

# 基于协同学的产品协同开发链协调机制研究

温志嘉, 侯亮, 陈峰

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘 要** 在分析协同开发链及其协调机制发展现状的基础上,引入协同学理论和方法,对其集成和协调机制进行了系统研究,建立了协同开发链系统序参量方程和势函数,讨论了系统产生自组织的基本途径;从信息机制、激励机制、支持机制及安全机制4个方面构造了系统的协调机制模型,最后就系统协调能力和相关因素对企业新产品开发绩效的影响进行了分析。

**关键词** 协同学;产品协同开发链;大规模定制;协调机制

中图分类号:F406.3

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2008)06-0040-04

## 0 引言

客户化、小批量、多品种、快速交货是全球激烈的竞争对制造业实施大批量定制提出的基本要求,而自身资源的局限性及研发能力的有限性,迫使企业增加外协活动的内容和频率,将关注的焦点转向对客户、供应商等资源的挖掘和充分利用。供应商参与企业的新产品开发亦即构建产品协同开发链,对降低产品成本、提高产品质量、缩短产品的开发周期具有很大的影响,然而由于企业间的产品协同开发不仅涉及到不同的人员、组织和关系,而且涉及到外部的资源和信息,因此需要处理的问题和需要考虑的因素非常复杂。如何协调、优化和系统管理参与设计的组织、人员、过程和资源,并保证信息顺畅流通是产品协同开发链实施的关键<sup>[1]</sup>。

本文通过分析协同开发链的结构和特点,引入协同学理论和方法,对其集成和协调机制进行系统研究。通过建立协同开发链系统序参量方程和势函数,讨论了系统产生自组织的基本途径,并从4个分机制对产品协同开发链的协调机制进行了构造说明,最后分析了系统协调能力和相关因素对新产品开发绩效的影响。

## 1 协同学在产品协同开发链中的应用

### 1.1 协同学简介

协同学是研究具有众多组成部分的系统,如何通过子系统的协同行动而促成系统结构或功能有序演化的系统理论。哈肯(H.Haken)于1970年提出建立协同学的设想,并在1975年建立起了协同学的基本理论框架,且使之逐

步发展成为自组织理论中的一个重要分支学科,使其无论是在物理、生物、化学等自然系统,还是在社会经济系统,均有广泛和深入的应用。

哈肯方法的最大优点在于他的富于成果的序参量分析。序参量是为描述系统整体行为而引入的宏观参量,序参量的大小标志着系统宏观有序的程度。并且,序参量是微观子系统集体运动的产物、协同效应的表征和度量。序参量的形成,不是外部作用强加于系统的,它来源于系统内部<sup>[2]</sup>。

在系统中,对临界行为,系统参量可分为两类:绝大多数参量仅在短时间起作用,它们的临界阻尼大、衰减快,对系统的演化过程、临界特征和发展前途不起明显作用,这类参量称为快弛豫参量;另一类参量只有一个或少数几个,它们出现临界无阻尼现象,在演化过程中从始至终都起作用,并得到多数子系统的响应,起着支配子系统行为的主导作用,所以系统演化的速度和过程都由它决定,这就是慢弛豫参量<sup>[3]</sup>。为了抓住在演化过程中起支配作用的慢弛豫参量,而忽略快弛豫参量对系统演化的影响,即令快弛豫参量对时间的导数等于零,然后将得到的关系代入其它方程,从而得到只有一个或几个慢弛豫参量的演化方程——序参量方程。这个处理过程就是绝热消去法。这种方法是协同学降低基本方程维数、减少方程自由度或消去大量变量的基本方法之一。本文便是应用绝热消去法来获得序参量方程。

### 1.2 产品协同开发系统序参量的概念和序参量提出

所谓产品协同开发链,是基于企业自身产品战略、产品/资源平台以及一定组织协调、信息流通机制和控制方法,围绕产品开发而构建的一条由制造商以及相关的一系

收稿日期:2007-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(70402013)

作者简介:温志嘉(1982~),男,厦门大学机电工程系硕士研究生,研究方向为现代设计方法学、CAD/CAE、研发管理。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

列零部件供应商、客户和其他协作者的复杂功能网链<sup>[1]</sup>。产品协同开发链不仅是一条连接供应商到客户需求的供需链、信息链、资金链,而且是一条增值链。因为通过协同开发链,快速地满足了客户定制化的需求,增加了客户满意度、延长了产品全生命周期,从而获得了隐性价值,给相关的企业带来了潜在收益。

产品协同开发链系统是一个开放、动态、非线性的复杂系统,它符合协同学研究的特征:系统包括供应商、制造商(核心企业、外协企业)和客户,由于各要素自身的复杂性和不确定性,由此形成一个复杂的系统构造;随着现代信息技术的发展,产品开发领域已经进入一个全开放的时代,不断地同外界进行物质、能量和信息的交换;系统成员间的发展是不平衡的,开发链上各节点企业的关系并非静态的简单合作,也非静态的完全独立,而是一种基于各自利益与整体利益发生矛盾和不断协调的动态过程,所以各要素之间存在着非线性和动态性。

伴随企业经营思想的转变,企业开始将经营的注意力从内向外、从以产品为中心向以客户为中心转移。大规模定制作为21世纪制造业主流的生产模式——要求企业以大批量的生产成本生产出满足客户多样化和个性化需求的产品。产品协同开发链的构建和实施为实现客户需求的个性化、小批量、多品种、快速交货提供了一种有效的方法。在系统内部的不稳定性、非线性及各元素的竞争和协同作用下,大规模定制这个来源于系统内部协同合作的变量,相对于那些快弛豫参量(如技术的创新、及时的信息反馈、内部的人事调动等)来说,它是一个慢弛豫参量,在演化过程中从始至终地起作用,系统演化的速度和过程都由它决定。该序参量表示了产品协同开发链的有序结构和类型,它是企业组织、产品和开发过程介入协同运动程度的集中体现。它来源于子系统间的协同合作,同时又起支配子系统行为的作用。

## 2 产品协同开发链系统协调机制的建立

对协调机制的研究,国内外都有了很大的进展。Lei Xu提出了协调机制是一种被用来管理组织间相互依赖性的有效方法,给出了基于属性和系统过程的选择供应链协调机制的方法和步骤,通过分析企业的操作环境,获得资源共享结构、决策类型、控制水平、风险与奖赏分担这些属性值,依据分析结果选择最合适的协调机制<sup>[2]</sup>。虽然他对协调机制进行了较为详细的分析、介绍,并且给出了选用方法,但是对协调机制的实施并未给出具体的方法。在对供应链协调机制的研究上,国内学者岳飞宇等通过分析供应链失调对经营业绩的影响,给出了协调机制的形式化描述,提出了用委托-代理理论来指导供应链管理协调机制的设计<sup>[3]</sup>,但缺乏统一的数学描述和协调机制设计方法。本文在应用协同学对协调机制进行定性化分析后,给出了协调模型。

### 2.1 产品协同开发链系统的协调内容和层次

围绕产品、组织(或人员)和开发过程是协同研发项目的基本任务,其内部实体的机制功能必须协调合作。高度的协同性是产品协同开发成功的一个必要条件。在产品结构、组织架构以及开发过程中,各实体之间不仅存在着横向的联系与相互协调问题,而且它们之间也存在着纵向的协同关系。恰当处理好这些协同的关系与程度是产品协同开发链系统从无序状态向有序状态转化的关键,系统内这些接口的分析、明确及合理化协调不仅影响到产品协同开发系统内部的组成关系,而且影响到产品协同开发链的效率。协同设计是大规模定制生产模式下产品开发的关键技术,而组织任务协调管理、产品模块化、资源查询、配置设计、网络导航台和设计过程管理是实现这一关键技术的重要保障。

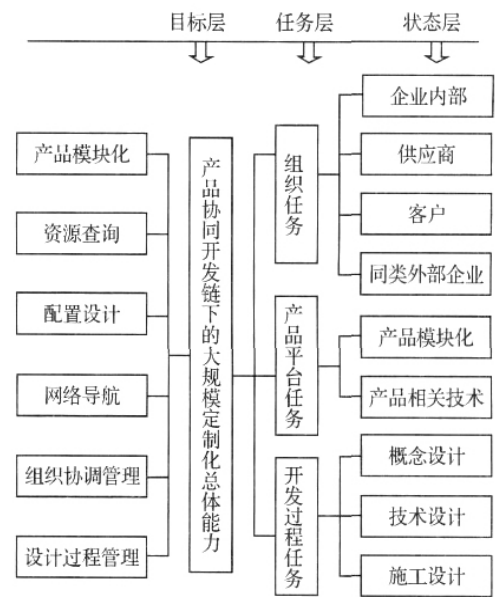


图1 产品协同开发链系统的信息框架

图1是整个系统的信息框架,基于产品协同开发链系统内容的分析,可以把它划分为3个关系层。

**目标层** 综合表达大规模定制化的总体能力,代表着大规模定制化的总体趋势和实施的总体效果。它是产品协同开发链系统的序参量和目标。

**任务层** 组织(或人员)、产品和实施开发过程是协同研发项目的基本任务,恰当地处理三者之间协同、集成的关系与程度是产品协同开发项目成功的关键。

**状态层** 在每一个子任务下能够表征任务行为的关系结构,是对每个任务的具体化和细化。

根据所划分的3个关系层,可以将整个系统的协调分为两级协调:

**第一级** 任务内部自身各个状态的协调。它反映了系统任务结构内部的协调发展,反映各参数变量的自身发展状况及相互间的协调发展情况。

**第二级** 各任务间的协调。它反映各任务间协调发展程度及3种任务在协同开发设计中各自对系统的贡献和承担的任务,以及三者间的相互关联、协作,并以此评价这3

种任务之间是否协调发展。

### 2.2 产品协同开发链系统序参量方程和势函数的建立

按照协同学理论,变量可进一步划分为对系统演变起支配作用的慢弛豫变量(又称序参量)和受序参量支配的快弛豫变量。通过前面分析,我们已经知道大规模定制化是对系统演变起决定和支配作用的变量,它是由组织、产品和开发过程3个任务间的协同作用所决定的,它是系统的慢弛豫变量。

影响系统协调度的因素很多,既有资源配置、模块化程度,又有信息获取、创新程度等指标,许多影响因素不是相互独立的,而是相互关联的,它们的作用也不尽相同。根据协同学的建模原则,仅选取对系统的变化和发展起最直接、最重要影响的变量作为系统的控制参数,即系统内部管理能力和技术的应用。它们是系统有序化演变不可缺少的动力,但是对大规模定制化而言,它们是快弛豫变量。

通过以上对系统的分析,将整个系统分为两级协调,一级协调除与自身技术、管理因素相关外,还受到了二级协调的制约,二级协调与技术、管理的因素有关,同时与上一级协调的协同程度密切相关,根据协同学方法可得到如下方程:

$$q\dot{q}_1 = (r_1 + g_1)q_1 + aq_2^2, q\dot{q}_2 = (r_2 + g_2)q_2 + bq_1q_2 \quad (1)$$

其中  $r_1, r_2$  表示大规模定制化随技术因素变化的影响程度系数,  $g_1, g_2$  表示大规模定制化随管理能力变化的影响系数。这4个量都是快弛豫变量。 $Q_1+q_1$  是实际的第一级协调程度,即任务内部状态间的实际协调度对大规模定制化的影响; $Q_2+q_2$  是实际的第二级协调程度,即任务间的实际协调度对大规模定制化的影响。 $q_1, q_2$  是内生变量,  $q_2$  对应于系统大规模定制化的变化,对系统起主导作用,是序参量,而  $q_1$  对应于任务内部协调度对大规模定制化变化的影响,是快变量。 $a, b$  是协同系数,其数值越高,表明系统的协同作用越强,系统的有序度也就越大。

为了抓住在演化过程中起支配作用的慢弛豫参量,而忽略快弛豫参量变化对系统演化的影响,即令快弛豫参量导数等于零,即令  $q\dot{q}_1=0$ ,然后将得到的关系

$$q_1 = -\frac{aq_2^2}{r_1 + g_1} \quad (2)$$

代入  $q_2$  方程,从而得到只有一个慢弛豫参量的演化方程

$$q\dot{q}_2 = (r_2 + g_2)q_2 - \frac{abq_2^3}{(r_1 + g_1)} \quad (3)$$

根据  $q\dot{q}_2 = -\frac{\partial V(q)}{\partial q}$ , 得到势函数

$$V(q_2) = -\frac{r_2 + g_2}{2}q_2^2 + \frac{ab}{4(r_1 + g_1)}q_2^4 \quad (4)$$

根据极值条件  $\frac{\partial V(q)}{\partial q} = 0$ , 即  $(r_2 + g_2)q_2 - \frac{3abq_2^3}{(r_1 + g_1)} = 0$  得

$$q_{21} = 0, q_{22} = \left[ \frac{ab}{(r_1 + g_1)(r_2 + g_2)} \right]^{\frac{1}{2}}, q_{23} = - \left[ \frac{ab}{(r_1 + g_1)(r_2 + g_2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

根据以上推导,将含有多个自由度的系统简化为只含序参量的方程,并得到其势函数,通过求解方程,可得到系统变化前后的状态,而对势函数的分析,可对系统的稳定性进行分析,由此便抓住了整个系统的关键所在。势函数图像如图所示,该函数图有3个定态,1个不稳定态a,2个稳定态  $m, n$ 。对应产品协同开发链系统的意义是:当对系统进行协同工作时,两个定态  $q_{22}$  和  $q_{23}$  都可能出现,且出现的概率相等。前者代表非完全大规模定制化的相,后者代表完全大规模定制化的相。我们的目标就是通过各个参量的协调发展使系统向着大规模定制化这个方向发展。

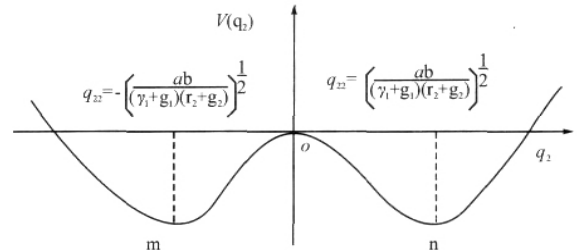


图2 产品协同开发链系统的势函数图

以上所述说明,可以运用协同学中简明的数学语言来研究产品协同开发链系统所发生的质变,它对于从量的方面分析引起系统变化的主要因素颇有启迪<sup>[1]</sup>:可以通过分析各种外部变量和内部变量的影响、它们之间的相互影响作用以及最终会达成的稳定态,从而调整和合理分配各个控制参量,将系统推过线性失稳点。运用协同学原理,根据期望目标对系统实施有效管理,以实现系统协调并产生协同效应。协调机制的建立是为了实现系统的整体性协调,从而使系统的整体性功能因子系统的功能耦合而生成全新的系统整体效应,并远远超出各子系统的功能之和。

### 2.3 产品协同开发链系统协调机制的建立

在大规模定制化序参量的引导下,可以把协调机制进一步细化为信息机制、激励机制、支持机制和安全机制<sup>[7]</sup>。

信息机制:协调机制的基础部分,它的建立是整个协调机制发挥作用的重要前提。产品协同开发链系统的信息机制是一系列显示企业内部情况、外部企业状况以及企业间协调的状况、实施反馈等信息的技术、制度组合及其互动过程。信息机制包括协调度、信息交互性、信息共享性和信息反馈。

激励机制:协调机制至关重要的内容。产品协同开发链系统的协调机制通过奖惩作用调动参与者的积极性。在现有系统不能满足企业处理大量个性化市场信息的要求,企业对外部信息的处理速度和与市场的信息交流方式已成为制约企业竞争力的瓶颈的情况下,如何激励开发系统有效快速的进行成为关键。激励机制可分为企业管理员对员工的内部激励、国家对企业的激励、市场的变化和 demand 对企业的激励。

支持机制:产品协同开发链系统的协调决策活动不但需要了解真实的协调状况,拥有极为有利的操作环境和不竭的动力,还需要强有力的预测、决策工具的支持,有专门的人员和资金作保障,形成技术、人才、资金、管理的支持



机制。尤其是形成有利于协调性决策的技术和人才的支持机制。这种机制的形成有赖于技术的成熟、人才队伍的建设、管理的先进合理和资金投入机制的完善。支持机制包括人才支持、技术支持、管理支持和资金支持。

安全机制: 系统的协调安全是一个综合性的问题, 因此保证安全的策略不是单一的, 需要综合运用多种策略。主要包括安全技术、安全管理和安全法规。安全技术是信息安全的基础, 安全管理是信息安全的关键, 安全法规是信息安全的保证。

通过以上4种分机制的说明和分析, 综合产品协同开发链系统的特征, 可以得到图3的协调机制模型。

立开发系统协调管理价值链模式, 如图4<sup>[1]</sup>。

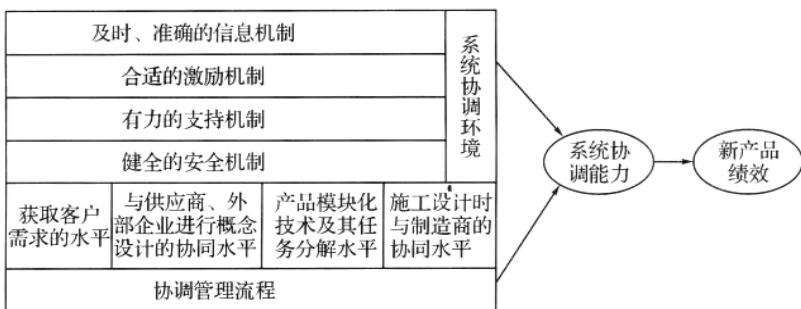


图4 开发系统协调管理价值链模型

### 4 结束语

在把协同学中的理论和方法拓展到产品协同开发链系统时, 必须结合实际情况进行深入分析。本文在对产品协同开发链及其协调机制进行讨论的同时, 通过协同学理论与方法的引入, 对产品协同开发链系统的协调机制进行了定性和定量分析, 并获得了系统协调机制的基本构架和模型, 最后分析了协调能力和相关因素对跨企业新产品绩效的影响。协同学的引入为研究产品协同开发链系统提供了理论指导, 本文运用协同学理论进行了较为详细的定性分析, 但还未给出实例进行有效的论证, 这些都是今后有待研究和解决的问题。

参考文献:

- [1] 侯亮, 韩东辉, 林祖胜. 制造企业产品协同开发链及其实施框架研究 [J] 科技进步与对策, 2006, 23 (4): 133-135.
- [2] 张联军, 宗蓓华, 赵丹等. 协同学在多级库存系统分析中的应用试探 [J] 物流技术, 2004 (5).
- [3] 唐海丹. 将协同学原理应用于物流领域的理论与实践初探 [J] 物流技术, 2003 (3).
- [4] Lei Xu, Benita M Beamon. Supply Chain Coordination and Cooperation Mechanisms: An Attribute-Based Approach. [J] Journal of Supply Chain Management, 2006, 42 (1): 4-12.
- [5] 岳飞宇. 供应链管理中的协调机制的研究 [J] 科技进步与对策, 2003 (增刊).
- [6] 朱万贵, 葛昌跃, 顾新建. 面向大批量定制产品的协同设计平台研究 [J] 工程设计学报, 2004, 11 (2): 81-84.
- [7] 赵天智, 金以慧. 供需链协调控制机制 [J] 清华大学学报 (自然科学版), 2001, 41 (10): 123-126.
- [8] 汪华林. 顾客知识管理能力对新产品绩效的影响研究 [J] 科技进步与对策, 2006 (8): 143-145.
- [9] 刘常勇, 傅清富, 李书政. 知识管理能力对新产品开发绩效的影响 [J] 中山大学学报, 2002, 42 (5): 119-126.

(责任编辑 胡俊健)

### 3 协同开发链系统的协调能力对新产品开发绩效的影响

通过以上分析, 可以知道协调能力对产品协同开发链系统有效实施和运行的重要性。协同开发链系统的协调能力是在系统的协调管理流程中, 整个系统协调环境所表现出来的效能和效率。因此, 系统协调能力受到自身协调管理流程的效率以及系统环境的互动影响。因此本文将系统的协调能力分为两个层面: 系统环境对协调管理的支援能力和协调管理流程的效率。根据前文所分析, 可得到系统环境对协调管理支援能力的衡量指标, 包括: 及时、准确的信息机制; 合适的激励机制; 有力的支持机制; 健全的安全机制。协调管理流程的效率衡量指标包括: 获取客户需求的水平; 与供应商、外部企业进行概念设计的协同水平; 产品模块化技术及其任务分解水平; 施工设计时与制造商的协同水平。本研究把新产品绩效的衡量归为如下5个因素: 新产品开发成本; 新产品品质; 新产品开发时间; 对新产品获利的满意度; 新产品开发相对于主要竞争者成功的程度<sup>[1]</sup>。综合以上分析, 建