



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材



杜平安 廖伟智 黄洁 编著

Du Ping'an Liao Weizhi Huang Jie

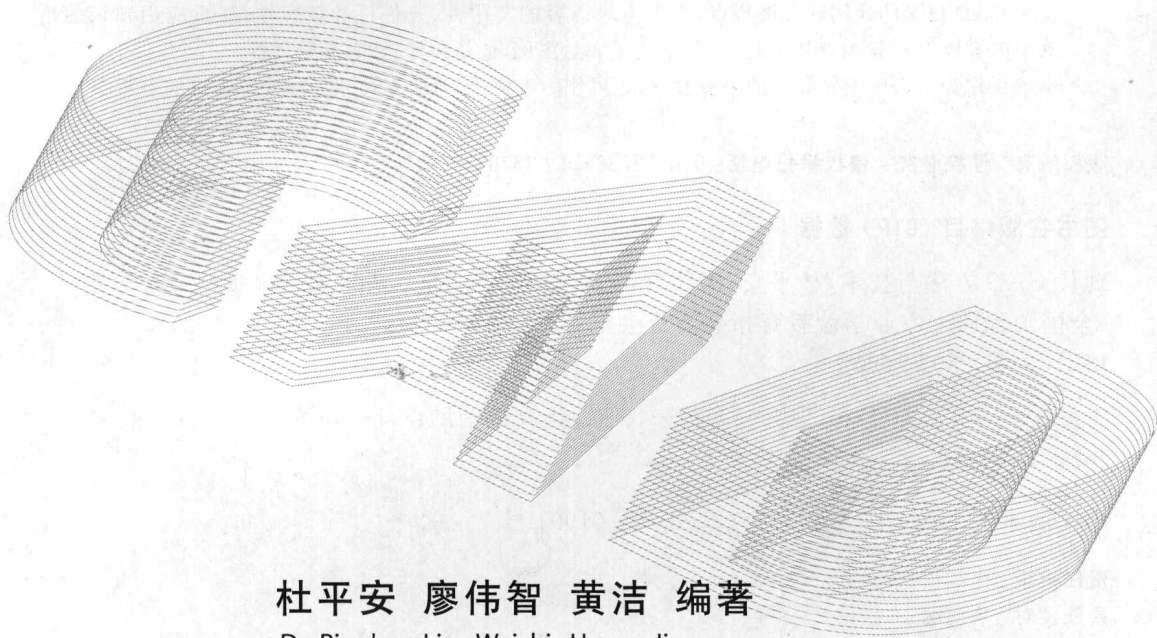
现代CAD方法与技术

Modern CAD Methodology and Technology

<http://www.tup.com.cn>

清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材



杜平安 廖伟智 黄洁 编著

Du Ping'an Liao Weizhi Huang Jie

现代CAD方法与技术

Modern CAD Methodology
and Technology

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍现代 CAD 技术和方法。全书分 8 章,主要内容包括: CAD 总论;约束驱动的草图绘制;基于特征的参数化三维建模;曲面建模技术;基于约束的装配建模;工程图的绘制;CAD 二次开发方法;常用 CAD 系统介绍。

鉴于 CAD 技术的应用和发展特点,本书力求内容的实用性、先进性和新颖性,注重应用知识的培养。书中内容以 Pro/E 为背景进行介绍,采用了大量图例,通俗易懂,读者易于理解。

本书可作为工程硕士研究生的培养教材,也可作为本科生、科研人员和工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代 CAD 方法与技术/杜平安,廖伟智,黄洁编著. —北京:清华大学出版社,2008.3
(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-16682-5

I. 现… II. ①杜… ②廖… ③黄… III. 计算机辅助设计—研究生—教材
IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201901 号

责任编辑:庄红权

责任校对:焦丽丽

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

印刷者:北京市季蜂印刷有限公司

装订者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:21.5

版 次:2008 年 3 月第 1 版

印 数:1~4000

定 价:39.80 元

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

字 数:441 千字

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:020488-01

前言

CAD 技术自诞生以来,已经历了 50 多年的发展。从二维绘图到三维建模,从线框模型到实体模型,CAD 技术经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展历程。目前,CAD 软件在模型表示方法、建模方法、建模效率、标准化、开放性、集成性以及功能方面都有了很大发展。出现了以 Pro/E,UG,CATIA,I-DEAS 为代表的大量 CAD 软件,并广泛应用于机械、航空航天、船舶、电子、建筑、汽车等领域。

本书为全国工程硕士核心教材。鉴于 CAD 是一种实用性强、发展非常快的技术,并考虑到工程硕士的培养特点,本书在编写过程中充分考虑了 CAD 技术的应用特点,强调内容的实用性和可操作性,避免 CAD 底层复杂的图形学知识介绍,同时尽可能反映 CAD 软件采用的前沿技术,充分体现内容的先进性和新颖性。

CAD 技术的应用与 CAD 软件分不开。如果避开 CAD 软件介绍 CAD 技术,则内容必然空泛、抽象。为此,本书以广泛使用的 Pro/E 为基础,以此作为 CAD 技术介绍的载体,同时在选材上考虑内容的通用性,这些内容不仅适用于 Pro/E,其他 CAD 软件也采用了相同或相似的技术。值得强调的是,本书并不是一本关于 Pro/E 的操作说明书,因此并未介绍具体命令的使用方法和操作过程。

本书共分 8 章。第 1 章是 CAD 总论,分别介绍 CAD 的基本概念、发展历程、功能结构、主要技术和方法特征以及开放式体系结构;第 2 章介绍约束驱动的草图绘制方法,包括草图概念、约束类型、约束驱动原理以及绘制草图时的注意问题;第 3 章介绍基于特征的参数化三维建模方法,包括特征概念和类型、特征历程树、基于特征的建模方法和编辑方法、参数化建模方法以及建模的一些注意问题;第 4 章介绍曲面建模方法,包括曲线曲面基础、ACIS 和 Parasolid 两种几何引擎、主流 CAD 软件的曲面建模功能、常见曲面建模方法和交互式曲面设计;第 5 章介绍基于约束的装配建模,包括装配建模基础、装配约束分类、装配建模过程以及装配模型的编辑和表达方法;第 6 章介绍工程图的绘制方法,包括视图、尺寸标注、注释、技术要求、标题栏和明细表的绘制方法;第 7 章介绍 CAD 二次开发方法,包括基于面向对象技术、基于组件技术、基于 ActiveX 技术和基于动态链接库技术的二次开发方法,并以 Pro/E 为例介绍二次开发的具体内容和过程;第 8 章介绍几

Foreword

个常用的 CAD 系统,包括 SolidWorks, Pro/E, CATIA 和 UG, 以使读者对这些系统有一个总体了解。

本书由杜平安、廖伟智、黄洁编著。其中第 1~3 章由杜平安编写,第 4~6 章由廖伟智编写,第 7,8 章由黄洁编写。杜平安担任主编并负责全书的统稿。

电子科技大学的范树迁博士认真审阅了全书的内容,并提出了很多宝贵的修改意见。研究生张勇同学完成了书中的部分图形绘制工作。在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正!

编 者

2008 年 2 月

目 录

第 1 章 CAD 总论

/1

1.1 设计概述	1
1.1.1 设计的定义	1
1.1.2 设计的一般过程和主要内容	2
1.1.3 设计原则	3
1.2 CAD 概述	5
1.2.1 CAD 的定义	5
1.2.2 CAD 的发展历程	7
1.2.3 CAD 系统的组成	9
1.3 现代 CAD 的主要技术特征	12
1.3.1 参数化建模技术	12
1.3.2 基于特征的建模技术	13
1.3.3 全数据相关技术	14
1.3.4 智能导航技术	17
1.4 现代 CAD 的主要方法特征	18
1.4.1 三维设计方法	18
1.4.2 并行设计方法	20
1.4.3 智能设计方法	21
1.5 CAD 系统的开放式体系结构	22
1.5.1 界面开放	23
1.5.2 功能开放	24
1.5.3 数据开放	24

Contents

第2章 约束驱动的草图绘制

/27

2.1 草图概述	27
2.1.1 草图的定义	27
2.1.2 草图的组成	28
2.1.3 草图的作用	30
2.2 草图的约束驱动	31
2.2.1 约束驱动的概念	31
2.2.2 草图的约束状态	31
2.3 约束类型	34
2.3.1 尺寸约束	34
2.3.2 几何约束	34
2.4 绘制草图时应注意的问题	37
2.4.1 确定合理的草图绘制平面	37
2.4.2 正确理解和反映设计意图	39
2.4.3 建立合理的约束形式	40

第3章 基于特征的参数化三维建模

/42

3.1 三维建模概述	42
3.1.1 三维模型的类型	42
3.1.2 三维模型的表示方法	44
3.1.3 三维建模的主要功能	46
3.2 基于特征的三维建模	47
3.2.1 基于特征的三维建模过程	47
3.2.2 特征的定义	47
3.2.3 特征的分类	47
3.2.4 特征的组合方式	49
3.3 特征历程树	51
3.3.1 特征历程树的概念	51
3.3.2 特征历程树的数据类型	54
3.3.3 特征的父子关系	55
3.4 常见的特征类型	56
3.4.1 草图特征	56

3.4.2	拉伸特征	56
3.4.3	旋转特征	57
3.4.4	倒圆特征	58
3.4.5	倒角特征	59
3.4.6	薄壳特征	60
3.4.7	拔模特征	60
3.5	基于特征的三维模型编辑	61
3.6	参数化三维建模方法	63
3.6.1	参数化建模的提出	63
3.6.2	参数化建模中的形状控制	64
3.6.3	参数化设计方法	65
3.7	三维模型的显示	68
3.7.1	显示形式	68
3.7.2	显示方位	69
3.7.3	表面特征控制	70
3.7.4	光照效果设置	70
3.8	三维建模应注意的问题	71
3.8.1	定义合理的特征关系	72
3.8.2	用阵列、复制、镜像代替单独操作	72
3.8.3	使用更多的特征,增加模型修改的灵活性	73
3.8.4	尽量用加运算代替减运算	73
3.8.5	尽量采用并列式父子参照	74

第4章 曲面建模技术

/75

4.1	曲线、曲面基础	76
4.1.1	曲线、曲面数学描述的发展	76
4.1.2	曲线、曲面的表示要求	78
4.1.3	曲线、曲面的表示	79
4.1.4	插值、逼近、拟合和光顺	80
4.1.5	连续性条件	81
4.2	几何引擎	82
4.2.1	ACIS 系统	82
4.2.2	Parasolid 系统	84
4.3	主流 CAD 软件的曲面建模功能	87

4.3.1	I-DEAS Master Series	87
4.3.2	UG	87
4.3.3	Pro/E	88
4.3.4	CATIA	88
4.3.5	Euclid	88
4.3.6	CADDS5	88
4.4	曲面建模	89
4.4.1	拉伸曲面特征	90
4.4.2	平曲面特征	90
4.4.3	旋转曲面特征	91
4.4.4	扫描曲面特征	91
4.4.5	可变剖面扫描曲面特征	92
4.4.6	边界混合曲面特征	94
4.4.7	扫描混合曲面特征	98
4.4.8	螺旋扫描曲面特征	100
4.5	交互式曲面设计	101
4.5.1	交互式曲面设计概述	101
4.5.2	造型曲线	104
4.5.3	造型曲面	106

第5章 基于约束的装配建模 /110

5.1	装配建模概述	110
5.1.1	装配原理	110
5.1.2	装配图	110
5.1.3	装配建模的主要功能	112
5.2	装配建模方法	112
5.2.1	自底向上的装配建模	112
5.2.2	自顶向下的装配建模	113
5.3	装配建模的特点	113
5.3.1	零件模型与装配体的引用关系	114
5.3.2	全相关性	114
5.3.3	基于约束的装配	115
5.4	装配约束类型	115
5.4.1	匹配	116

5.4.2	对齐	117
5.4.3	插入	119
5.4.4	相切	119
5.4.5	坐标系	120
5.4.6	线上点	120
5.4.7	曲面上的点	120
5.4.8	曲面上的边	121
5.4.9	自动	121
5.4.10	创建约束的注意事项	121
5.5	装配建模过程	122
5.5.1	自底向上的装配建模过程	122
5.5.2	自顶向下的装配建模过程	128
5.6	装配模型编辑	143
5.6.1	装配模型的编辑	144
5.6.2	装配结构的编辑	146
5.7	装配模型表达	147
5.7.1	分解视图	147
5.7.2	装配特征	150

第6章 工程图的绘制 /151

6.1	工程图基础	151
6.1.1	工程图的基本概念	151
6.1.2	工程图的组成	154
6.1.3	工程图的用途	154
6.1.4	工程图的标准	155
6.2	CAD系统中的工程图特点	155
6.2.1	工程图模式	156
6.2.2	专门的工程图配置文件	156
6.2.3	体现全相关性的特点	157
6.2.4	丰富的数据交换接口	158
6.2.5	工程图生成流程	158
6.3	视图	160
6.3.1	视图的类型	160
6.3.2	创建视图	165

6.4	尺寸标注	177
6.4.1	显示和拭除尺寸	178
6.4.2	新建尺寸	179
6.4.3	整理尺寸	180
6.4.4	修改尺寸	182
6.5	注释技术要求	182
6.5.1	公差的标注	183
6.5.2	表面粗糙度的标注	187
6.5.3	工程图的注释	189
6.5.4	球形标注	190
6.6	标题栏和明细表	191
6.6.1	标题栏和明细表的规定	191
6.6.2	创建标题栏和明细表	192

第7章 CAD 二次开发方法 /194

7.1	CAD 二次开发概述	194
7.1.1	二次开发的内容	194
7.1.2	CAD 二次开发平台的体系结构	195
7.1.3	二次开发的特点	196
7.1.4	二次开发的原则	196
7.1.5	二次开发的基本流程	197
7.1.6	CAD 二次开发的质量标准	198
7.2	CAD 二次开发的方法	198
7.2.1	基于面向对象技术的二次开发方法	198
7.2.2	基于组件技术的二次开发方法	201
7.2.3	基于 ActiveX 技术的二次开发方法	204
7.2.4	基于动态链接库技术的二次开发方法研究	209
7.3	基于 Pro/E 的二次开发方法	219
7.3.1	Pro/E 二次开发概述	219
7.3.2	Pro/Toolkit 开发工具	220
7.3.3	Pro/Toolkit 的开发过程	226
7.3.4	Pro/Toolkit 开发的关键技术	229
7.3.5	二次开发实例	233

第 8 章 常用 CAD 系统简介

/277

8.1 SolidWorks 系统	277
8.1.1 SolidWorks 简介	277
8.1.2 SolidWorks 的主要技术特点	278
8.1.3 SolidWorks 的用户界面	282
8.1.4 SolidWorks 的主要功能模块	284
8.2 Pro/E 系统	288
8.2.1 Pro/E 简介	288
8.2.2 Pro/E 的主要技术特点	289
8.2.3 Pro/E 的用户界面	294
8.2.4 Pro/E 的主要功能模块	296
8.3 CATIA 系统	299
8.3.1 CATIA 简介	299
8.3.2 CATIA 的主要技术特点	300
8.3.3 CATIA 的用户界面	302
8.3.4 CATIA 的主要功能模块	303
8.4 UG 系统	316
8.4.1 UG 简介	316
8.4.2 UG 的主要技术特点	318
8.4.3 UG 的用户界面	320
8.4.4 UG 的主要功能模块	323

参考文献

/331

第1章

CAD 总论

CAD 是计算机辅助设计(computer aided design)的简称,是以计算机为工具、以人为主体的设计方法和技术。其特点是将计算机的计算、存储和图像处理能力与人的创造思维能力相结合,以推动设计质量、效率和水平的全面提高。

CAD 技术是计算机硬件技术、软件技术、图形技术和数据库技术等综合发展的产物,是计算机应用领域的一个重要分支,是产品现代设计不可缺少的手段,同时也是计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS)的核心单元技术。

1.1 设计概述

1.1.1 设计的定义

任何产品的问世都必须经历设计和制造两个环节。设计(design)是以社会需求为目标,在设计准则的约束下,基于设计方法的指导,通过人的创造性思维活动,利用一定手段描述具有特定功能和规定性能的产品结构的过程,其结果是定义产品形状和大的设计图纸。而制造(manufacturing)是以设计图纸为依据,利用加工设备和制造资源,将原材料转换为产品实物的过程。

图 1.1 为产品开发的一般过程以及设计和制造两者之间的关系。

设计的任务是创造产品的结构,其产物是制造的依据。这里强调“创造”二字,是指设计过程不是一般的简单劳动,它是综合利用各种知识、技术和手段,高度体现人的判断、决策和分析能力的一种复杂劳动过程,产品质量的好坏、成本的高低、开发周期的长短在很大程度上都取决于设计。据统计,产品质量的60%~70%由设计决定,产品成本的

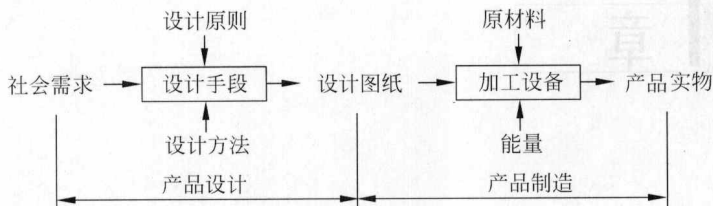


图 1.1 产品开发过程

70%也是由设计决定的,开发周期的 70%花在设计上。因此,产品设计的水平和效率是提高产品质量、降低产品成本和缩短开发周期的关键。

1.1.2 设计的一般过程和主要内容

不同产品的设计内容尽管不同,但过程大体相似。图 1.2 显示了产品设计的一般过程和主要内容。

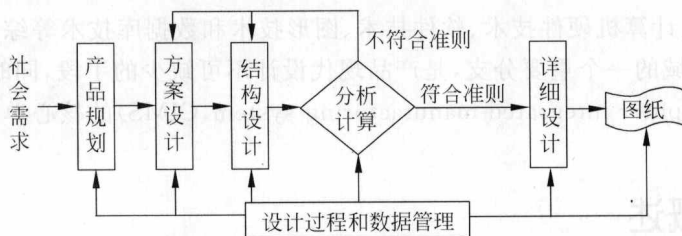


图 1.2 产品设计的一般过程和主要内容

1. 产品规划

产品规划是根据市场需要,提出开发产品的类型和目标。该阶段要进行市场需求分析、可行性研究、成本预算、生产规模估计等,最终制定产品功能、性能、成本等方面的详细设计指标,形成设计任务书,作为设计的依据。

2. 方案设计

根据产品规划制定的设计任务,提出实现产品功能、性能指标的各种可能的原理方案,并通过方案论证、优化,从中选定一种可行的、最佳的方案。方案设计通常又称为概念设计(conceptual design)。

3. 结构设计

结构设计又称为技术设计,其任务是从技术、经济和社会等诸方面因素出发,明确、完

整地拟定实现原理方案的产品总体结构,形成产品及其关键部件的装配草图。在该阶段要进行关键零部件的构型设计、材料选择、装配关系确定、可装配性评价等工作。

4. 分析计算

分析计算是根据结构设计形成的产品零件和装配结构,对产品性能进行分析、计算和预测,如产品的强度、刚度、动态性能、运动特性等。如果计算得到的性能指标达到设计要求,则进行详细设计,否则对产品结构进行修改和优化,直到满足要求为止。

5. 详细设计

详细设计又称为施工设计,它根据结构设计形成的产品总装草图,利用合理的设计方法和手段,确定每个零件的尺寸、形状、材料、公差、热处理条件以及零件之间装配要求等详细设计内容,最后形成零件图和产品装配图,作为零件制造和产品装配的依据。

1.1.3 设计原则

设计原则是指被设计产品应满足的条件,也是对设计行为的约束。受设计水平、观念、体制等限制,传统设计所考虑的原则着眼于产品的功能和技术范畴,而设计的影响贯穿产品整个生命周期,所以设计原则必须面向生命周期内的各个阶段。在产品现代设计方法中,设计原则可归纳为以下几类。

1. 功能满足原则

产品设计的目的是构造能够实现规定功能的产品,如冰箱能够制冷、手机要能无线通话、汽车能够行驶等。功能是产品价值的体现和类型的界定,如果产品不具备要求的功能,设计就失去意义。因此满足功能是各类产品设计的必要原则。

2. 质量保障原则

保证质量是产品设计的重要原则。产品质量主要由性能和可靠性决定,因此这类原则主要包括:

(1) 性能指标。指产品的各类技术指标,如机床加工精度、传动系统运动精度、电视机分辨率等。先进的技术指标是实现高质量产品的前提。

(2) 可靠性。指产品在规定条件和规定时间内完成规定功能的能力。产品只有具备了可靠的性能才有实用价值,因此性能的发挥依赖于可靠性。

(3) 强度。指要求产品零件具有抵抗整体断裂、塑性变形和某些表面损伤的能力。

(4) 刚度。指要求外载作用下产品的变形在规定的弹性变形范围之内。

- (5) 稳定性。指产品在外载作用下能够恢复其平衡的特性。
- (6) 抗磨损性。指要求零件在规定时间内材料的磨损量在规定值以内。
- (7) 抗腐蚀性。指要求产品在恶劣环境下不被周围介质侵蚀的特征。
- (8) 抗蠕变性。指要求高温环境工作的产品不发生蠕变或蠕变变形在规定值以内。
- (9) 动态特性。指在动载荷作用下产品具有良好的抗振特性,以保证产品的平稳和低噪声运行。
- (10) 平衡特性。指旋转产品具有良好的静平衡和动平衡特性。
- (11) 热特性。指保证产品具有要求的温度大小、温度分布和热流状态,以及热应力、热变形在规定值以内。

其中,原则(3)~(11)是实现可靠产品的保证。

3. 工艺优良原则

指设计能够且容易通过生产过程实现,它包括:

- (1) 可制造性。指利用现有设备能够制造出满足精度等要求的零件,且制造成本低,效率高。
- (2) 可装配性。指零件能够装配成满足装配精度要求的部件和整机,且装配成本低,效率高。
- (3) 可测试性。指产品能够且容易通过适当方法进行有关测试,以评估设计、制造和装配。

4. 经济合理原则

要求产品具有较低的开发成本和使用费用。

5. 社会使用原则

考虑产品投放市场后的表现行为,主要包括:

- (1) 环境友好性。指保证产品产生尽可能少的废水、废气、噪声、射线等,符合环保法规,对生态环境破坏最小。环境友好性是可持续发展战略在设计中的重要体现。
- (2) 环境适应性。指适应使用环境的湿度、温度、载荷、振动等特殊条件。
- (3) 人机友好性。指满足使用者生理、心理等方面要求,使产品外形美观,色彩宜人,操作简单、方便、舒适。
- (4) 可维修性。指产品能够且易于维修,维修的停机时间、费用、复杂性、人员要求和差错尽可能最小。
- (5) 安全性。指保证产品不对人的生命财产造成破坏。
- (6) 可安装性。指保证产品使用前的安装容易、可靠,且安装费用最小。

(7) 可拆卸性。指产品的材料回收和零组件的重新使用。

(8) 可回收性。指产品的报废及回收方式。

上面分类介绍了各种原则,有些归类并不十分严格。设计时应根据产品特点选择部分原则,而在选择的原则中又分主要原则和次要原则。根据所选主要原则的不同,目前已形成许多针对性设计方法,如面向制造和装配的设计(design for manufacturing and assembly,DFMA)、面向环境的设计(design for environment,DFE)、面向拆卸的设计(design for disassembly,DFD)等。

1.2 CAD 概述

1.2.1 CAD 的定义

传统的设计过程是在图板上完成的,即设计者利用铅笔、直尺等工具将设计思想绘制在图纸上。由于设计工具的限制,导致人的劳动强度大、设计周期长、设计质量不高、管理难度大等弊端。同时由于产品表示方式的局限,也限制了人们对先进设计方法的使用。这种传统的设计方式通常称为“基于图板”的设计。

CAD 是利用计算机协助人进行设计的一种方法和技术。它用计算机代替传统的图板,充分借助计算机的高速计算、大容量存储和强大的图像处理功能分担人的部分劳动,以使设计者更多地将主要精力集中于创造性工作上。

尽管现代 CAD 系统具有一定智能(实际上是人灌输的),能对设计起一定参谋作用,但毕竟产品类型千变万化,要用计算机完全代替人而独立从事设计是不可能的。因此,在 CAD 中“人”仍然是设计的主体,而“计算机”仅是一种设计工具,其作用是帮助人更好、更快地完成设计,而不是用计算机取代人。所以辅助(aided)一词对人和计算机的地位作了明确界定。

1. 广义 CAD

综上所述,在产品的设计过程中(或在产品制造之前,即图 1.2 中的各个环节),凡是利用计算机完成的工作均可视为 CAD,这是 CAD 的广义概念。它主要包括图形表示、工程计算和设计管理 3 类工作。图形表示描述产品结构(形状和尺寸),是 CAD 的基础和核心。工程计算是对产品性能进行分析,以保证产品质量和性能。设计管理是对设计过程和数据进行管理,以提高设计效率。