

ECRS和SLP在服装单件流工序排序中的应用

李琳,余联庆,王占坤,吴小清

(武汉纺织大学 机械工程与自动化学院,湖北 武汉 430073)

摘要:针对中小型服装企业在实施单件流过程中不能有效解决生产线工序排序的问题,提出一种基于ECRS原则和SLP法的工序排序方法。首先利用ECRS原则对制约流水线生产能力的瓶颈工位和能力过剩工位进行分析与改进,其次采用SLP法在顺序因素和聚类因素的基础上划分出非物流关系程度等级,然后通过绘制物流相关表建立各工位与生产线之间的量化关联关系,并提出生产线工序排序方案,进行工序的平衡分配和工位的合理编排,最后采用Flexsim系统仿真验证该方案的可行性。通过实例验证表明,该方案在由捆包流向单件流转化过程中,可有效缩短物流距离,提高生产效率,且简单易行。

关键词:服装单件流;ECRS;SLP;Flexsim系统仿真;工序排序法;缝制生产线

中图分类号:TS 941.63

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2017)08-0060-06

Application of ECRS and SLP in Scheduling One-piece Clothing Flow

Li Lin, Yu Lianqing, Wang Zhankun, Wu Xiaoqing

(Department of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract: Aiming at the problem that operation sequencing could not be solved efficiently when the small and medium garment enterprises implemented one-piece flow, an operation sequencing method based on ECRS principles and SLP method was proposed. Firstly, the bottleneck and excess capacity station restricting flow production lines were analyzed and improved by using ECRS principles. Secondly, degree of non-logistics relationship grade was classified in accordance with the SLP method based on sequential factors and clustering factors. Then, the quantitative relationship between the station and the producing line was established through drawing logistics related table. Producing line ordering scheme was put forward to balance the process and station. Finally, Flexsim simulation system was used to verify the feasibility. It can effectively shorten the logistics distance and improve the production in the process from bale flow to one-piece flow.

Key words: One-piece Clothing Flow; ECRS; SLP; Flexsim System Simulation; Operation Sequencing; Sewing Producing Line

日趋激烈的市场竞争及不断增长的个性化需求带动小批量、多品种的动态多变的生产需求,生产线的生产模式是否适应动态变化的生产需求成为企业能否提高竞

争力的关键因素之一。服装企业传统的捆包式生产模式已不能与快速变化的市场需求相适应,结合发达国家早年推行的精益生产理念和现今我国服装企业生产现状,实

施单件流更能有效地以最小的投入最大化地提高生产效率。为保证流水线的顺畅高效,合理的编排和分工是批量生产前工艺技术准备的难点部分。

基金项目:国家自然科学基金(51275363);武汉纺织大学研究生创新基金(20160210)。

作者简介:李琳(1992—),女,硕士研究生。主要从事生产系统建模与仿真方面的研究。

通讯作者:吴小清(1972—),女,讲师。E-mail:yulianqing@163.com。

为解决工艺规划中的工序排序问题,一些智能算法逐渐被用于此方面的研究。于昕辰等建立了涵盖设备闲置状态、工人作业浮余时间及在制品传递时间等因素的数学模型,以较少工人数量、最短在制品传递距离及最少总加工时间为目标,运用蚁群算法重新编排流水线工序,获得了较优的工序编排方案^[1]。陈学谔等运用粒子群算法等智能算法将流水线各工人的操作动作进行重新组合,使流水线在一定工人数量前提下达到最快的生产速度^[2]。郑永前以总生产时间最短为优化目标,建立了加工中心零件的工步排序数学模型,设计相应的初始种群生成、染色体的选择、交叉和变异策略,利用遗传算法对加工方案进行选择与排序^[3]。周泓等针对流水车间的作业排序问题($n/m/P/C_{\max}$)设计了一种遗传算法的实现形式,对现有的遗传算子进行改进,使其具有更好的收敛特性与运算效率^[4]。王芸凤等将一种混合遗传算法应用于生产线工艺路线排序过程中,实现了工位间及工位内各工步合理顺序的确定^[5]。各种算法在解决单件流工序问题上虽已有所成效,但对于中小型企业来说,技术和人才的引进成本较高,实施过程有一定难度。

本文以特步某公司服装缝制生产线单件流改造项目中遇到的排序难题为例,提出将平衡改善理论原则[Eliminate(取消),Combine(合并),Rearrange(调整顺序),Simplify(简化),简称 ECRS]和 System Layout Planning(系统布局规划方法,简称 SLP)相结合的方案,首先运用 ECRS 原则对生产线进行平衡,做好工序分配;然后结合 SLP 理论,在顺序因素和聚类因素的基础上划分出非物流关系程度等

级并绘制物流相关表,量化线体的具体排序,提出线体排序的具体方案;最后将其运用到单件流的改善中,对生产线进行进一步整合,并用 Flexsim 仿真软件验证其结果。

1 生产线现状分析

缝制生产线原有作业采用的是传统的捆包式生产模式,如图 1 所示,将一件产品的缝制过程分解成若干道工序,每道工序由一个或几个工人制作。从前道至后道各工序,每人都集中缝制一批产品,然后以捆包方式传递给后道工序继续加工,直至完成整件产品。由于捆包流存在诸多弊端,不适合公司的长远发展,公司决定以一条生产线为试验线,实现捆包式向单件流生产模式的转化。



图1 生产线现场图(改善前)

采用误差界限法确定观测次数^[6],通过归零测时法和工业测定法得生产线统计所需数据。经 3 倍标准差法剔除异常数据,计算平均值得到观测时间,经过评比和宽放,最终得正常时间和标准时间。整合数据,得到缝制生产线的生产情况表,见表 1,并绘制如图 2 所示的生产线布局及物流路线图(改善前)。

目前生产线主要通过生产线管理人员靠主观经验确定工序组织、工时定额并安排流水作业等工作,缺乏合理性和科学性,造成工序节拍不稳定,工序之间衔接不顺,影响生产线的整体效率。现在采用单件流的形式生产,需将一件服装的制作过程细分成多道工序,

并根据 ECRS 原则对工位工时进行平衡,采用 SLP 法布置流水线,由前到后逐件地流水作业完成。

通过对该生产线现场及作业系统的调查研究,基于现有缝制生产线的生产情况,发现生产线严重不平衡,首先需进行平衡改善。由表 1 可知,该缝制生产线的瓶颈工位为工位 9,瓶颈工时为 403 s。根据瓶颈工位的工时,以一天正常生产 8 h 计算,得平衡率,见式(1)。

$$P = [\sum T_i / (N \times CT)] \times 100\% = [4544 / (24 \times 403)] \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为生产平衡率; T_i 为各道工序工时的总和; N 为工位数; CT 为瓶颈工序时间。

计算的工位间的平衡率仅为 46.98%,总体工位间的平衡较差,会产生停工待料及工序间在制品堆积过多的现象。从生产线布局及物流路线图上看,该生产线物流路线多交叉、迂回现象,员工需经常走动,大大增加了搬运与等待时间。

2 单件流生产模式的工序改善

生产线工序设置主要分为工序分配与工位编排两个步骤。工序分配确定生产线的人员、机械及作业流程,主要采用工序再平衡对工序进行再分配;工位编排将工序分配的各项设定化为实际布置。

2.1 工序再平衡

根据 ECRS 原则,结合生产实际,对各工序的分布进行改善。表 1 中作业时间波动幅度较大,根据瓶颈工位和耗时最短的工位两个主要影响因素分别提出应对方案。

2.1.1 拆分瓶颈工位

生产线的生产能力等同于瓶颈工序的生产能力^[7]。该缝制生产线的瓶颈工位为工位 9,瓶颈工时为 403 s,严重影响了生产线产能的提升,考虑对其进行改善。

现考虑两种方案:增加人力;

表 1 缝制生产线生产情况表

工位号	工位名称	工序号	空闲率/%	设备	作业时间/s
1	落主标、里襟贴走衬	1、2、3、4	40.58	平车缝纫机	218
2	落后领贴、定洗水唛	5、6、7	34.71	平车缝纫机	150
3	里布五线	8、9	28.23	五线包缝机	236
4	落袋口贴布、开里袋	10、11	31.18	平车缝纫机、模板	138
5	定六点	12、13	0	平车缝纫机	250
6	合袖口罗纹、下摆脚底沿	14	75.88	三线包缝机	184
7	模板做里袋、外侧带、合领沿	15	75.29	五线包缝机、模板	104
8	折前侧袋的前幅一边	16、19	47.65	五线包缝机	162
9	做前袋侧幅一边、合袋、封袋布	17	38.82	手工、平车缝纫机	403
10	五线合袖侧、肩侧	18	77.65	三线包缝机	147
11	钉四角扣	20、21	69.41	平车缝纫机	37
12	打枣	22、23	17.06	打枣机	28
13	押袖侧缝、押担干(双针)	24、27	94.11	平车缝纫机	166
14	上面布袖、套胸链	25、26	37.65	平车缝纫机	207
15	五线合前担干、肩侧骨	28	81.18	五线包缝机	196
16	走封领底沿、上领	29、30	35.88	平车缝纫机	306
17	对位上下栏罗纹	31	29.41	平车缝纫机	210
18	合下摆一段、上胸链	32	40.59	平车缝纫机	141
19	上袖口罗纹、套领	33、35	45.29	平车缝纫机	213
20	套袖口	34	43.53	平车缝纫机	135
21	套下摆	36、38、39	22.35	平车缝纫机	140
22	拷三线	37	84.71	三线包缝机	159
23	翻衣、封口、辑领和拉链	40	10.59	手工、平车缝纫机	374
24	终查	41	82.94	手工	240
共计					4 544

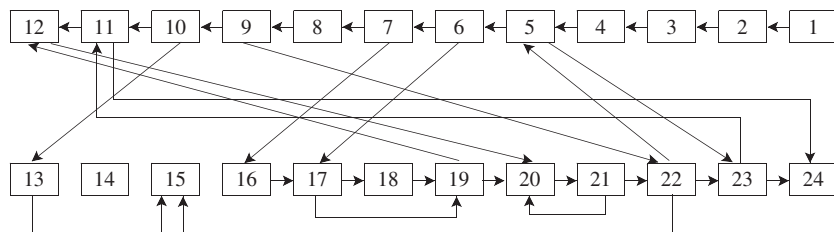


图 2 生产线布局及物流路线图(改善前)

降低该站的工作时间。结合当地劳动力及培训成本均比较高的情况,采用方案二。将该站的作业细分为 5 个步骤:折前袋侧幅一边(68 s)、翻袋口(74 s)、连袋口单线(95 s)、连袋角暗线(79 s)、封袋布(88 s)。由于步骤 3、4、5 均借助平车操作,因此要着眼于提高操作者操作平车的熟练程度及工时利用率。而将其中纯手工操作的步骤 1、

2 两项手工作业合并到该生产线上其他工时较短的工位,以降低该工位的工时。

根据减少步骤 1、2 所用工时即 142 s,则改善后工位 9 的工时为 403 s-68 s-74 s=261 s。

运用同样的方法对工位 16 和 23 进行拆分重组,将工位 16 拆分下来的工序分配给同样使用平车操作的 13 号工序;而将工位 23 的

手工作业分配给其紧前工位 22。改善后的工位 16 的工时为 259 s,工位 23 的工时为 278 s。

2.1.2 合并耗时较短的工位

改善前后的生产线平衡分析图如图 3 所示,发现工位 2、4、7、10、11、12、18、20、21 耗时较短。

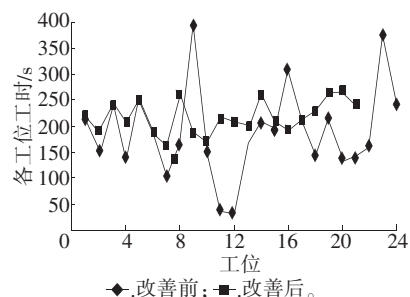


图 3 生产线平衡分析图

根据表 1 对耗时较短工位的统计数据,将需要同样工具和机器的作业要素分配在同一专用设备工序内。其中工位 2、4、7 的工序均由三线机完成,可合并在两个工位,由两个员工完成;工位 10、11、12 为连续工位,且为工位 9 重新分配的步骤 1、2 工序的紧后工序,可将其手工工序均分于两个工位;工位 18、20、22 工序由平车和手工完成,则将其工序变更为套袖口、上胸链与合下摆一段、套下摆。改善后的生产线平衡较改善前有较大提升,经计算改善后平衡率为 80.74%。

2.2 工位编排

由于单件流生产模式下的排布方式一般是自上而下的流线体形式排布,工位间的物流量相差并不明显,因此在作业单位间非物流因素对整个缝制生产线工位的编排起主要决定作用。缝制生产线经过平衡后有 21 个工位,服装加工工艺过程如图 4 所示。

划分作业单位间相互关系密切程度需要考虑的非物流影响因素主要集中在顺序因素和聚类因素。顺序主要体现在由紧前工位领

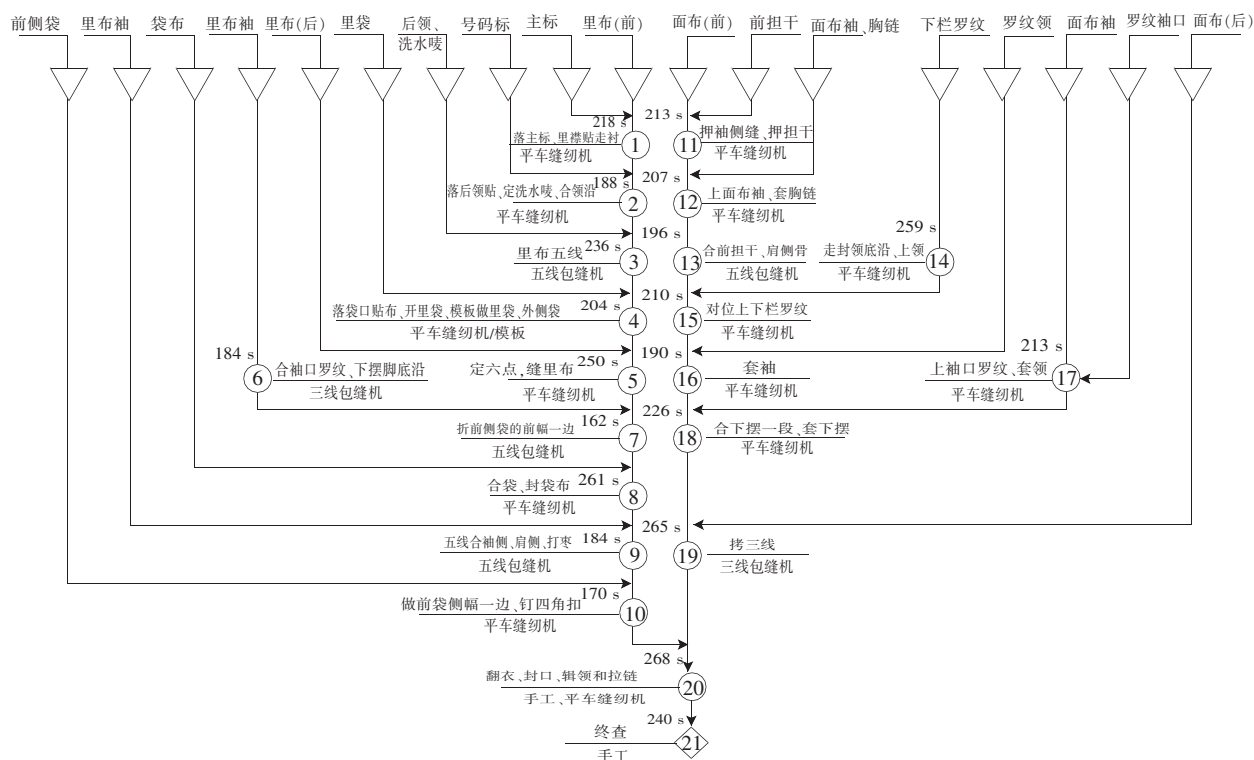


图4 服装生产工艺过程图

街分支间的强弱联系,聚类则表现为加工方式的关联密度。

由图4可知,共有5个紧前工位为无的工序:工位6、11、14、17。令从6号工位开始加工的编排流程为第1条分支,即工位6、7、8、9、10;从1号工位开始加工的编排流程为第2条分支,即工位1、2、3、4、5、7、8、9、10;从11号工位开始加工的编排流程为第3条分支,即工位11、12、13、15、16、18、19、20、21;从14号工位开始加工的编排流程为第4条分支,即工位14、15、16、18、19、20、21;从17号工位开始加工的编排流程为第5条分支,即工位17、18、19、20、21。分支与分支间为弱联系,分支内部工位顺序为强联系。生产线加工方式有手工、模板、三线、五线、平车5种,作业性质或方式相似的两个作业单位间相互关系较强。由此划分各作业单位间非物流关系程度等级,建立作业单位非物流关系,如图5所示。

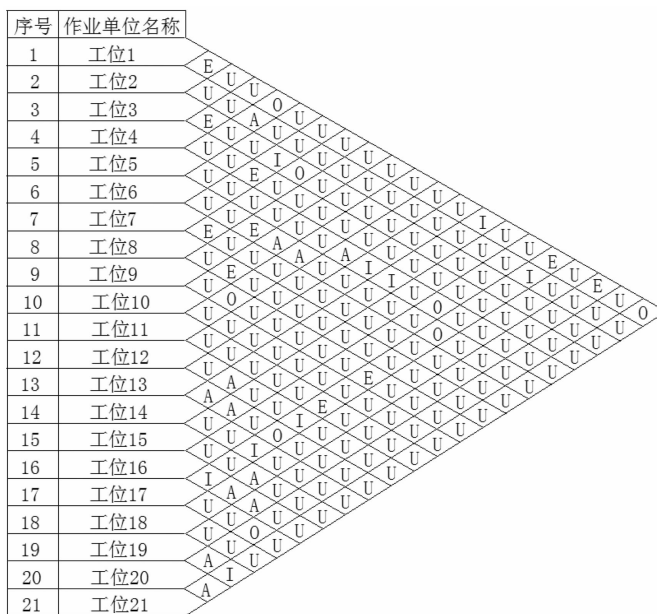


图5 缝制生产线作业单位非物流相互关系图

任意两个作业单位分别为 A_i 和 $A_j (i \neq j)$, 其量化的物流相互关系等级为 MR_{ij} , 量化的非物流相互关系密切程度等级为 NR_{ij} , 则作业单位 A_i 和 A_j 之间综合相互关系密切程度数量值见式(2)。

$$TR_{ij} = m \cdot MR_{ij} + n \cdot NR_{ij} \quad (2)$$

由于该生产线作业单位间的非物流因素在缝制生产线的工位编排问题中起决定作用,所以应用在服装企业单件流改善中有 $n=0$, $m=1$, 即主要用作业单位非物流相互关系来表示综合相互关系。依据综合相互关系级别的高低,按照

A=4,E=3,I=2,O=1,U=0 的顺序先后确定不同级别的作业单位位置,而同一级别的作业单位按综合接近程度分值高低顺序进行排序,结果见表 2。分值越高,说明该作业单位越靠近布置图的中心位置,越低则越靠近边缘位置。

根据综合加权计算结果和综合接近程度排序,得出位置相关图,如图 6 所示,缝制生产线作业单位的布置采用直线加环形布置。

作业单位位置相关图表示的是一种理论的布局方案,要得到该生产线单件流的布局方案还需考虑如下实际约束条件和修正因素:根深蒂固的早投多投思想;服装工艺制造过程中工艺的多样化;整个生产线的面积限制。

综合考虑以上因素,本文提出通过分段来实现局部单件流,即在两个单件流之间有超市或组织形式作为缓冲。由生产工艺工程图可以看出生产线的里布和面布加工过程相互独立,结合 U 型生产线柔性大的特点,提出捆包式和单件流相结合的 U 型生产线。在该设计方案中,由参与密度比较弱的工位采用传统捆包式生产模式组成的外线作为独立作业单元参与整条单件流生产线的生产,使传统生产模式与单件流实现良好融合。如图 7 所示为改进后的生产线布局及物流路线图。通过改进,减少物流路线交叉、迂回的现象,缩短了物流行程,从而减少了搬运与等待时间。经测算,改善前物流路线长度约为 150.4 m,改善后约为 44.8 m。

3 仿真试验

3.1 基于 Flexsim 的方案验证

根据一系列的改善方案,在缝制生产车间的试验线上实施了具体的改善措施。针对改善的效果运用 Flexsim 软件进行仿真分析,建立仿真模型,如图 8 所示。

Flexsim 系统仿真软件能自动统计出包括闲置、工作、空程等状态特征数据的仿真报告,见表 3,以 1 天计,即 86 400 s。优化后设备的闲置、空程率等都比优化前低,优化后传输设备的工作效率比优化前高,符合预期目标。经优化的车间作业堵塞时间为 0,工件的流动更顺畅,生产效率得到较大提升。

3.2 结果分析

根据上文分析得到的工位排序,在缝制车间组织了从捆包流向

表 2 综合接近程度排序表

工位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		E/3	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	E/3	U/0	E/3	U/0	O/1
2	E/3		U/0	U/0	A/4	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0
3	U/0	U/0		E/3	U/0	U/0	I/2	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
4	U/0	U/0	E/3		U/0	U/0	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
5	O/1	A/4	U/0	U/0		U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	I/2	I/2	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
6	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0		U/0	U/0	E/3	A/4	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0
7	U/0	U/0	I/2	E/3	U/0	U/0		E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
8	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	E/3		U/0	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
9	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	E/3	U/0	U/0		U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0
10	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	U/0	E/3	U/0		U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
11	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0		U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0
12	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0		U/0	A/4	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0
13	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0		A/4	A/4	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0
14	I/2	U/0	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	A/4		U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0
15	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	U/0		U/0	U/0	A/4	U/0	U/0	U/0
16	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0		I/2	A/4	A/4	U/0	U/0
17	E/3	I/2	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0	E/3	U/0	E/3	I/2	O/1	I/2	U/0	I/2		U/0	U/0	O/1	U/0
18	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	A/4	U/0		U/0	U/0	U/0
19	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	U/0	U/0		A/4	I/2
20	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0	A/4		A/4
21	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2	A/4	
综合接近程度	13	9	6	6	14	9	8	7	7	7	4	10	11	14	8	11	20	8	13	9	7
排序	4	9	20	19	2	10	14	17	16	15	21	8	6	3	12	7	1	13	5	11	18

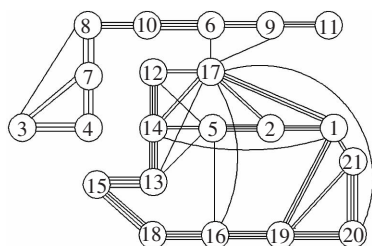


图6 作业单位位置相关图

单件流的转线试验,进行了3次试验,每次所需时间逐步减少。生产线改善前后各项指标对比见表4。可以看出,服装缝制生产线的生产效率得到很大提高。其中,依据ECRS原则对工序进行拆分与组合,使生产线平衡率由46.98%提高至80.74%,生产能力大幅提升,提升幅度为33.76%;根据SLP法确定各工序间的物流关系,生成科学合理的排布方案,使物料运输距离由150.4 m减少到44.8 m,减幅达70.21%,物流距离大幅减少。

生产线重新布局及经单件流改善后的生产线现场如图9所示。

4 结束语

本文首先依据ECRS原则通过拆分、合并、重排等方法对缝制生产线的工序进行平衡,然后运用SLP方法,充分考虑设备、人力、场地和管理各方面的影响因素,将工序进行量化,找出较科学合理的布置方案,最后采用Flexsim仿真验证了该设计方案的可行性。该方案使单件流运行更加顺畅,大大缩短了物流距离,提高了生产效率,并且对于中小型企业管理人员来说更加通俗易懂、简便易行,便于推广且具有广泛的应用价值。

参考文献

- [1]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,2014,40(4):456-460.
- [2]陈学诣,李跃宇.基于粒子群算法和系统仿真的流水线工序重组[J].计算机工程与应用,2007,43(21):202-206.



图7 生产线布局及物流路线图(改善后)

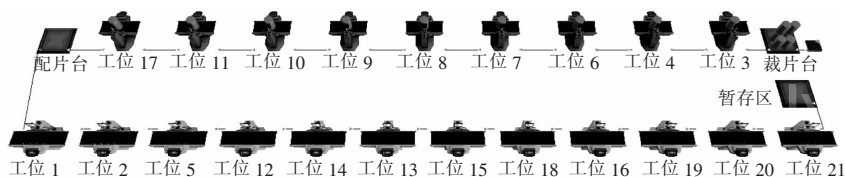


图8 生产线立体仿真图(改善后)

表3 改善后生产线的仿真报告

项目	闲置/%	工作/%	空程/%	项目	闲置/%	工作/%	空程/%
裁片区	0	0	19.94	工位2	7.64	92.36	0
工位3	30.00	70.00	0	工位5	0.24	99.76	0
工位4	29.85	70.15	0	工位12	0.52	99.48	0
工位6	7.09	92.91	0	工位14	0.80	99.20	0
工位7	29.02	70.98	0	工位13	1.08	98.92	0
工位8	6.81	93.19	0	工位15	1.35	98.65	0
工位9	29.57	70.43	0	工位18	1.63	98.37	0
工位10	29.29	70.71	0	工位16	1.91	98.09	0
工位11	7.37	92.63	0	工位19	2.19	97.81	0
工位17	6.53	93.47	0	工位20	2.46	97.54	0
配片台	0	0	3.48	工位21	2.74	97.26	0
工位1	6.25	93.75	0				

表4 生产线改善前后各项指标对比表

改善项目	物料运输距离/ m	产线人数/人	人均小时产 量/件	生产线平衡 率/%	生产效率/%
改善前	150.4	24	0.60	46.98	64.80
改善后	44.8	21	1.03	80.74	96.58
效果对比	-105.6	-3	+0.43	+33.76	+31.78



图9 生产线现场图(改善后)

- [3]郑永前,王阳.基于遗传算法的加工工艺决策与排序优化[J].中国机械工程,2012,23(1):59-65.
- [4]周泓,蔡缪峰,冯允成.求解流水车间作业排序问题的一种遗传算法[J].北京航空航天大学学报,1997,23(4):

440-444.

[5]王芸凤,于宝证,赵韩,等.混合遗传算法在生产线工艺路线排序中的应用[J].农业机械学报,2005,36(10):168-170.

[6]朱华炳,王龙,涂学明,等.基于ECRS原则与工序重组的电机装配线产线平衡改善[J].机械设计与制造,2013,1(1):224-229.

[7]王英,张鸿志,王晓云.手动直线双排型单件流在服装企业中的应用[J].针织工业,2016(1):74-77.

收稿日期 2016年12月17日