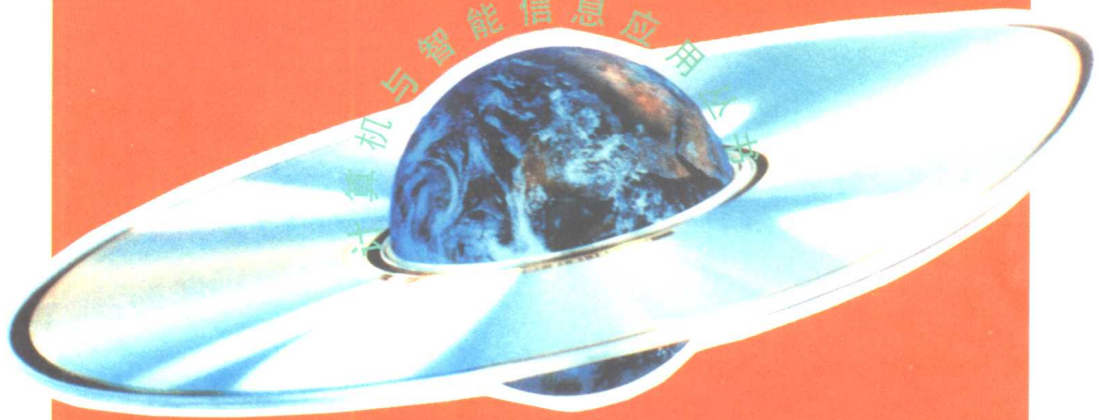


计算机与智能信息应用



CAD

技术与应用

— CAD技术的全面分析与实践

CAD JISHUYUYINGYONG
CAD JISHUDEQUANMIAN
FENXIYUSHIJIAN



雷新宇 董 臻 编著

辽宁科学技术出版社

计算机与智能信息应用丛书

CAD 技术与应用

——CAD 技术的全面分析与实践

雷新宇 董 臻 编著

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

图书在版编目 (CIP) 数据

CAD 技术与应用—CAD 技术的全面分析与实践/雷新宇、
董臻编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1997. 9

(计算机与智能信息应用丛书/吴敏金主编)

ISBN 7-5381-2519-1

I. C… I. ①雷… ②董 III. 计算机辅助设计 IV. T
P391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03314 号

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)

沈阳新华印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 318,000

1997 年 9 月第 1 版 1997 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 宋纯智 马旭东

版式设计: 于浪

封面设计: 庄庆芳

责任校对: 王莉

印数: 1—4050

定价: 19.00 元

计算机与智能信息应用丛书编委会

- 主 编** 石青云 吴敏金
编 委 (按姓氏笔画为序)
- 丁晓青 清华大学教授
王绍霖 同济大学教授
石青云 中科院院士、北京大学教授
石教英 浙江大学教授
史宗植 中科院计算机所研究员
朱三元 上海计算机软件中心研究员
朱森良 浙江大学教授
许鹤群 中国纺织大学教授
何永保 复旦大学教授
何克抗 北京师范大学教授
严洪范 中科院上海计算所研究员
宋纯智 辽宁科学技术出版社副总编辑
肖自美 中山大学教授
吴敏金 华东师范大学教授
经一平 上海广电局高级工程师
胡运发 复旦大学教授
胡南钟 上海大学教授
宣国荣 同济大学教授
钟义信 北京邮电大学教授
赵荣椿 西北工业大学教授
袁保宗 北方交通大学教授
施鹏飞 上海交通大学教授
戚飞虎 上海交通大学教授
焦李成 西安电子科技大学教授
程佩青 北京信息工程大学教授
彭嘉雄 华中理工大学教授
熊范伦 中科院智能所研究员
谭树杰 华东师范大学出版社编审
- 秘 书** 沈霄凤 (华东师范大学副教授)

内 容 提 要

本书综合介绍了当今 CAD 技术的各个方面,并将 CAD 本身的功能与工程技术、计算机环境、工程费用等诸多因素相结合,建议如何在科研、设计、生产等领域建立一个实用、可靠且可行的 CAD 应用体系,同时讨论了 CAD 未来发展趋势的技术基础和应用要求。

全书共分九章:1. CAD 技术概念;2. 二维平面绘图;3. 三维结构造型;4. AutoCAD 软件;5. 三维 CAD 软件;6. CAD 系统工程;7. CAD 数据与集成系统;8. GL 图形库;9. CAD 技术与三维动画。

本书可供对 CAD 技术稍有了解的读者阅读,并可供工程技术和管理人员查阅参考,也可供高等学校的高年级学生和研究生学习和了解 CAD 技术的实际操作以及可用的方法。

前 言

近年来,计算机技术发展迅猛,其功能越来越强,应用范围也越来越广泛。作为计算机技术一大应用领域的CAD技术,正成为各行各业提高产品设计质量,加速产品升级换代的基本手段。但CAD技术发展极快,应用方法多种多样,涉及领域极广。鉴于此,本书综合介绍了当今CAD技术的各个方面,并将CAD本身的功能与工程技术、计算机环境、工程费用等诸多因素相结合,建议如何在科研、设计、生产等领域建立一个实用、可靠且可行的CAD应用体系,同时讨论了CAD未来发展趋势的技术基础和应用要求。

本书以全面、翔实和实用为追求目标,既对CAD技术和理论加以阐述,更着重其应用。书中文字通俗易懂,以比较生动的语言来讲解枯燥的技术内容。各章节之间内容联系紧密,由浅入深,循序渐进。从基础的CAD应用范围,体系结构,在机械、电气、建筑等几大领域的运用情况,常用的AutoCAD软件使用方法以及CAD软件采用的各种数据格式入手,对CAD软件中既是重点又是难点的数据接口问题进行了介绍;第三章以较高的理论水平为基础,讨论了三维结构造型的各种数学模型,以便读者更容易理解相应的技术与应用,并在第五章中列出了几种著名的三维CAD软件,由于这些软件的出版资料很少,相信对感兴趣的读者会有所帮助和启发;第六章的重点在于CAD的系统配置与评估,对建立实用可行的CAD应用体系有一定的指导作用;第七章从利用图形库和高级语言的方法来开发和利用CAD系统,它与一般的交互式CAD软件不同,它采用编程的方式;这虽然使用难度加大,但它具有更大的灵活性和针对性;最后两章分别就CAD技术的发展方向如无纸化设计和在其他更广泛的应用领域(如影视等娱乐业)的研究和拓展做了探讨。在书中加入了作者多年的理论知识,以及使用大、中、小型CAD软件的体会,从工程应用的角度来帮助读者加深理解,更加合理地在实际中应用CAD技术。我们力求本书能使对CAD技术有兴趣的各类读者会有所收获,尤其可以帮助初通CAD技术的读者迅速提高理论水平,丰富实践经验,开阔视野,在短时间内从“入门”到“精通”和“全面”。

本书选取目前最新的软件版本加以说明,但由于软件的发展日新月异,如所介绍的版本已不是最新的,还望读者鉴谅。

本书的第一、第三、第五、第六、第七、第九章由雷新宇编写;第二、第四和第八章由董臻执笔。

全书的体系和内容得到了华东师范大学信息技术系吴敏金教授的指导,编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限和所涉及的内容较多,本书与大家的期望还有一定差距,不妥和错误之处还请读者加以批评指正;以便再版时修改和充实。

编者 雷新宇 董 臻

1996年8月15日 于上海

目 录

第一章 CAD 技术的概述	1
1.1 CAD 技术的广泛应用	1
1.2 CAD 技术的发展历史	3
1.3 CAD 技术的体系结构	4
第二章 二维平面绘图	8
2.1 二维平面绘图	8
2.2 机械 CAD 技术	13
2.3 电气 CAD 软件	15
2.4 建筑 CAD 软件	41
第三章 AutoCAD 软件	43
3.1 功能介绍	43
3.2 绘图命令	49
3.3 图形编辑	66
3.4 开发应用	76
3.5 三维功能	80
第四章 三维结构造型	88
4.1 曲线曲面	88
4.2 实体造型	98
4.3 特征造型	99
4.4 分数维系统造型	102
第五章 三维 CAD 软件	104
5.1 三维造型软件	104
5.2 参数化三维造型软件	142
5.3 CATIA 软件介绍	159
第六章 GL 图形库	162
6.1 GL 库的 C 语言应用	162
6.2 PASCAL 语言支持的 GL 图形库	176
第七章 CAD 系统工程	182
7.1 方案论证	182
7.2 硬、软件分析	184
7.3 服务与支持	186
第八章 CAD 数据与集成系统	188

8.1 CAD 软件的数据分析	188
8.2 工程数据库	193
8.3 无纸化设计	197
第九章 CAD 技术与三维动画	199
9.1 三维动画制作软件中的 CAD 技术	199
9.2 动画软件造型介绍	200
参考文献	215

第一章 CAD 技术的概述

1.1 CAD 技术的广泛应用

CAD 技术，即计算机辅助设计 (Computer Aided Design)。随着近几十年来计算机技术的迅猛发展，CAD 技术作为计算机应用领域的一个重要分支，在产业界，正日益显示其重要性。在美国评出的最杰出的工程技术成就中，CAD 技术名列前茅。与 CAD 技术紧密相关的几大领域：制造业、信息通信业、建筑业，正全面影响和改变着人们生活、生产方式。而制造业、通信业、建筑业的成本、质量、新产品的开发，均为 CAD 技术所左右。因而，CAD 技术推动着几乎一切领域的设计革命：用计算机完成设计任务，完成图纸的分析、优化与绘图等等。

近十年，CAD 技术不但在产业界大显身手，其数学模型的理论也被三维动画所采用，在娱乐业，作为引进高技术的一部分的计算机，三维动画正广泛地被人们津津乐道，成为影视制作的新热点。

因此，我们不但要看到 CAD 技术在辅助出图，交互式设计，数字化产品模型所带来的设计高效，更改方便，提高产品质量等方面的应用，更应看到 CAD 技术所涉及到的设计中的深层次问题：无纸化设计，产品设计流程的数字化概念，生产技术重组和管理智能化，无产品成品的三维真实动态效果在推销、定货、广告中的应用等等。将这两方面结合起来才是对 CAD 技术最全面最广义的理解。

全面深入地了解 CAD 技术，可以帮助工程设计人员，生产管理人员针对各自部门的实际情况引入具有实际意义的 CAD 技术，这对提高产品质量、生产效率有很大的积极意义，相信广大技术人员对掌握 CAD 技术有着迫切的要求。下面我们将从不同的应用领域和 CAD 技术的发展两个方面加以讨论。

1.1.1 CAD 技术在不同领域中的应用

自计算机迈进产业界后，随着计算技术和图形显示技术的逐步发展，CAD 技术就在机械产品结构设计中大显身手，经历了几十年的历程，CAD 技术的平面绘图已经非常成熟和普及，对于点、线、圆、弧、曲线等基本图形构成元素，均可采用计算机的矢量化数据表达。70 年代美国洛克希德飞机公司的 CAD 产品——CADAM 软件，在大型计算机平台上，就可完成二维平面制图。

在 80 年代初期，随着微机的发展，以微机为平台的几十种机械 CAD 软件纷纷出现。国内引进最成功的当属 AutoCAD 软件，从 2.17 版本在 1984 年、1985 年流行之后，全国绝大多数与工程图纸打交道的单位均接触过 Auto CAD 软件。这几年 AutoCAD 软件

已发展至 12 版本, 13 版本, 其内容虽然仍以二维平面绘图为主, 但也加入了一些三维功能。由于微机成本较低, 使二维平面出图基本上代替了人工描图的工作。在产品结构设计中, 平面二维绘图, 更多的意义在于“描图”方面。

在具有实际意义的产品结构设计中, 三维线框、曲面、实体造型、真实性显示, 特征设计等, 代表着产品设计的全过程。在计算机的显示屏上, 有三维造型功能的 CAD 软件, 不但提供不同角度, 不同大小的正交或透视三维图形, 还对三维结构的空问存在, 物体相互关系, 干涉情况作出显示、判断和分析, 并建立相应的三维数学模型。由于三维结构的表达方式复杂, 空间概念的移动、缩放、旋转所涉及的计算量和存储量都非常巨大, 因此, 绝大部分的三维造型 CAD 软件运行平台为图形工作站 (Workstation) 或大型计算机 (Mainframe)。虽然近几年随着微机功能的增强, 也有少量的三维 CAD 软件的简化版本采用了微机平台, 但其功能较为单一。由于图形工作站和大型计算机的价格非常昂贵 (以数万美元或数十万美元一套计), 在国内外也仅为少数大中型企业或设计研究单位所拥有。

将目前众多 CAD 软件的使用情况总结一下, 可以得到以下体会。

在微机 CAD 软件方面, 具有代表性的软件有: Autodesk 公司的 AutoCAD 软件, CADKEY 软件, Micro-CADAM 软件等。

以图形工作台为平台的 CAD 软件方面, 较为著名的有: 法国 Dassault 飞机公司的 CATIA/CADAM 软件, 美国 CDC 公司的 ICEM 软件, 美国麦道飞机公司的 Unigraphics II 软件, Pro/Engineering 公司的 Pro/Engineering 软件, 美国 SDRC 公司的 I-DEAS 软件, Euclid 软件等。

在各行各业纷纷引入 CAD 技术的今天, 它们在各自岗位上发挥的作用也各有千秋。

在建筑设计中, CAD 技术的应用更侧重于工程设计而非产品设计。因此, 在设计时, 标准的部件往往以库的形式存放, 并被调用。由于建筑设计中, 无论土建还是装潢, 其中绝大部分都不涉及复杂的数学模型, 因而大部分建筑 CAD 软件均以微机为平台。当然, 数据量大大型的总体结构图和三维效果图也采用图型工作站为平台的 CAD 软件。现在流行的建筑 CAD 软件中, 大部分在 Auto CAD 软件上针对建筑设计中的特点, 进行了二次增值开发, 当然其产品名称也就五花八门了。但在市场上销售的各种建筑 CAD 软件, 由于其应用的特点均能很好地满足设计者的要求, 从而销路大都不错。由于便宜的微机平台和可靠成熟且易学易用的建筑 CAD 软件, 使 CAD 技术极易在建筑装潢行业中推广和普及, 其中使用较多的软件有: Architect 软件, 3DHome 软件、House 软件, Auto Building 软件等。

在电气系统设计中, CAD 技术着重分为两大部分: 平面电路设计与布线, 系统工程结构设计; 电气信号仿真。绝大部分的平面电路设计与机械产品结构平面设计方式相当, 以微机为平台, 进行布线与元器件排列设计, 绘制电气原理图和电路制板图。其中著名的软件有: ORCAD 软件, SMTRTWORK 软件, Auto-Board 软件, ProTEL 软件等。当对大型电路设计和电路性能与合理性分析仿真时, 由于其巨大的数据量和计算量, 这部分的电气 CAD 软件以图形工作站或大型计算机为硬件平台进行工作, 并采用与之相对应的操作系统作为软件平台。

1.1.2 CAD 在不同部门的广泛应用

CAD 技术就其应用方式来说,可以分为两个层次。一个层次是通用性较强的商品化 CAD 基础软件,它应用范围很广,有些文献中也称为通用支撑软件。这部分软件将在本书中作全面介绍。另一个层次就是专业的应用软件。它们有些是以通用的 CAD 软件二次开发衍生而来。这类软件的优点在于开发费用较低,商品化程度较高,实用性也很好。有些是根据用户具体要求进行的专门设计,在不同的专业领域里有不同的内容。例如在飞机设计方面,它包括了总体方案设计、空气动力学计算、结构强度计算、液压操纵系统设计与分析、机构设计、电子电气系统设计与分析、系统仿真等。而在造船、航天、汽车设计方面,也都有它们各自设计的侧重点,拥有大量专用的 CAD 软件。如模具设计软件在汽车制造业中应用就较为突出。仿真软件在航天领域较早得到重视。在其他更多的工程设计中,包含的专用 CAD 技术会更广。但这类 CAD 软件共同的特点就是,一般公司不大肯轻易出售自己的 CAD 专业设计系统,这些专用的 CAD 软件的可移植性也较差,商品化开发程度较低,开发费用却很高。因此,大都由大企业所拥有。它们代表着一个企业或一个国家的高新技术的发展水平。

CAD 软件的应用范围在绝大多数的设计、生产部门中正日益引起重视。在航空、船舶、航天、汽车、机械、电子等 CAD 技术应用较早的部门,以及建筑、轻工等应用较好的部门,CAD 技术都取得了明显的经济效益和社会效益。在影视部门的广告影视制作、平面设计等部门中,CAD 技术也正成为一个强有力的设计技巧加以应用和推广。

1.2 CAD 技术的发展历史

CAD 技术是随着计算机技术发展到现在水平产生的一个应用分支,在 70 年代有了实际意义上的应用。由于 CAD 技术涉及到计算几何和图形处理等较复杂的技术,最初仅在大型机上才能实现。到 80 年代,由于计算机软、硬件自身的迅猛发展,使 CAD 技术逐步在各种硬件平台上得以推广和普及。CAD 技术本身也从最初的平面结构设计,逐步发展到三维结构设计、空间数据分析。其应用领域也从机械结构设计,拓展到了建筑设计,电气设计,直至近几年的三维动画中的模型部分。

可见,CAD 技术的理论也从最初的几何设计发展到近来常用的各种数学模型。如三维曲面造型中的 Bezier 曲面,NURBS 曲面等数学方法不断的开发和应用。电气 CAD 从结构设计到电气电路的仿真分析,建筑 CAD 从平面结构升级至三维空间结构设计、计算和分析,均在近十年里有了长足的进展和突破。

CAD 技术的发展立足于两个方面:一是计算机硬件、软件的性能提高,价格下降,这样就使 CAD 技术中很多构想得以实现;二是近年来图形理论研究的发展,使 CAD 技术可以彩用更多新的、高效而又精确的数学模型,不断充实 CAD 技术的内涵。同时,CAD 技术与数据库技术、计算技术、网络技术、多媒体技术相互渗透,吸收了其他计算机领域的新成果,使 CAD 技术所涉及的领域更加丰富多采。

同时,CAD 技术也不仅为少数大型科研单位或企业高校所拥有,CAD 技术本身是

否先进也不应成为评判建立一个 CAD 系统优劣的唯一标准。一个实用、可靠的系统，更为广大中小企业用户所接受，具有高、中、低分层配置的 CAD 系统，才可能真正满足一个工程设计的需要。

1.3 CAD 技术的体系结构

根据国际标准化组织 ISO/IEC 第一联合技术委员会 (JTIC) 制定的 CAD 技术标准，共分为七个部分，如图 1—1 所示。

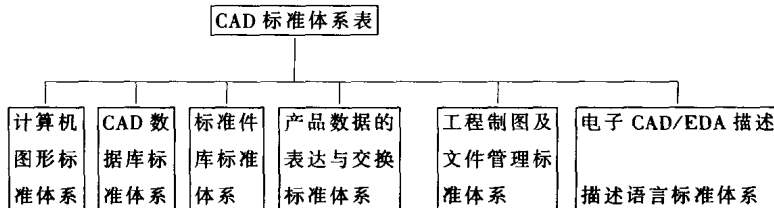


图 1—1 CAD 标准体系

1.3.1 标准体系介绍

CAD 技术标准体系包含两个方面：计算机和处理信息的标准；工程制图，产品定义和造型方面的标准。图中七个部分描述了这两个方面。

1.3.1.1 计算机图形标准体系

如图 1—2 所示。

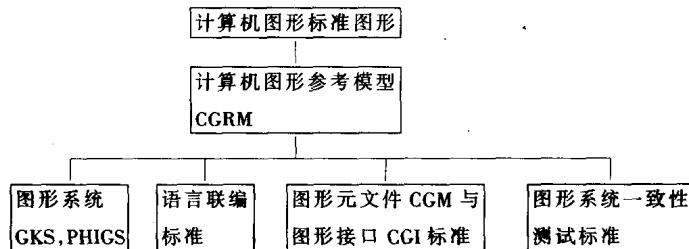


图 1—2 计算机图形标准体系

其中，计算机图形参考模型 (CGRM, Computer Graphics Reference Model) 对于计算机图形环境定义了 5 个抽象层：构造，虚拟，视见，逻辑，物理，并规定了每一层的数据元操作，即包括数据元素和处理元素。在图形系统标准中，包括了 GKS, GKS—3D, PHIGS 等独立于设备的图形系统软件包的标准。这些图形标准又称为应用编程接口 (API, Application Procedure Interface)，它提供应用程序和图形输入、输出设备间的功能接口。语言标准是对图形系统 GKS, GKS—3D, PHIGS 分别制定了关于 Fortran, Pascal, C, Ada 语言的图形功能调用子程序名和对应功能对照表。这些标准为系统开发者和用户提供可遵循的依据。CGM (图形元文件) 概念用于元文件解释和生成，定义了图形数据物理文件的标准格式。图形系统通过元文件生成/解释器对图形元文件进行读写。CGI (Computer Graphics Interface 图形接口) 概念，用于图形终端和绘图机等设备接口的标准化。体系中的一致性测试，指明了测试软件及测试领域，并对相关的定义作了解释，如测试服务等。

最后，值得一提的是，近六七年在 CAD 市场上，GL 图形系统虽未纳入国际标准体系，但其在大型 CAD 软件上被采用后所造成的影响已经很大。其最初为 SGI 公司所提出，逐步被其他大型计算机公司所引进（如 IBM 等），广泛用于各自的 CAD 软件中，成为事实上大家自觉向其靠拢的工业标准。GL（Graphics Library）本身以提供语言联编子程序名形式出现，其丰富，而又实用的数百个子程序服务功能，远远超出了国际标准所采用的如 PHIGS 的能力。其当然为广大开发者和用户所青睐。

1.3.1.2 CAD 数据库标准体系

如图 1—3 所示。

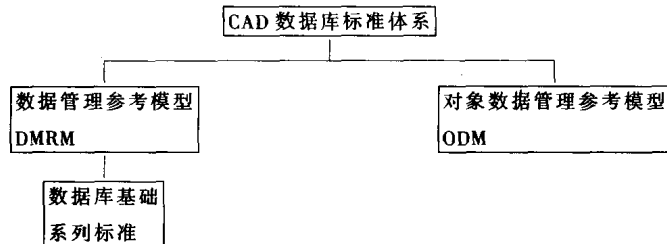


图 1—3 CAD 数据库标准体系

CAD 数据又称为工程数据库，其不同于通常以元素、数据为基本单元的数据库。它以不同软件为管理对象，在信息技术支持的企业中，成为连接企业管理，生产控制，及各自动化独立模块的纽带。数据库基础系列标准包括信息资源词典系统（IRDS），网状数据库语言（NDL），数据库查询语言（SQL），远程数据库访问（RDA）等。

1.3.1.3 CAD 标准件库标准体系

如图 1—4 所示。

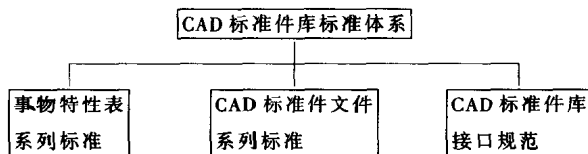


图 1—4 CAD 标准件库标准体系

其中 CAD 标准件库归口于德国，因此 DIN 标准针对机械、电子、轻工等各行业描述了 70 多个系列标准零部件特性的标准数据格式。

1.3.1.4 CAD 数据交换标准体系

如图 1—5 所示。

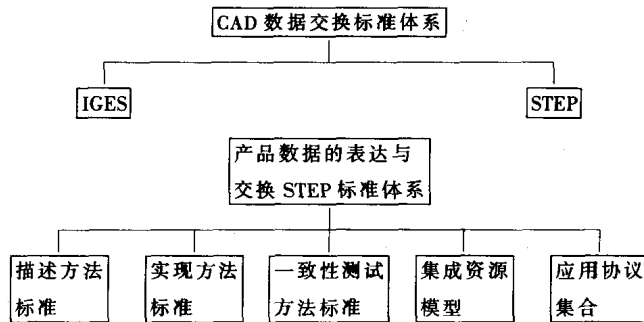


图 1—5 产品数据的表达与交换 STEP 标准体系

CAD 数据交换是整个 CAD 技术中非常重要又十分难以解决的问题，不同 CAD 系统各具优点，其各自生成的数据如能不丢失地交换，方可达到 CAD 设计的众多目标。但是，各 CAD 软件的数学模型，数据格式各自为政，当数据交互时，信息丢失十分严重。CAD 数据交换标准的推行，从理论上分析，可以正确转换各种 CAD 图形数据，但从作者多年来的实践经验来看，数据丢失现象并没有得到很好解决。在标准体系中，IGES 接口为美国所发布；STEP 标准为标准化组织所制定；虽非国际标准的，但被工业界所采纳的却是一种较成功的二维 CAD 公共数据接口 DXF。DXF 数据接口在微机 AutoCAD 软件上率先被采用后，由于它的出色表现，正逐步在各种 CAD 软件的平面部分扩大其应用范围。

针对上述情况，在进行数据交换时，如何减少或不发生的数据丢失现象呢？目前有一个切实可行且有效的并已被很多 CAD 设计者所采用的办法，即一一对应数据接口。在任意两个 CAD 软件间建立相互的专用数据接口，进行数据差异的软件修正，以确保数据交换时不发生丢失。作者通过使用多种大型 CAD 软件之后，证明用这种方法行之有效。但这种方法的缺点是软件开销太大，若是一对多地的数据交换，那么在工作中就需要若干个的专用数据接口进行数据处理。

1.3.1.5 CAD 工程制图及文件管理

如图 1—6 所示。

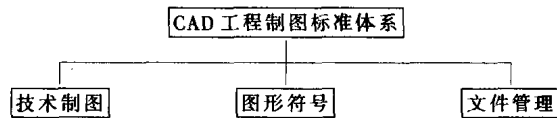


图 1—6 CAD 工程制图标准体系

其中技术制图与图形符号标准是早期制定的标准规划，但同样也是适用于 CAD 中的标准。CAD 文件管理包括八个部分：可靠性要求，原始文件，产品设计过程中的状态，文件管理与检索，过程状态中的文件，修改规定，数据范围和管理。

1.3.1.6 电子 CAD/EDA 描述语言标准体系

如图 1—7 所示。

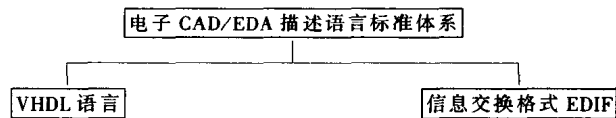


图 1—7 电子 CAD/EDA 描述语言标准体系

其中 VHDL 语言为超高速集成电路硬件描述语言，EDIF 为电子设计信息交换格式。

1.3.1.7 其他

上面介绍的标准体系都已比较成熟，在实际工作中有很强的指导意义，但其适用范围在整个计算机领域中，只能算是沧海一粟。我们在日常工作中不可避免的还会经常接触到的一些问题，如 CAD 系统质量控制，系统配置与评估等等。这是 CAD 工程中相当重要的一个部分，现在虽无标准可循，但有很多指标和经验可以介绍，这些将在第七章中进一步叙述。

1.3.2 计算机体系与 CAD 软件体系

CAD 运行的计算机环境由于它本身具有的特殊性，其配置的体系结构也有其特点。

1.3.2.1 硬、软件环境

如图 1—8 所示。

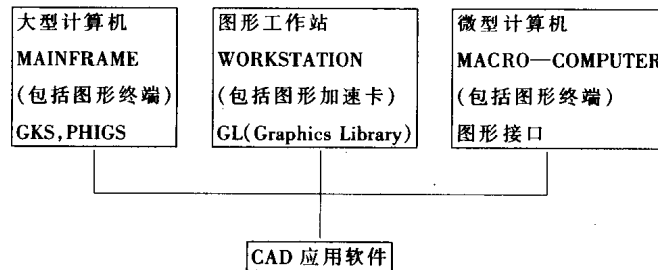


图 1—8

在硬件方面，能运行 CAD 软件的机器，均要求具备图形功能。一般的大型机像 IBM30XX 系列机器，只有配有如 5080 图形系统才能运行 CAD 软件。而小型机呢，尽管有同样的 CPU，内存，外存，但还需配上图形加速卡或软件图形加速器，再加上图形终端，才可运行 CAD 软件。这样配置后的机器功能强大，且价格适中，故大都专用于图形图像处理，所以又称之为图形工作站，它在计算机家族中，独占一席之地。在微机方面，只有配上彩色显示器和有较高速的计算能力的处理系统，才能支持 CAD 软件运行，当然，其性能与运行速度都要比大型机和工作站略逊一筹。

对于软件而言，除了配备相应的操作系统外，即使在大型机和图形工作站上，还需加上图形标准接口，才能支持系统的图形工作。像大型机上常用的是 PHIGS 标准接口；工作站上配备的往往是 GL 或其他标准接口。各 CAD 软件如在微机运行时，则需具有自带图元素表达的图形标准接口，才能有效的开展工作。

1.3.2.2 网络环境

近年来，随着网络技术的成熟与可靠，CAD 技术也更多借助于网络传输数据。由于它的图形数据量大，封闭性强，无法对坏象素修改等特点，一般只能采用二进制传送定义方式，以确保数据传送无误。

网络技术在 CAD 领域中的应用是一个发展方向，但这方面还存在不少的问题有待解决。这在第八章对无纸化设计的讨论中，我们将较为详细的介绍这方面的情况。

1.3.2.3 CAD 软件

CAD 软件本身一般具有数据输入，外部数据转换，图形编辑，图形分析与处理，图形输出，视觉转换与效果等功能部分。其中，不同内容用不同数据文件形式加以存放和调用。此外，在数据输入方面，还具有包括建立二维图形，建立三维模型等功能。

因此，CAD 软件一般指通用 CAD 软件，在某些场合也可称为 CAD 支撑软件。它们既可完成一些通用的设计要求，又可作为某些专业 CAD 软件的开发平台，再有针对性地开展和应用。

第二章 二维平面绘图

从本章开始,我们将逐一介绍 CAD 技术的各个方面。在这一章中,将在平面为主的几个 CAD 应用领域展开。首先,描述了二维平面绘图的一些图形实现方式;其次,简要介绍机械 CAD 软件和建筑 CAD 软件的应用情况;由于这两方面的 CAD 软件大都可利用非常成熟的 AutoCAD 软件作为支撑平台,因此,我们将在第三章重点介绍 AutoCAD 软件的一些基本用法。在本章中,还将重点讨论电气 CAD 软件的平面作用部分。其中,用 ProTEL 软件作为这方面应用软件的实例代表加以介绍,以便读者了解电气 CAD 软件在平面出图方面能干些什么,又用什么样的命令与方法去实现这些功能。

2.1 二维平面绘图

在 CAD 应用中,最简单、最基本的可能就是二维图形处理。在这里,我们将就二维图形处理的基本理论和实现方法进行分析。

2.1.1 直线的三种显示算法

对于画一条在屏幕上显示的真实直线,理论上常用三种计算方法:数值微分法,中点画线法和 Bresenham 算法。

2.1.1.1 数值微分法

直线的斜率为 $k = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, 其中 $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$, (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 为直线的任意两点。从直线的起点开始,确定逼近于直线的 y 坐标,若 x 从起点开始以等步长变化,则 $y = kx + b$, b 为直线的 y 轴截距。

迭代计算即为

$$\begin{aligned}y_{i+1} &= kx_{i+1} + b \\ &= k(x_i + \Delta x) + b \\ &= kx_i + b + k\Delta x \\ &= y_i + k\Delta x\end{aligned}$$

若取 x 增量步长为 1, 则 $y_{i+1} = y_i + k$, 即直线可以逐点给出。该算法效率较低,当 $|k| \leq 1$ 时,迭代式为 $y_{i+1} = y_i + k\Delta x$; 当 $|k| > 1$ 时,迭代式为 $x = x_i + \frac{1}{k}\Delta y$ 。如图 2—1 所示。

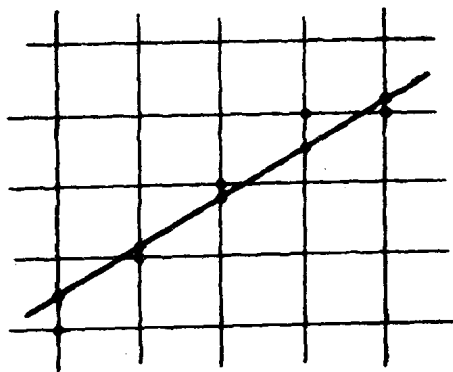


图 2—1 数值微分法

2.1.1.2 中点画线法

在直线方程 $F(x, y) = ax + by + c = 0$ 中,

定义 $a = y_2 - y_1$, $b = x_2 - x_1$, $c = x_2y_1 - x_1y_2$

对于直线上的点, 满足 $F(x, y) = 0$;

对于直线上方的点, 满足 $F(x, y) > 0$;

对于直线下方的点, 满足 $F(x, y) < 0$ 。

在直线的上、下方各取一点 P_1 、 P_2 , 假设已确定点 P 为与直线最近的像素点 (x_p, y_p) , 则 $P_1(x_p+1, y_p)$, $P_2(x_p+1, y_p+1)$, 在 P_1 与 P_2 的中点 $M(x_p+1, y_p+0.5)$ 。设 N 为直线 $F(x, y)$ 与垂直线 $x = x_p+1$ 的交点, 用下面的判别式判断 N 在 M 的上方还是下方。

$$d = F(M) = F(x_p+1, y_p+0.5) = a(x_p+1) + b(y_p+0.5) + c$$

当 $d < 0$ 时, M 在 N 下方, 即直线下方, 接下去可取右上方的 P_2 为下一个与直线最近的像素点; 当 $d > 0$ 时, 取正右方的 P_1 点为与直线最近的像素点。如图 2—2 所示。

若 $d \geq 0$, 取正右方的 P_1 , 再判断下一个像素的取向, 则计算 $d_1 = F(x_p+2, y_p+0.5) = a(x_p+2) + b(y_p+0.5) + c = d + a$, d 的增量为 a ; 若 $d < 0$, 则取右上方像素 P_2 。若需再判断下一个像素, 则再计算 $d_2 = F(x_p+2, y_p+1.5) = a(x_p+2) + b(y_p+1.5) + c = d + a + b$ 。故在 $d < 0$ 情况下, d 的增量为 $a + b$ 。

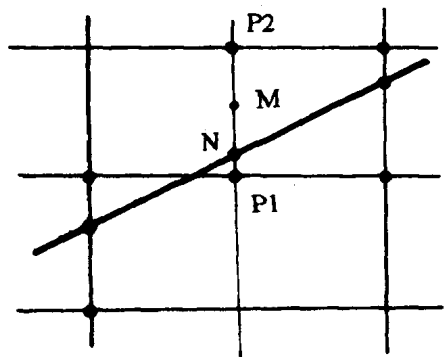


图 2—2 中点画线法

回头再看 d 的初始值, 第一个像素应取至终点 (x_2, y_2) , 相应的判别式为

$$\begin{aligned} d_2 &= F(x_2+1, y_2+0.5) \\ &= a(x_2+1) + b(y_2+0.5) + c \\ &= ax_2 + bx_2 + c + a + 0.5b \\ &= F(x_2, y_2) + a + 0.5b \end{aligned}$$

由于 (x_2, y_2) 在直线上, 得 $F(x_2, y_2) = 0$, $d_2 = a + 0.5b$ 。为了满足屏幕像素变化步长为整数的物理特性, 我们可对 d 存在小数的情况用 $2d$ 代表, 来摆脱小数存在的可能性。

用上面几个式子的逐步迭代, 即可获得已知两个端点坐标和直线斜率 $0 < k < 1$, 进而得到直线像素在屏幕上的表达与显示。

例: 用中点画线光栅化一条直线。

设直线两个端点为 $(0, 0)$, $(5, 3)$, 可以定义 $(x_0, y_0) = (0, 0)$, $(x_1, y_1) = (5, 3)$, 则 $0 < k = \frac{3}{5} < 1$ 。第一个像素取在点 $(0, 0)$, 得 $d_0 = 2a + b$, 其中 $a = y_0 - y_1 = -3$, $b = x_1 - x_0 = 5$, 则 d 的正右方增量为 $\Delta_1 = 2a = -6$, d 的右上方增量为 $\Delta_2 = 2(a + b) = 4$, 对于 $d_0 < 0$, 迭代循环的第一步取初始点的右上方像素 $(1, 1)$, x