

生产线平衡与企业利润关系的研究

徐学军, 陆德谋, 李文娇, 查 靓

(华南理工大学 工商管理学院, 广东 广州 510640)

摘要: 在对制造型企业生产线平衡问题进行分析的基础之上, 结合生产线实际, 利用仿真的方法对电子制造企业进行了研究, 通过不断提高生产线的平衡率来揭示平衡率与企业利润之间的关系。仿真结果显示, 提高生产线平衡率并不总是能够提高企业的生产效益, 并由此针对生产线的持续改善提出了具体方法与实施步骤。

关键词: 生产线平衡; 瓶颈; 仿真

中图分类号: F406.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-7375(2009)04-0041-05

Research on Line Balance and Enterprise Profit

Xu Xue-jun, Lu De-mou, Li Wen-jiao, Zha Jing

(School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on data from an electronic product manufacturing company, simulation study is conducted to reveal the relationship between line balance and enterprise profit. It is found that the line balance rate increase does not always imply the increase of enterprise profit and different line balance rate has different effect on the enterprise profit. Methods are proposed to resolve this problem.

Key words: line balancing; bottleneck; simulation

目前, 生产线平衡问题已被认为是生产流程设计及作业标准化过程中关键的一环。企业实现均衡生产不仅有利于保证设备、人力的负荷平衡, 从而提高设备和工时的利用率, 同时还有利于建立正常的生产秩序和管理秩序, 保证产品质量和安全生产; 均衡生产还有利于节约物资消耗, 减少在制品数量, 加速流动资金周转, 从而降低生产成本^[1]。

生产线的平衡问题看似简单, 其实涉及到多方面多个领域的问题和知识, 错综复杂。孙建华等^[1]从生产线均衡性的概念出发, 揭示企业的“5S”活动和目视管理与均衡生产的关系。卢炜等^[2]就订单生产条件下的多品种装配流水生产线的平衡问题展开讨论, 建立了以优化人力成本为目标多品种装配流水线的人力成本模型。陈诚和^[3]针对现有方法中缺乏持续改进思想和仿真优化应用不成熟的缺点, 将生产线平衡的工业工程改善方法、启发式算法和可

视化仿真方法相结合, 提出了一种基于仿真优化的生产线平衡方法, 这种方法能够实现生产线平衡的持续改善。宋华明等^[4]针对 U 型生产布局的特点, 设计了一种基于遗传算法的平衡优化方法, 这种遗传算法以分配作业元素到工作站的先后顺序作为问题的编码, 按照最大分配原则进行译码, 它能够适应不同约束条件和优化目标的需要。兰秀菊等^[5]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, 提出了一些具有持续性的改进方案。David Arditi 等^[6]在分析生产线平衡问题的特性后, 总结了在解决生产线平衡问题时所面对的多种挑战, 包括开发能够有效地解决项目进度加快问题的算法、随机的非线性问题和离散问题的组合、选择更多的生产因素进入考虑范围以开发一个更优化的系统来减少项目耗时和降低成本等。

收稿日期: 2009-02-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70872031); 教育部人文社科青年基金资助项目(07JC630038); 广州市社会科学规划课题资助项目(08Q04)

作者简介: 徐学军(1964-), 男, 安徽省人, 教授, 博导, 主要研究方向为工业工程、供应链管理、系统工程、生产战略。

1 生产线平衡

平衡生产线是生产流程设计及作业标准化中的重要方法,是对生产的全部工序进行平均,并调整作业负荷,使各作业时间具有尽可能相近的技术手段与方法的一种管理手段。生产线平衡率可以表示为^[7]

$$\eta = \frac{\sum t_i}{n \times CT} \times 100\%。$$

式中, η 为生产线平衡率; n 为工作站数量; t_i 为生产线各工序的作业周期; CT 为生产线中作业时间最长工序的作业周期。

在进行生产线改善时,通常会强调不断提高生产线的平衡率,以使整个物流体系变得更加流畅。提高生产线平衡率最简单、最直接的方式就是通过程序分析、时间分析和动作分析^[8] 不断降低瓶颈工作站的工作时间。生产线在一定作业周期内完成一个产品的时间是由生产线上作业时间最长的工序时间 CT 决定的,因为无论其它工序作业速度多快也只能在 CT 时间内传送产品,因此停工待料的现象普遍存在,造成一定的工时损失。所以,降低瓶颈工序的 CT 值,使生产线各工序生产负荷平均化是提高生产线平衡率的关键。生产线平衡率越高,生产线的工时损失就越少,生产线工序间的在制品数就越少,生产线整体效率就越高^[9]。

2 存在的问题

在生产线改善过程中,提高生产线平衡度有 2 种方式:1)在不改变非瓶颈工作站工时的前提下,不断地减少瓶颈站的工时;2)通过动作调整,将瓶颈站的部分工作内容转移到前后工作站来完成。这两种方式都是现场 IE 较为常用的方法,也比较切实可行。不同的是前者通常需要增加投资,以提高目标工作站的作业能力;而后者通常只需要工程师对部分工作站的作业内容进行重新分割,无需增加投资。所以,无论是管理层,还是工程师都青睐于后者。然而,正是这种可观的效益,让现场管理工程师逐渐陷入一个误区,即总希望能从生产线的平衡中设计出更好的方案,以便不断地提高生产率,直到最后耗费大量的时间,挖空心思来设计更好的方案,结果提高了平衡率却没有得到很好的效果。实际上,当生产线平衡率达到一定程度后,生产线对系统的可靠性就会变得非常敏感,即使有很小的干扰也会使整个加工系统发生很大的问题。假设生产线达到绝对平

衡,即生产线每一个工作站工时都相等并且产能等于实际需求时,就会发生这样的事情:每一个工作站和每一种材料都没有过多的产能;因而,整条生产线上的任何小问题所带来的负面效应就会迅速贯穿至整个生产线,使生产线迅速停顿。频繁的停顿最终会影响企业的供货能力。即当生产线平衡率超过一定水平时,平衡率越高,产能反而会更低。

另一方面,当高度平衡的生产线被干扰时,操作员和机器就必须提高加工速度,以便弥补因干扰引起的时间延迟,当干扰的强度超过该工作站所能承受的范围时,就很可能中断,并且通过前一工作站迅速蔓延至整条生产线,使整条生产线陷于瘫痪;直到问题得到解决之前,生产线的整体产能会一直受损;若该站不停,强行继续,就得用产品的质量为代价来弥补该问题引起的后果;二者皆不可取。劣质产品不可接受,而停线又意味着产能损失,因此,生产线过度平衡的代价是比较高的,因高度平衡而多产的产品其利润只能弥补因此而造成的原料和产品质量的损失。

由此可以得出,一方面提高生产线平衡率可以提高生产率,增加收入;另一方面,当生产线的平衡率超过一定程度时,企业发生的各种成本就会随之增加,从而抵消提高平衡率所增加的收益。于是,二者之间就有一个平衡点,如图 1 所示。在达到这个点之前,提高生产线平衡率是非常有效的,但当过了这个最高点之后,继续提高平衡率反而会降低生产线的效率与企业收益。

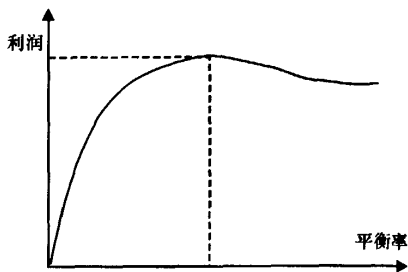


图1 生产线平衡率效益曲线

曲线反映了生产线平衡度与整体利润的关系,最高点表示生产线在这一平衡率下企业能够获得最高的利润。这个平衡点并不是固定的,而是根据企业的不同状况而不同,但与企业的整体生产能力成正比。比如企业的零件合格率越高、设备故障率越低、缺料次数越少,则平衡点会越往右推移,对应利润也越高。

3 实例研究

为了对生产线的平衡率与生产收益之间的关系进行进一步分析与讨论, 本文选取了一家电子产品制造公司生产线现场的数据, 并利用仿真的方法进行分析。

3.1 仿真软件

本文选用 Arena 作为仿真工具, 该软件是美国 System Modeling 公司于 1993 年开始基于仿真语言 SIMAN 及可视化环境 CINEMA 研制开发的可视化交互集成式商业化仿真软件。该软件提供了输入数据分析、建模、统计分析优化和结果输出等基本功能, 具有较为完善的功能: 1) 可视化柔性建模; 2) 实用的分析和优化工具; 3) 广泛的定制和集成。这些功能与特点充分说明 Arena 在仿真建模上的优点, 因而选其作为模型建立和分析的仿真工具。

3.2 数据选取

A 公司是一家电子产品制造商, 生产多个品牌的液晶显示器, 具有 9 条生产线, 设备主要以直线型布局为主, 相关工作站有纯手工操作、人机联合作业和机器全自动化作业 3 种作业方式, 年产量 1 200 多万台, 每台利润 30 元, 年利润约 3.6 亿元。生产线部分关键工作站的平衡工时如表 1。每个工作站所

使用的设备都会发生故障, 故障的发生都有一定的规律, 如组装电源与主板站, 它每生产 100 台左右 (EXPO(100p) 指服从 100 的整台分布), 就会有 5 s 左右的非正常作业现象发生; 不可预料故障是指所有可能导致任何一个工作站发生中断的事故, 占每个工作站 0.5% 的作业时间, 这种故障可能在任何时候发生在任何工作站。

表 1 A 公司生产线关键工作站工时和故障表

工作站	工人数 /人	工时 /s	该工作站故障现状
			(故障时间(s)/正常运转时间(h 或件))
组电源板与主板	1	8.48	EXPO(5)/EXPO(100 p)
固定液晶板和隔离罩	1	11.51	TRIA(5, 7, 10)/EXPO(1 h)
组灯管弹片并锁螺丝	1	7.85	EXPO(7)/EXPO(1 000 p)
组前框与后盖	1	10.35	EXPO(5)/EXPO(1 000 p)
组支架并贴标签	1	8.25	TRIA(5, 7, 10)/EXPO(1 h)

不可预料故障 0.5% (全部工作站都发生)

为了更好地揭示平衡率与生产效益之间的关系, 现保持生产线总的平均工时基本不变和其它因素(如故障状况)不变的情况下, 改变平衡率, 并以企业总利润作为因变量。即不断调整每一个工作站的工时, 使工作站之间的工时不断趋于平衡, 通过自变量的变化来观察因变量的变化情况。调整后数据如表 2 所示。

表 2 工时调整表

工作站	工时	调 1	调 2	调 3	调 4	调 5	调 6	调 7	调 8	调 9	调 10
组电源板与主板	8.48	8.48	8.6	8.8	8.9	9.2	9.2	9.2	9.2	9.3	9.4
固定液晶板和隔离罩	11.51	11.15	10.75	10.45	10.08	9.8	9.8	9.8	9.6	9.5	9.4
组灯管弹片并锁螺丝	7.85	7.85	7.85	7.85	8.15	8.45	8.45	8.65	9	9.2	9.4
组前框与后盖	10.35	10.35	10.35	10.35	10.25	10.18	10	9.4	9.4	9.4	9.4
组支架并贴标签	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.6	9.4	9.4	9.4	9.4
平衡率/%	80.70	82.65	85.21	87.46	89.03	90.14	92.10	94.80	97.08	98.53	100.0
平均工时	9.288	9.216	9.16	9.14	9.126	9.176	9.21	9.29	9.32	9.36	9.4

3.3 仿真模型的建立

根据生产车间的特性, 生产主体主要以工作站为主, 其它因素相对为次, 因此, 为了简化模型, 只考虑工作站之间的逻辑关系, 其他对生产线运作影响较少的因素不考虑。模型流程图如图 2 所示, 其中, 过程加工子模型的结构如图 3 所示。首先订单到达后要判断企业是否仍有能力接受订单(订单最多安排到 60 d), 若没有过多, 则进行订单队列, 等待生产, 否则放弃该订单。订单按照先进先出的原则在队列中等待。订单开始进入生产后, 该订单的产品逐个进行生产, 每个产品依次经过组电源板与主板、固定液晶板和隔离罩、组灯管弹片并锁螺丝、组前框

与后盖、组支架并贴标签这 5 个关键工作站, 工作站之间有一定量的缓存, 数量最多时为 3 台, 以尽量减少工作站发生故障时对整个生产链造成的影响。生产完成后有一个模块专门统计产出量、员工工资与总利润。统计完成后成品验收入库。

为了使每一种设置都能够发挥生产线的最大生产能力, 即不至于因没有足够订单而使产线停工, 订单生成模块生成足够多的订单实体。针对该车间的仿真模型出现的最低工时为 7.85 s, 设置订单模块每 7 s 生成一个待加工产品实体, 当生产的实体超过 5 000 个时, 自动放弃生产的实体, 以使模型不至于因队列过长而发生错误。

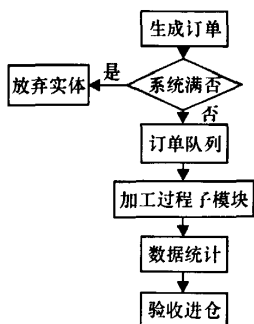


图2 模型结构

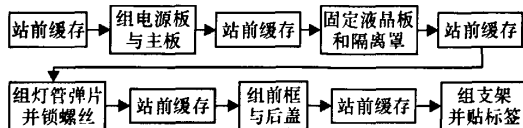


图3 加工过程子模型

在过程加工子模型中,每一个工作站前边都有缓存,缓存的最大数量为3台。工作站的设备故障情况根据表1进行设置。过程加工中的5个工作站的工时按照工时、调1、调2…调10,这11项时间序列分别填入,每次填一项,逐项进行仿真。

在数据统计模块,首先记录生产的实体数量(N),每通过一个产品后计算一次利润。

$$P = N \times 30 - L。$$

式中, L 为劳动成本, $L = (800 + 0.022 \times N) \times 5$ 。

3.4 仿真结果及分析

仿真运行时间设置为500 h,每项运行20次,取每个参数的平均值;每项仿真结束后,记下该项仿真得到的利润值。经过总共11轮仿真后,得到的利润数据如表3所示。

表3 仿真结果

统计量	工时	调1	调2	调3	调4	调5	调6	调7	调8	调9	调10
总产量/台	126 310	127 919	129 896	130 343	131 343	131 215	131 432	131 568	130 875	130 408	129 984
劳动成本/元	17 894	18 071	18 288	18 337	18 447	18 433	18 457	18 472	18 396	18 344	18 298
实现利润/(万元)	769.91	788.51	798.08	802.73	809.87	810.44	809.96	809.94	809.95	801.41	794.91

根据以上利润数据,绘制利润曲线如图4所示。

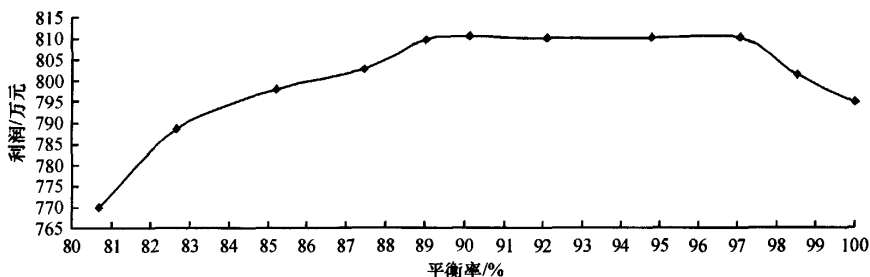


图4 仿真结果利润曲线

根据曲线可以发现,企业的总利润与生产线平衡率之间的关系在不同阶段呈现不同的趋势:当平衡率在提高到89%以前,总利润随着平衡率的提高呈递增关系;当平衡率到了89%~97%时,总利润基本保持平稳,没有提高;当平衡率继续提高到97%以上后,总利润呈下降趋势。

可见,当产线平衡度达到一定程度之后,就不会再取得明显的绩效;因此,产线产能的提升不应总是把着眼点放在平衡率上。

4 解决措施

在整个改善过程中,会面临各方面的问题,如工人操作不熟、设备故障频繁、作业分割不合理、车间布局不合理、来料不良和成品积压等,这些看起来并不相

关的问题都会影响生产线的效率。针对各种故障表现出来的特征可以将生产线的改善过程分为3个阶段,在不同的阶段针对不同的问题采取不同的措施。

1)前期改善。由于各种设备刚投入使用,作业的分割方式处于尝试验证阶段,站与站之间的协调还有待完善,因此,在这个阶段,对瓶颈工作站进行重新考量,再次分割工作内容或者增加设备和工人,能够有效地提高生产线平衡率,从而增加产量和企业总利润^[10]。这种方式的改善,通常效果比较明显,而且无需进行大量投资。

2)中期改善。生产线的改善不应只局限于流水线上;当生产线的作业平衡度达到一定程度之后,车间的整体布局对生产线的影

等。材料能否及时运到生产线对生产线有极大影响,对于节拍较快的生产线,某种材料几秒钟的拖延都会使整个生产线迅速停顿。因此,在生产线达到高度平衡后,改善的关键在于使物流与生产线同步。

3) 后期改善。经过前期和中期的改善后,生产线平衡度和材料供应系统都得到了改善,车间内部的问题都已暂时解决,继续采用相同的方式就不会再取得明显的效果,这个阶段车间发生的最大问题主要集中在企业外部问题上,如来料不良、不及时和出货不及时造成仓库积压过多等问题,这些都会导致生产线停止。因此,在这个阶段,解决企业供应链存在的问题成为提高生产效率的关键环节。

在改善前期主要强调生产线平衡,而在中期和后期则要强调整个物流体系的同步,并且企业所具备的外部资源获得能力(如材料采购、出货和销售)应该大于内部生产能力,使企业内部运作具有更强的柔性,以便应付随时发生的意外事件;若这两种能力相等,则企业的整个生产体系就非常脆弱,与生产线一样,任何一个环节出现问题都有可能导致整个系统迅速停顿,损失企业的利益。

生产线改善是一个螺旋式的改善过程,如图5所示,先从生产线优化开始,再到车间优化,而后上

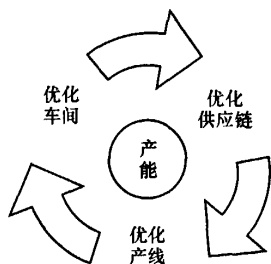


图5 制造型企业改善生产的步骤

升到整个供应链系统的整体优化。当供应链优化到一定程度之后,又可以再次对车间进行优化,每进行一轮,企业的生产能力就会得到一次提升。

5 结论

生产线的改善不应仅局限于生产线本身的改善,而要从企业整个生产系统中各种资源调配的改善来着眼。生产线平衡只是企业产能提升中的一环,要从根本上提升企业的产能,需要从生产线、车间和供应链整个生产系统进行优化。

参考文献:

- [1] 孙建华. 生产线平衡的手段与方法研究[J]. 成组技术与生产现代化, 2004, 21(4): 34-36.
- [2] 卢炜, 阙树林, 朱妍. 基于订单生产的多品种装配流水线的平衡[J]. 上海大学学报, 2008, 8(4): 311-316.
- [3] 陈诚和. 基于仿真优化的制造企业生产线平衡问题研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [4] 宋华明, 韩玉启. 基于遗传算法的U型生产线平衡[J]. 系统工程学报, 2002, 17(5): 424-429.
- [5] 兰秀菊, 陈勇, 汤洪涛. SMT生产线平衡的持续改善分析[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(2): 109-111.
- [6] David Arditi, ASCE1M, Onur B Tokdemir, et al. Challenges in line-of-balance scheduling[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2002, 128(6): 545-556.
- [7] 吴杰明. 应用FOG方法提高生产线平衡率浅析[J]. 上海电力学院学报, 2004, 20(2): 50-52.
- [8] 李瑞琴. 工艺平衡在流水生产线中的重要性[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, 160(6): 337-339.
- [9] 岑昊. 装配生产线平衡的改善[J]. 上海管理科学, 2005(5): 16-17.
- [10] 杨召凯, 刘德忠, 李志强. 发动机装配生产线平衡问题研究[J]. 机械设计与制造, 2008, 46(1): 215-217.

(上接第18页)

- [3] Castagliola P. \bar{X} control chart for skewed populations using a scaled weighted variance method[J]. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 2000, 7(3): 237-252.
- [4] Chang Y S, Bai D S. Control charts for positively-skewed populations with weighted standard deviations[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2001(17): 397-406.
- [5] Bai D S, Choi I S. \bar{X} and R control charts for skewed populations[J]. Journal of Quality Technology, 1995, 27(2): 120-131.
- [6] Burr I W. The effect of non-normality on constants for \bar{X} and R charts[J]. Industrial Quality Control, 1967(24): 563-569.
- [7] Schilling E G, Nelson P R. The effect of non-normality on the

control limits of \bar{X} charts[J]. Journal of Quality Technology, 1976, 8(2): 183-188.

- [8] Choobineh F, Ballard J. L. Control-limits of QC chart for skewed distributions using weighted-variance[J]. IEEE Transactions on reliability, 1987, 36(4): 473-477.
- [9] Abel V. Comment on: control-limits of QC chart for skewed distributions using weighted-variance[J]. IEEE Transactions on reliability, 1989, 38(2): 265.
- [10] Bai D S, Choi I S. \bar{X} and R control charts for skewed populations[J]. Journal of Quality Technology, 1995, 27(2): 120-131.
- [11] Chan L K, Cui H L. Skewness correction and R charts for skewed distributions[J]. Naval Research Logistics, 2003(50): 555-573.

作者: [徐学军](#), [陆德谋](#), [李文娇](#), [查靓](#), [Xu Xue-jun](#), [Lu De-mou](#), [Li Wen-jiao](#), [Zha Jing](#)
作者单位: [华南理工大学, 工商管理学院, 广东, 广州, 510640](#)
刊名: [工业工程](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [INDUSTRIAL ENGINEERING JOURNAL](#)
年, 卷(期): 2009, 12 (4)

参考文献(10条)

1. [孙建华](#) [生产线平衡的手段与方法研究](#)[期刊论文]-[成组技术与生产现代化](#) 2004 (04)
2. [卢炜](#), [阚树林](#), [朱妍](#) [基于订单生产的多品种装配流水线的平衡](#)[期刊论文]-[上海大学学报](#) 2008 (04)
3. [陈诚和](#) [基于仿真优化的制造企业生产线平衡问题研究](#) 2007
4. [宋华明](#), [韩玉启](#) [基于遗传算法的U型生产线平衡](#)[期刊论文]-[系统工程学报](#) 2002 (05)
5. [兰秀菊](#), [陈勇](#), [汤洪涛](#) [SMT生产线平衡的持续改善分析](#)[期刊论文]-[工业工程与管理](#) 2006 (02)
6. [David Arditi](#), [ASCE1M](#), [Onur B Tokdemir](#) [Challenges in line-of-balance scheduling](#) 2002 (06)
7. [吴杰明](#) [应用FOG方法提高生产线平衡率浅析](#)[期刊论文]-[上海电力学院学报](#) 2004 (02)
8. [李瑞琴](#) [工艺平衡在流水生产线中的重要性](#) 2008 (06)
9. [岑昊](#) [装配生产线平衡的改善](#)[期刊论文]-[上海管理科学](#) 2005 (05)
10. [杨召凯](#), [刘德忠](#), [李志强](#) [发动机装配生产线平衡问题研究](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2008 (01)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gygc200904010.aspx