



清华大学文科出版基金
QINGHUADAXUEWENKECHUBANJIN

数理、仿生

造型设计方法

金剑平 著



清华大学出版社

数理、仿生

造形设计方法

金剑平 著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

任何学业的进步都在于思想认识的提高,思想是一切行为的指导,引领着我们向前。思想有多远,人就能走多远。

本书旨在通过数理造形的方法帮助造形工作者提高思想认识,揭示造形不仅有感性的创造,更有理性分析的科学方法。对于习惯于感性思维的人来说,理性的方法显得更加重要和迫切。它从另一个角度开拓设计师的思维路径,解决造形工作者的思考问题能力和构思能力,掌握在实践中解决造形问题的方法。

本书从古希腊的形式数理起源谈起,介绍了东西方审美方式不同的由来和东西方数理认识的不同点,以及在数理的发展史上起着重要作用的数学家和艺术家;总结了在日常生活审美中起着重要作用的多种比例形式,人类自身形态中内含的人体数理形式,植物的形态中展示出螺旋的美妙,动物整体的结构分析出内在的比例关系;从文化的角度剖析了我们日常生活中常见的造形形式和意义,以及内在的含义和数理造形的方法,从人类文化的视角重新认识形式符号。

本书着重介绍了数理造形方法,从基本的几何形态谈起,对现有的设计进行分门别类的归纳,用数理方法分析设计,强调设计的思考路径。同时,本书还介绍了莫比乌斯环原理应用在雕塑上可以创造更好的视觉动感效果;运用数轴的变换可以设计出同类产品的衍生形式;用控制线来形成形体的统一性等手法。

最后本书简要地介绍了仿生形态,从自然中提取动、植物的生长要素和数理形式进行分析,并且抓住要点进行形态的再创造。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数理、仿生造形设计方法 / 金剑平著. —北京:清华大学出版社, 2017 (2019.4重印)
ISBN 978-7-302-48246-8

I. ①数… II. ①金… III. ①艺术造型—造型设计—研究 IV. ①J06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 210868 号

责任编辑:王琳
封面设计:郑焕良
责任校对:王凤芝
责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×240mm 印 张:18.5

字 数:298千字

版 次:2017年10月第1版

印 次:2019年4月第2次印刷

定 价:59.80元

产品编号:068120-01

序 言

什么是造形呢？人们常把所有的形态都称为造形。例如，这棵树的造形很好看；这辆汽车的造形很美。把自然的形态和人工的造形不加以区别统称为造形，这在严格的意义上是不准确的。所谓造形应该是指人的思想意识，通过可视的或可以触摸的材料所表达的形式和内容。造形是指人类创造形体的过程和结果。造形首先是人的思想意识的体现，创造或造物活动是人类特有的一种活动方式。不论是在无意识中，还是在有意识中，所创造的造形结果都可以称为造形。无意识本身就是一种人类的意识。这可以说是对造形的真正诠释。

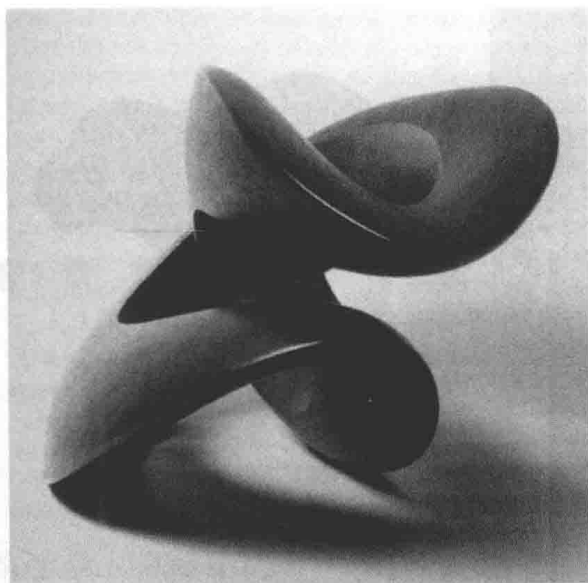
造形和造型有什么区别呢？在日常生活中常见到这两个词：造形和造型。在艺术类的活动中，人们更多地运用“造形”一词；在工业制造业中更多地是运用“造型”一词。辞典是这样解释的：造形是指外形，从某种意义上讲更注重的是轮廓的意义。而造型呢？我们顾名思义就可以得出它是用土来进行造型的，一般是指建筑的形体或者是模具的造型。个人的理解，造型更加强调了体量的关系，然而约定俗成都是用造形一词来表述形体。

德国包豪斯对设计教育最大的贡献是基础课，由伊顿创立他在教学中融入了情感的体验、视觉的感受、材料的特性与效果、工艺精良的体验，以全面培养设计学生的素质。它是从一个学习设计的人的整体思路出发而设置教学课程的。然而经过日本改良而后移植到中国时，设计教育立体构成的精髓几乎看不见了，剩下的只是表面形式的折纸游戏的技巧。应该说日本的立体构成在一些方法和技巧方面针对某些专业是有启发性的，而作为设计基础课，我们不能从一个专业或局部去培养学生，而是应该让学生全面地去了解掌握，并提高造形的能力及方法。目前较为系统地从感性和理性的两个角度去探讨造形法则的图书太少，这些书有着共同的书名为立体构成，并且逃脱不了折纸的陋巢，用折纸代替了对立体造形的

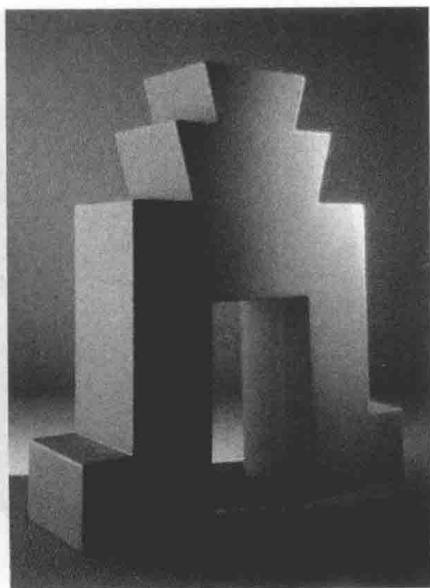
规律和方法的真正探求。我们不能否定立体构成的意义和方法，立体构成所涉及的面非常广，有社会文化层面、生理层面、心理层面以及工艺加工方面。折纸方法只是冰山一角，如果作为基础设计教育的全部就太狭窄了，我们不能以一概全，一叶障目而不见泰山。

受古希腊理性主义的影响，早期的造形方法都倾向于用数理的理性方法表达，这大概是建筑需要精确计算而致的吧！而这些理性的表达方法解释散见于各类的建筑造形书籍中，在我们现有的教材中对方法的归纳和介绍非常少，只是对案例和实际操作介绍更多一些。人们常常错误地认为造形的创造是依据感觉的，无法用语言来描述灵感的闪现来源。不可否认在现实的创造中确有部分是这种状况，但这也是从长期的观察积累中得到的启迪，然而大部分造形的创造是有一定的方法可以依循的，是可以加以归纳总结的。本书总结了前人在设计的过程中所用的一些常见的数理方法，并举例加以分析，以期待同学们在汲取营养的同时能创造出更加精彩的造形，总结出更丰富的手段和方法。本书的脉络主要是以中西方造形形式的形成作为切入点，通过这一介绍能使同学们了解造形形式的历史渊源、构成这些造形轨迹中起到转折点作用的人物，同时深入介绍我们日常生活中常见的一些形式符号的来源，它的内在意义和方法是什么。后几章主要介绍数理形式以及历史上出现的名作并加以分析，最后一章主要介绍了仿生在设计中的运用。

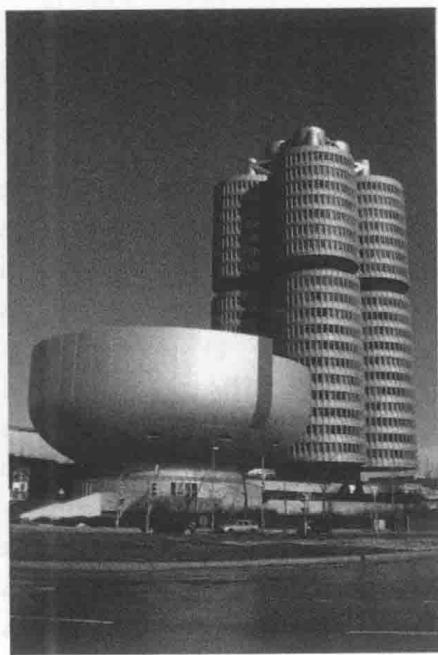
这些方法和例子对造形设计的构思是具有启发性的，在教学中同学们将得到很大的收益，眼界上得到开拓，方法上得到提高，通过对这些作品的仔细分析同学们将更加深刻地认识方法的重要性，更加深切地理解设计的内涵。同时，希望通过此书抛砖引玉将我国的设计理论共同推向一个新的高度。



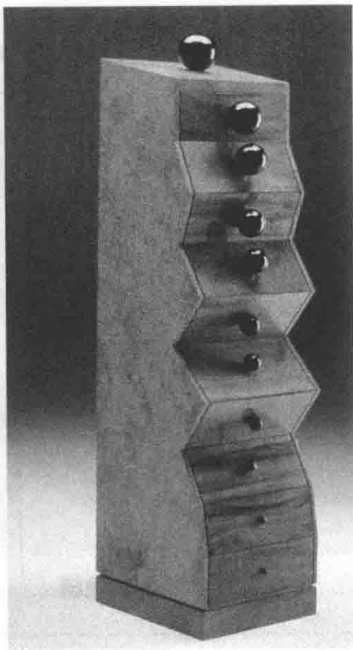
有机形



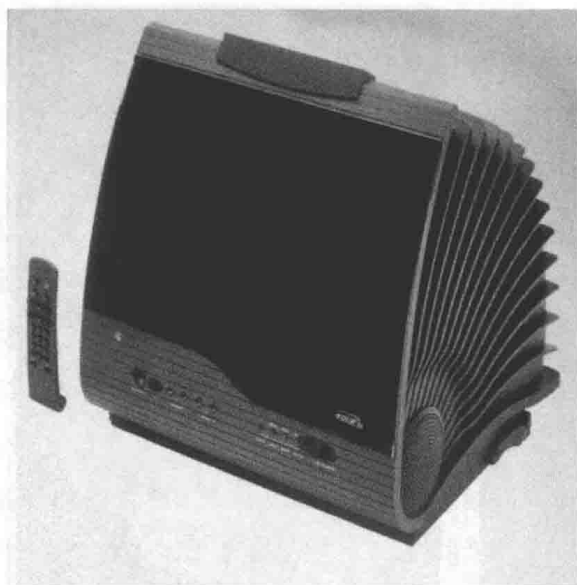
陈设家具



建筑



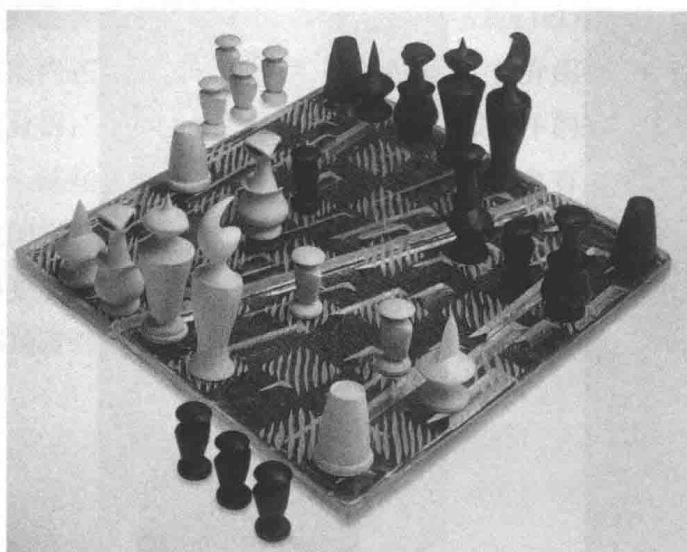
家具



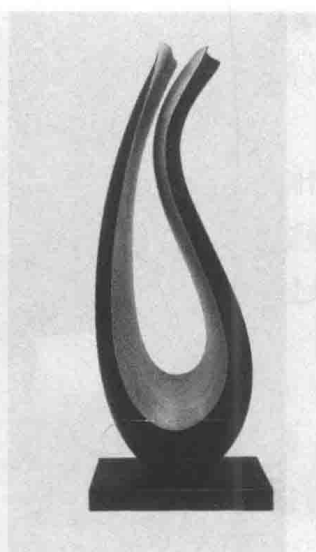
小型电视



展品展具



国际象棋



有机形

目 录

第 1 章 数理的基本认识.....	1
1.1 形式数理的起源.....	1
1.2 西方对数理的认识.....	5
1.3 东方对数理的认识.....	19
1.4 造形中的数理节奏.....	28
1.5 数理形式发展的代表人物.....	31
第 2 章 自然中的数理形态.....	46
2.1 人体中的数理形式.....	49
2.2 植物中的数理形式.....	56
2.3 动物中的数理形式.....	63
第 3 章 数理比例设计的基本尺寸.....	68
第 4 章 形式数理的解读.....	76
4.1 五角星的形式理解.....	76
4.2 六角大卫盾.....	82
4.3 “卐”字形的形式理解.....	85
4.4 小提琴的数理解读.....	88
4.5 教堂平面与十字架.....	92
4.6 梵蒂冈与人体.....	96
4.7 高迪与海洋生物.....	99
4.8 俄罗斯东正教堂与蜡烛.....	104
4.9 最后的晚餐与正多面体.....	107
4.10 埃及正义的荷鲁斯之眼的数理解读.....	109
4.11 伊斯兰的拱形与水滴.....	111
4.12 阿尔汗布拉宫与几何图案.....	114
4.13 西藏“唐卡”的图形数理.....	117
4.14 法门寺与“合掌”.....	121
4.15 天坛与圆.....	124

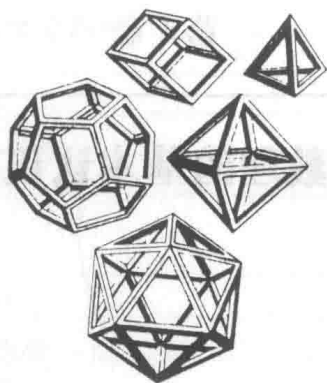
4.16	传统书法中的黄金分割率.....	126
4.17	牛角与传说.....	128
4.18	肥皂泡与薄膜顶.....	131
4.19	蔓菲斯书架与几何形.....	134
4.20	伊斯兰壁龛设计.....	135
第5章	数理造形方法.....	137
5.1	几何形的数理造形.....	140
5.2	黄金分割的数理造形.....	158
5.3	螺旋线的数理造形.....	184
5.4	曲线的数理造形.....	197
5.5	莫比乌斯环.....	208
5.6	无理数的数理造形.....	212
5.7	分形的数理造形.....	215
5.8	数轴的数理造形.....	221
5.9	图案中的数理造形.....	227
5.10	控制线与模数中的数理.....	240
第6章	仿生形态的数理造形.....	245
6.1	仿外形造形.....	246
6.2	仿功能造形.....	271
6.3	仿内在数理造形.....	281
参考图书.....		288

数理的基本认识

1.1 形式数理的起源

西方文明的辉煌是古希腊、罗马时代的文化艺术。在漫长的西方历史中，古希腊、罗马精神有时像奔腾的大河，有时却如山涧的涓涓细流。古希腊、罗马之美的特征在于：一方面确立了造形上的形而上学；另一方面却失去了古埃及壁画中的色彩象征性。发源于古希腊、罗马而后形成的欧洲文化的基本思想来源于石头。古希腊的巴特农神庙、巴黎圣母院历经沧桑，至今仍以壮丽的美姿为世人传颂，它们都是用坚固的石块垒砌起来的。我们看到的流传至今的雕塑都是以白蜡似的大理石为素材，可以说欧洲的文化和造形艺术是以石块为基础的，从中形成了具有独特风格和色彩的基本形态。

欧洲石雕最重要的是一种量感的美。不同于亚洲和中东地区，众神题材的大理石圆雕注重体积感的表现，而这种体积感更能表现出光与影的对比，加强了作品的体积感与量感。古希腊人将宇宙看作由球体或正多面体所构成的。也许正是古希腊人重视几何学形体的观念意外地导致了忽视色彩作用的局面。在古希腊人看来，自然中一切物质都由土、火、气、水四种元素按照不同比例混合而成。古希腊的哲学家恩培多克勒认为基本元素只有四种：水、气、火、土。这个理论主宰化学科学近两千年之久。柏拉图使它又得到了新的发展。柏拉图正是这方面近代科学主要传统的先驱，提出“几何或数学原子论”，即一切事物都可以化为几何。柏拉图为我们提供了用四种元素解释物理世界的方法。当然，柏拉图囿于四种元素，不能不说是一种局限性，但运用的假说是数学式的。从数的观点看，世界最终是可理喻的。正多面体的发明对西方的早期文明产生过很深的影响，正四面体、正立方体、正八面体与正二十面体分别代表火、土、气和水的基本粒子。



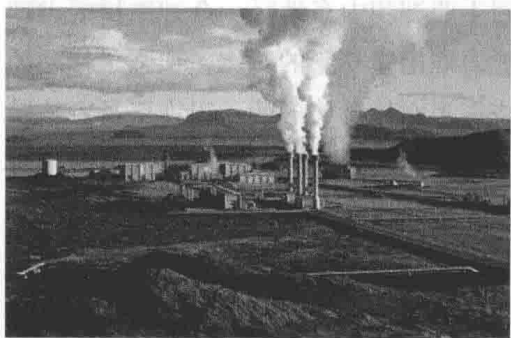
5 种正多面体



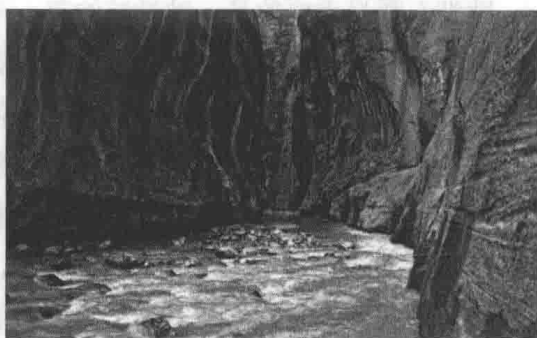
火



土



气



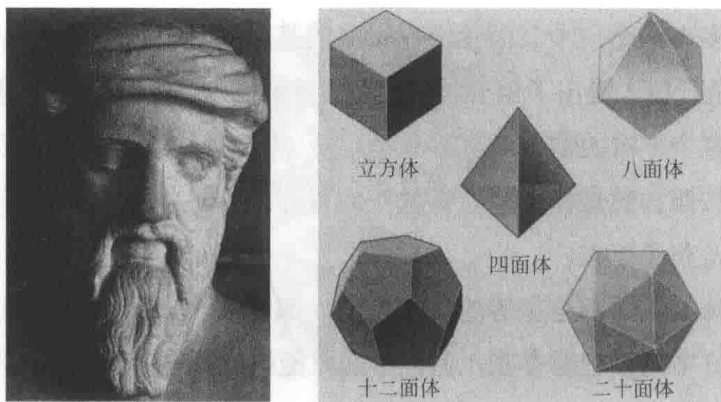
水

把这些立体分解为构成它们的三角形，再对其重新编排，就能实现元素之间的变换。对于所有 5 种正多面体的描述是柏拉图给出的。在《蒂迈欧》中，他讲了如何用正角形、正方形和正五边形构造出这些正多面体。不过很显然，正多面体的数

量比基本元素多出一个。十二面体没有对应的基本元素，这不能使柏拉图的所有信徒们满意。于是一些人提出了第五种元素的存在。例如，亚里士多德提出了“以太”。它是一种充满整个宇宙的物质，是第五种元素（精髓）。它弥漫在所有物质中，可确保运动和变化按照自然规律发生。有关空间里存在一种作为光的必要传播媒介的物质的观点一直流传了下来。

如果多面体的各面都是全等的正多边形，那么这个多面体就叫作正多面体。虽然在平面上有许多正多边形存在，但在空间只能构成5种不同的正多面体：正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体，即按其面数的多少命名。五种不同的正多面体通常称为柏拉图体，但这并不准确，正四面体、正六面体应该归功于毕氏学派，而正二十面体应该归功于狄埃太图斯（Theaetetus）。我们凭直觉就可以很容易地看出为什么只存在5个柏拉图体。封闭的平面图形中边数最少的是三角形，如果要在三维空间中围绕一点构造立体图形，最少需要3个三角形。4个三角形和5个三角形都能构成多面体，而整个就会有重叠，所以能构成多面体的情况只能是3个、4个或者5个三角形。对正方形来说，3个正方形围绕一点构成一个正方体，但4个就会有重叠。5边形只能有3个，4个五边形平面就无法容纳了。也就是说，只有3个、4个、5个三角形，3个正方形，3个五边形才可能在三维空间中围绕一点构造多面体。在5种正多面体中，只有这1种的各个面不是由两种基本三角形组成，而是由正五边形组成的，正五边形是毕达哥拉斯学派的神秘符号之一。它的构造涉及无理数，而且正十二面体看起来比其他4个立体都要圆一些，因此柏拉图用它来代表世界。正多面体是一种三维立体图形，各面由规则的多边形组成——所有面、边和顶角都相等。正多面体总共只有5种，少得出奇。在几何学上，欧几里得为纪念柏拉图把它们统称为“柏拉图体”，尽管毕达哥拉斯早在柏拉图出生之前100多年前就发现了这5种正多面体。

柏拉图体的对称性产生了其他有趣的属性，例如，六面体和八面体有着相同的边数，但是它们的表面数和顶点数正好相反（六面体有6个面、8个顶点，而八面体有8个面、6个顶点）。十二面体和二十面体也是类似，它们都有30条边，十二面体有12个面、20个顶点，而二十面体则正好相反。



柏拉图与五正多面体

卢克·贝森 1997 年的科幻电影《第五元素》中的“第五元素”代表了一种生命力——能够化腐朽为神奇。

东方文明不言而喻，它是来自于自然界中的木，无论东方的思想、文学、哲学都能看到其影子。中国朴素的唯物主义所形成的世界观认为“天圆地方”。天是由近似于圆锅的锅盖盖住的，而锅脐便是九天。地是方的，有前朱雀、后玄武、左青龙、右白虎的方位图腾。木的艺术与线的艺术结下了很深的姻缘，并且，因中国人观察世界和表达世界的散点透视不同，在中国描绘事物几乎都用线表示物体的轮廓，然后再填色，而并不像西方那样用色来造形。而在东方并没有像古希腊那样产生过用元素和几何的方法来解释世界，然而它产生了“天圆地方”的认识论和“阴阳五行”结合的方法论。这些理论和西方的元素、几何论是不谋而合的，这些理论至今深刻地影响着中国人的审美，影响着中国的造形文化。至今，在我们对圆的解释中首先是对“天”的语义表达。天坛是祀天之用，所以礼制规格为最高。天坛的整个设计是以圆为母题进行展开的，而且这种圆是平面的圆而不是立体空间的球形圆。每逢祀事都会运用各种与元素相对应的色彩、器物、方位等来表达对世界的物质构成的膜拜。而地坛是祀地用的，所以在设计上运用的母题都以“方”形为主。为了体现人们敬畏天地而后达到敬畏皇权之意，在许多的庙宇和神坛的出入口的门洞中依然能够看到圆形的门洞，其意充满了对天地的崇拜。在生活中，过去使用的铜钱和筷子其组成的基本形都是圆和方，除其功能外其意不言而喻。

1.2 西方对数理的认识



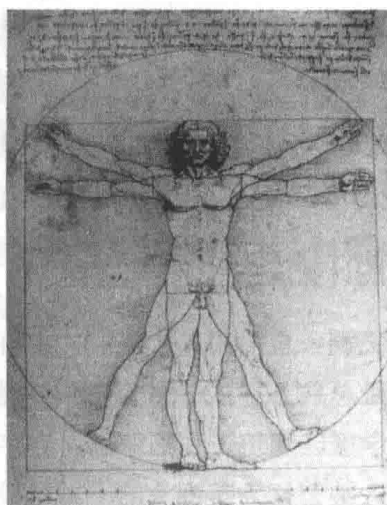
演算的哲人



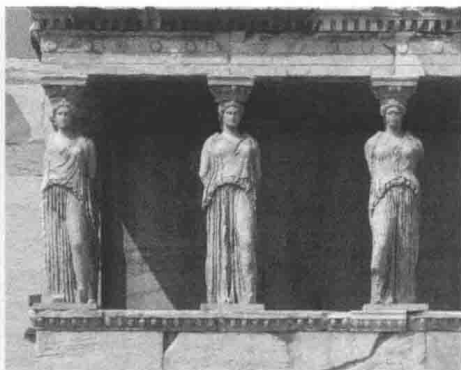
哲人论几何



欧几里得



方圆人体比例



人体石柱

数字的起源

数字只是数学的一部分，然而数字的产生以及加、减、乘、除等基本数字运算的出现标志着数学的诞生。早在大约 3 万年前的旧石器时代，有证据显示我们的祖先就已经认识了数字，并且对它们进行了分类。进化史上的偶然使我们的双手各有 5 个手指，总共 10 个手指，再加上 10 个脚趾，这就顺理成章地支持了五进制、十进制和二十进制。

古老美索不达米亚的计数法

在巴比伦人以及之前的苏美尔人生活的年代，普遍的计数单位是 60(六十进制)。时间流逝，我们已经无法追溯六十进制的由来，也许合并了常见的五进制和十二进制；或者源自数字 360，可能人们认为一年有 360 天；也可能是因为 60 能够同时被 1、2、3、4、5、6 整除。尽管六十进制早已成为历史，但它延续至今，比如 1 分钟有 60 秒、1 小时有 60 分钟。

玛雅人的计数法

古代中美洲一直沿用二十进制。也许是由于当时的居住者还没有鞋穿（裸露的手指加上脚趾总共 20 个），才自然而然地产生了二十进制。到了玛雅人的时代，天文学家、数学家、建筑工程师辈出，数字 0 最终出现，20 进制也在这时正式形成。因此，玛雅人被公认为美洲大陆上首先发现 0。法国人使用十进制的历史和其他欧洲国家一样长，但法语中的 80 直意为 4 个 20，也许还留下了二十进制的影子。

印度人和阿拉伯人的伟大遗产

希腊人、埃及人、希泰人、亚述人、腓尼基人（通常被认为是音标的发明者）以及罗马人都没能创造出代表“无”的数学符号。这一符号最终出现在迥然不同的两个地域。公元前1世纪，玛雅人发明了数字0。印度的数学家和天文学家则早在公元前4世纪就已将0应用于十进制计数法中了。到公元前400年，阿拉伯的天文学家阿雅哈塔使0正式成为十进制体系的10个符号之一。

公元750年前后，忙于传播伊斯兰教的阿拉伯人入侵印度。与印度人的交锋使他们第一次见识了十进制。它由1~9的9个符号加上0组成。在《古兰经》的指引下，伊斯兰学者专注于研究自然，并以此作为对神的崇拜。这种做法为后来欧洲的伟大科学家们树立了榜样。

伊斯兰科学和数学的创造性发展在海亚姆之后的几个世纪，甚至15世纪的奥斯曼土耳其时代仍然是硕果连连。毫无疑问，大半个世纪以来，穆斯林的科学家、数学家们远远超过了他们的欧洲同行。各种文明都处于崛起和衰亡的永世轮回之中。9世纪中叶，当伊斯兰科学家攀上新高时，欧洲的研究也空前深入。昔日的罗马人是伟大的建设者，他们重实践、轻理论。而希腊人作为罗马文化的先辈，却精于理论研究，涌现出许多杰出的哲学家、数学家、科学家。阿拉伯人、波斯人等对哲学、数学和科学有着浓厚的兴趣。与他们不同的是，奥斯曼土耳其人偏爱建筑、工程和拓展本已广阔的疆土。但这种局面在15世纪末、16世纪初的佛罗伦萨开始扭转，随后的工业革命更是加速了这一变化。对于伊斯兰科学文明之所以会衰落有很多推测。一种观点认为伊斯兰文化被一种普遍的忧郁、痛苦的宿命论所笼罩。另一种观点较为可信，认为12世纪时巴格达兴起了一场文化运动，推崇信仰和教条，反对理性思辨和直接证明。这一运动的发起人是波斯人阿尔戈扎利。伊斯兰科学发展由盛转衰还有一个原因，那就是哲学思想的蜕变。

长度

我们用长度来回答诸如“多远”“多长”“多高”等问题。历史记载的最早的长度单位是“肘长”，即从张开的手掌的中指指尖到手肘的长度。这一长度单位可能出现在公元前 6000 年。《圣经》中诺亚方舟的长度是 300 肘长，约 140 米。

罗马人最先开始使用“英里”，后来英国人沿用下来，并由英国殖民者带到了美洲。1 英里的长度基于罗马军团士兵走两步的距离（约 5 英尺）的 1000 倍^①。相比之下，“英尺”似乎更符合统计学原理。1 英尺的长度是以 40 个英国人的右脚长度的平均值为参照而规定的（这 40 个人是周日早上最早走出教堂的 40 名男子）^②。

1670 年，法国人盖柏·莫敦较为精确地测定了地球的周长，并建议将地球周长的一份作为长度的标准单位。1791 年，最终将“1 米”规定为“经过巴黎的那条纬线上、从北极到赤道距离的千万分之一”。莫敦还建议将“米”的十进位倍数“千米”（1000 米）和 10 进制分数“厘米”（1 / 100 米）作为长度标准。法国大革命之后不久，在化学家安托万·拉瓦锡的强烈推动下，法国开始实行公制。

按照经验来说，当人向右伸直右臂并直视前方时，1 码等于右手中指指尖到右耳的水平距离；1 米等于右手中指指尖到鼻尖的距离。1 米约比 1 码长 9 厘米，而 1 英寸正好是 2.54 厘米。

1889 年法国政府建立了一个国际标准局，并用铂铱合金制造了一把“标准米尺”（能够在各种温度条件下保持长度不变）。20 世纪 60 年代，一种新标准的引入为全世界科学实验室的研究工作提供了更高的精确度。以氪 86 原子的橙红放射为基础，1 米被规定为 $1.650\,763\,73 \times 10^6$ 个波长为 $6.057\,802 \times 10^{-7}$ 米的放射波的总长度。随着原子钟的产生，时间度量精确至极，甚至为规定标准米长开创了新方法，即以真空中的光速 c （固定为 299 792 458 米 / 秒）为量度单位，1 米就等于光在 1 / 299 792 458 秒中穿行的距离。

① 1 英里=1609.34 米。

② 1 英尺=0.3048 米。