

Solid Edge

计算机辅助造型及制图教程

吴战国 编著

Solid Edge

计算机辅助造型及制图教程

吴战国 编著



机械工业出版社

在市面上为数不多的三维造型设计软件中,EDS 公司的 Solid Edge 算是一个佼佼者。大凡使用过 Solid Edge 的工程师,无不为其卓越的性能、优异的造型功能、众口皆碑的易用性和专业化的设计环境所折服。使用 Solid Edge 从事工程设计,意味着更高的效率、更低的投入,当然也就有更多的回报。Solid Edge 是为机械设计量身定制的 CAD 系统,从零件设计、装配设计到工程制图,各种功能无所不在。装配造型无以伦比,通用零件造型功能强大,专业化的钣金、管道、焊接设计独具特色,而制图模块则简洁明了。Solid Edge 是从事机械产品设计制造的工程技术人员首选的 CAD 软件。

本书在全面讲解 Solid Edge 的同时,尽可能体现机械制图教学的需求。希望本书的出版能够在推广三维造型软件、促进机械制图、机械设计等相关课程的教学改革有所裨益。

图书在版编目(CIP)数据

Solid Edge 计算机辅助造型及制图教程/吴战国编著. —北京:机械工业出版社, 2002.10

ISBN 7-111-11166-4

I. S… II. 吴 III. 三维—计算机辅助设计—应用软件, Solid Edge—教材
IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 086275 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:曲彩云 封面设计:姚毅

责任印制:付方敏

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·17.25 印张·423 千字

0001—5000 册

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

本书封面贴有机械工业出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

前 言

21 世纪日新月异的数字化革命,正在逐渐改变着人类的生产实践活动。在工程技术界,产品的设计制造方法已经发生了巨大的改变,手工制图已经成为历史,取而代之的是无处不在的计算机制图。当前,对于任何一个技术工作者而言,不掌握计算机制图几乎是不可想象的。计算机制图已经同使用计算机进行文字处理一样变成了现代人的一种基本技能。

然而,对于业内人士而言,计算机制图实际上存在着两个不同的层次。低层次的计算机制图指的计算机辅助二维制图。这种制图方式实质上仅仅是将手工制图时所用的各种制图工具改换成了计算机和绘图机。更高层次的计算机制图指的计算机辅助三维制图。同计算机辅助二维制图相比,计算机辅助三维制图具有无可比拟的优越性。这不仅仅是一个字的差别,而是质的飞跃。计算机辅助三维制图的基础是三维造型,只要在计算机中建立了三维模型,各种二维视图就变得唾手可得了。但是,由于三维造型运算量十分巨大,所以三维造型过去一直都是在工作站或大型机上进行的,只有在计算机硬件和软件技术高速发展的今天,三维造型才能在个人计算机上轻松进行。目前,工程技术界正经历着由二维制图到三维制图的重要转变。

在市面上为数不多的三维造型设计软件中,EDS 公司的 Solid Edge 算是一个佼佼者。大凡使用过 Solid Edge 的工程师,无不为其卓越的性能、优异的造型功能、众口皆碑的易用性和专业化的设计环境所折服。使用 Solid Edge 从事工程设计,意味着更高的效率、更低的投入,当然也就有更多的回报。Solid Edge 是为机械设计量身定制的 CAD 系统,从零件设计、装配设计到工程制图,各种功能无所不在。装配造型无以伦比,通用零件造型功能强大,专业化的钣金、管道、焊接设计独具特色,而制图模块则简洁明了。Solid Edge 是从事机械产品设计制造的工程技术人员首选的 CAD 软件。

作者长期从事 CAD 教学,对计算机辅助制图的发展有深入的研究。在初次使用 Solid Edge 时,就对其印象深刻,故而萌发了致力于该软件的教学和推广的念头。众所周知,CAD 教学、尤其是机械制图的教学,离不开合适的计算机硬件和软件平台。软件平台的选择要考虑到软件设计的先进性,要体现现代产品设计理念。从当前情况来看,从事机械产品设计中,多数采用的是二维图形设计软件,软件的三维功能十分有限。二维绘图软件在以二维绘图为主要目标的教学过程中功不可没,在“甩掉图板”从事设计时发挥过巨大作用。但是,如果要培养设计人才,而不是培养绘图员、或抄图员,就必须选择功能强大的三维设计制图软件。EDS 公司曾经教育部授权免费向全国高校发送 2 万套 Solid Edge 软件。其优异的性能在工程图学界激起较大反响,孕育着基于三维造型的工程制图教学的全面改革。

本书就是在这样一个大背景下应运而生的,作者在全面讲解 Solid Edge 的同时,尽可能体现机械制图教学的需求。希望本书的出版能够在推广三维造型软件、促进机械制图、机械设计等相关课程的教学改革有所裨益。

本书在编写过程中得到了 EDS 公司的大力协助,在此深表感谢。尽管作者已经反复审阅,但错误依然难免,不当之处,肯请各位读者指教!

吴战国

2002 年 11 月于同济大学

目 录

前言

第 1 章 CAD 技术概况	1
1.1 CAD 发展概况	1
1.2 CAD 系统的基本功能	1
1.2.1 平面图形设计	1
1.2.2 零件造型	2
1.2.3 装配造型	2
1.2.4 工程图生成	2
1.2.5 数据交换功能	2
1.2.6 二次开发	2
1.2.7 标准件库	3
1.3 CAD 系统的分类	3
1.3.1 大型机系统	3
1.3.2 成套系统	3
1.3.3 工程工作站系统	3
1.3.4 微机系统	3
1.4 CAD 系统的硬件	4
1.4.1 主机	4
1.4.2 外存储器	5
1.4.3 输入设备	5
1.4.4 输出设备	6
1.5 CAD 系统的软件	6
1.5.1 CAD 系统软件	7
1.5.2 支撑软件	7
1.5.3 应用软件	7
思考题	8
第 2 章 初识 Solid Edge	9
2.1 Solid Edge 的组成	9
2.1.1 零件设计模块	9
2.1.2 零件装配模块	10
2.1.3 工程图模块	10
2.1.4 钣金设计模块	10
2.1.5 其他	10
2.2 用户界面	11

2.2.1 主菜单	11
2.2.2 标准工具条	11
2.2.3 动态工具条	12
2.2.4 特征工具条	12
2.2.5 工作区	12
2.2.6 状态条	13
2.2.7 特征管理器	13
2.2.8 其他	13
2.3 基本操作	13
2.3.1 文件管理	13
2.3.2 显示控制	17
2.3.3 设定软件环境	19
2.3.4 使用帮助	22
思考题	23
第3章 零件轮廓图	24
3.1 基本概念	25
3.1.1 草图和零件轮廓图	25
3.1.2 闭环和图素	25
3.1.3 约束	26
3.1.4 尺寸驱动	27
3.1.5 几何关系驱动	27
3.1.6 全约束图形	28
3.2 草图设计综述	28
3.2.1 草图设计环境	28
3.2.2 绘制草图的基本步骤	29
3.3 智能导航	31
3.3.1 设定智能导航	31
3.3.2 设定捕捉精度	34
3.4 图形生成	34
3.4.1 线段命令组	35
3.4.2 圆弧命令组	36
3.4.3 圆和椭圆命令组	38
3.4.4 矩形命令	40
3.4.5 绘制阵列模板	41
3.5 图形编辑	44
3.5.1 图形的选取	44
3.5.2 倒角命令组	45
3.5.3 剪裁命令组	47
3.5.4 平移拷贝命令组	49

3.5.5 几何变换命令组	50
3.6 尺寸标注与尺寸驱动	53
3.6.1 尺寸标注格式设定	53
3.6.2 智能标注	55
3.6.3 相对位置标注	55
3.6.4 尺寸驱动	60
3.7 几何约束与几何驱动	60
3.7.1 几何约束标记	61
3.7.2 点点几何约束	61
3.7.3 线段与线段几何约束	62
3.7.4 相切命令	64
3.7.5 全局几何约束	65
3.7.6 关系助手	66
3.8 参数化图形	67
3.8.1 变量表	68
3.8.2 变量表使用实例	70
思考题	71
第4章 零件造型概述	75
4.1 三维造型方法	75
4.1.1 导论	75
4.1.2 线框模型	75
4.1.3 表面模型	76
4.1.4 实体模型	76
4.2 特征造型综述	77
4.2.1 增加材料特征	78
4.2.2 削去材料特征	79
4.2.3 常见工艺特征	79
4.2.4 复制特征	81
4.2.5 定位参考	82
4.3 基于轮廓的特征造型	82
4.3.1 命令工作流程	82
4.3.2 建立参考平面	84
4.3.3 确定拉伸程度	86
4.4 实例分析	87
思考题	93
第5章 特征造型方法	96
5.1 特征建立方法	96
5.1.1 拉伸造型	96
5.1.2 旋转造型	97

5.1.3 扫掠造型	99
5.1.4 放样造型	102
5.1.5 螺旋造型	103
5.1.6 过渡圆角	106
5.1.7 倒角	108
5.1.8 斜度	109
5.1.9 抽空特征	110
5.1.10 肋板特征	112
5.1.11 网状肋板	113
5.1.12 凸缘/凹缘	114
5.1.13 打孔	115
5.1.14 添加螺纹	118
5.1.15 雕刻文字	119
5.1.16 除料特征	120
5.2 特征的修改与管理	120
5.2.1 使用动态工具条	121
5.2.2 使用浮动菜单	121
5.2.3 特征阵列	123
5.2.4 特征的镜像	124
5.3 特征管理器	125
5.3.1 特征树	126
5.3.2 特征库	128
5.3.3 零件族	129
5.3.4 测量器	132
5.3.5 回放造型过程	134
第6章 工程图	135
6.1 工程图的组成	135
6.2 Solid Edge 工程图环境	135
6.2.1 工程图模块界面	136
6.2.2 视图工具条	136
6.2.3 画工程图的步骤	137
6.3 设定绘图规范	137
6.4 视图的生成	138
6.4.1 视图向导	138
6.4.2 基本视图	143
6.4.3 斜视图	145
6.4.4 局部放大图	148
6.5 剖视图和剖面图	148
6.5.1 剖切面	149

6.5.2 剖视图	150
6.6 视图编辑	152
6.6.1 调整视图间距	152
6.6.2 视图分割	153
6.6.3 视图转换	154
6.6.4 添加新图素	154
6.6.5 视图变换	154
6.6.6 更改线型	155
6.6.7 隐藏/显示图线	155
6.6.8 添加对称线	156
6.6.9 属性编辑	156
6.7 尺寸标注	158
6.7.1 智能标注	159
6.7.2 尺寸提取命令	161
6.8 标注其他技术要求	161
6.8.1 表面粗糙度	161
6.8.2 焊缝符号	163
6.8.3 形位公差	165
6.8.4 基准	166
6.8.5 指引线	167
6.8.6 零件编号	168
6.8.7 旁注	168
6.8.8 文本	169
6.8.9 特殊符号	169
第7章 零件装配	170
7.1 零件装配关系	171
7.1.1 装配设计方法	171
7.1.2 装配关系	171
7.2 特征管理器	174
7.2.1 查看装配层次	175
7.2.2 选择、删除和编辑零部件	176
7.2.3 查看零部件状态	176
7.2.4 查看和删除装配关系	177
7.2.5 编辑装配关系	178
7.3 零件装配过程	178
7.3.1 调入基础零件	179
7.3.2 装配左侧板	181
7.3.3 装配右侧板	184
7.3.4 装配螺栓	185

7.4 装配命令简介	186
7.5 阵列装配	189
7.6 参照装配	191
7.7 装配体剖切	194
7.8 设计校验	197
7.8.1 实体特性	198
7.8.2 几何查询	198
7.8.3 干涉检查	199
7.9 显示配置	201
第 8 章 装配体分解	204
8.1 装配体分解工具	205
8.1.1 装配分解方式	205
8.1.2 调整零件的位置	207
8.1.3 调整分解方向	209
8.1.4 子装配体的处理	210
8.1.5 其他命令	210
8.2 装配分解图的投影	211
第 9 章 渲染与动画制作	214
9.1 零件造型环境下的渲染	214
9.1.1 指定模型的色彩方式	214
9.1.2 渲染设定	216
9.1.3 建立材质库	219
9.1.4 零件渲染实例	223
9.2 装配造型环境下的渲染	224
9.3 动画制作	226
9.3.1 播放工具	226
9.3.2 路径向导	226
9.3.3 路径删除	229
9.3.4 增加帧和删除帧	229
9.3.5 其他命令	229
第 10 章 运动模拟	230
10.1 运动模拟环境	230
10.1.1 运动模拟命令	230
10.1.2 运动模拟管理器	235
10.2 实例分析	235
10.2.1 四连杆机构	235
10.2.2 夹具运动分析	241
第 11 章 建立钣金零件	246
11.1 钣金零件造型综述	246

11.1.1 钣金造型工具条	246
11.1.2 钣金零件的建立过程	247
11.2 建立钣金件的基础特征	248
11.2.1 平板特征	248
11.2.2 放样特征	249
11.3 其他钣金特征	252
11.3.1 折弯特征	252
11.3.2 切除特征	254
11.3.3 垂直切除特征	254
11.3.4 孔特征	254
11.3.5 二次折弯	255
11.3.6 插入折弯	255
11.3.7 展平/回折	256
11.3.8 切角	258
11.3.9 缝合边角	258
11.3.10 气窗	259
11.3.11 冲压切除	260
11.3.12 凹坑	262
11.3.13 饰条	262

第 1 章 CAD 技术概况

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 是利用计算机系统辅助设计人员对产品或工程进行设计的技术。随着计算机硬件和软件以及相关学科的发展, CAD 技术也在不断地提高与完善, 而且越来越广泛地应用到机械、电子、建筑、汽车、航空、造船等领域。事实表明, CAD 技术的使用, 可以大幅度地缩短设计周期, 提高设计质量, 降低成本, 充分发挥设计人员的创造性。

1.1 CAD 发展概况

CAD 是以计算机及其外围设备为物质基础的, 因此, CAD 的发展与计算机技术的发展是不可分割的。CAD 的发展大致经历了形成、发展、应用、CAD / CAM 集成等阶段。20 世纪 50 年代是 CAD 的孕育、形成阶段。当时计算机的主要功能是科学计算, CAD 仅仅是一种设想, 处于研究阶段。60 年代是 CAD 快速发展阶段。出现了基于大型机的计算机辅助设计与制造系统 CADAM, 具有了三维结构分析能力。70 年代 CAD 进入广泛应用时期。大规模集成电路计算机的出现, 使得以小型机为主机的 CAD 系统进入市场并成为主流。80 年代以来, CAD / CAM 集成的概念越来越受到重视。图形工作站的出现以及高档微机的普及, 使 CAD 得到更广泛的接受。同时 CAD 软件的功能也更加强大, 不仅具有完善的二维图形处理模块, 还有三维曲面造型、实体造型、有限元分析、机构分析与仿真、二次开发工具、产品数据管理与交换等模块。90 年代是 CAD 技术广泛普及、继续完善和向更高水平发展的时期。出现了成熟的高度标准化、集成化的 CAD 系统, 由于 PC 平台的性能越来越好, 基于 Windows 和 Windows NT 平台的价廉物美的系统相继出现, 使 CAD 技术的普及应用更具广阔诱人的前景。

1.2 CAD 系统的基本功能

CAD 系统为机械设计和制造提供了丰富的功能, 从产品概念设计、详细设计、分析、加工到工程管理, 提供了全方位的解决方案和辅助手段, 用于产品生产的各个方面。下面介绍一些主要的功能。

1.2.1 平面图形设计

建立和编辑平面图形是任何一个 CAD 系统都具有的功能。系统一般会提供绘制直线、曲线、圆弧、圆、椭圆等各种图素的命令; 拷贝、移动、删除、修剪、延伸等各种图形编

辑命令；文字和尺寸标注命令等等。功能更强的系统还具有参数化绘图、尺寸驱动、几何关系驱动等高级功能。

1.2.2 零件造型

零件造型是指在计算机中建立零件的三维实体模型。实体造型的方法有很多，其中应用最广的还是特征造型方法。采用这种方法，设计人员可以像搭积木一样，一个一个、一步一步地建立特征，从而得到理想的零件。特征都是参数化的，建立和修改都非常方便。常用的特征可以像标准件一样存储在特征库中，供造型时调用。实体模型可以被赋予材质，以得到真实感图像。

1.2.3 装配造型

装配造型能够模仿实际的装配过程，将零件装配成机器。在装配体中，零件与零件之间依据装配关系联接在一起，装配关系决定了零件之间的相对位置，同样也决定了零件所具有的自由度。基于装配造型，可以进行干涉检查，及时发现零件与零件是否会产生碰撞。基于装配关系可以建立机器的运动模型，进行运动模拟。另外，装配造型系统还会提供装配分解功能，用于生成零件分解图。

1.2.4 工程图生成

具有实体造型功能的 CAD 系统一般都提供自动生成工程图的功能，即从实体模型提取数据，直接生成工程图纸。同时还会提供各种工程标注工具，以满足绘制工程图的需要。除正交视图外，系统还能自动生成斜视图、向视图、剖面图和各种剖视图；可以对图形进行自动或手动标注。由于图形和实体模型相互关联，模型发生的改动会在图形中自动得以反映，大大减少了错误的产生。

1.2.5 数据交换功能

数据交换功能提供与其他设计系统之间的各种标准数据交换。其主要交换标准有 IGES, STEP, DXF 等。数据交换使得利用不同 CAD 系统的优势共同协作，完成同一产品的开发成为可能。

1.2.6 二次开发

二次开发是 CAD 系统向用户提供的开发工具。由于机械产品的用途多种多样，任何强大的 CAD 系统都不可能向用户提供各种具体产品的完善的解决方案。提供二次开发工具的目的是让用户将自己或者第三方编写的程序集成到 CAD 系统中。

1.2.7 标准件库

多数 CAD 系统均提供通用标准零件和特征的扩展库。用户可以很方便地选取标准特征或零件,并将它们组合进零件或部件的设计中。

1.3 CAD 系统的分类

按 CAD 系统硬件配置的不同, CAD 系统大致分为四类。

1.3.1 大型机系统

这类系统以一台大型机为主机,支持多个图形或字符终端,用户可以共享主机资源。其优点是主机性能优秀,并配有高精度、大幅面的图形输出设备,而且拥有功能强大的图形软件、设计软件及各种自行开发的应用软件,因此可以进行大型计算、复杂模拟、管理等。

1.3.2 成套系统

这种系统与第一种相似,只是用小型机作为主机。开发商按用户的要求提供硬件和软件配套系统,无需二次开发即可使用,被称为“交钥匙 (Turnkey)”系统,曾经非常流行。但它的缺点是针对性较强,很难进一步开发。

1.3.3 工程工作站系统

工作站具有 32 位或 64 位 CPU,广泛采用精简指令 (RISC)、超标量、超流水线及超长指令技术,超大的内存、外存,显示器分辨率在 1024X900 以上,一般配有 UNIX 操作系统和 X-Windows 窗口管理系统,常在一个分布式网络环境下运行。工作站具有高速的科学计算和强大的图形处理能力。

这类系统发展十分迅速,已经取代了成套系统。常见的有 SUN 公司的 SunSparc 工作站、HP 公司的 Hp-PA 工作站、DEC 公司的 Alpha 工作站、IBM 公司的 RS / 6000 工作站等种类。

1.3.4 微机系统

近年来,微机的性能迅速提高,价格却很便宜,因而以微机为基础的 CAD 系统已经发展起来。64 位 Pentium 芯片的出现大大提高了微机的性能。它成功地采用 RISC 技术、超标量结构,浮点部件采用超流水线技术,增大芯片上的高速缓存容量等,加上 MS - Windows 98 或 Windows NT 操作系统,使得三维图形系统、大型设计、分析软件能够运行并达到设

计要求。这类 CAD 系统具有较高的性能价格比，受到中小企业的欢迎。

1.4 CAD 系统的硬件

一个完整的 CAD 系统应该由人、硬件设备及软件三大部分组成。硬件和软件是 CAD 系统的基础，人在 CAD 系统中起主导作用，人通过人机交互等方式，使用所有硬件、软件资源来完成设计任务。

CAD 系统的硬件和软件是完成设计任务的前提。硬件包括计算机、输入输出设备等；软件由系统软件、支撑软件和应用软件组成。

CAD 系统硬件与一般计算机系统硬件有所不同，主要在于 CAD 系统对计算速度、图形处理等方面要求很高，因此，合适的硬件配置也就显得非常重要。

1.4.1 主机

主机是 CAD 系统硬件的核心，它在很大程度上决定着整个系统的性能。主机由主板、中央处理器（CPU）、内存、硬盘和图形卡等部分组成。

评价主机性能的主要技术指标有：

1. 主板

主板性能如何对计算机的性能影响很大。选择主板除了考虑它支持的 CPU 外，还要考虑它所采用的芯片组、总线速度、高速缓存的大小、支持的内存扩容量等等。

2. CPU 性能

CPU 性能主要用字长、主频等衡量。字长即 CPU 每执行一个指令，从内存中提取和处理的数据位数。如 32 位、64 位等。主频即 CPU 时钟频率，如赛扬 800、奔 III800，奔 IV1G 等等。

3. 内存

程序运行时，总是先将其调入内存，而且运算过程中所需的数据也暂存在内存中，因此，内存越大，容纳的程序和数据量也越大。内存当然越大越好，一般的 CAD 都要求有 256 MB（兆字节）。

4. 硬盘

硬盘是计算机内部主要的数据存储设备，它不但存放数据，而且还能代替内存存放暂时用不到的程序或数据。硬盘的指标一般有容量、转速、缓存等。作为 CAD 系统，硬盘一般可选择容量在 20GB 上下、转速 7200 转、带 2MB 缓存且支持 DMA66 的硬盘。

5. 图形加速卡

图形加速卡是提高图形显示速度的关键设备。除一般的显示功能以外，它还具有处理图形、图像的多种功能，可以大大降低 CPU 的负担。图形加速卡的主要指标包括显存大小、加速引擎、接口类型、刷新频率等。

1.4.2 外存储器

外存储器用于长期保存数据、程序等信息。主要有磁带、磁盘和光盘。

1. 磁带

磁带是顺序存储设备，查寻效率低，但其存储容量大，价格低廉，因此，适于备份大量数据。在大、中型机上一般都配备磁带机。

2. 磁盘

磁盘是目前最常用的外存设备，有软盘、ZIP、磁光盘、优盘、外置硬盘等等。软盘容量多为 1.44M，它携带方便，但容量较小。ZIP 和磁光盘的容量可都比软盘大许多，也便于携带，但均需要专用的驱动器。优盘容量适中，体积又小，十分方便。外置硬盘，尤其是 USB 接口的外置硬盘，是近年来流行的存储设备。它容量大，体积小，又不需专用驱动器，成为转移数据的理想媒介。

3. 光盘

光盘采用激光技术存取数据。常用的有只读型（CD-ROM）、可一次写入型（CD-R）和可重写型（CD-RW），容量在 600MB 左右。新出现的数字视频光盘（DVDROM），容量更大。

1.4.3 输入设备

输入设备将各种信息转换成电信号，传递给计算机。常见的输入设备包括键盘、鼠标、扫描仪、数字化仪等。

1. 键盘（Keyboard）

键盘是最常见最基本的输入设备。具有输入字符和数据等功能。

2. 鼠标器（Mouse）

鼠标器的应用十分广泛，常用的有机械式和光电式两种。根据按键的个数，又可分二键和三键鼠标等。CAD 系统一般推荐三键鼠标，因为中键往往被系统赋予特殊的控制功能。

3. 扫描仪（scanner）

扫描仪把图形或图像以像素点为单位输入到计算机中。扫描仪的主要技术指标有：幅面、光学分辨率（指每英寸长度上取样的点数，单位 DPI）、色彩模式、灰度、接口方式等。常见的台式扫描仪为 A4 幅面，光学分辨率 600DPI，36 位色彩、12 位灰度，大型扫描仪可扫 A0 幅面图纸。

在 CAD 中，常把扫描得到的像素图，用专门的软件处理得到矢量图，这个过程称为矢量化处理。这在输入大量图纸，建立图库时是非常必要的，而且效率非常高。

4. 数字化仪（Digitizer）

数字化仪是 CAD 系统的主要图形输入设备之一。数字化仪的主要技术指标有：最大有效幅面、数字化速率（点 / s）、最高分辨率等。

5. 其他输入设备

另外，还有其他输入设备如：触摸屏、跟踪球、操纵杆、数码相机、语音输入器等。

1.4.4 输出设备

输出设备可以将计算机处理后的信息输出以供用户使用。有多种输出的方式：显示、打印、绘图等。

1. 显示器

显示器是人机交互的重要设备之一，它能随时让设计者观察到设计的中间结果，以便在必要时对设计进行相应的调整、修改等。目前占主流的仍然是阴极射线管（CRT）显示器，其他的类型有：液晶显示器（LCD）、等离子板显示器等。

CRT 的主要技术指标是分辨率，它是指 CRT 在水平和垂直方向上能识别出的最大光点数，如一个分辨率为 1600x1280 的 CRT 屏幕，水平方向上有 1600 个像素点，垂直方向上有 1280 个像素点。

2. 打印机

打印机是一种常用的图形硬拷贝设备，它的种类繁多，一般分为撞击式与非撞击式两种，撞击式打印机将某种成型的字符通过色带印在纸上，如点阵式打印机；非撞击式打印机常用喷墨技术、激光技术、静电技术等实现高速、高质、低噪声的打印输出。

（1）点阵式打印机：工作原理为针击色带，在纸上形成点阵组成的图形或文字。一般为 24 针，宽行（132 列）或窄行（80 列），点距 360X360DPI，打印速度汉字 180 字 / s，英文 300 字 / s。有单色、彩色之分。优点是打印成本低，可以打印各种厚度的普通单页纸、多联复印发票等。缺点是打印速度慢、效果差、噪声大。。

（2）激光打印机：激光束射在旋转的感光鼓上建立电荷分布，吸附碳粉后转印到纸上，经高温定影即产生永久图像。分辨率达 2400DPI，打印速度达 180 页 / min。优点是打印质量极佳、速度快，但价格偏高。

（3）喷墨打印机：喷墨打印机利用喷墨头射出的墨水，逐行水平喷于纸上形成点阵图像。分辨率达 1440DPI，幅面 A3，打印速度 8 页 / min。优点是机器价格低，用专用纸可得到较好的彩色图像质量。缺点是墨的价格偏高造成打印成本上升。

此外，还有热转印 / 热升华打印机、静电式打印机等。

3. 绘图仪

绘图仪有笔式绘图仪、喷墨绘图仪、静电绘图仪等多种。笔式绘图仪又分为平板式和滚筒式两种，其原理是通过笔和纸的相对运动来绘制图形。喷墨绘图仪是近年来发展起来的很有前途的高速、优质绘图仪，其原理与喷墨打印机相同。分辨率为 600~1200DPI，幅面为 A2，A1 或 A0 加长（可任意长）。

1.5 CAD 系统的软件

CAD 系统的软件可分为三个层次：最低层的软件是系统软件、其上是支撑软件和应用软件。