

基于精益思想的生产线改造仿真与研究

刘光富¹, 李 苗²

(同济大学 1. 经济与管理学院; 2. 机械工程学院, 上海 201804)

摘要: 阐述了企业生产线改造过程中精益思想应用的必要性, 以及在生产线改造中需要遵循的精益原则: 生产线平衡、连续流、产品混流生产和标准化管理。以水洗机为实例, 分析了水洗机装配生产线的现状, 基于传统思想与精益思想, 使用面向对象的 eM-Plant 软件, 建立相应的离散事件仿真模型, 以产量、在制品和对市场的反应速度为绩效指标, 研究和分析模型仿真进行的输出结果, 对两种不同思想的生产线改造进行比较, 为装配生产线实际改造提供依据。

关键词: 精益思想; 生产线; eM-Plant 软件; 仿真

中图分类号: F273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7375(2008)06-0076-04

Research on Reconstruction and Simulation of Production Line Based on Lean Thought

Liu Guang-fu¹, Li Miao²

(1. School of Economics & Management; 2. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai, 201804, China)

Abstract: Lean thought was applied in the reconstruction of production line and lean thought criteria: line balancing, continuous-flow, MIX production and standard management, were followed. By analyzing the assembly line of a washing machine, a discrete-event simulation model was established by using object-oriented method with eM-Plant software. The simulation output analysis was made based on the throughput, WIP and the flexibility to market. The effect of traditional method and that of the method based on lean thought were compared, which provides a basis for the practical improvement of production lines.

Key words: lean thought; production line; eM-Plant; simulation

精益生产就是及时制造, 消灭故障, 去除一切浪费, 实现零缺陷、零库存的目标, 按照确定的生产节拍进行生产, 是一种先进的生产方式。与推动式的计划生产不同, 精益生产采用拉动式生产来实现快速响应顾客实际需求的目的。

生产线改造就是找出当前生产线上不合理或不妥之处, 结合现有设备、工装、生产的实际情况, 分析设备的生产能力、加工精度和生产节拍等, 改进现行工艺方法, 使作业变得更容易、更方便、更经济, 以达到缩短周期、提高质量、增加产量、降低成本的目的, 是精益生产实施中的重要组成部分。通过对加工车间的布置和生产节拍的改善设计, 可以平衡生产线, 使产品在生产线上的流动更加流畅, 使之更有利于

满足顾客的需要; 通过建立“连续流”的生产方式, 可以消除或减少生产过程中不产生任何价值的工作, 挖掘整个企业的潜在价值^[1-2]。

1 eM-Plant 介绍

eM-Plant 软件工具 eMPower, 又称为 SIMPLE ++, 是用 C++ 实现的关于生产、物流和工程的仿真软件, 它是面向对象的、图形化的、集成的建模、仿真工具, 系统结构和实施都满足面向对象的要求。它的主要功能如下。

1) 用标准的和专用的元素库建立制造过程模型: 用 eM-Plant 可以为生产设备、生产线、生产过程建立结构层次清晰的模型。

收稿日期: 2008-04-24

作者简介: 刘光富(1963-), 男, 安徽省人, 教授, 博士, 主要研究方向为管理理论与工业工程、科技管理等。

2) 仿真系统优化: 使用 eM-Plant 仿真工具可以优化产量、缓解瓶颈、减少在加工零件。考虑到内部和外部供应链、生产资源、商业运作过程, 用户可以通过仿真模型分析不同变型产品的影响。

3) 自动分析: 使用 eM-Plant 可以自动为复杂的生产线找到并评估优化的解决方案。

4) 分析仿真结果: 使用 eM-Plant 分析工具可以轻松解释仿真结果。统计分析、图、表可以显示缓存区、设备、劳动力的利用率。

使用 eM-Plant, 通过建立模型, 并在模型中分别采取两种不同的控制策略, 然后以系统的 WIP (work in process) 和装配线的产量为主要绩效标准, 分析仿真结果, 对两种方案进行比较, 为生产线的改造提供参考^[3-5]。

2 水洗机的装配工艺

水洗机装配的主要过程如图 1。主轴装配、门面装配和后道装配分别有几十道工序, 部分工序有安装顺序的要求。例如, 主轴装配后要经过喷漆、晾干, 才能与门面进行后道的装配, 然后进入调试区, 进行水洗机的性能检验, 以判断水洗机是否漏水等各项性能。若不合格, 调整后再次进行质量检验; 若合格就包装整理。



图 1 水洗机装配过程

3 生产线改造的精益原则

精益生产基本的内容包括准时化生产、看板生产、均衡生产和实现作业标准化。在生产线的改造过程中应遵循以下 4 个基本原则。

1) 生产节拍应与销售节拍尽量相等。“节拍时间”是基于销售的速率, 为满足顾客要求而生产一个零件或产品的时间, 同时也是生产管理者的一个目标, 应该时时了解向哪个方向改进, 并尽量消除意外事故的影响。节拍时间的计算为

节拍时间 = 每班的工作时间 / 每班顾客需求量。(1)

2) 尽量实现连续流生产, 在连续流无法向上游扩展时使用超市控制生产, 在连续流被打断的地方, 设置一个拉动系统。连续流是指每次生产一件产品, 上道工序完成加工后立即传递到下一道工序, 中间没有停顿, 是一种高效率的生产方式。但由于有

些加工工序的周期时间或长或短、对多种产品生产还需要换模、每次长距离运输一个产品不合理等原因, 各个工序间无法直接连接为连续流生产方式。因此, 在有的工序间需要加上一个拉动系统, 如先进先出系统, 并设置一定的数量, 当系统管路中的数目达到最大值时就停止上游工序的生产。

3) 在定拍工序点均匀分配多品种产品的生产时间。由于顾客需求的多变性和多样性, 使得长时间只生产一种产品的计划容易造成生产的浪费, 同时造成库存量的增大。在定拍工序均衡的品种越多, 就越能在较少库存的情况下用较短的生产周期对不同顾客的需求作出反应, 减少库存。

4) 生产线要有标准的循环时间、作业顺序、在制品的标准持有量。这样就容易控制生产进度, 现场的每个人都清楚自己的进度, 明白自己是超前了还是滞后了。

4 装配生产线仿真模型

4.1 eM-Plant 阶层式生产线

阶层式构建方式是 eM-Plant 的特色之一, 所谓阶层式的架构, 如同普通程式语言为子程式一样, 先写一个小程式, 再以这些小程序组合成程式。整个工厂由同一个模拟模式构建而成, 生产线由子 Frame 构建而成, 子 Frame 又由几个基本物件构建而成。事实上, 生产线可视为一个组合式的物件, 此物件将来与基本物件的操作方式一样, 可重复使用。

4.2 装配生产线仿真模型

装配生产线仿真模型如图 2, 包括零件来到、主轴装配、面板装配、喷漆、后道装配、测试和包装 7 个作业区域, 其中主轴装配区、面板装配区和后道区采用阶层式结构。图中 M 主要用于统计数据 and 实施控制策略, S 用于盛放采集数据。仿真流程如下。

1) 经过一个固定的时间, 分别到来 4 个面板、4 个轴承装配所需的零部件, 进入各自的暂存区。

2) 待面板装配和轴承装配有空闲时分别进行装配。面板装配好后进入面板装配暂存区, 接着进行主轴装配与喷漆, 再进入后道装配, 各个作业区域利用叉车进行运输。

3) 后道装配的主要任务是完成面板和主轴部分的电气和最后的零部件安装工作, 因此只有面板装配好后才能进行安装 (也就是面板装配的暂存区内有面板), 通过 M 便可实现这一功能。

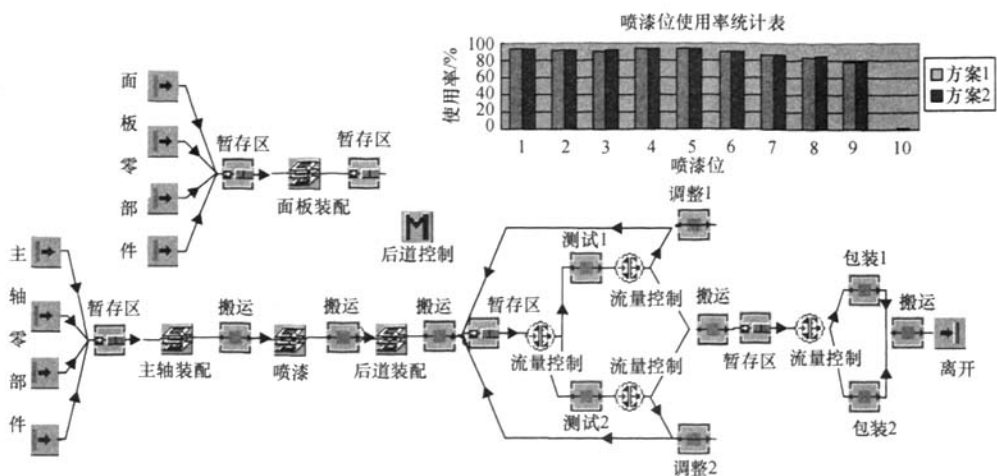


图 2 装配系统仿真模型

4)后道装配完成后,再通过性能测试,就可以包装出厂。若测试不合格还要进行调整,直到测试性能符合要求。⑭成为分流控制,可以对装配工件进行流向控制,控制策略可以是比例控制,也可以是策略的流向控制,表示按照与其相连接的顺序依次对各个支路进行判断,哪个支路空闲就进入哪个支路,下一个零部件来到时又从与其相连接的次序最小的支路开始判断。

5)包装完成后,离开装配系统。

6)图中喷漆使用率的统计表可在 eM-Plant 中生产,用以观察各个喷漆位的使用情况,来确定能够满足需要的最少喷漆位^[6-7]。

4.3 基于传统和精益思想的生产线改造

1)基于传统思想的生产线改造

根据作业内容的不同进行分站。水洗机主要的人工装配工作有主轴装配、面板装配和后道装配,根据 3 部分不同的作业内容进行分站,两种思想单元内分站装配作业时间如表 1。各个工作站的时间均为常态分配,每个时间的平均值和标准差由实际测定时间和各种随机因素(如装配工具的破坏率、对喷漆造成影响的天气因素等)而定。传统思想生产线站与站之间都设有存放在制品的暂存区,如图 3 的 A、B、C 所示分别为主轴、面板、后道 3 部分的分站情况,在对生产线模拟中,采用一个订单生产完再生产另一个订单的传统控制策略^[8-9]。

2)基于精益思想的生产线改造

精益思想要求尽可能采用连续生产,因此除了存放装配所需零部件的暂存区外,站点与站点之间

| 表 1 两种思想单元分站装配时间 ¹⁾ min | | | |
|------------------------------------|----|--------|--------|
| 单元 | 站点 | 传统思想 | 精益思想 |
| 面板装配 | 1 | (80,5) | (80,5) |
| | 2 | (75,5) | (75,5) |
| | 3 | (82,5) | (82,5) |
| | 4 | (77,5) | (77,5) |
| | 5 | (75,5) | (75,5) |
| | 6 | (80,5) | (80,5) |
| 后道装配 | 1 | (65,5) | (65,5) |
| | 2 | (68,5) | (68,5) |
| | 3 | (72,5) | (72,5) |
| | 4 | (65,5) | (65,5) |
| 轴承座 | | (81,5) | |
| 主轴装配 | 1 | (88,5) | (7,5) |
| | 2 | (88,5) | (77,5) |
| | 3 | (82,5) | (72,5) |
| | 4 | (78,5) | (68,5) |
| | 5 | (79,5) | (69,5) |
| | 6 | (84,5) | (74,5) |
| | 7 | (79,5) | (69,5) |
| | 8 | (81,5) | (71,5) |

1) 括号内第 1 个数为常态分配的平均值,第 2 个数为标准差。

不设暂存区,如图 4 的 A、B、C 所示。这样做就要求各站的装配节拍尽可能一致,因此将主轴部分所需时间最长的轴承座装配分为独立的一站,同时,重新对各站进行分站。如表 1 所示。在对生产线模拟中,采用生产过程按照完成率最低者优先的原则,即完成率最低的先生产。

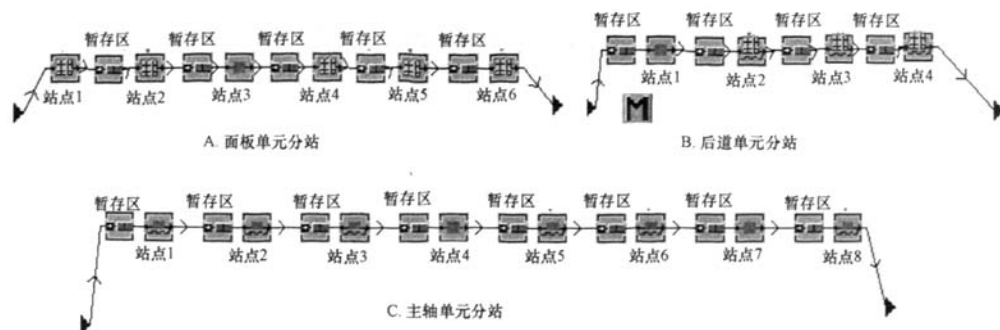


图3 传统思想面板装配、主轴装配、后道装配阶层式布置图

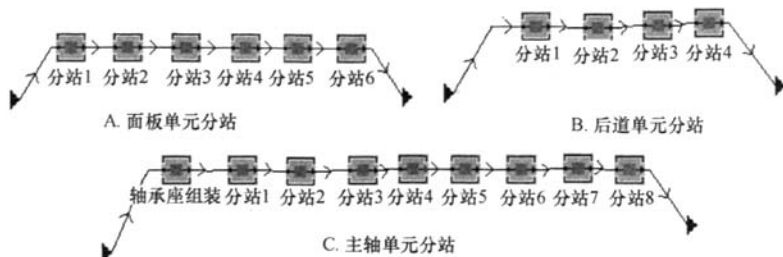


图4 精益思想面板装配、主轴装配、后道装配阶层式布置图

4.4 模型的仿真运行与结果分析

假设现有3个订单A、B、C,定量分别为10台、15台和20台。由于系统为不稳态系统,仿真运行过程中要考虑预热时间,本次模拟的预热时间为12 d,相关统计如表2所示。

表2中的模型1和模型2分别基于传统和精益思想的生产线改造。

表2 仿真数据统计

| 方案 (模型) | 平均月 产量/台 | 在制品 /台 | 订单的完成情况/% | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|----|----|
| | | | A | B | C |
| 1 | 110 | 21 | 100 | 43 | 0 |
| 2 | 128 | 16 | 47 | 48 | 47 |

1)由图2喷漆使用率的统计表可知,最后一个喷漆位利用率较低,这个喷漆位是多余的。

2)从表2可以看出,模型2比模型1平均月产量多出16%,而在制品则少于24%左右。

3)模型1某一阶段只生产一种产品,生产控制比较简单,但对市场变化的反应不够迅速(A、B、C分别为100%、43%、0)。模型2对生产控制策略有比较细致的考虑,引用精益思想的理念,生产均衡,对市场的反应速度快(A、B、C分别为47%、48%、47%),产量高^[10-11]。

5 结论

目前,我国许多制造业中使用的生产线,存在工序安排不合理、在制品过多、生产周期长、人员待工时间多等一系列问题,需要探讨适合的改造方法。基于传统思想和精益思想,使用eM-Plant软件分别建立了面向对象的离散事件仿真模型,通过两种模型仿真运行的输出数据结果,对两种不同思想下水洗机生产线改造后的生产产量和对市场反应速度的影响进行分析、比较。结果显示,应用精益思想对生产线进行改造,可以得到理想的效果。

参考文献:

- [1]林则孟. 系统模拟——理论与应用[M]. 台中: 沧海书局, 2001.
- [2]鲁斯·迈克, 舒克·约翰. 学着去发现[M]. 美国麻省: 精益企业研究所, 2003.
- [3]侯扬, 范秀敏, 严隽琪, 等. 基于仿真的制造系统对象建模及其应用[J]. 计算机集成制造系统—IMS, 2001(7): 42-46.
- [4]Tecnomatix Corporation. User manual of eM-Plant 6.1[S]. 1997.
- [5]Erdal Erel, Ihsan Sabuncuoglu, A Gurhan Kok. Analysis of serial production line systems for interdeparture time variability and WIP inventory systems[J]. International Journal of Quantitative Operations Management, 2004, 10(4): 43-63.

(下转第94页)

而第4个月的客户分布为 $n(4) = (12, 7, 5)$; $R(4)$ 取平均吸收新客户总人数, $R(4) = (2 + 3 + 1)/3 = 2$ 。根据式(12)有

$$[n(5), W(4)] = [R(4), n(4)]Q_b^* = [2, 12, 7, 5]Q_b^* = [12.3, 7.4, 5.6, 0.76]。$$

因此,预测得到的第IV周期的客户分布 $n(5) = (12.3, 7.4, 5.6)$,第IV周期的客户流失数量为0.76。而第IV周期实际的客户分布 $n(5) = (14, 7, 4)$,客户流失数量为1。可见,这种预测方法具有较高的准确性。

以第I周期至第IV周期的客户分布及其转移情况来预测第V周期的客户分布。

根据表3中前4个周期(I~IV)的客户转移概率均值,可构造

$$Q_b^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.893 & 0.089 & 0 & 0.018 \\ 0 & 0.888 & 0.063 & 0.049 \\ 0 & 0 & 0.95 & 0.05 \end{bmatrix}。$$

而第IV周期的客户分布为 $n(5) = (14.5, 7.5, 4)$, $R(5)$ 取平均吸收新客户总人数, $R(5) = (2 + 3 + 1 + 2)/4 = 2$ 。根据式(12)有

$$[n(6), W(5)] = [R(5), n(5)]Q_b^* = [2, 14, 7, 4]Q_b^* = [14.5, 7.5, 4, 0.8]。$$

因此预测得到的第V周期的客户分布 $n(6) = (14.5, 7.5, 4)$,第V周期的客户流失数量为0.8。而第V周期实际的客户分布 $n(6) = (14, 8, 3)$,客户流失数量为0。

3 结语

本文扩展了客户金字塔的概念,建立了客户金

字塔等级结构的数学模型,并应用马尔科夫链的基本原理对客户分布的周期性变化进行了动态建模,最后通过真实的企业销售数据验证了该模型。论文中所提到的 Q, w, r 等一些基本量反映了企业客户关系稳定性,可以作为评估企业与客户间关系优劣的评价指标;利用客户平均转移周期方程可以评估客户的生命周期,客户生命周期的长短反映了企业在维持客户关系方面的能力;利用客户分布预测方程可以对企业的客户分布作短期预测,对企业营销资源的配备和客户关系管理的执行有现实的指导意义。

参考文献:

- [1] Jay Curry. The 3C Method Mini White Paper [EB/OL]. [2003-07-06]. <http://www.GreateChinaCRM.org>
- [2] 陈明亮. 基于全生命周期利润的客户细分方法[J]. 经济管理, 2002(20): 42-46.
- [3] Dwyer F. Robert, Schurr Patti H, Oh Sejo. Developing buyer-seller relations[J]. Journal of Marketing, 1987(51): 11-28.
- [4] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [5] Parzen E. 随机过程[M]. 邓永录, 译. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [6] 陈明亮. 客户生命周期模式研究[J]. 浙江大学学报: 人文社会科学版, 2002, 32(6): 65-72.
- [7] 路晓伟, 蒋馥. 客户关系发展的马尔可夫过程模型及其应用[J]. 工业工程与管理, 2004, 9(1): 40-44.
- [8] 吴冲锋. 社会经济动态系统导论[M]. 上海: 上海科学技术出版, 1998.
- [9] Emanuel Parzen. Stochastic processes [M]. San Francisco: Holden Day, 1962.
- [10] Kemeny J G, Snel J L. Finite markov chains [M]. Princeton: Van Nostrand, 1960.

(上接第79页)

- [6] 程曙, 张浩, 朱志浩. 生产线混杂系统在 MATLAB 下的仿真和分析[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(6): 1649-1652.
- [7] Cheng Shu, Zhang Hao, Zhu Zhi-hao. Simulation and analysis of production line hybrid system under MATLAB[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(6): 1649-1652.
- [8] 蒋珉, 王延平, 严洪森. 有限缓冲区下的多生产线效益计划模型及仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(6): 1326-1330

- [9] Jiang Min, Wang Ting-ping, Yan Hong-sen. Model and simulation of benefit planning for multiple-product-line with limited buffers[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(6): 1326-1330.
- [10] 朱蕾, 杜静. 精益建设过程中持续流的应用研究[J]. 建设管理现代化, 2006, 7(6): 9-12.
- [11] 王新荣, 范玉青. 基于精益生产的企业价值流的研究[J]. 制造业自动化, 2002, 24(8): 28-30

作者: [刘光富](#), [李苗](#), [Liu Guang-fu](#), [Li Miao](#)
作者单位: [刘光富, Liu Guang-fu\(同济大学经济与管理学院, 上海, 201804\)](#), [李苗, Li Miao\(同济大学机械工程学院, 上海, 201804\)](#)
刊名: [工业工程](#) **ISTIC PKU**
英文刊名: [INDUSTRIAL ENGINEERING JOURNAL](#)
年, 卷(期): 2008, 11(6)

参考文献(11条)

1. [林则孟](#). [系统模拟—理论与应用](#) 2001
2. [鲁斯·迈克](#). [舒克·约翰](#). [学着去发现](#) 2003
3. [侯扬](#). [范秀敏](#). [严隽琪](#). [基于仿真的制造系统对象建模及其应用](#)[期刊论文]-[计算机集成制造系统-CIMS](#) 2001(07)
4. [Tecnomatix Corporation](#). [User manual of eM-Plant 6.1](#) 1997
5. [Erdal Erel](#). [Ihsan Sabuncuoglu](#). [A Gurhan Kok](#). [Analysis of serial production line systems for interdeparture time variability and WIP inventory systems](#) 2004(04)
6. [程曙](#). [张浩](#). [朱志浩](#). [生产线混杂系统在MATLAB下的仿真和分析](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2006(06)
7. [Cheng Shu](#). [Zhang Hao](#). [Zhu Zhi-hao](#). [Simulation and analysis of production line hybrid system under MATLAB](#)[期刊论文]-[Journal of System Simulation](#) 2006(06)
8. [蒋珉](#). [王延平](#). [严洪森](#). [有限缓冲区下的多生产线效益计划模型及仿真](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2005(06)
9. [Jiang Min](#). [Wang Ting-ping](#). [Yan Hong-sen](#). [Model and simulation of benefit planning for multiple-product-line with limited buffers](#)[期刊论文]-[Journal of System Simulation](#) 2005(06)
10. [朱蕾](#). [杜静](#). [精益建设过程中持续流的应用研究](#)[期刊论文]-[建筑管理现代化](#) 2006(06)
11. [王新荣](#). [范玉青](#). [基于精益生产的企业价值流的研究](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2002(08)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gygc200806018.aspx