

基于工业工程的皮夹生产线仿真与优化

赵晓露¹, 罗云², 沈津竹¹, 罗玉兰³, 苏军强^{*1}

(1. 江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 安徽金寨职业学校 服装系, 安徽 六安 237300; 3. 上海秒优供应链管理有限公司, 上海 200082)

摘要: 为了改善皮夹生产线中经常出现的员工等待、在制品堆积等现象, 提高皮夹的生产效率及流水线的编制效率, 将 A 皮具公司两折皮夹生产线作为研究对象, 在深入了解皮夹工艺流程和作业方法的基础上, 运用工业工程技术分析该生产线, 并提出改善方案, 利用 Flexsim 仿真软件对改善方案进行效果分析与评价。结果显示: 优化后的皮夹流水编制效率提高了 19.9%, 在生产时间与作业人员数量不变的前提下, 日产量平均增加 8 个; 各工位的资源利用率和作业时间相符, 优化模型的仿真效果达到设计要求。

关键词: 工业工程; 皮夹; 作业分析; Flexsim 仿真; 优化

中图分类号: TS 941.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2022)02-0115-07

Simulation and Optimization of Wallet Production Line Based on Industrial Engineering

ZHAO Xiaolu¹, LUO Yun², SHEN Jinzhu¹, LUO Yulan², SU Junqiang^{*1}

(1. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Clothing Department, Anhui Jinzhai Vocational School, Luán 237300, China; 3. Shanghai MU Supply Chain Management Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: In order to improve the phenomenon of employee waiting and product accumulation in the wallet production line, and improve the production efficiency of the wallet and the efficiency of the assembly line, the leather goods production line of Leather Company A was taken as the research object, and the wallet process was deeply understood. On the basis of the operation method, the production line was analyzed by industrial engineering technology, and the improvement plan was proposed. The effect analysis and evaluation of the improvement scheme were carried out by using Flexsim simulation software. The results show that the efficiency of the optimized wallet assembly line is increased by 19.9%, and when the production time and the number of workers are the same, the daily output is increased by 8 on average. The resource utilization rate of each station is consistent with the operation time. The simulation effect of the model meets the design requirements.

Key words: industrial engineering, wallet, working analysis, Flexsim simulation, optimization

皮夹生产线一般采用捆扎同步式流水生产, 这是捆扎式和流水同步式相结合的一种作业方式, 每个生产场地配备一个工序的单台加工设备, 各类工序的设备按照加工流程排列, 这种作业方式要求制品在每个作业单元的停留时间基本均衡^[1]。然而在实际加工过程中, 流水线不平衡导致在制品积压、员工空闲等待等现象频繁发生。目前, 皮具流

水线的生产效率低下, 生产成本却日益增加。

皮夹加工流水线与服装加工流水线同为缝制流水线, 其加工形式基本一致。服装生产流水线一直以来都是研究热点, 其研究相对成熟, 但目前学者对皮具流水线的研究甚少。许栋梁^[2]结合 ECRS 法则, 从取消、合并、重排、简化 4 个角度进行流水线工序优化。孙影慧等^[3]在分析人员因素和生产

收稿日期: 2021-05-09; 修订日期: 2021-10-28。

基金项目: 中国缝制机械协会 2022 缝制机械基础理论及短板技术软课题研究重点项目。

作者简介: 赵晓露(1995—), 女, 硕士研究生。

*通信作者: 苏军强(1976—), 男, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为服装 IE 与智能制造。Email: jqsu@jiangnan.edu.cn

线编制因素对服装单件流水线影响的基础上,依据 Flexsim 仿真过程和服装单件流水线生产特点,建立服装单件流水线的 Flexsim 仿真模型。刘瑶^[4]重点对混合产品的流水线进行研究,在合理编排与平衡优化的基础上,通过 Promodel 仿真软件建立了3款T恤衫的混合流水线模型。张梦雨等^[5]根据0-1规划编排理论平衡生产线,运用 Matlab 辅助模型的仿真实验获得工序组合方案。还有学者针对单件流作业进行探究^[6-7],由于单件流对编制平衡率有更高的要求,因此建立仿真模型是模拟真实生产流水线的重要工具。

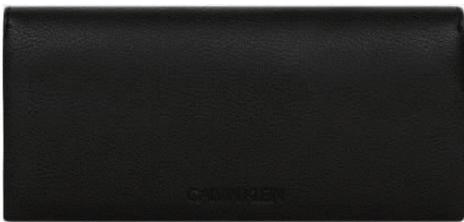
文中采用工业工程(industrial engineering)技术,在不更新生产设备和不增加额外成本的前提下,通过持续改进的原理,对皮夹生产线进行作业分析;利用 Flexsim 仿真软件模拟改善后的方案,通过分析仿真软件的运行报告,对流水线的生产指标作出预判,以便及时调整方案,减少实际生产中的调试时间,也为后期皮具流水线的仿真优化奠定基础。

1 皮夹生产线现状分析

文中将江苏省常熟市 A 皮具公司某典型皮夹款式的生产线作为研究对象,通过现场观察和分析,就工艺流程和几个重要生产指标对皮夹生产现状进行深入分析。图1为 A 皮具公司生产的典型皮夹。该皮夹是含有插袋、拉链袋以及活页的两折钱夹。



(a) 皮夹内里



(b) 皮夹外表面

图1 A 皮具公司生产的典型皮夹

Fig.1 Typical wallet produced by Leather Company A

1.1 流水线生产指标分析

该款皮夹的流水线中,线内员工有22人,线外

质检和清洁员工各1人,小组长和万能工各1人。每天有效工作时间是9h,实际日产量为 (340 ± 3) 个。流水线编制效率的计算公式为

$$E = \frac{\sum t_i}{t_{\max} N} \quad (1)$$

式中: E 为编制效率; t_i 为每道工序作业时间; t_{\max} 为最长的工序作业时间; N 为工序数量。经计算,该皮夹流水线的编制效率为60.2%。

流水线节拍的计算公式为

$$P_T = \frac{t_s}{n} \quad (2)$$

式中: P_T 为生产节拍; t_s 为单件产品标准工时; n 为流水线上的工位或作业人数。计算得到目前该流水线的节拍为79s。

与服装流水线相比,皮具流水线的生产周期长,编制效率低,这是因为皮具加工作业中的部分作业加工周期长,如刷胶作业、油边作业需要等待胶黏剂起作用,员工完成操作后无法立即向下一个作业单元传递在制品。在这种情形下,在制品堆积的工位易被隐藏,瓶颈工序很难被发现。虽然皮夹的款式差异小,员工的熟练度高,但由于皮夹作业中多为手工作业,未形成统一的作业标准,导致产品质量不稳定,返修率较高。

1.2 工艺流程分析

皮夹流水线是按照工艺流程和作业要求,把设备依次配置后运行的生产方式。图2为 A 皮具公司两折皮夹的工艺流程。由图2可知,该流程总共有62道工序,其中⑥清洁、整理工序和②检验工序的时间不固定。工序分配内容见表1。

2 作业分析与改善

2.1 双手作业分析

机器折边即双脚踩压踏板,踏板带动重力装置对准待折边部位施力,使裁片受力折叠的过程,具体如图3所示。图3(a)为员工利用折边机器完成④折边工序的操作示意,操作对象(裁片)尺寸为 $9\text{ cm} \times 5\text{ cm}$;图3(b)为对应作业单元的工位布置。观察发现,操作折边工序的员工习惯性采用单手操作。文中以④折边工序为例,采用 MTM 法(methods-time measurement,方法时间衡量法)对该工序进行双手动作分析,结合动作经济原则中的双手对称、反向同时操作这一细则,改善原有作业方法,改善结果见表2。同理,对⑨、⑩折边工序进行分析,改善前的加工时间分别为6.5s和7.7s,改善后时间为4.2s和5.6s。

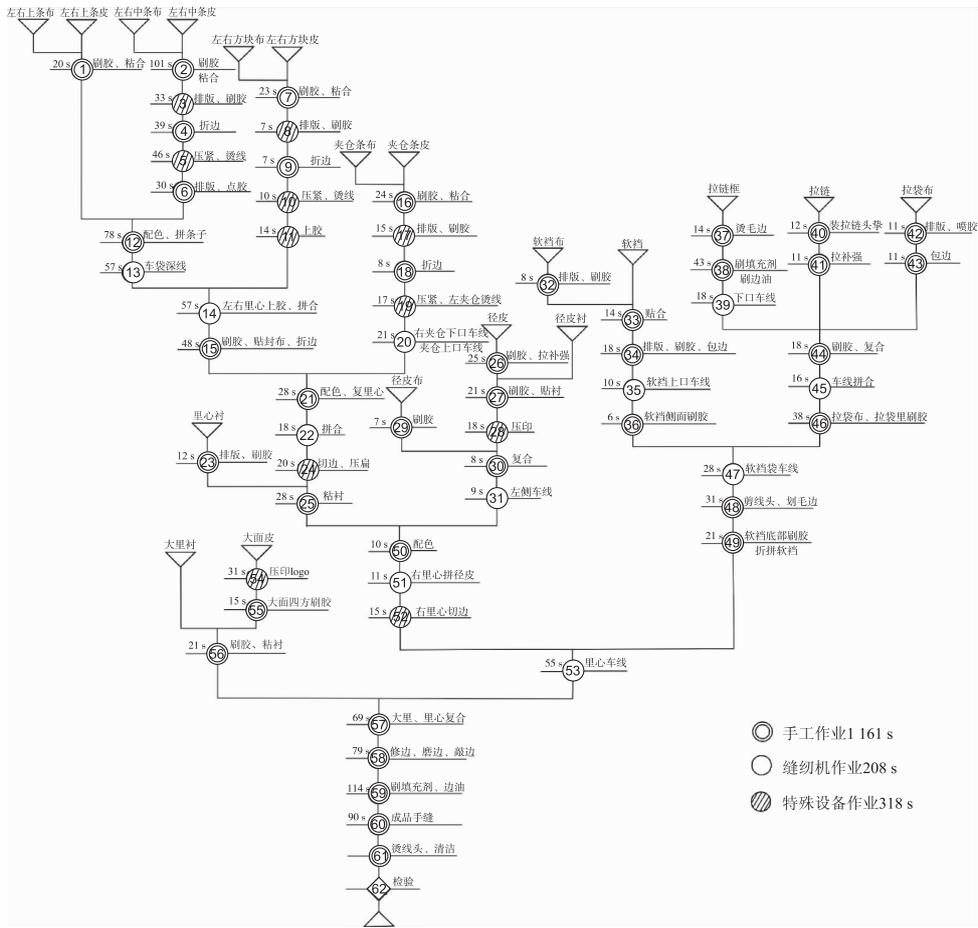


图 2 皮夹工艺流程

Fig. 2 Technological process of wallet

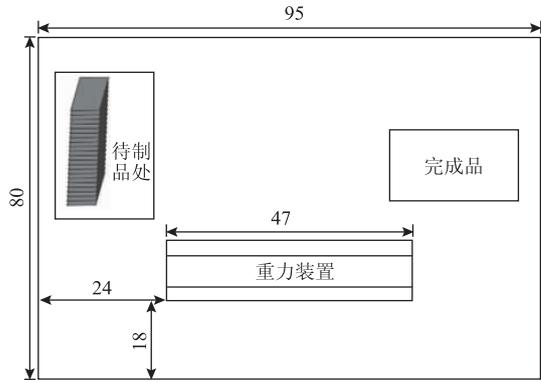
表 1 工序分配

Tab. 1 Operation allocation

工序组	工序	标准工时/s	作业人数	设备
1	①, ②, ⑦, ⑩	168	2	手工
2	③, ④, ⑧, ⑨	86	1	刷胶机, 手工
3	⑤, ⑩, ⑪	70	1	压线机, 刷胶机
4	⑬, ⑰	74	1	平车, 压线机
5	⑮, ⑰, ⑱	73	1	刷胶机, 手工
6	⑥, ⑫	108	1	手工
7	⑭, ⑳	78	1	平车
8	⑳, ⑳, ㉑	40	1	手工
9	㉑, ㉒, ㉓, ㉔	80	1	手工
10	㉑, ㉒, ㉓, ㉔	87	1	手工
11	㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖	67	1	冲压机, 手工
12	㉑, ㉒, ㉓, ㉔	61	1	全自动电脑车, 平车
13	㉑, ㉒, ㉓	80	1	切边机, 压印机, 手工
14	㉑, ㉒, ㉓	87	1	手工
15	㉑, ㉒, ㉓	67	1	手工
16	㉑, ㉒	66	1	高车
17	㉑, ㉒	84	1	切边机, 手工
18	㉑	79	1	手工, 磨边机
19	㉑	114	2	手工
20	㉑	90	1	手工



(a) 实际操作



(b) 工位布置示意

单位: cm

图3 机器折边工序

Fig. 3 Hemming operation by machine

表2 折边工序的动素分析

Tab. 2 Therbligs analysis of hemming operation

项目	次数	左手动作分析式	时间/s
抓取裁片	1	R30Bm + G1A	0.583
移动裁片	1	mM35B	0.522
将裁片对准重力装置	1	SS	0.338
脚踏踏板	2	FM	0.612
按压	3	AP2	1.144
空闲	1	PT	0
空闲	1	PT	0
抓取裁片	1	R30Bm + G1A	0.583
移动裁片	1	mM35B	0.522
将裁片对准重力装置	1	SS	0.338
脚踏踏板	2	FM	0.612
按压	3	AP2	1.144
抓取左边裁片	1	M15A	0.277
将裁片放至裁片堆	1	M35B + RL1	0.594

2.2 人机作业分析

运用人机作业法分析^{②③, ⑤④}压印工序。压印工序可分解为人工准备、机器压印和人工检查3个阶段, ②③压印工序各个阶段的机器与人工作业时间及主要作业内容见表3。

由表3可知, 人工的等待时间达到8.7 s, 作业时间为8 s; 机器1空闲时间为5.9 s, 作业时间为8.7 s; 完成单位数量加工任务的时间为16.7 s; 改善前人工、机器1利用率分别为48%和52%。为了达到“人不待机, 机不待人”的目标, 需要进行人-机

作业闲余能力分析, 确定操作者可同时操作的机器数量, 计算公式为

$$P = (t_M + t_W) / t_W \quad (3)$$

式中: P 为操作者可以操作的机器数量; t_M 为机器完成该项作业的有效时间; t_W 为作业者操作一台机器的时间。

表3 压印工序人-机作业分析

Tab. 3 Human-machine work analysis of imprinting operation

作业内容	作业时间/s		
	人工	机器1	机器2
装夹裁片	2.4	0	0
准备压印材料	2.1	2.1	0
压印	0	8.7	0
比对检查	2.2	0	0
摆放裁片	1.3	0	0

由式(3)以及表3中人工和机器1的作业时间可知, 压印工序中一个操作员可操作的机器数量为 $P = (8.7 + 8) / 8 = 2.08 > 2$ 。对压印工序进行人-机作业重组, 一人可完成两台设备的操作, 经测量, 操作工在机器1与机器2之间的移动时间为3 s, 则完成两个裁片的压印时间为13.1 s(人机同步作业时间不计入), 单个裁片压印工序的作业时间比改善前缩短了3.6 s。具体优化后的作业时间见表4。

2.3 瓶颈工序识别与改善

记录该生产线某天9:00 ~ 10:00, 14:00 ~ 15:00, 16:00 ~ 17:00的时段产量, 发现负责零部件组装的工位6产生了瓶颈。分析工位6的作业内容及工序时间, 将工作内容细分, 并制作山积图。改善前后的山积图如图4所示。

表 4 优化后的作业时间

Tab. 4 Operation time after optimization

作业内容	作业时间/s			说明
	人工	机器 1	机器 2	
装夹裁片 1	2.4	0	0	
准备压印材料 1	2.1	0	0	
压印裁片 1	0	8.7	0	
移动至机 2	3.0	0	0	
装夹裁片 2	2.4	0	0	人机同步
准备压印材料 2	2.1	0	0	
压印裁片 2	0	0	8.7	
移动至机 1	3.0	0	0	
等待时间	0	1.8	0	
比对检查裁片 1	2.2	0	0	人机同步
摆放裁片 1	1.3	0	0	
移动至机 2	3.0	0	0	
等待时间	0	0	0.8	
比对检查裁片 2	2.2	0	0	
摆放裁片 2	1.3	0	0	

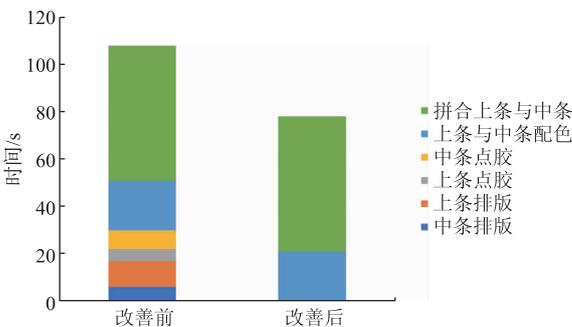


图 4 工位 6 改善前后山积图

Fig. 4 Hill plot before and after improvement of 6 station

3 Flexsim 仿真建模

3.1 Flexsim 仿真设置

借助 Flexsim7.5 仿真软件对皮夹生产流水线进行仿真模拟,主要包括 7 个步骤^[8]:①收集数据,建立概念模型;②参照工厂布局图,根据工位编排及生产流水线现场布局,建立计算机仿真模型;③模型逻辑制定:设定在制品的传递路径;④参数设置;⑤模型校核与验证:考察模型是否按照预先设想的情况运行;⑥实验运行与结果分析;⑦再优化设计。在 Flexsim 仿真模型中分别设置 1 个分发器、22 个处理器(即 22 个加工工位)、1 个吸收器(即质检工位)、23 个暂存区(即所有工位的暂存区)和 23 位操作员(22 名线上员工,1 名质检员)。由于质检时间不确定,当产品进入质检工位后,系统记录产品完成数量。清洁工序和所建立的生产流水线结构模型如图 5 所示。

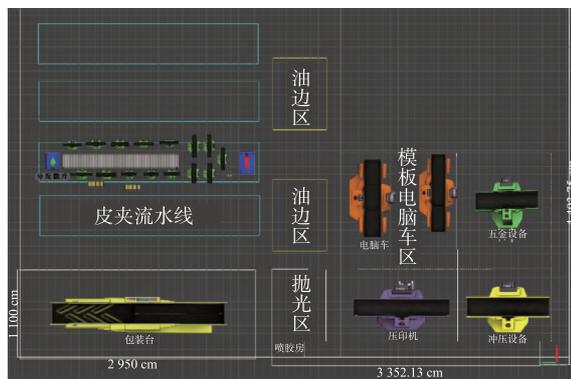


图 5 皮夹流水线仿真模型

Fig. 5 Simulation model of wallet assembly line

建立仿真流水线的关键步骤是收集数据,在该仿真系统中需要确定的固定参数为:①各工位的实际加工时间(假设实际加工时间包含传递时间);②在制品数量(即每捆裁片的数量);③返修率。除返修率外,其他参数均为常数,根据流水线的实际情况进行设定即可。为确定皮夹流水线的返修率,收集了相似款式皮夹的 6 条生产线返修率数据共 102 个,计算得到 102 个返修率均值为 5%。假设所有的返修是在质检不合格后随机返回工站,返修时间为不合格工序的标准工时。

各工位的标准作业时间为 t_0 ,根据对 A 皮具公司两折皮夹生产线 5 个随机工位实际作业时间的抽样记录,分别假设该流水线的生产率为 65%,70%,75%,则其他各工位的作业时间 t 分别为 $t_0/0.65$, $t_0/0.7$ 和 $t_0/0.75$ 。利用 Flexsim 进行 3 次仿真,系统运行时间为 9 h,得到的日产量结果见表 5。

表 5 3 次仿真的日产量

Tab. 5 Daily output of 3 simulations

实验组	生产率/%	仿真产量/件	实际产量/件
1	65	330	337 ~ 343
2	70	341	337 ~ 343
3	75	346	337 ~ 343

传统捆扎式流水线中,加工时间受到操作者技能水平和各种偶然因素的影响,因此可设置加工时间呈三角分布^[9](triangular distribution),设定各工位作业时间为 $t, t \in (a_0, c_0)$,则 t 的概率密度函数为

$$f(t) = \begin{cases} \frac{2(t - a_0)}{(b_0 - a_0)(c_0 - a_0)} & a_0 \leq t \leq b_0 \\ \frac{2(c_0 - t)}{(c_0 - b_0)(c_0 - a_0)} & b_0 < t \leq c_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $a_0 = t_0/0.75$; $b_0 = t_0/0.7$; $c_0 = t_0/0.65$ 。

3.2 优化效果分析与评价

3.2.1 产能 对 A 皮具公司两折皮夹流水线进行作业分析及瓶颈工序改善后,流水线节拍为 73 s,编

制效率与之前相比提高了 19.9%，达到 79.3%。

为评价改善方案的效果，将之前的 Flexsim 仿真模型进行优化，流水线的作业时间及工序分配见表 6。按照表 6 的模拟实际工时设定各工位作业时间。在仿真实验管理器中设定仿真实验时间为 48 h，将

质检工位每运行 9 h 输出的产品数量作为模拟生产线的日产能。记录仪表板 (dashboard) 中统计的加工产品数量，分别为 346, 347, 350, 348, 344, 352 个，最终计算其均值约为 348 个，比改善前的产量增加了 5~11 个。

表 6 优化方案的工序分配
Tab. 6 Operation allocation of optimized plan

工 位	工 序	标准工时/s	作业人数	设 备	模拟实际工时/s
1	①, ②, ⑦, ⑩	168	2	手工	triangular(224, 240, 258)
2	③, ④, ⑧, ⑨	72	1	刷胶机, 手工	triangular(96, 103, 111)
3	⑤, ⑩, ⑪	70	1	压线机, 刷胶机	triangular(93, 100, 108)
4	⑬, ⑰	74	1	平车, 压线机	triangular(99, 106, 114)
5	⑮, ⑰, ⑱, ⑥	92	1	刷胶机, 手工	triangular(123, 131, 142)
6	⑫	78	1	手工	triangular(104, 111, 120)
7	⑭, ⑲	78	1	平车	triangular(104, 111, 120)
8	⑳, ㉓, ㉔	40	1	手工	triangular(53, 57, 62)
9	㉑, ㉖, ㉗, ㉘	80	1	手工	triangular(107, 114, 123)
10	㉙, ㉚, ㉛, ㉜	87	1	手工	triangular(116, 124, 134)
11	㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳	61	1	冲压机, 手工	triangular(81, 87, 94)
12	㉚, ㉛, ㉜, ㉝	61	1	全自动电脑车, 平车	triangular(81, 87, 94)
13	㉞, ㉟, ㊱	75	1	切边机, 压印机, 手工	triangular(100, 107, 115)
14	㊱, ㊲, ㊳	87	1	手工	triangular(116, 124, 134)
15	㊴, ㊵, ㊶, ㊷	67	1	手工	triangular(89, 96, 103)
16	㊸, ㊹	66	1	高车	triangular(88, 94, 102)
17	㊺, ㊻	84	1	切边机, 手工	triangular(112, 120, 129)
18	㊼	79	1	手工, 磨边机	triangular(105, 113, 122)
19	㊽	114	2	手工	triangular(152, 163, 175)
20	㊾	90	1	手工	triangular(120, 129, 138)

3.2.2 资源利用率 在 Flexsim 软件的 Performance Measure 的模块下勾选“加工”指标，可以获得相关工位机器以及操作者的忙闲状态。模型仿真输出数据见表 7。

表 7 模型仿真输出数据

Tab. 7 Output data from simulation model

工 位	空闲/%	加工/%
1	0	100
2	8.32	91.68
3	9.50	90.50
4	6.98	93.02
5	2.10	97.90
6	7.88	92.12
7	8.32	91.68
8	18.24	81.76
9	5.75	94.25
10	4.98	95.02
11	10.32	89.68
12	11.06	88.94
13	7.20	92.80
14	4.52	95.48
15	10.82	89.18
16	12.53	87.47
17	6.37	93.63
18	7.94	92.06
19	8.55	91.45
20	3.26	96.74

人员或者设备处于繁忙状态的时间占生产总时间的比例称为资源利用率^[10]。利用率过高表示流水线产能饱和，但是也可能造成产品堆积；利用率过低则意味着流水线资源利用不充分，存在浪费现象。由表 7 可以看出，工位 5 和工位 20 的空闲率分别为 2.1% 和 3.26%，可能较为频繁地出现半成品堆积情况；工位 8 的空闲率达到 18.24%，说明该工位出现了资源浪费的现象，可以合理安排该工序的人员去辅助其他工位作业。

各工位的忙闲状态与作业时间是相符合的，由此表明该优化模型的设置符合实际生产状况，具有良好的仿真效果。

4 结 语

文中调研了皮夹流水线生产指标，发现其中存在的问题，并利用工业工程技术对流水线进行作业分析，改善流水线的编排方案。流水线的布局和工艺流程分析为 Flexsim 仿真模型的建立提供相关参数，并通过仿真流水线展示优化方案。优化后的皮夹流水线编制效率提高了 19.9%，日产量平均增加 8 件。对比各工位的资源利用率和作业时间，可知两者的变化趋势相符。优化模型的仿真效果达到了设计要求，为后期皮夹流水线的仿真优化奠定了

基础。

参考文献:

- [1] 陈东生, 郑玮. 服装生产管理学[M]. 上海: 东华大学出版社, 2015: 60-62.
- [2] 许栋樑. 基于精益生产理论的服装流水线优化研究[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2017, 37(4): 68-75.
XU Dongliang. Optimization of clothing assembly line based on lean production theory[J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology (Natural Science Edition), 2017, 37(4): 68-75. (in Chinese)
- [3] 孙影慧, 杜劲松. 服装单件流水线的Flexsim仿真[J]. 纺织学报, 2018, 39(6): 155-161, 166.
SUN Yinghui, DU Jinsong. Simulation of one-piece flow garment assembly line based on Flexsim software[J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(6): 155-161, 166. (in Chinese)
- [4] 刘谣. 基于ProModel仿真系统的服装混合流水线平衡优化[D]. 上海: 东华大学, 2015: 35-44.
- [5] 张梦雨, 黄河, 杨以雄, 等. 基于0-1规划的成衣制造流水线平衡建模与仿真[J]. 毛纺科技, 2018, 46(5): 46-51.
ZHANG Mengyu, HUANG He, YANG Yixiong, et al. Garment manufacturing line balance modeling and simulation based on 0-1 programming[J]. Wool Textile Journal, 2018, 46(5): 46-51. (in Chinese)
- [6] 胡明茂, 李峰. 基于单元化“一个流”生产方式的曲轴生产线优化与仿真[J]. 现代制造工程, 2018(3): 86-92.
HU Mingmao, LI Feng. Simulation and optimization of the crankshaft production line based on "one-piece flow" cell production mode[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2018(3): 86-92. (in Chinese)
- [7] 孙影慧, 杜劲松. 服装单件生产流水线仿真优化[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2019, 45(2): 236-242.
SUN Yinghui, DU Jinsong. Simulation and optimization of single garment production line[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2019, 45(2): 236-242. (in Chinese)
- [8] 秦天保, 周向阳. 实用系统仿真建模与分析: 使用Flexsim[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 7.
- [9] 徐燕妮, 周海媚, 王立川, 等. 服装缝制流水线仿真与评价指标[J]. 纺织学报, 2015, 36(12): 146-151.
XU Yanni, ZHOU Haimei, WANG Lichuan, et al. Simulation of clothing sewing line and evaluation indexes[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(12): 146-151. (in Chinese)
- [10] ERYURUK S H. Clothing assembly line design using simulation and heuristic line balancing techniques[J]. Tekstil Ve Konfeksiyon, 2012, 22(4): 360-368.

(责任编辑: 沈天琦)