

# 应用工业工程的方法提高生产效率：案例研究

李焯辉<sup>1, 2</sup>, 黄玉萍<sup>3</sup>, 李锦辉<sup>4</sup>

(1. 广东工业大学 机电学院, 广州 510090; 2. 普思公司, 广东 中山 528436  
3. 广东工业大学 轻化学院, 广州 510090; 4. 茂名学院 计算机与电子信息学院, 广东 茂名 525000)

**摘要:** 介绍了某种型号滤波器的生产工艺改善。在运用工业工程的技术和方法对生产工艺加以分析后, 一些工位被重新编排, 而一些手动操作则实现了自动化。通过工作再设计, 生产线的平衡得到改善, 生产率也因此得到很大的提高, 同时生产成本也降低了近 1/3。

**关键词:** 生产改善; 工作研究; 滤波器; 工业工程

中图分类号: F224 文献标识码: A 文章编号: 1007-7375(2006)06-0126-06

## Productivity Increase by Using Techniques of Industrial Engineering a Case Study

LI Chi-hui<sup>1, 2</sup>, HUANG Yu-ping<sup>3</sup>, LI Jin-hui<sup>4</sup>

(1. Mechanical and Electrical Engineering Department, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China; 2. Pulse Company, Zhongshan 528436, China  
3. Chemical Engineering Department, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China  
4. Science and Technology of Electronic Information Department, Moming University, Moming 525000, China)

**Abstract** This paper reports the improvement conducted for the production process of a type of filter. The production process is analyzed with techniques of industrial engineering. Some jobs of the process are redesigned, and some manual operations are automatized. With the redesign, effort is made to improve the line balance. In this way, the production rate is significantly increased and at the same time the production cost is deduced almost by one third.

**Key words** production improvement; work study; filter; industrial engineering

随着世界经济稳步发展, 科学技术日新月异, 市场竞争也越来越激烈。我国企业和产业发展面临前所未有的国际市场的严峻挑战。高生产率和低成本已成为迎接这一挑战的有力法宝。因此, 推广工业工程, 降低成本, 提高效率, 是提高市场竞争力和拓展生存空间以及有效参与国际竞争的重要基础和必然选择。由于中国企业提高效率和经济效益的潜力普遍较大, 因而在大多数企业运用科学方法和适宜的基础工业工程技术, 往往能取得很好的效果。

以提高效率、降低成本为宗旨, 本文对一种滤波器的生产过程作了一系列的改善。这些改善不仅大大提高效率, 还降低了近 1/3 的成本。本文介绍了其方法和过程。

## 1 工艺及生产流程分析

### 1.1 工艺流程

产品的工艺过程是由产品的组成、零件的形状与加工精度要求、装配要求、现有加工设备与加工方

收稿日期: 2006-01-12

作者简介: 李焯辉 (1980-), 男, 广东广州人, 工业工程师, 主要研究方向为工业工程。

法等因素决定的, 必须在深入了解产品组成、各部分加工要求后, 才能制定出切实可行的加工工艺过程<sup>[1]</sup>。

该滤波器是一典型电子产品, 采用传统流水线方式作业。生产线分为 4 段: 零件生产及加工、插件、过锡炉及补焊、装配。任何一个产品的完成都必须按照这个顺序进行。

生产线的第一段是零件生产及加工, 主要是生产滤波器所需的电感及加工玻璃管, 是非流水线作业。生产电感的工艺流程如图 1 所示。玻璃管的加工是指将玻璃管的脚仔弯曲成型以便插件。

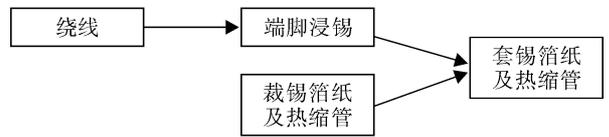


图 1 电感的工艺流程

插件、过锡炉及补焊、装配均为流水线作业, 其工艺要求较为复杂。例如对零件装插的先后顺序就有较高的要求。如图 2 在进行任何一个操作之前, 都必须先将其前工序 (箭头反方向所连接的所有工序) 完成。例如, 要装插 L4 需先装插好 D1、D2、K1、K2、R3、R4, 在装插这 6 个零件前又要先装插好 J2。

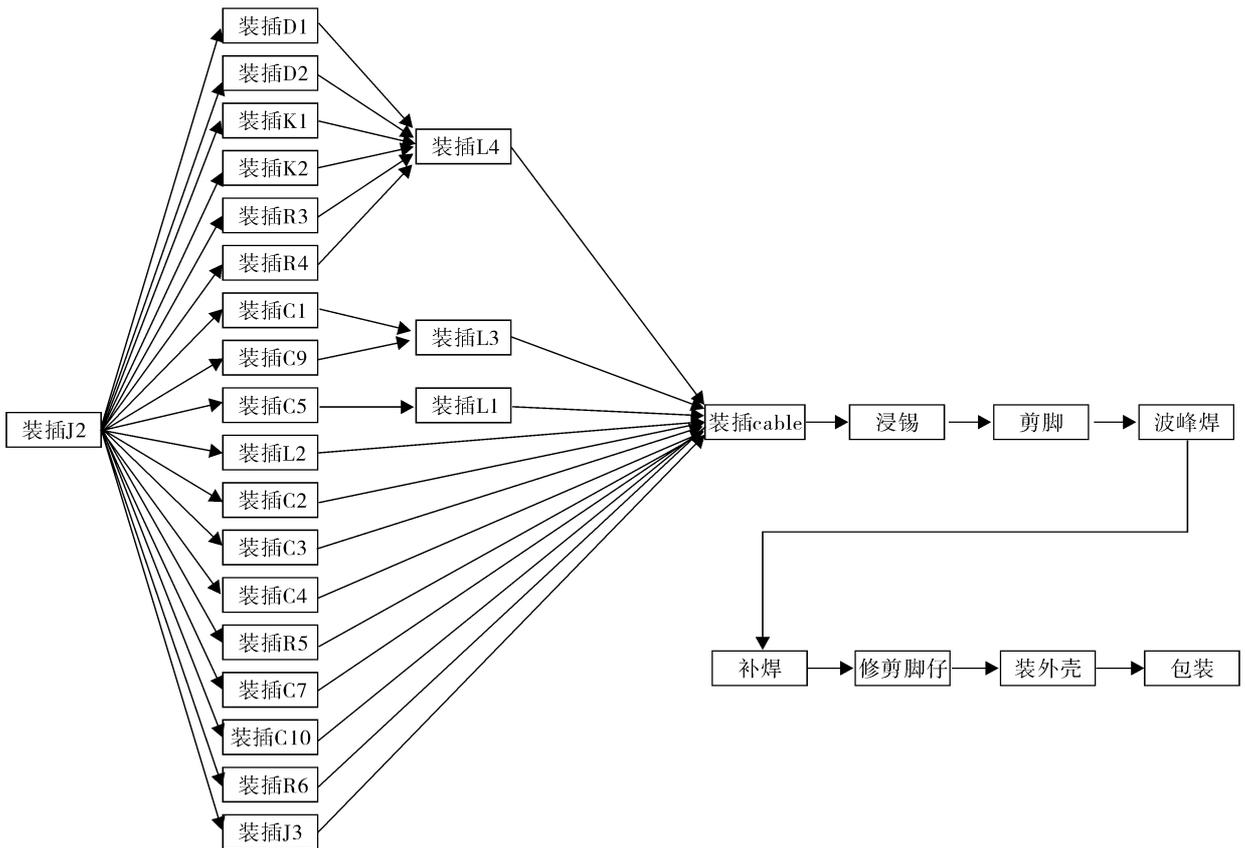


图 2 滤波器生产工艺

### 1.2 生产流程

生产流程是指完成工作所经过的手法和路线。生产流程是根据工艺流程来确定的, 它必须符合工艺要求, 但同一工艺可能有多种不同的生产流程。

电感 L1、L2 的生产由绕线、浸锡、套锡箔纸及热缩管组成。其中绕线是电感生产的重要工位, 它占

了整个电感作业时间的大部分。这里使用半自动绕线机, 以一人一机作业方式进行生产。而玻璃管的加工是以模具对玻璃管脚仔进行手动成型。

从图 3 可以看出, 这里的插件流程, 从装插 J2 到装插 J3 和 cable 均符合上述工艺要求, 但生产线不够平衡, 且瓶颈工位时间较长。因插件处的工艺

要求较为宽松,线平衡会有一些的改善空间。

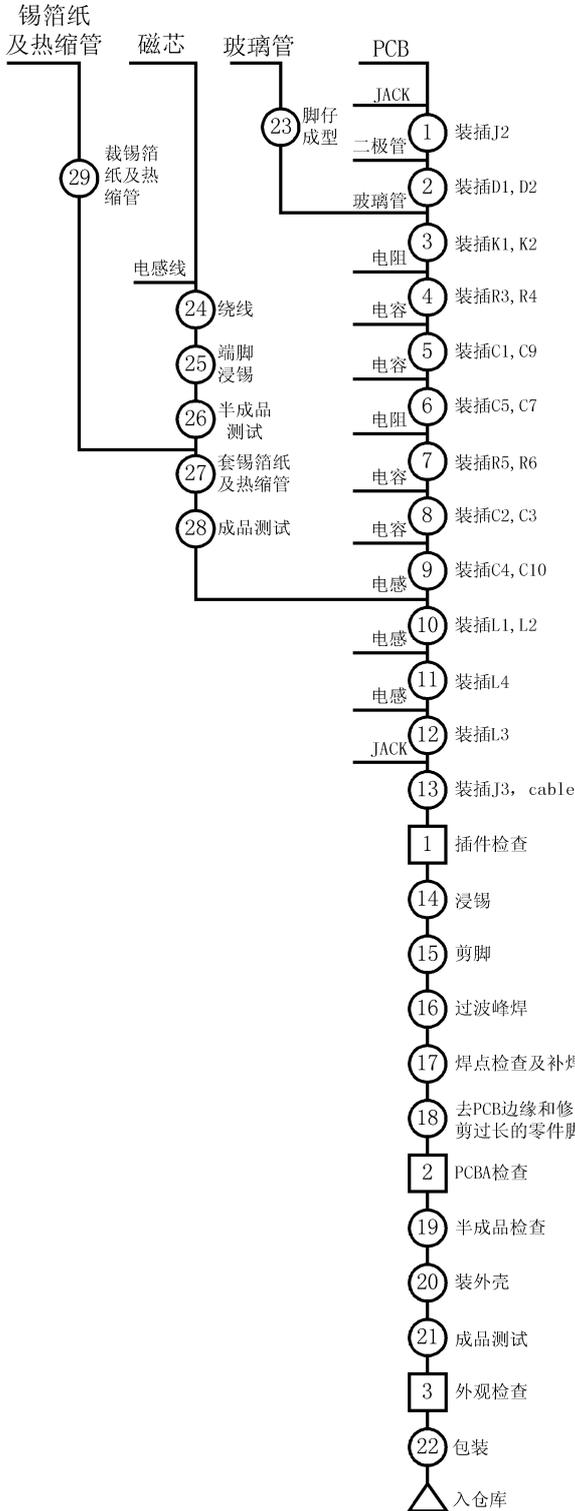


图 3 滤波器生产流程

## 2 工作再设计

工作研究<sup>[2]</sup>以生产系统的作业或操作系统为研究对象,是工业工程中最先出现的一种主要技术。工作研究的基本功能是生产系统诊断分析,其最终目的是提高生产率。在实施工作研究和改进过程中,不可能撇开和工作方法有紧密联系的机器设备、工具和环境条件等重要因素。因此人机配合的改善和机器设备的效率提高也就显得至关重要。

### 2.1 人机配合

在机械加工中,一个工序的时间由两部分组成,即人工操作时间和机床工作时间。调查了解在批量生产中一个操作周期内机器作业与人工操作的相互关系,研究分析充分利用机器与人工的能量及平衡操作,即人机操作分析<sup>[3]</sup>。通过人机操作分析得到合理的人机配合,便能有效地提高人员的效率及机器的利用率。这里电感绕线采用的是半自动绕线机,操作方式为一人一机。从图 4 中的人机操作图可以看出,人和机器的利用率都不高。人在操作时机器停止运转,机器工作时人在空闲。同时也不难发现人和机器的工作时间大致相等。人工作时间为 13 s,机器为 14 s,也就是说,操作员可以利用他的空闲时间操作另一台机器。将操作方式改为一人两机后,从图 5 可以看到,改善后的生产力有了很大的提高,绕一个电感所用时间由原来的 27 s 减少到 14 s,生产效率提高了 93%,而机器的利用率仅降低了 2%。

### 2.2 局部自动化

一项合理的自动化措施,可以达到减轻工人劳动强度,提高劳动生产率,减少在制品数量,缩减车间面积,节省能源消耗,降低产品成本等目的<sup>[4]</sup>。对一完整的生产线而言,在不能实现全线自动化的情况下,局部自动化也不失为提高工作效率和产品质量的好办法,但自动化成本相对较高。故在实现自动化之前需分析成本并作一个综合的比较,看自动化是否能更好地提高效益。

在玻璃管脚仔成型工位,加工方式是利用模具对散装玻璃管脚仔进行手动成型。此方法效率低且安全性差。经考虑,此工位可以通过引入全自动玻璃管脚仔成型机来实现自动化。此机器的优点是效

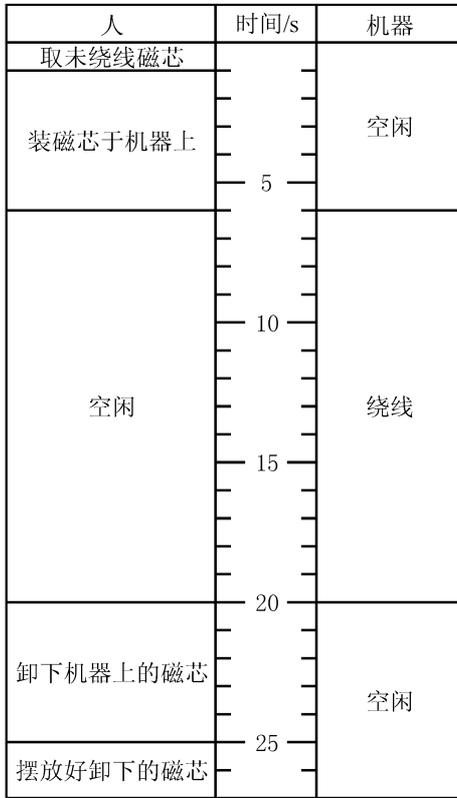


图 4 改善前人机操作图

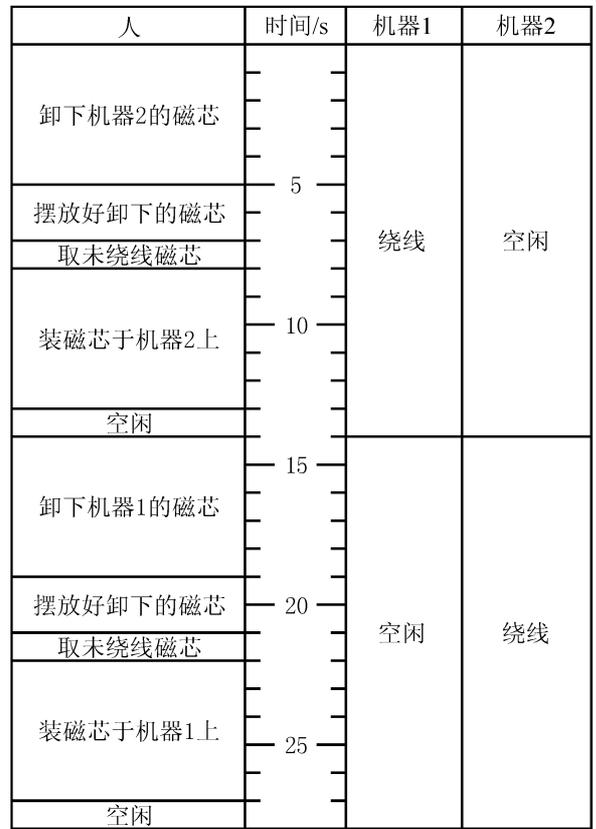


图 5 改善后人机操作图

率高且加工报废率低, 但单台机器价格略高。故对这两种加工方式作分析比较 (见表 1)。

表 1 成本分析表

项目	手动加工	自动加工
单个零件加工时间 /min	0.0900	0.0067
成品率 /%	95	99
玻璃管来料成本 /元	1.03	
人工成本 (元 /h)	5.03	
所需机器数量	12	1
机器单价 /元	4000.00	12000.00

由此可见, 自动化的效率是手动作业的 13.4 倍; 成品率提高了 4%。以月产量  $5 \times 10^5$  个计算, 因加工效率的提高可节省 3492 元 ( $500000 \times (0.09 - 0.0067) / 60 \times 5.03$ ); 成品率的提高可节省 20600 元 ( $500000 \times (99\% - 95\%) \times 1.03$ ), 共节省 24092 元。而且机器成本也由原来的 48000 元下降到 12000 元。故决定引入新机器实现玻璃管脚仔成型的自动化。

### 3 生产线平衡

生产线平衡就是指工程流动间或工序流动间负荷之差距最小, 流动顺畅, 减少因时间差所造成之等待或滞留现象<sup>[5]73</sup>。不平衡的生产线会出现很多弊端, 如 WIP 增加, 占据生产线空间, 容易出现品质问题, 生产力降低, 产品成本增加等。目前, 在大多数电子产品的生产中, 手动插件 (指生产中依次将零件手动插入 PCB (印刷电路板) 的过程) 仍然是必不可少的一环, 而且占据了产品作业时间<sup>[6]</sup>中的很大一部分。手动插件是否得到合理安排将会直接影响到产品的生产成本。下面以插件段为例, 按照观测及计算节拍、排线、优化三大步骤, 对线体进行平衡设计。

#### 3.1 观测及计算节拍

作业员的作业内容是将相应零件装插到 PCB 上。每块 PCB 需装插 23 个零件。把每个零件的装插划分成最小操作单元并测出每个操作单元所需作业时间, 见表 2。

表 2 最小操作单元作业时间表

序号	零件	时间 /s
1	C1	1.6
2	C2	1.6
3	C3	1.6
4	C4	1.6
5	C5	1.6
6	C7	1.6
7	C9	1.6
8	C10	1.6
9	Cable	2
10	D1	2
11	D2	2
12	J2	3.6
13	J3	2
14	K1	2
15	K2	2
16	L1	2.1
17	L2	2.1
18	L3	8
19	L4	4.2
20	R3	2.2
21	R4	2.2
22	R5	2.2
23	R6	2.2
总计		53.6

根据节拍公式:  $C = \frac{\text{每天的生产时间}}{\text{每天的计划产量}}$ , 求出节拍为 5.5 s

### 3.2 排线

排线前还需先对作业时间大于节拍时间的操作单元进行拆分。从表 2 可看出 L3 作业时间 8 s 大于节拍时间 5.5 s。经考虑, 可以将 L3 的装插设置成两个平衡工位。这样, 每个装插 L3 的工位的作业时间就只有 4 s。

根据图 2 的滤波器生产工艺要求, 按照由小到大, 从矮到高的插件顺序, 依次对每个工位分配作业, 并对每个工位重新测量作业时间, 然后找出瓶颈, 即各工位中最长的作业时间 5.5 s。再按公式:  $\text{线平衡率} = \frac{\text{所有工位作业时间之和}}{\text{瓶颈} \times \text{工位数量}} \times 100\%$ , 算得线平衡率为 77.27%, 如图 6。至此, 插件线体初排基本完成。

### 3.3 优化

对插件流水线来说, 优化是最关键的一步, 既要考虑到当前工位的方便操作, 又要兼顾前后工位的影响。前面装插好的零件尽量不要妨碍后面工位的操作。同时相同零件尽可能安排在同一工位; 相似零件尽量不在同一工位或相邻工位。前者可减少操作员对零件的区分和辨认所需时间, 提高效率; 后

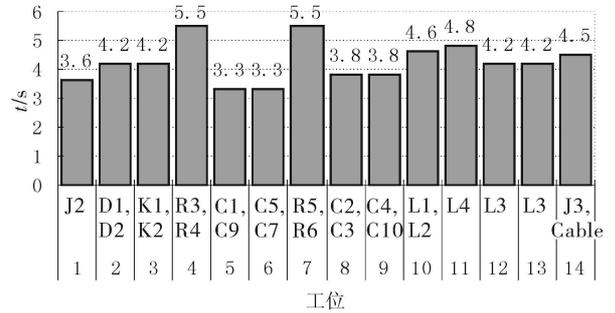


图 6 线体初排平衡图

者则可防止错件, 保证品质, 这是较好的防错法<sup>[5]121</sup>。

优化过程就是消除瓶颈的过程。下面继续上述的例子介绍消除瓶颈的方法。

#### 1) 作业分解

作业分解是指将一个作业分解到两个或更多的工位。可以将瓶颈工位的作业分解到作业时间较短的工位或者将这两工位进行重新分配组合。从图 6 可以看出, 改进前生产线很不平衡, 插件时间由 3.3 s 到 5.5 s 不等, 不平衡率<sup>[5]174</sup>达到 22.73%。瓶颈有两处, 分别为装插 R3R4 和 R5R6 所用时间为 5.5 s。造成此处瓶颈的原因是这些零件均为立式零件, 且体积很小, 装插时需要更高的注意力, 故时间较长。消除此处瓶颈的方法是, 将此工位与所需时间较短的工位零件重新组合。从表中可看出, C1C9 和 C5C7 所用时间最短, 为 3.3 s。再分析工艺流程 (图 2), 发现这些零件的装插没有直接的先后顺序要求, 故可以进行重排。重排后为 R3C5, R4C7, R5C1, R6C9, 所用时间为 4.3 s。到此, 原瓶颈被消除, 新瓶颈为 4.8 s。重算线平衡率为 88.24%, 如图 7。需要注意的是, 这些新的组合并不一定是最终的组合, 它可能在下一轮瓶颈消除中被重新编排。

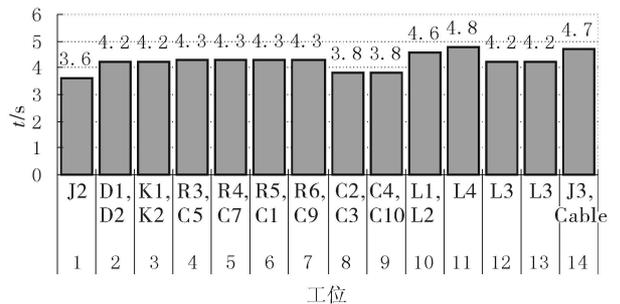


图 7 作业分解后优化平衡图

### 2) 工位调换

经过上面的重排优化后, 瓶颈工位转移到 L4 的装插。瓶颈原因是装插 L4 时受到 C1 和 C9 的阻碍。因此需要将 C1、C9 安排在 L4 的后面。也就是说, 需将前面组合好的 R5C1、R6C9 排在 L4 之后, 如图 8 对照插件工艺流程, 重排后仍然符合工艺要求。新瓶颈和线平衡率分别为 4.7 s 和 89.36%。

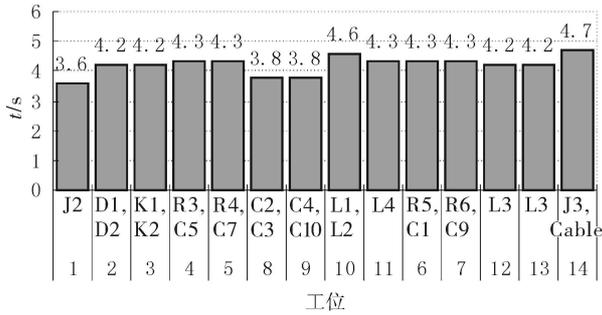


图 8 上位调换后优化平衡图

### 3) 作业共享

此时新瓶颈 (第 14 工位 J3, Cable 的装插) 与前一工位有较大时间差, 可分享作业, 也就是说第 13 工位可适当帮助第 14 工位装插 J3, Cable。作业共享后, 作业时间均变为 4.5 s。对照插件工艺流程, 此编排可行, 如图 9。新瓶颈下降到 4.6 s, 线平衡率提升到 91.46%。

因为第 12 和 13 工位都是装插 L3, 尝试把第 14 工位 J3, Cable 的装插放到第 12 和 13 工位之间。这样, 便能实现 3 个工位的作业共享, 可以进一步缩减时间。但是, 对照图 2 时发现此编排不符合生产工艺, L3 的装插必须在装插 Cable 之前完成。因此, 此编排不能采用。

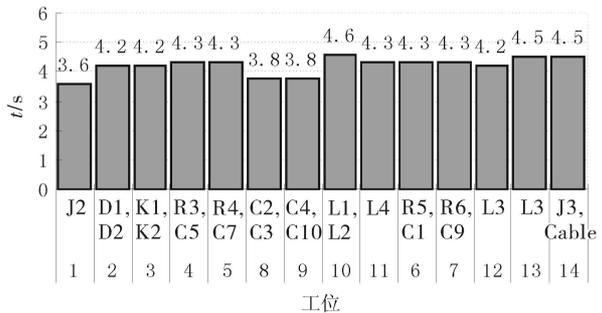


图 9 作业共享后优化平衡图

### 4) 采用熟练作业员

利用作业分解技术将第 9 和第 10 工位重排后, 第 10 工位的瓶颈得以消除。但是, 瓶颈再次回到第

14 工位 (4.5 s), 此时的瓶颈已难以消除, 可以采用熟练作业员来操作此工位, 使此工位作业时间降至 4.3 s, 如图 10。

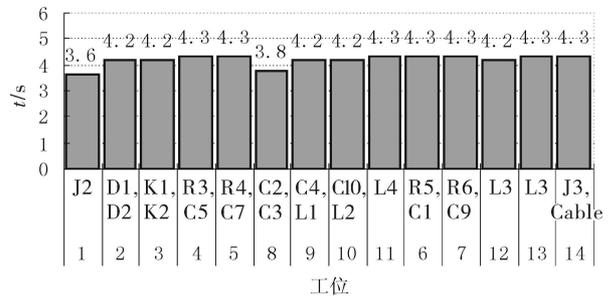


图 10 采用熟练作业员后优化平衡图

从上面的这些例子可以看出消除瓶颈的步骤:

- 1) 找出瓶颈;
- 2) 分析原因;
- 3) 采用取消、合并、重排、简化四大原则以及作业分解、工位调换等方法消除瓶颈;
- 4) 根据工艺流程确认是否可行。如此类推, 直到瓶颈时间无法降低为止。

经优化, 改进后总时间 (各工位操作时间之和) 比改进前减少了 1 s (59.5~58.5)。说明安排较之前合理, 且整体劳动强度有所降低。更重要的是其瓶颈所用时间由 5.5 s 降到 4.3 s, 平衡率也由原来的 77.27% 提高到 97.18%, 使生产效率得以提高。

## 4 结论

综上所述, 这些改善行动的效果相当明显并产生可观的经济效益, 因此工业工程在企业中的重要性可见一斑。现国内企业对工业工程的运用仍处于起步阶段, 还需进一步推广和运用, 以发挥更好的效果。

### 参考文献:

[1] 赵景华. 现代工业工程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996: 305-306

[2] 程灏. 工业工程导论 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 71

[3] 周信侃, 姜俊华. 工业工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1995: 59-60

[4] 张树武. 工业工程导论 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 289

[5] 张文, 聂云楚. 高效率生产方式 [M]. 深圳: 海天出版社, 2002

[6] 文放怀. 生产效率改善工具 [M]. 广州: 广东经济出版社, 2005: 12-13