

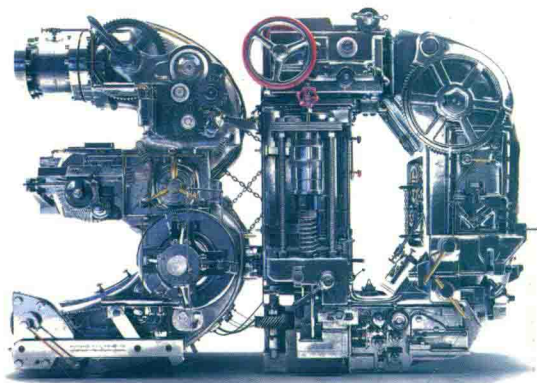


普通高等教育“十三五”规划教材

MOOC版

三维机械设计

刘宏新 主编



达索系统大中华区总裁作序推荐

人力资源和社会保障部中国就业培训技术指导中心国家高技能人才培训工程3D-CAD培训与认证推荐用书

CATIA 基础与工程实践融会贯通，内容与行业认证培训无缝对接

■ 附赠教学团队倾力打造的MOOC资源及700余个案例视频



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

三维机械设计

刘宏新 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

为适应科技进步引起的生产方式变革并满足现代工程师掌握先进设计技术的需求,本书选用业界领导品牌 CATIA (computer aided three-dimensional interface application) 为软件平台,以期充分展现三维机械设计(3D-CAD)的强大功能与发展成就,赋予读者一种具有时代特征的卓越技能。编者结合多年的工程应用经历与教学实践经验,根据三维机械设计的技术体系规划设计了技术综述、草图绘制、实体造型、产品装配、工程制图和应用实例 6 个篇幅,编排了 18 个技术章节,详细讲解了产品从构思、造型、装配直至工程图纸的三维机械设计流程与方法。本书注重思维方式、基础训练、实践应用与能力提高并重,力求系统和全面地表述三维机械设计的核心知识,使读者快速达到熟练、准确、规范、灵活、高效地运用 3D-CAD 进行产品设计。

本书是普通高等教育机械工程及相关专业的专业基础课程教材,配套思维实训和在线资源,内容设置与结构编排既适用于零基础起点的读者进行系统学习,又适合工程技术人员的培训与自学,还适合工作实践中对特征草图绘制、难点结构造型、复杂装配、工程图规范等的查询。

图书在版编目(CIP)数据

三维机械设计/刘宏新主编. —北京:科学出版社,2018.3

ISBN 978-7-03-056502-0

I. ①三… II. ①刘… III. ①机械设计-计算机辅助设计-应用软件-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 021407 号

责任编辑:任俊 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:吴兆东 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张:34 1/2

字数:928 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

版权所有,违者必究!未经本社许可,数字图书馆不得使用

编 委 会

主 编 刘宏新

副主编 郭丽峰 尚家杰 石端伟

编 委 (按姓氏笔画排序)

白雪卫 孙 伟 刘元林

李 赫 邹湘军 张增学

赵艳忠 侯国安 唐 儒

赖庆辉

序

达索系统作为全球领先的 3D 技术及 3D 体验解决方案的领导者，将自身产品定位于行业的最高水平并引领技术的发展，正致力于将先进的技术带到中国，与中国的企业和工程师分享技术进步带来的变革与成就。达索系统目前已在中国发展了众多优秀的用户，同时造就了大量的一流人才。

刘宏新教授团队在达索系统与其旗舰品牌 CATIA 进入中国之初，就开始 CAD、CAE、DMU 等模块的工程应用与教学工作，且在基于 CATIA 个性化、定制化基础上的数字化设计与数字资源管理领域的科学研究亦颇有建树，积累了丰富的经验与成果。2012 年，刘宏新教授团队与中国机械工程领域和自然科学领域最负盛名出版传媒机构（机械工业出版社、科学出版社）签署协议，将团队多年在 CATIA 的应用、教学、科研过程中积累的讲义、资料、模型等进行整理与完善，出版系列图书与教材，以期为广大读者与用户更好地学习和使用 CATIA 提供帮助与指导。

该书基础训练与能力提高兼顾，注重工程运用、强调技巧与效率、系统且全面。藉此为媒介，达索系统必将进一步加快推广其卓越的 3D 技术，为中国的企业和工程师提供一个可持续发展的 3D 体验平台，使虚拟世界与现实世界之间有效互动。同时，运用达索系统领先世界的产品生命周期管理（product life-cycle management, PLM）体系，为产品的设计、生产和服务开辟新的道路，为业界输送更多符合时代需求的高级人才，促进产业创新、提升业务优势、改善技术、创造财富。

 DASSAULT
SYSTEMES



（张鹰先生，达索系统大中华区总裁）

前 言

随着计算机技术的发展，三维机械设计（3D-CAD）开始改变机械产品的设计理念，并已成为一种必然趋势。三维技术呈现出的机械产品能更全面、更真实地展现设计者的想法，是虚拟样机技术发展运用的必要前提，同时也是现代企业 PLM 组织与运行模式的基础。3D-CAD 把机械设计手段带到了一个全新的、革命性的高度，也对传统教学内容与学生专业素养提出了新的要求。面对时代的发展，本书选用业界领导品牌 CATIA 为软件平台，以高等院校机械与近机械类专业学生和机械设计工程师为主要对象开展教材编写工作。CATIA 是机械工程领域的高端应用软件，代表了行业的最高水平并引领行业的发展。其全面的工程解决方案、丰富的功能模块以及系统的体系构架服务于设计、模拟、分析、制造、组装、销售直至售后服务的全生命周期，极大提高了产品研发的效率和水平。

编者结合多年的工程应用经历与教学实践经验，根据三维机械设计技术体系规划设计了技术综述、草图绘制、实体造型、产品装配、工程制图和应用实例 6 个篇幅，编排了 18 个技术章节；详细讲解了从构思、造型、装配直至工程图纸的三维机械设计流程与方法；注重思维方式、基础训练、实践应用与能力提高并重，力求系统和全面地表述三维设计的核心知识，使读者快速达到熟练、准确、规范、灵活、高效地运用 3D-CAD 进行产品设计的目的。

教材特色如下：第一，注重三维设计的原理与技术讲授特点，依托但不依赖于特定的软件平台，强化知识的普遍性与使用者的适应性，便于成果共享与团队协作。第二，知识点的章节示例与应用实例设置丰富，针对性与可操作性强，注重实践能力的培养。示例及实例均选自实际产品或工程项目，兼顾技术性和实用性，避免形成软件操作步骤的简单罗列以及空洞技巧的展示。第三，采用教案、讲义式撰写风格，各章节均附有课前导读、知识点注释以及复习与思考。本书附赠了所有案例的素材，方便讲授和自学。第四，本书配套思维实训与慕课资源，共享工程经验与教学成果，构建系统与便捷的交流平台，全面提升学习的效率与效果。

在此，编委会特向为本书作序的达索系统大中华区总裁张鹰先生表示感谢，对达索系统给中国工程师带来领先世界的技术解决方案以及在该领域培养高技术人才方面给予的支持与帮助表示感谢。由于时间及水平所限，编者虽勤勉谨慎，但纰漏与不当之处仍在所难免，恳请读者能够谅解并予以指正，也希望能藉此书对广大机械工程领域的读者就更广义的 3D-CAD 技术的应用进行交流与合作。电子邮箱：T3D_home@hotmail.com。微信公众号：三维机械设计。教学与交流 QQ 群：32680201。

本书附有模型文件供读者练习，请访问 <http://www.ecsponline.com>，选择“网上书店”，检索书名，在图书详情页“资源下载”栏目中获取配套资料（文中统称资源包），或者关注微信公众号“三维机械设计”来获取资源包。另外，本书配套“新形态”教材《三维机械设计思维实训》，读者通过扫描封底二维码即可了解详细信息。

教材编委会

2018 年 2 月

目 录

第一篇 技术综述

第 1 章 CAD 基本知识	2	2.4.2 工作界面	15
1.1 一般概念	2	2.4.3 管理模式	16
1.2 发展历程	3	2.4.4 环境设置	18
1.3 二维设计与三维设计对比	4	2.5 功能定制	21
1.3.1 二维设计方法	4	2.5.1 开始菜单定制	21
1.3.2 三维设计方法	5	2.5.2 用户工作台定制	22
1.3.3 三维 CAD 技术优势	6	2.5.3 工具栏定制	23
1.4 常用三维机械设计软件	7	2.5.4 命令定制	24
1.5 CAD 技术发展趋势	8	2.5.5 选项定制	26
第 2 章 CATIA 简介与运用基础	10	2.6 基本操作	26
2.1 概述	10	2.6.1 键盘和鼠标	26
2.2 功能模块	11	2.6.2 指南针	27
2.2.1 模块组	11	2.6.3 结构树	28
2.2.2 设计阶段相关技术模块	12	2.6.4 文件	29
2.3 产品设计的一般过程	13	2.7 公共工具栏	32
2.4 工作环境与基本设置	14	2.7.1 标准工具栏	32
2.4.1 启动 CATIA	14	2.7.2 视图工具栏	32
		2.7.3 测量工具栏	34

第二篇 草图绘制

第 3 章 草图工作台与基本操作	36	4.1.3 圆	49
3.1 概述	36	4.1.4 样条线	51
3.1.1 基本概念	36	4.1.5 二次曲线	53
3.1.2 工作台的启动和退出	36	4.1.6 直线	56
3.2 工作菜单	38	4.1.7 轴	59
3.3 草图设计专属工具栏	38	4.1.8 点	59
3.4 设置概述	40	4.2 修饰特征	62
3.4.1 选项设置	40	4.2.1 圆角与倒角	62
3.4.2 工具栏设置	41	4.2.2 重新限定	64
第 4 章 图形绘制与修饰	44	4.2.3 变换	67
4.1 基础图形绘制	44	4.2.4 3D 几何图形	71
4.1.1 轮廓线	44	第 5 章 约束与草图动画	74
4.1.2 预定义的轮廓	46	5.1 约束	74
		5.1.1 约束的基本知识	74



5.1.2	几何约束	75	5.3.3	约束	88
5.1.3	尺寸约束	79	5.3.4	机构驱动	89
5.1.4	受约束的几何图形	80	5.3.5	数据测量	90
5.1.5	编辑多重约束	82	第6章	草图辅助工具	91
5.2	草图动画	83	6.1	草图可视化	91
5.2.1	制作流程	83	6.1.1	平面剖切零件	91
5.2.2	机构简图绘制	84	6.1.2	二维可视化	91
5.2.3	约束	84	6.1.3	三维可视化	93
5.2.4	自由度释放	85	6.1.4	诊断	93
5.2.5	驱动约束确定	85	6.1.5	尺寸约束	94
5.2.6	机构驱动与设置	85	6.1.6	几何约束	94
5.2.7	机构修饰	87	6.2	草图求解状态与分析	95
5.3	动画应用示例	87	6.2.1	草图求解状态	95
5.3.1	机构运动描述	87	6.2.2	草图分析	96
5.3.2	机构简图绘制	88	第三篇 实体造型		
第7章	零件工作台与基本操作	99	8.4.1	肋	158
7.1	概述	99	8.4.2	开槽	161
7.1.1	零件设计方法	99	8.5	高级拉伸	162
7.1.2	零件设计一般步骤	99	8.5.1	实体混合	162
7.2	零件设计工作台	101	8.5.2	加强肋	164
7.2.1	启动	101	8.6	多截面特征	166
7.2.2	用户界面	102	8.6.1	多截面实体	166
7.2.3	工具栏	102	8.6.2	多截面移除	169
7.3	参考元素	102	8.7	布尔操作	170
7.3.1	点	103	8.7.1	几何体组装	170
7.3.2	直线	112	8.7.2	几何体添加和移除	171
7.3.3	平面	126	8.7.3	几何体相交	173
7.3.4	轴系	133	8.7.4	几何体联合修剪	174
第8章	主体结构创建	137	8.7.5	移除块	175
8.1	拉伸	137	第9章	修饰与特征	177
8.1.1	凸台	137	9.1	圆角与倒角	177
8.1.2	凹槽	145	9.1.1	圆角	177
8.2	旋转	148	9.1.2	倒角	185
8.2.1	旋转体	148	9.2	拔模	187
8.2.2	旋转槽	153	9.2.1	拔模斜度	187
8.3	孔	154	9.2.2	拔模反射线	189
8.4	扫掠	158	9.2.3	可变角度拔模	191



9.3	箱体	192
9.4	厚度	193
9.5	螺纹	194
9.6	移除与替换面	197
9.6.1	移除面	197
9.6.2	替换面	198
9.7	移动	199
9.7.1	平移	199
9.7.2	旋转	201
9.7.3	对称	202
9.7.4	定位变换	203
9.7.5	镜像	204
9.8	阵列	205
9.8.1	矩形阵列	205
9.8.2	圆形阵列	208
9.8.3	用户阵列	213

9.9	比例	214
9.9.1	缩放	214
9.9.2	仿射	216

第 10 章 属性与渲染

10.1	属性	217
10.1.1	材料添加	217
10.1.2	材料属性修改	221
10.2	测量	226
10.2.1	测量间距	226
10.2.2	测量项	228
10.2.3	测量惯量	228
10.3	渲染	231
10.3.1	场景选择	231
10.3.2	渲染选项	233
10.3.3	渲染区域定义及保存	234

第四篇 产品装配

第 11 章 装配设计工作台与基本操作

11.1	概述	237
11.1.1	装配设计的一般流程	237
11.1.2	装配设计工作台	239
11.1.3	常用术语	241
11.1.4	选项设置	242
11.2	零部件添加	243
11.2.1	插入新建部件	243
11.2.2	插入新建产品或零件	244
11.2.3	插入现有部件	249
11.2.4	多实例化	250
11.2.5	机械标准零件库	252
11.3	装配体管理	253
11.3.1	零部件编辑	253
11.3.2	零部件属性设置	254
11.3.3	结构树排序	256
11.3.4	装配元素删除	257
11.3.5	零部件替换	258
11.3.6	零部件编号	258
11.3.7	零部件名称与展示	260
11.3.8	零部件卸载与加载	261

第 12 章 装配约束与调整

12.1	概述	263
12.1.1	装配约束与自由度	263
12.1.2	常见装配约束符号	264
12.1.3	操作对象的切换	264
12.2	常用装配约束	265
12.2.1	固定约束	265
12.2.2	相合约束	266
12.2.3	接触约束	269
12.2.4	偏移约束	272
12.2.5	角度约束	274
12.2.6	装配约束创建模式	276
12.3	其他装配约束与设置	278
12.3.1	快速约束	278
12.3.2	固联约束	279
12.3.3	柔性/刚性子装配	281
12.3.4	更改约束	282
12.3.5	重复使用阵列	282
12.3.6	查看某个部件的约束	287
12.4	零部件位置调整	288
12.4.1	捕捉和智能移动	288



12.4.2 位置的自由调整	289	13.3 装配分析	302
第 13 章 装配特征与高级应用	292	13.3.1 零部件分解	302
13.1 装配特征	292	13.3.2 切割	304
13.1.1 部件分割	292	13.3.3 物料清单	307
13.1.2 装配孔	294	13.3.4 分析更新	308
13.1.3 装配凹槽	295	13.3.5 约束/自由度分析	310
13.1.4 部件添加	296	13.3.6 依赖项分析	312
13.1.5 部件移除	297	13.3.7 机械结构分析	313
13.1.6 部件对称	298	13.3.8 计算碰撞分析	314
13.2 装配标注	299	13.4 装配动画	316
13.2.1 焊接特征	299	13.4.1 装配动画简介	316
13.2.2 文本	300	13.4.2 DMU 配件工作台	317
13.2.3 标识注解	301	13.4.3 装配动画的制作流程	317
第五篇 工程制图			
第 14 章 制图工作台与基本操作	324	15.3.7 区域填充	370
14.1 概述	324	15.4 其他视图表达方法	373
14.1.1 基本概念	324	15.4.1 断面图	373
14.1.2 工程制图工作台的启动	326	15.4.2 断裂视图	374
14.1.3 工具栏	329	15.4.3 局部放大图	376
14.1.4 基本操作	335	15.4.4 局部视图	380
14.2 基本设置	337	15.4.5 展开视图	381
14.2.1 标准文件自定义	337	15.4.6 辅助视图	382
14.2.2 国标制图环境设置	346	15.4.7 轴测视图	383
14.2.3 图层的设置	348	15.5 视图的操作	384
14.2.4 图纸格式及图框设置	352	15.5.1 增加新页	384
第 15 章 机件的表达	354	15.5.2 视图的更新	384
15.1 概述	354	15.5.3 视图的移动/对齐/旋转	386
15.2 常用视图的创建	355	15.5.4 视图隐藏/显示/删除	390
15.2.1 正视图	355	15.5.5 视图的复制/粘贴	390
15.2.2 投影视图	359	15.5.6 视图的属性修改	391
15.2.3 快速创建基本视图	361	第 16 章 标注	396
15.3 剖视图的创建	363	16.1 概述	396
15.3.1 全剖视图	364	16.2 参考线与特征线	396
15.3.2 半剖视图	366	16.2.1 自动生成参考线	396
15.3.3 局部剖视图	367	16.2.2 手动添加轴线	397
15.3.4 斜剖视图	368	16.2.3 手动添加中心线	398
15.3.5 阶梯剖视图	369	16.2.4 螺纹线添加	401
15.3.6 旋转剖视图	369		



16.3 尺寸	403	16.5.4 表面粗糙度编辑	437
16.3.1 尺寸标注基础	403	16.6 焊接的标注	438
16.3.2 尺寸标注生成	404	16.6.1 符号及标注方法	439
16.3.3 尺寸标注编辑	418	16.6.2 焊点标注	439
16.3.4 尺寸标注干涉分析	430	16.6.3 焊接符号标注	440
16.4 形位公差	431	16.7 文本注释	441
16.4.1 基准符号	431	16.7.1 注释创建	441
16.4.2 形状公差	431	16.7.2 文本编辑	445
16.4.3 位置公差	432	16.7.3 文本的位置/方向链接	446
16.4.4 形位公差编辑	433	16.8 表格	447
16.5 表面粗糙度	434	16.8.1 表格创建	447
16.5.1 表面粗糙度基础	434	16.8.2 表格编辑	448
16.5.2 符号及代号	434	16.8.3 标题栏创建	458
16.5.3 表面粗糙度标注	435	16.8.4 明细表创建	464

第六篇 应用实例

第 17 章 零件设计实例	474	17.3.2 模型创建	497
17.1 齿轮	474	17.3.3 工程图创建	509
17.1.1 实例分析	474	第 18 章 产品设计实例	514
17.1.2 模型创建	474	18.1 滚动轴承	514
17.1.3 工程图创建	483	18.1.1 实例分析	514
17.2 轴	490	18.1.2 零件创建	515
17.2.1 实例分析	490	18.1.3 产品装配	520
17.2.2 模型创建	490	18.2 减速器	522
17.2.3 工程图创建	492	18.2.1 实例分析	522
17.3 箱体	497	18.2.2 零件导入	523
17.3.1 实例分析	497	18.2.3 产品装配	524
		18.2.4 工程图创建	532

第一篇 技术综述



本篇的主要内容为 CAD 技术及 CATIA 软件概述。学习本篇内容的主要目的是认识三维机械设计方法的主要内容，了解 CATIA 软件的基本功能。本篇主要任务如下：

- ① 理解计算机辅助设计的基本概念
- ② 了解二维和三维计算机辅助设计的区别
- ③ 理解三维计算机辅助设计的目的
- ④ 熟悉 CATIA 软件的工作界面
- ⑤ 学会 CATIA 软件的基本设置和操作

第1章 CAD 基本知识

➤ 导读

- ◆ CAD 技术的基本概念及发展概况
- ◆ 二维设计与三维设计比较
- ◆ 常用三维设计软件
- ◆ CAD 技术的发展趋势

MOOC



1.1 一般概念

计算机辅助设计 (computer aided design, CAD), 是利用计算机快速的数值计算和强大的图文处理功能, 辅助工程技术人员进行产品设计、工程绘图和数据管理的一门计算机应用技术, 是计算机科学技术发展和应用中的一门重要技术。

△【注意】CAD 并不是指 AutoCAD, 凡是能利用计算机辅助进行产品设计、工程绘图和数据管理的技术, 都可以称作 CAD。

CAD 的涵盖范围很广, 其设计对象最初包括两大类: 一类是机械、电子、汽车、航天、农业、轻工业和纺织产品等; 另一类是工程设计产品等, 如工程建筑。如今, CAD 技术的应用范围已经延伸到艺术等各行各业, 如电影、动画、广告、娱乐和多媒体仿真等都属于 CAD 范畴。

CAD 技术在机械行业的应用最早, 也最为广泛。传统机械设计要求设计人员必须具有较强的三维空间想象能力和表达能力, 当设计人员设计新产品时, 首先必须构想出产品的三维形状, 然后按照投影规律, 用二维工程图将产品的三维形状表示出来。随着计算机技术的不断进步, 人们开始用计算机绘图取代图板绘图, 即最初的计算机辅助绘图所绘制出来的图形为二维图形。随着计算机技术的继续发展, CAD 技术也逐渐由二维绘图向三维设计过渡。三维 CAD 系统采用三维模型进行产品设计, CAD 的含义由 computer aided drafting 变为 computer aided design, 即计算机辅助设计。这样, 采用 CAD 技术进行产品设计不但可以使设计人员甩掉图板、更新传统的设计思想、实现设计自动化、降低产品成本、提高企业及其产品在市场上的竞争能力, 还可以使企业由原来的串行式作业转变为并行式作业, 建立一种全新的设计和生产技术管理体制, 缩短产品开发周期、提高劳动生产率。

在计算机辅助设计过程中, 除了可以利用计算机进行产品的模型建造和出图, 还可以利用计算机进行产品的构思、功能设计、结构分析、加工制造等。因此, CAD 的概念可以从狭义和广义两个层面进行理解。从狭义上讲, CAD 指单纯的计算机辅助设计; 而从广义上讲, CAD 则是 CAD/CAE/CAPP/CAM 等的高度集成。

这里简要介绍与 CAD 相关的两个概念: 计算机辅助工程 (computer aided engineering, CAE) 和计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM)。CAE 就是使用计算机辅助分析软件, 对原 CAD 模型进行仿真成品分析, 通过反馈的数据对原设计或模型进行反复修正,



以达到最佳效果。CAM 就是把计算机应用到生产制造过程中，以代替人进行生产设备与操作的控制，如计算机数控机床、加工中心等都是计算机辅助制造的例子。CAM 不仅能提高产品的加工精度、产品质量，还能逐步实现生产自动化，对降低人力成本、缩短生产周期起到了很大的作用。

把 CAD、CAE、CAM 等技术结合起来，使得一件产品由概念、设计、生产到成品形成的整个过程中，极大地节省了时间和投资成本，而且保证甚至提高了产品质量（图 1-1）。

如今，世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAE/CAM 技术进行产品设计，而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAE/CAM 软件的开发，以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。

综上所述，CAD 技术是集计算、设计绘图、工程信息管理、网络通信等计算机及其他领域知识于一体的高新技术，是先进制造技术的重要组成部分。CAD 技术的显著特点是：提高设计的自动化程度和质量、缩短产品开发周期、降低生产成本费用、促进科技成果转化、提高劳动生产效率、提高技术创新能力。CAD 技术对工业生产、工程设计、机器制造、科学研究等诸多领域的技术进步和快速发展产生了巨大影响。现在，CAD 技术已成为工厂、企业和科研部门提高技术创新能力、加快产品开发速度、促进自身快速发展的一项必不可少的关键技术。

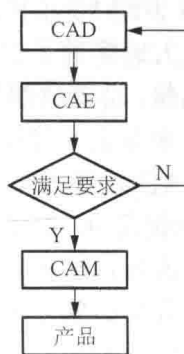


图 1-1 计算机辅助设计过程

1.2 发展历程



CAD 技术的发展可追溯到 1950 年，当时美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）在它研制的名为旋风 1 号的计算机上采用了阴极射线管（cathode ray tube, CRT）做成的图形显示器，可以显示一些简单的图形。

20 世纪 60 年代是 CAD 发展的起步时期。1963 年，美国学者伊凡·苏泽兰（Ivan Sutherland）在其博士论文中介绍了一个革命性的计算机程序——Sketchpad。因为这项成就，伊凡·苏泽兰在 1988 年获得图灵奖（Turing Award），2012 年获得京都奖（Kyoto Prize）。Sketchpad 使用了早期的电子管显示器以及当时才刚刚发明的光电笔。它是最早的人机交互式（human-computer interaction, HCI）计算机程序，成为之后众多交互式系统的蓝本，是计算机图形学的一大突破，被认为是现代计算机辅助设计的始祖。Sketchpad 掀起了大规模研究计算机图形学的热潮，并开始出现 CAD 这一术语。

1964 年，美国通用汽车公司开发了用于汽车设计的 DAC-1 系统。1965 年，美国洛克希德·马丁公司与 IBM 公司联合开发了基于大型机的 CADAM 系统。该系统具有三维线框建模、数控编程和三维结构分析等功能，使 CAD 在飞机工业领域进入了实用阶段。1968—1969 年，美国 CALMA 公司和 Application 公司等一批厂商先后推出了成套系统，将硬、软件放在一起成套出售给用户，即 Turnkey Systems（译为“交钥匙”系统），并很快形成 CAD/CAM 产业。

20 世纪 70 年代，CAD 技术进入广泛使用时期。计算机硬件从集成电路发展到大规模集成电路，出现了廉价的固体电路随机存储器，图形交互设备也有了发展，出现了能产生逼真图形的光栅扫描显示器、光笔和图形输入板等。同时，以中小型机为核心的 CAD 系统飞速发展，出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统。到 20 世纪 70 年代后期，CAD 技术已在许多工业领域得到了实际应用。



20 世纪 80 年代, CAD 技术进入突飞猛进时期。小型机,特别是微型机的性价比不断提高,极大地促进了 CAD 的发展。同时,计算机外围设备,如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等图形输入、输出设备,已逐步形成质量可靠的系列产品,为推动 CAD 技术向更高水平发展提供了必要条件。在此期间,大量的、商品化的、适用于小型机及微型机的 CAD 软件不断涌现,又促进了 CAD 技术的应用和发展。

20 世纪 90 年代, CAD 技术的发展更趋成熟,将开放性、标准化、集成化和智能化作为其发展特色。现在的开发应用软件一般是在某个支撑平台上进行二次开发,因此, CAD 系统必须具有良好的开放性,以满足各行各业 CAD 应用的需要。为了实现并行工程和协同工作,将 CAD、CAM、CAPP(计算机辅助工艺编程)、NCP(数控编程)、CAT(计算机辅助测试)集成为一体,为 CAD 技术的发展和应用提供了更广阔的空间。随着人工智能和专家系统技术的不断发展及其在 CAD 中的应用,智能 CAD 系统也得到了重视和发展,大大提高了设计水平和设计效率。

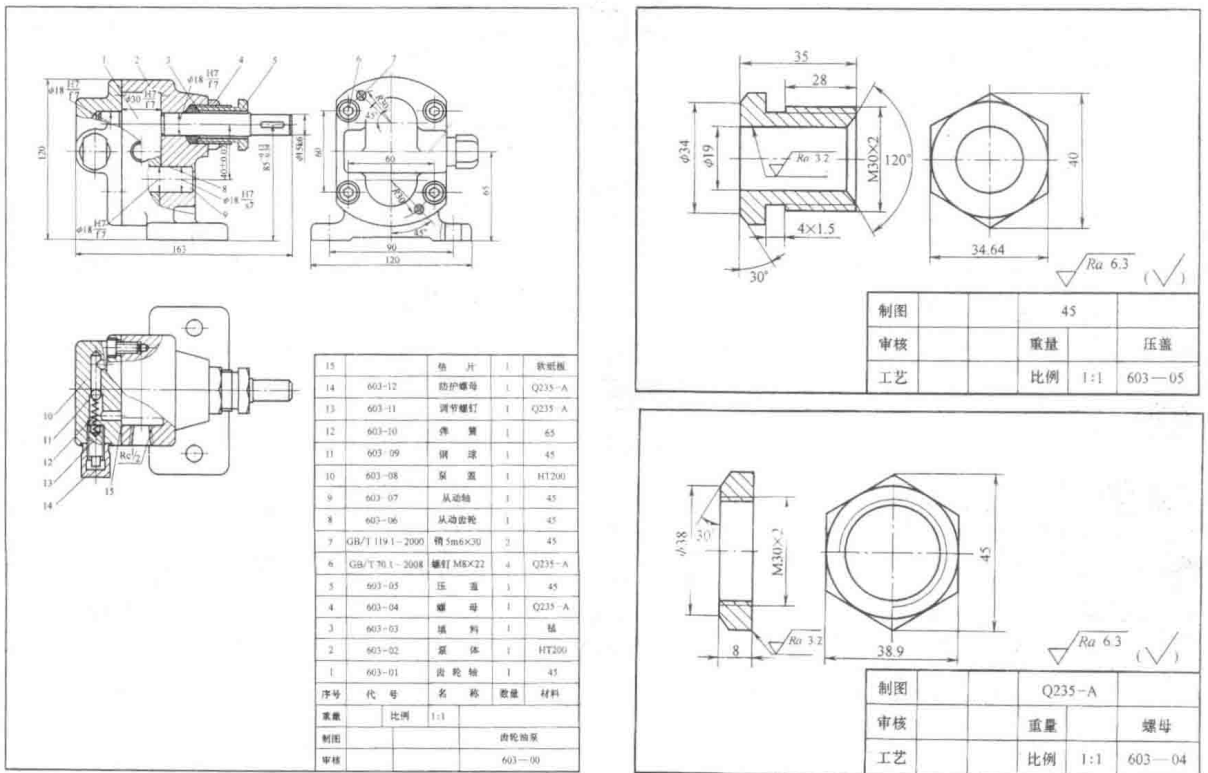
MOOC



1.3 二维设计与三维设计对比

1.3.1 二维设计方法

传统的机械 CAD 方法是由二维到三维,由图样还原出零件。二维设计的一般流程是,先进行装配图设计,再进行零件图拆画,如图 1-2 所示。



(a) 齿轮油泵装配图

(b) 拆画零件图(略图)

图 1-2 二维设计过程



由于二维工程图是用正投影法绘制出来的，一个投影图只能表达一个面的投影，因此有时必须用几个不同的投影图来表示一个三维产品；为了清楚地表达产品的工作原理、各零件之间的相互位置和连接方式，还可采用视图、剖视、断面、局部放大等多种表达方法和符号及文字说明。

装配图绘制出来以后，再根据装配图拆画零件图。由于装配图一般只表达了零件的主要结构形状，对尚未表达清楚的结构形状，应根据其作用和装配关系补充完整。装配图中被省略的工艺结构，如倒角、退刀槽等，在零件图中应该画出。在拆画的过程中，要进一步完善零件的结构形状，标注装配图中已注出的尺寸，补充装配图中没有的零件尺寸。相关人员需要认真阅读这些图形，理解设计意图，通过不同视图的描述想象出三维产品的每一个细节。上述工作非常细致辛苦，尽管经过设计主管层层检查和审批，图样上的错误还是在所难免，经常发生设计完成以后，制造出来的样品零件之间出现干涉的情况。

传统的二维设计都是用固定的尺寸定义几何元素，要进行图样修改，只有删除原有的线条重新再画。新产品的的设计不可避免地要进行多次修改，而大多数修改都是在原有的基础上进行的，这种大量的重复劳动，不仅增加了设计强度，而且延长了产品的设计周期。产品的改型与升级也是如此。

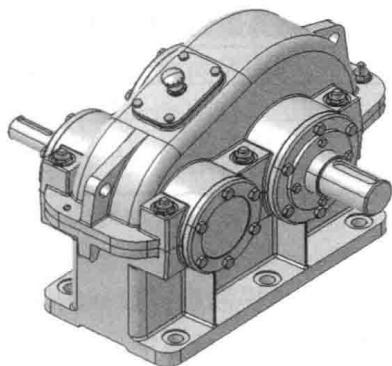
1.3.2 三维设计方法

无论是设计产品还是产品中的零件，三维设计都是从三维实体造型开始的。

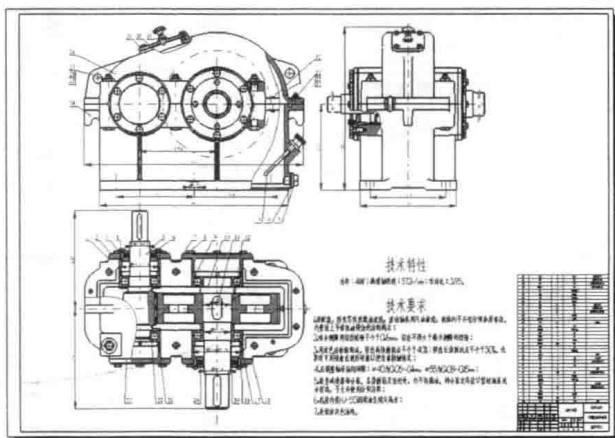
一般流程是，先绘制二维草图，通过拉伸等操作生成实体特征，并在模型上添加更多的特征。特征是一些与机械设计的表达意图相关的简单几何形体，各个特征的几何形状和尺寸大小用变量参数来表达。变量参数发生了变化，则零件的特征几何形状和尺寸大小也随之变化，手绘图则需重绘，但计算机绘图不需要重新绘制，软件会重新生成该特征及其相关的各个特征。

当在计算机上建立零件三维模型后，就可以在计算机上进行模型装配、干涉分析、运动仿真、应力分析与强度校核、生成工程图、产生数控加工代码直接进行加工等操作。

以工程图为例，自动生成的二维工程图与三维实体全相关，对三维实体的修改会直接反映到二维工程图中。一个零件的尺寸修改，也可以使相关零件的图形发生变化，设计人员不必将大量精力耗费于产品的图形表达上，这就大大提高了设计效率，缩短了产品的设计周期，如图 1-3 所示。



(a) 减速器三维造型



(b) 生成工程图

图 1-3 三维设计方法



用户在进行产品（装配体）的三维设计时，可以采用“自下而上”或“自上而下”的设计方法，也可以两种方法结合使用。在装配体零部件的相互配合关系较为简单时，多选用前者，反之，多选用后者。

1. 自下而上

自下而上设计法是比较传统的方法，其基本流程是由局部到整体。用户先设计并造型零件，然后将之插入装配体，接着使用配合来定位零件。若想更改零件，必须单独编辑零件。这些更改随时可在装配体中体现。自下而上设计法对于先前建造、现售的零件，或者对于金属器件、皮带轮、电动机等之类的标准零部件是优先技术。这些零件不根据用户的设计而更改其形状和大小，除非用户选择不同的零部件。

2. 自上而下

与自下而上设计法不同，自上而下设计法的基本流程是由整体到局部。先从装配架构开始设计工作，根据配合架构确定零件的位置及结构。也就是说，零件的形状、大小及位置可直接在装配体中设计。通过用户设定的一些参数可以随之自动调整。该功能对于托架、器具及外壳之类的零件尤其有帮助，这些零件的目的主要是将其他零件保持在其正确位置。自上而下设计方法的优点是，在发生设计更改时，零件可以根据用户所创建的方法而自动更新。用户可在零件的某些特征上、完整零件上或整个装配体上使用自上而下的设计方法。

1.3.3 三维 CAD 技术优势

通过分析可见，三维设计相比二维设计而言，具有无可比拟的优越性，三维设计是机械设计的发展方向，两者在设计方法上的差别如表 1-1 所示。

总体来说，使用三维 CAD 技术进行机械设计的优势有以下几点。

表 1-1 二维设计与三维设计对比

设计方法	二维设计方法	三维设计方法
设计思路	想象设计	直观设计
图形绘制	通过绘图工具绘制 2D 平面图形	通过草图工具和特征工具进行 3D 实体造型
零件特征	各线段独立无关联，完整大小且准确放置的线条及其他实体	实体各部分组成有机整体，先绘制实体，然后由尺寸和几何关系控制大小和放置
工程图	根据绘制的平面图形在模板上生成图纸	由绘制好的 3D 零件和装配体直接生成 2D 工程图
视图对应	由绘图者保证	软件根据实体形状自动投影保证
视图与特征	线段、视图与特征各自独立	特征决定视图
图形参数修改编辑	线条参数各自独立调整	特征修改则视图和装配关系自动调整
图形数据管理	属性编辑器	属性编辑器与特征树管理

1. 提高产品的质量和技术含量

现代机械生产在三维 CAD 技术的支持下，利用先进的设计方法来提高机械设计的水平，保证产品的设计质量，如优化、产品的虚拟设计、有限元受力分析、运动仿真等。机械产品本身就是与信息技术相融合的，再加之采用 CAD、CIMS（computer integrated manufacturing system）组织生产，使得机械产品的设计产生新的发展。