

装备制造企业生产物流仿真系统^①

曹渝昆¹, 李云峰², 王琛²

¹(上海电力学院 计算机与信息工程学院, 上海 200090)

²(中国商用飞机有限责任公司, 上海 200120)

摘要: 分析了装备制造企业生产物流的特点, 属于典型的离散型复杂装备制造企业, 生产过程复杂、物流供应链复杂, 产品批量小, 以定制生产为主。提出了基于离散事件建模的生产物流过程模型, 研究了影响企业生产物流的约束条件及其相互关系; 设计了装备制造企业生产物流仿真系统, 实现了生产全过程的物流仿真。基于生产物流仿真系统, 以某大型企业为研究应用背景, 量化分析了生产过程物流的关键因素, 并给出了相应建议。

关键词: 装备制造; 复杂产品制造; 生产过程; 计算机仿真; 仿真建模

Material Flow Simulation System in Assembly Process of Equipment Industries

CAO Yu-Kun¹, LI Yun-Feng², WANG Chen²

¹(Computer and Information Engineering Department, Shanghai University of Electronic Power, Shanghai 20090, China)

²(Commercial Aircraft Corporation of China Ltd, Shanghai 200120, China)

Abstract: The characteristics of assembly process in equipment industries are analyzed, which are discrete manufacture, complex production, complex supply chain, much customized production than traditional manufacture enterprise. The material flow model of assembly process is proposed based on discrete event simulation. This paper studies the restriction condition and correlation of material flow in assembly process, and designs the material flow simulation system of equipment industries. The simulation model is applied to the numeric analysis of an equipment manufacture enterprise. The important complication of material flow is analyzed, and the advice of material flow process optimization is given.

Key words: equipment manufacture; large-sized and complex product; assembly process; computer simulation; modeling

装备制造是指零部件数量大、结构复杂、技术含量高、涉及多学科技术知识、制造装配所需资源非常多的产品制造, 飞机、卫星、汽车、机车车辆、船舶、大型专用或通用设备等均属于装备制造。我国装备制造业整体发展水平比较低, 竞争力比较弱, 培育和提升企业的核心竞争能力已成为装备制造业发展的关键。装备制造企业属于典型的离散型复杂制造企业, 其企业生产物流关系复杂, 参与主体复杂, 生产周期长, 对供货及时性和质量要求高。

企业生产物流仿真建模目的是为了支持企业生产物流过程中的各项分析和决策活动。目前常用生产物

流建模的方法主要是从描述物流中对象之间关系的角度来建模的, 根据模型的描述工具将物流链建模方法分为: 运筹学方法、微分/差分方程方法、网络设计方法和基于过程的方法等。由于装备制造生产物流过程的复杂性, 采用传统的研究方法很难描述和求解; 采用计算机建模仿真技术研究专用的仿真系统是一条可行的途径。计算机仿真具有良好的动态适应性, 可以处理生产物流中的复杂和不确定因素, 预测物流的发展趋势, 有利于降低物流综合成本等^[1-5]。

本文针对装备制造企业生产物流的特点, 研究了影响企业生产物流的约束条件及其相互关系, 提出了

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2009AA044601); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金; 上海市信息化发展专项资金

收稿时间: 2010-12-21; 收到修改稿时间: 2011-02-23

基于离散事件建模的生产物流过程模型；设计了装备制造企业生产物流仿真系统,实现了生产全过程的物流仿真。以某大型装备制造企业为研究背景,量化分析了生产过程物流的关键因素,给出了相应的建议。

关键词库的结合大大提高了信息抽取算法的准确性和通用性,基于 Web 信息抽取的混合交通出行方案生成与表示系统的成功实验也证明了本文提出的 Web 信息抽取算法的实用性。

1 装备制造企业生产物流过程模型

装备制造企业属于典型的离散型复杂制造企业。装备制造生产过程复杂、涉及的物料种类和人力、物力多,管理过程复杂,最终产品复杂,需要大量组织部门协同完成,产品研制周期长。尤其企业生产物流关系复杂,参与主体复杂,生产周期长,对供货及时性和质量要求高。以一般制造企业为研究对象的生产物流过程模型经过长期的发展,建立起相当多适应不同应用的模型。由于装备制造企业的特殊性,针对该类企业生产物流过程模型相关报道较少见到。

装备制造企业生产过程可归纳为产品从设计、原材料和零部件采购、制造装配、试车、交付等诸多环节。由于产品质量管理的需要,生产物流全过程必须满足以可追溯性为核心的物流精确管理的需求。

装备制造企业生产物流过程涉及的主要对象有:采购部门、仓储部门(原料库、半成品库、成品库等)、生产车间(多级、多层次)、制造工艺部门、质量检验部门、综合计划部门、生产调度部门、产品交付部门、供应商、客户、物流配送部门等。生产车间根据生产制造需要,可对应企业的多个生产车间。质量检验部门对企业物流的所有环节进行监督、检验,实施全程质量管控。根装备制造企业生产一般采用小批量、定制性特性,一般根据企业订单分解制定原料采购计划;制造工艺部门给出采购清单,根据设计部门指令向采购部门发出设计更改单,根据产品技术状态对采购清单进行修正。生产调度部门向仓储部门发出发料指令,仓储部门依据发料指令和分工路线向车间送料。生产车间根据调度指令组织生产,加工半成品由物流部门送至下一工序或半成品库。产品交付部门负责对产品进行试车,送至交付库或直接交付客户。图 1 给出了装备制造企业生产物流系统示意图。

装备制造企业生产过程是一类典型的复杂系统,

采用传统的研究方法很难描述和求解其多阶段、多层次和多主体间的动态关系,企望通过复杂的数学建模过程研究该类物流链问题并不切合应用实际;基于计算机的建模仿真方法是研究物流链的最有力的工具之一^[5,7]。面向对象技术来源于计算机仿真,认为软件系统是对现实世界的抽象。基于面向对象的系统仿真是计算机仿真的主流发展方向。本文采用面向对象的离散事件系统仿真技术研究航空制造企业物流链仿真建模。在面向对象的系统仿真中,组成系统的实体以对象来描述,对象由属性和活动构成,每个对象是一个自主单元,对象之间通过消息传递来建立联系以协调活动。

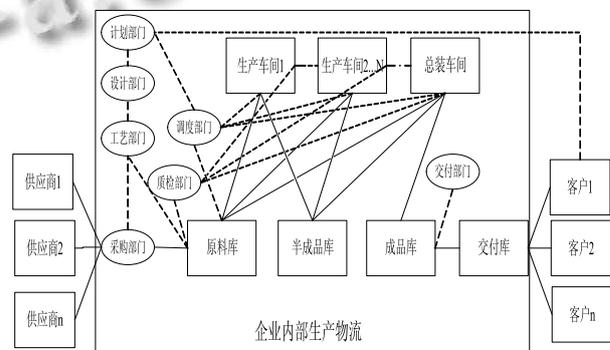


图 1 装备制造企业生产物流系统示意图

装备制造企业生产过程是一类典型的复杂系统,采用传统的研究方法很难描述和求解其多阶段、多层次和多主体间的动态关系,企望通过复杂的数学建模过程研究该类物流链问题并不切合应用实际;基于计算机的建模仿真方法是研究物流链的最有力的工具之一^[5,7]。面向对象技术来源于计算机仿真,认为软件系统是对现实世界的抽象。基于面向对象的系统仿真是计算机仿真的主流发展方向。本文采用面向对象的离散事件系统仿真技术研究航空制造企业物流链仿真建模。在面向对象的系统仿真中,组成系统的实体以对象来描述,对象由属性和活动构成,每个对象是一个自主单元,对象之间通过消息传递来建立联系以协调活动。

一般来说,车间生产物流包括正向物流和反向物流。根据美国物流管理协会的定义,正向物流是指计划、实施和控制原料、半成品库存、制成品和相关信息,高效和经济地从起点到消费点的流动过程,从而达到满足客户需求的目的。在生产物流中,正向物流

是由企业正常生产流程组成的,其过程:仓库备料-机械加工-检测-合格品-装配-入库;反向物流是由非正常生产流程组成,其过程:备料-机械加工-检测-不合格品-评审分类-返修、返工品、降级品或报废品^[7]。通常对不同类型的合格品采取不同的处理方式,在不同的生产阶段,企业对合格品采取转移下道工序继续加工或入库;对不合格品的管理主要采取标记、隔离、处理和纠控等管理方式,避免不合格品的入厂、转序和出厂。

由于装备制造企业生产物流过程的复杂性,本文对其物流过程进行适当简化,并有如下约定:(1)原料库根据调度指令给车间送料;(2)车间加工后送至半成品库;(3)总装车间根据调度指令到半成品库取料;(4)总装车间装配后送至成品库;(5)成品库对成品测试合格后送至交付库。如发生质量故障由故障发现处退回其上一级。图 2 给出了装备制造企业生产物流中主要存放点。

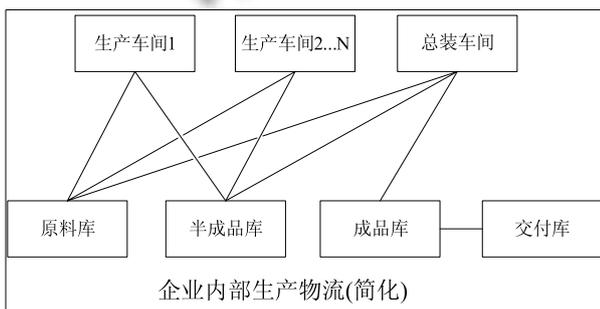


图 2 装备制造企业生产物流简化过程

装备制造企业生产物流过程仿真的数据模型主要有物料基础信息、调度计划信息、台帐信息以及统计信息等。

物料基础信息:

- 物料 (价格、合格率、损坏率、故障件返厂处理时间、保管费、固定采购费用、附加采购费用、缺件费率、修理费用、订货系数)

- 成品 (价格、重要系数)

- 产品 BOM (物料、物料数量、成品)

调度计划信息:

- 发料指令 (发料指令号、物料编号、物料数量、成品编号、车间、发料日期、指令类型)

- 装配指令 (装配指令号、成品编号、成品数量、车间、装配日期、交付日期)

- 采购计划 (采购计划号、物料编号、物料数量、供货日期、采购计划日期、计划类型)

- 采购计划调整 (采购计划号、物料编号、物料数量、原供货日期、调整供货日期、类型)

台帐信息:

- 仓库台帐 (物料编号、物料数量、盘点日期)

- 车间台帐 (车间编号、物料编号、物料数量、成品编号、盘点日期)

- 半成品仓库台帐 (物料编号、物料数量、成品编号、盘点日期)

- 总装车间台帐 (成品编号、成品数量、盘点日期)

统计信息:

- 正常采购计划费用 (固定采购周期): 物料数量*单价+固定采购费用

- 临时采购计划费用: 物料数量*单价+固定采购费用+附加采购费用

- 仓库保管费用: 物料数量*每件保管费*时间

- 缺件费用: 物料数量*缺件费率*时间

- 平均单件供应成本=(正常采购计划费用+临时采购计划费用+仓库保管费用+缺件费用+修理费用)/物料数量

- 缺件率=缺件数量/(按时发料数量+缺件数量)

- 成品计划完成率=按时完成数量/计划量

装备制造企业生产物流过程仿真的逻辑主要由控制指令、业务处理和数据统计业务构成。

控制指令:

① 计划调度模块

发料指令: 计划内发料 (每月), 计划外发料 (每天)

装配指令: 计划内装配数量 (每月)

② 采购模块

采购计划: 正常采购计划 (每年)、临时采购计划
采购计划调整: 提前交付 (针对正常采购计划)

③ 质检模块 (故障件处理模块)

产品故障 (入库、车间、总装、交付): 返厂, 延迟故障件返厂处理时间后送至原料仓库

损坏故障 (车间、总装、交付): 返厂, 延迟故障件返厂处理时间后送至原料仓库, 产生修理费用

业务处理:

① 原料库模块

- 原料库发料: 正常送料、缺件送料
- 原料库回收: 从车间回收故障件/损坏件
- ② 车间模块
- 车间送件: 车间送至半成品库
- ③ 总装车间模块
- 总装车间收件: 总装车间根据调度指令到半成品库收件
- 总装车间发件: 总装车间装配后送至成品库
- ④ 成品库模块
- 成品库发件: 成品库送至交付库
- 数据统计:
- ① 平均单件供应成本
- ② 平均库存量
- ③ 缺件率
- ④ 成品计划完成率

2 装备制造企业生产物流过程仿真原型系统

本文以国内某大型装备制造企业生产物流过程管理为研究背景, 设计开发了生产物流过程仿真原型系统。系统采用多层软件架构, 由表示层、业务逻辑层和数据访问层构成。考虑到系统的开放性和易用性, 系统开发平台采用微软的.net 架构, 后台数据库采用 Oracle9i。图 3 给出了装备制造企业生产物流过程仿真原型系统架构。

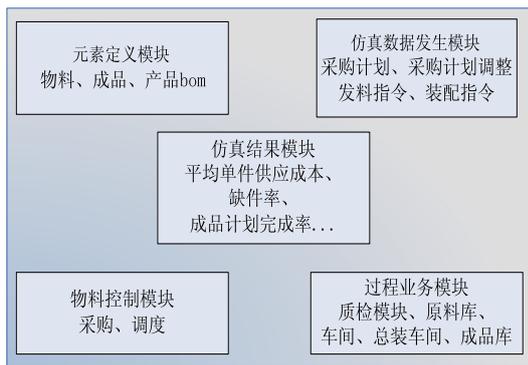


图 3 装备制造企业生产物流过程仿真原型系统架构。

生产过程中的物流控制策略是装备生产的重要环节之一, 装备制造企业生产物流过程仿真系统对于改进生产过程中的物流控制策略具有重要意义; 影响企业生产物流的约束条件及其相互关系非常复杂, 通过

企业生产物流过程仿真系统可以模拟企业的实际情况, 有助于企业生产物流优化的科学决策。物料的采购系数(此处采购系数定义为: 采购量=需求量*采购系数)是企业库存控制的一个重要参数, 一般情况下根据管理人员的经验大致判定; 如何科学确定其取值对于确保企业的正常生产以及降低物料综合供应成本意义重大。本文以国内某大型装备制造企业一种物料的采购系数(计划采购量与实际需求量之间的放大倍数)确定对提出的仿真系统进行验证。该物料是该厂装备制造的一种关键零配件, 属于物料 ABC 分类法管理中的 B 类, 年需求量较大, 单价较高, 但该物料的生产周期较长, 对正常产品交付影响较大。下面给出其关键指标计算公式, 参数定义见表 1。

- ① 缺件费用: $F_{qj} = \sum_{\text{缺件次数}} Q_{jn} * F_{qjl} * T_{qj}$
 - ② 正常采购计划费用: $F_{yzn} = Yzn * F_{jg} + F_{gd}$
 - ③ 临时采购计划费用: $F_{yln} = Yln * F_{jg} + F_{gd} + F_{fj}$
 - ④ 平均单件供应成本:
- $$F_{av} = \frac{F_{yzn} + F_{yln} + F_{qj} + Ysn * Shl * F_{xl} + (Yzn + Yln) * T_{bg}}{Ysn}$$
- ⑤ 缺件率: $Q_{jl} = \frac{Q_{jn}}{Ysn}$
 - ⑥ 年度物料总费用(库存资金占用):
- $$F_{sum} = F_{yzn} + F_{yln} + (Yzn + Yln) * T_{bg}$$

表 1 系统参数定义

符号	定义	符号	定义
Ysn	年度使用数量	F_yzn	正常采购计划费用
Yzn	正常采购数量	F_yln	临时采购计划费用
Yln	临时采购数量	F_av	平均单件供应成本
Hgl	合格率	F_sum	年度物料总费用
Qjn	缺件数量	F_qj	缺件费用
F_qjl	缺件费率	Qjl	缺件率
T_qj	缺件时间	F_gd	固定采购费用
Shl	损坏率	F_fj	附加采购费用
F_xl	修理费率	F_jg	价格
F_bgl	保管费率	T_bg	平均保管时间

根据该企业的实际情况, 采购系数分别取(1,1.1, 1.3,1.5), 图 4 给出了系统运算结果。在保证较低的缺件率的情况下, 采购系数可选 1.3 或 1.1。

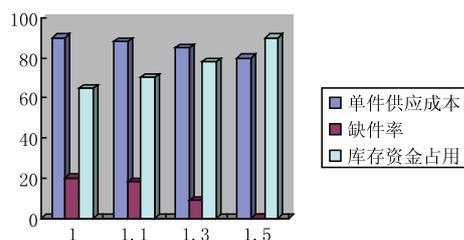


图4 系统仿真运算结果分析

3 结语

装备制造企业生产过程是一类典型的复杂系统,采用传统的研究方法很难描述和求解其多阶段、多层次和多主体间的动态关系,企望通过复杂的数学建模过程研究该类物流链问题并不切合实际应用;基于计算机的建模仿真方法是研究物流链的最有力的工具之一。文章针对装备制造企业生产物流的特点,提出了基于离散事件建模的生产物流过程模型,设计了装备制造企业生产物流仿真系统,以某大型企业为研究背景,量化分析了生产过程物流的关键因素。

鉴于装备制造企业生产过程物流的复杂性,本文提出的仿真系统仍需进一步完善,尤其是关键仿真参数的获取,对于仿效运行效果至关重要,如何利用企业积累的历史数据对仿真参数进行修正是未来的研究重点。

参考文献

- 刘玉坤,石伟,张晓萍. 集合标志 Petri 网的建模方法及在供应链库存控制中的应用. 计算机集成制造系统, 2005, 11(9): 1260-1266.
- Sanjay J, Workman RW, Collins LM, et al. Development of a high-level supply chain simulation model. [2003-01-10]. <http://www.informs-cs.org/wsc01papers/153.pdf>
- 姜金菊, 林杰. 基于智能代理的供应链仿真. 系统仿真学报, 2004, 12: 2847-2850.
- 王忠明. 基于过程集成的工装业务流程管理研究[硕士学位论文]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- 郑锋. 混合型生产过程建模与调度优化[博士学位论文]. 西安: 西北工业大学, 2003.
- Yun WY, Choi YS. A simulation model for container terminal operation analysis using an object-oriented approach. *Production Economics*, 1999, 59(123): 221-230.
- 张新艳, 周健. DFT 的装配车间生产物流策略仿真与研究. *工业工程*, 2007, 9: 114-118.
- 曹渝昆, 王海林. 基于状态检修的流域性水电厂备品配件系统. *电网技术*, 2007, S2: 162-165.
- 杨宇航, 赵建民, 李志忠, 郑力. 备品配件管理系统仿真研究. *系统仿真学报*, 2004, 16(5): 981-984.
- 张涛, 苗明, 金淳. 基于仿真优化的集装箱堆场资源配置研究. *系统仿真学报*, 2007, 19(24): 5631-5634.
- 刘晖, 李明禄. 基于抽象状态机的网格系统设计和分析. *电子学报*, 2003, 31(12A): 2096-2100.
- Spec Explorer. <http://research.microsoft.com/en-us/projects/specexplorer/>
- Guillem B, Alan B, Albert L. Weakly hard real-time systems. *IEEE Trans. on Computers*, 2001, 50(4): 308-321.
- Hamdaoui M, Ramanathan P. A dynamic priority assignment technique for streams with (m,k)-firm deadlines. *IEEE Trans. on Computer*, 1995, 44(12): 1443-1451.
- 张光胜. MPLS 接纳控制关键技术研究. 长沙: 国防科技大学, 2008.
- Lee T K, Zukerman M. Practical approaches for connection admission control in multiservice networks. *Proc. IEEE ICoN'99*. 1999: 172-177.
- Jamin S, Shenker SJ, Danzig PB. Comparison of measurement-based admission control algorithms for controlled-load service. *IEEE INFOCOM*, 1997: 973-980.
- TSE D, Orossglauser M. Measurement-based call admission on control: Analysis and simulation. *IEEE INFOCOM*, 1997: 981-989.
- 马小骏, 顾冠群. 基于测量的接纳控制研究. *计算机学报*, 2001, 24(1): 40-45.
- 李超, 张冬松, 金士尧. 面向流媒体应用的实时可执行概率获取方法研究. *计算机应用研究*, 2010, 27(9): 3462-3465.

(上接第 53 页)