



制造过程的分析方法与系统仿真

清华大学机械工程系 (北京 100084)

石伟 赵斌 刘玉坤 张晓萍

7428

产品制造过程是一个包括用户需求分析, 产品方案设计, 生产规划, 原材料、在制品的库存控制, 最终产品的存储、配送策略等在内的综合过程。市场竞争的加剧以及产品生命周期的缩短, 特别是市场的不可预测性, 极大地影响了企业的生产组织和管理方式。以汽车工业为例, 过去每 10 年大约推出 3 个车型, 现在每 3 年就推出 10 个车型。目前, 制造业已进入顾客要求个性化的批量定制阶段, 不能再简单地依靠降低制造成本来提高竞争力。为缩短产品开发周期, 提出了许多制造模式 and 设计策略, 包括质量功能分析 (QDF)、价值工程 (VE)、并行工程、丰田汽车的及时生产 (JIT) 和看板生产, 以及 DELL 电脑采用的按单生产 (MTO) 等。

近年来, 供应链管理 (Supply Chain Management) 得到了很大的重视, 许多企业应用供应链管理的原则来重组业务流程。所谓供应链就是由供应商、制造商和销售商协同来完成原材料采购、产品制造和产品配送的过程。供应链管理强调构成供应链的各环节企业之间的协作, 认为今后市场的竞争不仅是单个企业之间的竞争, 而是整个供应链上的全部企业与另一供应链上全部企业之间的竞争。国内企业也意识到了供应链管理的作用, 例如国内的一些知名家电制造企业进行了物流改造、协同采购等方面的工作, 收到了很好的效果。随着越来越多的外企进入国内, 也把一些成熟的供应链管理运作方法引入了国内。企业为更好地适应市场变化, 提高竞争力, 需要应用供应链管理来改造生产模式。本文总结了供应链分析的基本方法, 并介绍了离散事件系统仿真技术及其在生产流程分析中的应用。

一、供应链分析方法

如图 1 所示, 供应链可以分为两个基本的阶段: 生产规划与库存控制过程, 配送与物流过程。生产规划包括整个生产制造过程的设计与管理。库存控制包括原材料、在制品及最终产品的存储策略、相关过程的设计与管理。配送与物流过程决定如何将产品从仓库送到零售商, 这个过程包括补

货、运输和最终产品配送的管理。企业内部的生产规划与库存控制过程, 可以理解为狭义的供应链。最终用户需求的波动、需求预测的偏差对整个供应链有决定性的影响。

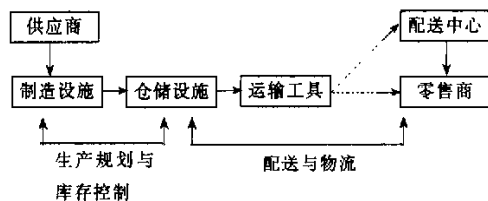


图 1 供应链示意图

由于很难预测最终用户的需求, 给制造企业的生产组织造成了很大的困难。

(1) 产品的交付周期满足不了用户的要求, 从而损失用户。

(2) 生产计划经常被紧急需求打断, 最初排定的计划无法按时完成。

(3) 库存水平居高不下。

(4) 产品换型产生大量过时库存。

采用供应链分析的手段, 能够找出在生产流程中所存在的问题, 达到优化生产流程、降低库存的目的。按照对供应链的建模方法, 把供应链分析方法归为以下四类:

(1) 确定型解析分析方法。

(2) 随机型解析分析方法。

(3) 经济学分析方法。

(4) 系统仿真分析方法。

1. 确定型解析分析方法

在确定型解析分析方法中, 用来描述供应链的参数都是确定型的变量, 而供应链模型的建立采用网络图或建立输入-输出关联矩阵等方法。评价供应链绩效的参数主要有生产成本、整体库存水平和交货周期等, 也有研究者直接用税后收益率来评价制造系统的配置和规划的优劣。根据设定的目标函数和约束条件, 采用数学规划或启发式算法来寻找生产成本最低、库存水平最低, 并满足交货期要求的系统配置和生产规划方案。



2. 随机型解析分析方法

在实际生产过程中存在着诸多的不确定因素,随机型解析分析方法所使用的供应链绩效评价参数与确定型方法所采用的一致,所不同的是采用随机模型来表示产品需求和生产过程中的延迟,例如用复合泊松过程描述系统中的产品需求。这种方法更好地反映了实际生产系统的不确定性,可以得到生产成本、库存水平的统计结果。

3. 经济学分析方法

采用经济学理论和博弈理论来分析供应链上各环节之间的买家-供应商关系,例如用过程特异性和产品特异性的高低来评价供应链上买家和供应商的相对风险。

4. 系统仿真分析方法

实际制造系统的结构复杂、环节众多,在模型结构比较复杂或不确定性因素比较多的场合下,采用数学规划或启发式算法进行系统分析会很困难。在这种情况下,使用系统仿真方法还可以克服算法上的困难,具有显著的优越性。系统仿真方法还可以在不同的层次上,分析不同约束条件和输入下制造系统的动态响应,提供决策支持。

二、离散事件系统仿真技术

1. 离散事件系统仿真简介

离散事件系统所包含事件的发生在时间上是离散的,在这类系统中,各事件以某种顺序或在满足某种条件时发生,并且大多是随机的。制造系统是典型的离散事件系统,用户对产品的需求是随机发生的,产品需求的数目也是随机变化的,产品的生产过程要满足某种顺序或条件。离散事件系统还包括订票系统、通信系统、交通控制系统及计算机网络系统等。离散事件系统不能用方程式来描述系统模型,通常是采用流程图、活动周期图或网络模型来描述,例如使用 Petri 网。由于离散事件系统固有的随机性,对这类系统的研究往往十分困难,通常要依靠计算机仿真技术来提供较为完整的分析结果。

离散事件系统仿真技术主要应用在以下场合:

- (1) 在实际系统尚未建立之前评价和论证系统方案,进行优化设计。
- (2) 在实际系统上实验会造成巨大的损失。
- (3) 系统无法恢复。

应用离散事件系统仿真技术具有明显的优点。

首先,可以比较多种设计方案,避免设计错误,安全可靠。其次,相对投资比较少,工作效率高。

2. 离散事件系统仿真软件

离散事件系统仿真的研究,可以追溯到 20 世纪 50 年代。60 年代开始到 70 年代末,是离散事件系统仿真研究成熟的阶段。在此其间开发了许多著名的系统仿真语言,包括 GPSS、SIMULA、SLAM、SIMAN 等。这些语言都提供了仿真时钟、随机数发生器和一些基本子程序,大大简化了使用者的编程工作,有些程序还提供了多种建模方式。国内也引进了一些系统仿真语言,例如 GPSS 和 SIMAN。

为缩短建模的时间,使工程技术人员也能方便地进行系统仿真。在 20 世纪的最后 20 年中开发了很多仿真软件。目前应用比较广泛的仿真软件有 Arena、Automod、Extend、TED、Msaint、Witness、Showflow 等。这些仿真软件多数是以仿真语言为主体,例如 Arena 软件就是在 SIMAN 语言的基础上开发的。仿真软件在人机交互和结果输出上具有仿真语言无法比拟的优点,能够进行图形建模,提供各式报表和数据统计功能,还提供了二维/三维动画功能。有的软件提供了虚拟场景功能,可以用三维的虚拟场景向用户展示仿真结果。图 2 是用 AutoMod 软件分析立体仓库系统时建立的三维虚拟场景,图 3 是用 Showflow 软件分析某工厂生产过程的三维虚拟场景。

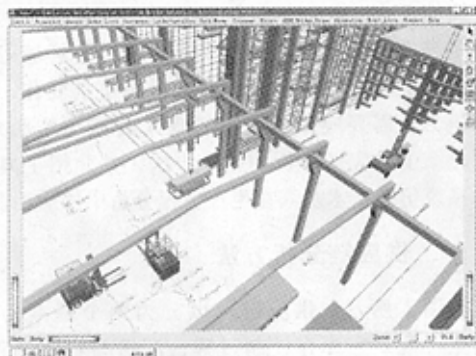


图 2 立体仓库系统的虚拟场景

目前,国外相关仿真软件的开发和应用已经具有一定的规模,出现了专业的仿真软件开发商和系统仿真咨询公司,在生产控制、库存管理、供应链



等方面做了许多研究工作,例如丹麦的 Coopers & Lybrand Simulation 公司完成了多项大型系统的仿真分析。

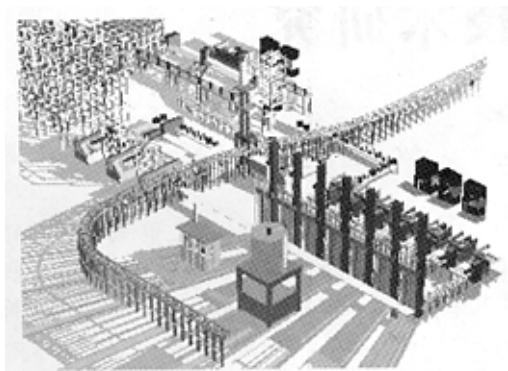


图3 制造系统的虚拟场景

三、应用实例

1. 移动电话生产流程分析

瑞典的 Persson 等人使用 TaylorII 仿真软件分析了移动电话的生产流程,选择产品质量、生产周期和成本作为生产线性能的主要评价参数,对比了三种不同生产线配置的效果。生产线上所有的操作时间都用对数分布来描述,产品是否需要返工、剔除和出错的概率则用柏努利分布来表示,其中一种生产线配置方案的仿真模型如图4所示。采用9组

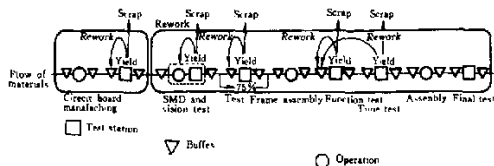


图4 移动电话生产线的仿真模型

不同的输入参数方案进行仿真,每个方案运行7遍,仿真长度是4个月。通过仿真分析得到了以下结论:

(1) 库存主要是各个操作环节的缓存,库存量随着测试环节的减少而显著减少。

(2) 除了元器件的质量水平,生产线结构也是影响最终产品质量的重要因素。

2. 立体仓库设计方案分析

作者用 AutoMod 软件分析了某立体仓库的设计方案。该仓库由4巷道自动化立体仓库、轨道分配小车、进出辊道传送带和叉车组成,其三维模型

如图5所示。仓库的出入货操作有以下5种情况:入货、出货、紧急入货、紧急出货和同时出入货。通过仿真可以发现,分配小车的速度对立体仓库性能的影响最大。如果分配小车的速度比较低,会造成货物在辊道上堆积,造成系统堵塞(见图6)。

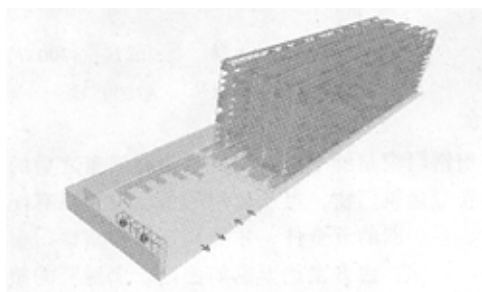


图5 立体仓库的三维模型

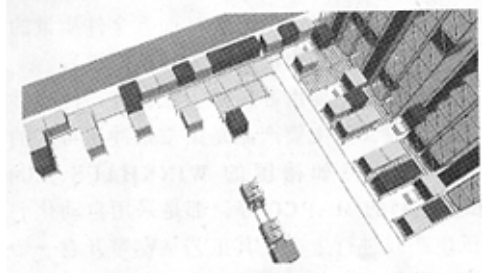


图6 出入库操作阻塞示意

四、结语

产品需求预测的误差和用户需求的波动,使得企业必须采用新的生产模式。按订单生产的方式与按计划生产的方式之间的矛盾在国有企业中反映得尤其明显,事实上,任何计划都无法准确地预计市场变动,按计划生产很容易变成按库存生产,一方面造成库存水平居高不下,另一方面造成生产计划安排困难,生产周期过长。应用供应链分析的方法,则能够全面分析产品制造流程对市场变动的反应能力,寻找优化的配置方案和生产计划。离散事件系统仿真,能够定量地分析复杂制造系统的动态变化特征,是制造流程分析的一个重要方法。应用系统仿真技术将发挥以下的作用:

(1) 分析现有系统,对比系统改进方案,为企业提供有效的决策支持。

(2) 找出影响制造系统绩效的决定因素。

(3) 确定缩短生产周期与降低库存水平的平衡点,寻求整体优化。

(20021203)