



基于改进非支配排序遗传算法的服装吊挂 生产线平衡优化

魏依宁^{1a}, 邵一兵^{1b}, 季晓芬²

(1. 浙江理工大学, a. 服装学院; b. 国际教育学院, 杭州 310018; 2. 中国丝绸博物馆, 杭州 310021)

摘要: 在向吊挂生产线转型的过程中, 服装企业依靠经验进行作业编排, 存在编制效率低、工位负荷不均以及生产周期长等问题; 为解决这些问题, 以最小化流水线节拍、最小化流水线均衡指数和最小化最大完工时间为目标, 运用 MATLAB 构建服装吊挂生产线平衡模型; 为提高局部搜索能力, 引入局部变异算子改进的非支配排序多目标遗传算法 (Non-dominated sorting genetic algorithms II, NSGA-II) 对模型进行优化。结果表明: 改进后的算法具有良好的收敛性, 较改进前耗用更少迭代次数得到作业编排方案最优值, 优化后的服装吊挂生产线编制效率为 92.23%, 比原有效率提高了 32.90%; 在仿真软件 Plant Simulation 中对优化方案进行仿真运行, 生产线日产量提升 29.34%, 平均资源利用率提升 10.25%, 表明提出的模型及算法可有效解决服装吊挂生产线的平衡问题。

关键词: 服装吊挂生产流水线; 生产作业编排; 遗传算法; 生产线平衡; 生产线仿真

中图分类号: TS941

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2025) 03-0246-08

引文格式: 魏依宁, 邵一兵, 季晓芬. 基于改进非支配排序遗传算法的服装吊挂生产线平衡优化[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2025, 53(2): 246-253.

Reference Format: WEI Yining, SHAO Yibing, JI Xiaofen. Balance optimization of garment hanging assembly line based on improved non-dominated sorting genetic algorithm II[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2025, 53(2): 246-253.

Balance optimization of garment hanging assembly line based on improved non-dominated sorting genetic algorithm II

WEI Yining^{1a}, SHAO Yibing^{1b}, JI Xiaofen²

(1a. School of Fashion Design & Engineering; 1b. School of International Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. China National Silk Museum, Hangzhou 310021, China)

Abstract: In the process of transformation to hanging production line, garment enterprises rely on experience for job scheduling, with problems such as low scheduling efficiency, uneven workstation loads, and long production cycles. To solve these problems, MATLAB was used to construct a balanced model of the garment hanging production line with the objectives of minimizing the assembly line beats, the assembly line smoothness index and the maximum completion time. To improve the local search ability, the multi-objective non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II) improved by local mutation operators was introduced to optimize the model. The results showed that the improved algorithm had good convergence, and it took less iteration times to get the optimal value of the work arrangement scheme. The optimization efficiency of the garment hanging production line was 92.23%, 32.90% higher than the original efficiency. The optimization scheme was simulated in the software Plant Simulation. The daily output of the production line was increased by 29.34%, and the average resource utilization rate was increased by 10.25%, indicating that the proposed model and algorithm could effectively solve the balance

problem of the garment hanging production line.

Key words: garment hanging assembly line; production process arrangement; genetic algorithm; assembly line balance; assembly line simulation

0 引 言

生产线平衡旨在为达成既定的需求计划与生产目标,通过精准调控单位时间内流水线上各工位或操作人员的任务负荷,以实现生产流程的高效均衡^[1]。针对服装制造业,服装生产线平衡是指通过合理分配工序,确保各工位之间的生产进度保持高度一致或平衡状态^[2]。生产线平衡优化的目标在于使各工作地的作业时间尽可能趋近于一个理想的平均节拍,有效规避生产过程中的作业积压与资源闲置现象,从而提升整体生产效率与资源利用率^[3]。

解决生产线平衡问题的方法主要包括优选法、启发式算法、仿真以及其他方法。20 世纪 80 年代末,随着计算技术的飞速发展,借助计算机进行大量数据计算的启发式算法逐渐发展成为更为便捷的智能优化算法,成为解决 NP-Hard 问题等优化问题的有效工具。通过分析近年的相关研究发现,学者们多用智能优化算法求解生产线编排模型。如于昕辰等^[4]和张苏宁等^[5]运用蚁群算法(Ant colony optimization, ACO)或改进蚁群算法(Improved ant colony optimization, IACO)对流水线工序编排进行优化,提升了服装流水线生产效率。作为一种较好的全局搜索的近似算法,遗传算法及其改进算法也被广泛且成功地运用于求解服装生产线平衡问题^[6-8]。然而,上述研究无论基于单件流生产线或是混合流水线,均聚焦于传统的服装流水线生产模式。当前,在“中国制造 2025”的推动下,越来越多的服装制造企业正引入吊挂生产系统,以实现向智能服装制造的转型升级^[9]。采用吊挂生产线的布局设计,能够突破传统工艺路径的束缚,显著缩减生产辅助时间占总体加工时间的比重,进而实现生产线效率的提升;不仅优化了生产流程,还显著提升了对多品种、小批量生产模式及个性化服装定制市场需求的适应性,确保了生产能力与市场需求的紧密对接与高效响应^[10]。

本文针对服装吊挂生产线,以平均节拍最小化、流水线均衡指数(Smoothness index, SI)最小化以及最大完工时间最小化为优化目标,建立生产线平衡优化模型,引入局部变异算子对遗传算法进行改进,并对模型进行求解,从而在提高服装生产编制效

率的同时降低了能耗。这不仅考虑了服装生产经济效益,更关注了社会生态环境效益,促进了服装生产企业的可持续发展。

1 吊挂生产线平衡模型的构建

本文首先对待解决的具体问题进行描述,并从模型假设、参数设定、约束条件及目标函数等方面,构建服装吊挂生产线的平衡模型。

1.1 问题描述

生产线平衡问题即为如何在保证各工位的设备尽量一致,且遵循原有加工顺序的情况下,将所有已知加工标准时间的工序分配到一定数量的工位上进行加工,并且最均衡地完成整个缝制工作。值得注意的是,传统的服装生产线仅能按照工序的紧前顺序编排工位顺序,否则会引起物料的逆流,这在实际生产中是不合理的。本文研究所针对的吊挂生产线可实现物料在产线内的循环运输,不受服装的工艺路径限制,因此可接受涉及跨站及逆流的编排方案。

1.2 模型假设及参数设定

模型假设:

- a) 已知各工序的作业时间及加工顺序;
- b) 已知各工序生产所需的设备种类;
- c) 同一时刻,一个工位只能加工一道工序,且下一道工序开始加工时间必须晚于当前工序加工完工时间;
- d) 每个工位最多布置两台设备,只安排一人加工;
- e) 工人对各作业工序的操作水平和熟练程度大致相同,且每个工人都可以熟练完成任意一道工序。

参数设定:

设 1 条吊挂生产线为 1 个加工单元,该加工单元由 W 个加工工位, N 个作业工人组成,设工位编号 $j = 1, 2, \dots, W$ 。设 1 个订单款式为 1 个加工任务,它由 k 道工序完成, i 表示加工任务的第 i 道工序。设 t_i 表示工序 i 的标准工时, M_i 表示工序 i 对应的加工设备^[11]。设工位 j 与工位 l 之间的距离为 d_{jl} ,吊挂系统传输速度为 v 。

- a) 工序 i 被分配到工位 j , 如式(1):

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{工序 } i \text{ 分配至工位 } j; \\ 0, & \text{工序 } i \text{ 未分配至工位 } j \end{cases} \quad (1)$$

b) 工序 i 的紧前工序不能在工序 i 之后进行作业, 设 $pre(b)$ 为所有应优先于工序 b 完工的工序集合。

c) 工序由工序 i 至工序 p , 如式(2):

$$Y_{ip} = \begin{cases} 1, & \text{工序 } i \text{ 连接工序 } p; \\ 0, & \text{工序 } i \text{ 未连接工序 } p \end{cases} \quad (2)$$

d) 传统单件流生产线物料仅能通过传送带按工位顺序依次传递, 无法跨站或逆流, 其生产线内的总运输距离及时间皆是定值, 因此在进行工序编排时不予考虑。区别于传统单件流生产线, 吊挂生产线可将物料灵活运转至任意工位, 因此需考虑吊挂生产线的总运输时间, 如式(3):

$$T_{\text{tran}} = \frac{1}{v} \sum_{i \in k} \sum_{p \in k} \sum_{j \in W} \sum_{l \in W} X_{ij} X_{pl} Y_{ip} d_{il} \quad (3)$$

1.3 约束条件及目标函数

为了使模型更加贴近实际生产过程, 本文在工位数量确定的条件下, 提出多目标的生产线平衡模型, 对编排方案进行全面的评价, 所建立模型的约束条件为:

a) 每个工序只能分配至 1 个工位, 如式(4):

$$\sum_{j=1}^W X_{ij} = 1 \quad (4)$$

其中: i 为工序编号, $i=1, 2, \dots, k$; k 为工序总数; j 为工位编号, $j=1, 2, \dots, W$; W 为工位总数。

b) 各工位工序满足工序紧前关系, 如式(5)——(6):

$$\sum_{j=1}^W (X_{aj} - X_{bj}) \leq 0 \quad (5)$$

$$\forall a \in pre(b) \quad (6)$$

其中: $pre(b)$ 为按照工序先后顺序, 优先于工序 b 的工序集合。

目标函数:

a) 最小化流水线节拍按式(7)——(8)计算:

$$\min CT = \max(T(j)) \quad (7)$$

$$T(j) = \sum_{i=1}^k t_i X_{ij} \quad (8)$$

其中: CT 为节拍, 即流水线中最大的工位作业时间, s ; t_i 工序 i 的作业时间。

b) 流水线均衡指数用以评价流水线的负荷平衡, 数值越小, 则意味着流水线各工位间的负荷差异越小, 当数值趋近于 0 时, 表明流水线达到近乎完美的负荷均衡状态^[12]。均衡指数是衡量流水线负荷平衡的重要参数, 服装生产线的负荷平衡增强了工人的公平感, 也可以使在制品库存量降低, 从而提高

流水线生产效率, 最小化流水线均衡指数 SI 按式(9)计算:

$$\min SI = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{j=1}^W (\max(T(j)) - T(j))^2} \quad (9)$$

其中: $T(j)$ 为工位 j 的总加工时间; T 为总作业时间, 按式(10)计算:

$$\sum_{j=1}^W T(j) = T \quad (10)$$

c) 最大完工时间指单件服装最后一道工序的完工时间, 可以体现车间的生产效率; 同时, 由于服装吊挂生产线在作业时间内持续保持运转, 减小最大完工时间可以降低产线生产能耗, 促进绿色生产。最小化完工时间按式(11)——(12)计算:

$$f_i = \min(\max(C_i)) \quad (11)$$

$$\max(C_i) = T + T_{\text{tran}} \quad (12)$$

其中: C_i 各工序完工时间。

2 算法设计

本文以引入局部变异算子的非支配排序遗传算法对模型进行求解。遗传算法是受自然界进化机制启发, 通过模拟自然选择与遗传繁衍机制, 针对涵盖搜索、优化及学习领域的多样化难题, 构建出的高效且高质量的解决策略。这类算法不仅模仿了自然界的优胜劣汰、基因传承, 还展现了其超越传统搜索与优化方法的独特优势, 在面对参数繁多、数学模型复杂的问题时, 其能力尤为显著。遗传算法具有良好的全局搜索能力, 能够广泛遍历解空间, 有效规避因过早收敛至局部最优解而错失全局最优解的陷阱。但其局部搜索能力较差, 这在一定程度上影响了其在进化后期阶段的搜索效率, 导致算法整体耗时较长。因此, 在实际应用中, 常需结合其他局部搜索策略以弥补此短板, 从而提升遗传算法的综合性能与效率。

为了提升求解的准确性与效率, 引入局部变异算子对遗传算法进行改进, 提高了算法局部搜索能力^[13], 算法具体步骤如下。

2.1 编码

由于遗传算法不能直接处理问题空间的参数, 故必须采用编码机制, 将待求解的实际问题转换为遗传算法可操作的形式, 即将其映射为遗传空间中的染色体或个体。编码的方法会直接影响遗传算法后续的一系列操作, 如交叉、变异等, 并且编码方式选取的好坏也会直接影响算法的收敛速度和最优值。本文对需求解问题进行 3 层编码。

a) 第一层编码代表工位上的设备安排,共分 2 次进行。第一次确保所有设备均被安排到相应工位且所有工位均被安排了一种设备,进行方式如图 1 所示。首先将工位顺序随机打乱,在新生成的工位顺序基础上随机地插入所有设备种类,完成后再将工位按顺序进行排序。第二次随机地加入设备至随机工位,使部分工位被安排两种设备。第一层编码流程如图 1 所示。

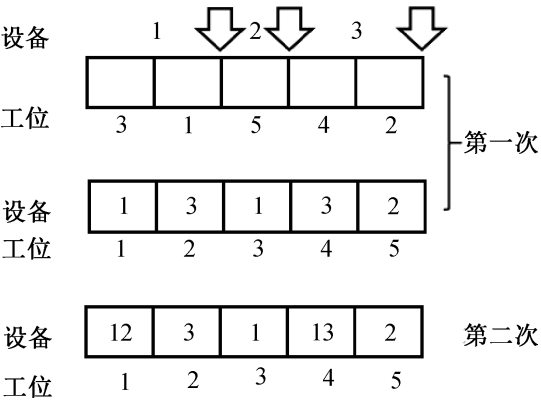


图 1 第一层编码流程

b) 第二层编码针对工序进行,即将所有工序顺序进行打乱。
c) 第三层编码代表工序对工位的选择,各工序随机地选择工位并判断该工位所安排的设备是否符合工序的设备需求,若不符,则重新进行工位选择,直至所有工序安排完毕。

2.2 解 码

本文的解码过程可按工艺顺序将工序分配到工位,得到具体的工序编制方案,具体步骤如下:

- 步骤一: 建立一个已完成工序集合,命名为 *done*,初始值设定为 0;
- 步骤二: 对第二层编码即所有工序进行遍历,若工序的紧前工序属于集合 *done*,则对其进行编排;
- 步骤三: 建立表格对工序编排情况进行记录,表格内容包括工序编号、开始加工时间、完工时间、运输时间以及该工序所选择的工位(通过第三层编码确定);
- 步骤四: 将已编排的工序编号加入集合 *done*,并从第二层编码中去除;
- 步骤五: 循环遍历直至所有工序均编排完成。

2.3 算法流程

基于本文提出的服装吊挂生产线平衡多目标问题,实际生产的不同约束情况会影响各自目标的权重值。采用非支配排序遗传算法 (Non-dominated sorting genetic algorithms II, NSGA-II),与传统

遗传算法需要为各目标设置固定的权重值不同,该算法在基本遗传算法的基础上,对选择再生策略进行改进:算法将依据 pareto 排序将所有染色体分成若干集合,对于任意 2 个集合 *A*、*B*,若集合 *A* 内的染色体在所有目标函数上的表现均不劣于集合 *B* 中的染色体,则称集合 *A* 支配集合 *B*。并通过识别并分层处理个体间的支配与非支配关系,进而执行选择操作,旨在多目标优化领域达成理想成效,NSGA-II 算法流程如下:

- a) 初始化阶段,算法随机生成一个规模为 *N* 的初始种群 P_t ,经过非支配排序、选择、交叉和变异,产生子代种群 Q_t ,并将 2 个种群合并,形成大小为 $2N$ 的种群 R_t ;
- b) 进行快速非支配排序,同步计算每一非支配层级内个体的拥挤度,根据非支配关系以及个体的拥挤度,筛选出最优个体,构成新一代父代种群 P_{t+1} ;
- c) 对 P_{t+1} 执行选择、交叉、变异等操作,生成新的子代种群 Q_{t+1} ,将 P_{t+1} 与 Q_{t+1} 合并,形成新的种群 R_t ,重复以上操作,直至达到预设的算法终止条件。

2.3.1 交叉与变异

变异运算是在一条染色体上依据预设的概率阈值随机选定若干基因位点进行调整或替换,以此探索并趋向于生成最优的生产序列排布^[14]。为了在确保种群遗传多样性的同时,有效保留那些具备较高适应度的父代个体,本文融合了整体与局部两种变异机制。

整体变异着眼于染色体整体结构的变动,通过较大规模的基因重组或替换,引导算法在更广阔的解空间内搜索潜在的最优解。局部变异则聚焦于染色体上的特定片段或基因子集,实施更为精细的调整,旨在微调当前解以逼近局部最优。从生产顺序中随机选取一小段进行变异,变异片段包含的染色体数量可根据具体结果进行优化,通过改变设定局部长度范围内的染色体顺序获得新的生产顺序,具体步骤如图 2 所示。

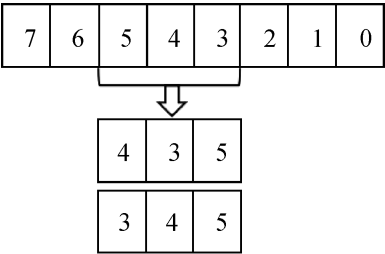


图 2 局部变异

本文采用优先运算交叉算子(Precedence operation crossover, POX)进行交叉操作设计,具体步骤如图3。

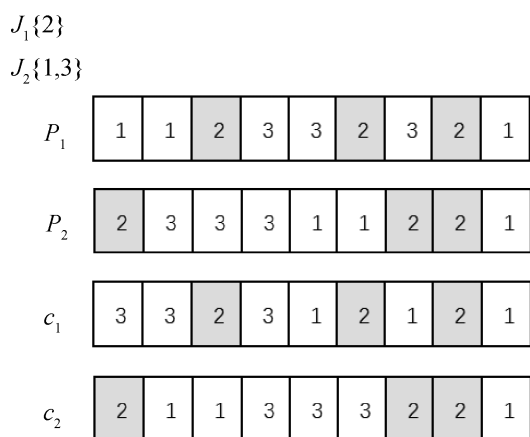


图3 POX交叉

a)随机划分工件集为2两个非空子集 J_1 和 J_2 ;

b)复制 p_1 中属于工件集 J_1 中工件的工序到 c_1 ,复制 p_2 中属于工件集 J_1 中工件的工序到 c_2 ,保留它们的位置;

c)复制 p_1 中属于工件集 J_2 中工件的工序到 c_2 ,复制 p_2 中属于工件集 J_2 中工件的工序到 c_1 ,保留它们的顺序。

2.3.2 精英保留

为确保遗传算法在迭代过程中能够持续追踪并保留当前种群中的最优个体,避免这些精英个体在后续代际中意外流失,进而阻碍算法收敛至全局最优解的现象,本文在算法迭代过程中引入了精英保留机制作为增强步骤。精英保留策略的核心在于,将进化过程中识别出的表现最优个体视为“精英”,并直接将其无需经历任何遗传算子处理而直接传承至下一代种群中。通常情况下,这一过程会伴随着将此类精英个体替换为下一代中适应度最低的个体,以此方式实现种群质量的持续优化与提升,改进了标准遗传算法的全局收敛能力。

3 生产实例分析

针对本文提出的数学模型及算法设计,选取具体的生产实例进行分析验证。本文在 MATLAB (R2022b) 中进行编程,运用 Plant Simulation (2302) 软件进行生产线建模,运行环境为 12th Gen Intel(R) Core(TM) i9-12900H@2.50 GHz CPU、32 GiB RAM 和 windows 11 系统。

3.1 参数确定

在使用遗传算法求解模型时,需要合理地选择

和控制对其性能产生重大影响的参数,包括初始群体规模、交叉概率和变异概率。初始群体规模的一般选择范围为 20~100,交叉概率的一般选择范围为 0.40~0.99,变异概率的一般选择范围为 0.01~0.10。根据求解问题的特征不同,适配的参数选择也不同,因此需要通过控制变量法,分析不同遗传算法参数对寻优过程及模型最优解的影响,寻求适配本文问题的最优参数组合。

3.1.1 初始群体规模

在文问题模型中,对初始群体规模为 $N=25$, 50, 75, 100 进行模型求解,分析寻优曲线及结果选择最佳的初始群体规模,对应的寻优曲线如图4所示。由图4可知,初始群体规模 $N=50$ 时能搜索到模型的最优解,因此选取初始群体规模 $N=50$ 。

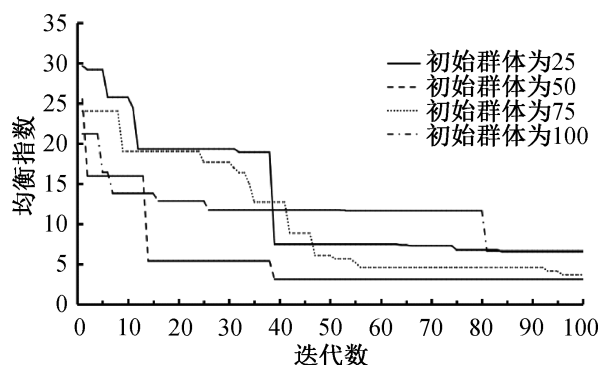


图4 不同初始群体规模的寻优曲线

3.1.2 交叉概率

在本文问题模型中,对交叉概率为 $p_c=0.4$, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 进行模型求解,分析寻优曲线及结果选择最佳的交叉概率,对应的寻优曲线如图5所示。由图5可知,交叉概率 $p_c=0.8$ 时能搜索到模型的最优解,因此选取交叉概率 $p_c=0.8$ 。

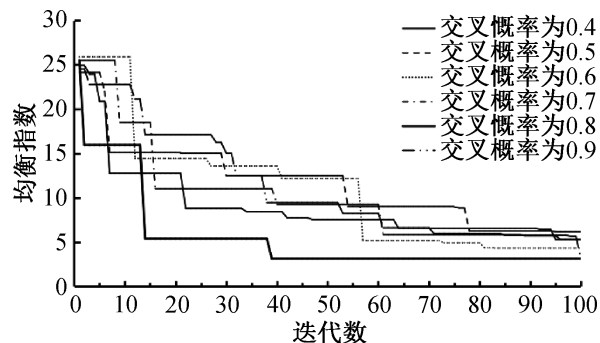


图5 不同交叉概率时的寻优曲线

3.1.3 变异概率

在本文问题模型中,对变异概率为 $p_m=0.01$, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.10 进行模型求解,分析寻优曲线及结果选择最佳的变异概率,对应的寻优曲线如图6所示。由图6可知,变异概率 $p_m=0.10$ 时能搜索到模型的最优解,因此选取变异概率 $p_m=0.10$ 。

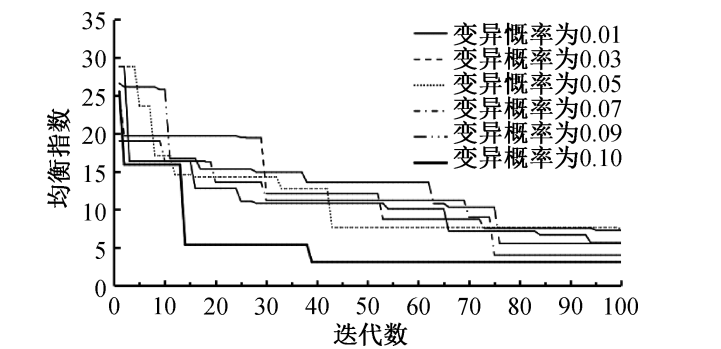


图 6 不同变异概率时的寻优曲线

3.2 数据准备

以所调研的 Z 企业生产的连衣裙为例。生产

此款连衣裙共涉及 61 道工序,其中使用了电脑平车、烫台、三线拷边机、双针平车、普通平车、刀车等 6 种设备,总标准加工时间为 2655 s,其工序流程图如图 7 所示。该款连衣裙订单量为 500 件,优化前日产量为 167 件,日工作时长为 8 h,最小工位数为 18,编制效率为 69.4%。使用 MATLAB (R2022b) 软件运行该模型,设置初始种群数量为 50,迭代次数为 500 次,迭代完成后产生 1 组 Pareto 最优解集。通过比对,最终得出最优工序编排方案(见表 1),表 1 显示:优化后生产线瓶颈工位生产节拍由原来的 213.6 s 降低至 160.8 s,编制效率为 92.23%,提升了 32.90%。

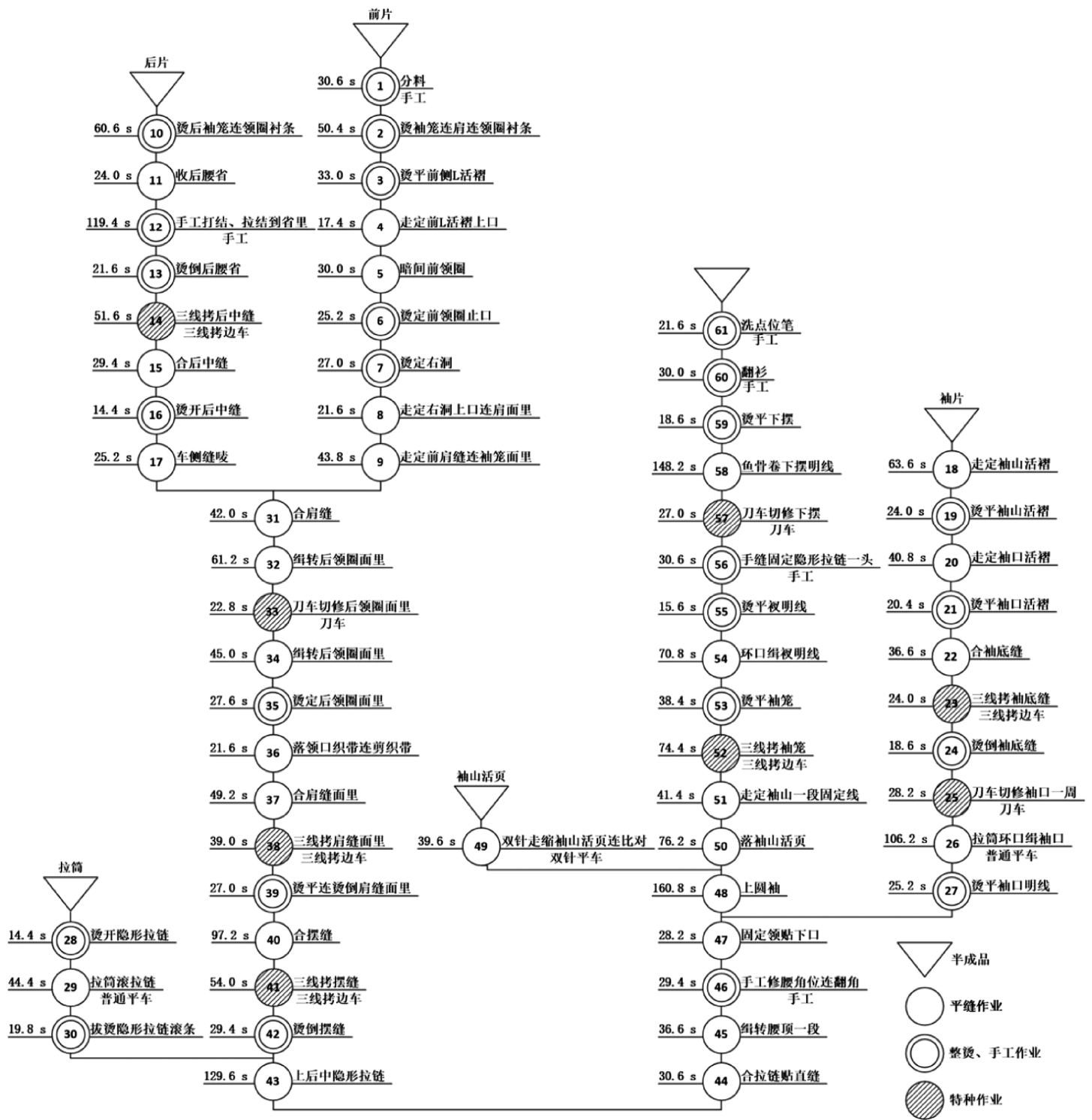


图 7 工序流程图

表 1 优化后工序编排方案表			
工位编号	工序编号	工位总标准工时/s	设备
1	48	160.8	电脑平车
2	1、5、9、49	144.0	电脑平车
3	6、34、45、51	148.2	电脑平车/烫台
4	7、10、30、53	145.8	烫台
5	2、11、13、17、56	151.8	电脑平车/烫台
6	8、18、44、60	145.8	电脑平车/双针平车
7	14、52、61	147.6	三线拷边机
8	58	148.2	电脑平车
9	19、27、40	146.4	电脑平车/烫台
10	3、4、15、16、20、28	149.4	电脑平车/烫台
11	21、35、39、42、55、59	138.6	烫台
12	22、31、32	139.8	电脑平车
13	33、37、50	148.2	电脑平车/刀车
14	23、38、41、46	146.4	三线拷边机
15	24、43	148.2	电脑平车/烫台
16	25、36、54、57	147.6	电脑平车/刀车
17	26、29	150.6	普通平车
18	12、47	147.6	电脑平车

3.3 改进前后算法对比验证

以均衡指数为例,改进前、后算法求解结果的迭代过程如图 8 所示。图 8 表明:改进前后遗传算法在迭代初始时都具有较好的寻优能力,在第 7 至 13 代改进前遗传算法所得值较改进后更优异,说明仅采用整体变异算子的遗传算法在进化前期具有良好的搜索效率;在第 13 代后,改进后同时采用整体及局部算子的遗传算法搜索效率远超过改进前,改进前遗传算法在 53 代时收敛到较优值 4.02;在 89 代时收敛到近优解 3.98,改进后遗传算法在 40 代时

收敛到近优解 3.14,说明改进前遗传算法在进化后期阶段搜索效率较差。因此,改进后算法具有良好的收敛性,较改进前提前 49 代收敛完成,且收敛所得均衡指数值较改进前所得降低了 0.84,使生产线各工位间负荷差异更小、更均衡,验证了对遗传算法改进的有效性。

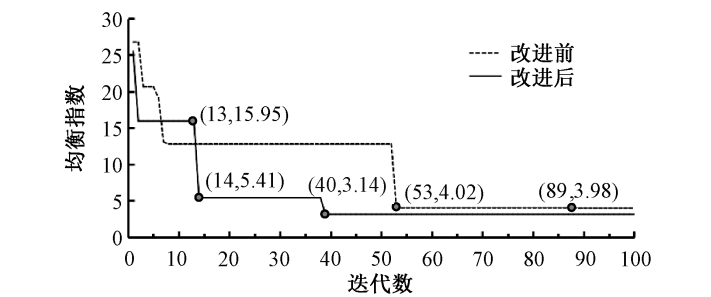


图 8 算法改进前、后均衡指数随迭代数的变化曲线

3.4 仿真运行结果

根据生产线布局,使用 Plant Simulation 软件进行生产线建模。在模型中,分别设置 1 个物料源、1 个物料终结、18 个工位,每个工位都配备 1 个缓冲区,服装吊挂生产线仿真模型如图 9 所示。在构建仿真模型时,需设定源工位、阀口、生产工位及工位间物料流转机制与终点工位的详细参数。启动该模型的仿真模拟程序,模拟并评估整个生产线在达成既定生产总量目标下的实际运行情况,仿真运行结果如表 2 所示。由仿真结果可知,优化后该款式日产量由 167 件提升至 216 件,该款式总订单量为 500 件,实施优化编排方案前后生产线完成既定生产总量目标的时间分别为 1468 min 和 1315 min,实施优化编排方案后生产总时间减少了 153 min。

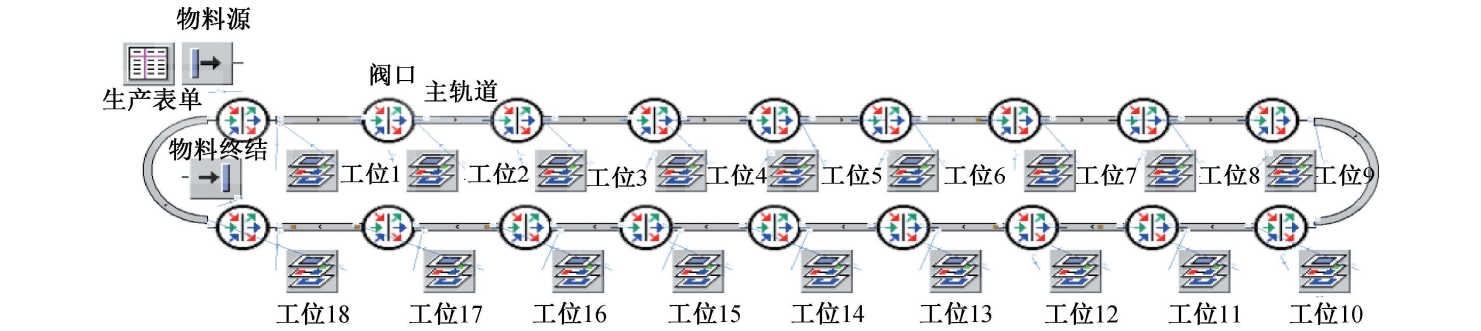


表 2 优化编排前、后仿真结果		
仿真结果指标	日产量/件	完成生产目标时间/min
实施优化编排方案前	167	1468
实施优化编排方案后	216	1315

优化前、后资源利用率如图 10 所示,实施优化编排方案后,平均资源利用率由 80.38% 上升至 88.62%,减少了生产资源的浪费,使生产过程更为高效和稳定。

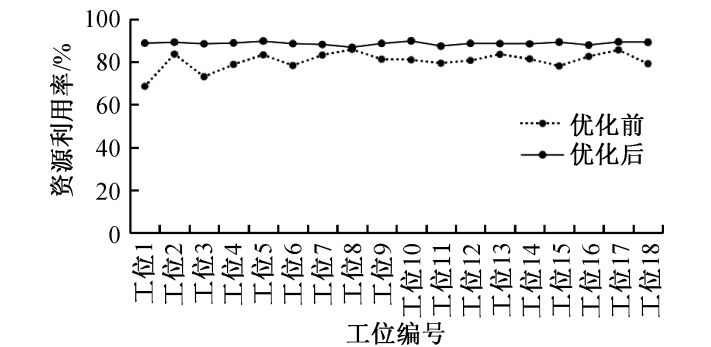


图 10 优化前、后资源利用率

4 结 论

本文针对服装吊挂生产线,通过相应模型的建立与求解以及生产实例的仿真模拟实验,实现了吊挂生产线运行的平衡优化,得到了稳定高效的编排方案,主要结论如下:

a)基于服装吊挂生产线,考虑工件的跨站运输,构建了以平均节拍最小化、流水线均衡指数最小化以及最大完工时间最小化为优化目标的多目标优化模型,并通过仿真实验,验证了该模型可有效解决服装吊挂生产线的作业编排问题。

b)在算法设计中,引入非支配排序遗传算法以及局部变异算子改进遗传算法,提高了算法的局部搜索能力,实现工序快速自动编排。

c)使用 Plant Simulation 软件建立生产线仿真模型,对改进遗传算法优化前后的生产线分别进行仿真运行,实验证明优化后编制效率提升了 32.90%,款式日产量提升了 49 件,完成既定生产总量的时间减少了 153 min,平均资源利用率提升了 10.25%。

由于服装制造业属于劳动密集型产业,影响其生产线生产效率的因素众多,因此本文的结果仍存在一定的局限性。首先,未考虑工人熟练度等因素对生产线的影响,与实际生产场景仍然存在一定差距;其次,仅研究解决了生产车间中单条吊挂生产线的平衡问题,未考虑多条吊挂生产线间的物料运转及平衡问题。

参考文献:

[1] 冯丽娟, 严洪森. 混合装配线平衡排产协同优化新算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 29-34.

[2] 韩少杰. 西服生产流水线作业平衡及数字化管理研究[D]. 上海: 东华大学, 2010:14-15.

[3] 于昕辰. 服装生产管理系统缝纫流水线平衡优化与仿真的研究[D]. 上海: 东华大学, 2013:11-14.

[4] 于昕辰, 曾培峰, 赵冉, 等. 基于蚁群算法的服装生产流水线作业平衡[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2014, 40(4): 456-460.

[5] 张苏宁, 王泽, 马大力. 基于改进蚁群算法的 Flexsim 衬衣流水线仿真优化[J]. 纺织学报, 2021, 42(3): 155-160.

[6] 张旭靖, 王立川, 陈雁. 基于遗传算法的服装缝制生产线平衡优化[J]. 纺织学报, 2020, 41(2): 125-129.

[7] 陈莎, 修毅, 李雪飞. 基于遗传算法的服装大规模定制生产线平衡优化[J]. 纺织学报, 2022, 43(12): 144-150.

[8] 郑路, 颜伟雄, 胡觉亮, 等. 基于模块化的服装混合流水线平衡优化[J]. 纺织学报, 2022, 43(4): 140-146.

[9] 汤梦娜, 邵一兵, 季晓芬, 等. 基于服装吊挂流水线的瓶颈工序调度[J]. 服装学报, 2024, 9(1): 48-53.

[10] 谢子昂. 基于遗传算法的服装吊挂产线动态调度研究[D]. 上海: 东华大学, 2021:23-24.

[11] 马玉敏, 樊留群, 张为民, 等. 基于仿真的车间作业计划优化设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(19): 4548-4552.

[12] Ponnambalam S G, Aravindan P, Naidu G M. A comparative evaluation of assembly line balancing Heuristics [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15(8): 577-586.

[13] 任年鲁, 袁逸萍, 戴毅, 等. 基于改进遗传算法的环形 RGV 系统调度优化[J]. 机械设计与制造, 2023, 386(4): 1-5.

[14] 陈继文, 张译匀, 高晓明, 等. 基于改进遗传算法的 PC 构件生产调度优化[J]. 机械设计与制造工程, 2024, 53(1): 95-99.

(责任编辑:张会巍)