

设计师和艺术家的 计算机图形技术



万水电脑彩色与平面设计丛书

【美】Isaac Victor Kerlow

Judson Rosebush 著

周子滨等 译



中国水利水电出版社

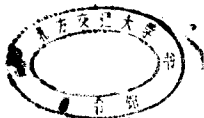
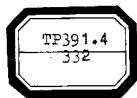
万水电脑彩色与平面设计丛书

设计师和艺术家的计算机图形技术

(第二版)

[美] Isaac Victor Kerlow, Judson Rosebush 著

周子滨 史惠康 译



中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书主要讲述设计师和艺术家利用电脑进行艺术设计时所需掌握的知识 and 技能。全书共分十一章, 主要内容为: 计算机图形学的基本概念, 硬件与软件, 外部设备, 系统接口, 彩色与黑白图形处理, 二维图形处理, 三维建模, 二维媒体应用和交互多媒体技术, 三维媒体设计与应用, 多媒体等。

本书适合于图形图像设计创意人员使用, 也可供广大计算机爱好者参考。

COPYRIGHT © 1996 by Van Nostrand Reinhold, A Division of International Thomson Publishing Inc.

ALL RIGHTS RESERVED. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission, in writing, from the publisher.

图书在版编目(CIP)数据

设计师和艺术家的计算机图形技术/[美]克洛(Kerlow, I.V.),[美]罗斯布什(Rosebush, J.)著; 周予滨等译. —北京: 中国水利水电出版社, 1998.5

(万水电脑彩色与平面设计丛书)

书名原文: Computer Graphics for Designers & Artists

ISBN 7-80124-725-6

I. 设… II. ①克… ②罗… ③周… III. 计算机图形学 IV. TP391.4

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第09663号

书 名	设计师和艺术家的计算机图形技术
作 者	Isaac Victor Kerlow 等
译 者	周予滨 史惠康
出 版 者	中国水利水电出版社 (北京市三里河路6号 100044) 北京万水电子信息有限公司 (北京市车公庄西路20号 100044)
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺新华印刷厂
开 本	787×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 331 千字 20 彩插
版 次	1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月第一次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	35.00 元

致 谢

本书与许多人所做的努力是分不开的。在计算机图形和动画领域内滚爬了多年，朋友、同事、客户、学生、教师和出版社都对我们的观念产生了重大的影响。

真正制作本书时，开始是得益于Dorothy Spencer的帮助，然后是Van Nostrand Reinhold的编辑，还有David Sachs和Donna Rossler的建议，他们对自己的工作非常尽职。本书的第二版是在VNR的走廊上由能干的编辑Amanda Miller和制作编辑Ron McClendon撮合而成的。

第一版中的插图由Patrice Bolté, Shane Kelly, Peter Morrison和Mark Sudell制作。Nora Barker, Luis A. Camargo, Suk-II Hong和Dick Rauh又对插图进行了补充。相信书中提供的照片和图像具有非常好的艺术效果。

第一版的文字处理人员有Gail Goldstein, Elaine Goodman和Ted Panken。在第二版中，由Dena Slothower和Gwen Sylvan进行了补充，并通过与Pacific Interface的Laurin Herr和Natile van Osdale合作增加了一些内容。我们的父母和家人，特别是 Linda Marchand和Christine Shostack，给予了我们支持和宁静，而且时常仔细讨论如何表达创意。

最后，我们要感谢使本书的第一版获得了成功的广大读者，他们购买和使用本书，将它推荐给同事，分送给客户和潜在客户，以使他们更好地了解这个新的世界。还有一些读者给我们提了一些建议，有意见也有希望，我们对此非常欣慰。

引 言

随着计算机价格的下降、高效程序的激增，以及更先进系统的实现，促使了计算机技术融入设计和美术制作之中；基于计算机的可视化生成正在成为改变图像制作方法的新景观。因此，图形设计人员、艺术家、学生和专家都应当认识到计算机技术将会带来更加丰富多彩、动感强烈的精美设计。用非技术用语来说，本书描述的是计算机在创建图形和对象方面的能力和局限。

印刷、影视和传播媒体的融合、可视电话和视频游戏等通信途径的出现，以及能够在计算机上生成和装配图像的复杂系统，为我们带来了一场视觉革命。但是，在孤立的系统中，仅靠敲打键盘并不能进行有效的设计。计算机技术只能执行一些制作和设计任务；而最根本的设计要求——风格、功能和品质——将由训练有素的专业人员来决定。客户向设计人员提出新的要求，推动了高级图形技术的发展，同时设计人员得到了新的创意和挑战，以及更广阔的市场。富有创新精神的艺术家可以制作出人眼最高能分辨的图形，还能模拟任意想象的图像。

本书的写作意图是作为一本参考资料，指出在图形技术发展过程中出现的各种问题，而不是一本绘制计算机图形的指导书。这一点反映在全书的结构安排上，本书分为三个部分，由十一个章节组成。第一部分包含背景知识和基本术语，作为掌握第二部分关于复杂图形处理的基础。第三部分讲述了一些专用应用程序。

前言

0.1 计算机图形学

图像在时空中传递交流已深深扎根在我们的历史中,差不多1000年来,人们都一直从事图像的处理工作。但通过机器指令来辅助图像处理却只是近来的事,它的起源大约可追溯至200年前。到了上个世纪,也就是我们祖父的祖父那个时代,机器画图变成了一种高级的艺术创作。也正是那个时候,蒸气或机械驱动的绘图机才得以发展,并开始了一些专门的应用(图0-1)。

19世纪时,绘图与逻辑处理被结合起来,到了20世纪中期,可编程计算机配上了阴极射线管显示器和笔式或喷墨绘图

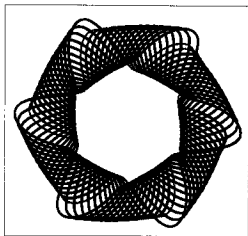


图0-1 远在计算机之前就已有机机械绘图设备了。本图是由调谐合成器绘制出来的。这种机器使一些圆在另一些圆中旋转,称之为调谐绘图(由Judson Rosebush提供)。

仪。这样一来,图片就可以先在计算机中定义和操作,然后再在屏幕或硬拷贝设备上显示出来。计算机图形学是艺术和计算机科学相结合的一种学科,它研究图形图像的生成和显示。今天,计算机已被广泛地运用到各种设计的图像制作中。近几十年来由于各种原因,大量艺术家、设计师、出版公司、建筑师、工程师、雕塑家、视频图像制作者以及动画创作人员都开始转向这一新的工作方式。其中最主要的原因是计算机运用到图像处理中,不仅能给人们带来实际利益,而且能增强人们的创造力。

0.2 电算化应用

世间万物都电算化恐怕不太可能,有不少人确实喜欢用传统的工具来工作,例如纸和铅笔、炭笔、钢笔和墨水、油漆、粘土、凿子等等。尽管如此,人们把创造力和设计构思结合到数字世界的愿望却越来越迫切。其中的原因有很多。

最基本的技术原因是利用数字系统可以毫不失真地对图像再生,而失真是所有传统模拟媒体都无法回避的问题,如唱片在与针头的接触中不断磨损和一遍遍复制引起的介质损坏。在数字系统中,每一份拷贝都与原件完全一致。这是“制作人员无法拒绝的诱惑”,因为不存在再生质量问题。

计算机设计系统可以替代许多传统设计方法,比如绘制或创建二维图形(图0-2)。计算机图形学可以用来设计和构造三维物体,这一点在工业设计中尤为重要。从简单的一筒牙膏,到一辆汽车、一幢大楼,都可以被构造出来(见彩页图0-3)。在大多数设计工作中,计算机可以在屏幕上提供交互式的设计创作工具。许多人都醉心于同计算机一道工作,因为“这种工作是如此令人乐此不疲。我可以随时进行编辑修改。我完全可以独立控制并干好所有的事”,一位刚刚“发现”计算机的人如是说。计算机是一个迷人的工作环境。

不过还有许多事情要考虑。首先设计人员或艺术家很少是单独工作的,他们要与同行保持联系,要得到观众的反馈,更多的是要与工作在一个组里的同事进行交流。例如编一本杂志、制作一个电视节目或设计一幢大楼,这些都是多个人共同来完成的,要有作者、画图人员、页面或帧的设计专家以及编辑。这就使得设计人员和艺术家们把工作融合到数字信息产品模型中变得很有意义了(图0-4)。

数字世界对任何人都是开放的,它同

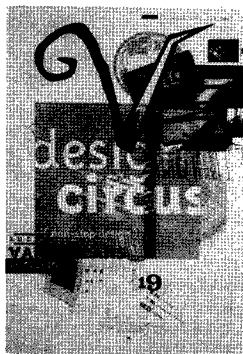


图0-2 计算机图形学不仅能够完全模拟二维设计过程,而且在许多方面有了进步(马戏团设计,由 John Weber 和 Rudy VanderLans 制作)。

样可以运用到诸如流水线产量这样的工作中。严格设计好的汽车数据库不仅可以用来绘制生产蓝图,还可以控制各部件之间的次序关系、汽车生产中机床和机器人



图0-4 多媒体结合了计算机图形、声音、电视图像和交互处理。当今制作的艺术品大多是团体工作的产品(由 Clement Mok、Doris Mitsh 和 Peter Vargas 提供)。

的动作。换句话说，一旦生产变得数字化，信息就可以用数字形式表示出来并精确地运用到产品生产中。这种情形与二维工艺设计无异，例如在刺绣中，设计一幅图画可以由程序分析后去形成缝制的线路，并按顺序控制缝纫机的操作(见图0-5)。这里最关键的一点是电算化使得整个设计和生产过程连接在一起。



图0-5 计算机图形学使得二维和三维物体设计和可视化融合到了生产过程中(由 Chenille Products 有限公司提供)。

最后有一点要技术人员了解。计算机图形学可以提供一种思维的工具和方法。用这种方法可以研究图片究竟是什么，如何表示它们、如何制作它们等方面的问题。换句话说，为了利用计算机来制作图片，必须掌握一种描述任务的语言和句子。这种“句子”可以是文本形式的，可以是图形形式，甚至可以用手势来表示。在计算机图形学出现以前，对图形的描述是含糊不清的。计算机图形学的出现改变了这一点，它使人们创造出新的正规的图形学语言。很大程度上讲，本书是一本有关计算机图形学语言的人门读物，它涵盖了制作图片中所用到概念和变量。

0.3 展望未来

尽管在设计行业和艺术品制作中，数字化的图形学和动画已经被广泛介绍，但从传统的手工方法的转变还并不彻底，还

有不少工作留给了学习艺术的人来做。甚至在艺术形态创作方面，在未来相当长的时间内，还会有新的变革。人们对图像真实模拟的要求已不限于Comet公司的简罐(见图10-19)，而要模拟更复杂的图像，如行走的人体(见彩页图0-6)。在未来，将会更多地模拟大自然的景象和变化。

真实并非仅指实际的图像，还包括实际的运动形态。今后，计算机图形学将不再只与文本相关(传统部分)，而且要与其它媒体如声音、视频、触觉结合起来。因为计算机可以数字化地表现所有媒体，这种结合就有了很大动力。所有的东西都变成了数字，含义也变得深远。过去的传统媒体，如书本、电影，由它们特定的方式生产(由胶片印刷而成)，现在完全可以由单个一台机器(计算机)来生产，而且可以记录到单一的媒体上(例如，CD-ROM、软盘)。媒体将不仅指具有物理形体的东西，而且可在计算机上以图形方式虚拟表现出来(见图0-7)。

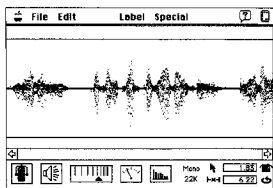


图0-7 数字计算机图形学用户界面可以虚拟地表示和制作桌面上的媒体。本图中是声音的波形(FarallonSoundedit的屏幕图)。

计算机不仅构造桌面上的虚拟媒体，而且越来越多地开始构造人们可以进入并参与的虚拟世界(见图0-8)。这种虚拟的现实可以通过头盔显示、立体视觉和位置跟踪来观察，使得虚拟的现实可以被实时地创建，并对当前场景进行交互处理。现

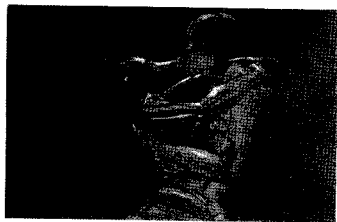


图0-8 虚拟现实可创建一个虚拟的世界。它不是通过屏幕来观察，而是真实地走进了虚拟世界（“The Lawnmower Man”的电子化场景，1992 Allied Vision Lane Pringle 产品，版权所有。动画由CA公司Angel Studios制作）。

在的发展方向是给身体的各个部分加上界面处理设备，如用来跟踪手和指头位置的数据手套，甚至跟踪整个人的全套衣服。在虚拟环境中，三维物体可以被看到，并能移动，可以听到精确定位的声音。如果戴上一只数据手套，还可以看到虚拟的手，当然也可以看到真实或合成的虚拟人物。

不久的将来，虚拟世界特别是交互式演示将会被“力”这种新的动态介质大大加强。而力的反馈不仅可以使虚拟世界看起来真实、动起来真实，而且能让人感觉也真实（图0-9）。比方说可以触到一堵墙，感受到粗糙表面上的画笔以及举起重物的感觉。

本书首先介绍计算机图形学的基本概念，并对硬件、软件、外设和界面加以探讨。在本书的第一版中，开头几章可能会使教师和学生有所吃惊。教师会以为学生已经知道这部分内容，而学生却发现内容是全新的。如果要授课的话，就得把这两方面结合好。在本书第二部分是关于颜色和二维、三维概念的介绍。如果要使用它们的话，就应当逐步掌握这些基本概念。书中第三部分是应用部分，主要涉及数字印刷业、出版业和工业设计中的二维、三维工艺。其余部分探讨了交互式多媒体和动画。读者可以不按章节顺序来阅读，希望本书能成为读者若干年后解答问题的一个



图0-9 视觉、听觉、味觉、特别的物理力量结合在一起形成多感觉反馈。它使得虚拟世界与真实世界越来越相似（虚拟系统由圣路易斯的Horizon Entertainment 公司提供）。

目 录

致谢	i
引言	ii
前言	iii
第一章 计算机图形学的基本概念	1
1.1 位、字节和字	1
1.2 数和代码	1
1.3 数据和程序	3
1.4 数据结构	4
1.5 维数和坐标系	7
1.6 连续和离散的图形	10
1.7 转换、混合形式和 ZEL	15
1.8 模拟和数字方式	16
1.9 变形	18
第二章 硬件和软件	21
2.1 硬件：基本元件	21
2.2 软件	26
2.3 语言	32
2.4 分布式处理和计算机网络	39
第三章 外围设备	42
3.1 外设的拓扑结构	42
3.2 零维外设(开关)	45
3.3 一维外设(语言和文本)	46
3.4 二维外主风(图形)	50
3.5 三维外设(空间的)	57
3.6 力外设	63
第四章 系统的界面	65
4.1 界面软件	65
4.2 GUI 结构分析	65
4.3 界面操作	67
4.4 虚拟应用程序	73

4.5	对话特性	76
4.6	制作和导演计算机图形学	77
4.7	界面设计要领	81
第五章	彩色与黑白	86
5.1	彩色系统	87
5.2	亮度控制	88
5.3	颜色控制	93
5.4	颜色校准和匹配	94
第六章	二维图像处理	97
6.1	一元图像处理	97
6.2	点到像素技术	104
6.3	二元图像处理	105
6.4	局部和全局操作符	112
6.5	图像增强	115
6.6	计算机视觉和图像分析	118
第七章	三维建模	122
7.1	建模	122
7.2	集合构造: 组合几何图形	131
7.3	基本变换	133
7.4	透视、透视窗口、视窗	137
7.5	表面属性	141
7.6	灯光和照明	142
7.7	着色	145
第八章	二维媒体应用	153
8.1	数字化印刷方法	154
8.2	说明系统	162
8.3	校色与分色	166
8.4	编页	166
8.5	精美的艺术品	168
第九章	二维交互系统	171
9.1	数字一体化多媒体	171
9.2	多媒体系统	175
9.3	多媒体应用	177
9.4	交互式视频工具和游戏	183
9.5	教育和培训	185
9.6	虚拟现实	189
第十章	三维媒体设计的应用	192
10.1	工业设计	192

10.2	建筑物及内部设计	197
10.3	包装设计	200
10.4	服装与纺织品设计	200
10.5	雕塑	202
第十一章	动画制作	203
11.1	帧滑动	203
11.2	简单二维动画	205
11.3	元素和三维动画	208
11.4	运动和时间坐标	212
11.5	易化的运动学和动力学	213
11.6	结束语	218

第一章 计算机图形学的基本概念

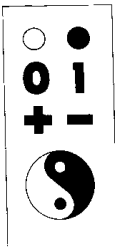
在本章中讲述的计算的概念是通用的,并不单单局限于计算机图形学。但要掌握计算机图形学本质,必须先理解这些概念。这些基本的原理概念在下面将会由具体的图形学知识加以阐述(见彩页图1-0)。

有关计算机图形学发展中的基本概念包含有:数和代码、数据结构、维度,特别是二维、三维空间和多维物体的表示方法。在涉及到点、线、平面、像素点、体积和体素的地方,会介绍连续的离散的方法。本章内容还将讨论模拟和数字技术,包括对数字计算机的描述,数模转换方法以及建立替身。准确地理解并掌握本章中提到的术语和定义将有助于理解书中的其它部分。

1.1 位、字节和字

位是最小的不可再分的信息单元,一个位只能表示逻辑或数字上的两种不同状态的其中之一。比如无和有、阴和阳、女和男、0和1以及正电极和负电极(见图1-1)。计算机中的位除了表示信息的作用外,还可用于控制信息。

图1-1 位用来表示两种状态之一:无和有;+和-,0和1;阴和阳。



计算机中的存储是指把各个位组织成固定长度或标准长度的一些单元。在计算机中有两种标准的单元:一种是字节,它由8个位组成,可以表示0~255的数或代码(如字母、数字或标点符号);另一种是字,它的长度由机器的硬件决定。通常情况下它是一个字节长或一个字节的偶数倍长。在16位机中一个字含有两个字节,而双字(32位字)则含有4个字节(见图1-2)。

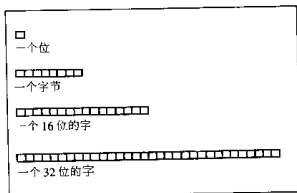


图1-2 1位、1字节、2字节组成的字、4字节组成的字。

1KB表示1024字节。1024字节叫做千字节,这与十进制中的千有不同的含义,它只是一种大约的表示方法。1MB为1024千字节,或者100万;1GB指1024兆字节,大约10亿;1个TB指1024个GB,大约1万亿字节。

1.2 数和代码

字和字节可以用来存储数和代码。数用来计算。整数,例如36,是一个不

可再分的整体。而浮点数,如98.64则是一个连续变化的量,它带有一个小数点。98.64就表示是一个介于98.635和98.645之间的值。代码用来表示物体或概念。它没有数值含义,可以用来表示扑克牌里的花色(见图1-3),表示字母,或表示数字(见图1-4)等等。

在计算机内,由位表示的数叫二进制数,它只有两个数字(0和1)。同十进制数一样,二进制数既可以表示整数,也可

以表示浮点数(见图1-5)。二进制整数可以像十进制一样进行计数,它采用带0的进位法。同十进制一样,二进制也可以进行加、减、乘、除运算,正、负号由最左端的一个位来表示。

有一点要注意的是,二进制数与二进制代码并不相同。1作为数时可以进行相加运算,但1的字母代码却只是一个符号。例如,在ASCII码中,5表示成00110101,而数字5表示为101。

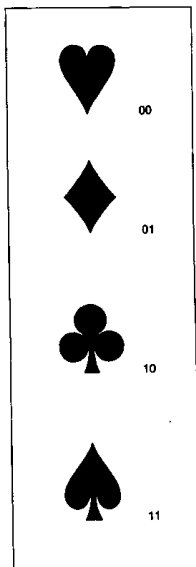


图1-3 表示扑克牌花色的代码。在计算机内图形符号由二进制数表示。

0	0011	0000
1	0011	0001
2	0011	0010
3	0011	0011
4	0011	0100
5	0011	0101
6	0011	0110
R	0101	0010
S	0101	0011
T	0101	0100
U	0101	0100
V	0101	0110
W	0101	0111
X	0101	1000

图1-4 部分ASCII代码表。8位可以定义256种不同的符号。

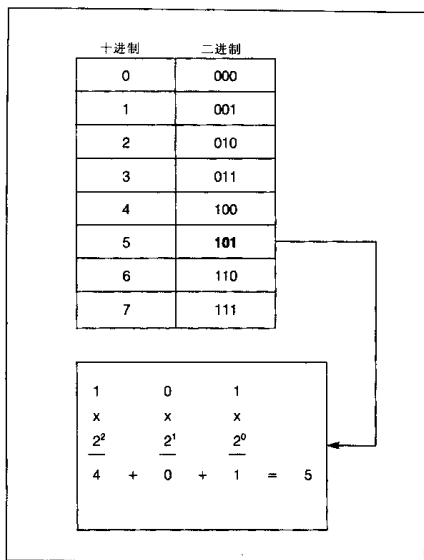


图 1-5 用计算机程序可将二进制数和十进制数相互转换。

1.3 数据和程序

位或二进制介质是表示数据以及逻辑指令的通用元素。数据为问题提供信息。例如在4+5这个问题中，4和5就是数据。一般来讲，数据指组织起来的信息，而不指过程。在计算机中数字、字母、符号、颜色、图片、建筑物、动画都由数和代码表示并保存起来。数据既表示实际事物，如

一个包裹，也表示抽象的非实际事物，如奢侈的未来生活。

计算机不仅能管理信息，而且可以存储、组织、管理过程。过程由一个定义好步骤能产生确定结果的程序来执行。一个程序可能只有简单的加减功能，也可能复杂到“增加消防队员照片中的对比度”。

大多数计算机图形学中的处理过程可以由程序来表示（见图1-6）。二维图形处理包括自由画线、调色、反色、对比度调整以及区域填充。三维图形处理包括透视作

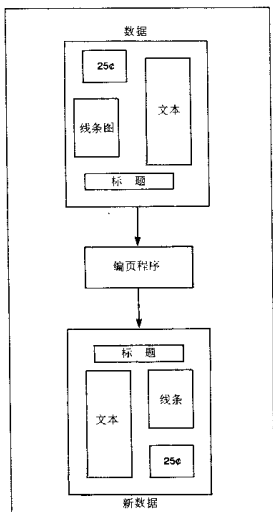


图 1-6 程序中设计一个页面的过程

图、判断可见面、纹理映射和阴影处理。有的程序用来分析三维设计、控制装配机床、组合部件、控制工厂生产、审查操作过程等。还有一些甚至可以分析其它处理程序，以寻求优化系统的方法。

使用计算机时，程序和数据都用二进制表示出来。在 $4+5$ 这个题目中，计算机把数据 $(4+5)$ 和处理过程 $(+)$ 都按位存储起来。数的二进制表示分别为100和101， $+$ 表示成命令或操作代码。下面是一个简表：

00+

01-

10×

11+

整个加法题目可念成10000101。二进制

代码可以表示逻辑命令(非、与、或)、比较(大于、小于、等于)、分支情况，以及用来在外设和内存之间收发数据的指令。

1.4 数据结构

数据是由位、字节或字组织而成的一个序列，进而组成更为复杂的形式，如矩阵、记录和级存储。

计算机内的字在内存中以数列组织起来，以0字为首，直到计算机中最大的字(见图1-7)。地址或索引是该字在序列中的位置。当需要对特定地址删掉或加上一个数时，就要先确定这个地址。要注意字的内容和字的地址完全是两回事。

作为计算机用户，无论是图形艺术家还是程序员很少直接对一个字的地址进行

十进制		二进制	
地址	地址值	地址	地址值
0	36	000	00100100
1	38	001	00100110
2	24	010	00011000
3	47	011	00101111
4	50	100	00110010
5	12	101	00001100
6	45	110	00101101
7	20	111	00010100

图 1-7 内存组织结构。每个位置有一个地址和一个值。

引用。尽管也能这样做。相反地，一般是用一个变量名来表示一个字，变量名可用英语以便记忆，它能转换成计算机内的存储地址。使用变量名的字叫变量，它里面的内容是可变的。也就是说组成字的位串可由艺术家或程序员进行修改。

计算机对内存中变量的处理有两个基本命令。一个是读，它可以得到一个变量中的内容。一个是写，它用来把值存到一个变量中去。这两个命令执行了对计算机

内存的存取操作(见图1-8)。

变量在计算机内不一定总是单个数字形式,它可以由二维三维地址表来构造。

Instruction and Result	Variable Name and Contents
WRITE A 30	A (30)
WRITE B 21	B (21)
WRITE C 10	C (10)
WRITE 15 INTO A	A (15)
READ A	B (21)
15	C (10)
WRITE (A+B) INTO C	A (15)
READ C	B (21)
35	C (35)

图 1-8 变量名允许使用类似英语的词汇
读取、修改、写入计算机内存中的内容。

通常的方法是用一个矩阵来存储数据(见图1-9)。矩阵中的每个值都有确定的行、列地址。当行列数以某种关系表示(如 5×7)时,被称为矩阵的形状。

除了矩阵形式外,数据还可以以记录形式存储。每条记录就是表中的一行,它可以包含多个不同的数据项或属性(见图1-10)。数据还可以树状形式存储,这样一来就可把记录、矩阵、单个字进行分级存储(见图1-11)。相关性数据结构可以把数据组织

		列						
		1	2	3	4	5	6	7
行	1	2	76	32	12	64	38	31
	2	92	20	39	13	28	3	89
	3	37	66	42	51	2	49	78
	4	71	43	15	58	7	80	11
	5	16	43	72	36	95	27	44
		矩阵 D						

图 1-9 由行列数表示的矩阵形状,本图是 5×7 矩阵。每个矩阵有自己的变量名。矩阵中的每个元素由它的行、列来确定地址。如读取 D[3, 4]表示读取第3列,第4行交叉处的值(15)。列行矩阵 D。

成网络形式,这样在存取数据时可以有多种方法(见图1-12)。

矩阵、记录、网络是建立数据库的三种不同途径。这种组织好的信息集合有助于通过对属性搜索和排序,得到所需的信息。

图像和物体同非图像数据(如统计信息、计划表格、描述性文本信息)一样都可以存储在数据库中。它们把图像数据如螺栓与非图像数据如其某部分的数值联系起来。

国家	首都	人口	纬度	经度	面积(平方公里)	地图
泰国	曼谷	34,152,100	13.45 N	100.31 E	514,000	
法国	巴黎	51,000,000	48.52 N	2.20 E	543,998	
墨西哥	墨西哥城	55,000,000	19.24 N	99.09 W	1,972,544	
匈牙利	布达佩斯	10,428,000	47.30 N	19.05 E	93,032	
印度尼西亚	雅加达	119,752,000	6.05 S	106.48 E	2,000,000	

图 1-10 本例描述的是一组地理信息。包括有国家和首都(字母数据),人口(数字数据)和国家地图轮廓(图形数据)。此外还可以包括一些抽象数据,如每个首都年收入。这样的表格有利于对属性进行查询,如首都在北半球并且人口超过100万的国家有多少。