

虚拟企业生产物流系统建模仿真

蒋益良, 方志梅*

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 分析了虚拟企业生产物流的层次结构, 以注塑机中的螺杆零件为例, 应用 IDEF0 建模方法构建了虚拟企业生产物流系统各层次的功能模型. 基于 IDEF0 模型与 SIMIO 软件的对应关系建立了仿真模型, 依据仿真数据能够判断生产物流系统运行的瓶颈、分析原材料采购与配送等问题, 为进一步优化虚拟企业生产物流提供依据.

关键词: 虚拟企业; 生产物流; IDEF0 功能模型; SIMIO 仿真

中图分类号: TH165

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 02-0123-05

虚拟企业是一个以跨企业资源集成为特征的动态企业联盟, 这种联盟高效整合了多个企业的内外资源, 能够快速响应市场需求, 但也影响着传统企业生产物流的组织形态. 生产物流是物料按照制造工艺流程在不同的生产单元之间流转的过程, 以实现其形态转变. 相比于单个企业, 虚拟企业的生产物流除了企业内部物流外, 还涉及企业之间的物料流转, 体系更加复杂, 研究其建模与仿真将有助于生产过程的优化.

近年来, 一些学者研究了生产物流的建模仿真. 曹国安等^[1]针对汽车转向节车间生产物流系统的产能平衡、在制品堆积等问题, 通过生产物流建模仿真, 提出了控制生产节拍的优化方案. 毛健等^[2]对汽车零部件生产物流进行仿真后, 调整了生产过程中的设备分配, 解决了生产节拍混乱、产能失衡的问题. 罗培春^[3]构建了卷烟生产物流系统中的卷接包自动生产线模型, 并用仿真实验分析了设备故障率与利用率的关系. 曹政才等^[4]利用模糊 Petri 网建立了半导体投料控制模型, 依据生产线的实时信息确定了投料控制行为. Ludek^[5]采用 Plant Simulation 仿真方法研究了倾析离心机的生产物流, 提出了涉及车间布局、新设备购置的物流优化方案. Mendes 等^[6]在建模仿真照相机装配生产线的基础上, 优化了物流线路配置. 刘力卓等^[7]运

用 TOC 理论, 结合 Witness 软件对立柱制造车间生产线进行了建模仿真, 经优化参数、调整设备数量, 提高了机器利用率和生产效率. 可见, 对生产物流的建模与仿真可有效地支持生产系统的优化. 但是目前的研究主要是针对企业内部的生产物流, 对于跨企业合作的生产物流系统研究较少.

笔者面向多企业联盟的虚拟企业, 研究其生产物流的建模与仿真方法, 采用 IDEF0 方法构建功能模型, 在此基础上建立 SIMIO 仿真模型, 用仿真结果分析虚拟企业生产物流系统, 为优化生产过程提供依据.

1 虚拟企业生产物流的层次性

对单个企业而言, 生产物料根据产品工艺流程在企业内部的工序节点、车间节点间流转. 而在虚拟企业中, 生产物料除了流经企业内部物流节点外, 还要在不同的企业节点上流动. 根据物流节点类型的不同, 可将虚拟企业生产物流分为虚拟企业层与成员企业层. 在虚拟企业层, 生产物流以企业为节点, 着重把握企业之间的物流关系, 封装企业内部的物流过程与信息, 此时各企业相当于虚拟企业内部的“车间物流”. 在成员企业层, 以工序为生产物流节点, 研究企业内部的物流轨迹, 其层次结构如图 1 所示.

收稿日期: 2014-10-24.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY14G10002); 浙江省科技厅科研项目(2012C35006).

第一作者: 蒋益良(1990—), 男, 浙江温州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 制造系统与制造模式. E-mail: 965151727@qq.com

*通信作者: 方志梅(1961—), 女, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 制造系统与制造模式. E-mail: fangzhimei@nbu.edu.cn

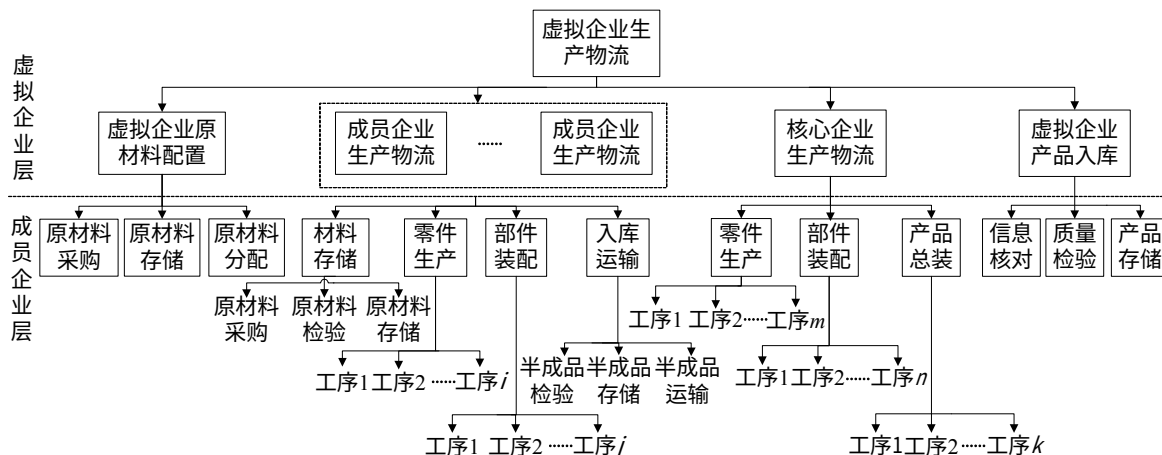


图1 虚拟企业生产物流系统的层次结构

这种层次性也表现在虚拟企业的运作机制上。虚拟企业层的生产运行主要涉及企业之间的接口和虚拟企业与外界的关联问题,如产品订单的接收、交付;成员企业生产任务的分配、协调;部分有特殊要求的原材料采购、配送等,这些工作一般由核心企业承担。成员企业层涉及的是企业内部的生产运行,各个企业根据虚拟企业合作协议,各自完成所承担的零部件制造任务。

为了深入分析虚拟企业生产物流,笔者通过建立功能模型定性分析各层次活动的功能,通过计算机仿真系统定量研究生产物流的性能,并以注塑机中螺杆零件的制造过程为例展开。螺杆是注塑机注射系统塑化装置的一个核心零件,结构复杂、制造要求高,其质量直接影响注塑机原料的输送效率与塑化质量,通常由专业的企业制造并运输交付,但其原材料(特种氮化钢)由注塑机制造企业采购并配送。因此其生产系统构成一个简单的虚拟企业(以下称螺杆虚拟企业),核心企业是注塑机制造企业A,成员企业是螺杆生产企业C。

2 虚拟企业生产物流的功能建模

IDEF0是目前系统功能建模的重要工具,采用该建模方法并自上向下逐层分解,可以建立虚拟企业生产物流系统各层次的功能模型,表达各个活动的功能及其输入、输出、约束控制和实现机制,明晰虚拟企业与外部环境的接口关系和各活动之间的纵横联系。

2.1 功能模型建立

IDEF0功能模型的A-0图表达系统的目标以及

与外界的联系。螺杆虚拟企业的功能是将特种氮化钢加工成螺杆,整个生产物流系统的运行受控订单要求、虚拟企业合作计划、螺杆工艺方案、螺杆作业规范等内外部约束因素,如图2所示。

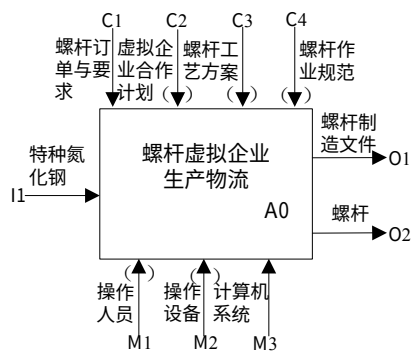


图2 螺杆虚拟企业生产物流系统A-0图

将A-0图展开即得描述系统顶层活动功能模型的A0图,其中核心企业A根据订单要求、存储规范等约束购入、存储螺杆原材料,并按照合作协议配送给成员企业C;企业C按照合作协议和螺杆技术要求,完成加工并将螺杆成品送回企业A;企业A验收后入库用于塑化装置的装配。顶层功能由企业A原材料配置A1、企业C生产物流A2、企业A生产物流A3的3个活动模块组成。

2.2 活动模块图、子活动模块图的建立

将A0图的3个活动模块进一步分解,可得活动模块功能模型的A1图、A2图、A3图(图3)。其中A1图包括原材料采购、存储、分配3个子活动;A2图包括材料存储、零件生产、入库运输3个子活动;A3图包括螺杆验收、入库等子活动。

以活动模块“企业C生产物流A2”为例,图4

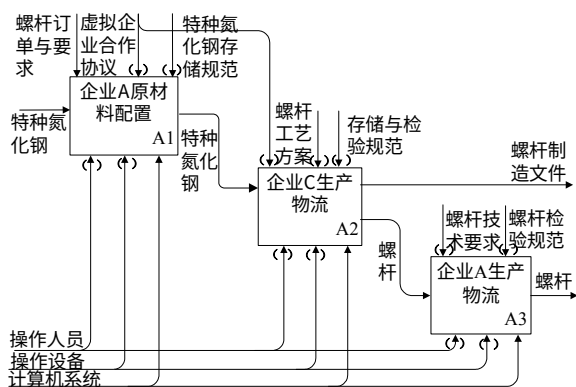


图3 螺杆虚拟企业生产物流 A0 图

是其功能模型 A2 图。图 4 表示活动的输入来自核心企业配送的螺杆原材料特种氮化钢,验收存储后送往加工车间。车间按照工艺方案、图纸信息、供求信息等要求完成螺杆加工,再根据运输方案将成品螺杆送至企业 A。

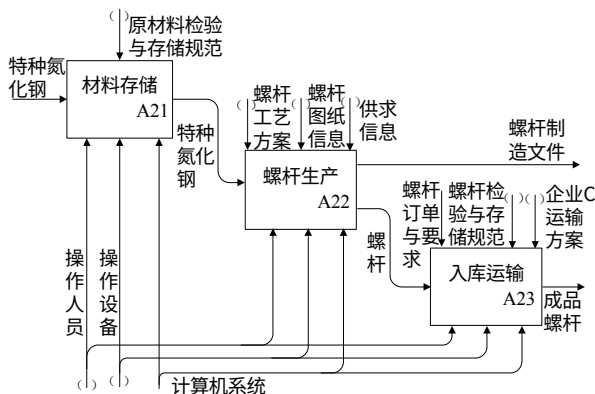


图4 企业 C 生产物流的活动模块 A2 图

对活动模块的各项子活动根据活动过程和具体内容继续分解,可得到二级子活动模块功能模型。图 5 表示了“企业 C 生产物流”活动模块中最重要的活动“螺杆生产 A22”的功能模型 A22 图。

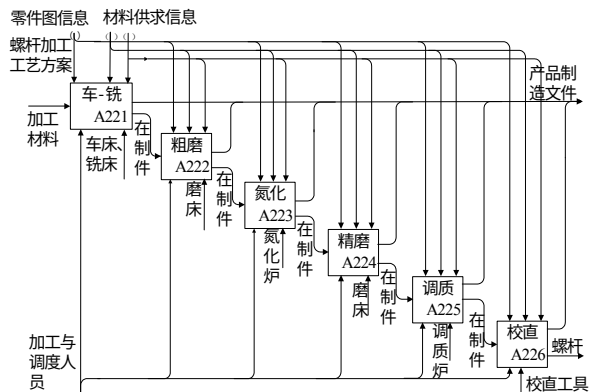


图5 企业 C 生产物流“螺杆生产”A22 图

根据工艺方案,螺杆加工需采用切削加工、热处理、校直修整等制造手段,具体可分解为车-铣、粗磨、氮化、精磨、调质、校直等二级子活动。

3 基于 SIMIO 的虚拟企业生产物流仿真建模

IDEF0 模型较好地表达了系统各活动的静态功能信息,但对系统动态特性的分析比较困难,因为其与数据信息分离,缺乏量化分析能力^[8]。为进一步研究虚拟企业生产物流系统的动态性能,以螺杆虚拟企业为例,基于 SIMIO 仿真系统构建仿真模型,以获取系统运行的仿真数据。

3.1 功能模型与仿真模型的转换

基于 IDEF0 功能模型构建 SIMIO 仿真模型,须将 IDEF0 模型中的活动、输入、输出、控制、机制等基本元素与 SIMIO 仿真系统中的对象相关联,分析两者间的信息对应关系。

3.1.1 SIMIO 仿真对象的物理意义

SIMIO 系统中常用的仿真对象有发生器(Source)、吸收器(Sink)、处理器(Server)、组合器(Combiner)、交通工具(Vehicle)、工人(Worker)、路径(Path)、连接器(Connector)等。

Source 用于仿真系统输入时产生不同类型的实体,相当于生产系统的原材料输入。Sink 可吸收仿真系统中完成运行的实体,代表生产系统中加工完毕的物料仓储。Server 是对流经的实体执行相关操作,可表示生产系统中的采购、加工、检验等活动。Combiner 用来合成 2 个不同的实体,对应于生产过程中的零部件装配。Vehicle 可装载若干实体在仿真系统的对象节点之间搬运,即生产系统中的手推车、堆垛车、汽车等搬运工具。Worker 可在仿真对象的节点上执行某种操作,代表实际生产过程各项活动的操作者。Path 表示仿真系统中对象节点之间的距离关系,可表示生产系统中工序之间、车间之间、企业之间的路径关系。Connector 表达执行仿真活动的先后顺序,在实际生产中表示活动连接的逻辑关系。

3.1.2 SIMIO 仿真对象与 IDEF0 模型元素的对应关系

在 IDEF0 模型中,活动表示系统执行的功能操作,与 SIMIO 系统的 Server、Combiner 对象相对应;控制表示系统的约束信息,可在 SIMIO 系统相应仿真对象的 Properties 属性窗口中设置;机制

表示系统执行活动所需的资源,可用 SIMIO 系统中 Vehicle、Worker 等仿真对象表达;输入、输出表达了活动的先后顺序,可用 SIMIO 系统的 Path、Connector 等对象表达;具体对应关系见表 1.

表 1 SIMIO 系统对象与 IDEF0 模型元素的对应关系

SIMIO 系统对象	含义(作用)	IDEF0 模型元素
Server、Combiner 等	处理过程	活动
Path、Connector 等	对象连接	输入、输出
Vehicle、Worker 等	设备、资源	机制
Properties	属性定义	控制

3.2 仿真模型的建立

为便于仿真,对螺杆虚拟企业生产物流特作如下假设:(1)工作时间连续,运行过程无突发事件打断,生产设备无故障发生;(2)生产过程中无废品,产品质量均合格;(3)核心企业 A 原材料采购时间间隔 10 d,每次采购批量 196 单位,仿真运行时间 360 h. 实际生产参数和仿真结果见表 2.

按照表 1 的对应关系及表 2 的参数,建立螺杆虚拟企业生产物流系统的 SIMIO 仿真模型,如图 6 所示,其中的实体流动就反映了生产物流系统的动态表现.

4 虚拟企业生产物流仿真分析

4.1 生产物流瓶颈识别

运行 SIMIO 仿真软件,即可获得螺杆虚拟企业生产物流系统各活动执行设备的工作率、饥饿率、堵塞率等仿真数据(表 2). 表 2 中工作率指活动执行动作时间与仿真时间之比;饥饿率指活动在输入缓冲值为零时,空闲等待时间与仿真时间之比;堵塞率为活动在输入缓冲值为非零时,等待工作时间与仿真时间之比,三者之和为 1.

根据表 2,序号 7 的车加工有堵塞率为 34.3%

表 2 生产参数和仿真数据

序号	活动	实际生产参数			SIMIO 仿真结果		
		时间/h	动作执行	执行数量	工作率/%	饥饿率/%	堵塞率/%
1	A 企采购	4.00	人	2	2.22	97.78	0
2	原料采购运输	2.50	汽车	3	1.39	98.61	0
3	A 企存储原料	1.20	人	6	0.67	99.33	0
4	A 企原料装货	1.10	人	6	0.67	99.33	0
5	原料配送运输	2.00	汽车	3	1.11	98.89	0
6	C 企接收原料	1.10	人	6	0.67	99.33	0
7	车加工 1	2.15	车床	1	62.11	3.55	34.3
	车加工 2	2.15	车床	1	62.11	3.57	34.3
8	铣加工 1	3.38	铣床	1	95.85	4.15	0
	铣加工 2	3.38	铣床	1	95.83	4.17	0
9	粗磨 1	2.53	磨床	1	71.07	28.93	0
	粗磨 2	2.53	磨床	1	71.07	28.93	0
10	氮化	1.22	渗氮机	1	67.81	32.19	0
11	精磨 1	2.15	磨床	1	59.72	40.28	0
	精磨 2	2.15	磨床	1	59.60	40.40	0
12	调质	1.07	调质炉	1	58.88	41.12	0
13	校直修整	1.30	校直机	1	71.50	28.50	0
14	检验	0.17	人	3	9.17	90.83	0
15	螺杆存储	0.25	人	3	3.18	96.82	0
16	螺杆装货	0.60	人	6	0.50	99.50	0
17	螺杆运输	1.3	汽车	1	1.08	98.92	0

的阻塞现象,序号 8 的铣加工工作率最高为 95.85%,加工时间最长为 3.38 h. 这表明铣加工活动尽管几近全负荷工作,仍无法及时完成前道工序输送来的在制品,导致车加工工序不能正常输送工件而阻塞. 据此判定序号 8 的铣加工是系统中最繁忙的活动,就是生产物流的瓶颈. 表 2 中原材料的采购、运输及成品的存储、装货、运输等工序饥饿率很高,因为这些活动在仿真运行过程中为一次性

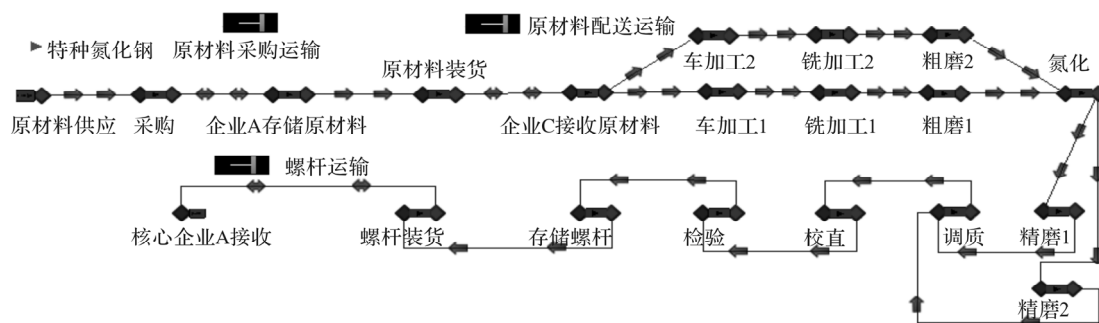


图 6 螺杆虚拟企业生产物流系统的 SIMIO 仿真模型

工作, 故不影响生产物流系统的整体性能。

4.2 原材料配置分析

从成员企业的库存数据可以分析虚拟企业生产物流初始原材料的配置情况, 这里成员企业库存功能可用序号 6“企业 C 接收原材料”活动的输出缓冲予以代表。运行 SIMIO 软件可得到其仿真数据(图 7), 在企业 A 第 2 次按规定的 196 单位配送原材料时, 企业 C 仓库中还有 40 单位的存储量, 致使库存容量骤升到 236 单位。这表明在原材料一个配送周期内, 企业 C 不具备消耗 196 单位原材料的能力, 继续配送造成库存积压, 反映核心企业原材料采购与配送的批量过大或时间间隔过小。

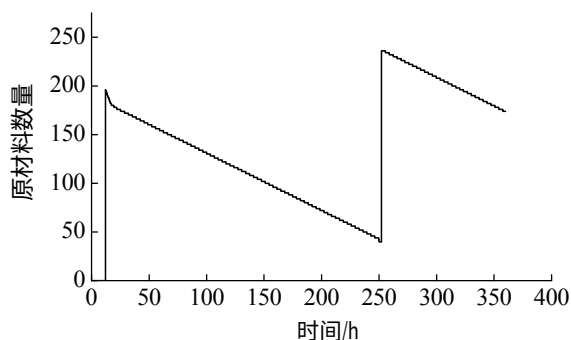


图 7 企业 C 原材料存储状况

5 结论

在分析虚拟企业生产物流层次结构的基础上, 以注塑机中的螺杆零件为例, 采用 IDEF0 建模方法, 建立了虚拟企业生产物流系统的功能模型, 表达各企业、各活动的功能关系。在此基础上, 基于

SIMIO 仿真软件将 IDEF0 功能模型转化为仿真模型, 通过对仿真数据的分析, 识别出虚拟企业生产物流系统的瓶颈, 发现了核心企业原材料的采购配送问题, 为进一步优化虚拟企业生产物流提供了依据。

参考文献:

- [1] 曹国安, 王丽, 万文杰, 等. 离散型制造企业车间生产物流系统的优化[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2011, 34(5):665-670.
- [2] 毛健, 乔金友, 王立军, 等. 基于 Witness 的汽车零部件生产物流系统仿真研究[J]. 工业工程, 2011, 14(3):124-127.
- [3] 罗培春. 卷烟生产物流系统评价与建模研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [4] 曹政才, 赵会丹, 王永吉. 基于模糊 Petri 网推理的半导体生产线投料控制策略[J]. 电子学报, 2011, 39(7): 1545-1550.
- [5] Ludek V. Decanting centrifuge production process optimization using plant simulation[J]. Procedia Engineering, 2014, 69:720-724.
- [6] Mendes A R, Ramos A L, Simaria A S, et al. Combining heuristic procedures and simulation models for balancing a PC camera assembly line[J]. Computers & Industrial Engineering, 2005, 49(3):413-431.
- [7] 刘力卓, 王丹. 基于 Witness 的某制造车间生产线仿真优化[J]. 工业工程, 2012, 15(1):109-114.
- [8] Bosilj V, Giaglis G M, Hlupic V. IDEF diagrams and petri nets for business process modeling: Suitability, efficacy, and complementary use[C]//International Conference on Enterprise Information Systems, Berlin: Springer, 2001, 143-148.

Modeling and Simulation of Virtual Enterprise Production Logistics System

JIANG Yi-liang, FANG Zhi-mei*

(Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In this paper, the hierarchical structure of virtual enterprise production logistics is analyzed. Taking the screw of injection molding machine as an example, the function models are established at all levels using IDEF0 method, based on which the relationship between IDEF0 elements and SIMIO objects is studied, and the function models are then turned into simulation models. From the simulation analysis, bottlenecks in screw production logistics and distribution problems of raw materials are discovered, which are helpful for the further optimization of production logistics of virtual enterprise.

Key words: virtual enterprise; production logistics; IDEF0 function models; SIMIO simulation

(责任编辑 史小丽)