

文章编号:1007-5429(2006)02-0109-03

# SMT 生产线平衡的持续改善方析

兰秀菊, 陈 勇, 汤洪涛

(浙江工业大学 工业工程研究所, 浙江 杭州 310032)

**摘要:** 在分析生产线平衡原理及改善方法基础上,以计算机主板生产线的 SMT 段为研究对象,以作业测定为依据,结合生产线实际问题进行了系统分析,提出了可行的持续改进方案,并对改进前后的方案进行对比分析,达到了提升产能、优化生产线的目的,实际效果明显。

**关键词:** 生产线;作业测定;产能;平衡;工业工程

**中图分类号:** F406.2 **文献标识码:** A

## Balancing and Continuous Improvement of SMT Production Line

LAN Xiu-ju, CHEN Yong, TANG Hong-tao

(Institute of Industrial Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

**Abstract:** Based on the analysis of principle of production line balancing, this paper makes SMT production line of main board as studying object and analyzes the main factors which have effect on the line balancing. According to the production line problem in this paper, the improving solution is give with the work measurement. So the capability is promoted and the production line is improved. It proves that the improvement is obvious.

**Key words:** production line; work measurement; capability; balance

## 1 引言

生产线平衡提高产能是一个持续的过程。大量世界级的 IT 制造厂商将其全球制造基地转移至上海、苏州、杭州等地区。主板(main board, 简称 MB)虽然是一个非常成熟的产业,但是其新生产基地成立时间较短,不可能完全复制母公司的生产方式,这时非常需要工业工程师们做出不断的改善,以达到提升产能、降低成本、保证品质的目标<sup>[1,2]</sup>。主板制造皆采用流水线生产方式,进行生产线平衡与改善,对提高产能、降低成本具有重要意义。

## 2 生产线平衡原理与改善方法

由于现代的流水线生产以机械输送带流动为主,机械输送的速度也应与生产速度相适应,即有相同的节拍时间(Cycle Time, CT)、生产计划及工序作业时间应相适应,若各工序的作业时间相差太大,就会造成作业工序短的工序出现等待现象,其间存在效率损失。当工序之间的作业时间差距很小,生产中等待的时间很少,这时生产效率最高,生产线处

于平衡状态。

通过生产线平衡分析,以期达到以下目的:(1)缩短每一个工序的作业时间,提高单位时间的产量;(2)减少工序之间的预备时间;(3)消除生产线中的瓶颈、阻滞和不匀等现象;(4)改善制造方法,使它适宜于新的流水作业。

在平衡生产线时,采用 5W1H 提问技术和 ECRS 分析原则进行作业改善。对于耗时较长的工序,可采取措施为:(1)分割作业,移一部分到耗时较短的工序;(2)利用工具或机械,改善作业缩短工时;(3)提高机械效率;(4)增加作业人员;(5)提高作业人员效率或机能。对于耗时较短的作业,可以采取的措施为:(1)分割作业,填充到其他耗时短的工序,取消本工序;(2)从耗时长长的工序移一部分作业过来;(3)把耗时短的工序合并。

## 3 SMT 段生产线平衡分析

图 1 是主板的制造流程,主要分为 SMT 和 DIP 二段。在 SMT 段中,DEK 为锡膏印刷机,在印刷电路板上需用 SMT 置件位置处刷上锡膏;CP 为高速

收稿日期:2004-12-27; 修回日期:2006-01-12

作者简介:兰秀菊(1971-),女,河北沧州人,讲师,主要研究方向为工业工程。

置件机,将体积较小的卷带零件置于 PCB 板相应位置;QP 为泛用置件机,将较大体积的零件置于 PCB 板相应位置;REFLOW 为回焊炉,置件完毕的 PCB 板加热,令锡膏融化后再凝固;AOI 为自动光学检测仪,检查 SMT 制程置件位置的准确性及锡膏印刷的质量;ICT 为在线测试,分别对 PCB 板上的某个零件或某段电路进行带电测试。

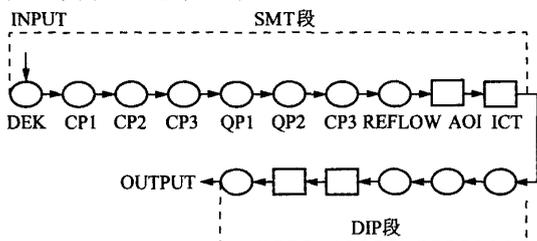


图1 主板制造流程

由于 SMT 的产能决定了整条生产线的产能,而 SMT 的产能又是由其瓶颈位元的 CT 决定的。所以设法降低 SMT 瓶颈的 CT,提高 SMT 段的平衡率,对整条生产线的产能提升具有重大意义。

### 3.1 SMT 的作业测定

经过多次测定取各工序的实际作业时间的平均值(表1所示),并由此绘制作业负荷图(图2所示)。

表1 改进前各工序实际作业测定(s)

	DEK	CP1	CP2	CP3	QP1	QP2	QP3	AOI	ICT
个数	250	280	216	13	12	7			
CT	19.68	29.39	27.25	30.96	21.15	21.17	23.17	27.03	16.85

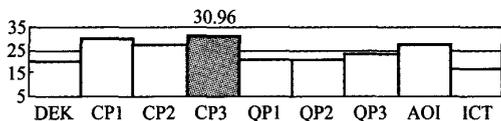


图2 改善前负荷分布

### 3.2 产线负荷分析

生产不平衡损失时间为:

$$T = \sum (T_{max} - T_i) = 57.77s$$

平衡率 = 各工序作业时间合计 / (最长作业时间 × 总共序数) = 180.1 / [30.96 × 7] = 83.1%

生产不平衡损失率 = 1 - 平衡率 = 1 - 83.1% = 16.9%

生产不平衡损失时间为 57.77s,平衡率为 83.1%,生产不平衡损失率为 16.9%。

因此,该生产线存在较大的改进空间,同时确定瓶颈工序为 CP3。

## 4 SMT 段生产线平衡持续改善方案

### 4.1 第一次改善

整段 SMT 的瓶颈在 CP3(30.96s),而 QP 的 CT 普遍偏小,考虑将零件的分配做一下调整。由于 CP3 是整段的瓶颈,因此将 CP3 的一个大排阻和三颗大电容分别调整到 QP1 和 QP2 去打(QP3 的吸嘴比较大,专门用来打 BGA,无法分配小颗零件)。

表2为测量各工序的实际作业时间,图3为改善后的负荷分布图。改善后计算平衡率为 91.7%,生产不平衡损失率为 8.3%。

表2 第一次改善后作业时间测定(s)

	DEK	CP1	CP2	CP3	QP1	QP2	QP3	AOI	ICT
个数	250	280	212	14	15	7			
CT	19.68	28.45	27.30	28.82	25.34	25.44	23.14	26.44	16.85

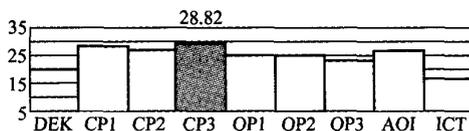


图3 第一次改善后的负荷分布

### 4.2 第二次改善

经过第一次改善后 SMT 生产线平衡率已经有改善,产能也得到提升,但是发现经过初次调整的瓶颈位元依然落在 CP3(28.82s),因此再通过零件的调整来设法降低瓶颈位元的 CT。对部分零件再次做出调整,将 CP1 的 3 颗电阻移至 CP3,再将 CP3 的一颗 IC 移至 QP1。

表3为测量各工序的实际作业时间,图4为流动作业图。改善后计算平衡率为 94.5%,生产不平衡损失率为 5.5%。

表3 第二次改善后作业时间测定

	DEK	CP1	CP2	CP3	QP1	QP2	QP3	AOI	ICT
个数	247	280	214	15	15	7			
CT	19.68	28.00	27.30	27.27	27.54	25.44	23.14	26.44	16.85

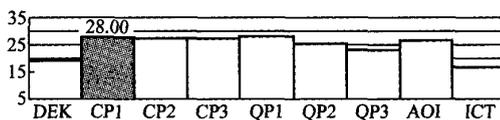


图4 第二次改善后的负荷分布

### 4.3 第三次改善

降低了瓶颈位元的 CT, 瓶颈位元已经转移至 CP1, 同时引发了一个新问题: 由于 QP 机是单 TABLE 生产, 需要停机换料; 而 CP 机是双 TABLE 生产, 无须停机换料, 为防止 QP 换料时会引起前面 CP 停机问题的发生, 在 CP3 与 QP1 之间设置了一 BUFFER 以进行缓冲。由于此步改善后 QP1 的 CT 已经达到了 27.54s, 其值与 CP1 的 CT 28.00s 几乎相等, 那么, 当 QP 停机换料时在 BUFFER 中暂存的板子无法在随后正常生产时被 QP 消耗, 导致 BUFFER 空间无法释放, 失去缓冲作用, 最终导致 QP1 某些时刻成为实际瓶颈。经过对生产线的分析, 确定影响因素是 BUFFER 的进板方式。

将 BUFFER 的出板流程做如下修改: BUFFER 出板后, 等待进板, 进板后马上调整高度至下一片出板处, 但若等待 13s 还未有进板, 则自动调整高度至下一片出板处, 待 QP1 置件结束后出板。

表 4 为测量各工序的实际作业时间, 图 5 为流动作业图。改善后计算平衡率为 93.3%, 生产不平衡损失率为 6.7%。

表 4 第三次改善后作业时间测定

	DEK	CP1	CP2	CP3	QP1	QP2	QP3	AOI	ICT
个数	247	280	214	15	15	7			
CT	19.68	28.00	27.30	27.27	25.19	25.44	23.14	26.44	16.85

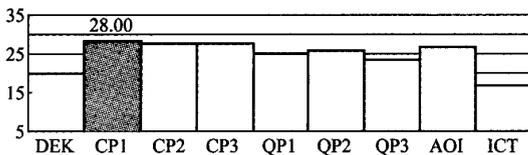


图 5 第三次改善后的负荷分布

## 5 结束语

经过三次改善, SMT 段改善前后 CT、平衡率

(上接第 108 页)

后, 企业可安排合理的设备和人员能力以提高该工序的生产能力, 从而提高企业的生产效率。

## 4 结束语

这个案例明确地告诉了我们: 除了放宽基准外, ST 的工作做起来不难, 带来的效益却可能不小, 因为它可帮助清除企业中普遍存在的各种形式的无用功和资源浪费。对不少处于困境的国有企业或生

以及产能有了很大的提高, 对比如图 6、图 7 所示。

按节拍计算每天 8 小时不间断的作业时间内, 每天 SMT 段可增产:  $(8 \times 60 \times 60 / 28) - (8 \times 60 \times 60 / 30.96) = 97$  件。

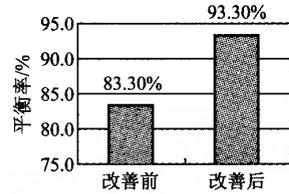


图 6 改善前后平衡率对比图

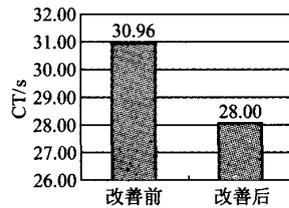


图 7 改善前后 CT 对比图

通过对生产线系统分析与改善, 达到了提升产能, 改善瓶颈的目的。IE 方法秉持的是一种思维方式, 是精致细微的科学, 讲究深入现场, 获得原始数据, 详细解析事件的细节, 建立起有序解决问题的方法体系。无论是作业测定、方法研究和物流分析, 还是 IE 七大手法都只是一种工具, IE 工程师关键是要具备不断改善的意识, 永远拥有追求合理性标准化的欲望, 整体优化的观念, 适应生产的动态性特征, 应用 IE 相关理论是生产线改善的最佳途径。

## 参考文献:

- [1] 周密. IE 方法实战精解[M]. 广东: 广东经济出版社, 2003: 12-15.
- [2] 鲜飞. 提高 SMT 设备生产效率方法的研究[J]. 表面贴装技术, 2003(1): 11-15.
- [3] 孙林岩. 人因工程[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 45-48.

产效率不太高的企业来说, 通过 ST 工作将生产资源创造价值的功能充分发挥出来, 显然很有意义。因为历史原因, 国有企业中几乎没有工业工程师的设岗, 在经营机制上形成了严重的先天性缺陷, 开展 ST 工作还可在一定程度上弥补国有企业的这种严重缺陷, 提高企业竞争力。

## 参考文献:

- [1] Meyers F E. Motion and Time Study; for Lean Manufacturing [M]. 2nd ed. R. R. Donnelley & Sons Company, 1999.

# SMT生产线平衡的持续改善方析

作者: [兰秀菊](#), [陈勇](#), [汤洪涛](#), [LAN Xiu-ju](#), [CHEN Yong](#), [TANG Hong-tao](#)  
 作者单位: [浙江工业大学, 工业工程研究所, 浙江, 杭州, 310032](#)  
 刊名: [工业工程与管理](#) **ISTIC** **PKU**  
 英文刊名: [INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT](#)  
 年, 卷(期): 2006, 11(2)  
 引用次数: 7次

## 参考文献(3条)

1. 周密 [IE方法实战精解](#) 2003
2. 鲜飞 [提高SMT设备生产效率方法的研究](#) 2003(1)
3. 孙林岩 [人因工程](#) 2001

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [张国富](#), [竺长安](#), [谢峰](#), [刘栋材](#), [LIAN Guofu](#), [ZHU Changan](#), [XIE Feng](#), [LIU Dongcai](#) [基于作业测定技术的后桥壳生产线工艺评价及优化-新技术新工艺2008\(10\)](#)

以某企业后桥壳生产线为研究对象,运用作业测定技术中的时间研究法,测定后桥壳各工序的标准时间,评价工艺及找到瓶颈工序;运用“5W1H”提问技术,根据“ECRS”原则,同时结合工艺设计及企业资源情况,对后桥壳生产线现有工艺进行评价及优化,改善后,使生产线的产能每天提高了10件,生产能力提高了33.57%。

2. 学位论文 [李青](#) [精益生产在投影仪生产线优化项目中的运用](#) 2006

为了不断扩大在亚洲地区的市场和业务,AAA中国公司引入并实施精益生产,要求各生产部门消除浪费、降低生产成本。 论文根据投影仪部门的生产现状,利用价值流图析技术,识别出当前流程活动中的浪费现象。同时,论文还使用作业测定方法,测定生产线作业时间并计算其标准工时和生产节拍,通过现有作业操作安排,发现生产线不平衡,员工利用率不足,有的利用率只有60%左右。最后,论文使用工序分析方法,分析流程中的在制品情况和搬运活动,发现停滞时间过长,占据了生产时间的92%左右;部分搬运活动属于非增值活动,应该给予消除。 论文利用工业工程和精益生产工具,制定并实施了一套精益生产方案。首先,投影仪部门对工序流程进行改善,利用ECRS(取消、合并、重排、简化)原则和5W2H方法,减少流程当中半成品的停滞时间,消除不必要的搬运活动,使停滞时间减少52%左右。其次,通过作业改善和优化,平衡生产线,使员工平均利用率从76%提高到88%左右。接着,为了充分实现工序流程改善效果,投影仪车间还辅以生产布局的改善。对生产线进行消除合并、重排优化、作业设计改进,使5条生产线合并成3条生产线,提高了生产线利用率;使部分直线的生产线转换成更便于物料流动的U形和弓形生产线。同时,投影仪部门通过生产看板系统和准时化供货,保证可视化管理和生产准时化。最后,总结改善结果,绘制改善后的价值流图。 通过实施精益生产方案,投影仪部门的产品交货周期(LT)减少了50%,加工效率(PCE)提高50%,员工利用率提高14%左右。投影仪部门的精益生产活动成为整个公司的持续改善活动的一个良好开端,为公司全面推进精益生产方式打下基础。

3. 期刊论文 [石宇强](#), [Shi Yuqiang](#) [基于IE的生产线改善研究-机械制造2009, 47\(3\)](#)

应用经典工业工程的基本方法(方法研究和作业测定)研究某公司的机顶盒产品生产线,提出改善方案,以优化流程。结果表明,运用IE方法查找并改进瓶颈问题,可提高生产线的效率。

4. 学位论文 [祝巧巧](#) [计算机辅助工时定额系统的研究与开发](#) 2009

工时定额是企业生产管理的基础工作之一,是企业基础数据的重要组成部分。它是企业经济核算、控制成本、产品报价的重要依据。制定合理、准确的工时定额,有利于合理组织生产,有效地提高生产率,降低生产成本。随着我国制造业信息化的发展,信息化已经成为提高企业竞争力的有效手段。因此计算机辅助工时定额系统的研究与开发具有十分重要的现实意义。 论文根据企业的实际需求,基于作业测定技术,深入研究了工时定额的制定流程、制定原理和运用的关键技术,开发了计算机辅助工时定额系统,为生产线平衡的研究提供了可行途径。 论文的主要工作如下:  
 1. 分析比较了几种工时定额制定方法的优缺点,提出了基于作业测定技术的工时定额方法作为本课题的研究方法,分析了标准时间与工时定额之间的关系以及三种作业测定方法制定工时定额的流程、原理,并以其特点为依据对工时定额的等级进行了划分,根据作业测定方法应用的作业阶次,确定了制定不同级别的工时定额可以采取的方法。 2. 根据工时定额的制定方法和原理,对系统的需求和业务流程进行了分析,以此为依据对计算机辅助工时定额系统的整体框架进行了研究,按照系统设计原则对系统的总体结构、功能模块、体系结构和流程进行了设计。 3. 研究了计算机辅助工时定额系统中采用的关键技术。对于数据采集与处理过程,研究了其观测次数的计算方法、工时数据的分类方法和算法的流程以及对于工时数据中异常值的处理方法。对于模特法,研究了其动作分析的技术、从分析式中提取时间信息的技术和进行动作改善所采取的方法。此外,还对评定系数和放宽率的确定方法进行了研究。 4. 选择了系统的开发工具。按照数据库设计步骤对系统的数据库进行了详细设计,并确定了系统访问数据库的技术。详细介绍了系统各模块的功能需求分析,并按照系统设计的步骤,详细地进行了各模块程序流程设计、模块流程设计、方法设计等,阐述了模块实现的过程,介绍了各模块的用户界面。 5. 结合某纺织企业针织衫产品的生产流程,具体介绍了计算机辅助工时定额系统的应用,分别阐述了运用密集抽样法、工作抽样法和模特法制定工序工时定额的过程,最后分析了生产线平衡情况,介绍了系统实施的效果。

5. 期刊论文 [常礼昌](#), [CHANG Li-chang](#) [基于工业工程技术的某装配车间工作改进研究-襄樊学院学报2009, 30\(8\)](#)

以某灯具公司装配车间的组合后信号灯生产线为研究对象,运用秒表测时法测定了流水线各工位的作业时间,找出影响流水线生产能力的瓶颈工位和能力过剩工位;运用“5W1H”提问技术,分析流水线在设备能力、定员、任务分配及工艺内容等方面存在的问题;根据“ECRS”原则及流水线平衡理论设计了流水线平衡方案,包括对现有操作方法的改进、相关工作作业内容的重新分配、调整部分工位的设备和人员等。

6. 期刊论文 [高广章](#) [工作研究在生产平衡中的应用-世界华商经济年鉴·高校教育研究2008\(15\)](#)

运用工作研究的程序分析和作业测定方法,对上海通用汽车公司的内饰装配线流程和节拍进行了详细的分析与测定,对有关瓶颈工序、不规则操作和不合理的动作等问题提出了改进优化方案,并对改进前后的方案进行了对比分析,实践证明改进效果明显。

7. 期刊论文 [何湘竹](#), [HE Xiang-zhu](#) [工作研究在眼镜焊接生产线作业改善中的应用-工业工程与管理2008, 13\(4\)](#)

用工作研究[1]的方法对某眼镜生产厂的钛焊接生产线进行了分析,运用作业测定技术测定了主要工序的作业时间,找出了其中的瓶颈工序和其它需要改善的工序,给出了具体的改善方法,改善后,瓶颈工序的作业时间基本达到TT要求,其它工作时间超出TT值的工序也得到了控制,经过对比分析,改善后的工作效率和产品质量都有显著提高。

## 8. 学位论文 杜万东 自行车涨闸装配线的工艺布置及其平衡 2005

随着全球经济一体化进程加快和知识经济时代的到来,越来越多的企业感到生存的压力。面对新经济形势下的残酷竞争,我们只能勇敢地面对挑战,设法改变生存环境,加强管理,苦练内功,挖掘企业潜力,提高企业管理水平,树立企业核心竞争力。在提升竞争力及追求卓越的道路上,各企业都向精益化生产方向上靠近,把高效率、低成本、短交期、快速响应变化作为企业追求的目标。正是在这样的背景之下,这样的形势之下,当我们要进行自行车涨闸装配生产线设计时,我们就不能把“只要能产品装配出来就可以了”作为我们设计的目标,这样的要求也太低了,也是现代企业管理思想相背道而驰。设计一条装配生产线必须要有明确的指导思想。因此从一开始,作者便以精益生产的理论为指导,力求在设计过程中,自始至终努力贯彻“消除一切浪费”的思想。只有消除一切浪费,才能创造出最大效益。根据产品的设计图纸,结合生产系统规划设计的理论和方法,作者认真分析了产品结构和质量要求,进而制订出相应的装配工艺,并确定出装配作业的标准工时,在此基础上,进行装配生产线的节拍平衡及其平面布置。以上所作的工作,分别编写在共计九章的这一学位论文中,即:第一章简要介绍学位论文的背景以及课题的来源、研究的意义、研究的内容。第二章为指导生产系统设计的精益生产理论和进行作业测定的模特法。第三章为涨闸的产品结构分析。第四章为涨闸的装配工艺流程。第五章为涨闸装配生产线的设计。第六章为涨闸装配生产线的作业测定。第七章为涨闸装配生产线的平衡和平面布置。第八章为涨闸装配成本分析与验证。第九章为结论与展望。在论文工作中,作者所在作出的最主要贡献是:1. 建立一套产品装配工艺开发的思路,为公司以后其他项目的实施提供了一个很好的范例。2. 如何选择装配线的输送方式。3. 模特法使用的经验,可供类似设计的参考。目前,该生产线已投入使用。运行良好,深得公司各层的好评。

## 9. 期刊论文 贡怡峰.周炳海.GONG Yi-feng.ZHOU Bing-hai 汽车空调管路生产线瓶颈改善研究 -组合机床与自动化加工技术2008 (11)

文章以TI Automotive上海公司汽车空调管路某一生产线作为研究对象,运用多种精益改善的方法对生产线进行持续改善。通过模特法及秒表测时法测定了生产线各工位的作业时间,从而找出此生产流水线的瓶颈工位。对于识别出的瓶颈工位,借助人机联合分析法,根据ECRS(取消、合并、重排、简化)原则,同时引入快速换型思想及动作经济原则,对相关工位的作业内容的重新分配,改善了此生产流水线的节拍,达到了提升流水线设备的平衡性和提高产能的目的,最后实际改善的效果非常显著。

## 10. 学位论文 程博 六气囊后悬架装配作业方法研究与作业改善 2007

本文采用理论与实际相结合的方法,运用工业工程有关工作研究的理论和方法,如方法研究、动作分析、作业测定、劳动定额等,结合工作系统设计有关内容,参考有关工业工程应用成果,对影响苏州金龙的底盘装配线六气囊后悬架装配作业,进行系统分析,并提出相应的改善方案。论文首先介绍了苏州金龙底盘装配线的生产工艺及生产流程,其中大巴六气囊后悬架的装配成为影响整条生产线生产节奏的瓶颈环节之一。为了降本增效,缩短悬架工位生产周期,减少其工位浪费因素,大巴六气囊后悬架装配作为装配线优化改善的典型课题。研究方法是先深入调查,记录装配线的悬架工位六气囊的装配的生产过程,进行程序分析和作业分析后,指出现行的装配过程的场地布置、作业顺序、工艺内容等的不完善,并切实可行提出改善工装设备、场地重新布置等方案。通过沙布利克动作分析,对员工操作不规范,操作过程不合理等现象,提出优化的作业顺序,缩短类似于寻找、等待等不创造价值的第二类、第三类动作。在改善作业规范后,利用秒表测时法,对装配过程进行测时,重新制定作业标准时间,同时使之成为规范管理,建立标准化。通过对程序分析、动作分析、作业测定的方法重新制定相应作业时间定额,降低后悬架装配生产节拍,提高后悬架装配的生产能力,按照动作经济原则,通过对工序的剔除、合并、重排、简化等手段,使生产节拍大大降低,从原来装配线的每天只能做2台车的瓶颈因素,改善成每天可制作10台车的生产能力,使大巴六气囊车型进入生产线的常规车型,企业取得了良好的经济效益。

## 引证文献(7条)

1. 陈勇.赵忠明.王晓.吴国献 插口组装线的产能分析和平衡改善[期刊论文]-工业工程与管理 2009(3)
2. 寇猛 工业工程在生产线优化中的应用[期刊论文]-中国管理信息化 2008(24)
3. 郭永华.洪海杰.章金红.陈亚绒 制鞋企业生产线平衡技术与方法研究[期刊论文]-价值工程 2008(12)
4. 练国富.竺长安.谢峰.刘栋材 基于作业测定技术的后桥壳生产线工艺评价及优化[期刊论文]-新技术新工艺 2008(10)
5. 朱琼.陈雪芳.田世勇.张洁 基于仿真技术的生产线平衡优化研究与应用[期刊论文]-工业工程与管理 2008(04)
6. 陈勇.汤科峰.林飞龙.刘春艳 企业CD段流水线的瓶颈分析与平衡改善[期刊论文]-工业工程与管理 2008(01)
7. 董明龙.杨武 PCB插装生产线效率持续改善研究及应用[期刊论文]-印制电路信息 2007(04)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_gygygl200602024.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gygygl200602024.aspx)

下载时间: 2010年3月18日