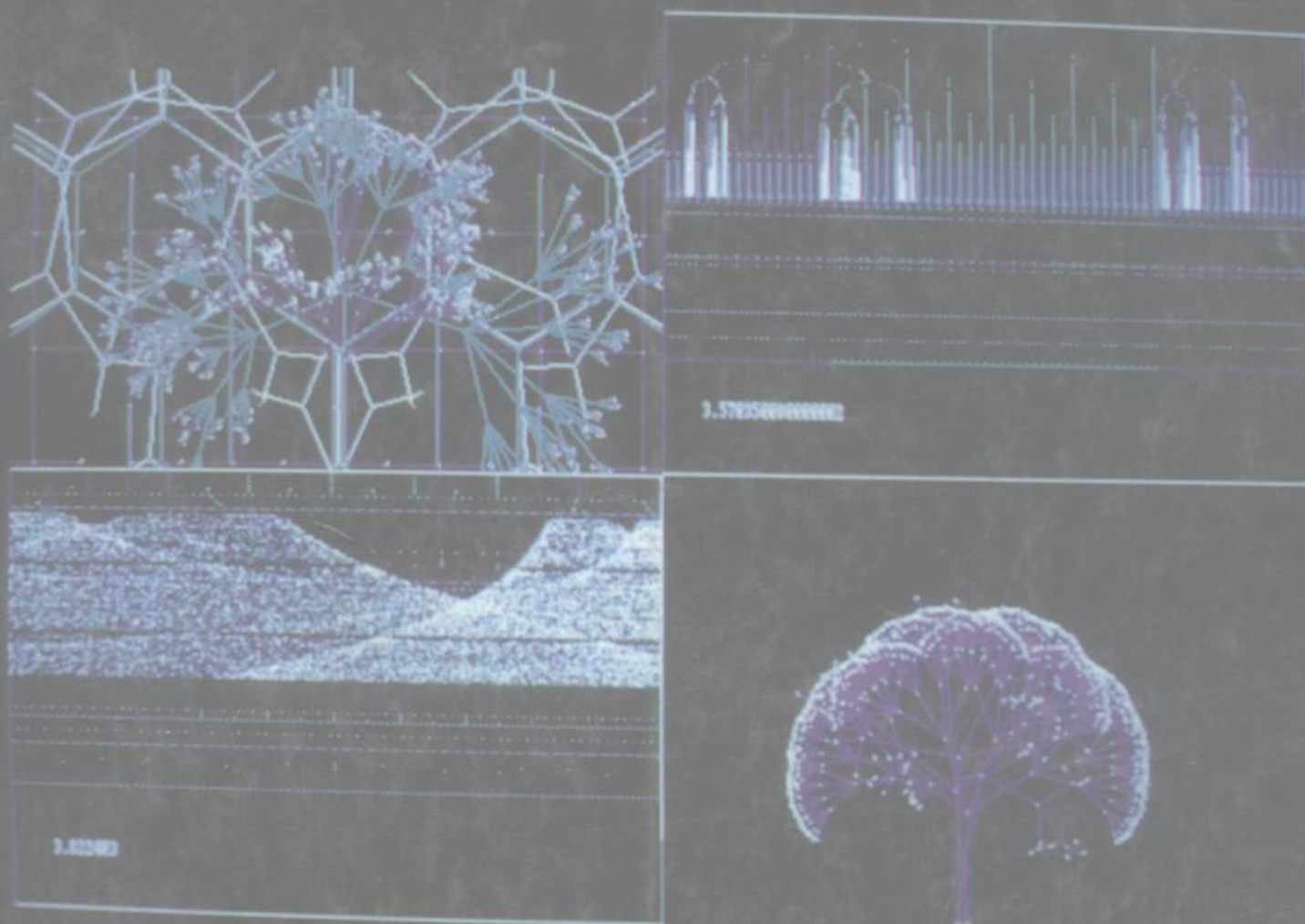


計算機圖形 原理與編程

王义豹 著



ELEMENTS and PROGRAMMING
Computer Graphics

天津科学技术出版社

ELEMENTS and

1.41

3/1

计算机图形 原理与编程

王义豹 著

ELEMENTS and PROGRAMMING

—Computer Graphics—

天津科学技术出版社

· 津新登字(90)003号

计算机图形原理与编程

王义豹 著

*

天津科学技术出版社出版

天津市张自忠路189号 邮编300020

天津市红桥区科委激光照排中心排版

天津商学院印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张34.5 插页8 字数835 000

1993年8月第1版

1993年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5308-1332-3/TP·41 定价:30.00元

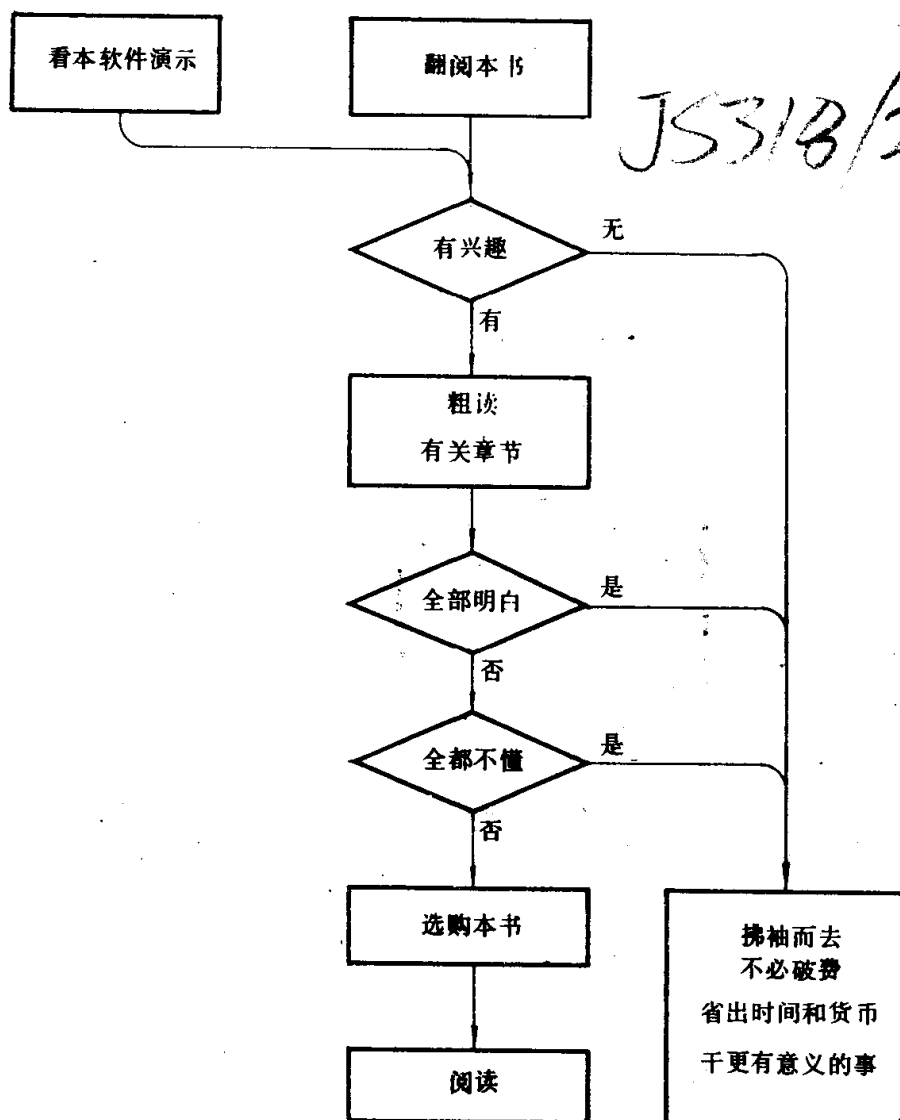
0381200

内 容 简 介

本书通过阐明图形的数学原理与计算机图形显示的关系，使读者学会图形编程方法，掌握编程技能。书中以基本几何算法和二、三维几何变换及凸多面体消隐等内容为主干，论及常见函数曲线、任意曲线、透视及体视，并列举了若干工程应用实例。对混沌理论和分维几何等尖端领域的问题也作了适当的介绍。书后附有 68 个独立的图形程序原码，可供读者练习、调用。

本书可作为计算机图形编程的自学读物、培训教材，大专院校计算机图形学课程的辅助教材。

书中某些章节对计算机美术人员及非计算机图形专长的专家、教授、学者也有助益。至于是否决定选购、阅读本书，可按以下流程行事。



INTRODUCTION

You might handle with some of software packages before, which are based on graphics. However, you don't know why they can display like that. This package, now, provides a bridge, or we can say, a vehicle by which to help you over the initial hurdles of learning this new, exiting, interesting, and powerful computer method —— GRAPHICS.

This PACKAGE is an introductory guide for users who are new comers to graphics and have never built any program employing graphical techniques before.

This PACKAGE will, soon or later, be proved itself to be of great helpful, friendly, and instructive tools to people: students, teathers and workers from aeras as diverse as university, high school, company, factory, and entertainment. However, the only prerequisite for those who want to engage themselves in following this package step by step is that you have had the really and trully gualified scale of senior high school.

This PACKAGE comes equipped with 2-D, 3-D geometric transformations, perspective projection, vivified model-board processing, graphics generation, and some mathematical models dealing with chaos theory, fractal geometry etc. to hold everything together.

This PACKAGE is wholly included in 3 diskettes: each for demonstration, programs, and data files separately. It is released by TSINGHUA University Press, named Graphics and its Applications using Personal Computer.

请勿略而不读的一段话

——代 序

以我个人的切身感受来说，我国大批初接触或将要接触计算机图形工作的新手，是需要这样一套材料的（既有文字说明，又有现成存入磁盘的可以运行的程序及可查阅参考的源程序）。这中间青年人占绝大多数，包括中学生、大学生和工作中的年轻人，此外，还有少数中年人甚至个别老年人。在实际工作中，我多次被问到同类问题，涉及到图形变换的基本数学运算，也旁及一些计算机的技巧。在作个别传授和讲课时，向他们“灌输”过程中，感到缺少一本合适的材料。当我推荐某些书时，他们颇有“天赐宝书虽好，怎奈肉眼难识”之感。从技术角度看，其障碍无非是数学和英语的熟练程度欠火候，以及缺少起步的计算机图形方面的实际经验。我问他们。你们为什么不动手去做呢？他们多有入“地”无门之感，言外之意，他们也有为科学不惜“入地狱之门”的决心，无奈门坎都太高。

在一段相当长的时间内，慢慢积累起若干可为他们所接受的东西，形成了本书的主要内容，也使我设立了读者群。

他们：

一、真正地具有高中数学水平，能熟练地进行平面几何、三角函数及解析几何的基本运算；

二、独立地运用 BASIC 语言编过几个程序；

三、最好受过一些投影几何的训练或自学过，有感性直觉也可以；

四、最好具有一些必要的向量和矩阵运算的常识。

当然，前两条是主要的，而后两条可以通过本书的学习，逐步提高。一句话，就是假定读者已具有初步的空间想象力和数、形结合的运算能力。这样的读者，读起本书来，可以比较轻松，也能在较短的时间内掌握要点。然而为了兼顾更多的人，兼顾那些在上述四项基本条件中某一方面不太充分的读者，叙述时尽量由浅入深。这样一来，在四项兼备的人看来，难免有重复罗嗦之感，但只有这样，才能使大多数的读者通过本书，在上述四方面有所补益、长进、熟练，臻至能灵活地自己编图形。当然，有的人干脆对数学没有兴趣（在与数学如此紧密相关的计算机行业中也有不少这样的人），即使这些人也决不会没有收获，因为书中出现的程序，都是搬到机器上就可以运行的，用一个英语词

汇，就叫“Ready to Run”。

为此，就不得不设定一种机器，这就是 IBM PC 系列机及其兼容机（作者本人无可选择地是在 IBM PC/286 机上和 DOS V3.2 操作系统下开发出来的），所用语言 BASIC A 及部分 Assembler（汇编）。(CGE 彩卡，绝大部分可与 CGA 和 EGA 兼容)

有人会说，这套东西太没价值了，现代计算机行业发展迅猛，几年甚至几个月就“一代”，你依附于这样一种专门机器，不是作用太有限了吗？谢谢你的提醒，正因为这样，本书的侧重点是在提供原理、思想、思路、方法，有时几条语句的一个程序，所作的文字解释，可达数千言。我是重“灵魂”、重实质、重精髓的。然而不要误会，以为我只重视知识、理论。错了，恰恰出你所料，我把“技能”看得高于“知识”，“知识”如果不能转化为“技能”，则最多只不过沦落为谈天说地、神聊胡扯的资料。泛泛的知识不可没有，也不可过多，多到泛滥成灾，淹没到忽略了刻苦的技能训练的程度，则将贻害无穷。

因而，训练读者把“理论”转化为“实践”正是本书的意向所在。

需要说明：我最多不过是试图传播计算机图形学，因为我们将要讲解的绝大部分的核心内容，都是在计算机出现以前，早已完成了的。当然，计算机实现它们时，必须作一些更“细致”的加工。从中，你必然体会到：愈是核心的东西，例如基本的数学原理之类，愈是稳定，“相对静止”，不为表面、浅层的变化所易，所惑。你若能抓住千变万化中起核心作用的“不变”，你也就可以自信，已把握住某些规律了。因此，对于用过本书之后，能在几何原理向程序的“转换”这个环节上，抓住它，也就可以说是掌握了要害、关键。当你想修改程序或把它移植到你自已需要的其它语言、其它机器上时，也只不过是找一个现有程序的思路或说“灵魂”的不同实现或不同的“肉体”，或说“模型”而已。

有人说，某些语言比 BASIC 强得多。无须争辩，但请问你，十八般兵器中，使用哪一种比哪一种更高明？我想你一定会知道，功夫不在哪一种兵刃上，而在人自身所付出的辛劳上。这十八般兵器加到一起也不如一把手枪厉害，可为什么在沉寂了那么多年之后，十八般兵器又都苏醒过来了，熠熠光耀于体坛、林园、空地之上呢？当今最先进的机械装置，有的可以远在天外自动运行，有的可以代替人手操作进行精细巧妙的心脏手术，可是手锤、弓锯、小刀之类的手工具，却仍然遍布于全世界，高山、荒野、丛林、深海都无所不在，是“先进”的占领的幅员大，还是“落后”的分布得更广阔？

各种程序设计语言也像好多其它事物一样，是各有其擅长，各有其施展领域的，对待它们的最好办法，是使其各得其所，各尽所能。不要妄图用一种编程语言“消灭”另一种编程语言，用一种语言“包打天下”、“包治百病”。其实能让

它们在某一个有限的区间发挥点实实在在的作用，已收获不小了。我决不希望青年人囿于某一种机器，某一种语言，但这往往并非个人可以随意选择的。其实每一个人，无论谁，都受着数不清的约束，认清了这些约束就能找到你的活动范围或叫自由度。

有人问我：你这本书里的东西有什么用？我想至少：

一、目前我国自行编制的软件，只使用字符和数字作为表达媒介的不在少数。这样容易引起操作者的疲劳。从工程心理学的角度来看，如配合图形及其它手段，则醒目、直观，提高软件用户工作效率，不致因单调、乏味而误操作。

二、过程控制或生产调度系统愈来愈多地要求直现的工况图示或动态模拟。

许多复杂的机电设备、器件的计算机辅助设计和辅助制造，面料的花色设计、服装设计，甚至发型设计及各种计算机动画、训练情景模拟，大量需要掌握计算机图形技能的人员投入。

三、潜在的或已露苗头的新领域，如“计算机艺术”或其它尖端领域如Chaos Theory（混沌理论），Fractal Geometry（分维几何），都需要吸引大批有志气、有才华的青年去努力。

当然，我决无妄想，这本小小的“天书”就能一揽子解决这些问题。现在计算机行业的“《诗》《书》《易》《礼》”已不少了，但总还要来点这个行业目前尚缺的“《三字经》《百家姓》《千字文》”吧！《第×交响乐》、《×大调协奏曲》固然动人心弦，但也不能没有étude和gradus（练习曲）。回想自己千折百回地在这迷宫般的框子里，在这新拓的域限上，探索、寻求，使我切肤、入骨地感到决不能再让青年人重新去遍尝百草了。当然，新手要付出新手的勤劳，“No pains, No gains”。

我希望把本书“修炼”成一位“无声的老师”，作为对自己数学老师的酬报。并想使现在和未来的同行们能对它产生一种面谈亲授之感。而且我还希望能听到更多青年朋友的意见，有机会把这本东西修改得更适合大家的需要。如果没有能力更好地胜任这个职责，欢迎有志气，有才华的青年朋友，改写它。如果你需要的话，我可以作你的一个热情的助手。

本书的程序是可行的，但不一定是最优的，大多数被称为练习程序（Exercise Program 缩写为EX*P*）。有朝一日，你会使它们更有效率、更节省内存，我想这应算作一种切实的希望而不算奢望吧！

我带着磁盘到处演示，正是想摸清读者的“胃口”或“口味”的，所以在注意科学性的基础上，还注意了“激发”性、实用性和趣味性。计算机图形本来就是

很有魅力吸引人的事物，为何不发挥它本身的优势呢？所耽心的正是莫因我的拙手笨笔弄得令人生厌生畏。

本书反复强调把抽象的思想转化为他人可以感觉到的具体表现。为了训练读者掌握这种技能，内容叙述及程序编排，精心地构成一个缓慢上升的坡道、步阶或梯子，使你可以踏着它往前走，往上进。希望读了它之后，不单只是学到了知识，学会了技能，更重要的是提出更多的问题，引发更多的想象，激起更深的思索。切盼这些希望，不要沦为奢望和失望。

在这转瞬万变的行业里，version（版本）一版一版地更新，机器一代一代地替换，唯有摄取到图形学的“灵魂”才不致被淘汰，不被消灭。不仅不灭，反而更加富有生命力，踏上凤凰涅槃之阶。

本书各章中以第2、第4、第6章为主干，而第1章是再也无法省略掉的一些基本内容，如果再少，则以后各章将无法落实，因而起个根基之类的作用。

常见函数曲线是比较大的一个分枝，它是某些工程应用不可少的前提和准备。任意曲线和透视、体视各章是同一主干上的蔓生和繁衍。

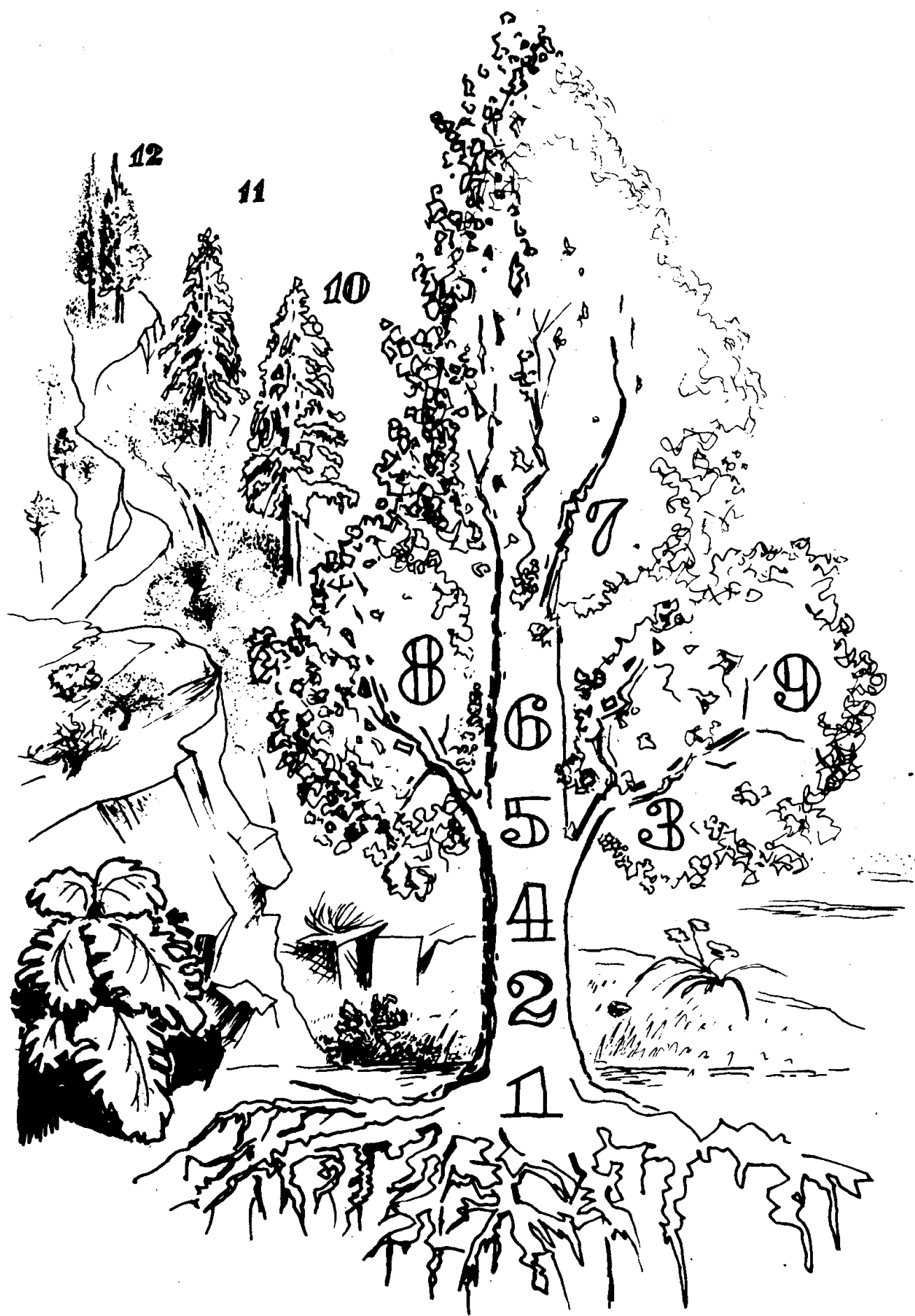
至于其它各章，则是导引你步步上升地攀援到更高、更远、更广阔的视野处。

如果用一个形象的示意图画出来，就成了《内容枝蔓图》的样子。

本书的内容，绝大部分都是作者亲身实践的概括和总结。插图及照片，除注明出处及来源的以外，均为作者自绘、自摄。本书最终能以目前的形式面世，要感激编辑先生的安排和设计。谢谢天津石化公司那些给予鞭障或帮助的隔行或同行，还要感谢天津石化报记者刘耀辉在摄影技术方面的指导和同志式的支持。

作 者

1993年5月



内容枝蔓图

目 录

计算机图形学, 过去、现在和未来	(1)
第 1 章 视屏特征概述	
1.1 屏幕坐标和我们习惯的 X - Y 坐标略有不同	(11)
1.2 分辨率和着色	(14)
1.3 改变坐标系在屏幕上的位置	(24)
1.4 映射和模型	(29)
第 2 章 基本几何算法	
2.1 把直线段 map 到屏幕上	(32)
2.2 从一个图形的算法引入参量方程的概念	(36)
2.3 两条直线段是否相交	(45)
2.4 两给定向量间的夹角	(57)
2.5 一点到另外两点连线的距离	(61)
2.6 判断一个点是不是在给定多边形之内	(71)
2.7 生成圆弧	(82)
2.8 相切问题	(90)
第 3 章 常见函数曲线	
3.1 常阔曲线与曳物线	(113)
3.2 指数曲线	(115)
3.3 螺旋线和螺线	(116)
3.4 正态分布曲线	(126)
3.5 广义椭圆曲线	(133)

3.6	滚动直线和滚动圆生成的曲线	(135)
3.7	向下斜抛物体的运动轨迹	(150)
3.8	绕日运动的星体的轨迹	(153)
第4章 二维几何变换		
4.1	基本形式	(157)
4.2	复合操作	(170)
4.3	某些二维变换	(183)
第5章 三维几何变换		
5.1	二维的扩展	(196)
5.2	程序体现	(201)
5.3	似“是”而“非”的体现	(204)
第6章 凸多面体的消隐		
6.1	某指定面可见与否	(211)
6.2	“可见”还是“不可见”的图形表示	(230)
6.3	判断凸多面体的各个面“可见”还是“不可见”	(235)
6.4	界取 (Clipping)	(250)
第7章 透视投影及体视		
7.1	透视投影与实感	(258)
7.2	透视体现于屏幕	(273)
7.3	立体实感	(277)
7.4	线框模型 (Wire frame, Meshes)	(278)
第8章 任意曲线的一例——Bézier 曲线		
8.1	贝齐曲线系统的产生	(280)
8.2	原理解释	(281)
8.3	程序实现	(285)
第9章 工程实例和示例		
9.1	求渐开螺旋面的截形	(290)
9.2	TSRH	(301)

9.3	纠错码直观模型	(305)
9.4	现代化养猪厂	(308)
第 10 章 骑士环游及回路		
10.1	一笔画和欧拉圈	(312)
10.2	哈密顿回路	(315)
10.3	骑士遍历	(316)
第 11 章 分维曲线与递归		
11.1	分维数	(321)
11.2	用递归算法体现分维形	(331)
第 12 章 完美正方与混沌		
12.1	完美正方	(336)
12.2	混沌 (Chaos)	(340)
附 录		
附录 A	本书所涉及的程序	(347)
附录 B	计算凸多面体的实例及有关数据	(514)
附录 C	若干可能碰到的英文词	(522)
附录 D	关于 SOUND 和 PLAY 语句 (statement)	(528)
附录 E	正态分布曲线下的面积数值表	(533)
附录 F	开发中国自己的计算机图形软件 (节录)	(534)

计算机图形学，过去、现在和未来

若从开天辟地说起，摘掉“计算机”这顶专作标明地位的“帽子”，再脱掉“学”这双抬高身价的“官靴”，则图形可以说与人类文明的开化同日出生。

图形的产生早于文字，这在目前几乎已成为尽人皆知的常识了。仅就客观地存在着的一套形象符号系统而言，文字是图形中的特殊的一部分，或者用一个人人早晚要习惯的词汇来说，就是文字是图形的一个子系统，但这个子系统经过一系列规范化的升华、加工、抽象，最后形成一种集中的体现。与这套文字系统相比，图形波及面更广泛，植根处更基础，表现形式更自然。这不仅适用于源于象形的文字系统，而且也包含拟声的拼音文字系统。拼音文字作为一种符号，也是必不可免地由图形转化而来。今日之世界，似乎把文字提高到一种超乎自然、傲视造化的突出境界，其实它只不过是图形这个大系统中的一个子系统。在此虽说明图形之功能但决无贬抑其它手段之意，恰当的态度应该是各得其所，各尽其能，各应其用。人所共知，大量难以用语言传达的信息、技能，必须经过各种媒介，尤其是亲身体会，眼看、耳听、鼻嗅、口尝、身试等共同作用方能得到。

由生物进化历程来看，当人类的祖先还未与动物有明显区别时，他们已有图形的辩识能力，因为不少带有视觉系统的动物，特别是脊椎动物也具有这样的能力。当然，对动物而言，往往是综合的辩识，尤其嗅觉更为重要，但动物不会构造图形。人不但能辩识图形，而且还能构造图形，进而把图形中的某一部分“神圣化”为文字。在自然界和人类历史、现实社会中，强化和优选的子系统超过其出自的母系统的现象屡见不鲜。说穿了，“进化”所描述的不就是这么点事儿吗。只是把“时间”这个尺度加进去了，如果暂时脱开时间尺度不谈，最明显的就是有生命界是无生命界的一个子系统，而前者大大地活跃、生动于后者。人类不过是生物界千千万万分支中的仅仅一支，当然也只能算是生物界的一个子系统，但是她在相对于生命在地球上的全过程而言不过是一瞬间就统治了和遍布于地球，进而冲出了她开始感到狭小和污浊的“摇篮”。

“人”究竟以什么与动物相区别呢？有人说群体行为和社会化发展是人区别于动物的重要标准。对此人们不能不遗憾地指出蚁群和蜂群的高度社会化分工、高度纪律性、高度有效性。“团结”一致的韧性，真是令人自叹弗如。也有人说：“劳动”是区别人和动物的分水岭。其实达尔文和恩格斯都详细地描述过动物的“劳动”技能，如海狸、蜜蜂、织蛛、大部分鸟类的筑巢能力。再如某些田鼠的挖洞积粮，清浊分室的安排。今日更多地动物学研究，已使其内容更加丰富。……最后，大多数人意识到一条重要区别：人的预先构想、规划、设计能力是动物所不具备的。然而再深一步想，我们对各种动物的“主体神经”功能的了解比起对人自身

大脑功能的了解还更少得可怜，那么它们在“劳动”之前，怎样在它们的“脑器官”中“动作”、“运转”，我们无从而知，所以下结论说它们没有“预谋”能力，是否为时略显早点或至少略显粗疏。然而，毫无疑问，我们决不可全盘否定上述论断，因为其中包含了智慧而深邃的合理内核和重要而本质性的思考，把它离析出来，明确表达出来，就应该是：

人有一种把它头脑里的想象，付诸客观的能力，进而借助于客体的表象，这些原本只存在于它自身头脑中的东西，可以传递给它的同类。那么具有承载这些主体想法的客体事物是什么呢？其中最重要的就是图形。

有人说，你说得太玄虚、太抽象了吧！我说：一点也不抽象，很具体。现在散布于国内、国外，愈来愈多地见于地球各处的古老、阴暗的岩洞内或鸟兽难以攀援飞渡的悬崖峭壁上的人工图形、纹路，可以作证。（见图 0-1）¹

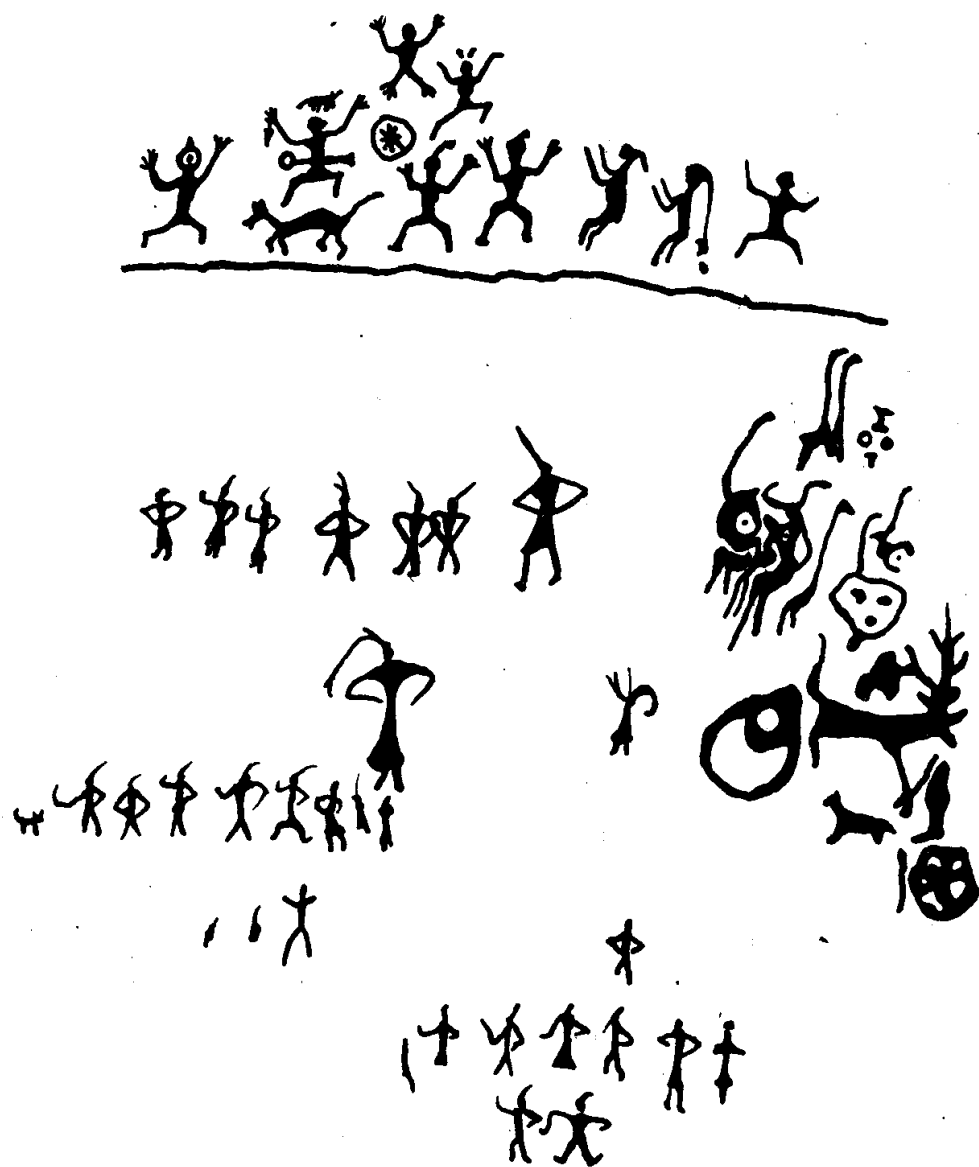


图 0-1

如果把使用石器作为人区别于动物的起点，那么那时的人只能说是自然人（生物人），

¹ 描摹自《原始文化研究》（A Study in Primitive culture），朱狄著，生活·读书·新知三联书店1988年出版。书中介绍：我国1972年发现嘉峪关黑山湖附近的黑山岩画，1979年在连云港发现将军岩岩画；此外还有，内蒙古自治区的阴山岩画，云南沧源岩画和福建花山崖岩画。而且此后，几乎每年都有新的发现。

而到了最早的人能把自身的感受，所见绘之于自身之外，则这才是文明人（开化人）的起点，或说是“人”严格地区别于动物的最终标志。因为只有当有了图形，才可以超越时间和空间传递信息，否则几十万年前人群对狩猎——他们赖以生存的主要活动，所伴以的昂奋、激动，我们是不会知道的。唯有那些岩洞内粗犷地描绘能把那种情绪传送给我们的，至少是其中的一部分（当然决不会是全部）已跨越了如此漫长的岁月，感染了我们——他们分化出的个体，他们的后代。

令人惊叹的是：世界上不同地区、不同民族的人都不约而同地从那些描绘中逐渐升华、提炼出各自的原始文字（见图 0-2，0-3，0-4）^①。它们虽然都已经是“文字”了，但看上去不是还很像各式各样的图形吗？

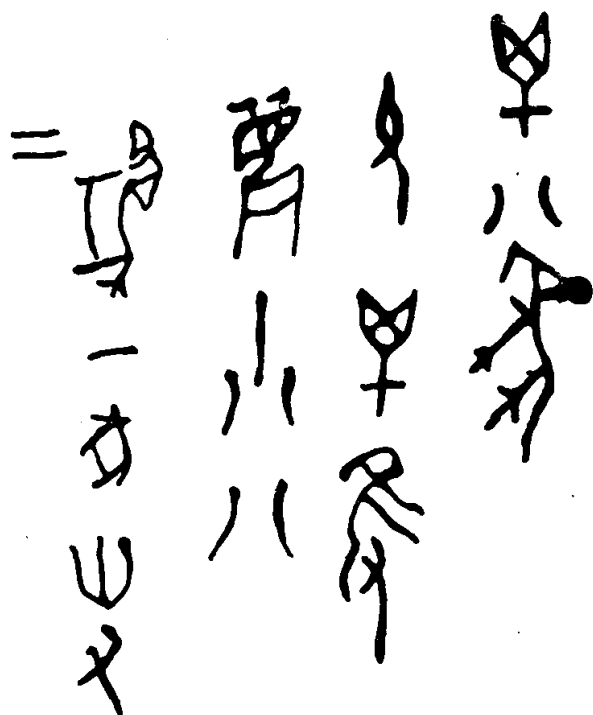


图 0-2 中国殷代（公元前 2000 年代中期）的铭文

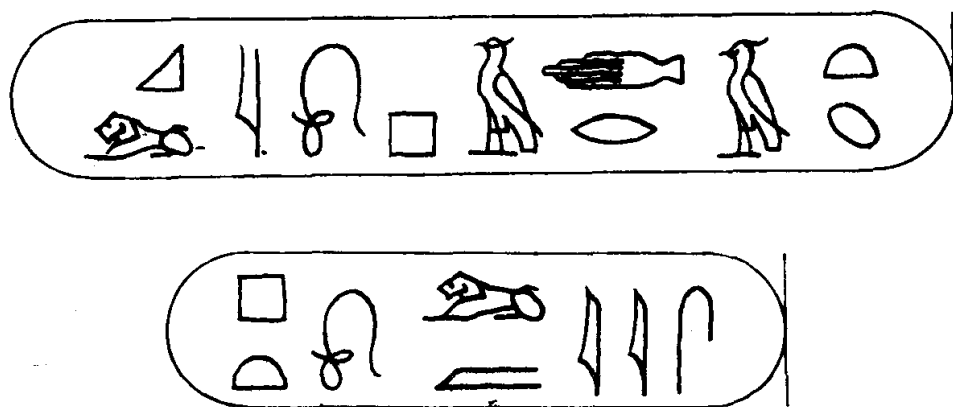


图 0-3 古埃及的圣书字（Egyptian hieroglyphics）

^① 描摹自《文字的产生和发展》[苏] B.A. 伊斯特林著，左少兴译，王荣宅校，北京大学出版社1989年第二次印刷出版。



图 0-4 玛雅的象形文字、数字及图画文字

19 世纪 20 年代 J. F. Champollion 释读了埃及古文字——圣书字 (Egyptian hieroglyphics)，他最先释读出罗塞塔石碑 (Rosetta Stone) 上和克娄巴特拉尖塔 (Cleopatra's Needle) 上的两个名字。由于 Rosetta Stone 上并刻了古埃及文及古希腊文，为破译过去无法读懂的古埃及文提供了极大的方便。古埃及也有把人名放在框子里的习惯，是否也如我们现在某人死了，名字框起来。确否，只能由考古学、文字学专家们去研究、去论定了。

图 0-3 所示，正是最早破译出的两个名字，短的是“托勒密” (Ptolmais) 一位古埃及王。长的名字是克娄巴特拉 (Cleopatra) 是埃及的一位女王或也可叫后王。据说她长得美艳绝伦、盖世无双，在当时竟引起埃及和罗马争战不已。后来 Blaise Pascal (1623-1662，法国，就是发现静压强不变地在液体中传递原理的那个帕斯卡，他还在 1649 年造了一个计算器，也算近代计算机的老祖宗之一) 曾说过：如果克娄巴特拉的鼻子短一点儿，也许世界历史的面貌将不是这个样子。因而 Cleopatra's Nose (克娄巴特拉的鼻子) 一词成了历史偶然性的代名词。当时那段情、怨、恩、敌的故事由美国拍成一部电影，再加我国译制了这部影片，使她在中国的知名度由鲜为人知一下提高上来。

曾闻克娄巴特拉尖塔仅存两座，一幢落在英国伦敦泰晤士河畔，另一尊落在美国纽约中央公园。不知眼下是否将该古文物奉还给埃及人民？

图 0-4 所示的玛雅文字，是当今世界上未能明白破译的重要“死”文字的一种。印第安人的一个分支——玛雅人，16 世纪以前一直不受外部影响地居住在美国。他们的大部分文献都刻在石头上 (石碑、祭坛、庙宇墙壁上)，另外也有一些手写本，是写在用各种颜色的鹿皮或树皮制成的类似纸的东西上，然后一反一正地折成可以拉开，可以缩叠在一起的“折子”形。生活在 30、40 年代以前的或看过表现那时生活的电影的中国人都见过中国老式店铺的“存折”或某些专门帐户的帐本，就是“折子”形，有时外面还套上一个“套函”。印第安人与亚州的黄种人有共同的血统，自然在处理事物上也有同样的“构思”。

这些玛雅人由于内讧而削弱，在 16 世纪西班牙人的入侵面前彻底失败了。他们的手写本被当作异教的异端惨遭焚毁，浩劫之后仅幸存下三本：一本在德累斯顿 (德国)，一本进了巴黎，还有一本保管在梵书的