

现代设计方法

左正兴 程 颖 覃文洁 向建华 编著



北京理工大学出版社



现代设计方法

左正兴 程 颖 覃文洁 向建华 编著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

现代设计方法 / 左正兴等编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.9
ISBN 978-7-5682-6160-9

I. ①现… II. ①左… III. ①设计学—高等学校—教材 IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 210323 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 / 17.5

字 数 / 411 千字

版 次 / 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 黄拾三

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

现代设计方法课程可面向不同工科专业的本科生开设,在培养方案的整个知识体系结构中,该课程既具有专业支撑性课程的属性,也具有专业应用型课程的特征,与数学类、力学类、机械设计类及专业核心课程有机衔接,支撑相关专业学生的知识能力系统构成。

现代设计方法课程的目的是培养学生在结构设计方面的理念和能力,使其了解现代设计理念及其基础理论方法,并初步掌握现代设计方法的实际应用工具。课程的目标是使学生重点掌握计算机辅助设计、有限元法、优化设计和可靠性设计等方面的基本概念,懂得现代设计方法解决复杂工程问题的思路和基本原理,能够应用有关通用软件进行 CAD 建模、结构强度有限元分析、计算机辅助机构动力学分析、结构优化设计和评价等方面的基本工作,具备在毕业后的工作岗位上运用现代设计方法解决复杂工程问题的基本能力,并具有不断深入理解和掌握现代设计理论的终身学习能力。

本教材主要针对车辆工程、能源与动力工程、机械工程等专业高年级本科生编写,也可用于其他近机械类专业的教学或工程人员的自学。

考虑到车辆、发动机、机械等相关企业对本科毕业生的岗位要求,结构设计和建模、结构强度/刚度分析、机构运动学/动力学分析、结构优化和可靠性评价是需要优先掌握的知识和技能。因此,本教材的主要内容安排了五个部分,即计算机辅助设计、计算机辅助机构运动学/动力学分析、有限元法、优化设计和可靠性设计。每个部分都包含软件应用实例,用于引导和帮助学生通过动手实践的方式理解和掌握核心知识。

根据不同专业特点,可就本教材全部内容或选择其中 3、4 个部分进行讲授。建议每一个部分课堂教学为 6~8 个学时,此外,还需安排学生在计算机和软件环境中进行训练,每一个部分应有课上课下共相当于 3、4 个学时的上机实践。

本书是在覃文洁、程颖主编的《现代设计方法概论》(第 2 版)的基础上,由左正兴、程颖、覃文洁和向建华合作编写而成,融入了编者现代设计方法课程教学的经验,在教材编写过程中得到了相关老师和学生的帮助,在此一并表示感谢!

为方便老师教学及学生上机实习,软件应用示例的详细上机操作步骤及部分相关模型可在出版社网站上下载。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

绪论	001
0.1 关于现代设计方法	001
0.2 关于现代设计方法课程和本教材	003

第 I 部分 计算机辅助设计

第 1 章 CAD 概述	007
1.1 CAD 的概念	007
1.2 CAD 系统的功能及特点	007
1.3 CAD 的发展情况	008
第 2 章 CAD 造型方法	010
2.1 几何造型	010
2.2 特征造型	014
2.3 曲线曲面造型	015
第 3 章 机械产品计算机辅助设计	022
3.1 零件设计	022
3.2 装配设计	025
3.3 曲面设计	029
第 4 章 基于 CREO 的设计示例	031
4.1 参数化设计直齿圆柱齿轮	031
4.2 主控零件法设计鼠标	032
4.3 利用骨架模型设计曲柄滑块机构	034
4.4 利用二维布局进行紧固螺栓连接设计	035
4.5 曲面设计	036
习题	038

第Ⅱ部分 计算机辅助系统运动学/动力学分析

第 5 章 概述	041
5.1 多体系统	041
5.2 多刚体系统动力学分析方法	042
第 6 章 有关力学基础	044
6.1 广义坐标与约束	044
6.2 动力学普遍方程	045
6.3 矢量运算	045
第 7 章 刚体运动学/动力学	049
7.1 质点运动学/动力学	049
7.2 平面运动刚体运动学	050
7.3 平面运动刚体动力学	052
第 8 章 平面运动系统运动学分析原理	056
8.1 绝对坐标	056
8.2 约束方程	056
8.3 运动学分析	060
第 9 章 平面运动系统动力学分析原理	063
9.1 虚功和广义力	063
9.2 质量矩阵	065
9.3 约束多刚体系统的运动方程	066
9.4 约束多刚体系统运动方程的数值求解	070
9.5 约束反力	071
9.6 静平衡	074
第 10 章 运用 ADAMS 软件进行机构运动学/动力学分析实例	075
10.1 ADAMS 软件简介	075
10.2 创建模型	077
10.3 仿真测试	079
10.4 验证测试结果	080
10.5 参数分析	080
10.6 优化设计	081
习题	082

第Ⅲ部分 有 限 元 法

第 11 章 有限元法概述	085
11.1 有限元法的基本思想	085
11.2 有限元法在工程中的应用	086
11.3 有限元法求解引例	087
11.4 有限元法的求解步骤	091
第 12 章 弹性力学平面问题的有限元法	093
12.1 结构离散化	093
12.2 单元分析	095
12.3 单元刚度矩阵	100
12.4 载荷移置	102
12.5 整体分析	104
12.6 约束处理及求解	109
第 13 章 等参数单元的原理	110
13.1 等参数单元的基本思想	110
13.2 等参数单元的特性	113
13.3 几种典型等参数单元	119
13.4 等参数单元计算中的数值积分	123
第 14 章 有限元分析中的若干问题	125
14.1 有限元建模的基本原则	125
14.2 有限元建模中的一般方法	129
14.3 减小模型规模的常用措施	132
14.4 计算结果的处理	137
第 15 章 有限元软件 ANSYS Workbench 及应用实例	141
15.1 有限元软件 ANSYS Workbench	141
15.2 杆梁类问题有限元分析	143
15.3 平面类问题有限元分析	145
15.4 非线性问题有限元分析	146
15.5 动力学问题有限元分析	148
15.6 传热问题有限元分析	150
习题	153

附录 A 弹性力学基本理论	154
A1 弹性力学的基本方程	154
A2 平面问题的基本理论	156

第IV部分 优化设计

第 16 章 优化设计基础	163
16.1 优化设计概述	163
16.2 优化设计的建模	166
16.3 优化设计问题的基本解法	171
第 17 章 优化设计算法基础	176
17.1 无约束优化的一维搜索方法	176
17.2 多维无约束优化方法	183
17.3 约束优化方法	195
17.4 现代优化算法	201
第 18 章 结构优化设计	203
18.1 结构优化的常用算法	203
18.2 结构的尺寸优化、形状优化及拓扑优化	204
第 19 章 机械优化设计建模与求解示例	207
19.1 机械零件优化设计	207
19.2 机构优化设计	210
19.3 结构优化设计	211
19.4 结构形状优化设计	216
19.5 结构拓扑优化设计	217
习题	220

第V部分 可靠性设计

第 20 章 可靠性设计概述	223
20.1 可靠性的概念和特点	223
20.2 可靠性研究的发展	224
20.3 可靠性学科研究范畴	225
20.4 可靠性设计常用概率分布	226
第 21 章 可靠性设计的常用指标	228
21.1 故障密度函数	228

21.2	故障率函数	228
21.3	故障分布函数	229
21.4	可靠函数	229
21.5	四种基本函数间的关系	230
21.6	典型的故障率曲线	230
21.7	平均寿命	231
第 22 章 可靠性设计原理		233
22.1	应力-强度模型	233
22.2	应力-强度模型求可靠度的一般公式	234
22.3	常用应力-强度分布的可靠度计算公式	235
22.4	随机变量的统计特征值的近似计算	237
第 23 章 零部件的可靠性设计		239
23.1	设计所需的部分数据和资料	239
23.2	静强度的可靠性设计	244
23.3	疲劳强度的可靠性设计	245
23.4	基于 ANSYS Workbench 的结构可靠性分析	251
第 24 章 系统的可靠性设计		256
24.1	常用的系统可靠性预计模型	256
24.2	系统可靠性分配	258
24.3	机械系统故障树分析	260
习题		266
附表 标准正态分布表		267
参考文献		269

绪 论

0.1 关于现代设计方法

1. 现代设计方法概念

现代设计方法的概念是相对于传统经验设计方法而言的，它是传统经验设计方法的延伸和发展。目前还没有一致公认的关于现代设计方法及其范畴的精确定义。总的来说，现代设计方法就是以现代的设计理念、现代的理论基础和现代的手段工具开展设计的方法。

要认识现代设计方法，首先需理解什么是设计。人类为了适应生存环境和提高生活质量，解决自身的各种物质和精神上的需求，通过创造性的思维进行构思，采取一定的技术途径实现这些构思，这个过程就是设计。因此，设计是人有别于其他动物所具有的特殊能力，是具备高级思维能力的体现，是随着社会的进步而不断发展的。

产品设计是设计的一个分支，机械产品设计又是产品设计的一个重要领域，它既包括比较简单的日常工具和零件设计，也包括复杂的机器和装备设计。这些产品的设计目的，一方面是满足人们的生存和生活需要，另一方面是实现改造自然和治理社会。本教材所讲的设计，所涉及的范畴主要是机械产品的设计，如发动机、汽车、机床等的设计。

机械产品现代设计方法的内涵反映在理念、理论和工具上，主要体现在设计的方式和途径上，包括模型表征、分析计算、程序规程和评价准则等。相对于以往的传统设计方法，现代设计方法的特点和优势主要体现在设计质量和设计效率两个方面。在设计质量方面，对于复杂机械产品设计问题，现代设计方法的设计结果更加定量化，设计参量及性能评价更加精确，能够取得对于全局或多学科的更强适应性。在设计效率方面，现代设计方法能够大幅度缩短设计周期，能够高效地将设计分析和实验研究的工具和信息有效综合，能够有机地实现设计者和设计团队的并行协同。

设计理念、理论基础和手段工具也是我们了解现代设计发展历程的三个视角，20 世纪之前的一百多年来，变分原理、线性代数、数值分析等数学方面的进展为追求最优的或卓越的设计理念打下了坚实的基础，弹塑性力学、流体力学和各种物理场表征及分析理论使复杂问题的精确化预测设计分析成为可能。而从 20 世纪 60 年代末开始的计算机技术快速发展，对现代设计方法的系统形成起到至关重要的推动作用。事实上，人的创新能力促进了科技发展，而科技进步又促进了人的创新能力提高，人类每一次重大的创新能力进步，都得益于某一科技领域的快速进步和多个科学领域的共同积淀。基于上述理念、理论和工具的发展，现代设计方法将以往试凑的、静态的、个体化的、单一性的和基于经验的设计方式，逐步转变为预测的、动态的、协同化的、多方位的和基于科学的设计方式。因此可以说，现代设计方法在力学等科学理论、应用数学等基础方法、计算机和软件技术等实用工具发展的基础上不断产

生和走向工程应用,并且随着信息化、网络化、智能化和各种硬件技术的发展向更高水平迈进。

2. 常用的现代设计方法分支

(1) 计算机辅助设计 计算机辅助设计(Compute Aided Design, CAD)是利用计算机软硬件辅助人们进行设计的方法和技术。即通过计算机硬件及其图形、图像和各种人机交互设备的工具平台支撑,以及计算机软件系统的设计方法流程支撑,帮助人提高设计效率、以更好的方式实现设计表达和输出。除了硬件,一般意义上的CAD软件系统应包括交互式图形系统、工程数据管理系统和建模程序系统。广义的CAD系统还包括部分计算机辅助分析程序,按照一般习惯,这里将复杂的计算机辅助分析工作归入计算机辅助工程(CAE)。

(2) 计算机辅助工程 计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)在广义上包括产品设计和制造信息化的所有方面,而一般意义上,CAE主要指用计算机辅助对产品进行各种性能的分析 and 模拟,包括产品强度、动力响应、温度场、流场等结构分析,以及计算机辅助机构动力学、运动学分析和虚拟样机模拟等。有限元法、机械优化设计、计算机辅助多体系统动力学分析等很多其他现代设计方法分支都可视作计算机辅助工程的有机部分。

(3) 有限元法 有限元法(Finite Element Method, FEM)是对连续场进行求解的数值分析方法,是目前用于复杂结构分析最常用和最普适有效的方法。该方法将连续求解区域离散为有限个单元的组合物,用每个单元内设定的近似函数来表示该分区的未知场函数,并将各个单元的表达方程联立起来,使一个连续的无限自由度问题变成离散的有限自由度问题。由于可以选用不同的单元组合方式和不同的单元形状,故能将复杂的产品模型分割为每个单元几何形状都很简单的网格模型。基于在单元内的规范化表达,以及考虑边界条件后进行方程组的规范化求解,整个过程易于采用计算机编程实现,能够达到对各种结构的通用。

(4) 优化设计 优化设计(Optimum Design)是将工程设计问题转化为最优化问题,根据设计意图建立优化设计的目标函数、设计变量和设计约束条件,利用数学规划等计算分析方法确立设计分析途径和优化迭代步骤,通过计算机编程实现优化过程。利用该方法,借助计算机的运算能力,能够在复杂产品设计的众多方案乃至无数方案中寻找出最优方案。

(5) 可靠性设计 可靠性设计(Reliability Design)是保证产品及零部件满足给定可靠性指标的设计方法,其设计理念是在预测和预防产品所有可能发生的故障的基础上,使所设计的产品达到规定的可靠性目标值。可靠性是指产品在规定的工作条件下和规定的时间内完成规定功能的能力,该性能直接反映了产品质量性能的优劣。可靠性设计的内容包括对产品可靠性指标进行预计、分配、设计和评估等环节。

(6) 模块化设计 模块化设计(Modular design)将产品看成是具有一定功能和特定结合要素的模块组成,这些模块可以是零件、组件或部件。模块化设计的过程包括,根据设计要求进行功能分析并创建模块,根据设计要求将一组模块合理地组合成产品。其设计理念是通过少量模块尽可能设计更多的产品,尽可能取得产品设计的高质量和模块联系简单化。

(7) 并行设计 并行设计(Concurrent Design)是相对于按照串行顺序进行设计的传统方式而提出的新设计理念和方法。其设计思想体现为,在设计伊始就以并行的方式综合考虑产品寿命周期中工艺、制造、装配、使用、维修等环节,使产品研发过程各阶段的工作交叉进行,及早发现整个研发周期中存在的问题并及时解决,以达到缩短产品开发周期、提高产品质量和降低生产成本的目的。

(8) 人机工程学 人机工程学(Ergonomics)是综合考虑人、机器与环境因素开展设计的方法。其设计思想是以人-机-环境系统为基本研究对象,通过生理、心理等相关特征和参数的分析,根据人和机器的条件和特点,合理分配人和机器的职能,并使之相互适应,从而为人创造出更加舒适和安全的工作环境,提高系统的工效。

(9) 绿色设计 绿色设计(Green Design)是一种综合考虑资源和环境因素的设计方法。该方法的理念是在产品及其寿命周期全过程的设计中,要充分考虑对资源和环境的影响,在充分考虑产品的功能、质量、开发周期和成本的同时,更要优化各种相关因素,以使产品的各项指标符合绿色环保的要求,即在设计阶段就将环境因素和预防污染的措施纳入产品设计中,使产品及其制造过程中对环境的总体负面影响达到最小。

(10) 智能设计 智能设计(Intelligent Design)就是用人工智能和计算机辅助系统开展产品设计,即将知识系统的处理能力与计算机系统的计算分析能力、数据管理能力、图形处理能力等有机地结合起来进行设计。智能设计方法包括设计过程的知识挖掘、知识再认识、知识表达、推理机制、自学习机制、专家系统和智能化人机接口等。

0.2 关于现代设计方法课程和本教材

1. 现代设计方法课程的目的

现代设计方法课程可面向不同工科专业的本科生开设,在培养方案的整个知识体系结构中,该课程既具有专业支撑性课程的属性,也具有专业应用型课程的特征,与数学类、力学类、机械设计类及专业核心课程有机衔接,支撑相关专业学生的知识能力系统构成。

现代设计方法课程的目的是培养学生在结构设计方面的理念和能力,使其了解现代设计理念及其基础理论方法,并初步掌握现代设计方法的实际应用工具。课程的目标是使学生重点掌握计算机辅助设计、有限元法、优化设计和可靠性设计等方面的基本概念,弄懂现代设计方法解决复杂工程问题的思路和基本原理,能应用有关通用软件进行 CAD 建模、结构强度有限元分析、计算机辅助机构动力学分析、结构优化设计和评价等方面的基本工作,具备在毕业后的工作岗位上运用现代设计方法解决复杂工程问题的基本能力,并具有不断深入理解和掌握现代设计理论的终身学习能力。

2. 现代设计方法课程的特点

现代设计方法是随着当代科学技术发展起来的,包含诸多学科的理论知识和多种设计分析方法,其中每一种方法又可展开为自成体系的理论或技术,对于一般专业本科阶段的学习,不可能也不应该定位于完整全面地将理论方法和应用过程讲述透彻,而应当针对所在专业的特点选择几个分支内容,主要从学习概念和实践锻炼来开展教学。

现代设计方法基本概念和过程的讲解,涉及不少专业基础理论。由于课时的限制,需要将讲基本概念、讲思维方法与讲系统知识有效区分开来。教材、课件和教学的配合,应主要避免两个极端:一是没有花足够时间和篇幅讲清基本概念,使后续的学习不知所云或无从下手;二是花大量时间和篇幅用于讲述和检查关于理论和方法过程的学习,使学生没有足够的时间去实践,直观感觉和动手能力不足,造成学得匆忙而忘得迅速。如果出现这两种情况,就会对学生今后自学或终身学习现代设计方法造成兴趣障碍或知识障碍。

动手是提高教学效果的最有效途径,尤其适用于应用型课程的学习。针对现代设计方法

课程内容具有很强应用性的特点,应当通过具体案例设计培养学生运用基本概念分析问题的能力,通过上机操作培养其应用现代设计工具的技能。同时,坚持“从做中学”的理念,通过对案例的实践和总结,检验和巩固学生对基本概念的理解和掌握。

3. 关于本教材

本教材主要针对车辆工程、能源与动力工程、机械工程等专业高年级本科生编写,也可用于其他近机械类专业的教学或工程人员的自学。

考虑到车辆、发动机、机械等相关企业对本科毕业生的岗位要求,结构设计和建模、结构强度/刚度分析、机构运动学/动力学分析、结构优化和可靠性评价是需要优先掌握的知识和技能。因此,本教材的主要内容安排了五个部分,即计算机辅助设计、计算机辅助机构运动学/动力学分析、有限元法、优化设计和可靠性设计。

计算机辅助设计部分主要学习和掌握 CAD 的基本概念,通过设计实例初步学会利用软件实现 CAD 建模。核心知识点是 CAD 造型方法、计算机辅助零件及装配设计。计算机辅助机构运动学/动力学分析部分学习多体系统动力学分析的基本概念,掌握机构运动学和动力学分析的基本过程与软件应用。核心知识是平面运动系统的运动学和动力学分析原理。有限元法部分主要学习和掌握有限元分析的基本原理,理解有限元模型中的基本概念,通过应用实例学会使用有限元软件进行常见结构的静力学分析、动力学分析和温度场分析。核心知识是弹性力学平面问题的有限元法等参数单元的原理和有限元建模的基本原则。优化设计部分主要学习优化设计思想和基本方法,掌握优化设计的模型建立及软件应用。核心知识是优化设计算法基础、结构优化方法及基本概念。可靠性设计部分主要学习基本概念和基本过程,掌握可靠性设计的常用指标,理解可靠性设计原理和模型。核心知识点是可靠性设计原理、零件可靠性设计和系统可靠性设计的主要过程。

每个部分都包含实例和软件应用,用于引导和帮助学生通过动手实践的方式理解和掌握核心知识。

根据不同专业特点,可就本教材全部内容或选择其中 3~4 个部分进行讲授。建议每一个部分课堂教学为 6~8 个学时,此外,还需安排学生在计算机和软件环境中进行训练,每一个部分应有课上课下共相当于 3~4 个学时的上机实践。

第 I 部分 计算机辅助设计



第1章

CAD 概述

1.1 CAD 的概念

计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD），是一种运用计算机软硬件系统辅助人们进行设计的方法与技术，包括几何造型、绘图、工程分析与文档制作等设计活动，是一门多学科综合应用的技术。

从设计方法学的角度来看，设计过程可分为若干个阶段，各阶段又可划分为若干个步骤。CAD 以计算机为工具，可以帮助设计人员完成设计过程中的大部分活动，比如利用数据库来查阅已有的设计资料和数据，利用专家系统等人工智能手段来帮助建立设计方案，利用计算机强大的计算能力进行性能预测、强度分析和优化设计，利用计算机的图形处理功能帮助设计者进行产品几何形状的修改、确定及输出图纸。在上述这些活动中，CAD 的目的是追求设计的自动化，但并不排除人的主观能动作用，而是将人的抽象思维能力、经验和计算机的高速运算能力、存储能力、图形显示与处理能力有机地结合起来，各尽所长，最大限度地发挥设计人员的创造力。

从技术角度来看，CAD 是把产品的物理模型转化为存储在计算机中的数字化模型，然后进行计算、分析和处理。20 世纪 60 年代初出现的 CAD 主要解决自动绘图问题，随着计算机软硬件及其相关技术的发展，设计过程中越来越多的活动都可以采用 CAD 技术加以实现，CAD 的覆盖面也越来越广，目前已成为一门综合性的应用技术，它涉及图形处理、工程分析、数据管理与交换、文档处理、软件设计等多种技术与学科。

1.2 CAD 系统的功能及特点

1. CAD 系统的功能

目前，CAD 技术不仅仅用于自动绘图或三维建模，其已发展成为一种综合性的技术。对于一个典型的产品设计过程，CAD 系统可以发挥的功能包括：

（1）图形处理 如计算机绘图、几何造型（把物体的几何形状转变为计算机能够接受的数学描述，这种数学描述可以将物体的图像在图形终端上进行显示和变换）、图形仿真及其他图形输入、输出技术。

（2）工程计算分析 通过工程分析软件，进行产品性能的分析与计算、刚度计算、优化分析等。

(3) 数据管理与数据交换 如数据库管理、产品数据交换规范及接口技术等。

(4) 文档处理 如文档制作、编辑及文字处理等。

(5) 软件设计 如窗口界面设计、软件工具、软件工程规范等。

2. CAD 系统的特点

计算机辅助设计能利用计算机运算速度快、计算精度高、存储信息量大等优点,代替人工进行计算和文档处理工作,其主要特点有:

(1) 强交互性 计算机在设计过程中需要不断与设计者交流,反馈设计信息,输入设计决策,直至完成产品设计,因此,人机信息交流及交互工作方式是 CAD 系统最显著的特点。

(2) 高效率 CAD 技术的应用大大减少了设计计算、制图的时间,提高了设计工作效率,缩短了设计周期,加快了产品的更新换代。

(3) 设计规范、质量高 除保证设计技术文档的高质量外,通过建立合理的 CAD 应用规范,可以规范设计流程、统一技术文档格式,提高设计质量。

(4) 设计可视化 产品设计结果出来以后,可以在计算机上获得其几何形状、物理场分布、运动仿真等,提高了设计的直观性。

(5) 资源共享 CAD 系统可以有效地集成企业各种技术资料、生产资源,并为协同设计、异地设计创造条件。

1.3 CAD 的发展情况

20 世纪 50 年代,第一台电子计算机问世,CAD 处于准备、酝酿阶段。

60 年代初,麻省理工学院的研究生 I.E.Sutherland 发表了《人机对话图形通信系统》论文,首次提出了计算机图形学、交互技术及图形符号的分层存储数据结构等思想,为 CAD 技术提供了理论基础。他开发的图形操作系统 SKETCHPAD,利用光笔和简单的指令,就能方便地画出直线、圆、圆弧等图形,这些图形信息还可存储起来,用于其他图形中,这些研究成果开创了 CAD 技术的先河。此后在这一阶段出现的 CAD 系统主要用于二维绘图,并首先在电气工业中得到了成功应用,然后推广到了其他工业领域。

到了 70 年代,CAD 技术趋于成熟,以小型机、超小型机为主机的 CAD 系统进入市场,针对某个特定问题的 CAD 成套系统蓬勃发展。这个阶段的 CAD 系统主要是二维交互绘图系统及三维几何造型系统。

80 年代是 CAD 技术迅速发展的时期,出现了特征建模和参数化、变量化的建模方法。这时超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度下降,同时,相关的应用技术如数据库技术、有限元分析、优化设计也得到迅速发展。这些技术及相应商品化软件的出现,促进了 CAD 技术的推广及应用。

90 年代以后,CAD 技术已不再停留于过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,而是向着智能化、集成化、网络化和标准化方向发展。

(1) 智能化 将人工智能与专家系统技术同传统的 CAD 技术结合起来,使 CAD 的应用领域进一步延伸到概念设计与方案设计阶段,使 CAD 系统更灵活、高效并富有创造力。

(2) 集成化 在信息集成的基础上,还包括过程集成和企业集成。它涉及的技术包括产品数字化建模、产品数据管理、产品数据交换、CAx、DFx 技术等。