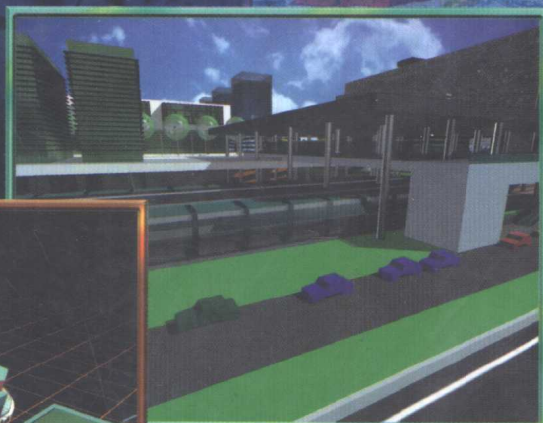
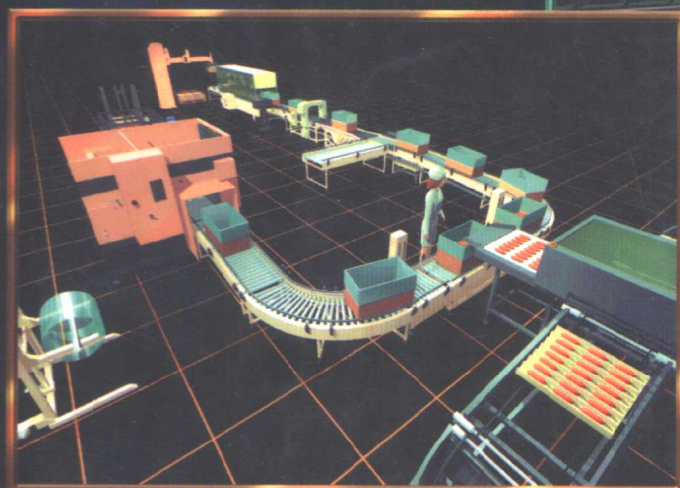


高等学校教材

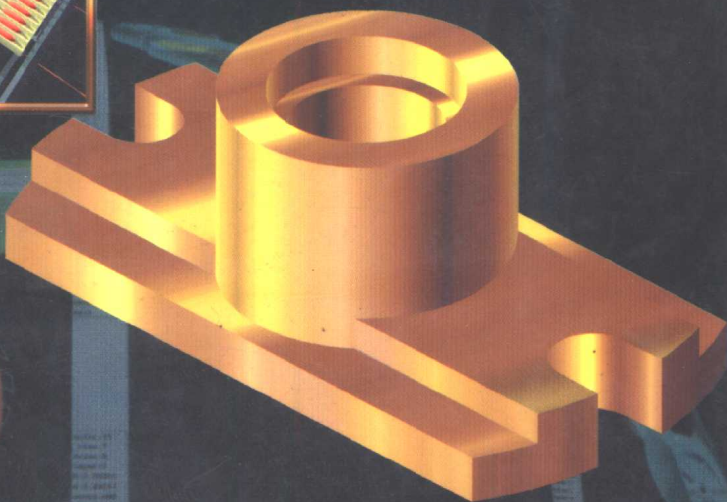
计算机画三维立体

西安交通大学

卢振荣 鄧刚锁 路向明 蔡如芬 编



高等教育出版社



高等学校教材

计算机画三维立体

西安交通大学

卢振荣 邳刚锁 路向明 蔡如芬 编

高等教育出版社

登录号	68112
分类号	TP391.41
种次号	3

(京)112号

图书在版编目(CIP)数据

计算机画三维立体/卢振荣等编. - 北京:高等教育出版社,1999.7
高等学校教材
ISBN 7-04-007291-2

I.计… II.卢… III.三维-动画-计算机图形学-高等学校-教材 IV.TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 33878 号

书 名 计算机画三维立体
作 者 卢振荣 鄧刚锁 路向明 蔡如芬 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1999 年 6 月第 1 版

印 张 19

印 次 1999 年 6 月第 1 次印刷

字 数 450 000

定 价 28.00 元(附光盘一张)

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

企盼编写更新更好的教材,迎接 21 世纪来临

——《计算机画三维立体》代序——

计算机科学与技术的发展给人类的生产进步、生活质量提高、物质文明和精神文明建设提供了前所未有的、强有力的手段,其影响无所不及。计算机图形学的迅速发展及其广泛应用,使工程图学学科正面临着新的形势和挑战。到本世纪末,我国计划大中型企业中的主要设计工作将完全采用计算机辅助设计(CAD)。到 2000 年,我国 CAD 科研开发和应用水平要达到国际上中等发达国家 90 年代后期水平,全国主要工科院校基本普及 CAD 技术基础教育,为科研、设计现代化输送优秀人才;研制出具有我国自主知识产权的、能与国际先进软件媲美的 CAD 支撑系统和实用的二、三维图形系统。

我国广大工程制图教师和教育界、工程界许多有识之士对高等工科院校工程制图教学内容、课程体系改革给予极大的关注,许多国内著名院校注意发挥自身优势,不失时机地引入计算机绘图的新概念、新理论、新技术,为丰富、扩充传统的课程内涵取得了不少经验,也积累了许多可贵资料。《计算机画三维立体》一书的编者正是广大图学教育工作者身负历史重任、勇于进取的代表之一。该书是一本面向工科大学生,内容和层次针对性很强的教学用书,取材适当,论述循序渐进,文字简明扼要,符合教学规律,并有 CAI 软件配套,易教易学,相信它定会受到广大读者欢迎。

在即将来临的 21 世纪,随着我国高等工程教育突破性发展,工程制图系列课程必将有长足进步。为了培养出高质量人才,人们企盼有更多的人力、物力投入到文字教材、声像教材的建设工作中来。既学习他人之长,又体现我国特色,走出一条令世人瞩目的自己的路子来。

高等学校工科制图课程教学指导委员会主任委员

刘荣光

1998.3

86
ATS-82/02

前 言

随着改革开放的深入,我国工厂企业和设计院、研究所的计算机应用将日益普及。各类用人单位对工科大学生的计算机绘图和 CAD 应用能力的需求正在日益增长,并将迅速反映到大学的工程教育结构中来。教育界的同行都已看到,今天在校的学生明天将走向社会,面临新技术应用的挑战。计算机绘图是适应现代化设计和工程建设而发展起来的一门新兴学科,它对工科大学生毕业后熟悉和掌握 CAD 技术有着决定性的影响。从发展趋势看,各类大、中专院校对这一新课程的建设和新技术的教学投入将还会逐年增加。到 2000 年将要求全国主要工科院校学生基本普及 CAD 技术基础教育,为科研、设计现代化输送优秀人才。工程制图基本原理和计算机应用密切结合是工程制图学科发展的必然趋势;课程间相互的交叉又能促进新兴学科的发展。

传统工程制图课程在各类工科院校中讲授已有近百年的历史,其中空间概念的建立却常常困扰着学生。由于学生在绘图时需要将三维的立体表达在二维的图纸上,因此传统的工程制图课程对刚入学的大学生,往往需要花费一段时间去培养学生的空间构思能力,亦即建立起三维立体的空间想象力以及三维立体与二维投影图之间的内在联系,这是工程制图课程的难点。多年来广大工程制图教师为了在教学中解决这一难点,确实花费了不少的学时和精力去培养学生的空间思维能力。以往经常采取的方法是多画多练,帮助学生逐步地逾越这一难关。

现在有了计算机这一现代化的工具和相应的绘图软件,要生成三维立体就变得很容易了,并且在生成三维立体的同时,还能自动分步骤地产生三视图与之对应。这与制图课中讲授的形体分析法完全相符,而且更为生动直观。读者可运用绘图工具软件中所具备的立体交、并、差功能,通过光标点菜单的方式,在几分钟内就能实现自己所构思设计的三维立体以及它的分步构造全过程;还可以用光标选择光源点,进行光照明着色,生成具有真实感的彩色浓淡图。计算机绘图的几何造型过程源于工程制图原理,但它的操作简捷易行,因此将工程图学教学与计算机应用结合,构造任意设想的三维立体,确实可以达到事半功倍的效果。

这套工程制图 CAI 丛书就是为这一需求而编写的,也是为了贯彻新修订的工程制图课程教学基本要求中新增加的计算机绘图教学内容而出版的。丛书共分二册:第一册是计算机画三维立体,第二册是计算机画二维图样。此外,为了各类院校普及 CAD 技术基础教育和即将大面积开设的计算机绘图课程,还专门研制了具有自主版权并与每册书配套的 CAI 软件:(1)三维工程制图 CAI 软件 EGCAI;(2)二维工程制图 CAI 软件 EGCAI2D。二维工程制图 CAI 软件包括:基本图元的绘制、剖面线绘制、样条曲线绘制、尺寸标注、表面粗糙度和形位公差标注、技术要求书写等操作。它可以用来绘制二维的设计图样,并由打印机输出。三维工程制图 CAI 软件包括:三维立体角点及面模型的输入,由三维立体线框图及消隐图的生成,再进行投影获得三视图、轴测图、透视图以及用光照模型生成色彩逼真的浓淡图和不同颜色的效果图,还可以对三维立体的角点进行修改后再显示以及将立体进行平移、旋转和比例缩放等操作。

本书是这套丛书的第一册,全书共分为两篇。第一篇阐述计算机画三维立体的基本方法,以

及书中提供的配套软件——工程制图计算机辅助教学系统(简称 EGCAI)的使用和操作方法。本篇特色是:

1. 综合使用了三维图形和图像技术,突出基本概念和基本技能,运用形数结合的方法,培养工科学生的空间思维能力和立体构思设计能力。

2. EGCAI 系统针对性强,是围绕工程制图课程的基本知识和基本技能而编写的辅助教学软件。使用这一系统既有助于学生掌握工程制图的基本内容,又可以学习 CAD 绘图操作的有关知识,提高我国工程制图课程的计算机应用水平。本系统全部采取用户友好的中文界面,可采用鼠标或键盘的上、下、左、右箭头键进行操作,具有小巧灵活、使用方便的特色,而且占用内存空间小,对硬件设备要求低。本系统以 Boland C++ 3.1 为主要开发工具,自带汉字系统,可在 386 以上微机、TVGA 显示卡($640 \times 480 \times 256$ 色)、DOS 3.3 以上的环境中运行。本系统于 1993 年通过国家教委组织的鉴定,具有自主版权,适合各类学校学生使用。

第二篇介绍计算机辅助工程制图的方法。本篇详细阐述:

- (1) 基本几何体的生成指令和方法。
- (2) 用交、并、差功能生成组合体的操作方法。
- (3) 截交和相贯的操作方法。
- (4) 剖切面的生成方法。
- (5) 三维技术的应用。

科学技术的进步,促使高等院校在工程制图课程中采用 CAI 已是势在必行的了。现在各类院校对教学的投入正日趋重视,教学设备和手段也在日益更新,配备计算机设备已不是很困难了。只要配备有 30 台微机的机房供学生使用,对于工程制图课程的教学改革,就会有很大的改观,这将使工程制图课程在培养学生的投影概念和空间构思能力方面采用计算机辅助教学来实现。这一改革不但能节省大量的学时,用于提高学生手工绘图的能力,还可以提高学生的计算机应用水平,使大学期间学生的计算机应用学习不断线。此外,图学教育与计算机应用结合,亦将为图学教育工作者拓宽知识面、开辟广阔的视野,在教学和科研方面向前迈进。

我校计算机绘图学科研究组是从 1983 年开始进行新学科建设和教学的。多年来,编写出版的教材和研制的图形软件获得过国家、省和校级的多项奖励。1993 年我校筹建了大学生 CAD 中心,为本科生开出了多门 CAD 技术基础课程,例如 C 语言及绘图、形数结合计算机绘图初步、AutoCAD 应用、计算机图形学、图形处理专门技术、CAD 应用基础等。

本书是我们在教学中积累的心得和体会,也是我们的最新成果。我们的目标是力图使我国工科大学的工程制图和计算机绘图课程与国外大学的同类课程靠拢,并与之接轨。

本书由卢振荣、邴刚锁主编,路向明编写了光照明模型及着色效果,蔡如芬负责立体建模及三维数据。此外,参加图形调试的还有:卢伟宜、雷啸雨、张肇中、鲍春晖、曾孝吾、陈沛真、向以欣、尤凤仪、钟工、张书楷等;协助书稿录入的有苗保刚、陈洁、张雪等。本书由西安建筑科技大学宿敬昌教授审阅,他提出了很多宝贵的意见,并建议增加土建类方面的组合体、截交与相贯体,以扩大本书及配套软件 EGCAI 系统的使用面,谨在此表示衷心的感谢。

将制图课中的形体分析法和几何造型技术相结合、绘图技能与计算机绘图系统的操作使用相结合,既有助于加强学生对投影原理的学习,又能提高学生的计算机应用水平和学习兴趣,这将为他们毕业后 CAD 应用能力的提高打下重要的基础。

本书也可作为工程技术人员学习 CAD 技术和在设计工作中预显示所设计的三维立体以及修改立体形状后再显示之用,是一本简明易学的三维计算机绘图教程及培训教材。它切合我国大力协同开展 CAD 应用工程和提高大学生计算机应用水平新形势的需要。

编 者
1998 年 1 月

责任编辑	肖银玲
封面设计	李卫青
责任绘图	汪 婷
版式设计	史新薇
责任校对	王效珍
责任印制	陈伟光

图 1110

内 容 提 要

21 世纪,全国工科院校将普及 CAD 技术基础教育,为科研、设计现代化输送优秀人才。本书及配套的 EGCAI 软件系统是专为工科院校开设制图课程中的 CAI 而编写的。

本书分为两篇:

第一篇计算机画三维立体的基本方法,共 10 章。侧重于介绍三维图形处理技术,内容包括:三维立体的几何描述,三视图、立体图与几何变换,消隐技术,真实感图形显示,拖动(sweep)建模方法,立体的创建、显示及修改,系统的安装与运行,用户界面、系统的菜单操作与功能键使用等。

第二篇计算机辅助工程制图,共 5 章。侧重于介绍工业造型设计与计算机绘图相结合,进行三维立体的构思设计与产生的方法,内容包括应用工具软件 AutoCAD 的三维功能来生成基本几何体、组合几何体、立体的截交与相贯以及立体剖切的线框图造型方法;调用立体的交、并、差指令,在屏幕上生成消隐图和彩色浓淡图。

本书的特点是,阐述简明扼要、示例详实、运行可操作性强。书中含有近百幅造型实例及其生成的方法和绘图指令,便于读者快捷地进入三维造型设计领域,预显示自己所设计构思的立体。这些造型设计示例及其实时操作程序均包含在一张光盘上。通过阅读本书及使用这些示例程序,读者不仅能够应用 EGCAI 系统生成三维立体,而且可以初步学会三维造型设计技术,为掌握其它层次的三维图形系统和开发三维 CAD 应用软件打下基础。

本书适合于工科院校的学生使用,也适合于广大科技人员学习 CAD 技术及预显示所设计的三维立体使用。

目 录

第一篇 计算机画三维立体的基本方法

第一章 三维立体的几何描述	3	第七章 系统的安装和运行	58
第二章 三视图、立体图与几何变换	29	7.1 EGCAI 的环境	58
2.1 基本变换及其对应的矩阵	29	7.2 EGCAI 的安装	58
2.2 复合矩阵与连续变换	33	7.3 EGCAI 的运行	59
2.3 常见投影图的形成过程及其矩阵表 示	33	7.4 几点说明	60
第三章 消隐	39	第八章 用户界面、系统的菜单和功能键	61
3.1 凸多面体与外法线方法	39	8.1 EGCAI 的用户界面	61
3.2 凹多面体消隐方法	40	8.2 系统菜单	62
3.3 消隐示例	42	8.3 功能键	63
第四章 真实感图形显示	43	第九章 观察和修改已建立的模型	65
4.1 概述	43	9.1 调入模型文件	65
4.2 先照明模型	43	9.2 观察立体的三视图	66
4.3 先消明暗处理	44	9.3 观察轴测图	68
4.4 真实感图形生成示例	44	9.4 观察透视图	70
第五章 拖动建模方法示例	45	9.5 观察立体的旋转	71
5.1 柱体、锥体建模	45	9.6 观察立体的平移和缩放	72
5.2 回转体建模和剖面图	47	9.7 生成彩色浓淡图	73
第六章 建模程序的编制	50	9.8 观察立体的数据及其与图形之间 的相互对应关系	75
6.1 模型的基本参数	50	9.9 修改数据	77
6.2 模型上各个角点的坐标值计算	50	第十章 创建新立体	80
6.3 合理地给定点的编号,明确每一个 环的组成	51	10.1 建立三维多面体模型	80
6.4 按照数据文件格式要求,自动生成 各个面的数据	51	10.2 建立广义柱体 (MKCYL.EXE)	80
6.5 用 MKCYL 程序和给定的条件生 成柱体模型的数据文件示例	55	10.3 建立广义回转体 (MKVOL.EXE)	82
		附图:EGCAI 系统三维图形输出示例	86

第二篇 计算机辅助工程制图

第十一章 三维立体的表面模型	165	11.1 表面模型	165
----------------------	-----	-----------------	-----

11.2	2.5 维立体	165	13.3	动态观察(Dview)	219
11.3	曲面	167	13.4	消隐(Hide)	221
第十二章	三维立体的体素构造模型	172	第十四章	三维技术的应用	222
12.1	体素构造方法	172	14.1	计算立体的物理特性	222
12.2	建立基本体素	173	14.2	生成二维工程图	225
12.3	建立柱体、锥体	178	14.3	绘制剖面图	229
12.4	建立回转体	180	14.4	绘制特征图	230
12.5	几何变换	181	14.5	真实感图形显示	231
12.6	布尔运算和组合体	182	14.6	其它	233
12.7	平面与立体相交	196	第十五章	常用三维图形菜单、工具条	
12.8	两曲面立体相交	201		指令及立体造型实例	234
12.9	倒角和过渡圆角	206	15.1	常用三维图形系统的图标菜单	
12.10	立体模型的表示方法	208		及其功能	234
12.11	深入了解 CSG 模型	208	15.2	三维造型方法及其分步骤	
第十三章	观察立体模型	217		操作过程	242
13.1	定义视点(Vpoint)	217		附图:用工具软件 AutoCAD 的三维功能	
13.2	定义视平面(Plan)	218		生成的几何造型实例	284

第一篇 计算机画三维立体的 基本方法

立体的形状与立体角点的三维数据之间有着一一对应的关系。工程制图的基本原理中,应用带有坐标系的轴测图和三视图,来阐述点的三面投影与点的三维坐标之间的对应关系。但这种将点的投影脱离立体来讲解,总还是略嫌抽象。本篇就是应用 EGCAI 图形系统,把立体的形状和它的三维角点数据直观地结合起来;将立体的角点、体上相应的棱线和棱面,逐个构造出来,形成三维立体;可以在立体上标出角点号码,也可以将立体进行消隐处理,然后生动而又清晰地屏幕上显示出来。

本篇共分十章,将逐章简要地介绍三维立体的几何描述,三视图、立体图与图形变换,消隐处理,光照明模型算法,拉伸体与回转体的建模方法以及 EGCAI 系统的安装和使用等。

第一章 三维立体的几何描述

用计算机画三维立体,首先要解决的问题就是如何描述一个立体,即建立几何模型。

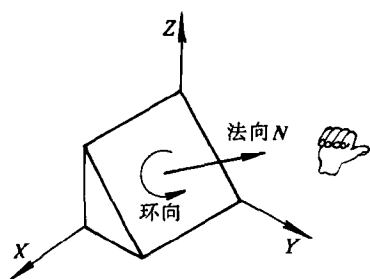


图 1.1 面的正法线方向 N 和环的正向

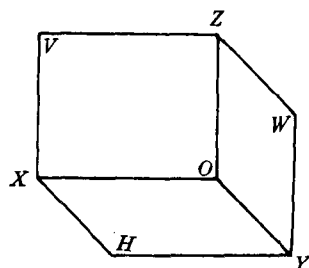


图 1.2 三维坐标系和 V 、 H 、 W 三投影面体系

立体可以看作是由许多有界面围成的,每一个面用一个或多个环做边界,每一个环由一系列有序的有向边组成,一个边可以由两个顶点来确定,每个顶点则由 x 、 y 、 z 三个坐标来给出。所以,一个三维立体可以通过顶点表、边表、环表、面表这 4 个表来描述;需要注意的是,其中的面表和环表都是有方向的,如图 1.1 所示。

面的法线方向:自物体内部向外指的法线方向为面的正法线方向 N 。

环的方向:面上外环的走向应符合右手定则,大拇指的指向为面的正法线方向,其余四指的指向即为环的正向;内环的走向与此相反。

用这种方法建立的立体模型是一种实体模型,这种描述方法称为实体模型的边界表示法或称为 B-reps(即 Boundary representation)。实体模型可以用于消隐、布尔运算、求取物理属性等,是最基本的一种立体模型。利用实体模型的 B-reps 概念,就能比较容易地理解线框模型、翼边结构、CSG 树(体素构造)表示等概念。

为了节约存贮空间,可以对环表进行适当的扩充,以省去边表,比如采用有序有向点列来表示环,两点之间的连线即为有向边。还应该采用图 1.2 所示的三维坐标系和三投影面体系,以便与工程制图课程中的第一角画法相一致。

下面列出了一个三维立体的数据文件格式(包含了立体的面表、环表、点表)。其中,点表用于记录顶点或曲线的型值点,是由点号及其 x 、 y 、 z 坐标构成;环表则由环号及其有序有向点列构成;面表则由面号、面的方程系数(由计算机自动生成,在表中省略)及该面上的环数、各环的环号及方向等构成。注意:每个面的第一环必须是外环(其方向为 $+1$,省略不写),该面上的其余各环不论其方向正负都必须注明,特别注意环号不能为零或负数。

三维立体的数据文件格式:modelname.td(见*注 1)

	nface	所设计构思立体的总表面数(number of surface)(见*注2)
第 一 个 面	nloop1	第一个面上的环数
	loopnum1	此环的环号
	(方向码)	说明环的方向 (见*注3)
	pnt1	此环上共有 pnt1 个点 (见*注4)
	p1	点号 p1 (见*注5)
	x1,y1,z1	p1 点的 x,y,z 坐标值
	p2	下一个点的点号 p2
下 一 个 面	x2,y2,z2	p2 点的 x,y,z 坐标值
	∴ ∴ ∴	∴
	nloop2	下一个面上的环数
	loopnum2	此环的环号
	(方向码)	
	pnt2	此环上共有 pnt2 个点
	pu	点号 pu
第 n 个 面	xu,yu,zu	此点的 x,y,z 坐标值
	pv	下一个点的点号 pv
	xv,yv,zv	pv 点的 x,y,z 坐标值
	∴ ∴ ∴	∴
	1n4n	如果此环上的点 1 及点 4 在前已输入过坐标值,则 在其点号后应紧跟 n,不必再次重复输入其坐标
第 n 个 面	nloop3	下一个面上的环数
	loopnum3	此环的环号
	(方向码)	
	pnt3	此环上共有 pnt3 个点
	pk	点号 pk
	xk,yk,zk	此点的 x,y,z 坐标值
	∴ ∴ ∴	∴
	2n Un Vn	2、U、V 三个点的坐标值已输入过

*注:

1. 三维立体的数据文件,其扩展名统一规定为 .td。
2. 利用改变总面数,可生成不同的立体,且采用“逐个造面”的模块化输入方法,来实现三维立体的造型过程。
3. 根据面的法矢量方向(大拇指的指向),按右手定则来确定环的方向(其余四个手指的指向);面上第一环为外环,若其法矢量指向形体外侧,其方向规定为 1,不必输入(可省略);若此面上有二个环,对于非第 1

个环,则需输入方向。

规定:法矢量向外为1,法矢量向内为0。

4. 点的排列顺序应与环的方向一致,点号按顺时针方向,顺次序输入。

5. 环号、点号均应唯一;每个点的 x, y, z 三个坐标值之间用“,”隔开。

下面是生成三维立体的数据文件示例。

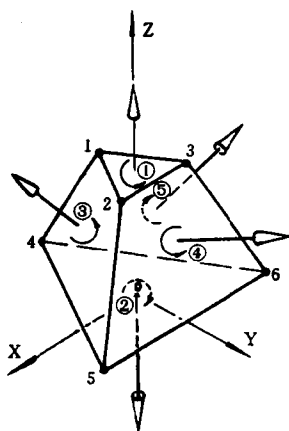
例1 正三棱台的数据文件 example1.td

5	正三棱台的总表面数为 5
{	
1	顶面①上有 1 个环
1	环号为 1
(1)	法矢量方向朝外,省略不写
3	此环上有 3 个点
1	第 1 个点的点号
0, -70, 200	第 1 个点的坐标 x_1, y_1, z_1
2	第 2 个点的点号
60, 34, 200	第 2 个点的坐标 x_2, y_2, z_2
3	第 3 个点的点号
-60, 34, 200	第 3 个点的坐标 x_3, y_3, z_3

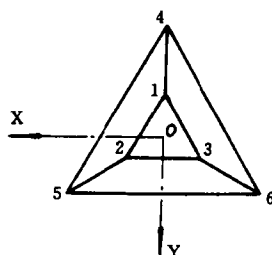
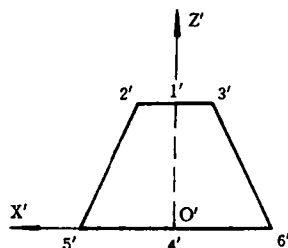
{	
1	底面②上有 1 个环
2	环号为 2(法矢量朝外)
3	此环上有 3 个点
4	第 4 个点的点号
0, -184, 0	第 4 个点的坐标 x_4, y_4, z_4
6	第 6 个点的点号
-160, 92, 0	第 6 个点的坐标 x_6, y_6, z_6
5	第 5 个点的点号
160, 92, 0	第 5 个点的坐标 x_5, y_5, z_5

左	{	1	左后棱面③上有 1 个环
后	{	3	环号为 3(法矢量向外)
棱	{	4	此环上有 4 个点,按右手定则排列
面	{	1n4n5n2n	其顺序为 1452,各点坐标已输入过

前	{	1	前棱面④上有 1 个环
棱	{	4	环号为 4(法矢量向外)
面	{	4	此环上有 4 个点,按右手定则排列其
	{	2n5n6n3n	顺序为 2563,各点的坐标已输入过



带角点标号及各棱面法矢量的正三棱台



带坐标轴的正三棱台两视图

右后棱面⑤上有 1 个环
 环号为 5(法矢量向外)
 此环上有 4 个点,按右手定则排列其顺序
 为 1364,各点的坐标已输入过

例 2 穿三角形孔的正三棱柱的数据文件 example2.td

8 此立体总共有 8 个表面

顶面 { 1
 1
 3
 1
 2
 3
 172, 100,600
 -172, 100,600
 0, -200,600

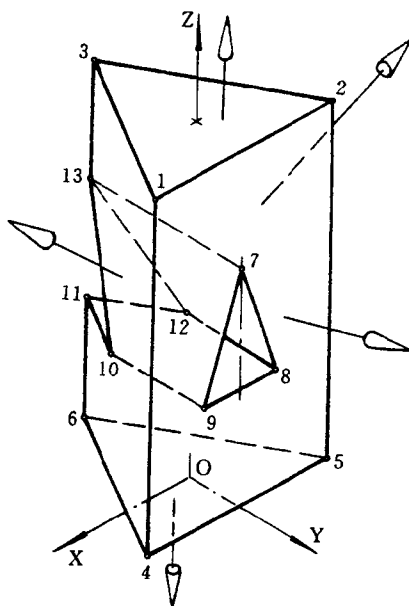
顶面上有 1 个环
 环号为 1
 此环上有 3 个点
 点号为 1,详细说明参见例 1

底面 { 1
 2
 3
 4
 6
 5
 172, 100,0
 0, -200,0
 -172, 100,0

底面上有 1 个环
 环号为 2
 此环上有 3 个点

前棱面 { 2
 3
 4
 1n4n5n2n

前棱面上有 2 个环
 外环的环号为 3
 此外环上有 4 个点



带角点标号的穿孔正三棱柱