

多阶段串联生产 CONWIP 系统缓存区设计

曹阳华, 教秋阳, 周禹辰

(沈阳航空航天大学经济与管理学院, 沈阳 110136)

摘要: 多阶段 CONWIP 系统是一种推拉结合的生产方式,能够有效降低库存成本。针对多阶段串联 CONWIP 系统中缓存区开设数量、缓存区开设位置及缓存区容量大小展开研究,以最小化缓存区开设成本、半成品库存成本、在制品库存成本及成品缺货成本之和作为优化目标,构建相应的数学模型,通过遗传算法结合仿真的方法来求解该模型。仿真结果表明,该系统的库存成本低于看板系统,为解决多阶段串联生产 CONWIP 系统缓存区设计提供一种新的思路和解决方案。

关键词: CONWIP 系统; 缓存区; 遗传算法; 仿真

中图分类号: TP273; TP18; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)14-0009-07

生产控制系统通常可以分为推式、拉式及推拉混合式^[1-2]。推式生产是一种集中控制,针对市场需求预测与订单情况制定生产计划^[3]。由于存在需求预测错误或者偏差,推式生产有时会导致大量库存积压^[4]。拉式生产靠需求来触发生产,为了达到该目的,生产线上的物料量被限定在一定范围,其典型代表是看板(Kanban)系统^[5-6]。虽库存水平较低,但拉式生产只适于批量生产、需求相对平稳且没有较长准备时间的环境,在很多企业内实施难度相对较大^[7-9]。

Spearman 等^[10]于 1990 年提出固定在制品控制系统(constant work-in-process, CONWIP)。该控制方法核心在于保持生产线上的在制品水平值恒定,通常使用流通卡的方式来实现。当生产线的在制品数量达到或超过该值时,则停止投料,当制成品离开生产线时投入新的物料。由于其易于实施,适应品种变化,人力成本要求低,具有拉式生产的本质,同时又结合推式生产的较高产出率,能够赋予生产系统更大的柔性以应对波动,因而得到了广泛的应用^[11-12]。

黄敏等^[13]针对流通卡的分布问题提出多阶段 CONWIP 控制系统的概念。实际应用中,多阶段 CONWIP 控制系统可以看作几个单阶段 CONWIP 控制系统的串联,每个单阶段 CONWIP 控制系统有独立的参数变量控制^[14]。在多阶段 CONWIP 控

制系统中,缓存区的数量、位置和容量决定了系统的性能和生产成本。但目前的研究缺乏对上述问题的研究,没有解决该问题的通用方法。鉴于多阶段 CONWIP 控制系统在企业生产中的广泛应用及其对提高生产效率、降低成本的重要潜力,深入研究并解决缓存区设计问题显得尤为迫切。本文针对上述问题设计仿真实验,基于 Plant-Simulation 软件构建 CONWIP 控制系统模型模拟实际生产过程,结合遗传算法进行生产优化,旨在找到有效的缓存区设计方案,帮助企业降低生产成本,提高生产效率。

1 问题描述

多阶段串联生产 CONWIP 控制系统结构如图 1 所示。串联生产的流水线被划分成多个阶段,工作站间没有在制品缓存区,只在每个阶段后设置在制品缓存区。对于多阶段 CONWIP 控制系统来说,如果上游缓存区的在制品数量较少,系统对外界因素的变化较为敏感,当设备故障或者生产波动时,很可能导致上游工序供应不足,下游工序的生产被迫停止,很容易破坏之前的生产平衡关系;如果在制品数量较多,虽保证了供应上的充足,但会导致成本的大幅上升。

此外,缓存区开设的位置、数量和容量的不同组合形式对于系统的性能和所导致的生产成本是不同的,有必要找出最优的组合。

收稿日期: 2024-12-30

作者简介: 曹阳华(1975—),男,辽宁锦州人,博士,副教授,研究方向为生产物流规划与仿真;教秋阳(1996—),女,辽宁辽阳人,硕士研究生,研究方向为生产物流规划与仿真;周禹辰(2000—),男,辽宁沈阳人,硕士研究生,研究方向为生产物流规划与仿真。

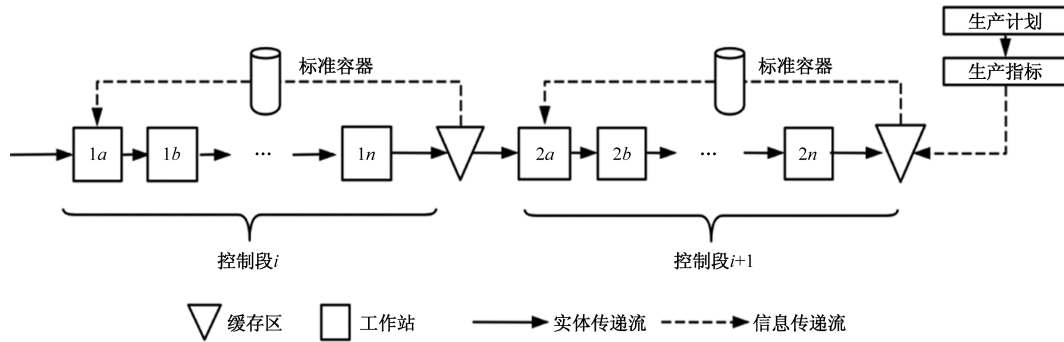


图 1 多阶段 CONWIP 控制系统结构示意图

2 多阶段 CONWIP 控制系统优化模型

2.1 基本假设

基于实际生产特点,作如下假设。

- (1)每个零件一次在某一时刻只能在一个工作stations上加工且只加工一次。
- (2)每个工作站一次在某一时刻只能加工一个零件。
- (3)各零件在各工作stations上所需加工时间已知。
- (4)工作stations的准备时间不计,或包含在加工时间中。
- (5)零件在所有工作stations上加工遵循先来先服务的调度原则。
- (6)所有产品具有相同的串行流程。
- (7)缓存区的加工时间假设为 0,对零件只起到缓存作用。

模型符号及定义如表 1 所示。

2.2 约束条件

- (1)缓存区数量约束:每个工作stations后最多只能有一个缓存区,即 $n \leq Q$ 。
- (2)满足工作stations间的先后加工顺序,即紧前紧后关系。

$$\sum_{m=1}^K (x_{jm} - x_{im}) \geq 0, \quad \forall (i, j) \in \text{Pred} \quad (1)$$

- (3)零件 p 在第 k 控制段中生产提前期是该段末站离开时间与首站到达时间的差。

$$L_{pk} = te_{pk} - ts_{pk} = \sum_{M_i \in N_k} T_{M_i} + W_{pk} = \sum_{M_i \in N_k} T_{M_i} + \sum_{M_i \in N_k} W_{pM_i} \quad (2)$$

- (4)零件 p 的库存时间是在第 $k+1$ 段是首站到达时间与第 k 段末站离开时间的差。

$$L'_{pk} = ts_{(pk+1)} - te_{pk} \quad (3)$$

2.3 优化目标

企业一般根据自身实际,采用不同的优化目标对缓存区的数量和位置展开优化,结合当前生产现

表 1 模型符号及定义

符号	定义
Q	整条装配线的工作stations的数量
n	缓存区数量
P	生产零件数量
M_i	工作stations $i, i=1, 2, \dots, Q$
K	控制段的数量
Pred	$\text{Pred} = \{(i, j) \text{工作stations } i \text{ 是工作stations } j \text{ 的紧前工作stations}\}$
p	零件 $p, p=1, 2, \dots, P$
N_i	1, 如果工作stations i 后设置缓存区 0, 如果工作stations i 未设置缓存区
f_i	在工作stations i 后开设单位缓存区开设成本
L_{pk}	零件 p 在第 k 控制段中停留时间
L'_{pk}	零件 p 在第 k 控制段的半成品库存时间
te_{pk}	零件 p 在第 k 控制段中末站离开时间
ts_{pk}	零件 p 在第 k 控制段中首站到达时间
W_{pk}	零件 p 在第 k 控制段中排队等待时间
W_{pM_i}	零件 p 在第 k 控制段中的工作stations i 前排队等待时间
N_k	k 控制段中工作stations的集合
h_k	零件在第 k 控制段单位时间内的半成品库存成本
D	平均成品需求率
C_k	零件在第 k 控制段单位时间内在制品库存成本
T_{Dp}	第 p 个成品订单到达时间
$T_{L,p}$	零件 p 到达整条产线中最后一个缓存区的时间
C_q	单位时间缺货成本
Z_a	客户服务水平
T_{M_i}	工作stations i 的加工时间
x_{jm}	1, 第 j 个工作stations被分配到第 m 个控制段 0, 第 j 个工作stations未被分配到第 m 个控制段
S	安全库存量

状,本文采用以下四种成本作为优化目标对该问题进行研究。

- (1)缓存区开设成本(X_1)。

作业车间缓存区的开设与否是生产中要考虑的一个重要因素,缓存区的开设受到人员、场地、摆放布局等约束和影响,考虑到模型求解难度及求解目标重点,只考虑加工过程中开设缓存区个数所涉及的成本。

$$X_1 = f_i \sum_{i=1}^Q N_i \quad (4)$$

(2) 半成品库存成本(X_2)。

零件在系统中流转时,下游工作站如果没有需求拉动时,零件会在缓存区停留,所产生的成本记作半成品库存成本。

$$X_2 = h_k \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P L'_{pk} \quad (5)$$

(3) 在制品库存成本(X_3)。

控制在制品数量是制造企业要考虑的重要因素,更少的在制品存量代表着更短的生产循环时间以及更大的生产效率。文中所提到的在制品包括在各个工作站间流转的和在工作站上正在加工的零件。

$$X_3 = C_k \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P L_{pk} \quad (6)$$

(4) 成品缺货成本(X_4)。

在实际生产中,订单到达时系统如若不能及时响应,会给企业带来损失,这时发生的成本称之为缺货成本。

$$X_4 = \begin{cases} C_q \sum_{p=1}^P (T_{Dp} - T_{Lp}), & T_D \leq T_{Lp} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

以上述四种的成本之和最小为优化目标,分别加入权重值 ω ,建立目标函数为

$$\text{Min}F = \omega_1 X_1 + \omega_2 X_2 + \omega_3 X_3 + \omega_4 X_4 \quad (8)$$

3 模型求解方法

上述模型求解主要涉及缓存区容量、数量和位置三方面问题。

3.1 控制段缓存区容量计算

在 CONWIP 控制系统的运行过程中,看板(或流通卡)发挥着至关重要的作用,生产系统中看板的数量对在制品数量及系统运作效率有直接影响。过多的看板会导致工序间在制品库存积压,违背了利用看板系统控制在制品库存的初衷。相反,看板数量不足虽能有效限制在制品库存,但生产速率稍有波动便可能引发缺货问题。为此要计算各控制段所需的看板卡的数量。借鉴 Chan^[15]的做法计算看板数量。

$$N = \frac{D\bar{L} + S}{C} \quad (9)$$

式中: D 为平均成品需求率; \bar{L} 为平均生产提前期; S 为安全库存量; C 为存储零件容器的容量,安全库存量可以通过安全系数 α 来表示。看板数量计算公式为

$$N = \frac{D\bar{L}(1 + \alpha)}{C} \quad (10)$$

设置安全库存的目的是确保企业生产过程中不会出现物料短缺的情况。在看板系统试运行后,可以根据实际情况调整 α ,以此减少在线看板的数量。

不难看出控制段缓存区容量计算主要涉及生产提前期和安全库存的计算。

3.1.1 生产提前期的计算

多工作站串联排队系统的平均生产提前期为各个工作站的平均加工时间与在各个站间的平均排队等待时间之和。

$$L_k = \frac{\sum_{p=1}^P L_{pk}}{P} = \frac{\sum_{p=1}^P (\sum_{M_i \in N_k} T_{M_i} + W_{pk})}{P} \quad (11)$$

工作站加工时间容易计算,而对于排队等待时间的计算,现有方法主要分为计算方法和仿真方法。计算方法主要计算平均等待时间,可分为精确计算和近似计算。

(1) 精确计算。

外部到达过程为服从泊松分布,服务时间服从指数分布,单位时间顾客到达率为 λ ,单位时间内服务率为 μ ,每个站可以看成是独立的 M/M/1 排队系统,其平均排队时间 W_q 表达式为^[16]

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (12)$$

上述的系统由于假定工作站间缓存是无限大,加工时间的分布符合负指数分布,很多生产实际与此并不相符。

(2) 近似计算。

一些学者研究了更加贴合实际生产的符合一般分布的 GI/G/1 排队系统排队等待时间的计算,对于段内站间无限缓存的情况,目前的求解都是以 Wallace 和 Mark^[17]给出的近似计算求得。

$$W_q \approx \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \frac{\rho}{1 - \rho} E(\varphi) \quad (13)$$

式中: C_a^2 为到达时间间隔的平方变异系数; C_s^2 为服务过程的平方变异系数; ρ 为服务强度; $E(\varphi)$ 为服务时间的期望值。

对于段内工作站间有限缓存的情况,由于多工作站串联排队系统中站与站之间相互依赖,下游缓存区容量过载时,处于上游的工作站就会发生堵塞。且每个服务站的输出过程复杂,不仅涉及等待时间的计算还涉及加工时间的计算,导致理论上很难精确求解系统的性能指标。目前主流的计算方法是以 Laouciue 和 MacGregor^[18]提出的一般扩展算法为基础进行求解的。

以上计算方法主要局限于近似计算,或者是服务时间服从特定分布的串联排队系统的精确计算。对于外部到达过程为随机过程,加工时间服从一般分布且工作站前缓存容量有限的串联排队系统来说,计算误差较大。计算机的技术发展给仿真带来了便利条件,因此本文采用仿真方法来获取控制段内的生产提前期 L_{pk} 的精确数值,进而统计生产 P 个零件所需的实际时间。

3.1.2 安全库存的计算

2005 年, Richard^[19] 提出一个经过优化的安全库存计算模型,安全库存 SS (safety stock)是平均提前期 L 、提前期内的平均需求量 D 、提前期的标准差 S_L 、提前期内客户需求标准差 S_D 和客户服务水平 Z_α 的函数。

$$SS = Z_\alpha \sqrt{S_D^2 L + D^2 S_L^2} \quad (14)$$

式(14)为经典的安全库存公式,这个公式需要预测数据和历史数据,要求收集物料的日需求量和提前期的大量数据,需要花费很多时间,因而计算难度非常大,在企业的实际运用受到限制。

鉴于此,2008 年,楼润平和薛声家^[20]在需求随机并服从正态分布的假设下,根据历史数据,按提前期可变和不可变两种情况,提出两个简化实用安全库存公式。

当需求随机变化且提前期为固定常数时,安全库存计算公式可以简化为

$$SS = Z_\alpha S_D \sqrt{L} \quad (15)$$

当提前期随机变化且需求为固定常数时,安全库存计算公式可以简化为

$$SS = Z_\alpha D S_L \quad (16)$$

安全库存虽无法绝对避免缺货情况,但能在一定程度上有效降低缺货发生的可能性。本文在结合实际生产需求及现场情况,将模型运行中采集到的提前期 L_{pk} 的所有数据升序排列,截取 95% 的分位值 L'_{pk} , 确定为客户服务水平,控制段缓存区容量的计算公式为

$$N = \frac{DL'_{pk}}{C} \quad (17)$$

3.2 多阶段 CONWIP 系统缓存区位置、数量联合优化求解

缓存区开设的位置、数量和容量有很多种不同的组合形式,逐一搜索,效率过低。遗传算法是一种基于自然选择和进化论思想的搜索算法,具有全局搜索能力强、简单高效、解空间中每个点的值都可以得到充分利用等优点,适用于各类复杂的优化

问题^[21-25]。因此选择遗传算法和仿真相结合的方法进行求解。由以上目标及约束,利用遗传算法求其结果。模型求解流程如图 2 所示。

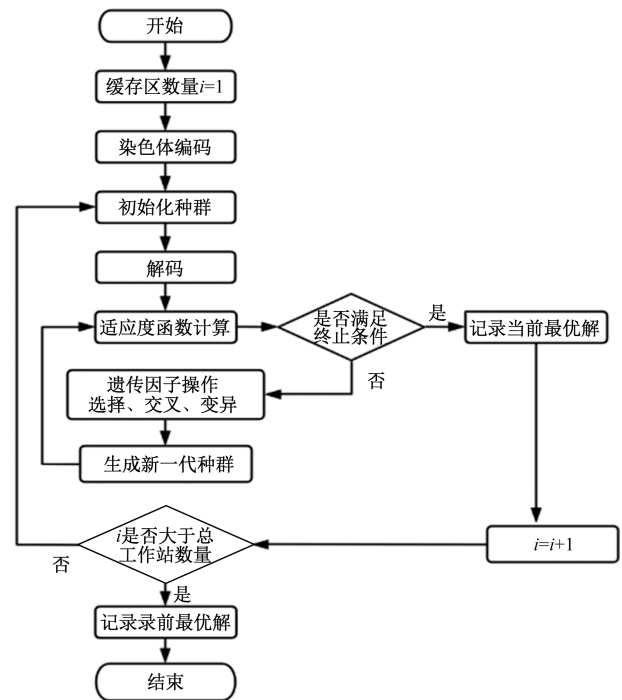


图 2 模型求解流程

(1)编码及解码:选择实数编码方法对染色体进行编码。多阶段 CONWIP 制造系统中求解缓存区位置和数量问题会用序列号代表工作站,默认最后一站后要开设一个缓存区,将染色体长度设为工作站总数量减 1。这样操作可以使后期适应度函数的选择以及操作算子的设计更容易实现。以系统中设有 3 个缓存区为例说明解码过程:如染色体基因序列为 5214376,默认最后一站后要开设缓存区,剩余两个缓存区则取染色体的前 2 位所代表的工作站后开设。即缓存区分别开设在工作站 2、工作站 8 后。

(2)选择:采用的是轮盘赌选择。强调的重点是个体的适应值大小与其被选中的概率成正比。

(3)交叉:常见的交叉方法有部分映射交叉 (partially mapped crossover, PMX) 和次序交叉 (order crossover, OX)。采用交叉方法中的部分映射交叉来生成后代个体。首先随机选定两个交叉位置,然后互换这两个位置间父代个体的基因片段。对于交叉点之外的基因,若它们不与新换入的片段产生冲突,则保持原样;若发生冲突,则依据部分映射原则进行调整,直至所有基因均无冲突为止。

(4)变异:为增强遗传算法的全局搜索能力并

规避局部最优解的过早收敛,引入变异机制至关重要。选择随机突变,这种随机改变可以增加种群的多样性,有助于探索更多可能的解决方案。

4 案例研究

4.1 案例背景

YF 汽车配件有限公司是国内知名的汽车零部件制造商,专注于生产汽车内饰零部件。选取该企业中一条部件装配线进行案例研究,该装配线共有 8 个工作站,采用拉动生产的方式,串联排布,市场需求为 4 min/个。具体布局如图 3 所示。

其主要的工艺流程如表 2 所示:

表 2 各工作站主要任务

工作站	任务
01	安装线束,卡接线束卡钉,插接 OS 模块插头
02	安装转向柱,锁紧万向节,放置 SPS 车上
03	安装 CGM 模块,接线束卡钉
04	安装收音机与网关模块,卡接传感器
05	紧固 CGM、OS 模块螺母螺钉
06	安装出风口,整理线束,紧固螺钉
07	扫描装配单,安装 IP
08	扫描装配单,安装空调面板及饰板,紧固螺钉

4.2 工作站加工时间测定

采取秒表测时法,对各个工作站进行多次加工时间抽样观测,整理数据,得到加工时间如表 3 所示。

遗传算法具体的参数取值如表 4 所示。为了确保仿真结果的精确度并降低误差,设置仿真运行 100 000 个零件后终止仿真过程。此外,全局的时间

单位被统一设定为 s。

为了实现多目标的合成,需要确定上述各个目标值的权重。运用层次分析法,依据所建立的评价指标框架,组织企业专家团队集体研讨各指标的相对权重,并进行量化评分,最终构建指标的判断矩阵,并求出对应的指标权重。合成后的目标函数为

$$F = 0.152X_1 + 0.212X_2 + 0.509X_3 + 0.127X_4 \quad (18)$$

其中,通过生产实际及向车间工厂管理者咨询,设定单位缓存区开设成本取值为 1 000 元/个,单位半成品库存成本为 0.08 元/个,单位缺货成本为 0.01 元/min。在制品库存成本为 0.05 元/个。

4.3 模型求解结果

根据表 3 所示的实例数据设置,运行仿真模型,得到最优结果如表 5 所示。

由表 5 可知,当上述 CONWIP 控制系统中有 3 个缓存区时,即缓存区开设在工作站 1、工作站 5 和工作站 8 后,缓存区容量分别设置为 2、2、1 时,适应度值为 1143,系统性能总体最优。

4.4 与看板系统的对比

秉承“以最小的在制品投入量使生产系统达到最小成本”的理念,将上述 CONWIP 系统与看板系统对比,根据仿真结果可知,传统的看板系统的适应度值为 2 166,总成本较大。在具有相同的服务水平条件下,实施多阶段 CONWIP 控制系统能够有效地减少生产线中的在制品数量,避免了产品积压,降低了成本,是一个比较好的解决方案。

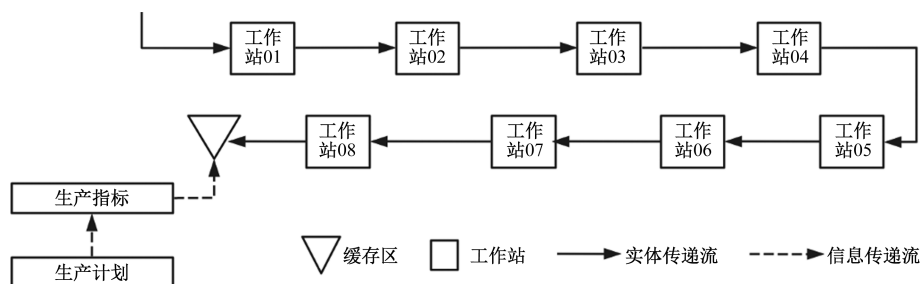


图 3 仪表台装配线布局

表 3 所有工作站加工时间

工作站 序号	时间/s			分布律拟合	工作站 序号	时间/s			分布律拟合
	加工时间 均值	加工时间 标准差	加工时间 上下限			加工时间 均值	加工时间 标准差	加工时间 上下限	
1	85.0	0.91	[83,87]	正态分布	5	89.0	0.74	[87,90]	正态分布
2	80.0	0.74	[79,82]	正态分布	6	60.0	0.61	[58,63]	正态分布
3	88.0	0.83	[86,90]	正态分布	7	66.0	0.77	[64,67]	正态分布
4	75.0	0.87	[74,77]	正态分布	8	70.0	0.96	[68,73]	正态分布

表 4 遗传算法参数

参数	取值
初始种群个体参数/个	20
迭代次数/次	50
交叉概率/%	0.8
变异概率/%	0.1

表 5 最优结果

缓存区数量/个	缓存区开设位置及容量	适应度函数值
1	8(2)	1 337
2	1(2)、8(2)	1 207
3	1(2)、5(2)、8(1)	1 143
4	1(1)、5(2)、6(2)、8(1)	1 248
5	1(1)、5(1)、6(2)、7(1)、8(1)	1 419
6	1(1)、2(2)、5(1)、6(1)、7(1)、8(1)	1 567
7	1(1)、2(1)、3(1)、5(1)、6(1)、7(1)、8(1)	1 815
8	1(1)、2(1)、3(1)、4(1)、5(1)、6(1)、7(1)、8(1)	2 166

注:括号内数值表示对应缓存区容量。

5 结论

本文在研究 CONWIP 控制系统的原理的基础上,针对多阶段串联生产 CONWIP 控制系统中的缓存区设置相关问题,通过遗传算法结合仿真求得最优结果。通过实验,得出多阶段串联生产 CONWIP 系统缓存区数量、开设位置及缓存区容量的问题解决方案,该方案比看板系统具有更优的性能。本文提出的解决方案能够显著提升多阶段串联生产 CONWIP 系统的生产效率。这不仅可以减少在制品库存,缩短生产周期,还能降低生产成本,增强企业市场竞争力。利用所得出的结论和方案,可直接应用于企业的生产实践中,使得企业可以灵活应对市场需求变化,实现生产流程的持续优化和改进,对企业生产发展具有现实意义。

参考文献

- [1] 韩晓菊,汪定伟. 分销网络存储系统 RFID 使能的 CONWIP 策略的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(1): 257-265.
- [2] 林勇,乐晓娟,付秋芳. Push/Pull 和 CONWIP/Pull 生产控制模式对比分析[J]. 工业工程, 2006(2): 6-10.
- [3] 滑文. 库存控制系统中 MRP 和 JIT 的比较研究[J]. 市场周刊, 2024, 37(32): 37-40.
- [4] 赵启迪. 中小型工业企业物料需求计划(MRP)应用探讨[J]. 全国流通经济, 2020(29): 54-57.
- [5] 张睿. “零库存”管理在 S 公司的应用分析[J]. 中国价格监管与反垄断, 2024(7): 120-122.

- [6] 谢辉,戴玲. 皮革供应商要素品牌营销策略研究[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(2): 117-122.
- [7] 刘佳楠,原丕业,刘畅. 拉动式物料供应过程分析与电子看板系统设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(3): 24-31.
- [8] 姜丽娜. 精益管理在企业生产管理中的应用浅析[J]. 东方电气评论, 2020, 34(2): 80-82.
- [9] 许国磊,孙秀娟. 精益管理拉式系统在安全生产双重预防机制中的应用[J]. 工业技术创新, 2023, 10(5): 42-49.
- [10] SPEARMAN M L, WOODRUFF D L, HOPP W J. CONWIP: pull alternative to Kanban[J]. International Journal of Production Research, 1990, 28: 879-894.
- [11] 黄国栋. 面向单件小批量生产环境的 CONWIP 拉式控制研究[D]. 南京:南京理工大学, 2017.
- [12] 何磊,王岳. 船厂管子车间的新 CONWIP 控制系统设计[J]. 造船技术, 2021, 49(1): 33-38.
- [13] 黄敏,王兴伟,汪定伟. 多阶段 CONWIP 系统流通卡分布的确定方法[J]. 控制与决策, 2000(6): 686-689.
- [14] 李绎冉,赵宁,张志坚. 多服务器串联排队系统中平均排队时间的预测[J]. 山东大学学报(理学版), 2024, 59(1): 17-26.
- [15] CHAN F T S. Effect of Kanban size on just-in-time manufacturing systems[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 1(16): 146-160.
- [16] 李俊平,程兰. M/M/1 排队系统输出过程的转移概率与瞬时分布[J]. 数学理论与应用, 2024, 44(1): 93-108.
- [17] WALLACE J H, MARK L S. 工厂物理学[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [18] LAOUCIUE K, MACGREGOR S. The generalized expansion method for open finite queueing networks[J]. European Journal of Operational Research, 1987(32): 448-461.
- [19] RICHARD B C. 生产与运作管理(第 8 版)[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [20] 楼润平,薛声家. 两个实用的安全库存公式[J]. 系统工程, 2008, 26(12): 77-82.
- [21] 孟飙,乔苗苗,乔兴华,等. 飞机结构件生产线设备布局仿真与优化[J]. 机械设计与制造, 2023(1): 222-228.
- [22] 刘佳楠,原丕业,刘畅. 拉动式物料供应过程分析与电子看板系统设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(3): 24-31.
- [23] 杜佳奇,韩忠华,李同. 柔性流水车间有限缓冲区问题分析[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(13): 9-11.
- [24] 陈祉烨,胡毅,刘俊,等. 利用强化学习的改进遗传算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(25): 10848-10856.
- [25] 谢宏志,韩亚泉. 基于遗传算法的核电备件库存模型仿真优化[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(1): 289-299.

Buffer Design for Multi-stage Tandem Production CONWIP Systems

CAO Yanghua, JIAO Qiuyang, ZHOU Yuchen

(School of Economics and Management, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: The multi-stage CONWIP system is a production method that combines push and pull strategies, effectively reducing inventory costs while meeting customer demand. Focusing on the number of buffers, buffer locations and buffer capacity sizes in a multi-stage tandem CONWIP system, With the objective of minimizing the sum of buffer establishment costs, semi-finished product inventory costs, work-in-process inventory costs, and finished product stockout costs, a corresponding mathematical model was constructed. The model was solved using a genetic algorithm combined with simulation. The simulation results indicate that the inventory costs of this system are lower than the Kanban system. A new perspective and solution is provided for addressing buffer design in multi-stage tandem production CONWIP systems.

Keywords: CONWIP system; buffer area; genetic algorithm; simulation