

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017070180506

# 基于0-1规划的成衣制造流水线平衡建模与仿真

张梦雨<sup>1,2</sup>, 黄河<sup>1,2</sup>, 杨以雄<sup>1,2,3</sup>, 章娟<sup>4</sup>(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051;  
3. 同济大学 上海国际设计创新研究院, 上海 200092; 4. 上海之禾品牌管理有限公司, 上海 200233)

**摘要:** 依据最优化理论的0-1线性规划, 探讨工序编排及生产流水线负荷平衡。基于流水线平衡参数的研究成果, 以最小化作业时间方差为目标, 提出一种新的流水线平衡优化方法——0-1规划编排模型。并以案例企业经典款服装为例, 运用Matlab工具辅助模型的仿真试验, 获得节拍平衡的工序组合方案。选取流水线平衡度指标对结果进行评价, 得出在成衣制造流水线优化过程中, 0-1规划编排模型可提升编制效率、实现工序平衡和提高有效产出。

**关键词:** 服装制造; 流水线平衡; 工序编排; 0-1规划建模; 仿真

中图分类号: TS 941.63 文献标志码: A

## Garment manufacturing line balance modeling and simulation based on 0-1 programming

ZHANG Mengyu<sup>1,2</sup>, HUANG He<sup>1,2</sup>, YANG Yixiong<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Juan<sup>4</sup>(1. College of Fashion and Art Design, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. Key Laboratory of Clothing Design and Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China;  
3. Shanghai Institute of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China;  
4. Shanghai Zhihe Brand Management Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

**Abstract:** Applying the 0-1 linear programming of the Optimization Theory to deal with the issues of process arrangement and assembly line balance, this paper presents a new balancing method——0-1 planning model, which is based on the research of assembly line balance principle and aimed at minimizing the variance of operation time. A classic product from a real clothing company was studied to obtain the balance process combination scheme by a simulation experiment based on MATLAB. Meanwhile, the line balance index is selected to evaluate the result. The 0-1 programming model is therefore verified to improve assembly line efficiency, achieve process balance and increase the output effectively in the optimization of garment manufacturing line.

**Keywords:** garment manufacturing; line balance; process arrangement; 0-1 planning modeling; simulation

后经济危机时代, 市场竞争日益激烈, 劳务成本上升和消费市场疲软, 给服装制造业带来前所未有的威胁与挑战。当低廉劳动力不再是优势, 如何转

变粗放式的生产模式, 缓解成本上升带来的压力, 是众多服装制造型企业面临的难题。为此, 企业从生产制造板块入手, 采取精益化管理模式和信息技术, 优化设计流水线, 提高产能、降低成本, 力求人力成本得到最大程度应用。

流水线平衡直接影响流水线的生产效率, 而合理的作业编排方案能有效减少作业等待造成的人力成本浪费和效率损失, 保证生产有序、高效开展。然而, 目前服装企业生产大多凭个人直观感觉和经验

收稿日期: 2017-07-20

基金项目: 上海高校知识服务平台资助项目(13S107024); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(15D310707)

第一作者简介: 张梦雨, 硕士生, 主要研究方向为服装生产管理与产业经济。通信作者: 杨以雄, E-mail: yyx@dhuedu.cn。

进行编排,花费时间长,且投产前难以预估编排的合理性,只能“事后改善”,因此,国内外学者先后开展流水线平衡及编排方法的探究,其中优化算法和平衡目标是二大研究趋势。优化算法方面,学者们采用各类算法构建流水线平衡优化模型,近年有李彬彬<sup>[1]</sup>、Rajeev 等<sup>[2]</sup>运用遗传算法建立流水线作业平衡的数学模型,Ibrahim 等<sup>[3]</sup>基于蚁群算法进行流水线平衡优化设计,Vahit<sup>[4]</sup>采用模拟退火算法进行柔性作业车间调度,Chun 等<sup>[5]</sup>建立整数非线性规划数学模型解决双边装配线平衡问题等。平衡目标方面,于昕辰等<sup>[6]</sup>提出 3 种目标:给定生产线节拍,最小化工作地数;给定工作地数,最小化生产线节拍;给定工作地数,最小化工作地负荷。结合文献[7-10],流水线优化目标大致可归纳为以下几种或其组合:生产线节拍最短、工作地数最小、流水线负荷最小,各工作地最长与最短作业时间差值最小,编制效率最高、均衡指数最小。

尽管近年来提出不少流水线平衡模型及方法,但真正应用于企业实际生产中的较少,主要因为模型较为复杂,受工厂人员素质和信息化水平的影响,难以转化和应用。基于此,本文通过校企合作,提出一种简明易懂的流水线优化方法,应用最优化理论中 0-1 线性规划,以最小化作业时间方差为平衡目标构建编排模型,并通过企业案例仿真,分析工序流程,明确各工序作业时间及作业加工的优先逻辑关系,借助 MATLAB 软件编程,验证了模型的可行性,为流水线平衡研究和企业实际生产优化提供参考。

## 1 流水线优化及平衡理论

### 1.1 最优化理论及 0-1 规划

最优化理论研究的是目标函数在给定一组约束条件下的极小或极大值的数学问题,又称为数学规划,通常用来解决在既定资源总量和技术条件下,合理分配各要素资源,使得系统运行结果达到最优的现实问题。模型的基本形式为

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ & s. t. g_j(x) \geq < 0 \\ & j = 1, 2, \dots, m \\ & x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $x$  为决策变量,其可行域  $S = \{x | g_j(x) \geq < 0, j = 1, 2, \dots, m\}$ ;  $f(x)$  为目标函数;  $g_j(x)$  为约束函数;  $s. t.$  表示受约束于或受限制于<sup>[11]</sup>。

当  $f(x)$  和  $g_j(x)$  均为线性函数时,称式(1)为

线性规划(linear programming, LP),线性规划是最优化理论的重要分支,1960 年 Bowman E H 首次应用它求解装配线的平衡问题。0-1 规划是线性规划中整数规划的特殊情况,其决策变量仅能取值“0”或“1”,而“1”和“0”可以表示“是”或“否”、“开”或“关”、“有”或“无”等,因此广泛应用于工厂选址、线路设计、生产规划安排等方面<sup>[12]</sup>。常用隐枚举法和排序法求解<sup>[13]</sup>,随着 Matlab、LINDO 等数学计算软件的开发,为 0-1 线性规划的求解提供了新思路 and 工具。

### 1.2 流水线平衡理论

工序编排的最终目标是流水线平衡,即将各工序安排到相应工作地,使各工作地节拍同步化及工序负荷均衡<sup>[14]</sup>。若各工序作业时间相差太大,就会造成作业等待,产生效率损失,当各工序间作业时间差距很小,生产中等待时间也相对少,这时流水线处于平衡生产状态。流水线平衡需要考虑的参数很多,构成了一个非常难解的组合优化问题,主要有平均节拍、编制效率及作业时间方差等,可用来量化及评价编制方案中各工位负荷均衡程度。

① 平均节拍 SPT:生产的同步节拍见式(2)。生产线平衡优化,应尽量使各工序节拍接近平均节拍,但这较难实现,因此,需要确定一个能够满足实际操作的节拍区间,考虑节拍可取的上限和下限。设节拍区间  $U = [\alpha, \beta]$ ,根据企业对编制效率下限(85%)的需求,以平均节拍和编制效率计算,节拍上限  $\beta$  为  $SPT/85%$ ,下限  $\alpha$  为  $2SPT - \beta$ <sup>[15]</sup>。

$$\text{平均节拍(SPT)} = \frac{\text{作业总工时}}{\text{作业地总数}} \quad (2)$$

② 编制效率  $E$ :衡量生产线上各工序或工作地作业量分配的平衡系数,见式(3)。通常  $E$  越接近 1,流水线同步化程度越好,生产效率越高。服装单件流水生产要求  $E \geq 85%$  才能投入生产<sup>[16]</sup>。

$$\text{编制效率}(E) = \frac{\text{平均节拍}}{\text{瓶颈节拍}} \times 100\% \quad (3)$$

③ 作业时间方差:即使编制效率相同的编排方案实际生产还是具有一定差异的,由于各工作地作业时间与平均节拍的偏离程度不同,因此提出作业时间方差指标,见式(4)。其可作为优化指标,值越小,各工作地作业时间波动越小,流水线同步效果越好,负荷越平衡<sup>[17]</sup>。

$$\text{作业时间方差} = \sum_{j=1}^J \frac{(T_j - \text{SPT})^2}{J} \quad (4)$$

式中:  $J$  为工作地总数;  $T_j$  为各工作地组合工序作业时间。

## 2 基于 0-1 规划的成衣流水线建模

### 2.1 问题提出

工序编排过程中,需要确定各工序的作业人员,即各工作地安排的作业工序,而各工序在工作地作业情况只有 2 种可能,即某一工序在该工作地作业与不在该工作地作业。因此,可将工序编排优化问题抽象成 0-1 数学规划求最优解问题。模型中的决策变量是“某一工序是否在某工作地作业”,“在”记为“1”,反之则记为“0”,目的是获得流水线平衡的工序编排组合。服装生产中流水线平衡的目标是多样的,结合参考文献[7]及流水线平衡理论,要使工作地负荷平衡,应尽可能将各工序均衡分配到各工作地,各工作地节拍趋于同步化,因此将目标设定为各工作地作业时间与平均节拍的方差之和最小,即最小化作业时间方差。求解方差最小,是运筹学及最优化理论的常见方案。此外,流水线工序编排时,需考虑工序的作业顺序,引入紧前工序(相邻前道工序)的概念来表达这一约束条件。为简化问题,先假设每个工作地工人的技能水平相同,待确定工序编排后,可依实际情况选配合适工人进行作业。

### 2.2 目标函数

假设某款服装共计  $I$  道工序(已拆分为最小工序),工序编号记做  $i$ ,则  $i = 1, 2, \dots, I$ 。并设该款服装工作地数量为  $J$  个(1 个工作地代表 1 名作业员),按照生产流水线顺序进行排列,编号分别为  $j = 1, 2, \dots, J$ 。 $X_{ij}$  表示第  $i$  道工序是否在第  $j$  个工作地上进行作业,如果“在”则取值 1,“不在”则为 0,决策变量定义如式(5)所示。基于求得的最优解中  $X_{ij}$  的值,可以明确工序  $i$  和工作地  $j$  的隶属关系,从而开展作业编排设计。

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 在 } j \text{ 地生产 } (i = 1, 2, \dots, I) \\ 0, & \text{反之} \end{cases} \quad (5) \quad (j = 1, 2, \dots, J)$$

假设第  $i$  道工序的加工时间为  $t_i$ ,第  $j$  个工作地的组合工序作业总时间为  $T_j$ ,目标函数为  $Z$ (见式(6))模型求解  $Z$  的最小值。模型假定服装缝纫流水线的工序个数为  $I$ 、工作地数  $J$  以及各工序作业时间  $t_i$  已知。

$$\min Z = \sum_{j=1}^J (T_j - \text{SPT})^2 \quad (6)$$

另外,为便于约束条件设定,假设第  $i$  道工序的紧前工序有  $m_i$  道,分别记做  $i_1, i_2, \dots, i_{m_i}$ ,若无紧前工序,则  $m_i$  为 0。

### 2.3 约束条件

约束条件主要指设备、人员或原料对生产的制

约,也可以是人为规定的界限,以使得最终优化方案是对各种因素的平衡。在流水线编排中,需要考虑或满足 3 组约束条件,反映在模型中表现为:

① 考虑到生产工人作业熟练率及质量的稳定和提升,对最小工序不再拆分。这一约束表示为式(7),工序  $i$  恰在某一工作地完成。

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (7)$$

② 考虑流水线上工序的作业顺序,依据紧前工序的约束,为避免成衣流水线的在制品出现交叉逆流状态,要求工序  $i$  的紧前工序不能在工序  $i$  的后面工作地上作业,表示为式(8)。若  $m_i$  为 0,即工序  $i$  无紧前工序,则无此约束。

$$\sum_{j=1}^k X_{i_w} \geq X_{i_k}, \quad k = 1, 2, \dots, J-1; \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad w = 1, 2, \dots, m_i \quad (8)$$

式中  $w$  为紧前工序编号。

③ 由于  $T_j$  表示第  $j$  个工作地的作业总时间,因此所有在第  $j$  个工作地作业的工序加工时间之和应等于  $T_j$ ,见式(9)。SPT 指流水线平均节拍,根据式(2),故应满足式(10)。

$$T_j = \sum_{i=1}^I t_i X_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (9)$$

$$\text{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^I t_i}{J}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (10)$$

### 2.4 最终模型

最终模型包含上述决策变量、目标函数和约束条件,见式(11)。可以描述为期望获得在 3 组约束条件下,目标函数  $Z$  取得最小值时的  $X_{ij}$  值,从而确定工序编排的优化方案。

$$\min Z = \sum_{j=1}^J (T_j - \text{SPT})^2$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^J X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I \\ \sum_{j=1}^k X_{i_w} \geq X_{i_k}, \quad k = 1, 2, \dots, J-1; \\ i = 1, 2, \dots, I; \quad w = 1, 2, \dots, m_i \\ \text{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^I t_i}{J}, \quad j = 1, 2, \dots, J \\ X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 在 } j \text{ 地生产 } (i = 1, 2, \dots, I) \\ 0, & \text{反之} \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{cases} \quad (11)$$

## 3 案例与仿真

模型实践企业——I 品牌服装企业,创立于 1997 年,是一家涵盖设计、研发、生产、物流、特许经营及直营零售的全业务链公司,主营毛呢大衣。坚持以自营生产制造作为品牌核心竞争力,不断优化制造环节。目前该企业制造板块正在改革升级,着重点是改变传统粗放型成衣流水线编排,寻求实用

编排方法,优化流水线平衡问题。为此,成立 IE (industrial engineering,工业工程) 小组开展成衣流

水线优化管理活动。运用 Visio 软件绘制生产制造各职能部门工作流程,见图 1。

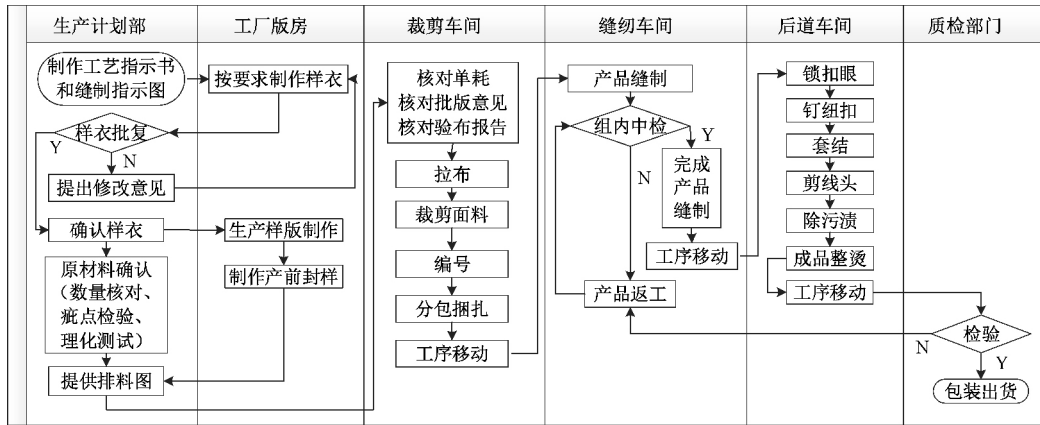
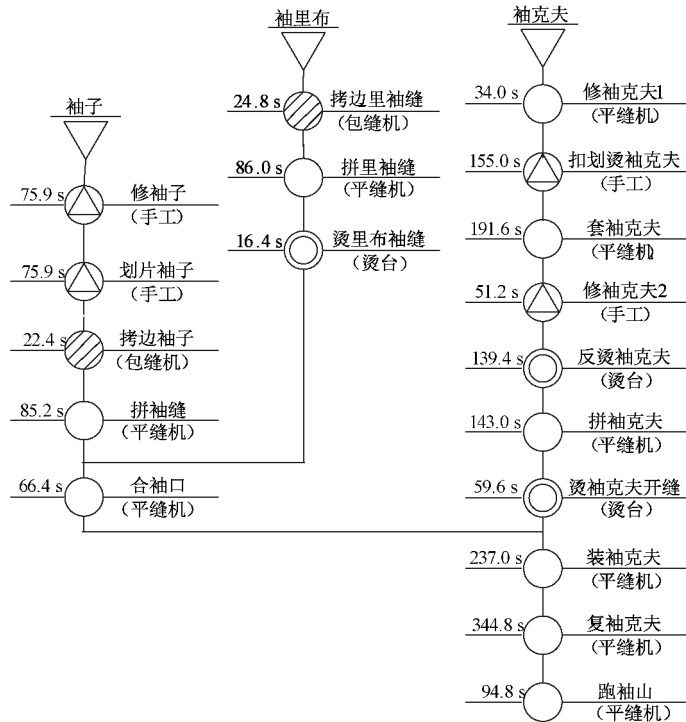


图 1 生产制造各职能部门工作流程

### 3.1 流水线建模及算例求解

为使模型解释与分析简明易懂,选取 I 企业的格纹连衣裙袖子部件(袖克夫、袖面、袖里)的 18 道

工序进行案例仿真。进行工序分析并绘制工序流程图,以便梳理流水线作业顺序,确定各工序作业时间及其紧前工序。案例工序流程见图 2。



注:⊙—手工操作;○—平缝;◎—熨烫;⊗—包缝。

图 2 案例工序流程

因实际生产中“修袖子”与“划片袖子”由同一人完成,在不改变仿真效果的前提下,将二者看作 1 道工序,于是流水线仿真系统最终共有 17 道工序,即  $I=17$ 。设定 5 名工人作业,因此模型中  $J=5$ 。对工序重新编号,其中  $i$  为工序编号,取值为  $1 \sim 17$ ,  $j$  为工作地编号,取值为  $1 \sim 5$ ,  $t_i$  为第  $i$  道工序的纯加工时间。案例仿真数据见表 1。按照 2.1 ~ 2.4 小节所述,采用 MATLAB 软件编程进行

袖子部件流水线编排模型的仿真,代入以上数据,运行后输出结果,获得各  $X_{ij}$  的值只能取 1 或 0,其中  $X_{1,1}, X_{2,1}, X_{3,1}, X_{4,2}, X_{5,3}, X_{6,3}, X_{7,3}, X_{8,4}, X_{9,5}, X_{10,5}, X_{11,2}, X_{12,2}, X_{13,4}, X_{14,4}, X_{15,2}, X_{16,2}$  和  $X_{17,2}$  为 1,其他  $X_{ij}$  为 0。MATLAB 编程仿真结果见表 2。将仿真结果转化为工序编排表,即为通过 0-1 规划编排模型获得的流水线优化编排方案。优化后工序编排见表 3。

表 1 案例仿真数据

工序编号	工序	类型	加工时间 $t_i/s$	紧前工序编号 $m_i$
1	修袖克夫	平缝	34.0	
2	扣划烫袖克夫	手工	155.0	1
3	套袖克夫	平缝	191.6	2
4	修袖克夫	手工	51.2	3
5	反烫袖克夫	熨烫	139.4	4
6	拼袖克夫	平缝	143.0	5
7	烫袖克夫开缝	熨烫	59.6	6
8	装袖克夫	平缝	237.0	7,14
9	复袖克夫	平缝	344.8	8
10	跑袖山	平缝	94.8	9
11	修袖子+划片袖子	手工	151.8	-
12	拷边袖子	包缝	22.4	11
13	拼袖缝	平缝	85.2	12
14	合袖口	平缝	66.4	13,17
15	拷边里袖缝	包缝	24.8	-
16	拼里袖缝	平缝	86.0	15
17	烫里布袖缝	熨烫	16.4	16
总计			1 903.4	

表 2 MATLAB 编程仿真结果

$X_{ij}$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
$i=1$	1.000 0	0.000 0	0.000 0	-0.000 0	-0.000 0
$i=2$	1.000 0	-0.000 0	0.000 0	-0.000 0	-0.000 0
$i=3$	1.000 0	-0.000 0	0.000 0	-0.000 0	0.000 0
$i=4$	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	-0.000 0
$i=5$	0.000 0	-0.000 0	1.000 0	-0.000 0	-0.000 0
$i=6$	0.000 0	-0.000 0	1.000 0	0.000 0	-0.000 0
$i=7$	0.000 0	-0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0
$i=8$	0.000 0	-0.000 0	0.000 0	1.000 0	-0.000 0
$i=9$	0.000 0	-0.000 0	-0.000 0	0.000 0	1.000 0
$i=10$	0.000 0	-0.000 0	-0.000 0	0.000 0	1.000 0
$i=11$	0.000 0	1.000 0	-0.000 0	0.000 0	0.000 0
$i=12$	0.000 0	1.000 0	0.000 0	-0.000 0	0.000 0
$i=13$	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	-0.000 0
$i=14$	0.000 0	-0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
$i=15$	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	-0.000 0
$i=16$	0.000 0	1.000 0	-0.000 0	-0.000 0	-0.000 0
$i=17$	-0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	-0.000 0

注:保留 4 位小数;负号为计算机计算的微小误差。

表 3 优化后工序编排表

$j$	$i$	工作地 $j$ 的总工时 $T_j/s$
1	1,2,3	380.6
2	4,11,12,15,16,17	352.6
3	5,6,7	342.0
4	8,13,14	388.6
5	9,10	439.6
小计		1 903.4

### 3.2 结果讨论

优化编排方案的评价指标计算结果:

① 平均节拍:根据式(2)可得  $SPT = 1\ 903.4/5 = 380.7\ s$ ;节拍区间:由 SPT 值算得节拍上限  $\beta = SPT/85\% = 447.9\ s$ ,下限  $\alpha = 2SPT - \beta = 313.5\ s$ 。则节拍区间  $U = [313.5\ s, 447.9\ s]$ ,表 3 中各工作地节拍均属于该范围,说明方案可行。

② 编制效率:由表 3 可知瓶颈节拍为  $439.6\ s$ ,根据式(3)得  $E = 380.7/439.6 \times 100\% = 86.6\% > 85\%$ ,说明按照此方案编排可以投入生产。

③ 作业时间方差:根据仿真结果可知此时作业时间方差最小(线性规划求最小值)为  $1\ 163.7$ ,一定程度反映了工序负荷均衡,节拍波动较小,优化编排后流水线较平衡。各工作地节拍图见图 3。

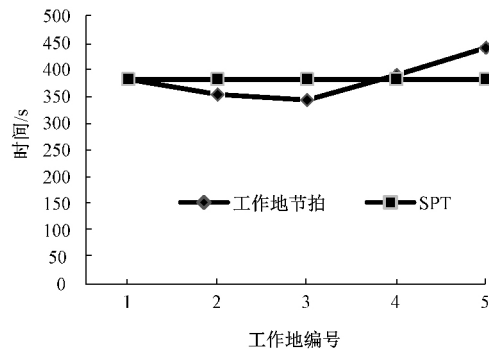


图 3 各工作地节拍图

通过验证模型的可行性及便捷性可知,各工作地节拍方差最小,说明流水线工序编排均衡。

模型的建立是以实际生产需求为依据,考虑流水线的生产顺序,将紧前工序作为约束条件之一,各工作地作业时间与平均节拍的方差之和最小为目标函数,求解满足上述要求的工序编排方案。在实际生产中采用 MATLAB 编写仿真程序,并录入企业生产管理软件系统,流水线设计时,直接输入工序及作业地等信息即可快速获得编排方案。对于不同服装品类,仅需改变程序中  $I, J$  及紧前工序、各工序工时等输入数据。

需注意的是,编排模型虽然能反映流水线编排系统,但获得方案仅是理论优化编排,企业实际生产中通过改变作业环境、采用缓冲件或批量生产都可以实现编排的进一步优化,编制效率也会进一步提高,因此,本文模型还需结合工厂缝制设备、工人缝制能力及熟练水平等情况作适当调整。

### 4 结 论

本文基于最优化理论的 0-1 数学规划,提出一种新的流水线编排和平衡优化方法,即 0-1 规划编排模型。根据组合工序作业时间方差最小,设置目

标函数  $\min Z = \sum_{j=1}^J (T_j - SPT)^2$ , 并进行案例仿真。利用 MATLAB 软件, 求得在约束条件下, 目标函数最小时的  $X_{ij}$  值, 获得流水线平衡的编排方案及编制效率为 86.6%, 各工作地节拍均在节拍区间  $[2SPT - SPT/85\%, SPT/85\%]$  内, 验证模型可实现流水线的优化编排, 此时作业时间方差最小为 1 163.7。说明 0-1 规划编排建模能提升工序编排合理性及均衡性, 降低管理者主观因素影响, 方便快捷; 可避免繁琐的人力计算及决策工作, 计算机辅助短时间内获得编排结果。

#### 参考文献:

- [1] 李彬彬. 基于遗传算法的多目标生产作业调度研究: 以某服装企业为背影[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [2] RAJEEV Agrawal, PATTANAIK L N, KUMAR S. Scheduling of a flexible job-shop using a multi-objective genetic algorithm [J]. Journal of Advances in Management Research, 2012, 9(2): 178-188.
- [3] IBRAHIM Kucukkoc, DAVIED Z Zhang. Mixed-model parallel two-sided assembly line balancing problem: A flexible agent-based ant colony optimization approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016(4): 58-72.
- [4] VAHIT Kaplanoğlu. An object-oriented approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problem[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 45: 71-84.
- [5] CHUN Hsiung Lan, MA Su Yee. Construct an INLP mathematical model to solve the two-sided assembly line balancing problem of type-3 [J]. Advanced Materials Research, 2011, 383-390: 4302-4305.
- [6] 于昕辰, 吴雄英, 丁雪梅. 计算机辅助服装流水线平衡优化设计进展[J]. 上海纺织科技, 2013(10): 7-10.
- [7] 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(4): 456-460.
- [8] 李爱平, 鲁力, 王世海, 等. 复杂箱体零件柔性机加工生产线平衡优化[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015(4): 625-632.
- [9] 胡觉亮, 季晓芬. 服装生产流水线的优化运行模型[J]. 纺织学报, 2001, 22(3): 59-60+3.
- [10] 王蓓. 女装生产流水线的优化设计与仿真系统研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2009.
- [11] 阳明盛, 罗长童. 最优化原理、方法及求解软件[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 5-6.
- [12] 管志忠, 吕楠. 0-1 线性规划模型的 MATLAB 实现及应用[J]. 徐州工程学院学报, 2007, 22(12): 64-67.
- [13] 张干宗. 线性规划[M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2004: 279.
- [14] 陶海涓. 服装缝制流水线的作业编排与优化研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2005.
- [15] 崔慧荣, 闫亦农, 张学沛, 等. 职业裤装吊挂流水线的工序优化[J]. 毛纺科技, 2014, 42(12): 32-36.
- [16] 杨以雄. 服装生产管理[M]. 上海: 东华大学出版社, 2015: 233.
- [17] 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.