

产品开发过程综合优化技术研究

李 民¹, 王 炜², 李建文³, 侯开虎¹, 秦现生²

(1. 昆明理工大学 机电工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710072;

3. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘要: 产品开发过程综合优化是从时间、质量、成本、服务、环保的角度来提高产品开发的综合能力. 本文首先论述了产品开发过程优化的研究现状, 分析了产品开发过程优化中存在的问题, 从而提出了产品开发过程综合优化的基本原则, 并试图从产品开发管理的角度探讨综合优化模型.

关键词: 产品开发; 过程优化; 综合优化; 优化技术; 开发管理

中图分类号: F273. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2008) 02 - 0016 - 05

Integrated Optimization of Product Development Process

L IM in¹, WANG W ei², LI J ian-w en³, HOU Kai-hu¹, Q IN X ian-sheng²

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Integrated optimization of product development process means to improve the product development capability from angles such as time, quality, cost, service and environment. The status quo of optimizing product development is stated firstly in this paper. Problems in the due process are then analyzed. The fundamental principles of integrated optimization of product development process are put forward. Finally, attempts to establish a management framework for the integrated optimization are made.

Key words: product development; process optimization; integrated optimization; optimization technology; development management

0 引言

产品开发过程 (Product Development Process, PDP) 是一个将工程技术、方法、工具和人员集成并付诸实施的产品开发实践活动的集合, 它涉及技术和管理两个方面^[1]. 由于受到企业内部、外部环境变化的影响, 21 世纪产品开发环境也发生了一系列重大变化, 对产品开发的要求更高、产品开发包含的内容更广泛、产品开发模式更科学和产品开发技术更先进. 增强产品开发能力与提高企业管理水平是我国企业在今后相当长时间内需要解决的 2 个问题.

PDP 是一个功能和对象复杂、目标 (约束) 多样、影响因素不确定的复杂大系统^[2, 3], 由于大系统性能的一些很小的改善都会带来巨大的收益, 因此研究其优化问题是非常有实用价值的^[4]. 然而, 解决这样的复杂系统的理论进展还大大落后于实际应用的需求. 以实现 PDP 集成优化为主要目标, 将是今后产品开发最主要的发展模式之一. 本文将从产品开发管理的角度出发, 面向产品全生命周期, 对 PDP 的多目标综合优化进行初步的研究和探讨.

1 产品开发过程优化技术研究现状

产品开发上市更快 (Time, T)、质量更好 (Quality, Q)、成本更低 (Cost, C)、服务更好 (Service, S) 和环境

收稿日期: 2007 - 11 - 28 基金项目: 校博士启动基金 (项目编号: 2007 - 49).

第一作者简介: 李民 (1973 -), 女, 博士, 讲师. 主要研究方向: 产品开发管理, 质量管理.

E-mail: leah163@163.com.

更清洁 (Environment, E),是企业发展的永恒主题,在产品开发中不断优化 TQCSE是企业永无止境的追求目标.下面按优化目标将当前常用的优化技术作一分类:

1.1 面向时间的优化技术

最早提出的并行工程 (Concurrent Engineering, CE)这一概念是把它作为一种最小化产品开发时间的手段^[5]. CE的很多使能技术及其工具,即广义 CAX/DFX (Computer Aided X/Design For X)数字化工具集,其中 X代表产品生命周期的各种因素,如设计、分析、工艺、制造、装配、拆卸、检测、维护、支持等,被广泛应用于并行产品开发的各个环节,缩短产品开发周期.值得一提的是堪称近 20年来制造技术最重大进展之一的快速原型制造技术 (Rapid Prototype Manufacturing, RPM).其特点是能以最快的速度将设计思想物化为具有一定结构功能的产品原型或直接制造零件,从而使产品设计开发可能进行快速评价、测试、改进,以完成设计制造过程,适应市场需求.

1.2 面向质量的优化技术

为提高产品质量, PDP中采用的质量控制方法和工具有:

- 1) 产品设计阶段:鲁棒设计 (Robust Design, RD)、故障模式与效应分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)、试验设计 (Design of Experiments, DOE)和 DFX方法;
- 2) 制造阶段:统计过程控制 (Statistical Process Control, SPC)、质量数据获取 (Quality Data Acquisition, QDA)等;
- 3) 全过程的质量控制:质量功能展开 (Quality Function Deployment, QFD)、全面质量管理 (Total Quality Management, TQM).

现代产品质量是一个广义的质量概念,它要求在产品的整个生命周期内全面满足用户的需求.目前大多数面向质量的优化工具的研究主要考虑产品设计与制造阶段有关问题,还应同时对产品的使用、再利用、资源的消耗及对环境的影响等给予充分的重视.

1.3 面向成本的优化技术

先进制造技术的应用大大缩短了产品开发周期,但在成本优化方面却未取得实质性进展.由于工厂数据可靠性较差,研究经费和人力不足,工作量和难度大等原因,进展缓慢,对产品降低成本的设计长期以来还一直停留在局部阶段的理论分析和计算,尚未把它纳入到贯穿设计全过程一体化的 CAD系统中,且分析结果大多是定性的,少数定量分析又是基于统计分析基础上的,因此,建立支持设计全过程尤其是原理方案和总体结构设计阶段的成本信息模型已成为实现低成本设计的关键和迫切需要解决的难题.

产品生命周期工程的发展使得人们开始从全生命周期的角度探讨成本的组成,目前常用的生命周期成本 (Life Cycle Cost, LCC)计算有面向成本的设计 (Design for Cost, DFC)和作业成本法 (Activity - Based Costing, ABC)两种方法.

1.4 面向服务的优化技术

服务已成为企业竞争的重要内容,传统的服务优化主要是通过加强服务人员和服务体系的管理实现的,比如上岗培训、良好的服务态度、扩大售后服务网络等.客户关系管理 (Customer Relationship Management, CRM)通过计算机和网络技术帮助企业实现与客户之间及时、多方面的沟通与交流,进而与客户建立长期良好的关系,它已经超出了交易的范畴,能帮助企业更好地吸引潜在的客户和留住最有价值的客户^[6, 7].

1.5 面向环境的优化技术

环境问题已被列入世界议事日程,制造业将改变传统制造模式,推行绿色制造技术,发展相关的绿色材料、绿色能源和绿色设计数据库、知识库等基础技术,生产出保护环境、提高资源效率的绿色产品.绿色制造的目的是最有效地利用资源和最低限度的产生废弃物,从而从根本上减少制造业对环境的负面影响.绿色设计是绿色制造的关键技术内容,要求从产品设计一开始就要把降低资源消耗、易于拆卸回收、保护生态环境与保证产品的性能、质量、寿命、成本的要求列为同等的设计目标,并保证在生产过程中能够顺利实施.

2 产品开发过程优化研究存在的问题

2.1 PDP优化的系统化和集成化研究不够

2.1.1 已有的优化模型及技术仅为 PDP的局部优化

从最早的数值优化技术被应用于工程设计,到目前离散和随机变量优化、结构优化、智能优化、优化建模和复杂系统优化方法学等领域的研究和应用,优化技术的研究已取得具有相当水平的理论和应用成果,但这些优化技术大多被用于优化产品开发的设计子过程.针对 PDP中各个子过程的优化技术,基本上还是处于相互独立的研究和应用状态,主要是对一个或者两个子过程的优化,如 DFX是面向产品开发下游不同子过程对设计子过程的优化,虚拟制造、清洁生产是对制造子过程的优化.而 BPR (Business Process Reengineering)、CE虽然将整个产品生命周期考虑在内,但它们主要在 PDP组织层次进行优化.对产品开发全过程进行优化的研究,大多处于各种理论、方法、模型的研究,对向前扩展到建立模型、处理模型,向后扩展到优化结果显示验证的全过程的研究还远远不够,目前尚没有一种能对整个 PDP进行有效分析和调控的优化工具.

2.1.2 已有的优化模型及技术仅为 PDP的单目标优化

TQCSE之间常常存在着相互矛盾和冲突,要同时达到最优值几乎是不可能的.因此,企业必须根据自己的具体情况和要开发的具体产品,在 TQCSE之间进行权衡选择.能将 TQCSE集成在一起,综合考虑,然后作出优化选择的工具,才是企业真正迫切需要的优化工具.目前已有的优化方法通常都是针对 TQCSE中一个或者两个目标进行优化,如 LCC、ABC是对成本的优化,QFD、SPC是对质量的优化,绿色制造是对环境的优化.这种单目标的优化无法对一项举措进行多方面的评价,不能提供全面的信息作为参照,因而总是让企业决策者难于作出合理的取舍.

2.2 缺乏综合评价指标体系进行 PDP评估

国内外长期以财务指标作为企业业绩评价的主要内容,不能反映企业内部各多元实体在市场中的竞争实力.近年来非财务指标,如技术装备、员工素质、市场份额等等,被逐渐引入业绩评价体系中,如美国学者 Kaplan和 Norton提出的平衡计分卡,以及 1999年我国财政部等四部委联合颁发的企业效绩评价体系(竞争型企业类).

现有的对企业业务过程的评价分析指标,主要是对整个业务过程完成之后进行的总量统计,缺乏指标的细化分解,很难最终落实到具体的活动、人员、资源等,因而不能对子过程各方面的性能作出系统、客观的评价.在复杂系统中,各要素对系统整体产生的影响和发挥的作用并不等同,有些作用也不是直接的,需要经过不同层次间的传递才能产生最终结果.对于 PDP这样的复杂大系统,要科学评判其性能,必须进行层层分解展开,而与之相对应的、支持这种层层分解的系统化指标体系的研究,在国内外文献中尚未见到.一个客观、系统、量化的 PDP评价体系,还需要深入地进行研究.

2.3 缺乏优化工具对产品开发子过程进行动态优化调整

现有的企业业务过程分析和评价具有滞后性,无论是评价整个业务过程性能,还是评价业务过程中的具体活动、资源,大都是进行时间、成本、产量以及资源利用率等指标的事后衡量.根据已完成的业务过程总结出来的经验可能不适用于将要进行的过程,或者不能使将要进行的过程性能最优化.面对定制、小批量、多样化的产品需求,越来越短的产品开发周期,企业真正需要的是,事先将企业战略目标逐层分解到各子过程、子子过程中去,指导过程的执行,再进一步根据过程中实时发生的意外情况,分析其对总目标的影响程度,及时制订出相应的调整策略,指导后续过程的执行,最大限度地避免造成的损失,优化过程性能.开发这样的优化工具,指导 PDP各子过程的实时、动态调整,是非常有意义的工作.

3 产品开发过程综合优化的基本原则

由于 PDP是一个受到企业内部、外部多种因素影响的复杂的系统工程,这些影响因素相互联系,动态变化,必须对它们进行综合评价和优化,才能真正客观、正确地反映企业 PDP的性能优劣. PDP综合优化

的主旨是把 PDP 看成一个整体、集成的过程,用全局优化的思想,对 PDP 的管理和控制进行全盘考虑,分析和提出产品开发管理的综合最优方案。

产品开发过程参数的制定决定了产品开发过程整体质量,直接关系到产品开发的成败。一个参数指标对某一个过程而言是最优的,对产品开发过程全局而言却不一定是最优的;就某一个性能指标而言最优,也不一定对整体性能指标最优。这就要求参数设计具有全局观念,能站在全局高度综合考虑产品开发过程的整体质量。

另一方面,一个产品开发过程应该也必然是存在一些技术上的关键点,即关键子过程和子过程关键参数,它们对产品开发过程质量的形成显然与其它点、其它子过程相比有着质的不同,起着决定性的作用。如果它们得不到保证,整个产品开发过程的质量也就无法保证。此外,产品开发过程中还存在着一些优化机会点,包括某些子过程和子过程参数,与其它子过程和过程参数相比,它们对产品开发过程的质量有着显著影响,通过它们的调整改善,可显著改善产品开发过程的质量。如果能在产品开发过程开始之前确定出这些关键点和优化机会点,强调这些关键点的质量保证与控制,并紧紧抓住优化机会点进行调整,必能大大提高产品开发过程质量,达到产品开发过程五项性能指标综合优化的目的。本文提出的产品开发过程综合优化思想就是按照这一思路来展开的。

3.1 过程的逐层分解

产品开发过程作为一类相对复杂的过程系统,具有明显的层次性。这种层次性主要表现在两个方面:产品开发在一定的组织层次上进行;任务的分解本身也带来层次。例如,产品开发过程可以从组织角度分为经营环境层、公司层、项目层、团队层和个体层;产品的设计可以向下分解为部件和零件的设计,工艺设计可以分解为工艺路线设计和工序设计等。相应地,产品开发过程管理也是有层次的,层次的繁简取决于产品和产品开发的复杂程度,以及企业整体协调的需要。层次不同,管理的内容和对象也不相同,因此产品开发过程管理和优化需要在不同层次上展开。

3.2 面向过程

归根结底,产品开发目标的实现最终都要落实到具体的过程环节上来。从基于过程的观点来看,产品开发过程就是一系列过程,这些过程之间有着复杂的联系,交织形成一个过程网络结构。过程具有层次性,过程的执行呈现出宏观并行、微观串行的特点。每个过程,不论其所在的层次高低,都有其特定的执行参数或指标,如要完成的任务、时间、资源要求等。当资源和活动被作为一个过程来管理时,可识别并确定每一个过程的输入、输出和活动,并对其各部分的质量进行测量和控制;同时,明确与其他过程之间的关系、作用和接口,求得协调和兼容,以提高组织的有效性和效率。因此,基于过程的管理方法为深入、有效控制开发过程创造了条件,为组织提供了一种解决问题的思路,有助于消除职能(部门)及管理层级之间的壁垒,过程信息的传递更加快捷,使组织能够对开发过程的动态变化迅速作出反应。

3.3 过程的规划部署

进行产品开发过程综合优化,我们希望通过建立产品开发不同子过程之间的性能指标传递关系,把产品开发过程的性能指标逐层部署到产品开发过程层次结构中,能够:

- 1) 识别过程关键特性,形成产品开发过程评价指标体系,作为过程执行的预定控制点和活动执行过程中或活动完成后的分析检查点;

- 2) 量化关键特性指标,在开发活动开始之前确定过程参数,并借此发现过程优化机会点,找出产品开发过程综合优化参数。

上述目标把我们的注意力吸引到质量功能展开方法,它运用许多工具将相互关系加以结构化以便用于决策,因而不仅仅是一种质量工具,更是一种规划方法。通过产品质量规划,建立产品开发不同子过程之间的质量传递关系的思想,启发我们试图通过产品开发过程性能规划,来建立不同子过程之间的性能指标传递关系,从而实现上述目标(图 1)。

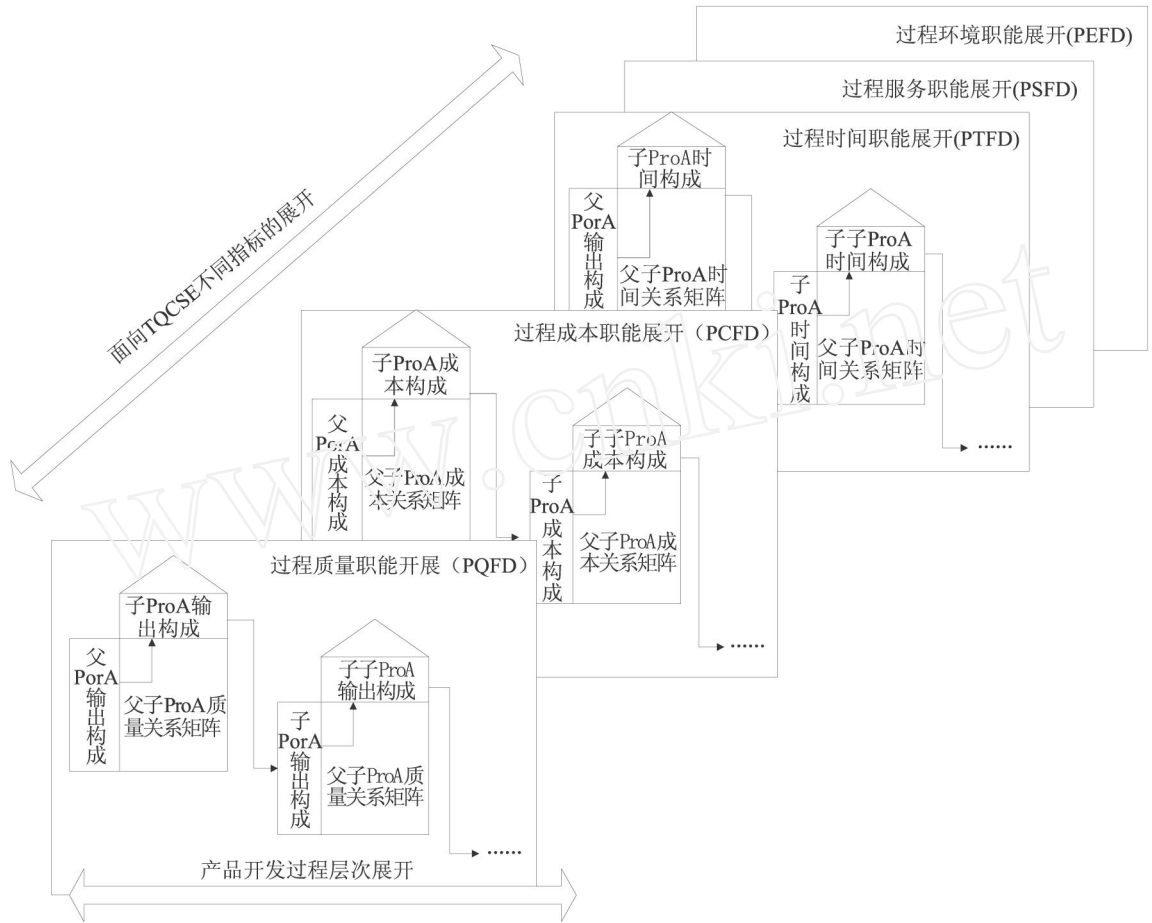


图1 产品开发过程综合优化分解模型

Fig.1 Decomposable model for product development process integrated optimization

如果在产品开发过程模型的每一个层次都将图 1 中不同性能指标导向的过程职能展开之间的联系综合考虑,就形成了一个三维立体模型,我们称之为三维综合优化屋(如图 2)。

4 结 语

BDP是一个具有协同性、动态性和渐进性的多层次复杂系统,仅仅对其进行单指标的,或者局部的优化是远远不能满足要求的,应从系统工程的角度出发,在产品开发的早期阶段就综合考虑产品开发时间、成本、质量等性能指标,部署、规划开发过程关键特性及关键参数,然后有意识地将这些关键点作为过程的预定控制点或检验点,以优化产品开发过程的综合质量。本文提出的面向过程的多坐标、多层次规划的思想,对产品开发过程整体优化进行了初步探索。

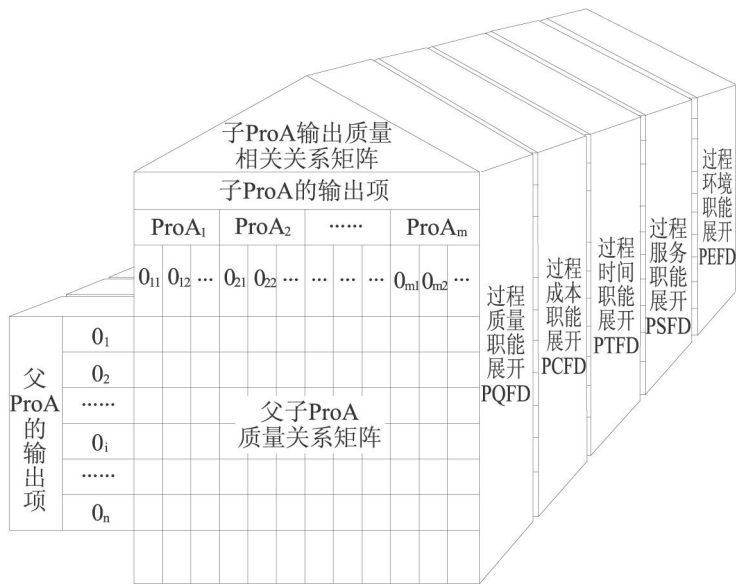


图2 三维优化屋

Fig.2 Tridimensional house of optimization

(下转第 28 页)

初始退火温度 $c_0 = 400$, 运行参数为 $\{p_c, p_m, \alpha_1, \alpha_2\} = \{0.55, 0.30, 10^{-2}, 10^{-6}\}$ 实验结果如表 1 所示.

表 1 3 种算法的性能比较

Tab 1 Capability compasion of three algorithms

	迭代次数	运行时间 / s	最优解
遗传算法	40,000 代	3 607	673.55
模拟退火算法	30,000 代	6 862	827.14
混合算法	20,000 代	2 306	816.29

从上表来看,混合遗传算法具有良好的收敛性和稳定性,适用大规模的最优控制问题,相对而言,模拟退火算法收敛速度最慢,遗传算法搜索最优解的偏差过大,陷入了局部最优,混合算法能以最短的时间、最为精确的搜索到全局最优解.

表 2 混合算法迭代至 20000 代时的最优状态

Tab 2 Optimal station of hybrid algorithm iterating to 20,000 steps

$x^{(0)}$	$= \{0.312, 0.060, 0.019, 0.022, 0.010, 0.009, 0.019, 0.043, 0.011, 0.108, 0.036, 0.102, 0.008, 0.009, 0.015, 0.066, 0.003, 0.012, 0.072\}$
$x^{(1)}$	$= \{0.262, 0.082, 0.023, 0.104, 0.063, 0.078, 0.110, 0.065, 0.009, 0.075, 0.017, 0.101, 0.076, 0.057, 0.061, 0.066, 0.008, 0.101, 0.066\}$
$x^{(2)}$	$= \{0.166, 0.104, 0.028, 0.052, 0.074, 0.282, 0.050, 0.038, 0.032, 0.028, 0.027, 0.013, 0.036, 0.077, 0.038, 0.032, 0.034, 0.029, 0.046\}$
$x^{(3)}$	$= \{0.188, 0.082, 0.033, 0.046, 0.027, 0.058, 0.062, 0.038, 0.040, 0.056, 0.049, 0.027, 0.065, 0.026, 0.023, 0.047, 0.033, 0.030, 0.062\}$
$x^{(4)}$	$= \{0.260, 0.036, 0.050, 0.040, 0.009, 0.048, 0.120, 0.047, 0.062, 0.046, 0.039, 0.067, 0.007, 0.029, 0.032, 0.026, 0.016, 0.006, 0.102\}$
$x^{(5)}$	$= \{0.302, 0.061, 0.018, 0.021, 0.011, 0.010, 0.017, 0.039, 0.012, 0.102, 0.036, 0.102, 0.006, 0.101, 0.0016, 0.064, 0.003, 0.010, 0.068\}$

5 结论

本文结合遗传算法和模拟退火算法的优点,提出了基于遗传算法和模拟退火算法的混合算法,设计了专门的遗传操作算子,构造了相应的适应度函数,用罚函数方法处理约束条件,实现了离散时间系统的最优控制.通过对动态产业结构最优控制问题的优化,验证了混合算法的可行性,仿真结果表明混合算法既具有较快的收敛速度,又能够收敛到最优解,其性能显著优于遗传算法和模拟退火算法.

参考文献:

- [1] 候媛彬,张建军.现代控制理论基础[M].北京:北京大学出版社,2005.
- [2] 袁亚湘,孙文瑜.最优化理论与方法[M].北京:科学出版社,1999.
- [3] 周明,孙树栋.遗传算法原理及其应用[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [4] 任传祥,张海,范跃祖.混合遗传模拟退火算法在公交智能调度中的应用[J].系统仿真学报,2005,17(9):2 075 - 2 081.
- [5] 牛向阳.基于遗传算法和 BP 算法的混合算法[J].河南科技大学学报,2007,28(1):46 - 48.
- [6] S Kirkpatrick, C D. Gelatt and M. P. Vecchi Optimization by simulated annealing[J]. Science, 1983, 220(4598): 671 - 680.
- [7] David B. Fogel An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization[J]. IEEE Transaction On Neural Networks, 1994(79): 191 - 200.

(上接第 20 页)

参考文献:

- [1] Joglekar NR, Ford DN. Product development resource allocation with foresight[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 160(1): 72 - 87.
- [2] Abdelsalam HME, Bao HP. A simulation - based optimization framework for product development cycle time reduction[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2006, 53(1): 69 - 85.
- [3] Li Min, Qin Xiansheng, Sha Quanyou and Bai Jing A ProA-based modeling method supporting product process integrated optimization[J]. Proceedings of the 14th international conference on IE&EM, 2007: 288 - 292.
- [4] Das P. Concurrent optimization of multiresponse product performance[J]. Quality Engineering 1999: 11(3): 365 - 368.
- [5] H. M. E Abdelsalam and H. P. Bao, A simulation - based optimization framework for product development cycle time reduction [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2006, 53(1): 69 - 85.
- [6] 荣霞,王江,刘建平.基于 DEF 模型的供应链战略联盟的构建[J].昆明理工大学学报:理工版,2006,31(4): 108 - 112.
- [7] 李勇,赵艳桃. PLS2 回归计算顾客满意度指数[J].昆明理工大学学报:理工版,2006,31(1): 115 - 118.