

高等教育质量工程信息技术系列示范教材

大学计算机

——计算思维导论（第2版）

张基温 编著



清华大学出版社

— 高等教育质量工程信息技术系列示范教材

大学计算机

——计算思维导论（第2版）

张基温 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以计算思维为主线,介绍计算机的基本原理和应用思想。书中将计算思维具体化,并组织成如下6章:第1章 计算符号化思维、第2章 计算自动化与智能化思维、第3章 工程化问题求解思维与方法、第4章 算法思维、第5章 协同计算、第6章 计算虚拟化。

书中把一般有关信息技术的知识、技术和方法,纳入到有关的计算思维框架中作为实例介绍,让读者从更高层次上来认识和理解这些知识、技术和方法,以启发创新思维,进入一个更高境界。

本书讲解深入浅出、思路清晰,可以作为计算机及其相关专业的导论性课程的教材,也可作为高等理工科专业的计算机(信息技术)公共课教材,还可供有关培训班使用和有关专业技术人员参考。

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

大学计算机:计算思维导论/张基温编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2018
(高等教育质量工程信息技术系列示范教材)

ISBN 978-7-302-49010-4

I. ①大… II. ①张… III. ①电子计算机-高等学校-教材 IV. ①TP3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第292542号

责任编辑:白立军
封面设计:常雪影
责任校对:李建庄
责任印制:刘海龙

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
课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.5 字 数:532千字
版 次:2017年6月第1版 2018年1月第2版 印 次:2018年1月第1次印刷
印 数:1~2000
定 价:49.80元

产品编号:076668-01

前 言

1. 中国高等学校计算机（信息技术）基础教育发展的 3 个阶段

20 世纪 70 年代中期，计算机应用之风吹到了中国大地，随之部分大学开始以公共课的形式进行普及计算机的教学。为了交流，由我国著名的天津大学许镇宇教授牵头，于 1982 年在庐山、1983 年夏天在泰安连续两年召开了全国性的高校计算机普及教育研讨会。

作者当时也在兼任这方面的工作，参加了 1983 年在泰安举办的会议，并拿着自己编写的一套讲义与会展示、交流。这套讲义的内容包括二进制编码、逻辑运算基础、计算机组成、操作系统（以 DOS 为例）、数据库（DBASE）和 BASIC 程序设计，交流、展示后，受到许镇宇教授和与会代表的高度评价和赞誉。在当时计算机基础教育处于起步摸索的阶段，这套讲义被大家称为中国计算机基础教学的第一套教材。此后，正式出版的计算机基础教材才陆续问世。

按照泰山会议的共识，1984 年全国高校计算机基础教育研究会在黄山成立。作者也以极大的热情参加了研究会的工作，并长期担任理事、常务理事、学术委员会副主任、课程建设委员会副主任、财经信息管理委员会副主任等职务，亲自见证并积极参与了中国高等学校计算机（信息技术）基础研究与实践。纵观这个历程，大致可以分为 3 个阶段。

1) 面向信息（计算机）扫盲的计算机文化教育阶段

我国高校的计算机基础教育是从普及的初衷开始的。那时，国外也大致如此。对此影响比较大的一件事是 1981 年，第三届世界计算机教育会议提出了“计算机文化”教育的观点。第二件事是联合国教科文组织关于“文盲”概念的标准的修改：在很长的时期内，人们把文盲定义为“不识字的人”；20 世纪 70 年代，联合国教科文组织又把文盲界定为“不认识现代信息符号、图标的人”；之后又把文盲界定为“不能应用计算机进行信息交流与管理的人”。第三件事是 20 世纪 80 年代中后期开始的以“信息高速公路”建设为主题的信息化热潮。第四件事是微软公司的 Windows 操作系统的问世。第五件事是 Web 技术的出现。伴随着这 5 件事的发生，我国高等学校的计算机基础教育内容也不断更新，具体表现如下。

(1) 部分学校将计算机基础课程改称“计算机文化”“信息技术”，以此名称命名的教材开始大量出现。

(2) 在内容上不断完善，先后增加了文字处理（最初是金山的 WPS）、计算机网络和多媒体技术。

(3) 在平台上，由 DOS 逐渐转向 Windows。

作者作为那个时期的弄潮儿，抢先推出了介绍 Windows 及其应用的教材《计算机信息处理平台基础教程》（电子工业出版社，1997 年 10 月，ISBN 为 978-7-505-34231-6）和《信息技术与信息化基础教程》（电子工业出版社，1998 年 1 月，ISBN 为 978-7-505-34466-2）。

随着信息化浪潮的推进，我国高校计算机基础教育走向成熟，开始向高层次发展。进入 20 世纪 90 年代中期，多层次教育的思路开始形成。1998 年 4 月 6 日的《计算机世界》上，发表了全国高等学校计算机基础教育研究会组织的两个完整的改革方案：一个是理工类，一个是非理工类。作者撰写了其中的《高校计算机基础教育改革方案（征求意见稿）》（适合于非理工专业）。在这个方案中提出的多层次方案是公共基础层（面向各专业的公共基础课）、面向专业群的技术基础层和结合专业的专业技术层。全国高校计算机基础教育研究会于 1998 年 10 月在南昌召开的全国年会上，正式推出了这两个面向 21 世纪的改革方案。

配合这个方案，作者编写了《大学计算机应用基础教程》《大学计算机应用实验教程》《大学计算机技术基础教程》和《大学计算机技术实验教程》，于 1999 年 7 月由科学出版社出版。

这套书的基本思想是将计算机基础分为技术和应用两部分，分别由主教材和实验教材两部分组成。之所以这样分割，是因为当时已经出现了从中学到研究生，计算机基础教学都是协同的内容、相同的面孔的局面。这套书率先启用了“大学计算机”的名称。可以说，它们那个时期大学计算机的总结。

2) 面向信息素养的大学计算机教育阶段

计算机基础教育的改革，不仅是内容的更新，更重要的是教育思想、教育理念的提升。

1974 年，美国信息产业协会主席 Paul Zurkowski 率先提出了信息素养（Information Literacy）这一全新概念，并解释为“利用大量的信息工具及主要信息源使问题得到解答的技能”。1989 年，美国图书馆协会（American Library Association, ALA）下设的“信息素养总统委员会”在其年度报告中对信息素养的含义进行了重新概括：“要成为一个有信息素养的人，就必须能够确定何时需要信息并且能够有效地查寻、评价和使用所需要的信息。”

1992 年，Doyle 在《信息素养全美论坛的终结报告》中将信息素养定义为：一个具有信息素养的人，他能够认识到精确的和完整的信息是做出合理决策的基础，确定对信息的需求，形成基于信息需求的问题，确定潜在的信息源，制定成功的检索方案，从包括基于计算机和其他信息源获取信息、评价信息、组织信息于实际的应用，将新信息与原有的知识体系进行融合以及在批判性思考和问题解决的过程中使用信息。

1998 年，美国图书馆协会和教育传播协会制定了学生学习的九大信息素养标准，概括了信息素养的具体内容。

标准一：具有信息素养的学生能够有效地和高效地获取信息。

标准二：具有信息素养的学生能够熟练地和批判地评价信息。

标准三：具有信息素养的学生能够有精确地、创造性地使用信息。

标准四：作为一个独立学习者的学生具有信息素养，并能探求与个人兴趣有关的信息。

标准五：作为一个独立学习者的学生具有信息素养，并能欣赏作品和其他对信息进行创造性表达的内容。

标准六：作为一个独立学习者的学生具有信息素养，并能力争在信息查询和知识创新中做得最好。

标准七：对学习社区和社会有积极贡献的学生具有信息素养，并能认识信息对民主化社会的重要性。

标准八：对学习社区和社会有积极贡献的学生具有信息素养，并能实行与信息和技术相关的符合伦理道德的行为。

标准九：对学习社区和社会有积极贡献的学生具有信息素养，并能积极参与小组的活动探求和创建信息。

可以看出，美国提出的信息素养概念则包括3个层面：文化层面（知识方面）、信息意识（意识方面）和信息技能（技术方面）。

古人云：“马不伏历（枥），不可以趋道；士不素养，不可重国”（《汉书·李寻传》）。在人类社会发展的历史长河中，素养是一个永恒的话题。何谓素养？其实非常简单：素即素质（Quality），养即教养。所以，素养就是人的素质和教养。然而，什么是素质呢？在不同的文化背景下，它有不同的定义，有不同的要求。信息素养是信息时代素质教育的核心内容。这个概念一经提出，便得到广泛传播和使用。世界各国的研究机构纷纷围绕如何提高信息素养展开了广泛的探索和深入的研究，对信息素养概念的界定、内涵和评价标准等提出了一系列新的见解。

作者作为当时全国高等学校计算机基础教育研究会的常务理事和课程建设委员会副主任，作为一位有责任的大学老师，有义务推行这一新概念和新理念，并连续发表了几篇文章。

(1) 《关于高校IT基础教育的几点思考》，高教出版信息，2002年第11期。

(2) 《信息素养——21世纪计算机基础教育的坐标系》，教育信息化，2002年第9期。

(3) 《论高等信息素养教育》，计算机教育，创刊号（2003年12月1日）。

(4) 《关于新时期高等学校信息基础教育第一门课的思考》，计算机教育，2004年第1期。

(5) 《高等信息素养教育框架》，计算机教育，2004年第2、3期合刊。

同时，编写了如下相应的教材。

(1) 《大学生信息素养知识教程》，南京大学出版社，2007年5月，ISBN为978-7-305-05060-2。

(2) 《大学生信息素养能力教程》，南京大学出版社，2007年5月，ISBN为978-7-305-05061-9。

(3) 《信息素养大学教程（知识篇）》，人民邮电出版社，2013年9月，ISBN为978-7-115-31930-2。

(4) 《信息素养大学教程（实践篇）》，人民邮电出版社，2013年9月，ISBN为978-7-115-31866-4。

3) 面向计算思维培养的大学计算机教育阶段

人的素质就是人的生理元素和思维元素的质量。人的素质的高低，与人天生的生理元素和思维元素的多少有关，也与后天培养的生理组织的健康程度和思维系统的健全程度有关。所以在素质教育中，思维训练是极为重要的核心内容。

2006年3月，美国卡内基·梅隆（Carnegie Mellon）大学计算机科学系原主任、时任美国国家科学基金会计算机与信息科学与工程学部负责人的周以真（见图0.1）教授在美国计算机权威期刊



图0.1 周以真

Communications of the ACM 杂志上正式提出了“计算思维”(Computational Thinking)的概念,并推动一项计划:力图使所有的人都能运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计,以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。

后来,周以真教授又对它做了进一步的详细阐释。

(1) 通过约简、嵌入、转化和仿真等方法,把一个看来困难的问题重新阐释成一个人人们知道问题怎样解决的方法。

(2) 计算思维是一种递归思维,是一种并行处理,是一种把代码译成数据又能把数据译成代码,是一种多维分析推广的类型检查方法。

(3) 计算思维是一种采用抽象和分解来控制庞杂的任务或进行巨大复杂系统设计的方法,是基于关注分离的方法(SOC方法)。

(4) 计算思维是一种选择合适的方式去陈述一个问题,或对一个问题的相关方面建模使其易于处理的思维方法。

(5) 计算思维是按照预防、保护及通过冗余、容错、纠错的方式,并从最坏情况进行系统恢复的一种思维方法。

(6) 计算思维是利用启发式推理寻求解答,也即在不确定情况下的规划、学习和调度的思维方法。

(7) 计算思维是利用海量数据来加快计算,在时间和空间之间,在处理能力和存储容量之间进行折中的思维方法。

计算思维是一种概念,也是一种思想、一种教育理念。2011年被陈国良院士等人传播到国内,不仅影响计算机及其相关专业的教育,而且影响高等学校计算机基础教育,把中国的计算机基础教育带进一个新的时期——计算思维教育阶段。

2. 本书的写作思想

周以真教授提出的计算思维,不仅为计算机教育带来新的思想,而且会影响整个教育体制的理念。但是,这不能只靠周以真教授一人,还需要更多的人去发展、去展开、去实践、去推行。这就是本书写作的基本思想。

关于计算思维本身,本人将其具体化为如下一些具体的思维。

(1) 计算符号化思维。

(2) 计算自动化与智能化思维。

(3) 工程化问题求解思维。

(4) 算法思维。

(5) 协同计算。

(6) 计算虚拟化。

这些思维不仅造就了计算、计算机本身,而且已经延伸到几乎所有领域。介绍这些思维模式,有助于各个领域的创新发展和技术进步,这也是本书内容组织的框架。

按照上述计算思维所包含的内容,本书分为相应的6章,并把有关信息技术的介绍放进有关章节。这样的一种组织模式,旨在使当代大学生站在一个较高的高度,从一个较宽的视野,获得一些较深的启迪。

为了适应不同读者的学习需求，本书前 5 章都设了一个“知识链接”栏目。这个栏目的内容可以选学。

3. 希望与感谢

本书完全围绕“计算思维”，贯穿了新思想，采用了新提法，组织了新内容，形成了新体系。这一切都是尝试。它的不成熟、不完整、不确切已经估计到了。但作者水平也就如此，不过也留下了一个能让更多的人参与的空间。希望有关读者、专家能就此展开讨论，提出宝贵意见，将这个事业不断向前、向新推进。

在本书写作过程中，参考了大量资料。有些已经在相关参考文献中列出，有些因为是网络佚名作者，还有些已经多次辗转引用，无法找到原始作者。在此谨表感谢。

在本书写作过程中，赵忠孝、古辉、张秋菊、史林娟、张展为、董兆军、张友明、戴璐等也参加了部分工作，也在此一并感谢。

张基温

2017年7月15日

于广州小海之畔

目 录

第 1 章 计算符号化思维	1
1.1 信息与符号	1
1.1.1 信息	1
1.1.2 符号	1
1.1.3 八卦符号	3
1.2 数值的 0、1 编码	6
1.2.1 十进制数与二进制数	6
1.2.2 基于二进制的运算规则	6
1.2.3 二进制与十进制之间的转换	8
1.2.4 原码、反码、补码和移码	10
1.2.5 机器数的浮点形式与定点形式	13
1.3 非数值的 0、1 编码	14
1.3.1 声音的 0、1 编码	14
1.3.2 图形/图像的 0、1 编码	16
1.3.3 文字的 0、1 编码	19
1.3.4 指令的 0、1 编码与计算机程序设计语言	22
1.4 抗干扰编码	24
1.4.1 数据传输中的错误	24
1.4.2 奇偶校验	25
1.5 条形码	26
1.5.1 一维条形码	26
1.5.2 二维条形码	33
1.5.3 其他条形码	36
1.6 数字逻辑	37
1.6.1 布尔代数基本法则	37
1.6.2 逻辑代数的基本定律	39
1.6.3 组合逻辑电路	39
1.7 数字系统中的信息单位与量级	40
1.7.1 数字系统中的信息单位	40
1.7.2 数字系统中的量级	41
习题 1	41
参考文献 1	43

第 2 章	计算自动化与智能化思维	44
2.1	计算工具的进步	44
2.1.1	程序控制工具的原型——算盘	44
2.1.2	提花机与 Babbage 计算模型	45
2.1.3	计算机进入内动力时代	48
2.2	Neumann 计算机组成	54
2.2.1	Neumann 计算模型	54
2.2.2	计算机存储器	55
2.2.3	计算机控制器	60
2.2.4	总线	62
2.2.5	主板	67
2.3	Neumann 体系改进	72
2.3.1	从以运算器为中心到以存储器为中心	72
2.3.2	从串行结构到并行结构	73
2.3.3	哈佛模型与拟态计算机	75
2.4	计算机系统	76
2.4.1	计算机的自我管理	76
2.4.2	操作系统的功能结构	77
2.4.3	现代计算机系统结构	79
2.4.4	自动计算理论的再讨论	80
2.5	计算性能及其评测	80
2.5.1	计算机的主要性能指标	80
2.5.2	天梯图	85
2.6	计算智能化	86
2.6.1	人工智能	86
2.6.2	智能计算机	92
2.6.3	人工神经网络	94
	习题 2	97
	参考文献 2	99
第 3 章	工程化问题求解思维	100
3.1	面向过程的程序开发	100
3.1.1	数据类型	100
3.1.2	标识符及其声明	102
3.1.3	表达式	103
3.1.4	操作符与表达式的求值规则	106
3.1.5	语句及其流程控制	109
3.1.6	组织过程	112
3.1.7	库函数与头文件	116

3.1.8	派生数据类型	116
3.2	面向对象程序开发	122
3.2.1	对象模型的建立和对象的生成	122
3.2.2	对象的生成	123
3.2.3	继承与聚合	124
3.3	程序错误和异常	126
3.3.1	程序错误和异常	126
3.3.2	程序测试及其形式	127
3.3.3	程序的结构测试	128
3.3.4	程序的功能测试	130
3.4	软件工程	134
3.4.1	软件开发过程及其模型	134
3.4.2	程序设计风格和规范	136
3.4.3	软件开发工具与环境	138
3.4.4	软件再工程	141
3.4.5	复用技术对 OO 方法的支持	143
3.5	知识链接	145
3.5.1	领域工程	145
3.5.2	软件能力成熟度模型	145
	习题 3	147
	参考文献 3	148
第 4 章	算法思维	149
4.1	算法基础	149
4.1.1	穷举	149
4.1.2	迭代与递推	150
4.1.3	递归	152
4.2	模拟算法	154
4.2.1	产品随机抽样	154
4.2.2	用蒙特卡洛方法求 π 的近似值	157
4.2.3	事件步长法——中子扩散问题	158
4.2.4	时间步长法——盐水池问题	161
4.3	数组元素的排序与查找	164
4.3.1	直接选择排序	165
4.3.2	冒泡排序	167
4.3.3	二分查找	168
4.4	常用算法设计策略	170
4.4.1	分治	170
4.4.2	回溯	173

4.4.3	贪心策略	177
4.4.4	动态规划	180
4.5	算法综述	182
4.5.1	算法及其要素	182
4.5.2	算法的中间描述工具	183
4.5.3	算法的特征	188
4.5.4	算法评价	189
4.6	知识链接	190
4.6.1	数据结构	190
4.6.2	文本压缩算法	195
4.6.3	搜索引擎网页排序算法	198
4.6.4	数据挖掘算法	201
	习题 4	206
	参考文献 4	215
第 5 章	协同计算	216
5.1	层次型协同	216
5.1.1	计算机系统的层次协同	216
5.1.2	计算机网络的层次模型	217
5.1.3	数据库的三级模式	223
5.2	协议型协同	225
5.2.1	地址类协议	225
5.2.2	认证类协议	232
5.2.3	可靠传输协议	235
5.3	时序控制型协同	239
5.3.1	计算机微操作的时序控制	240
5.3.2	通信中的时序控制	242
5.3.3	TCP 连接与释放	245
5.4	中间代理型协同	248
5.4.1	代理服务器	248
5.4.2	I/O 接口	249
5.4.3	中间件技术	252
5.4.4	网络协同攻击	254
5.5	资源共享型协同	261
5.5.1	竞争型资源共享	261
5.5.2	基于优先权的资源共享	264
5.5.3	封锁性资源共享	268
5.6	并行计算	271

5.6.1	并行性及其等级	271
5.6.2	基于并行性的处理器体系 Flynn 分类	272
5.6.3	并行性开发的基本思想	274
5.7	计算机支持的协同工作	275
5.7.1	计算机支持的协同工作概述	275
5.7.2	CSCW 的类型	276
5.8	物联网	276
5.8.1	物联网的技术架构	276
5.8.2	物联网公共技术	277
	习题 5	278
	参考文献 5	280
第 6 章	计算虚拟化	281
6.1	计算虚拟化概述	281
6.1.1	虚拟化：模式与优势	281
6.1.2	计算虚拟化：特点与部署	282
6.1.3	计算虚拟化的解决方案与实现技术	283
6.2	CPU 虚拟化	285
6.2.1	指令重叠与流水	285
6.2.2	VMM 技术	286
6.2.3	迁移技术	287
6.3	I/O 虚拟化	288
6.3.1	I/O 虚拟化思路	288
6.3.2	基于 VMM 的 I/O 虚拟化	289
6.3.3	虚拟现实、增强现实与现实虚拟	290
6.4	桌面虚拟化	297
6.4.1	桌面虚拟化及其发展	297
6.4.2	桌面虚拟化技术构架	298
6.4.3	桌面虚拟化应用模式	299
6.5	网络虚拟化	301
6.5.1	分组交换、虚电路与数据报	301
6.5.2	信道的多路复用	306
6.5.3	虚拟局域网 VLAN	310
6.5.4	虚拟专用网 VPN	312
6.5.5	交换机虚拟化	313
6.5.6	服务器虚拟化	315
6.6	存储虚拟化	317
6.6.1	概述	317
6.6.2	虚拟存储器	318

6.6.3	Cache-主存机制	321
6.6.4	基于 VMM 的内存虚拟化	324
6.6.5	网络存储模式与云存储	325
6.7	云计算、雾计算与霾计算	329
6.7.1	云计算	329
6.7.2	雾计算、边缘计算与霾计算	333
6.8	软件定义计算	334
6.8.1	软件定义网络	335
6.8.2	软件定义存储	338
6.8.3	云计算、大数据——软件定义的主领域	340
习题 6		341
参考文献 6		343

第1章 计算符号化思维

符号 (symbol) 是计算的基础。从数字符号、算术符号开始, 数学便在符号世界中不断发育和壮大。历史上, 中华先哲们已经用两个简单的符号——阳爻 (yao, —) 和阴爻 (--) 演绎了世界万物。后来, 人们把这两个符号改写为 0、1, 并把这些演绎放进现代工具——计算机中进行, 将之称为“计算”。

1.1 信息与符号

1.1.1 信息

信息 (information) 是人类社会最重要的资源。它无处不在, 无时不在, 既普通, 又神秘。但是关于它的定义众说纷纭、莫衷一是, 迄今还没有一个为大家都信服的解释。

有的将 information 解释为“用来通信的事实, 在观察中得到的数据、新闻和知识” (美国的《韦伯斯特大词典》, *Webster's Dictionary*)。

有的将 information 解释为“谈论的事情、新闻和知识” (英国《牛津词典》, *Oxford English Dictionary*)。

有的认为信息是“在通信的一端 (信源) 精确地或近似地复现另一端 (信宿) 所挑选的消息, 至于通信的语义方面的问题与工程方面的问题是没有关系的” (美国科学家 Claude Elwood Shannon. *A Mathematical Theory of Communication*, *Bell System Technical Journal*, 1948)。

有的认为“信息是人们在适应客观世界, 并使这种适应被客观世界感受的过程中与客观世界进行交换的内容的名称。”并说: “信息就是信息, 不是物质, 也不是能量” (美国科学家 Norbert Wener)。

还有的把信息定义为“物质和能量在空间和时间上分布不均匀性的测度” (苏联学者格卢什科夫, 1964), 或者“信息是事物之间的差异, 是事物存在状态和演化过程的反映” (意大利学者 G. Longe)。

不过本人倾向于这样的概念: 信息是神经系统对于外界的反应。这样的概念可以比较好地区分另外两个与信息相联系的概念: 信号是引起物理系统反应的外界运动, 数据是人工信息处理系统存储或处理的对象。也就是说, 信号是被物理系统解释的, 数据是被人工信息处理系统存储和解释的, 而信息是被神经系统解释的, 神经系统并不限于只有人才有, 不过多数情况下, 是针对人来讨论信息的概念的。

1.1.2 符号

1. 信息传递与符号

信息有许多属性, 例如:

(1) 信息可以减少认知的不确定性。

(2) 信息具有可聚变性。

(3) 信息具有资源性等。

在信息的诸多属性中，有一个非常重要的属性——信息具有可传递性。

信息是在传递过程中被增值的。信息传递维系了一个群体的生存，例如，蜜蜂采蜜，蚂蚁觅食，鸟群休息时警戒鸟的叫声等。信息传递也是不同群体之间进行协调的手段，例如，狗对人摇尾巴或吠吼，狮群用气味进行领地的划分等。这些叫声、气味、动作以及表情统称为符号，用它们替代某种信息进行传递。根据巴甫洛夫的理论，这些符号是通过条件反射引起的大脑皮层反应，并建立起符号和信息之间的对应关系。这是动物界和人类都具有的一种较高级的神经活动。但是，人与动物不同。动物界的这些符号是自然形成的，而人类从一开始就生活在具有生产活动和文化生活的社会中，比起群体生活需要更为复杂、更为频繁的信息交流，为此创造了更为复杂的、系统化的符号，并在不断丰富和改进这些符号系统，从而刺激并练就了人的第二条件反射机能。所以，信息是以人感觉器官所接收的符号表现，进而成为神经系统解释的原料。

2. 人类信息符号系统及其特征

人类可以创造符号，随着社会的进步，符号越来越丰富，越来越细化。例如语言、文字、盲文、哑语、海上旗语、数字符号、算术符号、代数符号、逻辑符号、职业标志、街道标志、交通信号、飞行信号、钟声、鼓声、烽火、号角、音乐、舞姿、乐谱、节拍、图画、雕塑、图腾、旗帜、货币、证券、徽章、印章、姓名、字号、时间、节气等，并在此基础上，形成了丰富多彩的科学、技术和文化分支。

一般认为，符号是经约定俗成的象征性记号或指号 (sign)。语言学家索绪尔认为，符号包括两个不可分割的组成部分，能指 (可以被感知的记号、指号) 和所指 (即作为符号被神经系统解释为某些信息)。由此可以看出，符号具有如下几个特征。

(1) 可感性。符号必须可为感觉器官所感觉。例如，盲人对于印刷文字是不可感觉的，对于盲文才是可感觉的。

(2) 社会性。能指与所指之间并没有必然的、本质的联系，它们的结合靠的是约定或俗成。例如，盲文中的点的布局与表达的信息之间完全是约定的。约定表明了某种社会性。所以，社会性是人类语言符号的本质。

(3) 强制性。在人类社会中，符号与所标记事物或思想之间的标记关系一经社会确定下来，便有很大的权威性，会强制人们必须遵守这一约定。

(4) 抽象性。世界万物都是相互关联的、运动的，也是复杂的。面对复杂性，人们认识客观事物的有力武器是抽象 (abstract)。抽象就是抽取现象，即从收集到的事物表现中抽取自己的关注相关性大的现象，以构建一个简化的现象空间。所以，抽象与关注有关。例如在菜市上，从美学、营养学、经济学、社会治安等不同的角度，抽取的现象是不同的，最后得到的现象空间也是不同的。

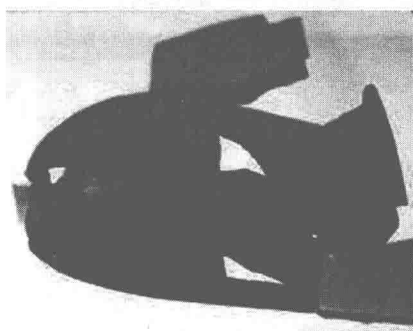
最基本的抽象是对获取的事物现象进行表达，以便记忆或传播，这就是符号。符号系统的基本作用是指代，具有抽象性和层次性。例如，算术符号 $2+3$ 可能指代的是房间中原

来有两个人，又进来三个人；院子里有两辆汽车和三辆自行车等。抽象性是人类符号的一个特征。这种抽象能力在动物中是没有的。符号抽象的层次性表明有些符号是对别的符号的抽象，这才形成符号体系。

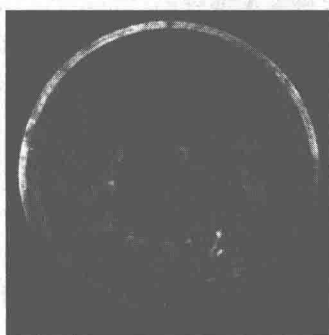
人们通过使用符号可以从漂浮不定的感性流中抽取出某些可固定的成分，从而把它们分离出来进行研究。显然，没有一套相当复杂的符号体系，人无法交流更多的思想，没有办法摆脱具体的纠缠，就无法发现一般性规律；没有一套符号体系，就不会有人类社会。所以，人类社会的进步伴随着符号体系不断完善的过程。

3. 中国早期的人类符号系统

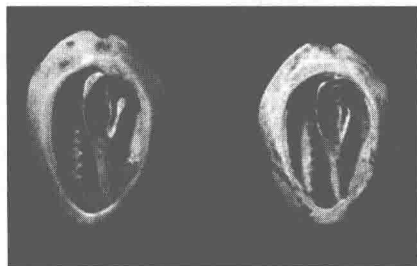
从某种角度看，一个国家的符号系统的丰富程度，是其社会发展先进程度的一种标志。中国是历史悠久的文明古国，很早就建立了自己的社会符号体系：丰富的各民族语言、可以表达复杂信息内容的文字，以及音乐、图画、烽火、鼓声、货币、旗号等。图 1.1 (a) 为在山西临汾陶寺遗址出土的陶壶，它上面有两个毛笔朱书的符号，经专家鉴定是两个文字符号“文”（或“父”）和“尧”。这个发现，不仅把中国的文字历史推早到 4000 多年前，而且中国人书写文字的工具的历史提前到 4000 多年前。同时出土的还有贝币、画有龙纹的龙盘和铜铃（分别见图 1.1 (b) ~图 1.1 (d)）。



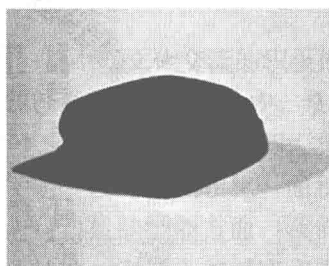
(a) 有毛笔朱书文字的陶壶



(b) 彩绘有龙纹的龙盘



(c) 贝币



(d) 铜铃

图 1.1 山西临汾陶寺出土的 4000 多年前的文物

1.1.3 八卦符号

在人类发明的符号体系中，抽象级别最高的当数中国的八卦图。据说其发源于山西洪洞县的卦底村。因为那里是黄帝和蚩尤祭封天下之处，尧、舜、禹建都也都在其附近，是早