

S 公司组装车间生产效率提升研究

黄 雷^{1,*}, 罗蓉娟¹

(1.云南财经大学; * 2183967726@qq.com)

摘 要: 随着国际商业竞争扩大, 不同企业间的竞争越来越激烈。以家电行业为例, 在这种背景下, 各种家电制造企业都在尽力研究生产效率的提升方案, 目的是实现企业产量的提高和成本的降低。S 公司作为一家劳动力集中型的冰箱制造公司, 国际与国内的环境都会给它带来深远的影响, 除此之外竞争对手的积极发展使其现存的销售市场变得更小, 提升生产效率已成为 S 公司的突破口。本文以 S 公司组装车间生产线为例进行论证分析, 通过应用最优化理论和 IE 相关理论, 结合家电组装生产线的作业流程特点, 对影响 S 公司组装车间生产效率的相关因素进行了提炼, 并通过相应的改善方案来提高生产效率, 生产效率的提升将通过平衡率、时间、产能等指标来体现。本文旨在通过改善方案解决冰箱制造公司组装车间生产效率提升放缓问题, 实现可持续发展。

关键词: 组装车间; 最优化; 生产效率; 平衡率

绪论

从改革开放开始我国经济一直都在持续进步, 目前 GDP 总量仅次于世界第一[1]。经过不懈努力, 家电行业凭借质量可靠、高性价比的产品赢得了广大消费者的认可, 并涌现出诸多优秀的家电生产制造公司[2]。在这种时代大背景下我国家电生产制造公司必须通过提高生产效率来提高公司的市场竞争力[3]。提高生产效率可以帮助企业减轻生产压力、提高市场竞争力、增加利润, 现如今, 关于生产效率的提升研究已经涉及到生产过程的方方面面。

组装是家电从各种原材料到一件完整商品的最后一步, 也是掣肘生产效率变高的关键之处。对于制造冰箱的公司来说, 由于冰箱在组装过程中每道工序的消耗的时间相差甚远, 非常影响生产效率。所以需要将每道工序所耗费的时间都改善到接近同一, 那么生产线平衡改善就是提高生产效率的有效法宝。因为只有当生产线变得更加平衡, 才能尽可能地降低生产力的浪费以及保证产品生产的流畅性, 从而满足不同类型消费者日益增长的物质需求。

本文选取 S 公司为对象展开研究。S 公司作为国内的冰箱生产制造公司之一, 具有良好的商业声誉和生产能力, 过去 S 公司在与其他公司的市场竞争中一直处于优势地位。然而随着技术的不断革新, S 公司陷入了生产效率提升放缓的尴尬局面, 而 S 公司的对手通过生产效率的改善活动已经将生产效率提高到行业领先水平。所以只有进一步提高生产效率才可以使 S 公司在市场竞争之中脱颖而出。

1 S 公司组装车间生产效率现状与问题

1.1 S 公司及其主要产品介绍

随着中国经济迅猛的发展, S 公司不断学习国内外著名的生产效率改进管理方法, 生产效率得到了很大的提高, 之前在家电行业处于优势地位。然而, 受到新冠疫情的影响 S 公司销售市场缩减, 并且自 08 年次贷危机以来全球经济由于能源短缺和金融市场不景气等不利因素发展缓慢, 加之持续的通货膨胀压力, 家电产品的制造成本也在飙升[4]。目前 S 公司生产压力越来越大, S 公司需要适应市场的变化再一次提高生产效率。

S 公司主要设计生产的家电产品包括但不限于冰箱、空调和冰箱压缩机等产品，其中不同种类的冰箱产品销售总额占据了 S 公司总销售额的三成以上。S 公司的冰箱产品包括但不限于对门冰箱（SBS）、双门冰箱、三门冰箱等不同系列。由于对门冰箱在 S 公司所有冰箱产品的销售中占有很高的比重，而且对门冰箱的结构复杂，在生产中存在很多问题。因此，本文以 S 公司 SBS 系列产品组装车间为研究对象，对 S 公司组装车间生产效率的提高进行了研究。

1.2 S 公司组装车间的生产效率现状

冰箱的组装过程主要是各物料组装的过程，组装方法包括人工操作以及设备操作两种[5]。按照该公司组装车间工艺流程顺序，对该生产线包含的 18 个工序依次排列并对各个工序的工序内容进行描述，其结果如表 1 所示，其中工序 1-9 构成了门体流程，工序 10-18 构成了组立流程。从表 2 可以看出 S 公司组装车间全年的平均生产效率仅为 60.7%，与家电制造业年平均生产效率存在一定的差距。因此，想要提高组装车间的生产效率就要提高车间内员工的生产效率。

对目前所有工序的工作状况进行分析，发现组装车间不同工序间存在着快慢不一的现象，这种现象也会影响生产线平衡率。平衡率越高说明在生产线中各个工序安排越合理、生产效率越高。通过 Flexsim 仿真可以看出目前 S 公司各个工序生产非常不平衡，在仿真结果里面每一个处理器代表每一道工序，如图 1 所示。

表 1 工序内容表

工序	工作描述
1.裁剪钢板	将一卷钢板放在裁剪机转轴上，控制机器裁剪
2.打洞	用打洞机打出各种线路需要的孔
3.折弯	折出钢板的边与角以便安装
4.固定	将钢板装入装配箱固定
5.真空塑性	加热亚克力板依照铝模的形状塑形并切下多余塑料
6.装外壳	装入冷藏室与冷冻室的外壳
7.放铜线	将充满加热气体的铜线沿外缘放置
8.放外框	放上事先切割好的塑料框架
9.发泡	从孔内在内外壳之间注入发泡塑胶
10.放散热器	在指定的位置放入散热器
11.放控制面板	放入控制面板并汇集电路
12.放蒸发器	将蒸发器放在固定位置
13.装冰箱门	将冷藏室与冷冻室冰箱门装配完毕
14.放入压缩机并整理	放入压缩机并整理以便之后焊接
15.焊接并检漏	焊接膨胀阀，连接气阀，注入惰性气体并检漏
16.注入冷媒	用喷枪注入冷媒并将管路末端焊死
17.放入内置，装门把手	放入层架与抽屉、贴 logo，将门把手固定在冰箱门上
18.包装	清洁、打蜡、包装

表 2 S 公司生产效率统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
组立流程	64.7%	50.3%	66.1%	67.3%	72.1%	59.3%	66.2%	68.8%	57.1%	62.7%	69.2%	63.3%	63.9%
门体流程	57.1%	51.4%	58.8%	53.5%	60.1%	59.2%	61.8%	58.3%	57.4%	60.6%	57.1%	54.2%	57.5%

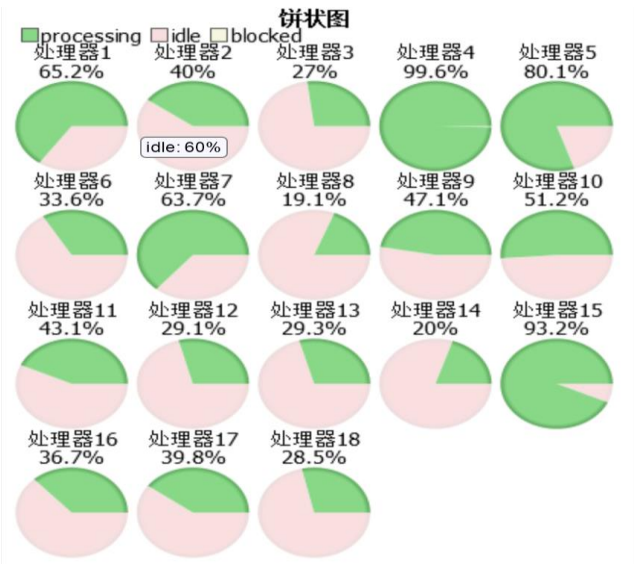


图 1 生产现状图

1.3 影响 S 公司组装车间生产效率的因素

影响 S 公司组装车间生产效率的主要因素是生产线不平衡。按照表 1 中工序 1-18 的顺序分别用秒表测定每个工序的操作时间并计算每个工序的工作效率，统计结果如表 3 所示。在表 3 里面，工作时间=平均值+搬运时间，总时间=工作时间+空闲时间，效率=工作时间÷总时间。从表 3 可以看出第 4 个工序总时间最长，是瓶颈工序。

表 3 工时实测表

工序	工时实测(单位秒)						平 均 值	搬运 时间	工作 时间	空 闲 时间	总时间	效率
1	18.54	18.67	18.42	17.58	18.03	19	18.25	2.50	20.75	15.30	36.05	0.58
2	10.42	11.21	10.53	10.44	10.66	11.13	10.65	3.10	13.75	8.40	22.15	0.62
3	8.21	8.34	8.24	8.67	8.74	8.88	8.44	0.50	8.94	6.00	14.94	0.60
4	24.21	24.32	25.61	24.67	25.12	25.31	24.79	8.20	32.99	22.20	55.19	0.60
5	20.21	20.31	20.43	20.45	20.56	21.09	20.39	6.80	27.19	17.30	44.49	0.61
6	8.33	8.32	8.59	9.11	8.44	8.21	8.56	2.30	10.86	7.80	18.66	0.58
7	16.31	26.52	16.23	16.74	17.01	16.78	18.56	2.10	20.66	14.80	35.46	0.58
8	5.21	5.34	5.24	5.67	5.74	5.88	5.44	1.20	6.64	4.00	10.64	0.62
9	12.11	11.67	11.89	10.56	11.47	12.22	11.54	2.70	14.24	12.00	26.24	0.54
10	17.33	17.54	18.11	17.35	17.45	17.66	17.56	1.70	19.26	9.31	28.57	0.67
11	15.67	15.45	15.87	16.21	15.69	16.09	15.78	1.20	16.98	7.10	24.08	0.71
12	9.31	9.42	9.53	9.21	9.25	9.43	9.34	1.50	10.84	5.43	16.27	0.67
13	8.31	8.34	8.63	8.44	8.36	8.41	8.42	2.30	10.72	5.67	16.39	0.65
14	6.57	6.78	6.54	6.49	6.77	6.32	6.58	1.10	7.68	3.50	11.18	0.69
15	23.21	23.33	24.61	23.67	24.12	24.31	23.79	7.20	30.99	21.20	52.19	0.59
16	11.23	11.34	11.43	12.02	11.51	11.21	11.46	2.60	14.06	6.50	20.56	0.68
17	12.21	12.72	12.34	12.87	12.65	12.59	12.56	3.10	15.66	6.70	22.36	0.70
18	8.34	8.29	8.54	8.28	8.87	8.22	8.42	2.50	10.92	5.10	16.02	0.68

从表 3 可以看出各个工序的总时间都不相同，时间最短的是 10.64s，时间最长的（工序四）为 55.19s，产生瓶颈工序的原因是作业元素安排的不合理并且员工的操作不规范。工序四包含了四个作业元素且每个作业元素的内容都是去堆积区拿钢板装配，工人在进行相关操作时还会产生重复多余的动作。同时，各个工序内作业元素安排的不合理也会导致平衡率降低。平衡率是衡量各个工序均衡化状态以及生产效率的指标，平衡率越高说明在生产线上各个工序安排越合理、生产效率越高[6]。由于所选择的工人都是具有一定工作经验的熟练工人，所以选定评比系数为 1。根据以往家电产业生产经验，选定宽放率为 15%。利用表 2-3 中的工时实测数据计算出 18 个工序标准时间之和为 $471.43 \times 1 \times (1+15\%) = 542.14$ ，瓶颈工序的标准时间为 $55.19 \times 1 \times (1+15\%) = 63.47$ ，生产线平衡率为 $542.14 / (18 \times 63.47) \times 100\% = 47.45\%$ ，可以看出该公司组装车间生产平衡率较低。

根据目前生产线情况通过仿真模拟可以得到生产线平衡与生产效率的关系。员工一天工作 8 小时也就是 28800s[7]，运用 Flexsim 进行仿真，仿真模型如图 2 所示。在仿真模型中发生器可以源源不断地提供生产所需要的原材料，每个处理器代表每一道工序，暂存区可以将生产好的产品存放起来，吸收器将产品吸收表示产成品的输入[8]。由于改善之前的瓶颈工序时间为 55.19s，所以将发生器设置成每隔 55.19s 提供一次原材料，参数设置如图 2-3 所示。为方便建模，本仿真模型将处理器的加工时间当作工人的操作时间，所以不再添加操作员。通过仿真可以直观地看出生产线不平衡现象（详见图 1），瓶颈工序的空闲率为 0.4%但是有的工序的空闲率却达到了 80.9%，说明有些工序在多数时间处于闲置状态，这样势必影响日产能。吸收器的吸收结果如图 4 所示，吸收器的吸收结果代表公司的日产能，这个结果与 S 公司的竞争对手相比显得较低。通过图 1 和图 4 可以看出该车间由于工序不平衡导致了生产效率不高，所以生产线不平衡是影响生产效率的一个主要因素。

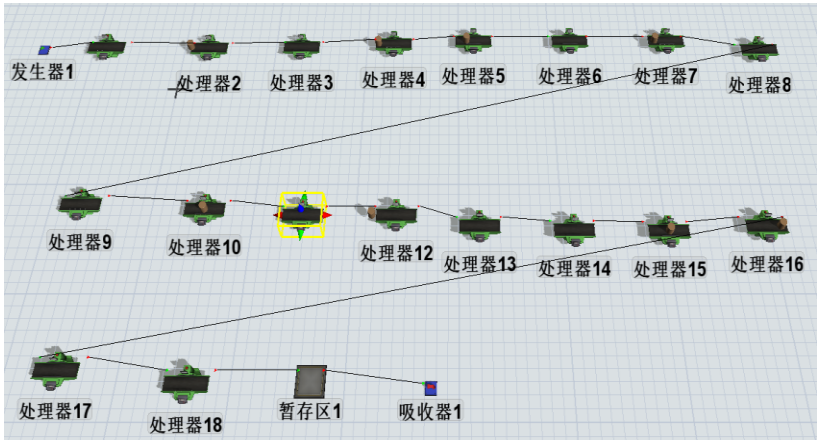


图 2 模型运行图



图 3 发生器参数设置图

统计			
状态		collecting	
输入输出量			
输入量	输出量		
513.00	0.00		
容量			
当前	最小	最大	平
1.00	0.00	1.00	0.98
停留时间			
最小	最大	平	
0.00	0.00	0.00	

图 4 吸收器运行结果图

2 S 公司组装车间生产效率改善方案

2.1 基于 0-1 整数规划理论的初步改善方案

为了提高生产效率需要重新安排每道工序的作业内容。首先,依据该生产线上目前的组装工艺流程,将流水线上的 18 个工序分解成 48 个作业元素,并给每一个作业元素用秒表测定时间,分解的结果如表 4 所示。

接着从各个作业元素的组合方面着手,将生产实际问题抽象成数学模型,运用 0-1 整数规划理论选取决策变量、建立线性约束方程,然后运用 Lingo 软件求解该线性规划问题。最后对各作业元素重新组合,形成新的工序,从而提高生产效率。

2.1.1 模型建立

由于 S 公司组装车间的组装工艺是确定的所以工序的数目不变,那么为了使生产效率可以进一步提高就需要减少瓶颈时间(CT),针对该目标运用 0-1 整数规划理论建立数学模型如下:

$$\text{Min} z = CT \quad (1)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{n=1}^N X_{cn} = 1; (c = 1, 2, \dots, m) & (2) \\ \sum_{n=1}^N n(X_{dn} - X_{cn}) \geq 0; \{(c, d) \in \text{prior}\} & (3) \\ \sum_{c=1}^m X_{cn} T_c \leq CT; (n = 1, \dots, N) & (4) \end{cases}$$

2.1.2 参数的含义

根据生产实际情况对模型中出现的各种参数符号做出如下解释:

CT: 瓶颈时间; N: 工序的数目; n: 工序的序号, $n=1, 2, \dots, N$;

m: 作业元素的数目; c, d: 作业元素的序号;

Tc: 第 c 个作业元素所需要的总时间; Work: 作业元素矩阵;

Prior: 作业元素优先集合, $\text{Prior}=\{(c, d)|\text{元素}c\text{是元素}d\text{的上一个作业元素}\}$

$$X_{cn} = \begin{cases} 1 & \text{表示作业元素}c\text{被分入工序}n\text{里面} \\ 0 & \text{表示作业元素}c\text{没有被分入工序}n\text{里面} \end{cases}$$

表 4 工序分解表

将工序划分成作业元素			
1.裁剪钢板	钢板放入裁剪机，22.85s	10.放散热器	将散热管放到凹槽里，13.69s
	整理钢板，3.33s		将散热器放到指定位置，8.99s
	将钢板放到推车上，9.87s		用金属外壳将散热器固定，5.89s
	将钢板放入打洞机，6.45s		将控制面板固定在指定位置，4.75s
2.打洞	给钢板打洞，12.76s	11.放控制面板	将电路汇集到微处理器，19.33s
	将钢板放到推车上，2.94s		将蒸发器放置，8.42s
3.折弯	将钢板放在成型机上，8.14s	12.放蒸发器	将蒸发管固定，7.85s
	将钢板放在推车上，6.8s		用机器将冷藏室门固定，8.19s
	放置左侧板并固定，13.8s	13.装冰箱门	用机器将冷冻室门固定，8.19s
4.固定	放置右侧板并固定，13.8s		将压缩机底座固定在内胆上，11.18s
	放置顶板并固定，13.8s	14.放入压缩机	连接膨胀阀，5.75s
	放置底板并固定，13.8s		焊接压缩机铜管、膨胀阀，17.44s
	真空加热塑料板，11.33s	15.焊接并检漏	连接气阀，5.75s
5.真空塑性	塑料板放在模型上，8.03s		注入惰性气体，14.37s
	用机器压塑料板，7.34s	16.注入冷媒	用金属检漏棒检漏，8.88s
	切掉多余的塑料，12.14s		注入液体冷媒，10.67s
	整理外框架，5.65s		取下气阀，6.35s
6.装外壳	放入冷冻室外壳，9.33s		将之前连接气阀的铜管焊死，3.54s
	放入冷藏室外壳，9.33s	17.放入内置，装门把手	放入层架、抽屉，14.15s
7.放铜线	沿外缘铺铜线，17.73s		贴 logo，5.68s
	将铜线挤入凹槽，17.73s		将门把手固定在冰箱门上，2.53s
8.放外框	放上外框架并对准，10.64s	18.包装	将冰箱表面清理干净，5.19s
	注入发泡料，1.01s		打蜡，8.57s
9.发泡	将门体推入机器内 高压发		用塑料泡沫包裹冰箱后将其放入塑料箱子
	泡，25.23s		里面，2.26s

2.1.3 约束的含义

对模型中出现的目标函数和三个约束条件做出如下解释：

目标函数（1）表示该模型的目的是求瓶颈时间（CT）的最小值。

约束条件(2)表示每个作业元素都必须分配在相应工序上，其展开式为
$$\begin{cases} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1N} = 1 \\ \dots\dots\dots \\ X_{m1} + X_{m2} + \dots + X_{mN} = 1 \end{cases}$$

约束条件(3)表示假如当作业元素 c 完成后作业元素 d 才可以开始，那么当作业元素 d 出现在相应的工序 n 上时，作业元素 c 就必须出现在工序 1 到 n 之间，其展开式为 $(X_{d1}-X_{c1}) + \dots + n(X_{dn}-X_{cn}) \geq 0$ 。

约束条件(4)表示各作业元素的时间总和必须小于 CT，将表达式展开可以得到
$$\begin{cases} X_{11}T_1 + X_{21}T_2 + \dots + X_{m1}T_m \leq CT \\ \dots\dots\dots \\ X_{1N}T_1 + X_{2N}T_2 + \dots + X_{mN}T_m \leq CT \end{cases}$$

2.1.4 运用 Lingo 求解模型

S 公司组装车间的工作流程有 18 道工序共 48 个作业元素，Prior={ (1,2)，(2,3) (3,4)，(4,5)，(5,6)，(6,7)，(7,8)，(8,9)，(9,10)，(10,11)，(11,12)，(12,13)，(13,14)，(14,15)，(15,16)，(16,17)，(17,18)，(18,19)，(19,20)，(20,21)，(21,22)，(22,23)，(23,24)，(24,25)，(25,26)，(26,27)，(27,28)，(28,29)，(29,30)，

(30,31), (31,32), (32,33), (33,34), (34,35), (35,36), (36,37), (37,38), (38,39), (39,40), (40,41), (41,42), (42,43), (43,44), (44,45), (45,46), (46,47), (47,48)}。

由于用 Lingo 求解包含所有作业元素的该数学模型时间成本太高, 所以首先将 Prior 集合分成两个子集即将 48 个作业元素拆分为前 24 个作业元素和后 24 个作业元素。之后用 Lingo 运行两次, 在这两次结果之中最长的工序时间就是该生产线的 CT。打开 Lingo 编写第一个程序如图 5 所示, 运行 Lingo 之后结果如图 6 和图 7 所示, 可以看出在第一个程序中最小 CT 为 34.46s。

```

model:
sets:
work/1..24/:T;
prior(work,work)/1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,12,12,13,13,14,14,15,15,16,16,17,17,18,18,19,19,20,20,21,21,22,22,23,23,24,24/:
station/1..9/:
txs(work,station):x;
endsets
data:
T=22.85 3.33 9.87 6.45 12.76 2.94 8.14 6.8 13.8 13.8 13.8 13.8 11.33 8.03 7.34 12.14 5.65 9.33 9.33 17.73 17.73 10.64 1.01 25.23;
enddata
@for(station:@bin(a));
@for(work(c):@sum(station(n):x(c,n))=1);
@for(prior(c,d):@sum(station(n):n*x(d,n)-n*x(c,n))>=0);
@for(station(n):@sum(tx(c,n):T(c)*x(c,n))<=CT);
@for(station(n):@sum(tx(c,n):x(c,n))<=CT);
min=CT;
@for(tx:@bin(x));
end

```

图 5 第一个程序图

```

Global optimal solution found at iteration:      40110
Objective value:                               34.46000

```

Variable	Value	Reduced Cost
A	0.000000	0.000000
CT	34.46000	0.000000
T (1)	22.85000	0.000000
T (2)	3.330000	0.000000
T (3)	9.870000	0.000000
T (4)	6.450000	0.000000
T (5)	12.76000	0.000000
T (6)	2.940000	0.000000
T (7)	8.140000	0.000000
T (8)	6.800000	0.000000
T (9)	13.80000	0.000000
T (10)	13.80000	0.000000
T (11)	13.80000	0.000000
T (12)	13.80000	0.000000
T (13)	11.33000	0.000000
T (14)	8.030000	0.000000
T (15)	7.340000	0.000000
T (16)	12.14000	0.000000
T (17)	5.650000	0.000000

图 6 第一个结果分析图



图 7 第一个最优解

接着编写第二个程序如图 8 所示，运行 Lingo 之后结果如图 9 和图 10 所示，可以看出在第二个程序中最小 CT 为 28.57s，所以整体的最小 CT 为 34.46s。

```
model:
sets:
work/25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48/:T;
prior(work,work)/25,26 26,27 27,28 28,29 29,30 30,31 31,32 32,33 33,34 34,35 35,36 36,37 37,38 38,39 39,40 40,41 41,42 42,43 43,44 44,45 45,46
46,47 47,48/;
station/1..9/;
txs(work,station):x;
endsets
data:
T=13.69 8.99 5.89 4.75 19.33 8.42 7.85 8.19 8.19 11.18 5.75 17.44 5.75 14.37 8.88 10.67 6.35 3.54 14.15 5.68 2.53 5.19 8.57 2.26;
enddata
@for(station:@bin(a));
@for(work(c):@sum(station(n):x(c,n))=1);
@for(prior(c,d):@sum(station(n):n*x(d,n)-n*x(c,n))>=0);
@for(station(m):@sum(tx(c,n):T(c)*x(c,n))<=CT);
@for(station(n):@sum(tx(c,n):x(c,n))<=CT);
min=CT;
@for(tx:@bin(x));
end
```

图 8 第二个程序图

Global optimal solution found at iteration:		62170
Objective value:		28.57000
Variable	Value	Reduced Cost
A	0.000000	0.000000
CT	28.57000	0.000000
T(25)	13.69000	0.000000
T(26)	8.990000	0.000000
T(27)	5.890000	0.000000
T(28)	4.750000	0.000000
T(29)	19.33000	0.000000
T(30)	8.420000	0.000000
T(31)	7.850000	0.000000
T(32)	8.190000	0.000000
T(33)	8.190000	0.000000
T(34)	11.18000	0.000000
T(35)	5.750000	0.000000
T(36)	17.44000	0.000000
T(37)	5.750000	0.000000
T(38)	14.37000	0.000000
T(39)	8.880000	0.000000
T(40)	10.67000	0.000000
T(41)	6.350000	0.000000

图 9 第二个结果分析图

求解状态		变量	
模型类别:	ILP	全 部:	218
当前状态:	全局最优的	非线性:	0
目标函数值:	0	整 型:	217
出错信息:	0	约束	
迭代次数:	62170	全 部:	66
		非线性:	0
具体求解状态		非零变量	
求解模式:	B-and-B	全 部:	1081
最优目标:	28.57	非线性:	0
目标范围:	28.57	内存使用(K)	
当前步骤:	139	49	
活 动:	0	运行所用时间(时:分:秒)	
		00:00:03	

图 10 第二个最优解

根据 Lingo 的运算结果分析,将原有的 48 个作业元素重新组合成 18 个工序,工序重组结果如表 5 所示,瓶颈工序为工序 6。新生成的所有工序标准时间之和为 $471.43 \times 1 \times (1+15\%) = 542.14$,瓶颈工序标准时间为 $34.46 \times 1 \times (1+15\%) = 39.629$,生产线平衡率为 $542.14 / (18 \times 39.629) \times 100\% = 76.00\%$ 。由于瓶颈时间的降低,生产效率也得到了进一步的提高。根据表 3-2 里面的各个工序消耗的时间将工序重排后的组装车间生产线用 Flexsim 建立仿真模型进行模拟仿真。需要注意的是,工序重排后的生产线仿真模型与改善前的仿真模型的不同就是要把发生器的时间参数从 55.19s 调整到 34.46s 并把每个处理器的时间调整成改善之后的时间,工序重排之后日产能提高到了 822 台如图 11 所示,并且各个工序的空闲率也有了一定的改善如图 12 所示。

表 5 工序重排表

工序重排表			
1.裁剪钢板	钢板放入裁剪机，22.85s	10.放散热器	将散热管放到凹槽里，13.69s
	整理钢板，3.33s		将散热器放到指定位置，8.99s
2.打洞	将钢板放到推车上，9.87s	11.放控制面板	用金属外壳将散热器固定，5.89s
	将钢板放入打洞机，6.45s		将控制面板固定在指定位置，4.75s
3.折弯	给钢板打洞，12.76s	12.放蒸发器	将电路汇集到微处理器，19.33s
	将钢板放到推车上，2.94s		将蒸发器放置，8.42s
4.固定	钢板放在成型机上，8.14s	13.装冰箱门并放压缩机	将蒸发管固定，7.85s
	将钢板放在推车上，6.8s		用机器将冷藏室门固定，8.19s
5.真空塑性	放置左侧板并固定，13.8s	14.焊接	用机器将冷冻室门固定，8.19s
	放置右侧板并固定，13.8s		将压缩器底座固定在内胆上，11.18s
6.装外壳	放置顶板并固定，13.8s	15.注入惰性气体	连接膨胀阀，5.75s
	放置底板并固定，13.8s		焊接压缩机铜管、膨胀阀，17.44s
7.放铜线	真空加热塑料板，11.33s	16.注入冷媒	连接气阀，5.75s
	塑料板放在模型上，8.03s		注入惰性气体，14.37s
8.放外框	用机器压塑料板，7.34s	17.放入内置，装门把手	用金属检漏棒检漏，8.88s
	切掉多余的塑料，12.14s		注入液体冷媒，10.67s
9.发泡	整理外框架，5.65s	18.包装	取下气阀，6.35s
	放入冷冻室外壳，9.33s		将之前连接气阀的铜管焊死，3.54s
	放入冷藏室外壳，9.33s		放入层架、抽屉，14.15s
	沿外缘铺铜线，17.73s		贴 logo，5.68s
	将铜线挤入凹槽，17.73s		将门把手固定在冰箱门上，2.53s
	放上外框架并对准，10.64s		将冰箱表面清理干净，5.19s
	注入发泡料，1.01s		打蜡，8.57s
	将门体推入机器内高压发泡，25.23s		用塑料泡沫包裹冰箱后将其放入塑料箱子里面，2.26s



图 11 工序重排后日产能

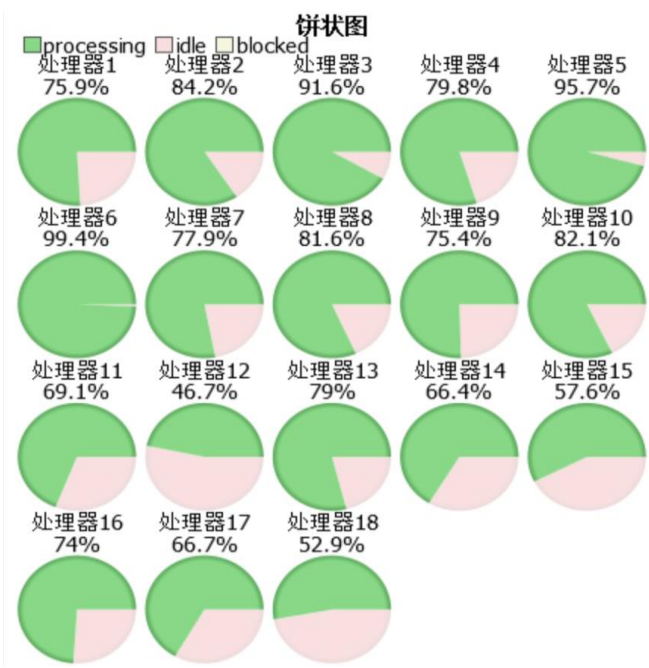


图 12 重排后各工序忙闲率

2.2 改善前后效果对比

生产效率的本质就是产出与投入的比值，针对 S 公司产品供不应求的局面，生产效率的提升研究思路就是在一定的时间内生产更多的产品。经过改善 S 公司组装车间生产效率有了显著的提高，改善前后各项指标对比如表 6 所示。

表 6 改善前后各项指标对比

指标	改善前	一次改善后
瓶颈工序工作时间	55.19s	34.46s
平衡率	47.45%	76%
时间总和	471.43s	471.43s

3 结束语

通过改善 S 公司 SBS 系列产品的组装流程，使得 S 公司的生产效率得到了提升。通过建模和仿真的方法，在不改变时间总和的前提下，组装流程瓶颈工序的时间从 55.19s 降低到了 34.46s，平衡率从 47.45%提升到了 76%。本文提供的建模和仿真的方法具有一定的普适性，可以应用到生产过程中的其他流程中。

参考文献

[1] 中国青年网. 国家统计局：2019 年中国人均国民总收入 10410 美元[EB/OL]. 中国新闻网, 2020-08-07.

[2] 戴伟男. IE 在小家电制造企业生产效率方面改善之研究[J]. 商品与质量·焦点关注, 2012(005): 18-19.

[3] 钮晓倩. 浅谈家电制造企业存货管理存在的问题及对策[J]. 经贸实践, 2018, 242(24): 241-242.

[4] 邓义江, 赵海波. WH 公司生产线平衡研究[J]. 价值工程, 2019, 038(019): 287-289.

[5] 史修文. 工业工程方法在 A 公司生产效率改善中的应用[D]. 东华大学, 2015.

- [6] 田凌峰. 基于 FLEXSIM 的 A 公司生产线平衡问题优化研究[D]. 成都理工大学, 2017.
- [7] 尹忠恺, 程陈. 基于 Flexsim 的生产线平衡优化[J/OL]. 科技促进发展, 1-15[2021-05-07].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5286.G3.20210427.1856.037.html>.
- [8] 原红玲, 冯安平, 谭健雄, 任爱梅. 基于工业工程技术的冰箱生产工艺优化[J]. 装备制造技术, 2013(10): 144-146.