

基于并行工程的产品设计研究

徐悬 著



北京理工大学出版社

基于并行工程的产品设计研究

徐悬 著



内 容 简 介

本书以设计与商品化之间的关系以及技术的推动作用为主要出发点,论述了商品化对产品设计的重要作用,并指出并行工程理念是现阶段商品化实现的最有效手段。强调工业设计切入并行工程的意义及必要性,结合一些设计实例,阐述了在高科技环境下并行工程对工业设计领域的要求。

本书结构清晰,思路明确,内容丰富,语言简练,解说详略得当,既有鲜明的基础性,也有很强的实用性。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

基于并行工程的产品设计研究/徐悬著. —北京:北京理工大学出版社,2019.2
ISBN 978-7-5682-6771-7

I. ①基… II. ①徐… III. ①工业产品-产品设计-研究 IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 035334 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 7.25

字 数 / 110 千字

版 次 / 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 62.00 元

责任编辑 / 刘 派

文案编辑 / 刘 派

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

传统的产品设计采用阶段性的流程，很容易造成“设计—制造—变更设计—重新制造”的不良循环，导致产品开发周期长、成本高、质量无法保证等缺陷。随着全球化大市场的形成，要求企业必须提高产品开发能力、增强市场开拓能力、提高产品质量、缩短产品开发周期、降低生产成本以及改进服务质量，才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。这就要求企业摒弃传统的串行工程技术，将并行工程方式应用到产品的开发过程中。随着社会的发展，并行工程已逐步从理论向实用化方向发展，越来越多航空、航天、汽车、电子、机械等领域的国际知名企业通过实施并行工程取得了显著效益。

并行工程将产品的开发过程看成一个有机整体，各个设计部门如概念设计、工艺设计、结构设计及制造过程等都存在着不可分割的内在联系，强调全局性地思考问题，强调人们的群体协同工作，充分考虑整个产品生命周期中的所有因素，如此才能不断改进设计，避免由于在产品设计阶段的问题带来后期的损失。但目前国内外对于并行工程的研究与应用还主要集中在制造业，工业设计作为产品开发的一个重要组成部分，在并行方面的研究却十分缺乏，这势必影响并行工程整体效应的发挥。在现阶段，工业设计已经高科技化并且自成体系，但却与工程设计以及制造脱节，工业设计与工程设计之间依旧是传统的串行工程方式，每个部门根据上层的需要或工艺特点对各自的设计进行修改，设计师与工程技术人员之间并没有形成真正高效的交流与互动，从而造成时间和效益的损失。没有工业设计参与的并行工程谈不上真正意义上的并行，只有把工业设计切入并行工程之中才能使产品开发在早期阶段更为全面地考虑产品生命周期的各种因素，从而缩短产品开发周期、提高产品质量、降低产品成本。

本书以设计与商品化之间的关系以及技术对设计的推动作用为主要出发点，论述了商品化对于设计师以及工业设计本身的重要作用，指出并行工程理念是现阶段商品化实现的有效手段，强调技术引导设计的发展，强调并行工程对产品设计的作用以及工业设计切入并行工程的必要性，论述基于并行工程的工业设计流程的构建，结合数字化产品设计实例，阐述了在高科技环境下并行工程对工业设计领域的要求。

全书共分七章。第一章叙述了本研究的目的和意义、计算机辅助工业设计的内涵以及国内外计算机辅助工业设计的发展现状、实际应用及发展趋势。第二章为理论基础，论述了设计与商品化之间、技术与设计之间的关系，指出设计价值的实现在很大程度上是依赖商品化来实现的，以及技术的发展推动了设计的创新。在第三章主要讨论了并行工程产生的背景、并行工程的含义、并行工程与工业设计的相互作用，以及在现阶段工业设计的变化，指出目前工业设计与并行工程之间存在的问题。第四章主要介绍了基于并行工程的设计流程的构建，强调了工业设计与并行工程的密切联系及工业设计流程构建的过程。第五章主要介绍了协同工作环境的概念、结构，面向并行工程的协同工作环境的功能特点，以及协同工作的核心问题——人人交互和网络信息传输。第六章介绍了 workflow 管理知识，主要包括 workflow 技术、协同工作环境中的 workflow 及其管理。第七章主要介绍数字化产品模型的创建，利用部分实例，对工业设计切入并行工程的具体要求进行探讨，如数字化产品设计操作平台、数字化设计软件的运用等。

目 录

1	第一章 绪论	
2	1.1 课题研究目的和意义	
3	1.2 计算机辅助工业设计 (CAID) 内涵	
6	1.3 CAID 与工业设计	
9	1.4 CAID 的应用	
13	1.5 CAID 技术的发展现状	
13	1.5.1 计算机辅助造型技术的研究	
14	1.5.2 人机工程技术的研究	
15	1.5.3 智能技术的研究	
16	1.5.4 高新技术的研究	
18	1.5.5 商品化软件中的工业设计模块	
19	1.6 CAID 技术的发展趋势	
19	1.6.1 现代工业设计的发展方向	
20	1.6.2 CAID 的发展趋势	
21	1.6.3 有待解决的关键技术问题	
23	第二章 理论综述	
24	2.1 设计与商品化	
27	2.2 技术与设计	
31	第三章 商品化的实现手段——并行工程	
32	3.1 并行工程产生的背景	
32	3.1.1 社会与企业的信息化	
34	3.1.2 产品消费的个性化与多样化	
34	3.1.3 先进制造技术	
37	3.1.4 CAD 技术的发展	
40	3.1.5 并行工程与 CIMS、虚拟制造的关系	
40	3.1.6 传统串行工程存在的弊端	
42	3.2 并行工程	
42	3.2.1 并行工程的含义	
45	3.2.2 并行工程的技术特征	
47	3.2.3 并行工程与串行工程的区别	
48	3.2.4 并行工程的发展和应用状况	
51	3.2.5 并行工程的研究热点和发展趋势	
54	3.2.6 并行工程在先进制造技术中的地位与作用	
55	3.3 技术对工业设计的影响	
56	3.3.1 工业设计的综合性加强	
57	3.3.2 工业设计数字化的内涵	
58	3.3.3 设计对象的变化	
59	3.3.4 设计方式的变化	
59	3.4 工业设计切入并行工程的意义	
62	3.5 并行工程之于产品设计的作用	
62	3.5.1 并行工程在传统文化产业转型中的重要性	
63	3.5.2 并行工程在现代企业产品设计中的应用	
63	3.5.3 帮助地方企业实现产品转型设计	
64	3.6 并行工程存在的问题	
67	第四章 基于并行工程的工业设计流程构建	
68	4.1 产品设计系统的重构	
69	4.2 基于并行工程的工业设计流程构建	
69	4.2.1 并行工程中的工业设计	

70 4.2.2 工业设计与产品并行设计相关要素的连接

71 4.2.3 工业设计流程构建

75 第五章 面向并行工程的协同工作环境

76 5.1 协同工作环境的概念

78 5.2 协同工作环境的结构

79 5.3 面向并行工程的协同工作环境的
功能特点

82 5.4 人—人交互

83 5.5 群体成员间网络信息传输

85 第六章 workflow 管理

86 6.1 workflow 技术

86 6.2 并行工程中的 workflow

88 6.3 协同工作环境与 workflow 的关系

88 6.4 协同工作环境中的 workflow 管理

91 第七章 基于并行工程的产品

92 7.1 并行工程对工业设计的要求

93 7.2 数字化产品设计组成技术

94 7.3 数字化产品模型

95 7.3.1 数字化产品设计

96 7.3.2 操作平台

97 7.3.3 软件的综合运用

99 7.3.4 数字化产品设计模型实现问题

100 7.3.5 运用实例

106 参考文献

01

第一章 绪论



基于并行工程的产品设计研究

基于工业设计系统所发展起来的计算机辅助工业设计（CAID），主要是以工业设计领域为重点所开展的创造性活动。从本质上来讲，计算机辅助工业设计的核心就是计算机技术，是信息时代发展的产物。但 CAID 不管是设计过程还是其他方面都与传统工业设计存在差别，充分展现了自身的生命力与创造力。

1.1 课题研究目的和意义

产品竞争主要体现在三个方面，即技术、设计与新产品上市时间。而在技术国际化日益突出的今天，企业间在产品技术方面的差异逐渐缩小，因此这种竞争越来越集中体现在产品的设计与时间上面。

“国际上一些著名的制造企业自（20 世纪）90 年代以来在新产品开发领域实施并行工程。他们的目的是采用新的产品开发管理模式和过程，把传统的制造技术与计算机技术和自动化技术相结合，在产品开发的早期阶段全面考虑产品生命周期中的各种因素，力争使产品开发能够一次获得成功。实践证明：并行工程是缩短产品开发周期、提高产品质量、降低产品成本的有效方法。”^[1]

另一方面，工业设计需要吸收新的技术和新的理念来发展自己。一定的设计总是与一定的技术发展水平相适应的，如今电子信息技术的飞速发展促进了制造业的发展，先进的加工技术被广泛地应用于各行各业，这些都为工业设计手段的改变提供了技术上的保证，势必会引发设计思想、设计观念的变革。

“知识和信息社会对设计师们知识更新提出了更高要求，尤其是计算机辅助设计技术、虚拟现实技术。如何运用高新技术在设计中削减成本是国际设计竞争焦点之一。设计师们与商界合作将更紧密。”^[2]

工业设计作为产品开发的前端过程，与产品的结构、工艺、制造和销售等因素是密不可分的。前期的概念设计往往对产品的其他方面，如结构、加工、生产乃至销售都会产生决定性的影响。并行工程由于在提高产品质量、缩短产品开发周期及整合企业资源等方

[1] 《设计与制造自动化技术的发展》，<http://www.cims.edu.cn>。

[2] 鲁晓波：《信息时代、知识经济与高等工业设计教育对策》，设计在线 <http://dolcn.com>，2001 年 8 月 24 日。



面的显著优势已经成为产品设计与制造的趋势。而我国目前对于并行工程的研究,大多针对的是机械设计与开发,只在工程与制造方面形成了交流与互动,却与产品开发的另一重要环节——工业设计脱节。在我国现阶段,工业设计自成体系,并没有真正融入并行工程中,工业设计与目前的工程设计之间依旧是传统的串行流程,传统工业设计师与工程技术人员之间并没有形成真正高效的交流与互动,而并行工程没有工业设计的参与便谈不上真正意义上的并行。只有把工业设计切入并行工程之中才能使产品开发在早期阶段更为全面地考虑产品生命周期的各种因素,从而缩短产品开发周期、提高产品质量、降低产品成本。

1.2 计算机辅助工业设计 (CAID) 内涵

工业设计是由科学与美学、技术与艺术相互交叉、渗透、结合形成的,以机械化方式生产的工业产品为主要研究对象的一门新兴的边缘学科,以工学、美学、经济学为基础对工业产品进行设计。计算机作为先进的技术手段介入工业设计有它的必然性:计算机技术、信息技术高速发展;人们生活水平普遍提高,对产品的需求趋向于多品种、小批量、趣味化和个性化;企业面对激烈的市场竞争,必须解决敏捷设计、部门的协同合作、用户参与等一系列快速反应机制问题;传统的产品开发模式成本高、周期长、效率低、风险大,已经不能满足瞬息万变的市场需求。因此基于计算机和网络技术的计算机辅助工业设计 (Computer Aided Industrial Design, CAID) 应运而生,它同 CAE (Computer Aided Engineer, 计算机辅助工程), CAM (Computer Aided Manufacture, 计算机辅助制造)、CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺设计)、VR (Virtual Reality, 虚拟现实) 等 CAX 系统协同或并行实现产品的更新和研发。图 1-1 为计算机辅助制作的电子募捐箱设计效果。





图 1-1
电子募捐箱设计效果

在工业设计领域中，创新的作用十分重要。而计算机辅助工业设计同样需要有创新作为支撑，才能够不断增强自身产品的核心竞争力。作为产品，不管是在功能、形状，还是原理和色彩等方面的创新，都一定可以提升或者是改变产品自身的属性与特性。如图 1-2 为立式剃须刀组合设计，图 1-3 为彩杆滑板车设计。



图 1-2
立式剃须刀组合设计



图 1-3
彩杆滑板车设计



设计的创新发挥着基础作用，必须在研究方面获得突破，才能够进一步推动 CAID 的研究，提升所设计产品的自身价值。基于此，人机系统的优化设计对人使用产品的交互原则进行了充分考虑。其中，以人为本是 CAID 最核心的原则，人机与环境要和谐互配；充分利用不同数据库，保证产品与工程设计中对人机工程学的参数有直观反映，在产品的宜人性和环境的基础上，贯彻与落实安全防护标准。设计人员无须深入了解计算机知识就能够在 CAID 的协助之下完成设计任务，这些为工业设计的新发展提供了有力保障。

（1）CAID 的基本内涵

计算机辅助工业设计（CAID），即在计算机及其相应的计算机辅助工业设计系统的支持下，进行工业设计领域的各类创造性活动，实现产品形态、色彩、宜人性设计和美学原则的量化描述，从而设计出更加实用、经济、美观、宜人和创新的新产品，满足不同层次的人的需求。它是以计算机技术为支柱的信息时代的产物。与传统的工业设计相比，CAID 在设计方法、设计过程、设计质量和效率等各方面都发生了质的变化，它涉及 CAD 技术、人工智能技术、多媒体技术、虚拟现实技术、敏捷制造、优化技术、模糊技术、人机工程等许多信息技术领域，是一门综合的交叉性学科。

从广义上来说，CAID 是 CAD 的一个分支，许多 CAD 领域的方法和技术都可拿来加以借鉴和运用，但 CAID 也有自己的特征。创新是工业设计的灵魂，以知识为基础的产品创新竞争，是 21 世纪初全球制造业竞争的核心。

CAID 主要提供了一个数字化的平台，包括数字化建模、数字化装配、数字化评价以及数字化信息交换等方面内容，极大地方便了设计、分析和修改。其中数字化建模、数字化评价是该系统中集中体现工业设计特征的部分，它将各种美学原则、风格特征、人机关系等语义性的东西通过数学建模进行量化，使工业设计的知识体系对设计过程的指导真正具有可操作性^[3]。比如生成的渲染效果图或实体模型，可以进行机构仿真、外形、色彩、材质、工艺等方面的分析评价，更直观且经济实用。如图 1-4 为创维电视设计方案。CAID 设计平台能够实现与工艺、制造等其他数字平台共享信息资源。

[3] 潘云鹤：《计算机辅助工业设计技术发展状况与趋势》，《计算机辅助设计与图形学学报》，1999 年 11 期，6-8 页。



图 1-4
创维电视设计方案



(2) CAID 与 CAD 的区别

计算机辅助工业设计 (CAID) 是采用计算机进行设计的 CAD 的一种, 特别是指包含工业设计的系统。一般的 CAD 工具主要用来设计产品内部零件, 而 CAID 相对来说是进行整体性的设计。CAID 系统中本身已包含了大量的已经设计好的模型。

(3) CAID 与创新设计

创新是工业设计的灵魂。以知识为基础的产品创新竞争是 21 世纪初全球制造业竞争的核心。一个新产品在功能、原理、布局、形状、结构、人机、色彩、材质、工艺等任何方面的创新, 都会直接影响产品的整体特性, 影响产品的最终质量和市场竞争力。

当前, 关于产品创新原理、创新设计技术等研究已成为 CAD、CIMS 领域的一个研究焦点。创新设计是 CAID 研究的一项重要内容, 只有在创新设计的研究上取得突破性进展, 才能使 CAID 的研究迈上一个更高的台阶。

1.3 CAID 与工业设计

新技术在工业设计领域的直接应用主要表现在计算机的应用上。计算机对工业设计的影响是非常广泛而深刻的, 以计算机技术为代表的高新技术开辟了工业设计的崭新领域, 工业设计本身也高



科技化了。随着计算机软硬件技术的日新月异和计算机图形学、计算机辅助设计、多媒体、虚拟现实等技术的发展以及 CAD、CAM 应用的逐步深入，现代工业设计理论与方法研究有了长足的进步，计算机辅助工业设计技术便成为 CAD、CAM、先进制造技术与自动化技术领域的研究热点之一。

CAID 的发展经历了两个阶段，即工业设计计算机化和计算机辅助工业设计两个阶段。1980 年美国工业设计师学会（IDSA）在全国会议上将计算机辅助工业设计技术引入工业设计领域，1988 年 IDSA 召开的世界设计大会指出 CAID 是计算机辅助设计与计算机动画的结合，这预示着 CAID 时代的迅速到来。

（1）工业设计计算机化

在计算机切入工业设计的早期阶段，计算机实质上是传统工具的一种延伸，计算机出现以后，设计师用 AutoCAD 取代针管笔与平行尺，用 Corel Draw 或 Photoshop 代替麦克笔、喷笔。事实上，不管是 AutoCAD 还是 Photoshop 都不过是旧工具的一种延伸，因为整个设计的流程并没有因此而改变，以往作业流程中容易发生的错误，还是会发生。对整个设计步骤并没有太大的影响。所以，“以计算机来简单取代传统的工具只能称之为工业设计计算机化，还谈不上计算机辅助工业设计^[4]。”

后来由于计算机软硬件和图形图像技术的发展，开始用三维动画类软件来进行产品设计。不得不承认这类软件的应用，对产品设计表达有了很大程度的改进，从中我们可以得到照片质量的逼真效果图，也可以在计算机里面从多个角度观察产品模型。但这类软件并没有精确的数据输入与输出，模型更多的是凭感觉或者是大体的比例关系建立的，同制造也没有良好的数据接口，不能直接面向生产，除了能更好地表达设计师的构思以外，工业设计的流程依旧没有发生什么变化。在这个阶段，工业设计也没有发生本质的变化。

（2）计算机辅助工业设计

参数化设计与特征建模技术在设计软件中的应用和网络技术的发展，使计算机在工业设计领域的应用发生了根本性的变化。参数化设计与特征建模技术使设计能够直接面向生产，网络技术的发展给设计的交流提供了可能。新技术的出现必然引发观念的变革，工

[4] 孙守迁等：《计算机辅助工业设计技术发展状况与趋势》，人机在线网站 <http://www.ergocn.com>，2001 年 7 月 7 日。



业设计发生了质的变化。这是计算机在工业设计领域应用的转折点。

基于特征的设计技术是一种面向产品制造全过程，描述信息和信息关系的产品数字建模方法。随着 CAD 技术的发展，基于约束的实体造型技术已经成熟起来，并以此为基础开发出了先进的新一代实体造型软件，如 Pro-e、I-Deas、Solidworks 等，都是这种技术的典型代表。

设计的主要目的是要尽快将所设计的商品量产销售，量产工作的完成需要经过结构设计、原型样机、开模，最后量产。因此设计师所设计的成果，是否具有生产性并为工程人员所应用，是很重要的。计算机软硬件的发展为工业设计实现这一目的提供了很好的便利性。Pro-e、Solidworks 等软件为设计与生产之间提供了良好的接口，它们从产品的构思、完善到生产加工都做到了高度的专业化和规范化。在前期的建模、造型上它能以参数化的形式，方便地生成曲面、倒角等，这是其他软件难以做到的；在后期的工程设计方面，它能自动优化产品结构、材料和工艺，完成由 CAD 到 CAM 的转换。

这类设计软件既能将设计者的思想真实地反映出来，又可以借助其系统参数算出体积、面积、重量等特征。图 1-5 是笔者用参数化软件做的一个洗发膏瓶。当时的要求是瓶子的容量（包括瓶口部分）正好是 200 mL，且必须做出实物模型。采用的是 Solidworks 软件，最后是用快速成型加工技术，全部时间不到两天。瓶子的容积要求对于传统的设计方式来说是难以达到的。

由于计算机辅助设计的出现，工业设计的方式发生了根本性的变化，这不仅体现在用计算机来绘制各种设计图，用快速的原型技术来替代油泥模型，或者用虚拟现实来进行产品的仿真演示等，而且更重要的是建立起一种并行结构的设计系统，将设计、工程分析、制造三位一体优化集成于一个系统，使不同专业的人员能及时相互反馈信息，从而缩短开发周期，并保证设计、制造的高质量。“这些变化要求设计师具有更高的整体意识和更多的工程技术知识，而不是仅仅局限于效果图表现。”^[5]

计算机辅助工业设计使 CAID-CAE-CAM 的技术平台一体化，促进了设计技术走向综合。

[5] 何人可：《信息时代的工业设计》，设计在线 <http://dolcn.com>。





图 1-5
洗发膏瓶模型制作

1.4 CAID 的应用

CAID 的应用要与企业的 CAX 系统协同并行，在数字化的设计平台上实现设计自动化，这将使新产品开发的周期大大缩短、费用降低，并且能提高新开发的产品质量，增强企业及其产品在市场上的竞争能力。新产品开发过程中应用 CAID，同样要求科学的思维方式和艺术的思维方式相互渗透——科学的发明和创造融入艺术的想象和品格，艺术的创造和对产品形态美的探索又渗入科学的理论和品质，以实现科学与艺术的融合，以获得人性化的高质量产品。如图 1-6 为显示器造型设计效果。

在 CAID 应用过程中，最受关注的是数据的传输与设计的协同问题，在由概念设计到造型设计，再到结构设计、模具设计等计算机模型的数据传导过程中，往往会由于软件相互间的数据接口而出现许多问题。因而，最理想的方式是所有的过程能够在—个软件里得到完成。在这方面，PRO/E、UG 等设计制造—体化的大型软件提供了很好的解决办法，它们提供了从概念设计、结构设计到模具设计与制造等—系列功能，从而完美解决了数据接口问题。

(1) 计算机辅助概念设计

概念设计就是从用户要求出发到形成产品原理的过程，它决定了产品的整个结构形式，是一种创造活动，是根据用户意愿寻求满意解或最优解的复杂过程。概念设计是工业设计领域中的一个重要方面，在国外大公司的产品设计部门—般包括：



图 1-6
AOC 显示器造型设计



概念设计 (Concept design) ;

详细设计 (Detail design) ;

制造设计 (Manufacturing design) 。

由此可见产品概念设计的主导地位和重要性^[6]。产品概念设计一直是产品开发中的“瓶颈”问题,以往大多采用类比法或经验法,但并不能满足设计的需要,现在采用计算机辅助概念设计(Computer Aided Conceptual Design, CACD),可实现产品概念设计与后续活动的集成与并行。

(2) 计算机辅助市场调研

商品化是产品实现自身价值的最终途径,市场又是产品的催化剂,是产品创新的主要源泉,了解市场、把握市场是设计师的重要任务^[7]。因此,设计师在新产品开发之前都需要对相关产品、消费者以及销售商等进行详细的调研,并且要对大量的采集数据进行统计、定量定性分析。这是一项极为繁重的工作,而计算机的参与将会大大提高工作效率。如图 1-7 为设计师针对鼠标使用者进行的调研统计。目前很多企业使用社会科学统计软件包(Statistical Package of Social Science, SPSS),该软件具有数据编辑、数据管理、统计分析、制图做表等功能,功能全面,内容丰富,而且窗口化的操作简单方便^[8]。

(3) 计算机辅助形态设计

计算机形态表达能力很强。一般设计人员在进行产品外表面的电脑虚拟形态构造时,首先应根据概念草图的特征曲线,在计算机上构造出产品外形大致的线框模型,并对这些曲线进行必要的光顺和优化处理,利用光顺处理后的曲线及考虑曲面的成形条件,选择

[6] 高锦宏:《试论面向制造的设计技术》,《机床与液压》,2003年第1期,23-25页。

[7] MBA 必修核心课程编辑组:《新产品开发》,中国国际广播出版社,1999年版。

[8] 彭韧:《计算机辅助工业设计》,中国轻工业出版社,2001年版。