

# 产品逆向工程理论、技术与系统<sup>1</sup>

黄克正, 王卫国, 李斌, 鹿素芬

山东大学机械工程学院 (250061)

E-mail: huangkz@sdu.edu.cn

**摘要:** 现代反求工程是发展中国家技术进步的有效途径。在分析现有反求技术和理论思想基础上, 本文首先提出了产品逆向工程的新概念与理论框架, 把实物反求阶段扩展到人类设计思维的反求高度; 然后, 研制了产品逆向工程技术系统框架及关键技术模块, 包括面向产品概念结构的快速造型、现有 CAD 系统集成技术 (STEP 文件读取和翻译)、已有产品造型的装配建模与逆向设计过程重构等。最后, 介绍了基于几何造型平台 ACIS 的 PRE-DARFAD 系统的开发, 并以数控机床为例说明应用情况。

**关键词:** 产品逆向工程 设计自动化 装配建模 设计过程重构 ACIS

## 1. 引言

西方发达国家的发展历程及新兴工业化国家经济起飞的事实证明, 引进、模仿、创新、传播、再引进、再模仿、再创新、再传播, 使发展中国家技术进步的基本规律, 是缩小差距, 实现现代化的必由之路。因此, 反求设计是迅速改变技术落后状况, 提高综合设计、决策水平, 制造水平的迅捷之路。

我国经济发展也引进了国外的产品、技术、生产线进行消化吸收, 依靠规模与价格优势取得了一定的竞争优势和快速发展, 其中反求技术的应用发挥了积极的作用。但是, 产销量增加而利润却停滞不前、甚至下滑的状况仍困惑着很多中国企业。实践证明, 要真正消化吸收引进的技术, 需要打破经验的局限性, 走基础理论与实践技术结合的自主创新道路。

目前逆向工程研究较多仍主要在零件的快速成型方面<sup>[1-3]</sup>, 对已有零件模型的反求, 无法超越原有的零件, 简单的模仿也无法了解到最初的产品设计思想。结合具体产品的产品反求<sup>[4, 5]</sup>、原始设计参数的反求<sup>[6]</sup>、以及面向创新设计的逆向工程系统研究<sup>[7]</sup>都把反求提高到产品层次上, 对产品设计历程所依赖的知识及其参数选择规则有进一步的理解和消化, 有利于总结现有实物原型成功的设计经验和设计方法。文献[8]则进一步将反求工程的研究领域拓宽到工艺、材料、原理等等方面, 提出反求工程是对已有新产品进行解剖、深化和再创造的过程。

从现有实物进行反求设计也是产品设计过程重构问题。由于设计理论的不成熟, 产品设计过程, 特别是创新过程, 仍然是带有神秘色彩的工作。因而对正设计和反求设计都构成了瓶颈问题。分解重构原理<sup>[9]</sup>和广义定位原理<sup>[10]</sup>的提出, 为产品结构设计自动化奠定了理论基础, 生长型设计<sup>[11]</sup>和产品基因工程<sup>[12]</sup>的研究表明了产品设计过程有规律可循。在此基础上,

<sup>1</sup> 本课题得到国家自然科学基金 (50475129) 资助。

本文提出产品逆向工程的新概念,讨论产品逆向工程技术与系统开发,支持后续自主创新设计。

## 2. 产品逆向工程概念与理论框架探讨

在逆向工程的产生和发展过程中,由于出发点、侧重点以及应用场合的不同,出现了不同的定义。传统的反求设计主要是指快速生成已有产品的零件原型,从而加工出相似产品。美国军用手册定义:“反求工程是通过物理测量现有零件以获取竞争力需要的技术资料而从功能上和尺寸上复制某一物品的过程”。

国内学者认为反求工程是综合性很强的研究领域<sup>[8]</sup>,涉及设计方法学,现代设计理论、方法、技术,专业和工程设计经验、知识和创新思维等众多学科与领域。从广义角度,现行产品包含各种复杂高新技术,在工业实践中都存在如何认识、消化和吸收问题。由于目前的理论和技术还无法提供系统性较强的再创造工具和工程方法,因而广义反求工程仍处于思想萌芽阶段。

### 2.1 产品逆向工程的理论基础

从工程角度,产品逆向工程必须有有效的工程方法和支持工具。从现有实物进行反求设计也是产品正向设计过程的求逆问题。因此,产品正向工程的可操作性、过程可逆性、以及有无有效的工程方法和支持工具是产品逆向工程的基础理论问题。

基于人类大量的工程实践和经验总结,产品正向工程积累了丰富的知识和技术。然而在最具有创造性的(概念)设计过程中,人类对自身是如何进行创造的尚不清楚。产品设计过程,特别是创新过程,仍然带有神秘色彩。设计领域尚处于理论不成熟的半理论半经验的状态。产品设计理论的这种状况决定了产品正向工程的可操作性差、无可逆性可言、以及缺乏有效的(创新的)工程设计方法和支持工具。显然,现有反求工程限制于详细设计阶段的局部设计问题。因而,产品创新设计和结构设计理论研究成为产品正向和逆向工程的瓶颈问题。

结构设计将抽象的工作原理具体化为某类构件或零部件,是设计中至关重要的内容。然而,现实产品和零件结构千变万化,在结构表达、结构构思过程描述等方面,成为产品设计工作的巨大障碍。目前,对于具体产品结构,甚至是简单结构,尚不能用可操作的构思过程逐步描述。现有设计理论研究,无法满足人类有效积累和重用设计知识和经验的愿望。

分解重构原理<sup>[9]</sup>揭示了创新设计的本质特点,并提供了强大的可操作创新设计自动化理论研究和技术开发指导;广义定位原理<sup>[10]</sup>根据人类对人造物控制的本质要求,研究发现人造物相对其它客体的位置确定性是一个普遍要求,成为人造物结构设计应该遵循的基本原理之一,为产品结构设计自动化铺平了道路。

生物基因工程的发展对产品设计产生了初步影响,产品之间的知识遗传和传递体现了产品信息基因特征<sup>[13, 14]</sup>、产品概念设计过程表明有产品基因存在<sup>[15]</sup>、产品生长型设计<sup>[11]</sup>找到了产品内在的可操作基因,进一步的产品基因工程研究<sup>[12]</sup>表明产品创新设计过程有规律可循。这就从理论上为产品逆向工程奠定了基础。

基于生长式设计提出的产品基因定义为:所有决定产品结构和功能的、可遗传的信息集合,在适当的环境条件下可以自动“生长”成特定的产品结构,实现特定的功能。

综合上述分析,得出我们产品基因工程研究的基础理念:可以像生物基因和生长那样,人造产品存在设计基因和实用的可操作生长过程,产品设计和开发的全生命周期是可以认识和控制的过程。

## 2.2 产品逆向工程的定义

理论上,本文把产品逆向工程定义为在产品基因工程理论指导下根据现有产品及其相关信息重新构造产品基因的创造性工程。

产品逆向工程的本质就是还原出产品可行的设计过程,最大程度上吸收原有产品的设计思想及关键技术,从而支持产品的创新设计、提高我们自主设计的能力。

技术上,本文把产品逆向工程定义为以现有产品的实物模型、图纸、三维 CAD 模型等为出发点,以生长型设计方法为指导,充分利用设计人员的设计知识和设计经验,在对已有产品进行深入功能分析的基础上掌握其设计思想与关键技术,提取产品基因,从而支持对已有产品充分借鉴而不拘泥于其形式(如尺寸、公差、材料等)以满足原有产品功能需求的产品族创新设计。

产品逆向工程的目标就是理解现有产品,进而重构出相应产品基因及其生长设计过程;一方面,它与现有产品和 CAD 技术系统相结合,实现资源的整合和重用;另一方面,提供建立产品基因库的实用技术途径。

## 2.3 产品逆向工程的特点

(1) 创新性:作为反求工程,顾名思义具有还原创新的延伸功能和含义。这里逆向不要求完全按人类思维过程,而是根据成功地设计结果,重构直接而高效的设计过程,以指导和启发新产品改进与创新设计。

(2) 难度大:作为产品反求,主要问题在于没有设计数据;产品逆向设计是对设计思维过程的重构;由于设计的复杂性,产品反求涉及因素广泛,技术难度较大。

(2) 应用的广泛性:从产品全生命周期考虑,从原始需求,经过概念、技术图纸、零件、产品、使用,直到产品报废的全过程,每个环节都有逆向的问题;从具体反求的范围来讲,结构上从单个零件到整体产品,过程上从详细设计阶段到结构和概念设计;从理论的角度,产品逆向工程面向全部人造产品,而不是某一或某些特定产品的研究。

## 2.4 产品逆向工程体系结构

考虑学科划分的严格性,我们把产品逆向工程限制于反求或还原的狭义范围,就是说,产品逆向工程的最终目的也是为了创新,但主要研究范畴不包括创新设计部分。目的是为集中精力于如何理解人类设计的产品,找出可行设计步骤,从而帮助建立支持创造的设计过程模型和相应工具系统,为再创造奠定基础。

产品逆向工程的体系结构如图 1 所示,由工程理论、技术工具和应用系统三个层次组成。以产品基因和设计自动化理论为理论基础,建立产品基因获取和逆向设计过程重构等软件工具,通过基于产品基因仓库的产品基因工程和生长式设计系统应用于工程实际中。

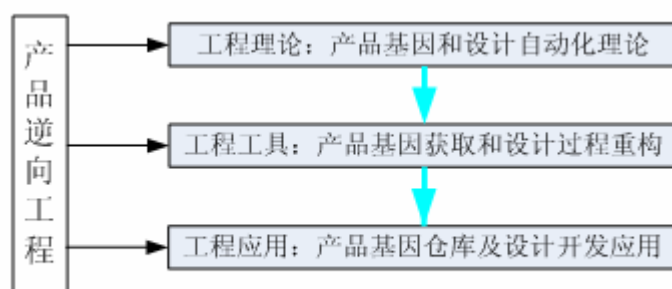


图 1 产品逆向工程的总体结构

### 3. 产品逆向工程关键技术开发

为了开发实用的产品逆向工程工具，本节首先建立产品逆向工程技术系统框架，然后重点讨论核心和关键技术模块。

#### 3.1 产品逆向工程技术系统框架

面向零件的反求技术较为成熟，这里以已有产品的三维 CAD 模型为产品逆向设计的出发点，着重研究产品总体结构设计过程的重构，获取产品基因。

所建立的产品逆向工程技术系统框架如图 2 所示。首先，建立数字化三维产品库，包括整机、部件、零件等，对于其它 CAD 系统则通过 STEP 中性文件转化方法集成；然后，建立产品概念结构模型；最后，通过机电产品基因获取模块，建立分层次基因库，包括产品簇、整机、部件、零件、模式、功能表面等。

关键技术包括面向产品概念结构的快速三维造型、与现有 CAD 系统集成技术（STEP 文件读取、翻译、转化等）、逆向设计过程重建与产品基因获取等。

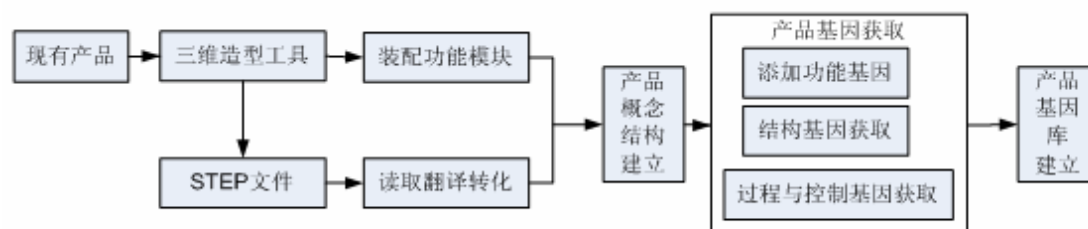


图 2 产品逆向工程技术系统框架

在进行面向产品概念结构的快速造型时，略去辅助特征而进行产品形状主特征造型。利用 VC++实现 STEP 中性文件的产品数据信息的提取，转化成 DARFAD 的数据结构，实现三维产品装配模型的显示。在进行生长型设计时，产品功能表面组成了产品功能结构。对于已有的产品结构，通过功能表面的提取，可以快速建立起由功能表面组成的产品结构信息模型，得到由功能表面组成的产品概念结构。

#### 3.2 产品逆向设计过程重构

该反向设计模块不同于传统逆向工程软件主要是针对产品造型方面的曲线曲面反向求解，而是注重从整个产品的功能和原始需求上去考虑，实现对产品设计过程的回溯，从而可

以寻找出原始需求。原始设计过程可能有失败和曲折经历,这里用产品基因假设,反求出直接的、一步步的设计过程。逆向设计过程重构流程如图3所示。

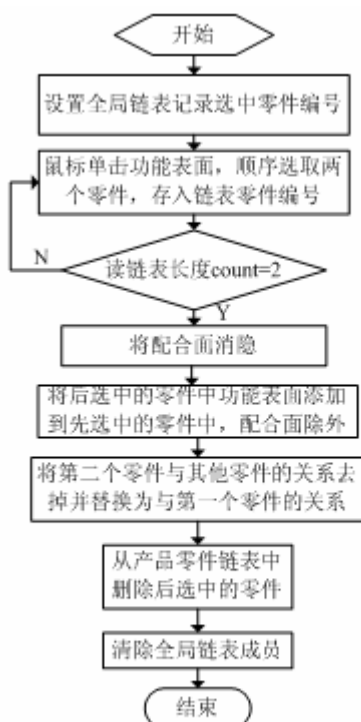


图3 逆向设计过程重构

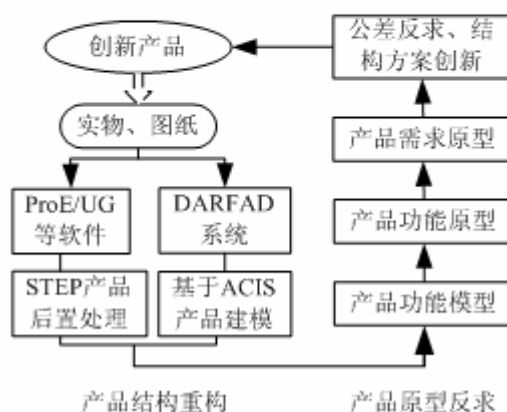


图4 PRE-DARFAD 系统工作流程图

## 4. 产品逆向工程应用系统构造

### 4.1 PRE-DARFAD 系统框架

利用几何造型平台 ACIS 开发出产品概念结构快速造型与回溯设计软件模块, 与支持产品创新设计的 DARFAD 软件集成为产品逆向工程工具系统 PRE-DARFAD。根据现有软件环境条件和应用状况, 产品逆向工程应用系统 PRE-DARFAD 工作流程如图4所示。

### 4.2 PRE-DARFAD 系统的应用

以数控机床结构设计为例, 在 PRE-DARFAD 系统中首先快速建立产品的三维造型与装配模型, 如图5所示。然后, 从造型中提取产品结构的功能表面, 得到产品结构和功能信息集合: 由功能表面表示的产品概念结构, 如图6所示。

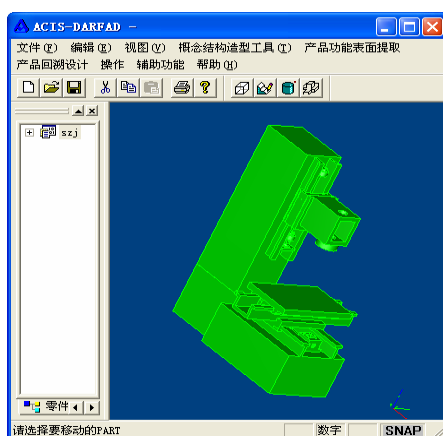


图 5 产品三维造型快速生成

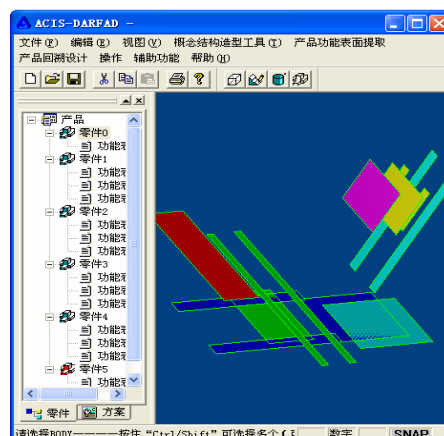


图 6 建立产品概念结构

最后通过回溯设计过程得到产品的最原始的功能需求和结构需求:由功能表面组成的产品需求原型,如图 7 所示,并且得到原先设计过程中的准则和原理知识,为以后的生长型创新设计提供工作原理支持。

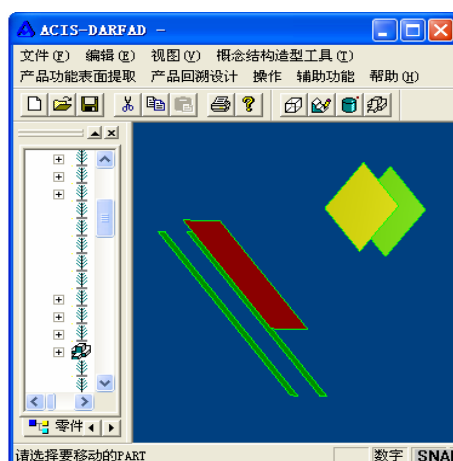


图 7 设计过程回溯得到原始需求

通过产品需求原型就可以在生长型设计自动化软件 DARFAD 中进行再设计,从而可以设计出不同于原来产品的新产品结构,满足原始需求。

## 5. 结论

反求技术的应用对我国经济发展发挥了积极的作用,本文在分析现有反求技术和理论思想基础上所做的努力可以得到以下初步结论,该领域有大量工作需要进一步研究和开发。

- (1) 产品逆向工程概念理论上有必要把实物反求阶段扩展到人类设计思维的反求高度;设计自动化理论,特别是产品基因工程,是产品逆向工程的理论基础;
- (2) 逆向设计过程重构是产品逆向工程中的核心和关键技术开发,本文提出的逆向结构设计过程重构对产品整体逆向工程具有重要价值;
- (3) 基于几何造型平台 ACIS 的 PRE-DARFAD 系统开发实践表明,本文提出的 PRE 理论和技术系统框架是可行的和有效的,进一步完善将大大促进设计技术进步。



## 参考文献

- [1] Werghi, N., Fisher, R., Robertson, C. and Ashbrook, A. Object Reconstruction by Incorporating Geometric Constraints in Reverse Engineering, CAD Computer Aided Design, Vol. 31 No. 6, 363-399,1999
- [2] Y.H. Chen and C. T. Ng: Integrated Reverse Engineering and Rapid Prototyping, Computers and Eng., Vol. 33 No. 3-4, 481-484, 1997
- [3] Chivate, Pramod N. and Jablokow, Andrei G. :Solid-model Generation from Measured Point Data, Computer Aided Design, Vol.25,No.9,587-600,1993
- [4] 沈敏德, 王达,刘贵杰.平板式分级筛的反求设计.山东轻工业学院学报, Vol.11,No.1, 25-29,1997
- [5] 岳山, 唐素英.剑杆织机引接纬系统的反求设计.机械设计, No.5, 47-49,1993
- [6] 杨铁牛. 面向逆工程的原始设计参数还原的研究与实践: [博士学位论文].西安:西安交通大学,2000
- [7] 王英惠. 面向创新设计的逆向工程系统的研究: [博士学位论文].西安:西安交通大学,2003
- [8] 刘影, 杭九全, 万耀青. 反求工程与现代设计, 机械设计, No. 12, 1-4, 1998
- [9] Huang, K., X. Ai, C. Zhang. Decomposition and Reconstitution Principle for Complicated Surfaces. Science In China Series E, 40,89 (1997).
- [10] 黄克正. 广义定位原理与产品结构自动 化理论.中国科技论文在线, 2006,2,14
- [11] 曹树坤. 机械产品概念结构生长型设计力学综合技术研究:[博士学位论文].济南: 山东大学,2002
- [12] Huang Kezheng, Chen Hongwu, Wang Yandong, Song ZJ, Lu L. Product Genetic Engineering. In: ElMaraghy HA, ElMaraghy WH, editors. Advances in Design, Springer, 2006.
- [13] 顾新建, 谭建荣, 祁国宁. 产品信息基因模型. 中国机械工程, 1997(2), 77-79.
- [14] 顾新建, 祁国宁. 过程信息中的基因模型. 中国机械工程, 1998(11), 80-84.
- [15] 冯培恩, 陈泳, 张帅, 潘双夏. 基于产品基因的概念设计. 机械工程学报, 2002, 38(1), 1-6.

## Product Reverse Engineering: Theory, Technology and System

Kezheng Huang Weiguo Wang Bin Li Sufen Lu  
School of Mechanical Engineering,  
Shandong University, Jinan, P.R. China, 250061

### Abstract

Current reverse engineering approach is an effective way for technology progress of developing countries. Based on analysis of existing reverse engineering technology, new concept of product reverse engineering (PRE) and its theoretical framework is proposed first in this paper to extend it to whole product structure and dynamic design thinking process. Then an brief introduction is made to the PRE technical system architecture and key techniques for product reverse engineering, which include the rapid solid modeling for conceptual structure, integration with existing CAD systems through STEP file, assembly modeling and reverse design process reconstruction. Finally, ACIS based PRE-DARFAD system is developed with initial verification through machine tool design example.

**Keywords:** *Product reverse engineering, Design automation, Assembly modeling, Design process reconstruction, ACIS.*