

现代设计丛书



编著 刘宏增 黄靖远

虚拟设计

机械工业出版社

00007811

TP391.72

63

现代设计丛书



虚拟设计

HK72/OK

刘宏增 黄靖远 编著



机械工业出版社



C0483004

“虚拟设计”属于新兴的多学科交叉技术。它涉及到虚拟现实技术、计算机图形学和产品知识等众多的学科和专业。本书主要阐述虚拟设计技术的基本概念，分析虚拟设计系统的构成原理，介绍各种交互技术和重要的软硬件开发平台，并对典型的虚拟设计系统进行了剖析。其目的是为了帮助读者更好地认识“虚拟设计”这个崭新的设计手段，探索这项技术在机械产品设计方面的应用前景。

本书可供从事虚拟设计系统开发、引进和应用的科技人员以及广大的虚拟现实技术和计算机辅助设计技术的爱好者参阅，也可作为大中专院校机械工程专业研究生、大学生的选修教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟设计/刘宏增, 黄靖远编著. - 北京: 机械工业出版社, 1999.11

(现代设计丛书/姚福生主编)

ISBN 7-111-07651-6

I. 虚… II. ①刘… ②黄… III. 计算机仿真-应用-设计 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64740 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙薇 林波 版式设计: 霍永明 责任校对: 张丽丽

封面设计: 郑京 责任印制: 郭峰

印刷: 北京新华彩印厂

发行: 新华书店北京发行所

1999 年 12 月第 1 版 · 1999 年 12 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₃₂ · 7 印张 · 152 千字

0 001—4 000 册

定价: 12.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

编 辑 委 员 会

主任委员：姚福生

副主任委员：隋永滨 段爱珍 陈立周
蔡文沁

委 员：吴宗泽 黄纯颖 黄靖远
须 雷 连 刚 刘之生
刘宏增 刘志峰 黄洪钟
孟明辰

序

21 世纪世界的一个巨大变革就是形成一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展，都必须在这个全球市场的竞争中求得生存。这对我国制造业提出了严峻的挑战。

市场竞争的生命力在于产品的创新。任何科技成果要转变为有竞争力的商品，设计起着关键性的作用。设计是产品研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，直接关系到产品的质量、性能、研制周期和技术经济效益。世界各国都十分重视产品的设计工作。

随着计算机技术的发展，特别是 CAD 技术的发展，设计手段发生了根本性变化，设计新理论、新方法、新技术不断涌现。广大工程技术人员渴望在“甩掉图板”的同时，更新设计思维，采用现代设计方法，真正提高产品开发能力和设计水平。为此，中国机械工程学会机械设计分会与机械工业 CAD 询服务中心联手，组织机械设计领域从事现代设计研究的、有专长的、有经验的专家、教授，编写一套《现代设计丛书》，以适应我国进入 21 世纪技术创新和振兴制造业的需要。

由于现代设计涉及面广，本丛书选题较多，一时难以全部确定，原则上根据需要成熟一个确定一个，不追求系统和全面。因此，全套丛书的编写及出版将采取分批的方式进行。第一批将出版 10 册。它们是：《创新设计》、《智能设

计》、《并行设计》、《虚拟设计》、《稳健设计》、《绿色设计》、《优势设计》、《模糊设计》、《反求设计》、《方案设计》。

江泽民总书记在全国技术创新大会上强调，我们既要充分估量新的科技革命带来的严峻挑战，更要珍惜它带来的难得机遇。我们必须抓住机遇，正确驾驶新科技革命的趋势，全面实施科教兴国战略，大力推动科技进步，加强科技创新，加速科技成果向现实生产力转化，掌握科技发展的主动权，在更高的水平上实现技术发展的跨越。我们希望通过《现代设计丛书》的出版，能为我国科技创新工程做出一点应有的贡献。

《现代设计丛书》编委会

1999年8月

前 言

全球化、网络化和虚拟化已成为制造业发展的重要特征，实现“虚拟设计”（Virtual Design）是制造业虚拟化的重要内容。

近年来，为了缩短产品的开发周期、降低生产成本，人们提出了各种各样的制造模式。计算机技术的发展为这些制造模式的应用提供了有力的支持，“虚拟现实”（Virtual Reality）技术的引入更是加快了各种敏捷制造模式的实现。

虚拟现实技术与已经高度发展的 CAX（CAD、CAM 及 CAE 等）系统的有机结合，为产品的创意、变更以及工艺优化提供了虚拟的三维环境。设计人员借助于这样的虚拟环境可以在产品设计过程中，对产品进行虚拟的加工、装配和评价进而避免设计缺陷，有效地缩短产品的开发周期，同时降低产品的开发成本和制造成本。越来越多的人已经认识到这种技术是一种可靠的、行之有效的辅助设计技术。初步的实践证明：这项技术对产品的概念设计、装配设计和人机工程学评价特别有益，因此对这三个方面的应用研究倍受重视。目前，人们对这项技术的认识不很一致，命名方法也不尽相同，这里我们称其为“虚拟设计”（Virtual Design）。

“虚拟设计”属于新兴的多学科交叉技术。它涉及众多的学科和专业技术，利用这本小册子的有限篇幅实在难以对所有相关理论和技术展开讨论。本书主要阐述虚拟设计技术的基本概念，分析虚拟设计系统的构成原理，介绍各种交互

技术和重要的软硬件开发平台，并要剖析典型的虚拟设计系统。其目的是为了帮助读者更好地认识“虚拟设计”这个崭新的设计手段，探索这项技术在机械产品设计方面的应用前景。

虚拟设计系统可分为两个大类：增强的可视化系统和基于虚拟现实的 CAD 系统。

增强的可视化系统：利用现行 CAD 系统进行建模，在对数据格式进行适当的转换后输入虚拟环境系统。在虚拟环境中便可以利用三维交互设备（如：数据手套，三维显示监视器等）在一个“真实”的环境中对模型进行不同角度的观察。增强的可视化系统通常采用空间球、飞行鼠标等进行导航，并采用带有光闸眼镜的立体监视器来增强产品模型的真实感。目前投入使用的虚拟设计系统大都属于增强的可视化系统，这是因为基于虚拟现实的建模系统还不够完善，相比之下现行的 CAD 建模技术比较成熟，可以利用。不过随着虚拟现实的建模系统的成熟，人们会逐渐转向基于虚拟现实的 CAD 系统。

基于虚拟现实的 CAD 系统：利用这样的设计系统用户可以在虚拟环境中进行设计活动。与纯粹的可视化系统相反，这种系统不再使用传统的二维交互手段进行建模，而直接进行三维设计。它们提供各种输入设备（数据手套、三维导航装置等）与虚拟环境进行交互。另外，它们也支持其他的输入方法，如语音识别、手势及眼神跟踪等。这样的虚拟设计系统不需用进行系统的培训就可以掌握，一般的设计人员稍加熟悉后便能成功地利用这样的系统进行产品设计。初步的研究表明：这样的虚拟设计系统比现行的 CAD 系统（如 Pro ENGINEER 等）的设计效率提高 5~10 倍，甚至更

高。不难预见这种系统具有很大的潜在市场,值得重点研究和开发。这也正是本书讨论的重点内容。

在电子计算机技术和虚拟现实技术的推动下,虚拟设计技术必将迅速地发展起来。这项技术的应用不仅能够提高设计效率,而且有助于萌发新的设计思路,由此可见虚拟设计技术对于产品的创新设计和常规设计都具有非常重要的意义。

本书在第1章中首先阐明了“虚拟设计”、“虚拟现实”和“虚拟制造”等基本概念及其关系,接着通过对产品开发过程的剖析,分析研究了虚拟设计技术对降低产品成本、缩短开发周期的价值。

第2章首先对PC机和图形工作站性价比等进行了简要的分析、比较,然后系统地介绍了典型虚拟设计系统的构成和各种交互工具,并重点探讨了利用多感知交互手段实现产品虚拟造型的基本思路。

第3章阐述了“虚拟概念设计”(Virtual Conceptual Design)的基本概念,并以Wisconsin大学开发的虚拟概念设计系统COVIRDS为例对概念设计的方法及系统结构进行了较为详细的分析。

第4章介绍了有关“虚拟装配设计”(Virtual Assembly Design)的基本概念,并以Washington大学的虚拟装配设计系统VADE为例讨论了这种具有增强功能的设计工具的可行性,展现了虚拟装配设计系统在帮助设计人员进行产品设计方面的重大意义。

考虑到虚拟设计系统尚未定型,为了不限定读者的思路,本书从第5章到第8章为读者介绍了虚拟设计系统的通用基础技术。

第5章主要讨论三维视觉原理、视觉建模技术、图像自动生成及三维立体图快速成像算法等,并简单介绍了实现三维动态显示的加速器、显示设备等硬件。

听觉通道是虚拟设计系统的重要接口之一,被认为是仅次于视觉反馈的第二信息通道。实践证明:在一个虚拟装配系统中,若在视觉图像显示的同时配合三维声音提示,那么虚拟装配过程会变得轻松自如。本书在第6章中首先介绍人的听觉原理,然后讨论了受听觉原理启发而发展起来的三维声音系统。

触觉对于虚拟设计系统也具有非常重要的意义。如果我们在进行虚拟装配时,不仅能够得到视听的反馈,而且还能感觉到装配过程中零件的碰撞,那么虚拟装配过程将会变得更加顺利。所以本书第7章对触觉反馈进行了较为系统的分析,并向读者介绍了国内外在触觉方面的一些研究成果。

本书在第8章中首先讨论了开发虚拟设计软件系统的主要思路,接着介绍了现行主要虚拟环境开发工具软件的特点,目的是帮助读者更快、更全面地了解各种开发工具,以便结合自己的具体任务加以选择。

本书第9章以大众公司的虚拟设计系统为例,向读者展现虚拟设计技术对提高产品的质量、缩短产品开发周期、降低开发成本的巨大潜能。另外,在这一章中我们还简单地介绍了大众公司虚拟设计系统的构成及配置,并通过一些实例来帮助大家对综合应用这项技术的认识。

第10章讨论了目前虚拟设计系统存在的主要问题,并简要地表述了作者对我国引进和开发虚拟设计系统的一些看法。

感谢清华大学的陈大融教授在百忙中审阅了全书内容,

并提出了许多宝贵意见；感谢 Wisconsin 大学的 Rajit Gadh 教授对本书编写工作的关心和支持，并提供了许多详实的材料。

作者谨向汪成为、曾芬芳、曾建超、高文、俞志和、王行仁、Sankar Jayaram、Hugh I.Connacher、Fan Dai、F.Purschke 和 R.Rabatje 等各位专家学者表示诚挚的感谢，因为本书引用了他们的论点和著作，他们的研究成果丰富了本书的内容。

研究生许怡然、凌迪和卢青等为本书的编写做了不少工作，另外还有许多同事和朋友对本书的编写和出版给予了不同形式的支持和关心，作者借此机会谨向各位表示由衷的谢意。

作者力图使书中内容能够体现“虚拟设计”的发展现状和方向，但由于这项技术还处于刚刚起步阶段，有关定义和技术尚未确定，所以书中有些观点并非唯一正确，更不是最终结论，作者欢迎不同观点的存在。另外虚拟现实技术日新月异，因此书中难免存在少量的过时信息，对此还望读者谅解。由于编著者知识面有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。E-mail: liung@public.gb.com.cn

刘宏增、黄靖远
1999 年 4 月于北京

目 录

序

前言

第 1 章 虚拟设计总论	1
1.1 虚拟设计及相关技术的概念	2
1.1.1 虚拟设计概述	2
1.1.2 虚拟设计的技术基础“虚拟现实”	5
1.1.3 虚拟设计与虚拟制造的关系	8
1.2 虚拟设计在产品开发中的作用	10
1.2.1 产品开发过程	11
1.2.2 计算机技术对产品开发的意义	12
1.2.3 市场竞争迫切需要开发新一代的计算机 辅助设计系统	17
1.2.4 虚拟设计在产品开发中的应用	20
1.3 小结	24
第 2 章 虚拟设计系统结构	25
2.1 PC 机与工作站	25
2.2 虚拟设计系统构造	27
2.3 虚拟环境生成系统	28
2.4 交互技术简述	29
2.4.1 视觉输出	30
2.4.2 三维声音处理器	32
2.4.3 触觉反馈系统	33
2.4.4 跟踪探测	33
2.4.5 语音输入	38

2.5	虚拟现实接口及其任务	40
2.5.1	零部件的生成	41
2.5.2	零部件的变更	42
2.5.3	设计效果查看	43
2.5.4	虚拟现实接口的任务	43
2.6	设计空间接口界面	46
2.6.1	设计空间	47
2.6.2	结点间的转移	48
2.7	小结	49
第 3 章	虚拟概念设计	50
3.1	概念设计	50
3.2	CAD 交互手段的变革	52
3.3	COVIRDS 系统	54
3.3.1	设计建模模式	55
3.3.2	人机交互模式	55
3.3.3	修改模式	57
3.4	COVIRDS 系统配置及结构	59
3.4.1	样机 I 的系统配置	60
3.4.2	样机 II 的结构和配置	61
3.5	效率实验	63
3.6	小结	64
第 4 章	虚拟装配设计	65
4.1	综述	65
4.1.1	虚拟环境	66
4.1.2	碰撞检测	67
4.1.3	几何约束	67
4.1.4	装配扫过曲面及空间	67
4.2	虚拟装配	68
4.3	虚拟装配与虚拟现实	69

4.3.1	虚拟现实系统到 CAD 系统的数据转换	69
4.3.2	装配建模与分析	70
4.3.3	装配轨迹定义/扫过空间勾画	70
4.3.4	装配工艺规划	70
4.3.5	基于装配的设计	70
4.4	虚拟装配设计环境	71
4.4.1	虚拟环境的创建	71
4.4.2	从 CAD 系统到虚拟装配系统的信息转换	72
4.4.3	零部件装配轨迹信息的创建	72
4.4.4	虚拟装配信息到 CAD 系统的转换	72
4.5	系统配置	72
4.6	VADE 系统的应用	74
4.7	VADE 样机系统	75
4.7.1	虚拟空间的矫正	76
4.7.2	图形速度	77
4.7.3	使用方便性	77
4.7.4	考虑物理学的模型	77
4.7.5	装配轨迹的编辑	77
4.7.6	虚拟装配标准	78
4.7.7	技术确认	78
4.8	小结	78
第 5 章 三维立体图像实时动态显示技术		80
5.1	三维图像显示原理	80
5.1.1	从视觉原理到计算机成像	81
5.1.2	虚拟设计系统中的三维图形	81
5.2	虚拟环境中对象定义	83
5.2.1	几何建模	84
5.2.2	动态建模	86
5.2.3	物理属性建模	88

5.2.4 数据库的使用及格式	90
5.3 细节层次处理	93
5.3.1 单元分割法	93
5.3.2 多细节层次模型	94
5.3.3 多细节层次模型自动生成算法	96
5.4 三维立体图形的视觉成像	99
5.4.1 基于投影变换原理的立体图生成算法	100
5.4.2 基于相关性原理的立体图光线跟踪算法	102
5.5 虚拟场景创建的发展趋势	103
5.6 三维立体图像实时显示	105
5.6.1 计算能力制约实时显示	105
5.6.2 实时图形加速器	106
5.6.3 分布式实时处理	108
5.7 小结	109
第6章 虚拟环境中的声音系统	110
6.1 听觉原理	110
6.1.1 耳朵	110
6.1.2 声音的组成和编码处理	111
6.1.3 声波过滤	112
6.1.4 听觉定位	113
6.1.5 声音解释	113
6.2 三维虚拟声音	113
6.2.1 三维虚拟声音的定义与特征	114
6.2.2 三维虚拟声音对虚拟环境的意义	115
6.2.3 三维虚拟声音系统研制的框架指标	117
6.2.4 三维虚拟声音建模	117
6.2.5 三维虚拟声音系统流程	118
6.2.6 三维虚拟声音合成	120
6.2.7 虚拟环境中的声音变换	120

6.2.8 虚拟环境中的声音播放	123
6.3 小结	124
第7章 接触反馈及力量反馈	127
7.1 接触反馈及力量反馈的概念	127
7.2 虚拟触觉系统的构成	128
7.3 接触反馈及力量反馈装置	129
7.3.1 接触反馈装置	130
7.3.2 力量反馈装置	130
7.3.3 动觉反馈装置	132
7.4 小结	133
第8章 虚拟环境的通用开发系统	134
8.1 虚拟环境的设计方法	134
8.1.1 面向对象程序设计方法	134
8.1.2 面向智能体程序设计方法	140
8.1.3 虚拟环境开发系统管理模型	148
8.2 典型的虚拟环境开发系统	151
8.2.1 常见的虚拟环境编辑器	152
8.2.2 分布式虚拟环境开发系统 dVS	154
8.2.3 VPL 虚拟环境开发系统 RB2	156
8.2.4 虚拟环境操作外壳 VEOS	162
8.2.5 虚拟环境创建工具 MR	163
8.2.6 MultiGen	171
8.2.7 世界工具包 WTK	172
8.2.8 DirectX SDK	176
8.2.9 虚拟现实建模语言 VRML	179
8.3 小结	182
第9章 虚拟设计技术的综合应用	183
9.1 大众公司现行虚拟设计系统	184
9.1.1 三维交互技术	184

9.1.2 硬件配置	185
9.1.3 系统软件	186
9.2 应用举例	187
9.2.1 虚拟人“Ramsis”	187
9.2.2 利用虚拟模型代替实物模型进行表观查看	188
9.2.3 FEMWalk—有限元计算结果的一个动态 处理程序	189
9.2.4 虚拟产品诊所	190
9.2.5 人机工程学模型	192
9.2.6 制造和维修过程中的拆装模拟	193
9.2.7 全球虚拟设计系统	194
9.3 小结	195
第 10 章 虚拟设计系统的问题和展望	196
10.1 发展虚拟设计系统遇到的问题	196
10.1.1 由虚拟环境到 CAD 的数据交换问题	196
10.1.2 数据接口	197
10.1.3 数据缩减	197
10.1.4 实时与复杂	198
10.1.5 硬件方面的问题	198
10.1.6 网络传输速度问题	198
10.2 对我国引进和开发虚拟设计系统的建议	198
10.3 小结	199
参考文献	201