



西南科技大学

Southwest University of Science and Technology

“IE亮剑”

## 全国工业工程应用案例大赛

参赛题目：G公司某家电产品生产线改善案例

指导教师：石宇强

参赛人员：王春月      杨鹏飞

胡进强      胡 克

参赛单位：西南科技大学

## G 公司某家电产品生产线改善案例

**摘要：**针对 G 公司某家电产品产能不能满足订单需求、利润空间越来越小的情况，应用基础 IE 技术对该产品的生产线进行初步分析，运用基于达宝易的工作研究方法（工具）及 Flexsim 仿真软件对其进行深入分析，识别并确定瓶颈问题；提出了取消部件生产线，将其合并入总装生产线的改善方案。通过生产线平衡方法，重排工艺流程；并运用达宝易软件对关键工序进行动作研究，改进工具、现场布局，以达到简化的目的。最后，运用 Flexsim 软件对最终方案进行评估、修正、优化。经过试运行，结果表明：提高产能达 18%，节约在制品储存空间 1375 m<sup>2</sup>，节约人员 44 人；提高企业利润达 63 万元/年。该案例将基础 IE 方法与计算机辅助分析软件、现代仿真方法相结合解决生产系统优化问题，全新诠释了 ECRS(取消、合并、重排、简化)。同时对 IE 在国有企业的深入推广与应用的出路策略做了一定的探索与实践。

**关键词：** 生产线    改善    工作研究    达宝易    Flexsim 仿真

---

# 目录

一、案例背景.....	4
二、现状分析.....	4
2.1 机顶盒生产线流程分析.....	4
2.2 达宝易工作研究及基础 IE 数据库的建立.....	5
2.3 生产线仿真分析.....	8
2.4 生产线存在的主要问题分析.....	10
三、改善过程.....	10
3.1 生产线合并.....	10
3.2 关键工位优化及线平衡.....	12
3.2.1 关键工位优化.....	12
3.2.2 线平衡.....	13
3.3 工具的改善.....	16
3.4 方案仿真分析及评估.....	17
四、实施及效果评价.....	18
4.1 实施方案情况.....	18
4.2 应用效果.....	19
五、总结.....	19
参考文献.....	20
附录 1.....	21

一、案例背景

G 公司是一家以生产家电产品为主的国有企业，主营业务包括有线、卫星、地面波数字电视机顶盒产品和数字电视增值业务应用系统等。 公司现已成为国内最大的机顶盒提供商之一。

数字电视机顶盒（图 1-1）是一种将数字电视信号转换成模拟信号的变换设备，是数字电视的重要硬件之一。随着数字电视在全球范围内的快速发展，数字电视机顶盒也凸显出了更加广阔的发展空间。

自 2004 年起，中国加快了数字电视的发展步伐，2010 年，中国有线数字机顶盒市场规模将突破 1 亿台。

因数字电视机顶盒的芯片核心技术把持在国外厂商手中，所以造成了国内厂商只能从生产方面盈利的现状，但是随着国内机顶盒厂商之间的竞争愈加激烈，竞争模式已经从单纯的产品、技术、服务竞争转向合作模式的竞争，从占据 90%市场的基本型机顶盒来看，每台价格已从原来的 700 元降至 300 元以下，显然薄利多销这条道路在市场竞争中已然越来越窄，厂商之间的竞争将演变成为成本的竞争，因此，对各机顶盒生产厂商而言，建立一个高效、灵活、节约的生产系统势在必行。

另外，目前 G 公司生产厂总装生产线 UPH（unit per hour/每小时产能）为 212 台每小时，按 7 条总装生产线每天生产 8 小时，每月生产 20 天计算可知，其实际年产能为 280 余万台；根据 G 公司销售部门预测，2009 年 G 公司预计订单产量达 330 余万台，生产能力不能满足订单所需。

因此 G 公司生产厂急需提高其生产能力，降低成本，缩短提前期（lead time）才能在激烈的市场竞争中取得更多利润。本改善例案正是针对该公司机顶盒生产线的产能升及成本压缩等问题而提出的，应用 IE 解决之。

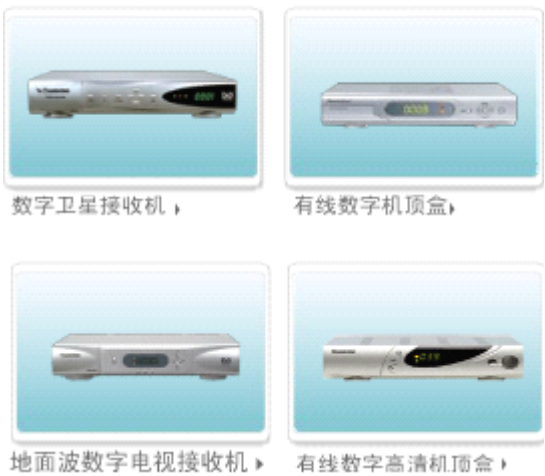


图 1-1 各种型号机顶盒

二、现状分析

2.1 机顶盒生产线流程分析

机顶盒装配 BOM 如图 2-1 所示，G 公司内车间布局及物流线路图如图 2-2 所示（以四线为中心）。

G 公司生产厂主要部门有：原材料库、机芯加工车间、部件加工车间、总装加工车间、

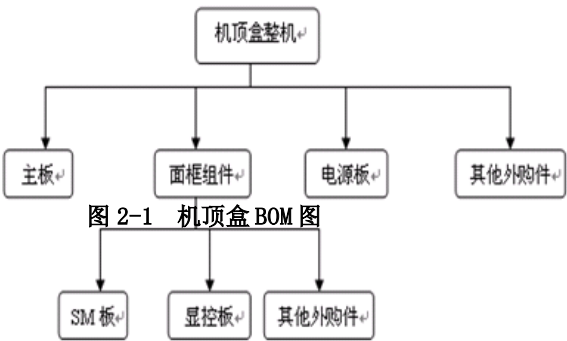


图 2-1 机顶盒 BOM 图

成品库、老化车间、机芯库、部件库、PCB 板存放区。

各生产部门的情况简要说明如下：

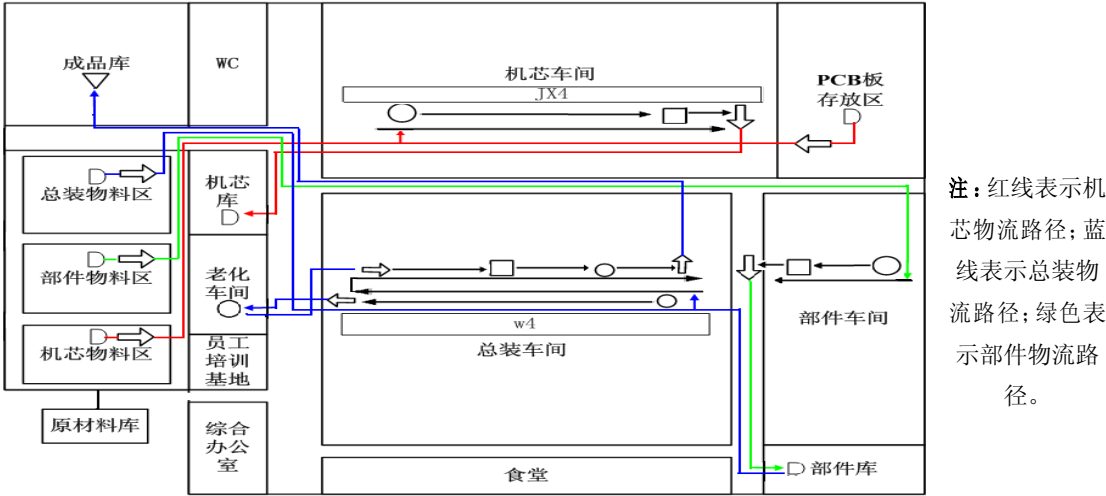


图 2-2 G 公司布局及物流关系图

(1) 原材料库包括总装物料区、部件物料区、机芯物料区。主要存放各线生产所需的原材料。PCB 板是机芯生产线原材料之一，但由于其价格昂贵且易损坏，所以将 PCB 板存放区放在离机芯车间较近的区域由各线班组长自行管理。

(2) 机芯加工车间有生产线 7 条，该车间主要负责将电容、电阻等外购小元件组装成主板、电源板、显控板与 SM 板，加工完成后存放入机芯库。

(3) 部件加工车间有生产线 7 条，该车间主要负责将前面框、显控板、SM 板及相应外购物料组装成面框半成品，加工完成后存放入部件库。

(4) 总装加工车间有生产线 7 条，总装车间整机组装，最后经过厂检将成品存放入成品库，之后由销售部门将整机根据订单分送给各个经销点。

(5) 老化车间主要负责在总装生产的过程中对半成品进行老化处理，老化时间 45min。为更深入的分析 G 公司生产存在的问题，对各生产车间进行流程程序分析，如表 2-1。

根据表 2-1 并结合图 2-2，通过分析，发现公司存在以下主要问题：在整个 35 次作业活动中，搬运的次数就达到了 16 次，占整个作业活动的 45.7%，且物料在搬运过程中往返现象严重，造成不必要的搬运等待；产品生产周期过长，从原材料出库，到成品入库要 11558s，即 3.2 小时。

## 2.2 达宝易工作研究及基础 IE 数据库的建立

为了更进一步的了解各生产线的运作情况，使用录像设备全程拍摄一个产品的生产过程，然后使用达宝易（工作研究分析软件）对各个工位进行工时统计，同时又使用秒表测时方法测量了部分工位，发现其测量数据与达宝易分析的工时结果前后误差只有 5%，因此最终使用达宝易分析的工时结果进行工作研究。达宝易分析界面如图 2-3 所示。

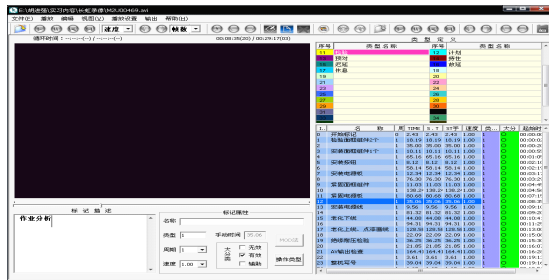











图 2-3 达宝易分析作业时间界面图

表 2-1 流程程序分析

流程图图号：工作对象：方法：物料型01G 公司生产厂数字电视机顶盒现行方法				统计					备注
				活动		次数	时间/S	距离/M	
				加工		13	4314		
				搬运		16	1605	1365	
				等待		2	5500		
				检查		3	139		
				储存		1	0		
步骤	说明	距离/M	时间/S	符号					
									
1	取机芯生产配套料	—	400	●					2 人
2	搬运至机芯生产线	110	126		●				
3	至 PCB 板存放区	22	20		●				2 人
4	备料	—	90	●					
5	搬运至机芯生产线	22	39		●				25 人
6	板件加工	—	430	●					
7	检验	—	50				●		5 人
8	运至机芯库	42	40		●				1 人
9	等待	—	500			●			
10	取 sm 板、XK 板	—	30	●					
11	搬运至部件生产线	123	100		●				
12	至原材料库	202	250		●				
13	取部件生产配套料	—	120	●					
14	搬运至部件生产线	202	240		●				
15	组装面框组件	—	140	●					9 人
16	检验	—	9				●		1 人
17	运至部件库	25	30		●				
18	等待	—	5000			●			
19	搬运至总装生产线	57	60		●				
20	至原材料库	145	150		●				
21	取总装生产物料	—	90	●					
22	搬运至总装生产线	145	200		●				
23	至机芯库	60	70		●				
24	取 ZB、DY 板	—	50	●					
25	运至总装生产线	60	80		●				
26	整机组装	—	90	●					11 人
27	下线	—	6	●					1 人
28	运至老化车间	15	20		●				2 人
29	整机老化	—	2700	●					
30	运回总装线	15	30		●				1 人
31	上线	—	13	●					

32	检验	—	80				●		6 人
33	整机包装	—	125	●					10 人
34	运至成品库	120	150		●				
35	储存	—	—					●	

通过运用达宝易对机芯生产线生产的主板、电源板、显控板、SM 板以及部件线生产的面框部件总装线组装的整机进行工时分析后，建立起了 IE 基础数据库的基本内容，即标准工时。同时根据基础数据计算线平衡率、产能如图 2-4、2-5。

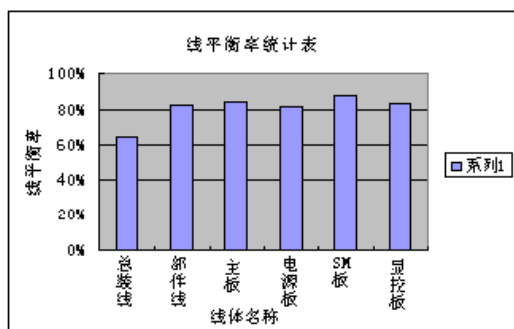


图 2-4 线平衡率统计图

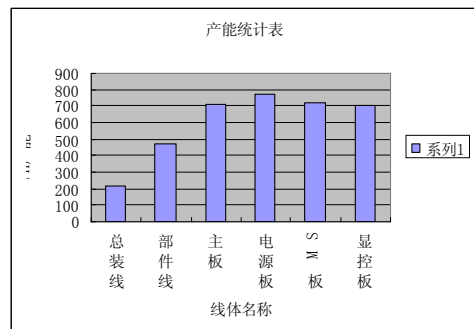


图 2-5 产能统计图

根据图 2-4、2-5 分析可知，机芯线（七条线共同生产四种板件）的产能与平衡率均处于比较高的水平，且生产线类型相同，可以根据实际需要协调生产，因此可以满足生产需要。而总装线产能 212 件/小时，部件线产能 470 件/小时，相差悬殊，若部件线长期运行下去，必将会造成大量的在制品积压，管理费用以及占用资金的增加。因此本案例主要针对部件生产线与总装生产线进行分析研究，工时如表 2-2、2-3。

表 2-2 部件生产线工时

产品标准工时与产能				
车间：	网络公司	产能计算基准	目标产量：	2000
产品名称：	DVB-C8800JLD		日工作时间：	8 小时
			产能	470
工位	生产线	标准工(秒/人. 件)	产能(件/人. 小时)	现实人数
前面框检查及上线	部件线	6.04	596	1
安装透光板	部件线	5.45	661	1
贴铭牌	部件线	7.54	477	1
贴铭牌	部件线	7.53	478	1
安装按键和显控板	部件线	7.66	470	1
安装 S M 板，紧固	部件线	7.25	497	1
紧固显控板	部件线	7.70	468	1
紧固显控板	部件线	7.09	508	1
总检	部件线	7.50	480	1
下线	部件线	7.23	498	1

合计	10
----	----

表 2-3 总装生产线工时

产品标准工时与产能				
车间：	网络公司	产能计算 基准	目标产量：	2000
产品名称：	DVB-C8800JLD		日工作时间：	8 小时
			产能	212
工位	生产线	标准工(秒 /人. 件)	产能(件/人. 小时)	现实 人数
底板、后面板上线	总装生产线	7.43	485	1
主板、SM 板上线	总装生产线	8.46	426	1
紧固 AV	总装生产线	9.00	400	1
紧固主板	总装生产线	9.00	400	1
紧固下 SM 板	总装生产线	9.00	400	1
电源板上线、插下 SM 板与 XK 板带线	总装生产线	13.21	273	1
面框组件上线及紧固与安装电源板	总装生产线	9.00	400	1
紧固电源板	总装生产线	11.63	310	1
安装、整理电源线、插电源板带线	总装生产线	12.15	296	1
老化下线	总装生产线	4.63	778	1
老化上线、点漆划线	总装生产线	8.64	417	1
绝缘耐压检验	总装生产线	11.64	309	1
整机写号与 MAC 号	总装生产线	12.98	277	1
银行卡检查	总装生产线	13.58	265	1
核对 MAC	总装生产线	13.40	269	1
S 端子输出、按键检查、出厂设置	总装生产线	11.07	325	1
AV 输出检查、IC 插卡	总装生产线	16.98	212	1
盖板上线	总装生产线	15.24	236	1
紧固盖板	总装生产线	8.50	215	2
总检	总装生产线	12.36	291	1
粘贴合格证、粘贴机码、固定条形码	总装生产线	7.42	485	1
整机入袋及封袋整理电源线	总装生产线	9.53	378	1
纸箱成型及上线、安装把手	总装生产线	12.10	298	1
卡左右寸垫	总装生产线	10.91	330	1
装遥控器、贴标签	总装生产线	11.82	305	1
装附件	总装生产线	12.20	295	1
封彩箱、条形码下线	总装生产线	9.70	371	1
封大包	总装生产线	7.58	475	1
合计				29



### 2.3 生产线仿真分析

根据以上分析可以初步了解到部件与总装生产线存在的问题，为了从定量的角度深入分析生产线，建立其仿模型，运用 flexsim 对生产线进行仿真。将达宝易录像分析得到的总装与部件各工位工时，如表 2-2、2-3，导入 flexsim 仿真系统建立部件、总装生产线的仿真模型如图 2-6，运用实验控制器设置仿真时间为 30 个工作日，其中工作时间按每天工作 8 小时计算，生产线仿真运行透视图如图 2-7，同时分析部分工位（实体）的 Processing 和在制品的等待概率，如下图 2-8、图 2-9 所示。

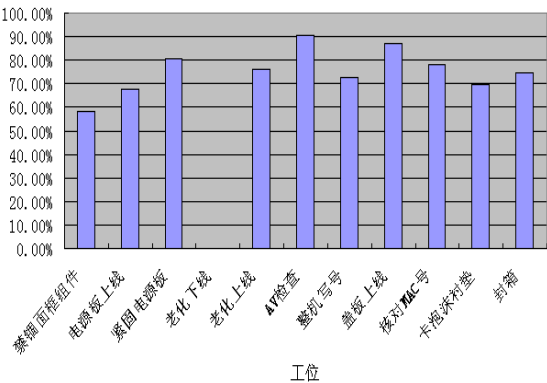
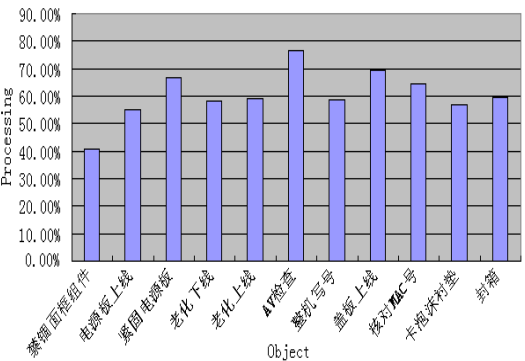
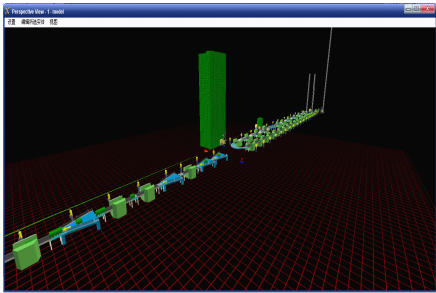
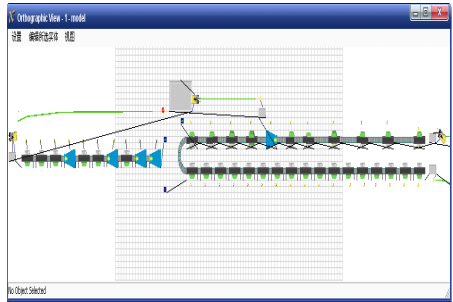


图 2-6 部件、总装生产线模拟仿真

图 2-7 系统仿真透视图

图 2-8 部分工位的 Processing 图

图 2-9 在制品等待概率图

根据系统运行效果，结合图 2-8、图 2-9 分析可知：总装线与部件线中设备利用率最高的工位是“AV 输出检查”和“盖板上线”，而在这两个工位之前的在制品等待概率最高，从而论证出这两个工位是整条生产线的关键工位，具体状态如图 2-10、2-11 所示。

而由前面分析得知部件线的产能远大于总装线的产能，将造成部件的大量积压，通过仿真部件线运转一个月得知部件库的状态图如图 2-12, 通过图可以看到积压在制品数量为 61305 件，在制品的积压将造成资金的大量积压以及管理费用的增加，所以取消或者是尽量

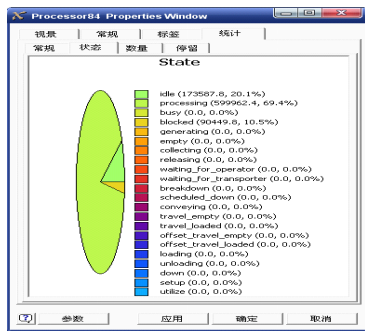


图 2-10 AV 输出检查

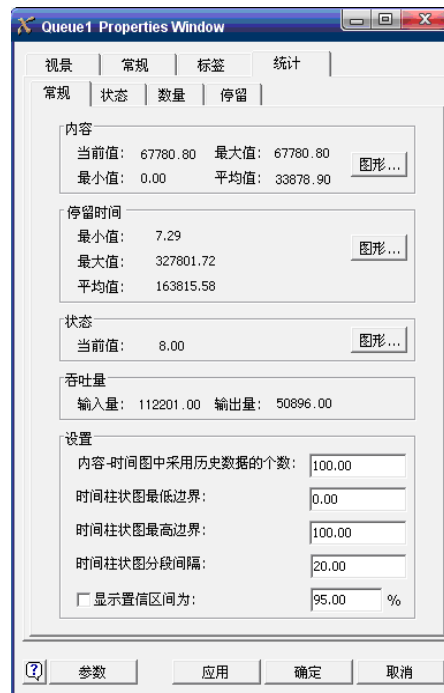


图 2-12 暂存区属性图

图 2-11 盖板上线

## 2.4 生产线存在的主要问题分析

根据上述对现状的分析可知，公司主要存在如下问题：

- 一、 部件线的产能（470 件/小时）和总装线的产能（212 件/小时）不平衡；
- 二、 车间内物流路线折返次数过多，生产周期长（3.2 小时/件）；
- 三、 总装生产线平衡率低，仅达到 64.28%，AV 检查（16.98s）和盖板上线（15.24）这个关键工序影响生产效率。

针对问题点一，提出两个解决方案：（1）提高总装生产线的产能，使其与部件线相协调。（2）降低部件线的产能，使其与总装线相协调。首先经过调查，由于总装生产线在转弯处有一个升降机，其每次的运转时间为 11.7s，其产能最高只能达到 307 件/小时，而且 470 件/小时的产能机芯生产线也是没有办法满足的。因此只能考虑降低部件生产线的产能，把部件线合并到总装线上来生产，达到零库存的目的。

针对问题点二运用 ECRS 四个原则、五个方面和 5W1H 六大提问技术进行定性分析，制定提问分析表 2-4 如下：

表 2-4 提问分析表

问	答
---	---

机芯生产车间的机芯生产线能否合并到总装生产车间的总装线一起同步生产？	不能，因为机芯是生产各种板件的，所用生产线是直线型插件线。而且无论是总装移至机芯还是机芯移至总装，生产线的长度都不能满足需求
取并搬运机芯生产配套料完成后，为何又要取 PCB 板料	PCB 板和机芯生产配料不在同一个库房，PCB 板单独存放
可否将原材料库的机芯配料区，与 PCB 板暂存区合并	可以
板件加工后一定要检验	为了保证质量，检验时必要的
为何机芯生产的板件要运至机芯库等待	机芯加工车间的生产效率比总装生产车间效率高
可否取消运至机芯库等待	可以，提高总装线的生产效率或者降低机芯线的生产效率
部件加工车间的部件能否合并到总装生产车间的总装线一起同步生产	可以，因为总装生产线和部件生产线所用线体类型相同都是环形总装线。而且部件生产线只有十个工位，只占用了生产线的 1/3，总装生产线又恰好有剩余，因此可行。
总装车间到原材料库的距离远，物流量大，可否重排总装车间的位置或原材料库的位置	可以，原部件生产线占用的空间和部件库占用的空间可以作为原材料库中总装物料区的库房。

根据分析将原材料库中总装物料区和部件物料区移动到原部件生产线的区域，缩减搬运距离；机芯物料区移动到 PCB 板存放区，减少移动距离和不必要的移动路线。

针对问题点三，利用动作经济原则采用动作分析的方法对关键工位进行优化，然后对合并后的生产线做线平衡方案。

## 三、改善过程

### 3.1 生产线合并

根据问题分析得出的解决方案一，将部件线合并到总装生产线上来，重排原材料库的布局。具体实施步骤如下：

（1）实施步骤 1：先通过人因工程学中关于人体作业尺寸的规定，确定出标准作业尺寸，根据计算得出总装生产线长度能够满足部件生产线各工位插入所需，从而取消了原部件生产线的生产区域面积与部件库内在制品的积压，达到部件、总装同线同时生产的目的。部件生产线合并到总装生产线简易过程如图 3-1。

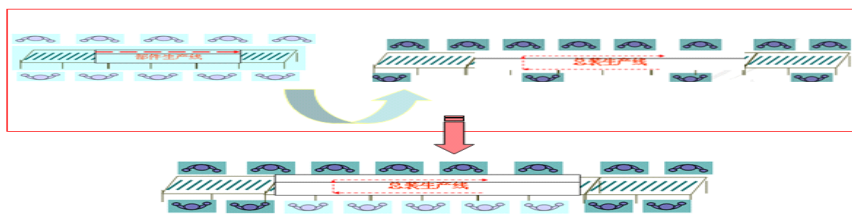


图 3-1 改善前后效果简易对比图

根据国家标准 GB10000-88 与人因工程学中对于成年人人体尺寸如表 3-1 确定人体作业尺寸。其中 G 公司电子产品的生产属于是较精密类型，且线上作业人员以女子为主，在人体作业时手臂的作业范围在  $0\sim 45^\circ$ ，所以成年女子的最佳人体作业尺寸计算如下：

$$\begin{aligned}
 \text{最佳人体作业尺寸} &= \text{最大肩宽} + 2 \times \text{上臂长} \times \sin 45^\circ \\
 &= 0.438 + 2 \times 0.308 \times 0.85 \\
 &= 0.9616\text{m}
 \end{aligned}$$

计算出每名成年女子的标准作业尺寸是 0.9616m，原面框组件上线工位所在生产线共有 11 个工位，则将部件线人员 10 人挪过来后，按照标准作业尺寸可得出占生产线的尺寸为 19.232m，而总装生产线的实际尺寸为 43.44m，标准后的作业空间足够满足生产线正常生产的要求。

表 3-1 成年人人体主要尺寸

我国成年人人体主要尺寸(mm)及体重(kg)								
图 序	标号	测量项目	男性(18~60)			女性(18~55)		
			5%	50%	95%	5%	50%	95%
图 13.2(a)	1	身高	1583	1678	1775	1484	1570	1659
	2	眼高	1474	1568	1664	1371	1454	1541
	3	上臂长	289	313	338	262	284	308
	4	前臂长	216	237	258	193	213	234
	5	大腿长	428	465	505	402	438	476
	6	小腿长	338	369	403	313	344	376
	7	足宽	88	96	103	81	88	95
	8	头最大宽	145	154	164	141	149	158
	9	头全高	206	223	241	200	216	232
	10	最大肩宽	398	431	469	363	397	438

- (2) 实施步骤 2：将部件线合并到总装线后，拆除部件线。
- (3) 实施步骤 3：将原材料库中总装物料区和部件物料区移动到原部件生产线的区域，从而缩减搬运距离。
- (4) 实施步骤 4：将机芯物料区移动到 PCB 板存放区，减少移动距离和不必要的移动路线。改善后现场布局图与物流路径如下（图 3-2）所示：

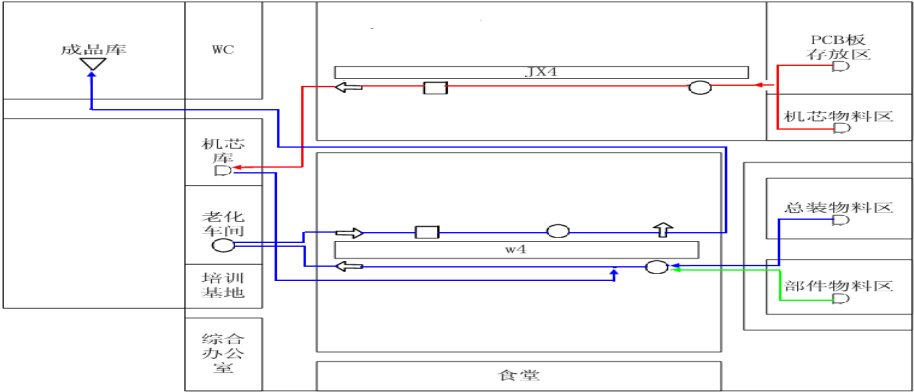


图 3-2 改善后现场布局图

## 3.2 关键工位优化及线平衡

### 3.2.1 关键工位优化

已知目前 G 公司总装线产能低的主要原因是关键工位工时过长，造成生产线上在制品数量过多，生产效率低。所以，要提高产能，必须找出并消除关键工位中的无效动作，而达宝易软件在分析无效动作方面无疑是做到最好的，它的优点主要在于它可以对作业现场进行录像，从而详细的、反复的、以更慢的速度分析，当我们划分动素时需考虑动作经济原则，使得生产线以最有效的方式在最短时间达到最高的产能。

现状分析中获知，“AV 输出检查”与“盖板上线”是总装线的关键工位，优化前工时分别为 16.98s、15.24s，将关键工位录像导入达宝易即可进行动素分析。

首先分析“AV 输出检查”，在录像输入后，在经过详细的观察与改正后，获得各动素时间及其类别，并且软件自动得出各动素时间，如图 3-3 所示，从图中可以看出该工位作业

时间由以前的 16.98s 减少到 14.27s。

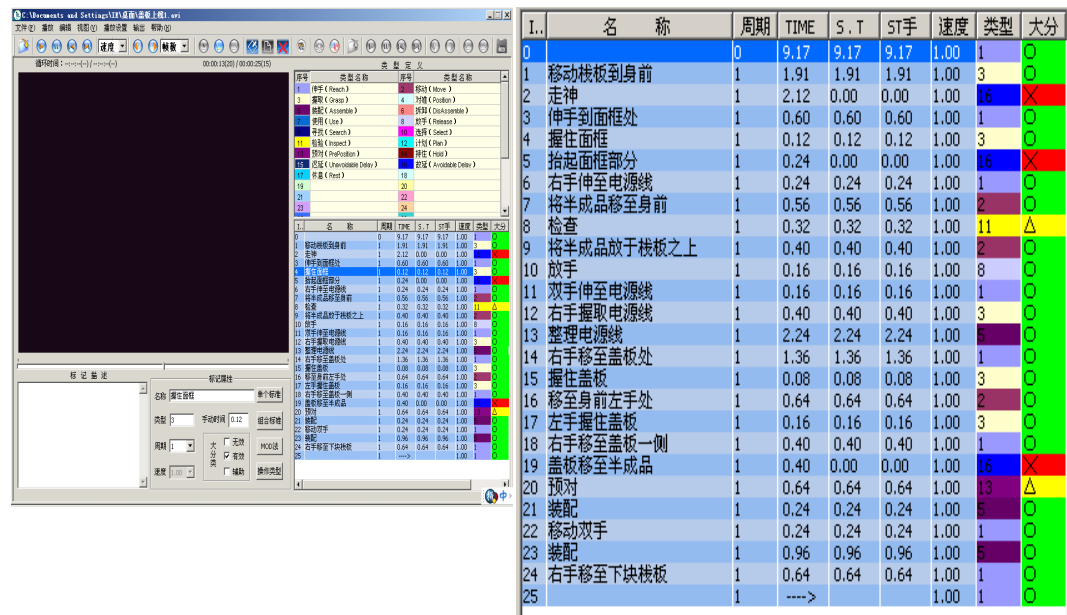


图 3-3 AV 输出检查动素分析结果

在利用达宝易划分动素后，输出统计报表，得到“AV 输出检查”中三大动素在改善前后所占有的比例，如图 3-4，改善前无效动素比例高达 15%，通过达宝易分析改善后消除了无效动素，大大提高了工人作业效率。

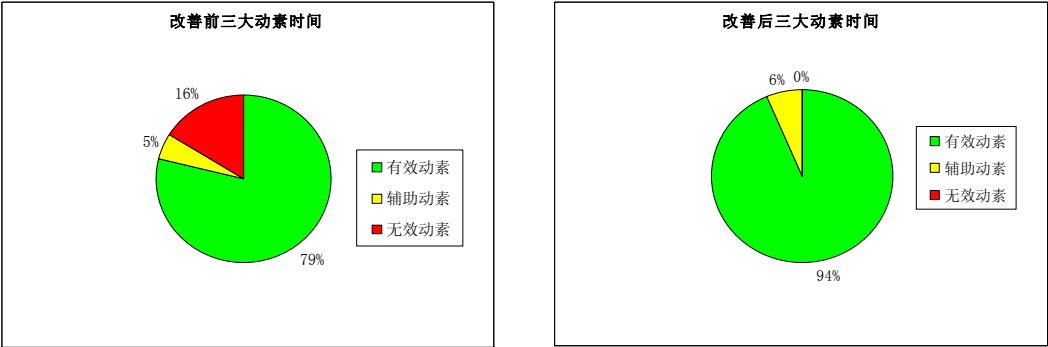


图 3-4 改善对比分析

其次分析“盖板上线”，分析过程与“AV 输出检查”完全相似，分析结果如图 3-5 所示，从图中可以看出该工位作业时间由以前的 15.24s 减少到 12.47s。

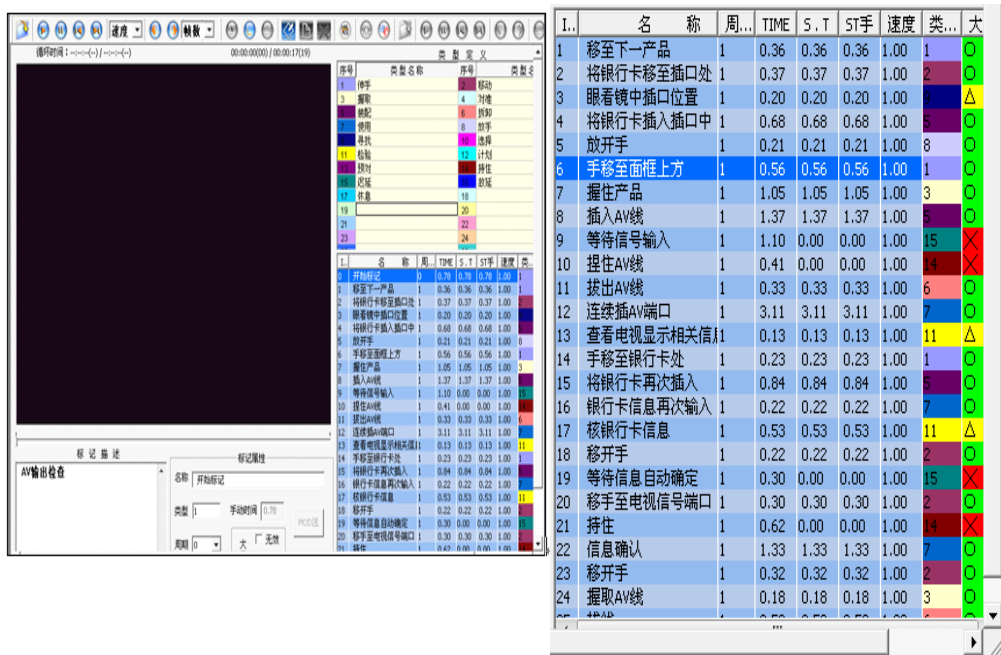


图 3-5 盖板上线动作分析结果

在利用达宝易划分动素后，输出统计报表，得到“盖板上线”中三大动素在改善前后所占的比例，如图 3-4，改善前无效动素比例高达 18%，通过达宝易分析改善后消除了无效动素，大大提高了工人作业效率。

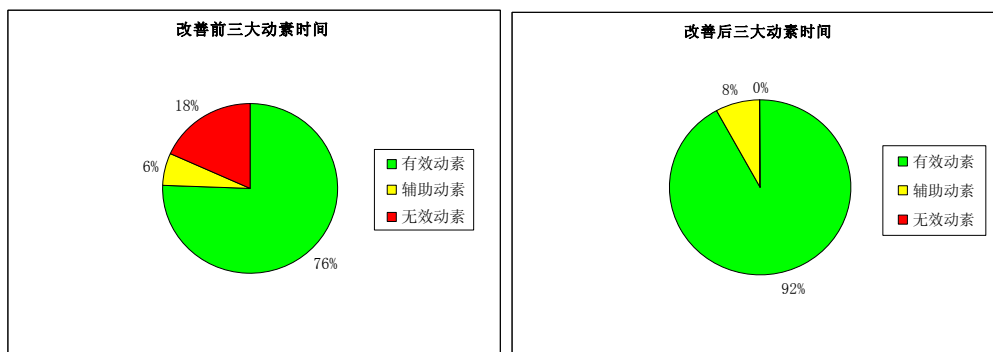


图 3-6 改善对比分析

通过达宝易进行动素分析取得的效果十分的明显，使得总装线关键工位时间都减少了，如表 3-2，使得瓶颈工位时间由 16.98s 降至 14.27s，产能从 212（件/小时）提高到 252（件/小时），达到了预期目的。

表 3-2 改善前后对比

关键工位	改善前时间/S	改善后时间/S	减少时间/S
AV 输出检查	16.98	14.27	2.71
盖板上线	15.24	12.47	2.77

### 3.2.2 线平衡

继将部件线合并入总装线和关键工位优化后，通过线平衡方法重新分配各工位的任务，并对工序进行重排，提高线平衡率。从现状分析得知，原总装线和原部件线的线平衡率分别为 64%、82.47%，在部件线合并入总装线后，从表 2-2 中可以看到，部件线各工位工时小于总装线各工位平均工时，合并后的线平衡率将低于 64%，而在关键工位优化后，瓶颈工位时间降低了，但是线平衡仍不高，线平衡重排。

首先绘出整机的装配逻辑图，如图 3-7，运用线平衡分析设计方法对合并后的线体进行工位重排。其次线平衡重排需要将每个工位细化到操作，具体细化时间如表 3-3，结合整机装配逻辑关系图，运用以下三个规则进行重排：

- 规则一：按后续作业数量最多规则优选安排作业。
- 规则二：按作业时间最长规则优先安排作业。
- 规则三：按作业元素时间与后续作业时间的总和最大规则优先安排作业。

表 3-3 操作单元时间表

操作元素	操作时间/S	操作元素	操作时间/S
底板、后面板安装上线上线	7.43	点漆划线	5.55
上主板	5.42	插电源线通电及检验	8.16
上 SM 板	3.04	插电源线至栈板	1.82
打 AV 螺钉 3 颗	9.00	开面框小门	1.66
打主板螺钉 3 颗	9.00	整机写号与 MAC 号	12.98
打 SM 螺钉 3 颗	9.00	银行卡检查	13.59
面框上线	3.25	核对 MAC 号	13.40
贴标签	4.50	S 端子输出、按键检查、出厂设置	11.07
贴铭牌 2 张	21.00	AV 输出检查	16.98
贴透光板	9.00	盖板检查上线	15.24
安装按键	3.37	打盖板螺丝 4 颗	17.00
安装显控板	6.07	总检	12.36
安装 SM 板	3.01	粘贴合格证	2.04
打上 SM 板螺丝 2 颗	6.00	粘贴机码	2.25
打 XK 板螺丝 6 颗	12.00	固定条形码	3.13
总检面框组件	8.85	整机入袋	3.73
插 SM 板上的红色带线	8.01	封袋整理电源线	5.80
安装面框组件	3.60	纸箱成型及上线	9.05
插下 SM 板的白色带线	4.16	安装把手	3.05



插 XK 板上的白色带线	3.34	卡左寸垫	7.61
安装电源板上按键及整体上线	3.20	卡右寸垫	3.30
打面框螺钉 2 颗	6.00	放遥控器	3.67
打电源板螺钉 3 颗	6.00	贴标签	8.15
打电源板绕夹螺钉	5.63	装说明书	6.78
插电源线	3.68	装 AV、射频线	5.42
整理电源线	5.02	封彩箱	8.50
插电源板带线	3.45	条形码下线	1.20
老化下线	4.63	贴箱子号	4.53
老化机上线	3.09	贴条形码	3.05

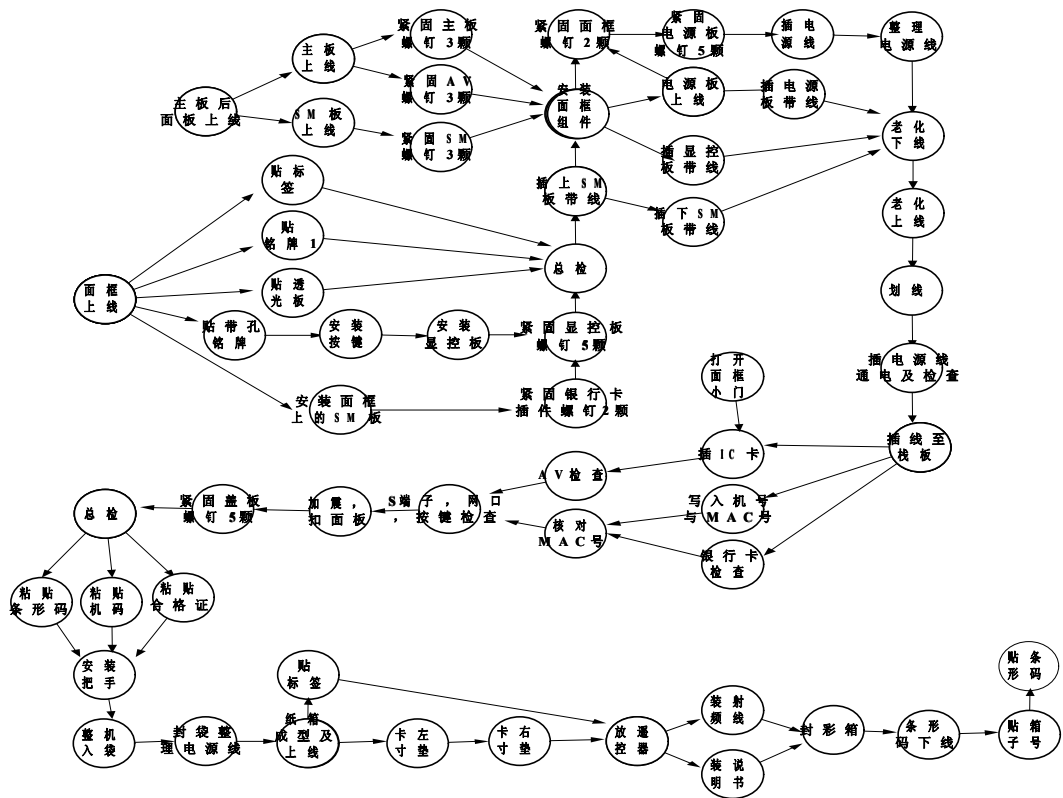


图 3-7 装配逻辑关系图

根据以上三个重排规则得出对应的重排方案 A、B、C，如表 3-4 所示，A、B、C 方案的线平衡率分别达到了 84.40%、81.05%、78.75%。

表 3-4 线平衡重排方案

方案 A			方案 B			方案 C		
工位名	工时/S	人数	工位名	工时/S	人数	工位名	工时/S	人数
底板、后面板上 线、上主板	12.85	1	底板、后面板安装 上线、SM 板上线	10.47	1	面框上线， 贴铭牌 2	13.30	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
封箱、条形码下线	9.70	1	封箱、条形码下线	9.70	1	封彩箱	8.50	1
贴箱子号、贴条形 码下线	7.58	1	贴箱子号、贴条形 码	7.58	1	条形码下 线，贴箱子 号、条形码	8.78	1

注：具体方案见附录

为了综合全面的考虑实施哪套方案，利用系统工程中关联矩阵法之一的逐对比较法进



行评价。通过 G 公司相关部门及人士讨论决定出评价指标主要为：可操作性、节省人力、产品作业周期、线平衡率。

首先将评价指标进行两两比较确定出各自在系统中所占的权重系数，如表 3-5。

表 3-5 权重系数表

评价项目	比较次数						累计得分	权重
	1	2	3	4	5	6		
可操作性	1	1	1				3	0.50
节省人力	0			1	1		2	0.33
产品作业周期		0		0		1	1	0.17
线平衡率			0		0	0	0	0.00

其次在进行系统评价之前，需要确定出相应的评价尺度，从而需要知道各评价项目的评价规格，如表 3-6。

表 3-6 评价规格表

评价尺度 评价项目	5	4	3	2	1
可操作性	非常好	好	较好	一般	差
节省人力	10 以上	6~9 人	3~5	1~2	0
产品作业周期	450 以下	451~480	481~490	491~500	500 以上
线平衡率	97%~100%	90%~96%	85%~89%	80%~84%	80%以下

评价项目实施结果如表 3-7 所示：

表 3-7 评价项目表

评价项目	可操作性	节省人力	产品作业周期	线平衡率
方案 A	好	5	475.2	84.40%
方案 B	较好	4	489.6	81.05%
方案 C	一般	3	504	78.75%

最后结合表 3-5、3-6、3-7 相关数据，利用关联矩阵法得到的最终可行性系数  $V_i$  如下表 3-8 所示：

表 3-8 关联矩阵例表

		$V_{ij}$					$V_i$
$A_i$	$W_i$	$X_j$	可操作性	节省人力	产品作业周期	线平衡率	
			0.5	0.33	0.17	0	
方案 A			4	6	4	2	4.66
方案 B			3	5	3	1	3.66
方案 C			2	4	1	1	2.49

由表 3-8 知， $V_1 > V_2 > V_3$ ，故方案 A > 方案 B > 方案 C，故本案例选择实施方案 A。

### 3.3 工具的改善

通过对生产现状进行更深入的分析，发现目前线上存在的另一个主要问题是：工具设计的不合理，如“主板上线”和“电源板上线”两个工位使用同一种使用盛放工具一晾驾车如图 3-8 所示，此处作业人员均为女子。为了利用盛放工具摆放更多的主板和电源板，将小车设计高 1.55m，长 1.20m，宽 0.80m，高于 95%四川地区女子的身高，从而造成了在作业过程中经常出现垫脚、弯腰的动作。晾驾车，总分为 20 层，每层可摆放板件 56 个，而在顶面 5 层每次拿取板件时需要垫脚，作业时间为 6s；底面 5 层每次拿取则需要弯腰，作业时间为 4s；只有中间十层每次拿取板件时较正常、舒适，作业时间为 3s。



图3-8 现用晾驾车

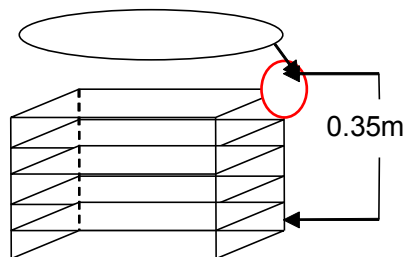


图3-9 改善晾驾车某一单元

由于该工位工人的工作量较大，加之长期处于弯腰、垫脚的状态，使工人很容易产生疲劳。对该工位进行了详细的调查分析，所以出于动作经济与不减少盛放物料的原则，设计如下改进方案：

将晾驾车自上而下载成4部分，5层为一单元，每个单元的底角均焊成圆角，方便分离，以与流水线平行的5-10层的高度为正常作业高度，在物料运送过来以后，取下上面两个单元开始作业，一单元使用完后换上其他单元，从而保证工人始终保持坐姿状态作业，在作业时只有2次更换盛放工具的操作，减少了作业人员的作业疲劳，盛放物料数量不变，达到提高效率的目的，未来设计出的晾驾车如图3-9。

通过改善，可以取得如下两方面的成效：

(1) 减少作业时间：改善后作业人员的平均作业时间均变为3s，而每次更换的时间为20s，则每车可节约时间 $(2 \times 5 \times 56 + 1 \times 5 \times 56) - 20 \times 2 = 800s$ ，整个总装车间7条线，每天要拉运2次，每月上上班时间按20天计算，由此可以推算出每年节约时间为 $(800 \times 7 \times 2 \times 20 \times 12) / (60 \times 60) = 747$ (小时)。这样整个总装车间使用晾驾车部分的作业时间平均每天可节约出3.1小时。

(2) 减少垫脚与弯腰的次数：改善后每天可减少垫脚、弯腰次数总和为 $5 \times 56 \times 1 + 5 \times 56 \times 1 = 560$ 次，则每年可减少 $560 \times 2 \times 7 \times 20 \times 12 = 1881600$ 次，大大减小了作业人员的疲劳程度。

### 3.4 方案仿真分析及评估

根据达宝易动作分析得知瓶颈工序AV输出检查、盖板上线的工时降低到14.27s和12.47s。为了能够对改善后的生产线平衡和生产效率有更透彻的分析，根据表3-6中的A方案，重新布局生产线，调整参数，同样仿真一个月，比较改善前后的生产效率，改善后总装生产线运行过程透视图如图3-10。

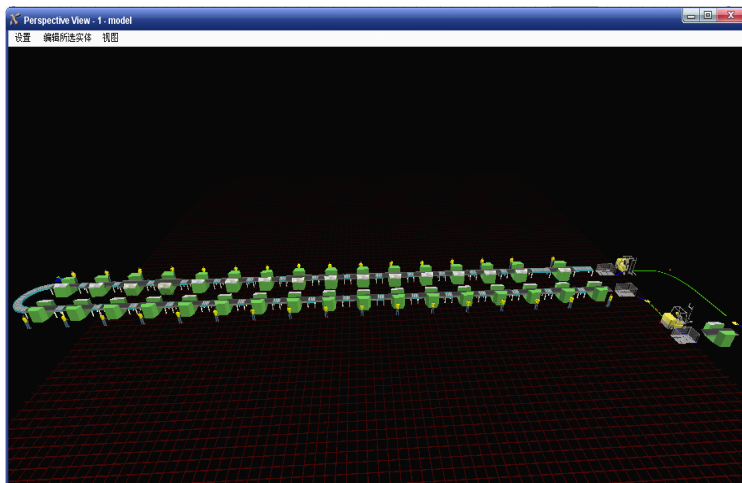


图 3-10 改善后总装生产线仿真透视图

仿真一个月后，关键工位改善后 AV 输出检查与盖板上线工位状态图如图 3-11、3-12。

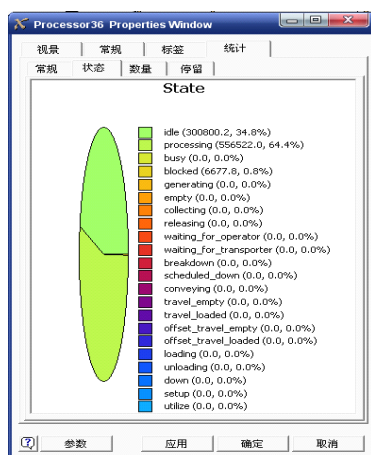


图 3-11 改善后 AV 输出检查状态图

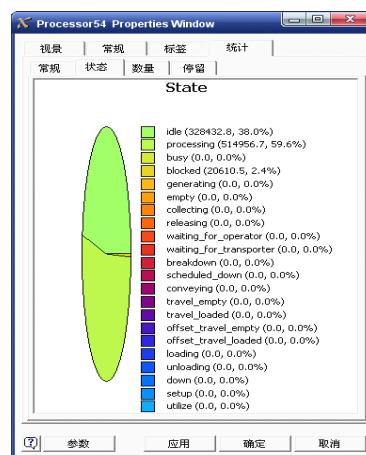


图 3-12 改善后盖板上线状态图

通过分析仿真后的状态报告得到部分工位的 Processing 图和在制品等待概率如图 3-13、3-14。

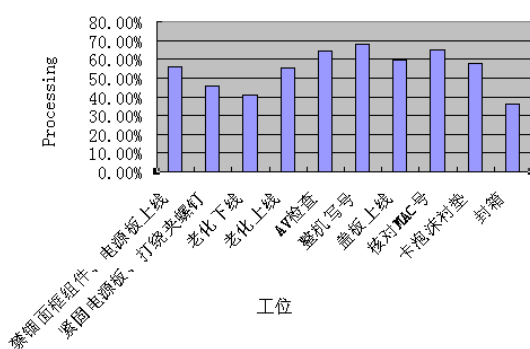


图 3-13 部分工位的 Processing 图

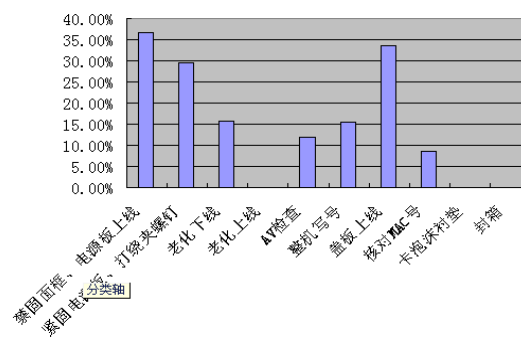


图 3-14 部分工位的改善概率图

根据仿真的结果分析可知，生产线的线平衡率由原来的 64.2%提高到 84.4%，产能由原来的每小时 212 件达到了每小时 252 件,部件暂存区的库存降为零。

## 四、实施及效果评价

### 4.1 实施方案情况

通过 G 公司相关领导审核同意，决定改善案例于 2009 年 7 月 21 日开始在 G 公司总装四线进行试运行生产。在试运行前我们首先给总装四线和部件四线的班组长开了一个会，详细的说明了此方案的内容，希望他们能够做好员工的思想工作。试运行的第一天，因为标准工作台未到位，且部件线的员工对新工作地点的不习惯和强烈的抵触情绪，此时很多员工出现了消极怠工的情况，UPH 从原来的 212 降低到了 170；试运行的第二天至一星期内，我们针对第一天出现的情况安置了标准工作台，并且与部件班的班组长又谈了一次话，了解到员工情绪问题的主要原因——担心加入其他班组会影响收入。针对这种情况，公司总经理亲自安排财务人员制定了一套新的工资核算方案，保证了员工的利益。之后的一个星期试运行非常成功，生产状况逐渐的走入正轨，我们又对现场物料进行优化，确定了新的搬运方案与物料摆放原则，将部件生产线拆除，原材料库移至 PCB 板暂存区和部件线位置。；试运行半个月以后，试运行的生产线 UPH 值均可达到 252。8 月 6 日方案正式于 G 公司内全面实施。

### 4.2 应用效果

通过对 G 公司的生产线改善，真正达到了利用最低的投入，最大限度的提高生产效率的目的，表 4-1 是本次方案的具体效果。

表 4-1 G 公司机顶盒生产改善案效果评价表

项目内容	改善前	改善后	效果	备注
产能 UPH	212	252	增加 40	
直接人力	总装线 29*7 人	33*7 人	节约 42 人	人力成本：1000 元/月 空间成本：5.78 元/m <sup>2</sup> /月  节约人力成本： (42+2)*1000*12=528000 元/年 节约空间成本： (1050+325)*5.78*12=95370 元/年 资金占用率按银行利率 2.25%计算
	部件线 10*7 人			
	部件线共 4 人			
原材料库	1050 m <sup>2</sup> 平面的 原材料存储区	无	节约面积 1050 m <sup>2</sup>	
部件 暂存区	面积 325 m <sup>2</sup>	无	节约面积约 325 m <sup>2</sup>	
	占用基金 317427 元	0	每年节约资 金 7142.11 元	
	管理人员 2 人	0	节约 2 人	
节约成本	每年减低成本=528000+95370+7142=630512 元/年			

## 五、总结

本案例综合应用基础工业工程（工作研究）、人因工程、系统工程、计算机仿真等传统 IE 及现代仿真方法，对 G 公司机顶盒产品生产线进行较系统、深入的分析，并提出了生产线合并、生产线工序重组、生产线工作地现场布局及工具的改进等可行的改善方案，最终提高了 G 公司机顶盒产品的产能，降低其成本，并一定程度上改善了工人的工作环境。该案例已在 G 公司实施，并得到公司领导及各方面人员的肯定与认可，同时成为公司 IE 应用推广的示范性典型案例。通过总结该案例，可以得到如下的思考或结论：

（1）**IE 与 IT 结合使改善更有效，工业工程的推广更深入、广泛。**本案例中，自始至终都借助于计算机技术（如辅助工作研究的达宝易分析软件、Flexsim 仿真软件及统计分析软件），实践表明这种分析更准确、更有效。另外，在案例实施过程中，与公司有关人员讨论了 ERP 实施问题，发现主要是现场的基础数据库欠缺，所以本案例通过 IE 手法建立了 IE 基础数据库：标准工时、标准人力等，这样生产计划人员等可以应用这些数据，通过 ERP 进行决策。可以说，企业要信息化，IE 先行。

（2）**系统应用 IE 手法，使“5W1H、ECRS”解决问题的方法大放异彩。**本案例借助于工业工程的各种手法（传统 IE 及现代 IE），全新诠释了 ECRS。实践表明，“5W1H 提问技术、ECRC 原则”是工业工程的重要哲理、方法与技术，结合现代仿真技术、系统工程、决策分析方法等现代 IE 手法，可以使其在改善中发挥更重要、更深入的作用，且效果明显。

（3）**IE 在国有企业的应用潜力巨大，可以选准 IE 推广的切入点（见效快的现场 IE 改善）。**通过对 G 公司的深入分析，发现现场物料摆放混乱，生产效率底下，线平衡率低，物流路径混乱，动作不经济等问题普遍存在；只要应用 IE 手段对其进行改善，取得明显效果。

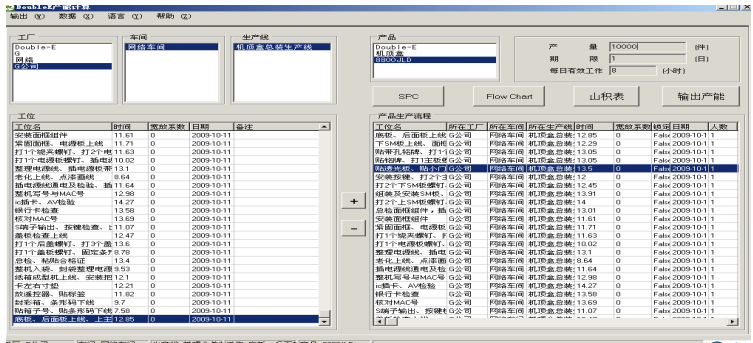
从 IE 推广应用情况分析，象 G 公司这样的国有大型企业，对 IE 的认识、掌握、应用及推广有一个过程，这个过程中必须有领导重视。而要让领导重视，必须要让 IE 见效。所以，推行 IE 的第一步可以选见效快的 IE 应用点为切入点，本案例就是针对生产线现场问题，应用 IE 的经典技术，在短期内见效，并得到认可。通过示范案例，G 公司各分厂都已提出了下一步的 IE 推行方案。目前，G 公司已成立工业工程小组，挂靠在工程技术中心，IE 的推广成功迈向了第一步。可以预言，IE 将成为 G 公司下一个增长点。

## 参考文献

- 【1】 易树平 郭伏. 基础工业工程. 机械工业出版社, 2008
- 【2】 董海. 设施规划与物流分析. 机械工业出版社, 2005
- 【3】 丁玉兰. 人因工程. 上海交通大学出版社. 2004
- 【4】 蒋祖华 奚立峰. 工业工程实践案例及方法. 北京：清华大学出版社.
- 【5】 汪应洛. 系统工程. 机械工业出版社. 2008.

附录 1

达宝易中的产能计算功能可以将改进后的工时以山积表的形式输出，并自动计算出线平衡率，运用界面如图，改善后最佳方案 A、B、C 的相关数据如表所示



方案 A 产品标准工时与产能				
车间：	网络车间	产能计算 基准	产量：	2016
产品名称：	8800JLD		日工作时间：	8h
工位	生产线		瓶颈产能	252
		标准工时(秒/人, 件)	产能(件/人, 小时)	现实人数
底板、后面板上线、上主板	总装生产线	12.85	280	1
下 SM 板上线、面框上线、打 2AV 螺丝	总装生产线	12.29	293	1
贴穿孔铭牌、打 1 个 AV 螺钉	总装生产线	13.05	276	1
贴铭牌、打 1 主板螺钉	总装生产线	13.05	276	1
贴透光板、贴小门标签	总装生产线	13.50	267	1
安装按键、打 2 个主板螺钉、打 1 个下 SM 板螺钉	总装生产线	12.00	300	1
打 2 个下 SM 板螺钉、安装显控板	总装生产线	12.45	289	1
组装及安装 SM 板、打 2 个显控板螺钉	总装生产线	13.91	259	1
打 2 个上 SM 板螺钉、打 4 个显控板螺钉	总装生产线	14.00	257	1
总检面框组件，插带线	总装生产线	13.01	277	1
安装面框组件	总装生产线	11.61	310	1
紧固面框、电源板上线	总装生产线	11.71	307	1
打 1 个绕夹螺钉、打 2 个电源板螺钉	总装生产线	11.63	310	1
打 1 个电源板螺钉、插电源线、插显控板上的白色带线	总装生产线	10.02	359	1
整理电源线、插电源板带线、老化下线	总装生产线	13.10	275	1
老化上线、点漆画线	总装生产线	8.64	417	1
插电源线通电及检验、插电源线至栈板、开面框小门	总装生产线	11.64	309	1
整机写号与 MAC 号	总装生产线	12.98	277	1
IC 插卡、AV 检验	总装生产线	14.27	252	1
银行卡检查	总装生产线	13.58	265	1
核对 MAC 号	总装生产线	13.69	263	1
S 端子输出、按键检查、出厂设置	总装生产线	11.07	325	1
盖板检查上线	总装生产线	12.47	289	1
打 1 个后盖螺钉、打 3 个盖板螺钉	总装生产线	13.60	265	1
打 1 个盖板螺钉、固定条形码、粘贴机码	总装生产线	8.78	410	1
总检、粘贴合格证	总装生产线	13.40	269	1
整机入袋、封袋整理电源线	总装生产线	9.53	378	1
纸箱成型机上线、安装把手	总装生产线	12.10	298	1
卡左右寸垫	总装生产线	12.21	295	1

放遥控器、贴标签	总装生产线	11.82	305	1
装 AV、射频线、装说明书	总装生产线	12.2	295	1
封彩箱、条形码下线	总装生产线	9.70	371	1
贴箱子号、贴条形码下线	总装生产线	7.58	475	1

方案B 产品标准工时与产能				
车间：	网络车间	产能计算	产量：	2016
产品名称：	8800JLD	基准	日工作时间：	8h
			瓶颈产能	252
工位	生产线	标准工时(秒/人.件)	产能(件/人.小时)	现实人数
底板、后面板安装上线、下 SM 板上线	总装生产线	10.47	344	1
上主板、打 2 个主板螺钉	总装生产线	11.42	315	1
打 3 个下 SM 螺钉、打 1 个 AV 螺钉	总装生产线	12.00	300	1
面框上线、打主板螺钉 1 颗、安装按键	总装生产线	9.62	374	1
安装 SM 板、打 2 个 XK 板螺钉	总装生产线	7.01	514	1
打 2 个 AV 螺钉、打 2 个上 SM 板螺钉	总装生产线	12.00	300	1
贴标签、安装显控板	总装生产线	10.57	340	1
贴铭牌 1、打 2 个 XK 板螺丝	总装生产线	14.05	256	1
贴铭牌 2、打 2 个 XK 板螺丝	总装生产线	14.05	256	1
贴透光板、打 2 个 XK 板螺丝	总装生产线	13.00	277	1
总检面框组件	总装生产线	8.85	407	1
插 SM 板上的红色带线、插 SM 板的白色带线	总装生产线	12.17	296	1
安装面框组件、打 2 个面框螺钉、插 XK 板上的白色带线	总装生产线	12.94	278	1
安装电源板上的按键及整体上线、打 2 个电源板螺钉	总装生产线	11.71	307	1
打电源板绕夹螺钉、打 1 个电源板螺钉、插电源线	总装生产线	12.31	292	1
老化下线、整理电源线、插电源板带线	总装生产线	13.10	275	1
点漆划线、老化机上线	总装生产线	8.64	417	1
插电源线通电及检验、插电源线至栈板、开面框小门	总装生产线	11.64	309	1
银行卡检查	总装生产线	13.59	265	1
整机写号与 MAC 号	总装生产线	12.98	277	1
AV 检验	总装生产线	14.27	252	1
核对 MAC 号	总装生产线	13.40	269	1
S 端子输出、按键检查、出厂设置	总装生产线	11.07	325	1
盖板检查上线	总装生产线	12.47	289	1
打 1 个后盖螺钉、打 3 个盖板螺钉	总装生产线	13.60	265	1
打 1 个盖板螺丝、固定条形码、粘贴机码	总装生产线	8.78	410	1
总检、粘贴合格证	总装生产线	13.10	275	1
封袋整理电源线、整机入袋	总装生产线	9.53	378	1
纸箱成型及上线、安装把手	总装生产线	12.10	298	1
卡左右寸垫	总装生产线	10.91	330	1
贴标签、放遥控器	总装生产线	11.82	305	1
装说明书、装 AV、射频线	总装生产线	12.20	371	1
封彩箱、条形码下线	总装生产线	9.70	475	1
贴箱子号、贴条形码	总装生产线	7.58	475	1

方案C 产品标准工时与产能
---------------



车间:	网络车间	产能计算	产量:	2016
产品名称:	8800JLD	基准	日工作时间:	8h
			瓶颈产能	252
工位	生产线	标准工时(秒/人.件)	产能(件/人.小时)	现实人数
面框上线, 贴铭牌 2	总装生产线	13.30	271	1
安装按键, 安装显控板	总装生产线	9.44	381	1
组装 sm 板, 安装 SM 板	总装生产线	9.91	363	1
底板、后面板安装上线上, 主板上线	总装生产线	12.85	280	1
贴铭牌 1	总装生产线	10.05	358	1
贴透光板, 贴标签	总装生产线	13.50	267	1
打 2 个上 SM 板螺丝, 打 4 个 XK 板螺丝	总装生产线	14.00	257	1
打 2 个 XK 板螺丝, 总检面框组件	总装生产线	12.85	280	1
上底板上的 SM 板, 插 (上) SM 板上的红色带线, 打 1 个主板螺钉	总装生产线	14.05	256	1
打 2 个主板螺钉、打 2 个下 SM 板螺钉	总装生产线	12.00	300	1
紧固 AV, 打 1 个 SM 板螺钉	总装生产线	12.00	300	1
安装面框组件, 安装电源板按键及上线, 打 1 个面框螺钉	总装生产线	12.31	292	1
打 1 个面框螺钉, 打 1 颗电源板螺钉, 打绕夹螺钉	总装生产线	11.63	310	1
打 2 个电源板螺钉, 插电源线	总装生产线	9.68	372	1
插 SM 板上的白色带线, 插电源板带线, 整理电源线	总装生产线	12.63	285	1
插显控板带线, 老化下线	总装生产线	7.97	452	1
老化机上线, 点漆划线, 开面框小门	总装生产线	10.30	350	1
插电源线通电及检验, 插电源线至栈板	总装生产线	9.98	361	1
银行卡检查	总装生产线	13.59	265	1
整机写号与 MAC 号	总装生产线	12.98	277	1
核对 MAC 号	总装生产线	14.40	250	1
AV 检验	总装生产线	14.27	252	1
S 端子输出、按键检查、出厂设置	总装生产线	11.07	325	1
盖板检查上线	总装生产线	12.47	289	1
打 1 个后盖螺钉, 打 1 个盖板螺钉	总装生产线	6.80	529	1
打 3 个盖板螺钉	总装生产线	10.20	353	1
总检	总装生产线	12.36	291	1
固定条形码, 粘贴机码, 粘贴合格签, 整机入袋	总装生产线	11.15	323	1
封袋整理电源线	总装生产线	5.80	621	1
安装把手, 纸箱成型及上线	总装生产线	12.10	298	1
卡左寸垫, 卡右寸垫	总装生产线	10.91	330	1
放遥控器, 贴标签	总装生产线	11.18	295	1
装说明书, 装 AV、射频线	总装生产线	12.20	424	1
封彩箱	总装生产线	8.50	410	1
条形码下线, 贴箱子号, 贴条形码	总装生产线	8.78	410	1