

# 基于模块化的女式衬衫混合生产流水线仿真研究

占永胜<sup>1</sup>, 方丽英<sup>\*2</sup>

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 国际教育学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对服装市场多样化、个性化的需求,提出一种多品种、小批量的服装混合生产模式。以Z公司两款女式衬衫为例,运用秒表法采集实际生产数据,并采用模块化思维,对工序进行划分与重组,将两款衬衫混合生产,同时借助FlexSim软件进行模块化混合生产线仿真模拟。结果表明,两款衬衫混合后编制效率由原来61.76%和63.00%提高到92.47%;虽然两款衬衫单件总作业时间相差较大,但混合后生产线的生产效率均有提高,A款衬衫混合前日产量101件,混合后为109件;B款衬衫混合前日产量57件,混合后为109件,混合后日产量分别提升了7.92%和91.23%;通过仿真模拟优化,二次优化后的混合生产流水线的日产量均为110件。由此得出,模块化混合生产可有效降低换款损失,提升生产效率。

**关键词:**流水线平衡;FlexSim仿真;混合生产模式;编制效率;模块化

**中图分类号:**TS 941.7;TS 941.713 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2025)02-0123-10

## Simulation Research on Modular-Based Mixed Production Line for Women's Shirts

ZHAN Yongsheng<sup>1</sup>, FANG Liying<sup>\*2</sup>

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of International Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To address the diversified and personalized demands of the apparel market, this study proposes a hybrid production model for small-batch, multi-variety garment manufacturing. Taking two women's blouses from company Z as an example, actual production data were collected using the stopwatch method. Modular thinking was applied to divide and reorganize the processes, enabling mixed production of the two blouses. FlexSim software was then employed to simulate the modular hybrid production line. The results show that after hybridization, the line efficiency increased from the original 61.76% and 63.00% to 92.47%. Although the total operation time per unit differed significantly between the two blouses, the hybrid production improved efficiency for both. The daily production of model A shirts was 101 pieces before mixing and became 109 pieces after mixing. The daily production of model B shirts was 57 pieces before mixing and became 109 pieces after mixing. The post-mixing daily production showed increases of 7.92% and 91.23% respectively. Further simulation-based optimization achieved a consistent daily output of 110 pieces for both blouses in the hybrid line. The study concludes that modular hybrid production effectively reduces style-change losses and enhances production efficiency.

**Key words:** pipeline balance, FlexSim simulation, mixed production mode, establishment efficiency, modularity

目前,服装市场需求呈现多样化、个性化的特点,服装产业小单快反的生产模式已经普遍存

在<sup>[1-2]</sup>,给服装生产带来巨大挑战。在服装实际生产环节,大多数企业采用单件流生产方式。服装单件

收稿日期:2023-10-06; 修订日期:2025-02-14。

作者简介:占永胜(1999—),男,硕士研究生。

\*通信作者:方丽英(1969—),女,副教授,硕士生导师。主要研究方向为服装生产管理与智能制造。

Email:13735819288@139.com

流水线是将一件服装的多个工序按照服装工艺顺序进行编排,分配给组内各工位进行生产的方式。在生产线上每次换款生产时,组长和服装工程师(industrial engineering, IE)需要逐一跟踪小组成员,直至第一件服装生产完成,期间大约耗时 2~3 h,复杂的服装款式换款时间甚至可达半天及以上。产线换款频率越频繁,工人需要更换缝制工序的次数越多,导致工人熟练程度尚未达到峰值时产品已经下线,大大降低了该条流水线的生产效率,即转换次数越多,换款损失越大。于是,服装混合生产模式应运而生,它是建立在服装单件流水线的基础上,把相似款式的服装置于一条流水线生产,并将相似模块组合,达到提高生产效率的目的。

在服装混合生产方面,郑路等<sup>[3]</sup>提出了以模块化为基础的服装智能生产编排算法,实现了多款服装在混合生产模式下的快速生产。在服装模块化生产方面,多数学者从单件流的思想出发研究如何实现服装快速生产,如汤梦娜等<sup>[4]</sup>、刘立枝等<sup>[5]</sup>分别从男衬衫和女裤产品部件及生产工艺入手,对流水线进行模块划分,再加以组合设计,用实例验证了模块化生产可以提升生产平衡率和增加缝制生产的灵活性。闫亦农<sup>[6]</sup>分析蒙古族服装缝制工艺特点,结合模块化生产理论,概括出蒙古族定制服装模块化缝制流水线的划分方法,提出模块内工序优化编制原则。在流水线虚拟仿真方面,张苏宁等<sup>[7]</sup>采用 FlexSim 软件与改进蚁群算法相结合,对流水线进行两次优化,实例验证了服装流水线的编制效率可以大幅提升,进一步开拓了服装流水线平衡的新视角。孙影慧等<sup>[8]</sup>借助 FlexSim 软件对服装单件生产流水线的优化和仿真模拟进行研究。宋莹等<sup>[9-10]</sup>,孙影慧等<sup>[11]</sup>利用 FlexSim 软件对服装单件流水线进行优化,采用工序拆分、工序重组、ESCR(eliminate simplify combine rearrange,ESCR)原则的方式,消除流水线上因瓶颈、积压、等待等导致的生产流水线不平衡问题。上述研究主要从服装模块化和虚拟仿真两方面对单一款式生产线优化,但缺乏与实际服装企业相结合的研究案例。

文中以 Z 公司服装为实例,提出服装混合生产模式,以减少 Z 公司某条生产线中多品种,少批量生产方式的换款次数,从而达到减少换款损失、提高流水线的编制效率和生产效率的目的。

1 缝制流水线平衡评价指标

节拍(shortest processing time,SPT)为流水线中两件产品之间的时间间隔,或是产品在流水线上

单次移动所需要的时间间隔,节拍是流水线平衡设计的重要依据。节拍表示为

$$S_{PT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i = \frac{T}{Q} \quad (1)$$

式中: $S_{PT}$ 为理论节拍; $N$ 为作业工人数; $k$ 为流水线的工序数; $t_i$ 为第  $i$  道工序作业时间; $T$ 为一天作业的总时间; $Q$ 为日产量。

通常情况下,根据服装企业实际的生产需要,将各工作站的作业时间控制在与节拍接近的界限内,具体表示为

$$U_{PT} = S_{PT}/0.95 \quad (2)$$

$$L_{PT} = 2S_{PT} - U_{PT} \quad (3)$$

式中: $U_{PT}$ 为节拍上限; $L_{PT}$ 为节拍下限。

编制效率能够反映流水线各个工位作业时间是否均衡,即

$$\eta = \frac{S_{PT}}{\max[T(S_i)]} \quad (4)$$

式中: $\eta$ 为编制效率; $\max[T(S_i)]$ 为瓶颈节拍<sup>[12]</sup>; $S_i$ 为第  $i$  个工位; $T(S_i)$ 为第  $i$  个工位的作业时间。

2 女式衬衫生产线生产现状分析

为进一步研究模块化混合生产提高生产效率的方法,文中以 Z 公司电商部门提供的两款(A,B)女式衬衫为研究对象,两款衬衫首单批量均为 200 件。A 款组内工作人员 15 人,B 款衬衫组内工作人员 14 人,质检和组长均不计。两款衬衫款式效果如图 1 所示。



图 1 两款衬衫款式效果

Fig.1 Diagram of two shirt styles

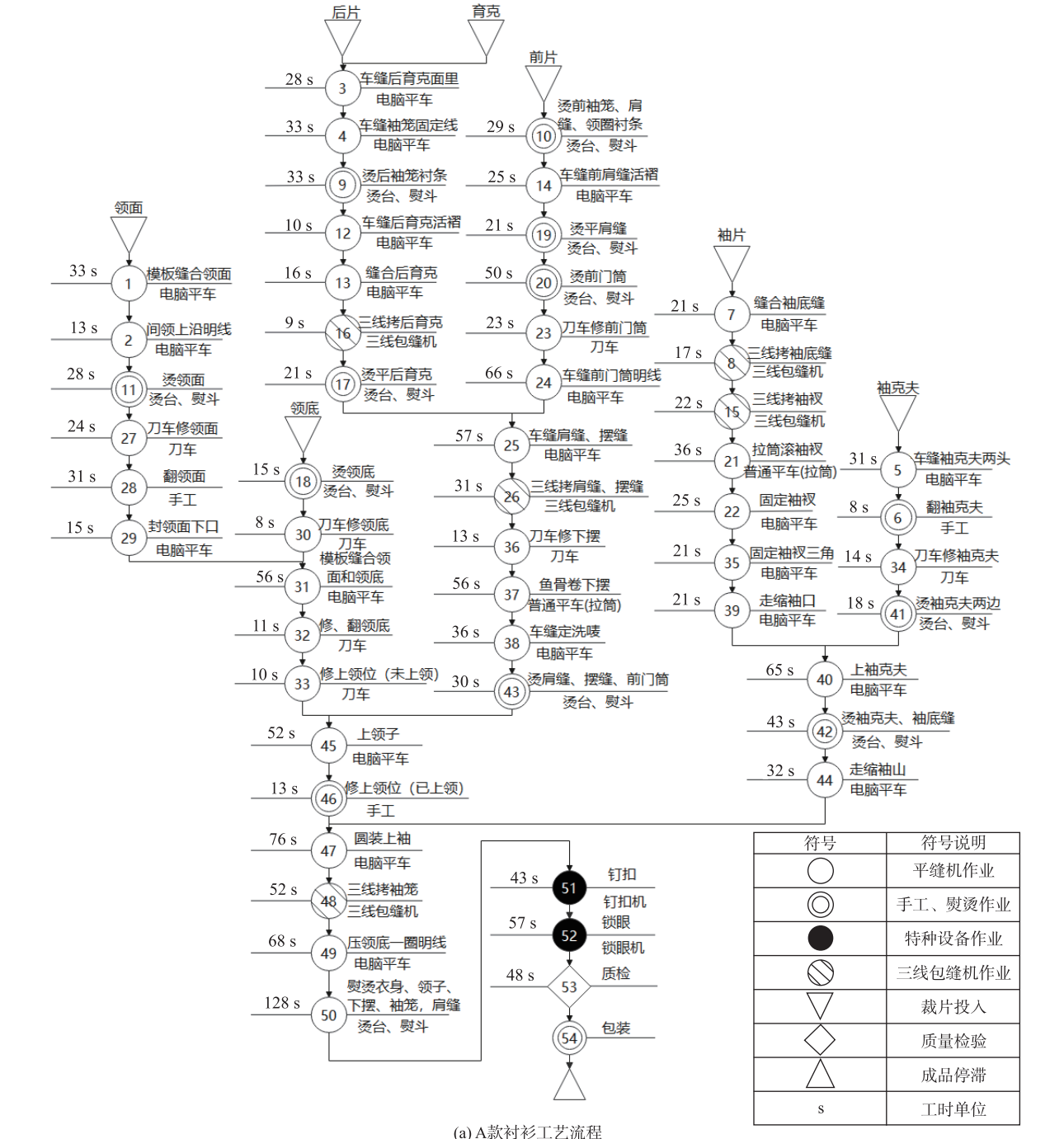
两款衬衫均带有育克,后背有活褶,明门襟,面料成分相同,且面料的颜色都为白色,缝纫线也统一使用白色。不同点是两款衬衫袖子长度不一致,此外,A 款衬衫袖山和前育克有活褶,B 款衬衫胸前

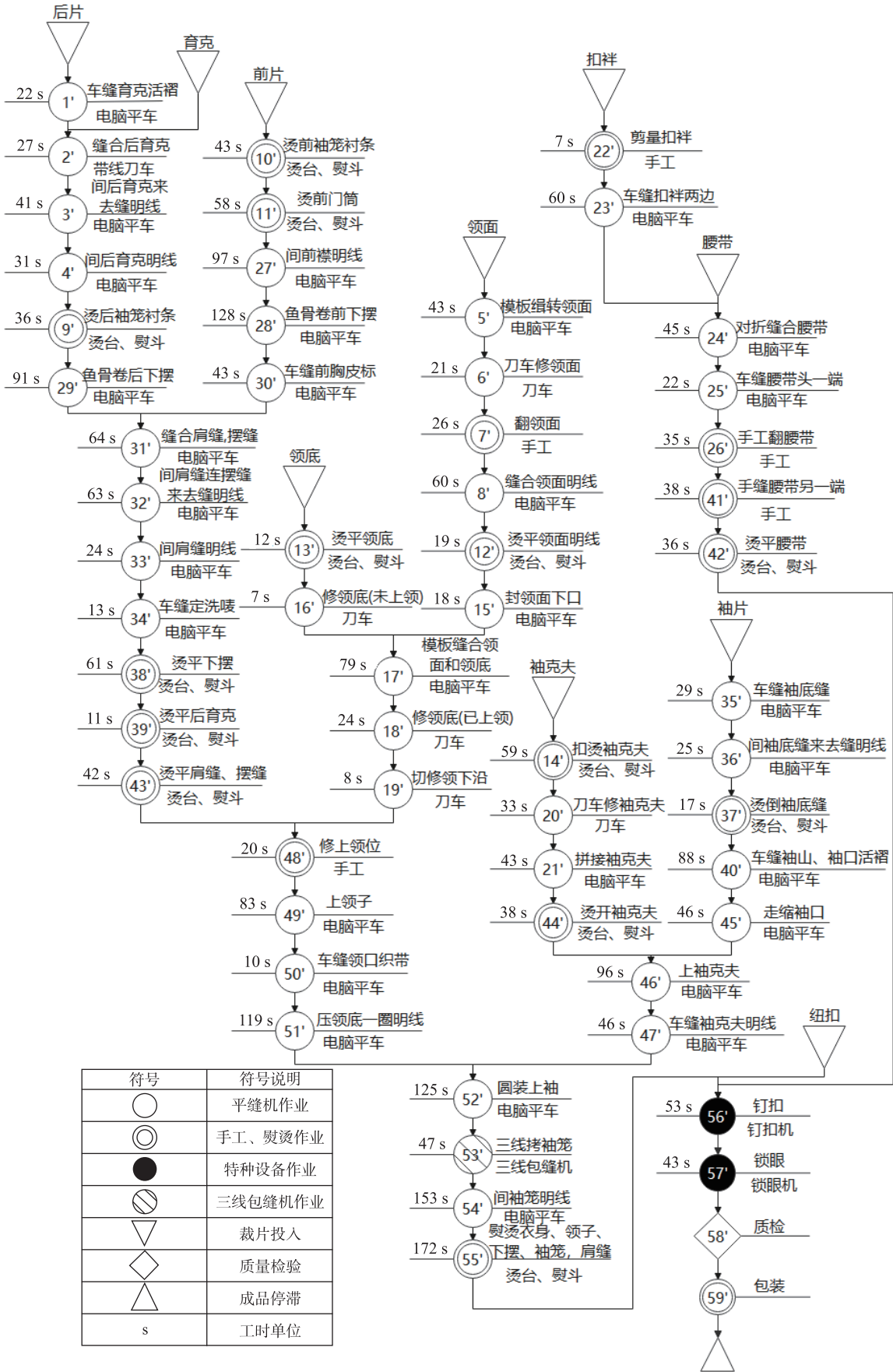
有贴标。

两款衬衫工艺流程如图 2 所示。其中,A 款衬衫有 50 道工序,B 款衬衫有 55 道工序(除线外工序,如钉扣、锁眼等)。

两款衬衫工序编排见表 1 和表 2。由表 1 和表 2 可以看出,A 款衬衫耗时最多的是工位 8<sup>#</sup>,作业时间是 170 s,B 款衬衫耗时最多的是工位 8<sup>#</sup>,作业时间是 293 s,由式 (1) 计算得到,两款衬衫流水线节拍分别为 105.0 s 和 184.6 s,两款衬衫流水线中的工位 8<sup>#</sup> 作业时间均大于流水线节拍,故瓶颈工位均为工位 8<sup>#</sup>。A 款衬衫瓶颈工位的产生与模板有关,是由于工人使用模板时摆放裁片时间过长;B 款衬衫

瓶颈工位与工序时长有关,由于工人使用熨烫模板扣烫前门襟,导致该工序耗时较长。文中领面置于线外,采用全自动模板机缝制,故表 1 工序 4、表 2 工序 1' 不计入生产线作业时间,其中 A 款衬衫工序 4 耗时 33 s,B 款衬衫工序 1' 耗时 43 s,两条流水线的单件作业时间分别为 1 576 s 和 2 585 s,总作业时间为 4 161 s。由式 (4) 计算可以得出,两条流水线的编制效率分别为 61.76% 和 63.00%。通常,一条流水线的生产平衡率的标准为 85%<sup>[13]</sup>,而文中这两条流水线的编制效率远远低于 85%,生产线平衡率较差,说明两条生产流水线的生产效率较低,需要进一步优化。





(b) B款衬衫工艺流程

图 2 两款衬衫工艺流程  
Fig.2 Process flow diagram of two shirts

表 1 A 款衬衫工序编排

Tab.1 A type of shirt process arrangement

| 工位              | 工序序号                    | 时间 /s | 作业设备          |
|-----------------|-------------------------|-------|---------------|
| 1 <sup>#</sup>  | 1,2,3,4                 | 74    | 电脑平车,手工       |
| 2 <sup>#</sup>  | 5,6,7,8                 | 77    | 电脑平车,三线包缝,手工  |
| 3 <sup>#</sup>  | 9,10,11                 | 91    | 熨斗            |
| 4 <sup>#</sup>  | 12,13,14,15,16          | 82    | 电脑平车,三线包缝     |
| 5 <sup>#</sup>  | 17,18,19,20             | 107   | 熨斗            |
| 6 <sup>#</sup>  | 21,22,23,24             | 133   | 普通平车(拉筒),电脑平车 |
| 7 <sup>#</sup>  | 25,26                   | 88    | 电脑平车,三线包缝     |
| 8 <sup>#</sup>  | 27,28,29,30,31,32,33,34 | 170   | 电脑平车,刀车,手工    |
| 9 <sup>#</sup>  | 35,36,37,38             | 126   | 普通平车(拉筒),电脑平车 |
| 10 <sup>#</sup> | 39,40                   | 86    | 电脑平车          |
| 11 <sup>#</sup> | 41,42,43                | 122   | 熨斗            |
| 12 <sup>#</sup> | 44,45,46                | 96    | 电脑平车,手工       |
| 13 <sup>#</sup> | 47                      | 76    | 电脑平车          |
| 14 <sup>#</sup> | 48,49                   | 120   | 电脑平车,三线包缝     |
| 15 <sup>#</sup> | 50                      | 128   | 熨斗            |
| 总计              |                         | 1 576 |               |

表 2 B 款衬衫工序编排

Tab.2 B type of shirt process arrangement

| 工位              | 工序序号                        | 时间 /s | 作业设备         |
|-----------------|-----------------------------|-------|--------------|
| 1 <sup>#</sup>  | 41′                         | 38    | 手工           |
| 2 <sup>#</sup>  | 1′,2′,3′,4′,5′,6′,7′,8′     | 185   | 电脑平车,带线刀车    |
| 3 <sup>#</sup>  | 9′,10′,11′,12′,13′,14′      | 211   | 熨斗           |
| 4 <sup>#</sup>  | 15′,16′,17′,18′,19′,20′,21′ | 210   | 电脑平车,刀车      |
| 5 <sup>#</sup>  | 22′,23′,24′,25′,26′,27′     | 235   | 电脑平车,带线刀车,手工 |
| 6 <sup>#</sup>  | 28′,29′,30′                 | 262   | 电脑平车         |
| 7 <sup>#</sup>  | 31′,32′,33′,34′,35′,36′     | 218   | 电脑平车,带线刀车    |
| 8 <sup>#</sup>  | 37′,38′,39′,40′,42′,43′,44′ | 293   | 电脑平车,熨斗      |
| 9 <sup>#</sup>  | 45′,46′,47′                 | 204   | 电脑平车         |
| 10 <sup>#</sup> | 48′,49′                     | 103   | 电脑平车,手工      |
| 11 <sup>#</sup> | 50′,51′                     | 129   | 电脑平车         |
| 12 <sup>#</sup> | 52′,53′                     | 172   | 电脑平车,三线包缝    |
| 13 <sup>#</sup> | 54′                         | 153   | 电脑平车         |
| 14 <sup>#</sup> | 55′                         | 172   | 熨斗           |
| 总计              |                             | 2 585 |              |

### 3 女式衬衫模块化流水线设计

#### 3.1 女式衬衫工序模块化划分

将两款衬衫进行模块化混合生产,必须先将两款衬衫的工序拆分,再进行工序重组。两款衬衫款式虽有差异,但工艺相似度较高,例如大身模块几

乎一致,均有育克分割,明门襟,卷下摆,其缝制工艺相同;袖子模块也十分相似,袖子长短虽有差异,但袖口均有抽褶,工艺相似度极高。文中按模块化思维将两款衬衫缝制工序分为大身模块、袖子模块、领子模块、组装模块 4 个模块。工序模块化划分见表 3。

表 3 工序模块化划分情况  
Tab.3 Modular division of processes

| 一级模块 | 二级模块  | 衬衫工序序号               |                             |
|------|-------|----------------------|-----------------------------|
|      |       | A 款                  | B 款                         |
| 大身   | 前片    | 10,14,19,20,23,24,43 | 10',11',27',30'             |
|      | 后片    | 3,9,12,13,16,17      | 1',2',3',3,4',9',39'        |
| 袖子   | 袖片    | 7,8,15,21,22,39,42   | 35',36',37',40',45'         |
|      | 袖英    | 5,6,34,42            | 14',20',21',44'             |
|      | 合袖    | 40,41                | 46',47'                     |
| 领子   | 领面    | 1,2,11,27,28,29      | 5',6',7',8',12',15'         |
|      | 领底    | 18,30                | 13',16'                     |
|      | 合领    | 31,32,33             | 17',18',19'                 |
| 组合   | 前后片组合 | 25,26,36,37,38,43    | 28',29',31',32',33',34',43' |
|      | 上袖    | 4,47,48              | 52',53',54'                 |
|      | 上领    | 45,46,49             | 48',49',51'                 |
|      | 腰带    |                      | 22',23',24',25',26',41',42' |

3.2 女式衬衫工序重组原则

衬衫工序拆分完成后,按照工序重组原则合理分配到每个工位。工序重组原则:① 所有工序必须按照前后加工顺序进行分配,避免生产过程中出现倒流现象,相同或相似工序尽可能分配到同一工位,这样既可提高机器利用率,又有利于后续工序的编排;② 工序重组后每个工位的作业总时间应接近理论节拍或者理论节拍的倍数,并且将作业总时间调整到节拍偏差范围内;③ 如果某一工序不能完整分配到某一工位,取其2/3,1/2或1/3的作业时间分配到该工位,其余的作业时间再分配其他工位,同时安排其他工序组合到该工位,保证这几个工位

作业时间在节拍偏差范围内;④ 适合线外捆扎式生产的部件模块尽量作为前置工序线外加工,如领面模块,可用全自动模板机缝制,进一步提高部件缝制的效率<sup>[14-15]</sup>。

3.3 女式衬衫模块化混合生产流水线分析

根据工序划分与重组原则,将两款衬衫混合到一条流水线生产,组内工作人员为15人,生产线节拍为277.4 s。两款衬衫混合后,由式(2)(3)可得模块化混合生产线各工位的作业时间偏差为[262.8,292];两款衬衫领面缝制工序作为前置工序混合后,都可置于线外由全自动模板机完成缝制,模块化混合生产时需要剔除时间,具体见表4。

表 4 混合生产流水线工序编排  
Tab.4 Process scheduling table of mixed production line

| 工位              | 工序序号   | 时间 /s | 作业设备                  |
|-----------------|--|-------|-----------------------|
| 1 <sup>#</sup>  | 1',2',3',3,4',12,13,14,16,30'                      | 252   | 电脑平车                  |
| 2 <sup>#</sup>  | 9,9',10,10',11',19,20                              | 272   | 熨斗                    |
| 3 <sup>#</sup>  | 7,8,23,24,27',35',36'                              | 278   | 电脑平车,刀车               |
| 4 <sup>#</sup>  | 11,12',13',14',17,18,37',39',41(2/3),42,43(1/3),44 | 278   | 熨斗                    |
| 5 <sup>#</sup>  | 2,6',7',8',15',16',20',27,28,29,30,34              | 270   | 电脑平车,刀车               |
| 6 <sup>#</sup>  | 5,6,15,21,21',22,40'                               | 253   | 电脑平车,三线包缝,普通平车(拉筒),手工 |
| 7 <sup>#</sup>  | 25,26,31',32',33',34',38                           | 288   | 电脑平车,带线刀车             |
| 8 <sup>#</sup>  | 22',23',24',25',26',41(1/3),42',43(2/3),43'        | 286   | 电脑平车,熨斗,手工            |
| 9 <sup>#</sup>  | 28',29',36,37                                      | 288   | 电脑平车                  |
| 10 <sup>#</sup> | 39,40,45',46',47'                                  | 290   | 电脑平车                  |
| 11 <sup>#</sup> | 17',18',19',31,32,33,45(2/3),49(2/3)               | 276   | 电脑平车                  |
| 12 <sup>#</sup> | 45(1/3),46,48',49,49(1/3),51'                      | 275   | 电脑平车,手工               |
| 13 <sup>#</sup> | 38',41',47,52'                                     | 270   | 电脑平车,熨斗,手工            |
| 14 <sup>#</sup> | 4,48,53',54'                                       | 285   | 电脑平车,三线包缝             |
| 15 <sup>#</sup> | 50,55'   | 300   | 熨斗                    |
| 总计              |  | 4 161 |                       |



该条生产线二次优化,具体见表 5。

表 5 中各工位工序进行细微调整,如原本工位 3<sup>#</sup> 的工序 23 重新分配到工位 1<sup>#</sup>,原本工位 6<sup>#</sup> 的工序 15 重新分配到工位 3<sup>#</sup>,则工位 1<sup>#</sup> 的作业时间由 252 s 增加到 275 s,工位 3<sup>#</sup> 的作业时间保持不变;原本工位 7<sup>#</sup> 的工序 33 和工位 8<sup>#</sup> 的工序 22 重新分配到工位 6<sup>#</sup>,原本工位 8<sup>#</sup> 的工序 26 重新分配到工位

6<sup>#</sup> 和工位 7<sup>#</sup>,则工位 6<sup>#</sup> 的作业时间由 253 s 增加到 280 s,工位 7<sup>#</sup> 的作业时间由 288 s 减少到 281 s;原本工位 10<sup>#</sup> 的工序 39 和工序 45 重新分配到工位 8<sup>#</sup> 和工位 10<sup>#</sup>,由两个工位共同完成,其中工位 8<sup>#</sup> 完成 1/3,工位 10<sup>#</sup> 完成 2/3,则工位 8<sup>#</sup> 和工位 10<sup>#</sup> 的作业时间分别由 286 s 和 290 s 减少到 271 s 和 263 s。

表 5 二次优化后的混合生产流水线工序编排表  
Tab. 5 Process scheduling table of optimized hybrid production line

| 工位              | 工序序号  | 时间 /s | 作业设备             |
|-----------------|---|-------|------------------|
| 1 <sup>#</sup>  | 1,2,3,3,4,12,13,14,16,23,30                   | 275   | 电脑平车,刀车          |
| 2 <sup>#</sup>  | 9,9,10,10,11,19,20                            | 272   | 熨斗               |
| 3 <sup>#</sup>  | 7,8,15,23,24,27,35,36                         | 278   | 电脑平车,三线包缝        |
| 4 <sup>#</sup>  | 11,12,13,14,17,18,37,39,41(2/3),42,43(1/3),44 | 278   | 熨斗               |
| 5 <sup>#</sup>  | 2,6,7,8,15,16,20,27,28,29,30,34               | 270   | 电脑平车,刀车          |
| 6 <sup>#</sup>  | 5,6,21,21,22,22,26(1/2),33,40                 | 280   | 电脑平车,普通平车(拉筒),手工 |
| 7 <sup>#</sup>  | 25,26,26(1/2),31,32,33,34,38                  | 281   | 电脑平车,带线刀车,手工     |
| 8 <sup>#</sup>  | 23,24,25,39(1/3),41(1/3),42,43(2/3),43        | 271   | 电脑平车,熨斗          |
| 9 <sup>#</sup>  | 28,29,36,37                                   | 288   | 电脑平车             |
| 10 <sup>#</sup> | 39(2/3),40,45,46,47                           | 263   | 电脑平车             |
| 11 <sup>#</sup> | 17,18,19,31,32,33,45(2/3),49(2/3)             | 276   | 电脑平车             |
| 12 <sup>#</sup> | 45(1/3),46,48,49,49(1/3),50,51                | 275   | 电脑平车,手工          |
| 13 <sup>#</sup> | 38,41,47,52                                   | 270   | 电脑平车,熨斗,手工       |
| 14 <sup>#</sup> | 4,48,53,54                                    | 285   | 电脑平车,三线包缝        |
| 15 <sup>#</sup> | 50,55   | 300   | 熨斗               |
| 总计              |   | 4 161 |                  |

二次优化后再次进行仿真模拟,结果如图 5 所示。二次优化后的混合生产线仍有 3 个工位出现产品堆积现象(工位 15<sup>#</sup> 不计),但 3 个工位的产品堆

积量明显减少,工位 3<sup>#</sup>、工位 6<sup>#</sup> 和工位 9<sup>#</sup> 产品堆积数量分别为 3,2,3 个。综上可知,产品堆积数量均有减少,其中工位 2<sup>#</sup> 的产品堆积数量全部清除。

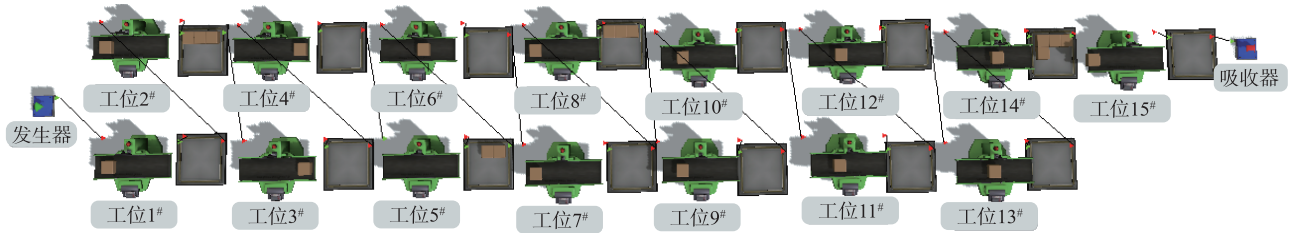


图 5 二次优化后的混合生产流水线工位布局  
Fig. 5 Layout diagram of the optimized hybrid production line station

仿真结果包括日产量、空闲时间和操作时间占比。两款衬衫混合前日产量分别为 202 件和 114 件,

混合后两款衬衫日产量均为 109 件。由于混合前作业人数是 29 人,混合后作业人数是 15 人,混合前作

业人数为混合后的 1.93 倍,所以,混合前两款衬衫的日产量分别为 101 件和 57 件,混合后日产量均为 109 件,混合后日产量分别提升了 7.92% 和 91.23%。通过仿真模拟对生产线优化,结果显示二次优化后的日产量为 110 件。研究表明,模块化混合生产可有效降低换款损失,提升生产效率<sup>[19]</sup>。混合生产流水线各工位的作业状态见表 6。由表 6 可以看出,各工位的操作时间占比均有所提升,说明该条模块化混合生产线能够较好地反映混合生产线的模拟生产情况。

表 6 二次优化后的混合生产流水线各工位作业状态  
Tab. 6 The operation status of each station of the mixed production line after the second optimisation

| 工位              | 空闲时间占比 /% |       | 操作时间占比 /% |       |
|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|
|                 | 混合后       | 二次优化后 | 混合后       | 二次优化后 |
| 1 <sup>#</sup>  | 0.04      | 0.04  | 99.96     | 99.96 |
| 2 <sup>#</sup>  | 0.74      | 0.79  | 99.26     | 99.21 |
| 3 <sup>#</sup>  | 1.49      | 1.55  | 98.51     | 98.45 |
| 4 <sup>#</sup>  | 2.27      | 5.52  | 97.73     | 94.48 |
| 5 <sup>#</sup>  | 5.82      | 5.50  | 94.18     | 94.50 |
| 6 <sup>#</sup>  | 3.79      | 3.82  | 96.21     | 96.18 |
| 7 <sup>#</sup>  | 4.56      | 4.59  | 95.44     | 95.41 |
| 8 <sup>#</sup>  | 6.02      | 8.74  | 93.98     | 91.20 |
| 9 <sup>#</sup>  | 6.16      | 6.13  | 93.84     | 93.87 |
| 10 <sup>#</sup> | 6.96      | 14.98 | 93.04     | 85.02 |
| 11 <sup>#</sup> | 12.19     | 11.49 | 87.81     | 88.51 |
| 12 <sup>#</sup> | 13.24     | 12.54 | 86.76     | 87.46 |
| 13 <sup>#</sup> | 15.51     | 14.84 | 84.49     | 85.16 |
| 14 <sup>#</sup> | 11.58     | 10.87 | 88.42     | 89.13 |
| 15 <sup>#</sup> | 10.83     | 10.73 | 89.17     | 89.27 |

## 5 结 语

以模块化思维对两款衬衫进行工序划分并重组,两款衬衫由两条生产线混合到一条生产线生产,混合前两款衬衫的编制效率分别为 61.76% 和 63.00%,混合后编制效率为 92.47%,混合后生产线的编制效率大大提升。文中基于生产线实际作业时间进行研究,没有考虑实际生产线的浮余率,故实际生产线编制效率可能会偏低。两款衬衫的工位编排次数由 2 次缩减为 1 次,减少了 IE 和组长的工作量。两条流水线单件总作业时间虽相差较大,混合后生产线的生产效率均有提高,A 款衬衫混合后日产量由 101 件增加到 109 件;B 款衬衫混合后日产

量由 57 件增加到 109 件,两款衬衫混合后日产量分别提升了 7.92% 和 91.23%;通过二次优化,两款衬衫日产量均为 110 件。由此可知,模块化混合生产提高了生产效率,有效降低换款损失。借助 FlexSim 软件进行混合后生产线仿真模拟,可以提前预测生产过程中可能出现的问题,为管理人员在生产过程中的生产线平衡提供了切实可靠的参考依据,从而达到提高 Z 公司生产线效率的目的。

## 参考文献：

[ 1 ] 颜伟雄. 基于模块化的服装精益生产线平衡及产品组合研究 [ D ]. 杭州:浙江理工大学,2022.

[ 2 ] 黄珍珍,莫碧贤,温李红. 基于遗传算法及仿真技术的服装生产流水线平衡 [ J ]. 纺织学报,2020,41 ( 7 ):154-159.

HUANG Zhenzhen, MO Bixian, WEN Lihong. Garment production line balance based on genetic algorithm and simulation [ J ]. Journal of Textile Research,2020,41 ( 7 ):154-159. ( in chinese )

[ 3 ] 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.

ZHENG Lu, YAN Weixiong, HU Jueliang, et al. Balanced optimization of garment hybrid assembly line based on modularization [ J ]. Journal of Textile Research, 2022, 43 ( 4 ): 140-146. ( in Chinese )

[ 4 ] 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.

TANG Mengna, SHAO Yibing, JI Xiaofen, et al. Bottleneck process scheduling based on garment hanging assembly line [ J ]. Journal of Clothing Research,2024,9 ( 1 ):48-53. ( in Chinese )

[ 5 ] 刘立枝,闫亦农,雒彬钰,等. 模块化裤装缝制流水线的优化设计 [ J ]. 毛纺科技,2020,48 ( 1 ):66-69.

LIU Lizhi, YAN Yinong, LUO Binyu, et al. Research on modular trousers sewing production line based on rule division [ J ]. Wool Textile Journal, 2020, 48 ( 1 ): 66-69. ( in Chinese )

[ 6 ] 闫亦农. 蒙古族定制服装模块化缝制流水线的编制 [ J ]. 毛纺科技,2021,49 ( 5 ):80-85.

YAN Yinong. Arrangement of modular sewing production line of Mongolian custom clothing [ J ]. Wool Textile Journal, 2021, 49 ( 5 ): 80-85. ( in Chinese )

[ 7 ] 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 ( 03 ):155-160.

ZHANG Suning, WANG Ze, MA Dali. Simulation and optimization of Flexsim shirt assembly line based on improved ant colony algorithm [ J ]. Journal of Textile Research, 2021, 42 ( 03 ): 155-160. ( in chinese )

[ 8 ] 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 )

[ 9 ] 宋莹,田宏,李敬伊. 基于 Flexsim 的 T 恤衫单件流水线仿真优化 [ J ]. 纺织学报,2020,41 ( 1 ):145-149.

SONG Ying, TIAN Hong, LI Jingyi. Simulation optimization of one-piece flow T-shirt assembly line based on Flexsim[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(1): 145-149. (in Chinese)

[10] 宋莹. 基于 Flexsim 的服装单件流水线仿真优化[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, 44(12): 94-99.

SONG Ying. On simulation optimization of one-piece flow garment assembly line of clothing based on Flexsim[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2019, 44(12): 94-99. (in Chinese)

[11] 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)

[12] 李引枝. 缝纫生产流水线平衡方法的研究[J]. 纺织学报, 2002, 23(3): 54-56.

LI Yinzhi. Research on balancing method of sewing production line [J]. Journal of Textile Research, 2002, 23(3): 54-56. (in Chinese)

[13] 赵晓露, 罗云, 沈津竹, 等. 基于工业工程的皮夹生产线仿真与优化[J]. 服装学报, 2022, 7(2): 115-121.

ZHAO Xiaolu, LUO Yun, SHEN Jinzhu, et al. Simulation and optimization of wallet production line based on industrial engineering [J]. Journal of Clothing Research, 2022, 7(2): 115-121. (in Chinese)

[14] 鞠宇, 王朝晖, 梁志, 等. 基于加工时间异质性的裤装吊挂流水线平衡优化[J]. 现代纺织技术, 2025, 33(3): 81-91.

JU Yu, WANG Zhaohui, LIANG Zhi, et al. Balance optimization of pants' hanging assembly lines based on the heterogeneity of processing time [J]. Advanced Textile Technology, 2025, 33(3): 81-91. (in Chinese)

[15] 薛潇. 旗袍的多款式单件流水线研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.

[16] 齐善朋. FlexSim 仿真软件在生产与物流运作中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2023(5): 96-97, 103.

QI Shanpeng. Application of FlexSim simulation software in production and logistics operation[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2023(5): 96-97, 103. (in Chinese)

[17] 彭飘林, 丁绍兰, 叶豪, 等. 鞋底-鞋垫减震性能材料测试有限元仿真分析[J]. 皮革科学与工程, 2023, 33(3): 73-78, 98.

PENG Piaoli, DING Shaolan, YE Hao, et al. Finite element simulation analysis of material testing for shock-absorbing performance of sole-insole [J]. Leather Sci Eng, 2023, 33(3): 73-78, 98. (in Chinese)

[18] 孟哲, 王红军. 基于 Flexsim 的混合流水线系统仿真与优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(1): 142-145.

MENG Zhe, WANG Hongjun. Simulation and optimization of the mixed assembly line based on Flexsim software [J]. Modular Machine Tool and Automatic Manufacturing Technique, 2015(1): 142-145. (in Chinese)

[19] 林张毅, 靳雅涵, 林大梓. 榫卯哲思在现代家具产品中的模块化转译研究[J]. 家具与室内装饰, 2023, 30(11): 94-98.

LIN Zhangyi, JIN Yahan, LIN Dazi. Modular translation of mortise and tenon philosophy in modern furniture products [J]. Furniture and Interior Design, 2023, 30(11): 94-98. (in Chinese)

(责任编辑: 张雪)