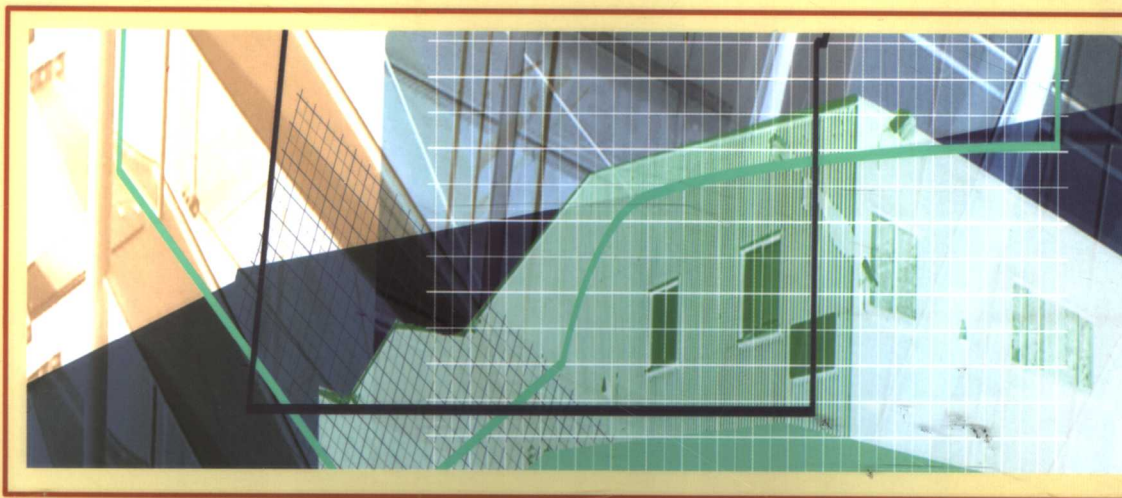


新世纪土木工程专业系列教材



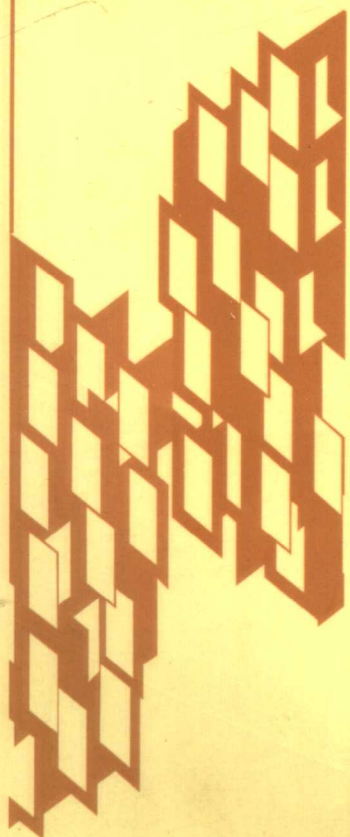
# 土木工程 CAD

## TUMU GONGCHENG CAD

冯 健 主 编

冯 健 秦卫红 编 著  
吴 京 张 晋

蒋永生 主 审



2

东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材

# 土木工程 CAD

冯 健	主编
冯 健 秦卫红	编 著
吴 京 张 晋	
蒋永生	主 审

东南大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据宽口径的土木工程专业培养要求编写,主要内容包括:土木工程 CAD 概述, AutoCAD, 施工图绘制, 常用数学软件——MATLAB, 常用结构设计软件——PKPM 系列、Dr. Bridge, 常用有限元分析软件——ANSYS。

本书可以作为高等院校土木工程专业本科生的教材、研究生有关课程的参考书,也可供从事土木工程设计、施工等相关工作的工程师继续教育之用。

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程 CAD/冯健主编. —南京:东南大学出版社, 2005. 11

(新世纪土木工程专业系列教材)

ISBN 7-5641-0177-6

I. 土... II. 冯... III. 土木工程—建筑制图—计算机辅助设计—应用软件, AutoCAD—高等学校—教材  
IV. TU204

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112014 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 22.25 字数: 555 千字

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1~4000 定价: 38.00 元

(凡因印装质量问题,请同读者服务部联系。电话:025-83792328)

## 新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒贛平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维明 程建川 容柏生 蒋永生

# 序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化;拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化;将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

## 1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

## 2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

## 3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳入最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程

各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

#### 4. 发挥东南大学的办学优势

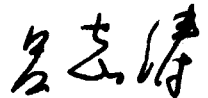
东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本,其中 9 本教材获国家和部、省级奖,4 门课程列为江苏省一类优秀课程,5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



2001 年 9 月

## 前 言

当前,计算机辅助设计不仅仅指计算机辅助绘图而是指用计算机进行计算(分析)、设计、绘图、技术信息管理以及其他相关内容的广义CAD系统。本教材主要包括六部分内容:土木工程CAD概述,主要介绍CAD的基本概念、计算机图形学的基本概念以及土木工程中的CAD技术;AutoCAD,详细介绍功能强大的计算机绘图软件AutoCAD的使用方法;施工图绘制,主要介绍土木工程专业施工图绘制的基本规定、表达方法;常用数学软件——MATLAB,介绍其基本使用方法;常用结构设计软件——PKPM系列、Dr. Bridge,介绍这些目前我国使用最广的结构设计类软件的使用方法;常用有限元分析软件——ANSYS,介绍该大型通用有限元分析软件的使用方法。

本教材编写注重教学规律,强调训练,尽量为学生开拓视野。注意本教材与其他课程的衔接和综合应用,因为本教材不可能涵盖计算机辅助设计牵涉到的大量力学、结构、编程等方面的知识。

全书共分6章,其中第1、3章由冯健编写,第2章由秦卫红编写,第4、5章由张晋编写,第6章由吴京编写。冯健主编,蒋永生主审。

在本书编写过程中,参考并引用了大量的公开出版和发表的文献,在此谨向原编著者表示衷心的感谢。

本书可以作为高等院校土木工程专业本科生的教材、研究生有关课程的参考书,也可供从事土木工程设计、施工等工作的工程师继续教育之用。教材使用时可根据学时安排、学生具体情况等选择讲授内容。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

作 者  
2005年7月

# 目 录

<b>1 概述</b> .....	( 1 )
1.1 计算机辅助设计简述 .....	( 1 )
1.1.1 计算机辅助设计的基本概念 .....	( 1 )
1.1.2 计算机辅助设计的发展历史 .....	( 2 )
1.2 CAD系统的组成 .....	( 2 )
1.2.1 CAD硬件系统 .....	( 3 )
1.2.2 CAD软件系统 .....	( 3 )
1.3 计算机图形学简述 .....	( 5 )
1.3.1 计算机图形学的有关概念 .....	( 5 )
1.3.2 计算机图形系统的组成 .....	( 8 )
1.4 土木工程中的CAD及相关技术 .....	( 10 )
1.4.1 工程设计资质对CAD的要求 .....	( 10 )
1.4.2 工程设计CAD技术应用 .....	( 10 )
1.4.3 信息技术在土木工程中的应用 .....	( 11 )
<b>2 绘图软件 AutoCAD 2004</b> .....	( 14 )
引言 .....	( 14 )
2.1 AutoCAD 2004 的安装 .....	( 14 )
2.1.1 安装 AutoCAD 2004 的系统要求 .....	( 14 )
2.1.2 安装 AutoCAD 2004 的步骤 .....	( 15 )
2.2 AutoCAD 操作界面和基础知识 .....	( 17 )
2.2.1 AutoCAD 2004 的启动与屏幕界面 .....	( 17 )
2.2.2 AutoCAD 2004 的命令输入与透明命令的使用 .....	( 19 )
2.2.3 坐标系和点的坐标表示法 .....	( 21 )
2.2.4 点和数据的输入 .....	( 23 )
2.2.5 鼠标和键盘的应用 .....	( 23 )
2.2.6 AutoCAD 2004 的文件管理 .....	( 24 )
2.3 AutoCAD 2004 的绘图环境与辅助命令 .....	( 28 )
2.3.1 AutoCAD 2004 的绘图环境的定制 .....	( 28 )
2.3.2 绘图辅助(Drawing Aids) .....	( 30 )
2.3.3 目标捕捉(Osnap) .....	( 33 )
2.3.4 图层管理和线型、颜色的控制与实体特征 .....	( 35 )
2.3.5 查询命令 .....	( 41 )
2.3.6 系统变量 .....	( 42 )
2.3.7 使用帮助菜单 .....	( 42 )



2.3.8	使用命令别名(简化命令)	(43)
2.4	AutoCAD R14 的基本绘图方法	(43)
2.4.1	绘制直线(Line)、射线(Ray)和构造线(Xline)	(43)
2.4.2	绘制单线圆(Circle)、圆弧(Arc)及椭圆和椭圆弧(Ellipse)	(46)
2.4.3	点的绘制(Point)	(52)
2.4.4	绘制圆环(Donut)	(53)
2.4.5	绘制多义线(Pline)	(54)
2.4.6	绘制矩形(Rectangle)和等边多边形(Polygon)	(57)
2.4.7	绘制多线(Mline)和光滑曲线(Spline)	(59)
2.4.8	徒手画线(Sketch)	(62)
2.4.9	绘制填充图形	(63)
2.4.10	用 Revcloud 命令绘制云状形体	(67)
2.5	图形的编辑	(68)
2.5.1	目标选择	(68)
2.5.2	图形的删除(Erase)、移动(Move)和复制(Copy)	(71)
2.5.3	图形的镜像(Mirror)、阵列(Array)和偏移(Offset)	(73)
2.5.4	图形的旋转(Rotate)和缩放(Scale)	(77)
2.5.5	图形的折断(Break)和修剪(Trim)	(79)
2.5.6	图形的延伸(Extend)、拉伸(Stretch)和改变长度(Lengthen)	(82)
2.5.7	对图形进行倒角(Chamfer)和倒圆(Fillet)	(86)
2.5.8	线性编辑	(89)
2.5.9	分解图形(Explode)	(91)
2.5.10	夹持点的使用(Ddgrips)	(91)
2.6	图形显示控制	(93)
2.6.1	利用 Zoom 命令缩放图形	(93)
2.6.2	利用 Pan 命令平移显示图形	(94)
2.6.3	使用鸟瞰视图进行窗口漫游(Dsviwer)	(96)
2.6.4	图形的快速缩放(Viewres)	(97)
2.6.5	图形的重新生成(Regen)	(97)
2.7	图块及其应用	(97)
2.7.1	图块的特点	(97)
2.7.2	图块的定义	(98)
2.7.3	图块的插入	(101)
2.7.4	图块的编辑	(103)
2.7.5	图块中属性的应用	(103)
2.8	给图形标注文本	(109)
2.8.1	用 Text (或 Dtext)命令标注单行文本	(109)
2.8.2	用 Mtext 命令标注多行文本	(112)

2.8.3	定义字体样式(Style).....	(115)
2.8.4	特殊字符的输入.....	(118)
2.8.5	文本编辑.....	(119)
2.8.6	与文本有关的其他命令.....	(121)
2.9	给图形标注尺寸.....	(121)
2.9.1	尺寸标注简述.....	(121)
2.9.2	尺寸标注的关联性.....	(122)
2.9.3	尺寸标注的类型.....	(123)
2.9.4	尺寸标注样式的设置(Ddim).....	(123)
2.9.5	标注线性型尺寸.....	(131)
2.9.6	标注角度型尺寸(Dimangular).....	(138)
2.9.7	标注直径/半径(Dimdiameter/Dimradius).....	(140)
2.9.8	中心标注(Dimcenter).....	(140)
2.9.9	指引标注(Leader).....	(141)
2.9.10	编辑尺寸标注.....	(142)
2.10	三维绘图初步.....	(144)
2.10.1	三维绘图辅助.....	(144)
2.10.2	绘制三维图形.....	(149)
2.11	图形的输出.....	(156)
2.11.1	配置输出设备.....	(156)
2.11.2	打印样式.....	(157)
2.11.3	打印图形.....	(160)
2.11.4	布局与视口.....	(162)
2.12	AutoCAD 高级应用.....	(167)
2.12.1	AutoCAD 设计中心.....	(167)
2.12.2	图形格式的转换.....	(169)
2.12.3	外部参照的使用.....	(171)
<b>3</b>	<b>施工图绘制.....</b>	<b>(175)</b>
3.1	施工图绘制的一般步骤.....	(175)
3.2	基本规定.....	(176)
3.3	建筑结构的有关表示方法.....	(183)
3.3.1	混凝土结构.....	(183)
3.3.2	钢结构.....	(185)
3.4	桥涵、隧道等结构的表示方法.....	(190)
<b>4</b>	<b>数学计算软件.....</b>	<b>(193)</b>
4.1	概述.....	(193)
4.1.1	主要数学计算软件简介.....	(193)
4.1.2	数学计算软件的选用.....	(194)

4.1.3	本章目的 .....	(194)
4.2	MATLAB 的基础知识 .....	(194)
4.2.1	安装 .....	(194)
4.2.2	操作桌面 .....	(194)
4.2.3	指令窗(Command Window) .....	(195)
4.2.4	历史指令窗(Command History)、实录指令(diary) .....	(198)
4.2.5	当前目录窗(Current Directory) .....	(198)
4.2.6	工作空间浏览器(Workspace Browser) .....	(200)
4.2.7	帮助系统 .....	(201)
4.2.8	其他窗口 .....	(202)
4.3	MATLAB 的数值计算 .....	(202)
4.3.1	一维数组 .....	(203)
4.3.2	二维数组的创建 .....	(203)
4.3.3	二维数组元素的标识 .....	(204)
4.3.4	二维数组的子数组寻访和赋值 .....	(204)
4.3.5	复杂数组的构建 .....	(204)
4.3.6	数组运算和矩阵运算 .....	(205)
4.3.7	关系操作和逻辑操作 .....	(207)
4.3.8	数值计算举例 .....	(207)
4.4	字符串、细胞和构架数组 .....	(207)
4.4.1	字符串数组简介 .....	(208)
4.4.2	细胞数组简介 .....	(208)
4.4.3	构架数组简介 .....	(209)
4.5	数据的可视化及图形用户界面制作 .....	(210)
4.5.1	高级图形命令简介 .....	(210)
4.5.2	低级图形(句柄图形)命令简介 .....	(211)
4.5.3	图形用户界面 GUI 制作简介 .....	(212)
4.6	M 文件 .....	(213)
4.6.1	简介 .....	(213)
4.6.2	M 文件入门举例 .....	(213)
4.6.3	MATLAB 控制流 .....	(214)
4.6.4	其他 .....	(215)
4.7	符号计算 .....	(215)
4.7.1	符号计算特点 .....	(215)
4.7.2	MATLAB 符号计算入门 .....	(216)
4.7.3	其他符号计算简介 .....	(216)
4.8	Notebook .....	(217)
4.8.1	安装 .....	(217)

4.8.2	启动	(217)
4.8.3	输入细胞(群)的创建和运行	(218)
4.8.4	计算区的创建和运行	(218)
4.8.5	其他	(218)
4.9	MATLAB 编译器(Compiler)	(219)
4.9.1	编译器的功能	(219)
4.9.2	由 M 文件创建 C MEX 文件举例	(219)
4.9.3	由 M 文件创建外部应用程序基本步骤	(220)
4.10	应用程序接口 API	(220)
4.11	MATLAB 用于有限元分析的简例	(221)
4.12	MATLAB 用于振动台试验数据分析的简例	(223)
4.12.1	用 MATLAB 求模型的传递函数	(223)
4.12.2	用 MATLAB 求积分位移	(226)
4.12.3	小结	(228)
5	通用结构设计软件	(229)
5.1	概述	(229)
5.1.1	PKPM 的特点	(229)
5.1.2	Dr. Bridge 的特点	(230)
5.1.3	本章目的	(230)
5.2	PMCAD	(230)
5.2.1	软件应用范围	(230)
5.2.2	PKPM 主菜单	(231)
5.2.3	工作环境	(232)
5.2.4	主菜单 1【PM 交互式数据输入】	(232)
5.2.5	主菜单 2【输入次梁楼板】	(248)
5.2.6	主菜单 3【输入荷载信息】	(250)
5.3	TAT	(254)
5.3.1	【接 PM 生成 TAT 数据】	(255)
5.3.2	【数据检查和图形检查】	(255)
5.3.3	主菜单 3【结构内力,配筋计算】	(261)
5.3.4	主菜单 4【PM 次梁计算】	(261)
5.3.5	主菜单 5【分析结果图形和文本显示】	(261)
5.3.6	主菜单 6【梁归并(全楼归并)】	(264)
5.3.7	主菜单 7【选择梁的数据】	(265)
5.3.8	主菜单 8【绘制梁施工图】	(265)
5.3.9	主菜单 9【绘制梁表施工图】	(266)
5.3.10	主菜单 A【梁平面图画法】	(266)
5.3.11	主菜单 B【框架梁柱整幅画图】	(267)

5.3.12	主菜单 C【柱归并(全楼归并)】、主菜单 D【选择柱的数据】、 主菜单 E【接 PK 绘制柱施工图】 .....	(268)
5.4	Dr. Bridge 功能简介 .....	(268)
5.4.1	核心计算功能 .....	(268)
5.4.2	前后处理及联机帮助 .....	(268)
5.5	Dr. Bridge 系统的安装 .....	(268)
5.6	Dr. Bridge 系统的基本操作、基本约定 .....	(269)
5.6.1	基本操作 .....	(269)
5.6.2	基本约定 .....	(270)
5.7	直线桥梁设计与施工计算 .....	(271)
5.7.1	基本步骤 .....	(271)
5.7.2	项目的管理简介 .....	(271)
5.7.3	直线桥梁设计与施工计算过程举例 .....	(272)
5.8	直线桥梁设计与施工计算的输出说明 .....	(279)
5.8.1	输出数据的基本约定 .....	(279)
5.8.2	原始数据输出 .....	(280)
5.8.3	总体信息输出 .....	(280)
5.8.4	单元信息输出 .....	(281)
5.8.5	钢束信息输出 .....	(281)
5.8.6	施工阶段信息输出 .....	(282)
5.8.7	使用阶段信息输出 .....	(283)
5.8.8	优化阶段信息输出 .....	(284)
5.8.9	输出文本数据结果 .....	(284)
5.8.10	输出图形数据结果 .....	(285)
5.9	Dr. Bridge 系统其他功能的简介 .....	(289)
5.9.1	斜、弯和异型桥梁 .....	(289)
5.9.2	基础计算 .....	(289)
5.9.3	截面计算 .....	(289)
5.9.4	横向分布系数计算 .....	(289)
<b>6</b>	<b>通用有限元分析软件 .....</b>	<b>(290)</b>
6.1	概述 .....	(290)
6.1.1	有限元分析软件出现的背景 .....	(290)
6.1.2	ANSYS 软件的特点 .....	(290)
6.1.3	本章目的 .....	(291)
6.2	ANSYS 的用户界面 .....	(291)
6.3	ANSYS 程序的单元库和荷载 .....	(293)
6.4	有限元分析模型的建立 .....	(298)
6.4.1	单元模式、实常数、材料的定义 .....	(298)

6.4.2	实体模型和有限元模型	(301)
6.4.3	基本实体的创建	(302)
6.4.4	实体模型的布尔操作	(308)
6.4.5	单元属性赋予和网格划分	(311)
6.4.6	实体的选择	(315)
6.4.7	显示及变换	(317)
6.5	加载和求解	(321)
6.5.1	求解类型	(321)
6.5.2	荷载步(Load Step)	(322)
6.5.3	加载	(323)
6.5.4	求解	(327)
6.5.5	输出窗口	(327)
6.6	计算结果的提取——通用后处理	(327)
6.6.1	读入数据	(328)
6.6.2	结果的图形显示	(329)
6.6.3	单元数据	(332)
6.6.4	工况和工况组合	(335)
<b>参考文献</b>		<b>(338)</b>

# 1 概 述

## 1.1 计算机辅助设计简述

### 1.1.1 计算机辅助设计的基本概念

CAD(Computer Aided Design)的含义是计算机辅助设计。早期的CAD是英文Computer Aided Drafting(计算机辅助绘图)的缩写,随着计算机软、硬件技术的发展,人们逐步认识到单纯使用计算机绘图还不能称之为计算机辅助设计。当前的计算机辅助设计是指用计算机进行计算(分析)、设计、绘图、技术信息管理以及其他相关内容的广义CAD系统。一个完善的CAD系统,应包括交互式图形程序库、工程数据库和应用数据库。对于产品或工程的设计,借助CAD技术,可以大大缩短设计的周期,提高设计效率。

真正的设计是整个产品的设计,它包括产品的构思、功能设计、结构分析、加工制造等。二维工程图设计只是产品设计中的一小部分,CAD也不再仅仅是辅助绘图,而是整个产品的辅助设计。

目前,与计算机辅助设计CAD相类似的简称较多,主要的有:

CAE(Computer Aided Engineering)——计算机辅助工程,该术语主要应用于使用户能够对计算机完成的设计进行工程测试和分析。在某些情况下,通常属于CAE应用的逻辑测试等功能也是CAD程序的一部分。因此,CAD和CAE之间的区别并不是很严格。CAE方面使用最广泛的是有限元分析系统,有限元分析的解不是精确解(杆系有限元除外),而是近似解,由于大多数实际问题难以得到精确解,而有限元不仅计算精度高,而且能适应各种复杂形状,因而成为行之有效的工程分析手段。

CAM(Computer Aided Manufacture)——计算机辅助制造,是指应用计算机来进行产品制造的统称。有广义CAM和狭义CAM之分。广义CAM是指利用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,其中包括直接制造过程和间接制造过程。狭义CAM是指制造过程中某个环节应用计算机,在计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)中,通常是指计算机辅助机械加工(Computer Aided Machining),更明确地说,是指数控加工,它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序。

CAPP(Computer Aided Process Planning)——计算机辅助工艺过程设计,也叫计算机辅助工艺过程规划,是通过向计算机输入被加工零件的几何信息(图形)和加工工艺信息(材料、热处理、批量等),由计算机自动生成输出零件的工艺路线和工序内容等工艺文件的过程。简言之,CAPP就是利用计算机来制定零件的加工工艺过程的系统。

PDM(Product Data Management)——产品数据管理,PDM是一门用来管理所有与产品相关信息(包括零件信息、配置、文档、CAD文件、结构、权限信息等)和所有与产品相关过程(包括过程定义和管理)的技术。

CAD 是 CAE、CAM、CAPP、PDM 的基础。在 CAE 中无论是单个零件,还是整机的有限元分析及机构的运动分析,都需要 CAD 为其造型、装配;在 CAM 中,则需要 CAD 进行曲面设计、复杂零件造型和模具设计;而 PDM 则更需要 CAD 表示产品装配后的关系及所有零件的明细(材料、件数、重量等)。在 CAD 中对零件及部件所做的任何改变,都会在 CAE、CAM、CAPP、PDM 中有所反映。所以,如果 CAD 开展得不好,CAE、CAM、CAPP、PDM 就很难做好。

### 1.1.2 计算机辅助设计的发展历史

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期,最初是二维计算机绘图技术。现在二维绘图在土木工程 CAD 中仍占相当大的比重。进入 20 世纪 70 年代,为适应飞机、汽车工业的飞速发展,出现了以表面模型为特点、自由曲面建模方法为基础的三维曲面造型系统 CATIA,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,被称为第一次 CAD 技术革命。

20 世纪 70 年代末、80 年代初,实体造型技术得到普及,这标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命。实体造型技术不但能表达形体的表面信息,还能准确地表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等等,在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来了很大的方便,它代表着未来 CAD 技术的发展方向。实体造型技术带来了算法的改进和未来发展的希望,但也带来了数据计算量的极度膨胀,普及面不广。

前面提到的造型技术属于无约束自由造型,进入 20 世纪 80 年代中期,一种更好的算法——参数化实体造型方法的提出标志着第三次 CAD 技术革命。其主要特点是基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。

随着研究的不断深入,参数化技术的许多不足被发现,首先“全尺寸约束”这一硬性规定就干扰和制约着设计者创造力及想象力的发挥。全尺寸约束要求设计者在设计初期及全过程中必须将形状和尺寸联合起来考虑,并且通过尺寸约束来控制形状,通过尺寸的改变来驱动形状的改变,一切以尺寸(参数)为出发点。一旦所设计的对象形状过于复杂时,面对满屏幕的尺寸,如何改变这些尺寸以达到所需要的形状就很不直观;而且如果在设计中关键形体的拓扑关系发生改变,失去了某些约束的几何特征也会造成系统数据混乱。

基于上述原因,研究者以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术——变量化技术。已知全参数的方程组,去顺序求解比较容易,但在欠约束的情况下,方程联立求解的数学处理和软件实现上的难度很大,变量化的思路是按下列步骤实现:用主模型技术统一数据表达,变量化勾画草图,变量化截面整形,变量化方程,变量化曲面,变量化三维特征,变量化装配。变量化技术既保持了参数化技术的优点,又克服了它的许多不足,标志着第四次 CAD 技术革命。

CAD 技术基础理论的每一次重大进展都带动了 CAD/CAM/CAE 整体技术的不断提高,而且 CAD 技术将一直处于不断的发展和探索之中。

## 1.2 CAD 系统的组成

CAD 系统由硬件系统和软件(程序)系统组成。软件是 CAD 系统的核心,相应的硬件设备为软件的正常运行提供基础保障和运行环境。硬件系统由计算机、常用外围设备以及各种



图形输入输出设备组成,软件系统包括完成设计任务所需的全体计算机软件资源。

### 1.2.1 CAD 硬件系统

硬件系统由计算机、存储设备、显示设备、人机交互设备和输出设备等组成,是实现系统各项功能的物质基础。

#### 1) 按工作方法及功能分类

CAD 系统按照工作方法及功能可分为四类:检索型、交互型、自动型和智能型。

检索型系统主要用于已经实现标准化、系列化、模块化的工程和产品结构。这些产品或工程的图样、有关程序均已存储在计算机内。在设计过程中,用户只需按照要求给出不同的参数和设计数据,自动运行程序即可生成符合要求的电子图样;或在原有相似图形的基础上,按用户的技术要求及规范检索出需要的零部件图,再在 CAD 软件系统中完成产品或工程图的修改,并对产品的性能进行校核,在满足设计人员要求的前提下,输出所需要的各种技术文件和图样。

交互型系统是指具有人机对话功能的系统,它的作业过程要求人的直接参与,以人机对话的方式来进行工作,所以这种作业仍是以人为中心,适于设计目标难以用目标函数来定量描述的设计问题。

自动型系统是指不具有人机对话或很少有人机对话功能的系统。在作业过程中无需人的参与或只要很少的人参与,计算机会根据用户编制的程序自动完成各设计步骤,直至获得最优解为止。所以这种以计算机为中心的系统,适合于设计目标能用明确的目标函数来定量描述的问题。

智能型系统主要由知识库、推理机、实时系统、知识获取系统和人机接口等组成,还包括各种先进技术的综合运用。当使用这样的系统时,用户只需输入设计对象的概念、用途、性能等信息,利用系统提供的推理、决策、计算和电子数据处理等各种机制,即可完成产品或工程的详细设计。

#### 2) 按硬件组成分类

按照 CAD 系统中采用的计算机类型、外围设备以及它们之间的联系方式可分为独立式和分布式。

独立式 CAD 系统按照所用计算机的不同可分为四类:主机系统、工作站系统、微机系统和基于网络的单台微机系统。主机系统也称集中式,以一台大中型计算机为主机,支持多个终端运行。工作站包括工程工作站和图形工作站,是为满足用户在工程和图形处理上的专业需求和克服原有大中型计算机由于其系统庞大,不能适应工程和图形处理中灵活多变的特点而研制的专用计算机。

分布式 CAD 系统也称网络系统,它利用计算机技术及通讯技术将分布于各处的计算机以网络形式连接起来。网络上各个结点可以是普通微机,也可以是工作站等。网络上结点分布形式可以是星型分布、树型分布,也可以是环型分布、总线型分布。

### 1.2.2 CAD 软件系统

根据系统中执行的任务及服务对象的不同,可将软件系统分为三个层次:系统软件、支撑软件、应用软件。