

北京希望电脑公司CAD技术丛书



C语言高级CAD图形 程序设计技术与实践

谭英 编译
李天庆 审校



海洋出版社

北京希望电脑公司 CAD 技术丛书

C 语言高级 CAD 图形程序 设计技术与实践

谭 英 编译

李天庆 审校

海洋出版社
1992年·北京

内容摘要

本书介绍了如何在微机环境下用 C 语言编制三维模型化、绘图及动画的技术。书中除介绍基础理论知识外，还提供了大量的程序实例，以帮助读者尽快地掌握 C 语言的三维图形程序设计技术。此外，为方便读者，本书还提供了书中所有示例程序的磁盘。本书对从事计算机图形程序设计的人员，尤其是对从事 CAD 工程设计人员来说，是一本很好的参考书。对 CAD/CAM 专业的学生而言，也可将本书作为理论向实践转换的指南。

需要本书请与北京 8721 信箱联系，电话：2562329，邮政编码：100080

(京) 新登记 087 号

责任编辑： 阎世尊

C 语言高级 CAD 图形程序设计技术与实践

谭 英 编译
李天庆 审校

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街 1 号）

海洋出版社发行 北京海淀菡峰图书文献服务部印刷

开本：787×1092 1/16 印张：28.875 字数：636 千字

1992 年 2 月第一版 1992 年 2 月第一次印刷

印数：1—4000 册

ISBN 7-5027-2750-7/TP·107 定价：17.00 元

目 录

第一部分 理论基础

第一章	基本概念	4
1.1	三维图形与其它图形的差异	4
1.2	三维图形的用途	6
1.3	三维图形概述	7
1.4	三维图形的一种定义	7
第二章	硬件	8
2.1	图形适配器	8
2.2	图形方式	10
2.3	图形适配器的工作方式	10
2.4	显示内存映象	15
2.5	图形程序的可移植性	19
2.6	图形适配器标准	21
2.7	监视器	24
第三章	软件	26
3.1	C 的优势之一: 用途广泛	26
3.2	C 的优势之二: 强大的功能	26
3.3	C 的优势之三: 较快的速度	27
3.4	利用 C 编译器编制程序概要	27
3.5	集成的 C 语言编程环境	28
3.6	集成 C 编译器的工作方式	29
3.7	程序设计过程	30
3.8	典型的 Quick C 编程环境	31
3.9	典型的 Turbo C 程序设计环境	32
3.10	内存管理	33
第四章	程序控制	34
4.1	C 程序结构	34
4.2	C 程序控制	35
4.3	C 的操作符	35
4.4	C 的循环控制	37
4.5	C 的分支语句	38
4.6	C 的变量	39
4.7	C 中的数组	40

4.8	C 程序的可移植性	40
4.9	语法的可移植性	42
4.10	与 C 编译器通讯	43
第五章	图形控制	45
5.1	基本的图形功能	45
5.2	高级图形功能	50
5.3	与图形有关的句法	55
第六章	使用 Quick C	56
6.1	系统内存映象	56
6.2	DOS 环境	58
6.3	QLB 函数库软驱动系统	59
6.4	运行一典型的 C 程序进行实例分析	61
6.5	分析程序	64
6.6	常见的错误信息	65
6.7	创建 EXE 文件	66
第七章	使用 Turbo C	67
7.1	系统的内存映象	67
7.2	DOS 环境	69
7.3	运行一个典型的程序进行实例分析	69
7.4	分析程序	73
7.5	常见的错误信息	74
7.6	生成 EXE 文件	75

第二部分 模型化

第八章	三维图象的基本知识	76
8.1	世界坐标	76
8.2	生成三维模型	77
8.3	模型组件	78
8.4	B_rep 模型化	80
8.5	视图化	80
8.6	子实体	80
8.7	CSG 模型化	80
8.8	选项	81
第九章	三维模型的操作	84
9.1	三维算法	84
9.2	放置公式	84
9.3	平移公式	85
9.4	投影公式	86

9.5	变形棱角	87
9.6	弧度和度	88
9.7	放置—平移序列	91
9.8	缩放	91
9.9	组成操作	92
第十章	立方体	94
10.1	透明的线框立方体	94
10.2	全程变量和局部变量	95
10.3	主函数	95
10.4	变量初始化	98
10.5	消去隐藏面	98
10.6	目标空间和图象空间	99
10.7	实心立方体—平面方程式法	100
10.8	平面方程式公式	100
10.9	优化的数据库	100
10.10	擦子	101
10.11	一个通用的算法	102
10.12	使用编译器的注意事项	104
第十一章	球体和圆柱体	127
11.1	实心球	127
11.2	区域填充种子点	130
11.3	监视器的精度	131
11.4	实心圆柱体	132
第十二章	三维空间曲线	163
12.1	三次参数曲线	163
12.2	三维自由曲线	163
第十三章	表面映射	177
13.1	表面映射	177
13.2	映射立方体	177
13.3	映射圆柱体	180
第十四章	多模型显示	212
14.1	隐藏面消除的种类	212
14.2	十种隐藏面消除的方法	212
14.3	辐射角预排序法	214
14.4	辐射角排序法	215
14.5	平面方程式法	215
14.6	隔离平面法	215
14.7	深度排序法	215
14.8	光线跟踪法	216

14.9	分解法	216
14.10	Z 缓冲器法	217
14.11	最小最大法	218
14.12	扫描线法	219
14.13	有关程序设计的一些问题	219

第三部分 绘制

第十五章	光照和明暗处理	220
15.1	明暗处理算法	220
15.2	入射角	221
15.3	光照与反射	221
15.4	表面类型	223
15.5	光线跟踪	225
15.6	在人计算机上做的光照和明暗处理	226
第十六章	PC 上的明暗处理模式	227
16.1	半色调方法	227
16.2	半色调功能展示	227
16.3	位铺盖的两种策略	230
16.4	线颤动技术	232
第十七章	计算机处理明暗技术	245
17.1	一般算法	245
17.2	专用算法	246
17.3	计算机明暗处理立方体示例	247
17.4	illumination()子程序	247
17.5	Shade()子程序	249
17.6	子程序 dither()	251
17.7	以立方体为示例	251
17.8	计算机对球的明暗处理示例	252
17.9	计算机对圆柱体的处理示例	253
第十八章	反射和阴影	309
18.1	镜面反射	310
18.2	阴影	310
18.3	镜面反射演示程序	311

第四部分 动画技术

第十九章	动画技术基础知识	331
19.1	BITBLT 动画	331

19.2	线框动画	332
19.3	实时动画	332
19.4	优缺点	333
19.5	其它动画技术	333
第二十章	帧动画	334
20.1	达到硬件速度的软件	334
20.2	选择图形方式	334
20.3	三维实体模型的帧动画示例	334
20.4	main()过程	336
20.5	动画管理程序	336
20.6	造型	336
20.7	程序示例	336
20.8	帧动画的潜力	337
第二十一章	实时动画	351
21.1	实时动画机理	351
21.2	提高性能的四方法	351
21.3	实时动画示例	352

第五部分 应用

第二十二章	包装设计实例分析	357
22.1	准备包装盒	358
22.2	设计准备	358
22.3	包装设计示例	358
22.4	程序工作原理	360
22.5	改进设计	361
22.6	硬件环境	361
第二十三章	飞行模拟实例分析	381
23.1	飞行模拟中的三维计算公式	381
23.2	空战模拟中的三维计算公式	382
23.3	应用飞行模拟原型	382
23.4	程序工作原理	383
23.5	程序模块分析	384
23.6	修改源代码观察不同情况	388
第二十四章	实例分析—容器设计	409
24.1	程序工作原理	409
附录 A	C 语言图形设计的数学基础	433
A.1	移动光源	433
A.2	三角学原理	435

A.3	几何学定理	435
A.4	弧度表示	436
A.5	消除隐藏面	436
A.6	向量乘法	436
A.7	计算机控制下的明暗处理	438
A.8	旋转公式	438
A.9	三次参数曲线	440
附录 B	采用 C 绘制图形的磁盘程序	441
B.1	存储 VGA 和 EGA 的屏幕图形	441
B.2	存储 CGA 的屏幕图像	441
附录 C	变量字典	452

简介

本书讨论了在 IBM 及其兼容机环境下进行三维模型绘图和绘制动画的编程技术。我们所使用的编程工具是在微机领域内广为流行的 C 语言；使用本书所介绍的图形编程技术和 C 语言的强大图形功能，我们可以编写出质量颇高的绘图程序。

书中列出了众多有参考价值的源代码，仔细分析它们，读者将会学习到许多专业化的高级程序设计技术。通过这些程序实例，我们将学习怎样建立精确的实体三维图像；另外，我们还将介绍如何选择这些图像在屏幕上的显示方式—透明的线框模型或实体模型。在学习了本书之后，只要将某些代码稍做改动，就可以产生将些模型旋转以及将视点变近或变远的效果。

此外，我们还将介绍如何建立带有明暗处理的模型。书中介绍的方法是让计算机去计算光源的位置，然后通过按键改变光源的位置，另外还将介绍使模型产生移动效果的两种方法。

0.1 本书的读者对象

任何对计算机图形技术感兴趣的 PC 机用户都可以通过本书学习到颇有价值的图形编程技术。对于 C 程序设计的初学者来说，本书为他们提供了一个计算机图像的动人世界，使他们能深入地了解计算机图形技术。对于已有编程经验的用户而言，可以通过阅读本书学习一些高深的图形技巧，即使是对专业的 C 程序设计人员或软件开发者，本书也是有参考价值的，利用书中介绍的一些图形技巧，可以改进目前的图形程序。对于专业 CAD 系统用户来说，本书也不失为一本理想的参考书，书中介绍的技术会使 CAD 系统的用户对 CAD 软件包中众多的概念和算法产生深刻的认识。

0.2 本书的特点

本书是为 C 程序设计人员而编写的一本实用工具书。我们要讨论的重点是使读者理解示例程序中的许多重要概念，以帮助读者将来能够编写自己的图形程序。本书介绍的图形程序设计技术可应用于下列领域：建筑设计、工业部件、包装设计、绘制规划、车辆设计和飞行模拟。本书自始至终使用了模块化的程序设计技术，这样利于程序的调试和在用户程序中利用示例程序。

本书是以教材的形式组织的。前面介绍了一些重要的基础知识，以为稍后的高级内容奠定理论基础。书中以模块形式给出具有特定功能的各个独立子程序，将它们链接在一起后就可形成一个完整的高级应用程序。

书中给出的每个源程序代码均是功能独立且完备的。各个源程序均可在 IBM PC、

XT、AT 及其兼容机的 C 语言环境中运行。此外，在每个示例程序中，我们都给出了一个特殊配置模块，这样可使软件一开始就能够适应不同的硬件环境，以便能够产生出质量较高的图形。如果使用 VGA 适配器，我们经常选择 640×480 及 16 色方式；如果使用 EGA 适配器及增强型监视器配置，则选择 640×200 及 16 色方式；对于 CGA 或 MCGA 适配器，程序选择 320×200 及 4 色方式。

0.3 本书的组织

本书由五个部分组成。

第一部分是理论基础。这一部分介绍了 PC 机、各种图形适配器和各种监视器的绘图能力，另外还介绍了 Quick C 和 Turbo C 的图形潜力。这一部分还将讨论图形指令和模块化程序设计技术。这些内容都是在 PC 机环境中实现模型化、绘图和产生动画的基础。此外，我们还将介绍用 C 语言管理键盘和屏幕的全新方式。

第二部分是模型化技术。我们将介绍有关三维模型的重要概念和技术，如自动消除隐藏面等。我们将说明怎样去旋转、缩放和移动一个计算机产生的三维图形，示例程序给出了能够产生立方体、球体和圆柱体等基本形状的源代码。我们将介绍产生三维平滑曲线的高效算法，此外还将学习怎样使用将表面映射在圆柱体和立方体等三维容器的表面上画出图形。

第三部分是图形绘制，将主要介绍 PC 机上关于光照与明暗处理的技术。在这部分中，我们将向读者介绍一些在专业系统中实现的重要基本概念。我们将使用著名的半色调技术和线颤动技术来产生一系列浓淡的色调，还将介绍一个由计算机控制的形成浓淡色调的矩阵算法。这部分中的示例程序演示了用 PC 机产生经过浓淡处理后的立方体、球体和圆柱体模型。此外，还将向读者介绍镜反射和阴影处理等高级技术。

第四部分是动画绘制，介绍了在 PC 机上生成高速动画的编程技术。在这部分中，将首先介绍各种机器、图形适配器和监视器在使用 C 语言时所具备的动画图形能力。通过这部分内容的学习，将使读者能够以每秒 10 至 18 帧的速度来产生全屏幕帧动画。另外，我们还将说明，在 VGA 或 EGA 图形适配器上生成实时动画子程序将是建立生动画面的主要手段。

第五部分是图形程序设计应用实例，将主要探讨在 PC 机上进行模型化、绘图及产生生动画面的一些实际用途。这一部分总共给出了三个应用实例，一个是典型的卡通图形设计程序；另一个是用全功能飞行模拟样板来模拟三维宇宙空间飞行的程序；最后一个是关于容器设计的应用，它给出了用 C 语言开发强功能图形的众多经验和技巧。

0.4 开发环境

软件要求

Quick C 2.0 以上版本；或
Microsoft C 6.0 以上版本；或
Turbo C 2.0 以上版本。

硬件要求

IBM PC、XT、AT、PS/2 或兼容机

关于图形适配器的说明

如果机器使用 CGA 图形适配器，则程序应在 320×200 及 4 色方式下运行；如果使用 EGA 图形适配器，则对于增强型显示器或多扫描行显示器，程序在 640×350 和 16 色方式下运行，对于标准的彩色显示器而言，则程序应在 640×200 及 16 色方式下运行；如果机器使用 VGA 图形适配器或 QuadVGA 等类似于 VGA 的图形适配器，则程序应在 640×480 及 16 色方式下运行；如果使用 MCGA，则程序应以 CGA 方式运行。

第一部分 理论基础

第一章 基本概念

对于从事计算机图形程序设计的软件开发人员而言，计算机技术的飞速发展使他们拥有了越来越多的能够施展其才干的机会。在世界各个地区，办公室和家庭所使用的 IBM PC 及其兼容机大约有八百万多台，而且绝大多数计算机均具备 VGA、EGA 或 CGA 的图形功能。一个令人不容置疑的事实摆在了人们面前，越来越多的用户都期望使用计算机的图形功能。越来越多的用户和软件设计人员已经认识到，图形是帮助学习、理解和掌握软件的最佳方式。由于大部分软件都是用 C 语言编写的，所以越来越多的 C 语言程序设计人员已深刻地认识到，不掌握图形程序设计技术就很难适应当今软件市场的激烈竞争。

对计算机图形(尤其是三维图形)程序设计算法的理解，将会使程序设计人员能够实现极为理想化的模型、富于号召力的说明、以及高性能的行为模拟和高速动画。这些编程技术和技巧将有助于编写功能完善的娱乐软件、报表软件、企业应用软件、桌面印刷软件以及计算机辅助设计软件。

1.1 三维图形与其它图形的差异

在程序中增加了三维图形后有什么显著的特征呢?让我们来看图 1-1。图 1-1 给出了一个图形的三种不同视觉方式，图的上方只给出了正视图，对于模型的正视图、后视图、左视图、右视图、俯视图和仰视图，我们称之为正交视图，正如我们在图中已看到的那样，正视图是一种简单的二维视图，它仅能给出有限的视觉信息。

在图 1-1 中，中间的图例是同一模型的等角视图。在等角视图中，表现深度的直线是以 30 度角画出的，通常称之为 2.5 维视图，但实际上仍是二维视图。为了便于对线段进行度量，等角视图对线段不进行按比例缩小，因此用这种方法给出的较长模型将会严重扭曲变形。虽然等角视图比正交视图更富于表现视觉信息，但它仍不能准确地表示现实世界。

图 1-1 的下方图例是同一模型的三维视图，它反映了真实的视觉信息。从图 1-1 中给出的三种视图效果不难看出，三维图形能够准确地表现现实世界中的模型。利用计算机，我们也可以象生成二维图形那样对同一模型生成三维图形。

尽管图 1-1 仅给出了一种三维图形，但其意义却是明显的。图 1-1 中的图形只是现实世界景物的静止描述而已，如果将模型置于手中，我们通常还会要换几个角度去观察

它 类似地，在计算机上，我们也可以对三维图形进行旋转(本书的第十二章将介绍帧动

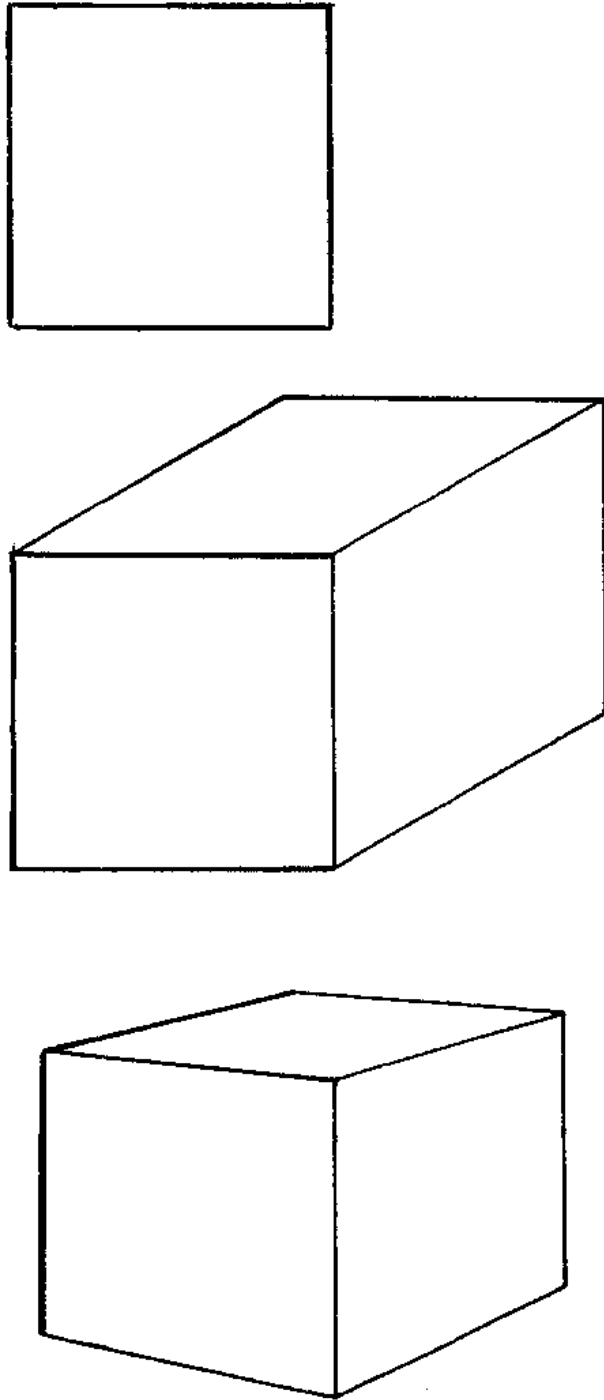


图 1-1 上图: 正视图, 中图: 等角视图, 下图: 三维视图

画技术来实现这一处理)。这样一来,计算机的显示器就表现了实物的丰富信息。实践已经表明,在计算机图像领域中加入了三维图形和动画后,使图形变得形象化就更为容易了。

1.2 三维图形的用途

采用三维图形或运动的三维图形的软件一般来讲都具有较强的综合性。如果没有三维图形,CAD、CAM、CAE、CAS和MCAE就无从谈起。

这里,CAD指的是计算机辅助设计;CAM指的是计算机辅助制造;CAS指的是计算机辅助式样(style)设计,它主要应用于包装设计领域;MCAE指的是机械计算机辅助工程,其中包括有限元分析等高级技术。

三维计算机图形可以进行建筑设计的草排,帮助工程设计人员事先弄清管道的线路和构成成份之间的关系。这样,就不需要设计人员、描图员和建筑师去为它们的设计构造分析模型了。

三维计算机图形也可应用于地球物理学领域,以提供富有参考价值的分析信息。挖掘、采矿或钻井等工程可以使用计算机构造并分析地表及内部的土壤、水资源和矿物的储藏情况,从而带来可观的经济效益。

另外,在医疗诊断领域,也可以应用三维计算机图形学,对人体的扫描可以为从事外科和物理疗法的医生们提供卓有价值的信息。此外,即使在很小的医疗中心,也可以使用计算机辅助层面X线照明(CAT扫描)。

在电影界中,三维计算机图形学也是一个很重要的技术。许多特技效果(工业上称之为EFX)实际上就是计算机产生的三维图像,我们所熟知的电影“星球大战”、“星际斗士”等都广泛地利用了三维计算机图形学技术。

在技术图像领域中,三维计算机图形也在发挥越来越大的作用。在广告作品、指导说明、安装指南和培训教材中,我们常常可以看到许多的插图和色彩丰富的说明,这些都是三维计算机图形学的应用成果。

三维计算机图形学还是CAD/CAM领域的主要支撑技术。使用计算机的三维图像,用户可以检查不同部件的结合程度、工具的洁净程度以及证实运动物体的动作等,所有这些工作都没有必要预先做出现实的模型来完成。三维计算机图形不仅可用于评估成模、加工及打铸部件,还可用来评估复杂的铸件。CAD/CAM软件已用于象讲演台、水泵、家庭用具、相机盒、涡轮叶片、发动机部件等多种完全不同的东西设计。

即使是用来表演和汇报的图形以及用来分析的图形,给它们加上三维模型产生的效果也会更好。娱乐软件很善于使用三维图像,桌面排版程序也开始支持三维模型的位图(使用TLFF位图文件格式方法)。

C图形程序设计人员一旦掌握了三维模型化、隐藏面消除及计算机控制色彩浓淡等基本算法后,便可在这些令人激动和富于挑战的领域进行工作。这里首先需要的是掌握用C语言开发高性能CAD图形的技术。

1.3 三维图形概述

计算机图形学是程序设计中一个相对独立的领域，而三维图形学则是该领域中特殊的一部分。很多商用软件包给人们的印象是，三维图形学的算法极为复杂，实际并不是这样，当你看完本书之后就会体会到它并不象所想的那样复杂。

当前，个人计算机系统强大的功能和 C 编译器提供的崭新的图形功能给大多数 C 程序设计人员直接写 C 的图形函数，特别是三维函数提供了可能，C 程序设计语言的模块化方法能合理地处理 C 源代码(只要将测试后的子程序加入到新程序中即可)。例如，一旦开发测试一个用于计算落入任一表面的光照强度子程序后，就可在所有的三维程序中使用它。

1.4 三维图形的一种定义

下面我们要讲述三维计算机图形的实质。

三维计算机图形就是具有物体的数学定义和几何模型之类的意思。几何模型分为三类：线框、实心以及全具深淡处理的。所有这三种几何模型都可以在带有 VGA、EGA 或 CGA 图形适配器的 IBM 兼容个人计算机上产生。

一、线框模型

线框模型是一个固定的模型，它不涉及隐藏面消除的问题。

二、实心模型

实心模型是一个消除了隐藏面的黑白两色图形，可以用 CSG 法(可构造的实体几何法)或 B_{rep} 法(边界表示法)产生。这两个名字看起来好象有些玄妙，但读完第八章就知道表达它们是相当直观的。

三、全具浓淡的模型

一个全具浓淡的模型是表面经浓淡处理以模仿现实世界的光照和阴影的实心模型。此过程称为绘制，模型的产生称为模型化。

对三维模型的旋转、平移和分析是产生三维模型和绘制程序的大多数高级特征的主要手段。

第二章 硬件

如果想用 C 语言进行图形程序设计，那么就需要对硬件图形功能有较全面的了解，这有别于其它形式的程序设计，至少应该知道所使用的计算机系统的图形功能和限制，最好能全面了解 IBM 个人计算机、兼容机、图形适配器和监视器家族广泛的图形能力。

影响一台特定的微机系统产生图形的数量和质量有三种因素，这些因素是：图形适配器、显示监视器和程序设计语言。本章讨论图形适配器和显示监视器，下一章讨论程序设计语言对图形输出的影响。

2.1 图形适配器

决定系统的最大的图形功能的因素是安装在计算机中的图形适配器，一般用于个人计算机的图形适配器有四种：VGA、EGA、MCGA 和 CGA。这四种适配器共可产生的图形方式、颜色数量从两色到 256 种颜色不等，显示精度从 320×200 到 640×480 不等。

2.1.1 CGA

CGA 是世界上 IBM 兼容个人计算机的通用标准，常称之为彩色 / 图形适配器。如图 2-1，CGA 可产生 320×200 ，4 色屏幕和 640×200 ，2 色屏幕图形。

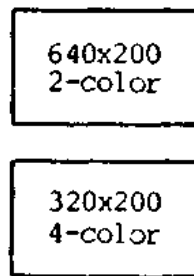


图 2-1 CGA 上的图形模式

320×200 表示横向 320 个象素、纵向 200 个象素，象素是软件可控制的显示屏幕上最小的可视单元，一个象素通常由一个红点、一个绿点和一个兰点组成，三色结合产生屏幕象素的颜色。

虽然 CGA 是很好的通用图形适配器，但是在 320×200 、2 色方式下，分辨率有限，在 640×200 、2 色方式下，颜色数量有限，这使得进行高级图形程序设计时心有余而力不足，对于学习目的来说，使用 CGA 图形适配器也就可以了。

CGA 常与标准彩色显示监视器并用。