓝色和紫色建筑物),并最终确定了部分零售商(蓝色建筑物)作为最佳应急供应商与之合作,剩余几家零售商(紫色建筑物)没有被选择。

b) 物流部在采购部“选择最佳应急供应商”的基础上,规划最优运输路径。图3中, W 公司派出了若干辆货车,分别经由几条不同的线路运输物料,且每家应急供应商有且仅被访问一次。

4.2 模型假设

根据第2章问题描述中的讨论和分析,做出以下假设。

假设1:紧急补给方案在实施的过程中主要涉及两大主体,令 W 、 R 分别表示存在生产资源供应不足情况的制造企业和提供物料的零售商, $n_{R'}$ 和 n_R 分别表示市场上找到的可以提供 r_c 的 R 的数量和参与补给的 R 的数量。令 r_c 、 Tr 分别表示断料时所短缺的一种物料和运输 r_c 的货车, n_{r_c} 、 n_{Tr} 、 $n_{Tr_{con}}$ 、 Q_{R_i} 、 p_{ir_c} 分别表示 W 对于 r_c 的需求量、可供 W 派遣的 Tr 的数量、实际参与取货的 Tr 的辆数、 W 企业在第 i 家 R 购入 r_c 的数量、紧急补给时期相较于 W 日常采购物料在第 i 家 R 购入单件 r_c 的差价。

假设2:为避免给 W 造成重大损失,紧急补给情况下要求采购部门在极短的时间内找到解决方案,令 T 、 T_{sm} 、 T_s 、 T_{ij} 、 T_{cR_i} 分别表示从发现物料供应不足到 r_c 按计划投入生产的这段前置时间、动态紧急补给规划的时间、 r_c 取货的总时间、从 R_i 到 R_j 运输 r_c 的时间(包括运输、装货和卸货)、 Tr 在 R_i 的装货时间。

假设3:在对 r_c 进行取货的过程中,所有 Tr 都是同质的,其中, Tr_i 、 Tr_{con} 分别代表第 i 辆参与取货的 Tr 、每辆 Tr 的容量。为了保证对 r_c 的持续运输,同时避免司

机疲劳驾驶,制定司机轮班制度,令 π_i 、 n_{π_i} 、 n_{pi} 、 $T_{u_{\pi_i}}$ 分别代表第 i 辆 Tr 对经过的 R 的任一排列、路径 π_i 中参与运输任务的 Tr 的数量、第 i 辆 Tr 上司机数、在路径 π_i 中的 Tr 集中在 W 卸货的时间。另,令 p_{oil} 、 V_{oil} 、 C_d 、 L_{De} 分别表示紧急补给时期柴油的单价、每辆 Tr 行驶单位距离的耗油量、运输过程中每位司机每单位时间的人工成本、 W 企业的生产延期成本。

所用符号及定义归纳如表1所示。

表1 符号和定义

符号	定义	符号	定义
W	发生生产资源供应不足的制造企业	r_c	生产资源供应不足时所短缺的一种物料
R	提供 r_c 的零售商	Tr	运输 r_c 的货车
$n_{R'}$	市场上找到的可以提供 r_c 的 R 的数量	n_R	参与紧急补给的 R 的数量
Tr_i	第 i 辆参与取货的 Tr	Tr_{con}	每辆 Tr 的容量
n_{r_c}	W 对于 r_c 的需求量	n_{Tr}	可供 W 派遣的 Tr 的数量
n_{Tr}	实际参与取货的 Tr 的辆数	L_{De}	W 企业的生产延期成本
Q_{R_i}	W 企业在第 i 家 R 购入 r_c 的数量	p_{ir_c}	相较于 W 日常采购物料,紧急补给时期,在第 i 家 R 购入单件 r_c 的差价
T	从发现断料到 r_c 按计划投入生产的这段前置时间	T_{sm}	动态紧急补给规划的时间
T_{cR_i}	Tr 在 R_i 的装货时间	$T_{u_{\pi_i}}$	在路径 π_i 中的 Tr 集中在 W 卸货的时间
T_{ij}	从 R_i 到 R_j 运输 r_c 的时间	T_s	r_c 取货的总时间,包括运输,装货和卸货
d_{ij}	从 R_i 到 R_j 的实际路程	e_{ij}	从 R_i 到 R_j 的运输成本
π_i	第 i 辆 Tr 对经过 R 的任一排列时的路径	n_{π_i}	路径 π_i 中参与运输任务的 Tr 的数量
n_{pi}	第 i 辆 Tr 上司机数	p_{oil}	紧急补给时期柴油的单价
V_{oil}	每辆 Tr 行驶单位距离的耗油量	C_d	运输过程中每位司机每单位时间的人工成本
x_{ij}	规划最优运输路径时的0~1决策变量	x_j	选择最佳应急供应商时的0~1决策变量

对每条边 d_{ij} 赋予权重,令 e_{ij} 代表从 R_i 到 R_j 的运输成本,得到 R 之间的运输成本关系矩阵如表2所示。其中, e_{ij} 由柴油消耗成本、人工成本和高速公路服务费(C_h)等3个部分组成,即:

表2 R_i 和 R_j 之间的 e_{ij} 汇总

参数	W	R_1	R_2	R_3	...	R_j
W	0	e_{01}	e_{02}	e_{03}	...	e_{0j}
R_1	e_{11}	0	e_{12}	e_{13}	...	e_{1j}
R_2	e_{20}	e_{21}	0	e_{23}	...	e_{2j}
R_3	e_{30}	e_{31}	e_{32}	0	...	e_{3j}
...	...	...	...	...	0	...
R_i	e_{i0}	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	...	e_{ij}

$$e_{ij} = d_{ij} \times V_{oil} \times p_{oil} + n_{p_i} \times T_{ij} \times C_d + C_h \quad (1)$$

4.3 模型构建

制造企业对运输成本的日益重视,提高了对明确考虑运输因素模型的设计需求。基于此,本文同时考虑采购和运输成本,将紧急补给时期的物料采购和运输视为一个整体,构建了一个两阶段的基于应急供应商策略的动态紧急补给(Dynamic Emergency Replenishment Based on Emergency Supplier Strategy, DERESS)模型,分别为选择最佳应急供应商和规划最优运输路径。

4.3.1 选择最佳应急供应商

在这一阶段,采购部将会选择出 n_R 个应急供应商。既要考虑 Q_{R_i} ,又要考虑 p_{ir} (采购成本),还要考虑运输成本。以制造企业为中心,估算从 W 到 R_j 所需要的运输成本 e_{0j} ,然后将 e_{0j} 均摊到 R_j 提供的每件 r_c 上。这样,在 n_R' 个 R 中,既不会选择到路程近同时 r_c 少的 R ,也不会忽略到路程远但是可以一次提供大量 r_c 的 R ;既可以避免货车空载率过高而造成的浪费,也可以避免因零售商过多而导致运输路径过多,从而带来大量的运输成本,同时可以在一定程度上为后续物流部“规划最优运输路径”降低繁杂程度。在此基础上,构建了一个混合整数线性规划(Mixed-Integer Linear Programming, MILP)模型,兼顾运输和采购成本,在若干家可以提供 r_c 的供应商中选择与 W 合作的最佳应急供应商。

$$\begin{aligned} \min f(x_j) &= \min \sum_{i=1}^{n_R'} \{(e_{0j} \div Q_{R_i}) + p_{ir}\} \times x_j \quad (a) \\ \begin{cases} n_R \leq n_R' & (b) \\ \sum_{i=1}^{n_R} Q_{R_i} \times x_j \geq n_{r_c} & (c) \\ 2 \times T_{0j} \times x_j + T_{cR_i} \times x_j + T_{u_{r_c}} + T_{sm} \leq T & (d) \\ x_j \in \{0,1\}; j \in \{1,2,\dots,n_R'\} & (e) \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

在模型(2)中,目标函数(a)表示以 W 到达各个 R 的运输路径为参考基准,确保每个 r_c 需要承担的运输成本(e_{0j})和采购成本(p_{ir})最小。约束(b)表示紧急补给时期,市场中有足够的符合成为应急供应商要求的 R 。约束(c)表示从所有 R 处获取的 r_c 满足补给需求。约束(d)是时间约束,保证至少 Tr 从 W 到 R_j 的取货时间(包括往返运输和装卸货时间)满足 r_c 的紧急补给时规定的前置时间。条件(e)明确了二元决策变量 x_j 的范围,当 $x_j = 0$ 时,表示 R_j 没有被 W 选择;当 $x_j = 1$ 时,

表示 R_j 被 W 选择,此外,根据 n_R' 定义了 j 的范围。

4.3.2 规划最优运输路径

为了确保 r_c 尽快入库,避免因应急供应商需要协调送料时间而影响生产进度,在模型(2)选择好的应急供应商的基础上,再跟应急供应商协商好 r_c 订单量后, W 采用自主运输的方式。由物流部合理规划取货路径,派遣 Tr_i 完成运输任务。该紧急取货属于具有动态特性的带有载货容量、时间窗、取货任务的组合多车辆路径问题(Dynamic Capacitated Multi-vehicle Route Problem with Pick-up and Time Window, DCMVRPPTW)。其中,动态性不仅包含 W 生产线断料的型号、数量和发生时间的不确定性,而且包含 4.2.1 中不同的 R 选择方案对 e_{ij} 带来的动态变化。将组合 DCMVRPPTW 定义如下:设 $G = (V, E)$ 是一个赋权图,其中 V 是顶点集,顶点集 $V = \{0, 1, \dots, n_R\}$,表示 W 和 R 的集合,并且 W 为顶点 0(“起始点”); E 是边集,且边集 $E = \{0, 1, \dots, [(n_R - 1)n_R]/2\}$, d_{ij} 表示从 R_i 到 R_j 的实际路程, e_{ij} 代表从 R_i 到 R_j 的运输成本。在此基础上,构建一个基于组合 DCMVRPPTW 的数学模型(3),以最小化总取货成本为目标,根据 4.3.1 中选择的 R 和 W 的地理位置关系,在规定的前置时间内,规划最优运输路径:

$$\begin{aligned} \min_{\pi_i} f(x_{ij}) &= \min_{\pi_i} \sum_{\pi_i} \sum_{Tr_i=1}^{n_{p_i}} e_{ij} \times \sum_i \sum_j x_{ij} \quad (f) \\ \begin{cases} \sum_{i=0, j \neq i}^{i=n_R} x_{ij} = \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n_R} x_{ij} = 1 & (g) \\ \sum_j x_{0j} = \sum_i x_{i0} & (h) \\ \sum_j x_{0j} \leq n_{tr} & (i) \\ \sum_{\pi_i} Q_{R_i} \leq Tr_{con} & (j) \\ n_{\pi_i} = 1 & (k) \end{cases} \quad s.t. \begin{cases} \max_{\pi_i} \sum_{\pi_i} (T_{ij} + T_{cR_i}) \times x_{ij} + T_{u_{r_c}} + T_{sm} \leq T & (l) \\ n_{tr} \leq n_{tr_s} & (m) \\ \sum_{\pi_i} \sum_{Tr_i=1}^{n_{p_i}} e_{ij} \times x_{ij} \leq L_{De} & (n) \\ \sum_{i=1}^{n_R} Q_{R_i} \geq n_{r_c} & (o) \\ x_{ij} \in \{0,1\}; i \in \{0,1,2,\dots,n_R\}; j \in \{0,1,2,\dots,n_R\} & (p) \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

在模型(3)中,为防止求解的结果出现单辆Tr走完全程的情况,设目标函数(f)为运输任务最重的Tr取货成本最小。约束(g)表示确保每个R必须被Tr访问一次,但是上次和下次被Tr访问的R不包含本身。约束(h)表示对于给定的始发点 $W(i=j=0)$,出弧数必须等于入弧数。约束(i)表示始发点W的出弧数不能多于 n_{tr} 。约束(j)表示Tr走完路径 π_i 后,从所有R取得的 r_c 的总量需小于Tr的载货量。约束(k)表示对于路径 π_i 有且只派遣一辆Tr。约束(l)是时间约束,表示 r_c 的总取货时间在前置时间之内,总取货时间为:所有路径中消耗最长时间的 π_i ,从 R_i 到 R_j 的运输时间和装卸货时间之和,即:
$$T_s = \max \sum_{\pi_i} (T_{ij} + T_{eR_j}) \times x_{ij} + T_{u_e},$$

约束(m)表示实际参与取货的 n_{tr} 在W拥有的 n_{tm} 范围内。约束(n)表示动态紧急补给规划及实施的总成本小于W公司因缺货而造成的生产延期成本。约束(o)表示W从R处购入的 r_c 满足补给需求。约束(p)定义了二元决策变量 x_{ij} 的范围,当 $x_{ij}=0$ 时,表示 d_{ij} 没有被Tr选择经过;当 $x_{ij}=1$ 时,表示 d_{ij} 被Tr选择经过,以及根据 n_R 限制了i和j的范围。

5 仿真评估

本节利用仿真数据,结合 Matlab2021b 中的求解器对 4.3 节中构建的 DERESS 模型进行评估。

5.1 选择最佳应急供应商求解

将仿真数据代入到 4.3 节中构建的模型,利用 Matlab2021b 中的 intlinprog 求解器对 4.3.1 中的模型(2)进行求解,输出如图 4 所示的与运输成本有关的坐标图,其中,各点代表被选择与之合作的 R,横纵坐标无实际意义,两点之间的距离代表 2 个零售商之间运输成本的大小。

由图 4 可以看出,W 公司选择 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_6 、 R_7 、 R_8 、 R_{11} 等作为与之合作的最佳应急供应商。

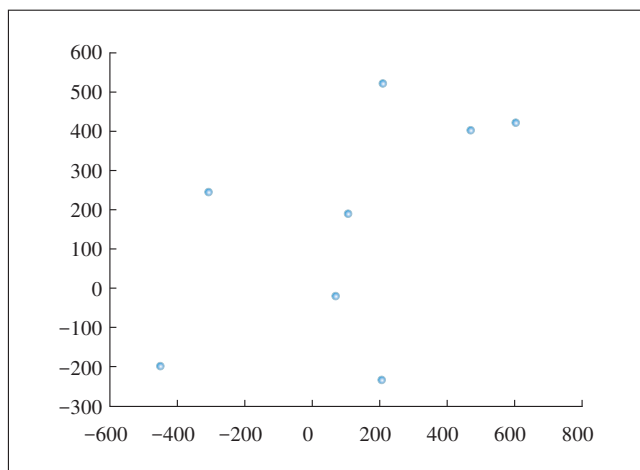


图4 选择最佳R结果

5.2 规划最优运输路径求解

本节利用元启发式算法中遗传算法,对 4.3.1 中的基于组合 DCMVRPPTW 的数学模型(3)进行求解。

种群大小设置为 280,在求解的过程中,在选择遗传算子时采用期望选择策略,仿真结果如图 5 所示。由于案例的数据量较小,图 5 所呈现的下降趋势表明,所设计的遗传算法对于种群迭代过程中选择下一代父代的过程是合理的。

最终,在图 4 得出的与从 R_i 到 R_j 所需运输成本相关的坐标图的基础上,以运输任务最重的 Tr 运输成本最低为目标,利用模型(3)输出图 6 所示的满足紧急补给时间的总运输成本最低的路径图。

由图 6 可知,W 公司 3 辆 Tr 在运输过程中所经过的 3 条路径分别为:

$$\begin{cases} \pi_1: 0 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow 1 \leftrightarrow 2 \leftrightarrow 0 \\ \pi_2: 0 \leftrightarrow 11 \leftrightarrow 7 \leftrightarrow 6 \leftrightarrow 0 \\ \pi_3: 0 \leftrightarrow 8 \leftrightarrow 0 \end{cases}$$

综上所述,5.1 和 5.2 节通过仿真模拟的方式对 DERESS 模型进行求解和评估,论证了其有效性和合理性。

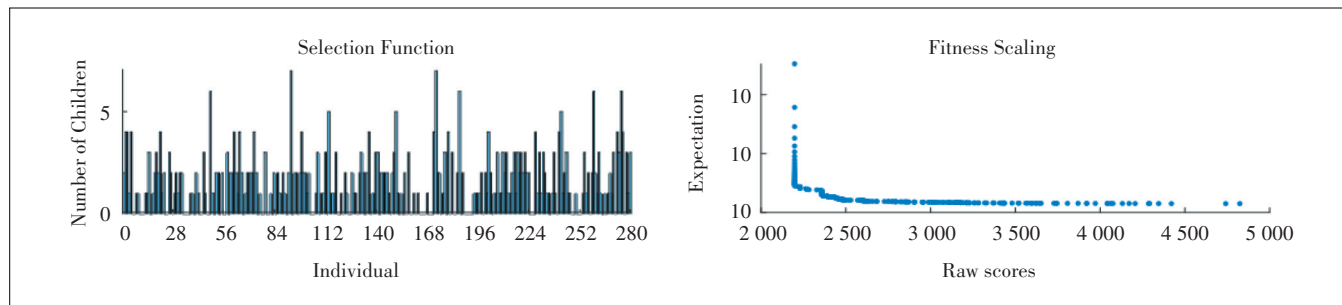


图5 适应度缩放

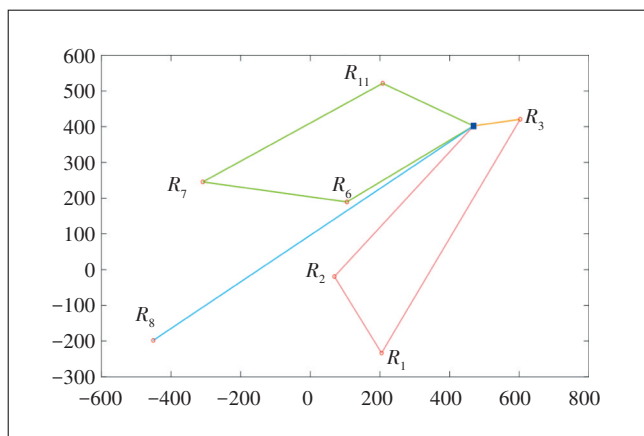


图6 规划最佳运输路径结果

6 结论

针对生产企业中出现的生产线缺料问题,本文提出了一个系统的、具体的、实践性强的基于应急供应商策略的产线断料解决方案,定义了组合DCMVRPPTW,构建了利用MILP的两阶段DERESS模型,包括选择最佳应急供应商和确定最优运输路径。不仅考虑了缺料的不确定性,而且考虑到由应急供应商地理位置不同带来的对运输成本的影响,这使构建的模型在应对不确定性较高的实际场景时,具有较高的可行性,为制造企业在解决断料时提供行之有效的参考依据。此外,DERESS模型仅考虑了一种物料短缺的情况,未来建议进一步研究对于多种物料同时发生短缺时,物料补给应该如何权衡,并及时制定合理的考虑多物料短缺的动态紧急补给方案。

参考文献:

- [1] CHENG B Y, LEUNG J Y T, LI K, et al. Integrated optimization of material supplying, manufacturing, and product distribution: models and fast algorithms [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 277(1): 100–111.
- [2] MINDLINA J, TEMPELMEIER H. Performance analysis and optimisation of stochastic flow lines with limited material supply [J]. *International Journal of Production Research*, 2022, 60(17): 5293–5306.
- [3] MO F, MONETTI F M, TORAYEV A, et al. A maturity model for the autonomy of manufacturing systems [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023, 126: 405–428.
- [4] HANDOKO F, PAULA C, HIDAYAT S, et al. A green-based manufacturing system to solve pallet shortage problems [J]. *Heliyon*, 2021, 7(4): e06823.
- [5] MELIKOV A, MIRZAYEV R, NAIR S S. Double sources queuing-inventory system with hybrid replenishment policy [J]. *Mathematics*, 2022, 10(14): 2423.

- [6] POORMOAIED S, ATAN Z, DE KOK T, et al. Optimal inventory and timing decisions for emergency shipments [J]. *IIE Transactions*, 2020, 52(8): 904–925.
- [7] POORMOAIED S, ATAN Z, VAN WOENSEL T. Quantity-based emergency shipment policies [J]. *IIE Transactions*, 2022, 54(12): 1186–1198.
- [8] JABER M Y, ZANONI S, ZAVANELLA L E. Economic order quantity models for imperfect items with buy and repair options [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 155: 126–131.
- [9] PETROVIC D, KALATA M, LUO J B. A fuzzy scenario-based optimisation of supply network cost, robustness and shortages [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 160: 107555.
- [10] RAHIMI-GHAHROODI S, AL HANBALI A, ZIJM W H M, et al. Multi-resource emergency supply contracts with asymmetric information in the after-sales services [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 229: 107761.
- [11] RAHMANI A. The multiple trip vehicle routing problem with back-hauls in random fuzzy environment: using (α, β) -cost minimization model under the Hurwicz criterion [J]. *International Journal of Computer Mathematics*, 2019, 96(12): 2548–2566.
- [12] REN T, LUO T Y, JIA B B, et al. Improved ant colony optimization for the vehicle routing problem with split pickup and split delivery [J]. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2023, 77: 101228.
- [13] SALEHI SARBIJAN M, BEHNAMIAN J. Multi-fleet feeder vehicle routing problem using hybrid metaheuristic [J]. *Computers & Operations Research*, 2022, 141: 105696.
- [14] DARWISH M A. Joint determination of order quantity and reorder point of continuous review model under quantity and freight rate discounts [J]. *Computers & Operations Research*, 2008, 35(12): 3902–3917.
- [15] YAO Y, ZHU X N, DONG H Y, et al. ADMM-based problem decomposition scheme for vehicle routing problem with time Windows [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2019, 129: 156–174.
- [16] YU G D, YANG Y. Dynamic routing with real-time traffic information [J]. *Operational Research*, 2019, 19(4): 1033–1058.
- [17] KIM G, ONG Y S, CHEONG T, et al. Solving the dynamic vehicle routing problem under traffic congestion [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 17(8): 2367–2380.
- [18] 徐亚楠, 蔡超, 侯迎龙, 等. 物流仓储场景应用下5G网络切片技术的优化方案 [J]. *邮电设计技术*, 2021(4): 84–87.

作者简介:

周奕昕, 工程师, 学士, 主要从事无线网络规划优化工作; 王召婷, 助理工程师, 硕士, 主要从事仓储物流行业解决方案及产品过程管理相关工作; 石佳圆, 工程师, 硕士, 主要从事嵌入式设计相关工作; 朱磊, 工程师, 硕士, 主要从事通信工程及工业领域的咨询设计工作。