

Research on assembly line balance based on simulation

Wei Liu^{1,a,*}, Jianfeng Cai^{2,b}

¹ Xiamen university of Tan Kah Kee college, Zhangzhou, China

² Ya zhongda Construction Engineering Co., Ltd., Shenzhen, China

^aliuwei568@xujc.com, ^bSCL11178@stu.xujc.com

*Corresponding author

Keywords: Assembly line balance, Simulation, Witness

Abstract. Through the A company footwear assembly line for field research, we find that there are lots of problems in the assembly line, such as a large number of work-in-process inventory, the process of assembly line is imbalance and many other issues. We choose one of the needle car assembly line and analyzes the present situation of the assembly line, and measures the standard time of the operation. We study the bottleneck process and use the Witness simulation software to model and simulate the assembly line, and analyzes the clogging link and the low utilization rate of each process, we improve its bottleneck, reduce the operating time, the decomposition of the station reorganization of the process to make the rhythm of the same. In the end, the result of the simulation verify the optimization effect, and we compare the relevant parameters before and after the balance, the assembly line is improved obviously, and reduce the cost of the enterprise.

基于仿真的生产线平衡研究

刘威^{1, a,*}, 蔡剑锋^{2, b}

¹厦门大学嘉庚学院, 漳州, 中国

²深圳市亚中达建筑工程有限公司, 深圳, 中国

^aliuwei568@xujc.com, ^bSCL11178@stu.xujc.com

*通讯作者

关键词: 生产线平衡; 仿真; Witness

中文摘要. 通过对A公司制鞋生产流水线进行实地调研, 发现企业其生产线上在制品积压, 各工序节拍不平衡等诸多问题。选择其中一条针车生产线作为生产线平衡研究对象。对该生产线现状进行分析, 测定工序作业标准时间, 发现瓶颈工序并运用Witness仿真软件对该生产线进行建模与仿真, 深入分析堵塞环节、各工序利用率不高等问题, 针对其瓶颈环节进行改善, 减少作业时间, 对工位进行分解重组使各工序节拍趋于一致, 最后仿真验证优化效果, 比较平衡前与平衡后的相关参数分析, 生产线改善效果明显, 降低了企业成本。

1. 引言

现代化的生产线, 要保证产品的技术要求, 能够严要求、高质量, 强有效控制产品的合格率, 企业生产线就必须做到较高的可靠性和一致性, 生产线的高效率就需要企业确保生产节拍的合适度。同时在满足产品适应社会需求的改型换代的同时达到高柔性。如何高效达到新生产线具有高效率和高质量的保证能力, 成为生产规划者必须着手解决的课题。^[1]

生产线上工序工位的优化是提高生产效率的重要方式之一，通过工序的优化、生产线的节拍的减少提高生产线的效率。

生产线平衡问题也称为装配线平衡，是根据产品工艺流程来确定工作站数目，再将各项作业平均分配到不同工作站，调整各作业负荷，以使得各作业时间尽可能相近。^[2-3]

2. A鞋业公司生产线现状及存在问题

2.1 某品牌鞋子生产工艺流程图

A公司是以生产鞋子为主的制造企业，主要的产品线包括休闲鞋、运动鞋、跑鞋、篮球鞋等。本文以某品牌鞋子为对象进行研究。该生产线以产品原则作业，主要的工序有：车鞋身饰片、喷胶贴鞋身饰片、车鞋口、车领口饰片、车后套、上领、固定反口棉、喷胶贴港宝、压领口线、跑边、接鞋舌、喷胶鞋头里。某品牌鞋子的工艺流程图如图1所示：

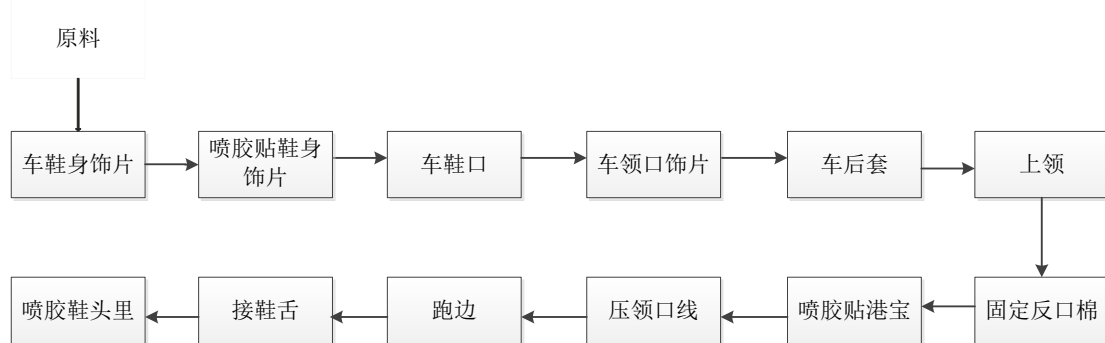


图1 某品牌鞋子生产工艺流程图

鞋材进入针车流水线的的第一步是在单针机器上进行鞋身的车缝，每个车间有两条完整的生产线，由于每条生产线涉及到不同的工艺如裁断生产线、成鞋生产线。不同的生产线互不干扰，本文以针车生产线为研究对象。测算的各工序作业标准时间如下表1所示。

表1 各工序作业标准时间

序号	工序名称	观测时间	标准时间
1	车鞋身饰片内	26.10	33.3
2	喷胶贴鞋身饰片内	17.70	22.2
3	车鞋口	48.62	61.5
4	车领口饰片	44.28	56.5
5	车后套	64.84	80.6
6	上领	38.52	50.0
7	固定反口棉	28.17	37.5
8	喷胶贴港宝/反口棉/反口里	44.04	56.2
10	压领口线	28.95	36.3
12	跑边	28.45	36.3
13	接鞋舌	33.36	44.4
14	喷胶贴鞋头里	14.25	18.5

2.2 A鞋业公司生产线存在的问题

通过对A鞋业公司实地调研发现该公司发展现状和运营状况较为良好，但是对于生产线方面仍存在一定的的问题，制约了企业的进一步发展，要摆脱目前的困境，扩大公司的业务范围，达到企业的进一步发展壮大，就必须改变根源问题企业现阶段的生产线缺陷，同时借鉴同行业内优秀企业的生产线优化的经验，根据自己的实际情况，制定相应的生产线优化的原则和措施进行改善。

本文选取的是针车生产线部分，在调研中发展部分针车生产工序时间明显存在较大差异，以工序5车后套的标准时间为80.6秒，而工序14喷胶贴鞋头里的标准时间为18.5秒。在同一条流水线中工序标准时间相差较大，造成了生产节拍不平衡。实际运行中导致了人员不平衡及机器运行不流畅的现象。

3. 运用Witness仿真进行问题分析

3.1 建立生产线仿真模型

3.1.1 模型实体元素定义

Witness仿真的建立首先要确定该生产线的生产流程，根据上文已绘制的图1（制鞋生产工艺流程图）和经过测量分析得到的表2（各工序作业标准时间表）建立模型图^[4]。定义该生产线需要的实体元素，如表2所示：

表2 模型实体元素定义表

序号	元素名称	类型	数量
1	车鞋身饰片内	Machine	1
2	喷胶贴鞋身饰片内	Machine	1
3	车鞋口	Machine	1
4	车领口饰片	Machine	1
5	车后套	Machine	1
6	上领	Machine	1
7	固定反口棉	Machine	1
8	喷胶贴港宝/反口棉/反口里	Machine	1
9	压领口线	Machine	1
10	跑边	Machine	1
11	接鞋舌	Machine	1
12	喷胶贴鞋头里	Machine	1

3.1.2 模型的建立与运行

经过实地调查已知该生产线上各道工序流程，由此设置每个实体元素确定基本属性值、可视化设置，编写相应的Witness语句确定元素之间的关系，其中模型建立界面如图2所示：



图2 制鞋生产线仿真模型图

元素细节（detail）设计，如表3所示：

表3 机器组general页细节设计

序号	元素名称	类型	Visual Input Rule	Cycle Time	Visual Output Rule
1	单针机01	Machine	PULL 原料 out of WORLD	33.3	PUSH to 喷胶机01 (1)
2	喷胶机01	Machine	PULL from 单针机01(1)	22.2	PUSH to 单针机02(1)
3	单针机02	Machine	PULL from 喷胶机01(1)	61.5	PUSH to 单针机03(1)
4	单针机03	Machine	PULL from 单针机02(1)	56.5	PUSH to 双针机01(1)
5	双针机01	Machine	PULL from 单针机03(1)	80.6	PUSH to 单针机04(1)
6	单针机04	Machine	PULL from 双针机01(1)	50	PUSH to 单针机05(1)
7	单针机05	Machine	PULL from 单针机04(1)	37.5	PUSH to 喷胶机02(1)
8	喷胶机02	Machine	PULL from 单针机05(1)	56.2	PUSH to 单针机06(1)

9	单针机06	Machine	PULL from 喷胶机02(1)	36.3	PUSH to 单针机07(1)
10	单针机07	Machine	PULL from 单针机06(1)	36.3	PUSH to 单针08(1)
11	单针机08	Machine	PULL from 单针机07(1)	44.4	PUSH to 喷胶机03(1)
12	喷胶机03	Machine	PULL from 单针08(1)	18.5	PUSH to SHIP

模型仿真钟的单位时间为1s（系统默认时间），每天工作时间为10h即36000单位时间，程序中各道工序的时间是按秒进行设置的，由此运行模型36000单位时间后的界面如下：

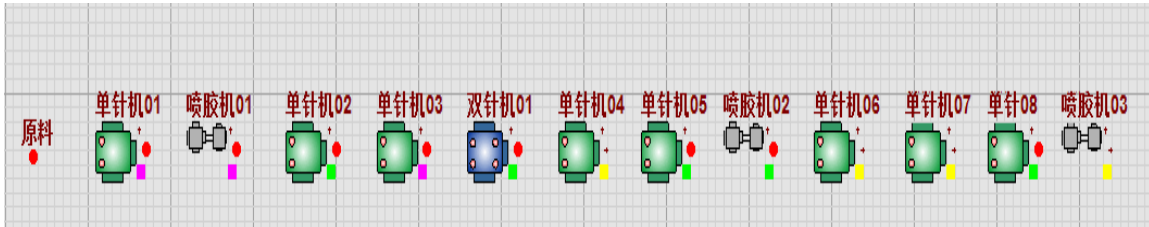


图3 生产线仿真模型运行结果

3.2 生产线问题分析

3.2.1 模型运行结果统计数据

模型运行结束后，查看Machine各统计数据如下图4所示：

WITNESS											
Machine Statistics Report by On Shift Time											
Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wait Labor	% Setup	% Setup Wait Labor	% Broken	% Repair Wait	
单针机01	0.00	41.33	0.00	0.00	58.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
喷胶机01	0.01	27.55	0.00	0.00	72.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机02	0.01	76.30	0.00	0.00	23.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机03	0.03	70.09	0.00	0.00	29.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
双针机01	0.04	99.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机04	38.00	62.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机05	53.50	46.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
喷胶机02	30.32	69.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机06	55.00	45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机07	55.00	45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针08	44.97	55.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
喷胶机03	77.07	22.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

图4 优化前Machine统计数据

3.2.2 各统计数据分析

由上图各统计数据可以进一步了解该生产线存在的具体问题：本模型采用的是单品种流水线生产设计，由于设置的是一条流水线，导致在运行过程中在碰到瓶颈环节工序时在Machine统计数据中，阻塞率会代替闲置率出现，但在工厂的实际运行中在下道工序未完成时上一道工序通常不会继续继续进行即我们所说的机器闲置。由此在Machine统计数据中本模型，各工序的Idle（空闲率）或Blocked（阻塞率）的比重都比较大，尤其是单针机01、喷胶机01、单针机05、单针机06、单针机07、喷胶机03的闲置率（阻塞率）比重均在50%以上，说明工序加工的利用率不高；而工序双针机01的忙碌率接近100%，瓶颈工序双针机的车后套应该作为生产线优化的首选。

4. 建立与运行优化后的仿真模型

4.1 仿真模型优化分析

通过Witness模型的初步运行，可以发现除了瓶颈工序双针机的车后套工序外，还存在多道工序的空闲率比重较大的情况，再由表图4（优化前Machine统计数据）制成直方图如下图5所示：

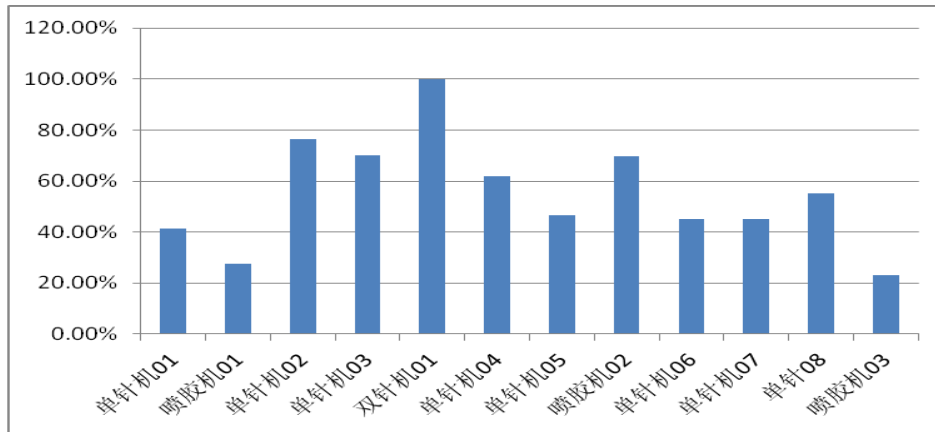


图5 优化前各工序忙碌率分析图

要使各工序忙碌率都能达到一个较高的水准必须使各工序之间的作业时间达到平衡，整条生产线的每个工序处于一个较为统一或相近的节拍，这样才能提高生产效率，充分利用设备和员工。根据ECRS分析法，采取工序合并的方式进行改善^[5]。因此本文采取的合并方案是将生产线上各工序和人数重新组合，步骤如下：

4.1.1 确定实际生产节拍

生产节拍是指在正常生产情况下，从一件产品开始生产时到下一件产品开始生产的平均间隔时间。节拍是确定每一个工序完工的速率时间，决定了生产线的产能。节拍的公式如下：

$$\text{生产节拍} = \frac{\text{每天有效工作时间} \times \text{生产线稼动率}}{\text{每天计划产量} \times \text{合格品率}} \quad (1)$$

A公司制鞋生产线每天有效工作时间为10h；

生产线稼动率是设备实际工作时间与有效工作的时间的比值，经过调查得知A公司此生产线每天实际工作时间平均为9.5h，所以该生产线稼动率为 $(9.5/10) \times 100\% = 95\%$ ；

根据A公司此类制鞋的订单需求，每天计划生产3000瓶，由于六条生产线同时生产，所以单条生产线每天计划产量为500瓶；

经统计合格品率为98%；

设T为节拍，则 $T = [(10 \times 60 \times 60) \times 95\%] / (500 \times 98\%) = 69.80s$ 。

4.1.2 计算生产线平衡率

衡量一个产品生产线状态的好坏需用一个定量值来表示，即生产线平衡率。计算公式如下：

$$\text{生产线平衡率} = \frac{\text{各工序时间总和}}{\text{工作站数} \times \text{周期时间}} \times 100\% \quad (2)$$

设生产线平衡率为E，各工序时间总和为T，工作站数为n，周期时间为CT。生产线有12个工序，一个工序为一个工作站。周期时间取值平衡时间最长的工序时间。则

$t = 33.3 + 22.2 + 61.5 + 56.5 + 80.6 + 50 + 37.5 + 56.2 + 36.3 + 36.3 + 44.4 + 18.5 = 533.3s$ ； $n = 12$ 个；

$CT = 80.6s$ ，所以生产线平衡率为 $E = \frac{t}{n * CT} \times 100\% = 55.1\%$ 。从以上分析可以看出，该生产线的效率也就是平衡率为55.1%，而闲置率为 $1 - 55.1\% = 44.9\%$ ，说明在生产过程中由于生产线不平衡损失了44.9%的时间，需要进一步改善该生产线。

4.1.3 通过与原始车间进行对比分析

结合第四章的建模仿真优化，通过对工厂内部生产流水线的平衡，提高生产效率，具体措施如下：

步骤一：考虑解决瓶颈工序时间过久的问题，在生产线上增加一台双针机。

步骤二：根据生产线的布置考虑到机器的充分利用

4.2 优化后仿真模型的建立与运行

4.2.1 优化后制鞋针车工艺流程图

优化后的制鞋针车的工艺流程图如图6所示：

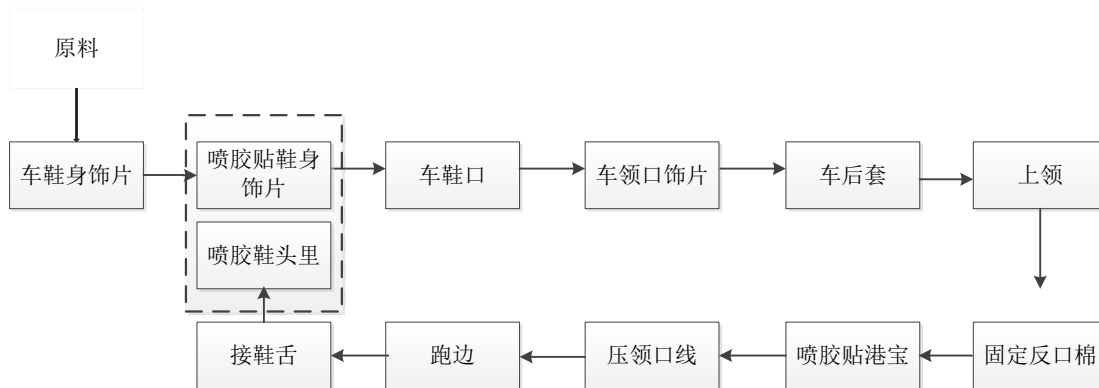


图6 优化后制鞋针车生产工艺流程图

4.2.2 优化后模型实体元素定义

根据图6（优化后制鞋针车生产工艺流程图）经过测量分析得到的表1（各工序作业标准时间表）建立Witness仿真模型图。定义该生产线需要的实体元素，如表4所示：

表4 模型实体元素定义表

序号	元素名称	类型	数量
1	车鞋身饰片内	Machine	1
2	喷胶贴鞋身饰片内	Machine	1
3	车鞋口	Machine	1
4	车领口饰片	Machine	1
5	车后套	Machine	1
6	上领	Machine	1
7	固定反口棉	Machine	1
8	喷胶贴港宝/反口棉/反口里	Machine	1
9	压领口线	Machine	1
10	跑边	Machine	1
11	接鞋舌	Machine	1
12	喷胶贴鞋头里	Machine	1

4.2.3 优化后模型的建立与运行

根据优化方案不在大面积改变生产线布局变动生产线流程，由此设置每个实体元素确定基本属性值、可视化设置，编写相应的Witness语句确定元素之间的关系，优化后仿真模型建立界面如图7所示：

模型仿真钟的单位时间为1s（系统默认时间），每天工作时间为10h即36000单位时间，运行模型36000单位时间后的界面如下：



图7 优化后生产线仿真模型

运行模型36000单位时间后的界面如下：

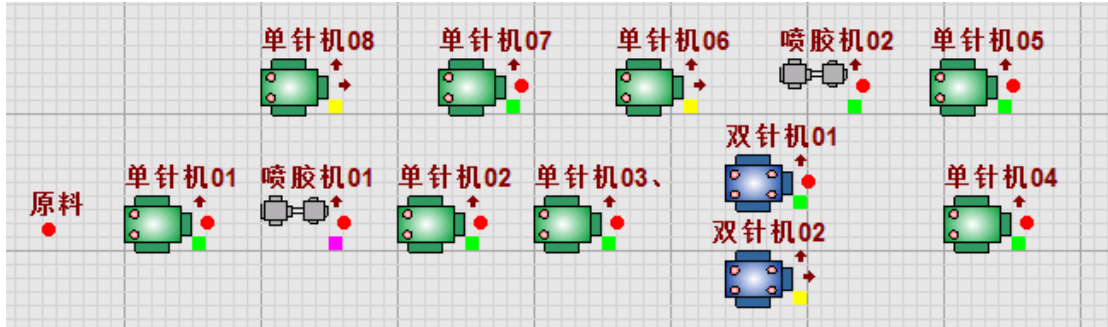


图8 优化后生产线仿真模型运行结果

4.3 仿真优化效果分析

4.3.1 优化后模型运行结果统计数据

模型运行结束后，查看各Machine统计数据如下图9所示：

WITNESS											
Machine Statistics Report by On Shift Time											
Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	% Cycle Wait Labor	% Setup	% Setup Wait Labor	% Broken	% Repair Wait	
单针机01	0.00	54.15	0.00	0.00	45.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
喷胶机01	0.00	66.18	0.00	0.00	33.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机02	0.01	99.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机03、	8.14	91.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
双针机01	34.49	65.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
双针机02	34.49	65.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机04	18.72	81.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机05	39.05	60.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机08	27.84	72.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机07	41.01	58.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
单针机06	41.00	59.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
喷胶机02	8.66	91.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

图9 优化后Machine统计数据

设生产线平衡率为E，各工序时间总和为T，工作站数为n，周期时间为CT。生产线有12个工序，一个工序为一个工作站。周期时间取值平衡时间最长的工序时间。则 $t=33.3+22.2+61.5+56.5+40.3+40.3+50+37.5+56.2+36.3+36.3+44.4+18.5=533.3s$ ； $n=12$ 个； $CT=61.5s$ ，所以生产线平衡率为 $E = \frac{t}{n * CT} \times 100\% = 72.3\%$ 。从以上分析可以看出，该生产线的效率也就是平衡率为72.3%，而闲置率为 $1-72.3\%=27.7\%$ ，说明在生产过程中由于生产线不平衡损失了27.7%的时间，通过对比使原生产线提高 $72.3\%-55.1\%=17.2\%$ 的生产线率。^[6]

4.3.2 仿真优化效果显著

由上图9各统计数据发现该生产线优化效果显著：

在Machine统计数据中，各工序的Idle（空闲率）的比重较优化前大大降低，Busy（忙碌率）的比重都有大幅度提高，说明各工序加工利用率高。

工序Blocked（堵塞率）由原来四道工序降低到2道工序，堵塞率大幅度下降。

结合以上生产线上的相关参数，制作优化前后各参数对比表，如表5所示：

表5 优化前后生产线相关参数对比表

生产线相关参数	优化前	优化后	提高比例/数量
工序平均加工利用率%	55.11	72.22	17.11
生产线平衡率/%	55.1	72.3	17.2
产品产量/只	441	579	138

从以上分析可知,该生产线的平衡率由原来的55.1%,提高到72.3%,平衡率提高了17.2%,而闲置率仅为27.7%;经过平衡后的产量也提高了138双。该制鞋生产线各工序利用率得到了提高,各工序生产节拍较为一致,瓶颈效应得到了消除,该生产线较为平衡了。

4. 结束语

本文利用生产线优化理论,对A企业工厂生产线进行优化,通过Witness仿真软件对企业内部生产线进行分析和研究。

对工厂生产系统进行仿真建模和优化,通过对仿真数据的比较和分析,可以得出优化后工厂的生产线平衡有明显的改进,优化后工厂生产线的平衡率由原来的55.1%,提高到72.3%,平衡率提高了17.2%,而闲置率仅为27.7%;经过平衡后的产量也提高了138双。该制鞋生产线各工序利用率得到了提高,各工序生产节拍较为一致,瓶颈效应得到了消除,该生产线较为平衡了,希望能够为其他制造企业车间的生产系统优化参考借鉴作用。

References

- [1] Li Bo. Light Compartment Optimal Design of welding Production Line in Dongfeng Automobile Co.,Ltd .Hunan university,2010.
- [2] A Roshani, F Ghazi Nezami, Mixed-model multi-manned assembly line balancing problem: a mathematical model and a simulated annealing approach, *Assembly Automation*, Volume .37,PP. 34-50, 2017.
- [3] Hadi Pazoki Toroudi, Mahsa Sadat Madani, Fatemeh Sarlak, Yosef Gholipour Kanani, A multi-objective method for solving assembly line balancing problem, *Decision Science Letters*, Volume 6, pp. 1-10 , 2017.
- [4] Bursi Fabio, Ferrara Andrea, Grassi Andrea. Simulating Continuous Time Production Flows in Food Industry by Means of Discrete Event Simulation, *International Journal of Food Engineering*, pp.139-150, 2015.
- [5] Ye ning. The application of one flow in clothing enterprises, *Guangxi textile techniques*, Volume 5, pp. 46-48, 2008.
- [6] Zhu rui, Lean production and simulation optimization of two stage flexible assembly line, Shanghai Jiao Tong University, 2008.