

国家级教学成果奖配套教材  
国家精品课程主讲教材

高等学校大学计算机基础课程系列教材

# 大学计算机基础(第2版)

顾 刚 程向前 主编  
杨忠孝 沈 红 贾应智 刘志强 编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

国家级教学成果奖配套教材  
国家精品课程主讲教材  
高等学校大学计算机基础课程系列教材

# 大学计算机基础

Daxue Jisuanji Jichu

(第2版)

顾 刚 程向前 主编  
杨忠孝 沈 红 贾应智 刘志强 编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书是根据教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会提出的《高等学校计算机基础教学发展战略研究报告暨计算机基础课程教学基本要求》中有关“大学计算机基础”课程“教学基本要求”的“较高要求”编写的,本书从当前高等学校计算机基础教育的实际出发,充分结合计算机技术本身发展状况,引入了“计算思维”的基础概念,在内容取舍、篇章结构、叙述方式、教学与实验的有机结合等方面都进行了精心设计与组织。

本书包含8章,内容分别为:计算机与计算思维、计算机发展与数字基础知识、计算机硬件系统、计算机软件系统、计算机网络基础、多媒体技术基础、数据库技术基础和程序设计基础。本书以“计算思维”能力培养为主线紧密耦合8章内容,其中网络、多媒体和数据库这3个实用性系统平台的使用方法在本书中有较详细的介绍。

本书可作为高等学校“大学计算机基础”课程的教材,也可作为其他读者学习计算机技术参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学计算机基础 / 顾刚,程向前主编;杨忠孝等编. —2版.

—北京:高等教育出版社,2011.8

ISBN 978-7-04-033429-6

I. ①大… II. ①顾… ②程… ③杨… 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(2011)第150616号

策划编辑 刘茜  
插图绘制 尹莉

责任编辑 刘茜  
责任校对 姜国萍

封面设计 于文燕  
责任印制 田甜

版式设计 余杨

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印刷 北京铭传印刷有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 21.5

字数 520千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2008年6月第1版

2011年8月第2版

印 次 2011年8月第1次印刷

定 价 29.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 33429-00

# 前 PREFACE 言

自 2008 年第 1 版出版以来,我们一直试图通过一系列教学探索和实践,解决如下两个“大学计算机基础”课程的问题:

1. 非零起点的新生人数逐年上升,但零起点的人数仍不能忽视;
2. 本课程涉及的内容面宽,概念多,而学时较少,这个矛盾日益突出。

在教学实践中,我们发现采用案例驱动式教学可以较为有效地解决上述两个问题。因此我们组织教师为每章设计了若干应用案例。应用案例的内容主题一般分 4 类:一是最新发布的与本章相关的新技术、新方法;二是涉及本章的应用技巧、窍门和经验;三是本章中最常见问题的解决方案;四是采用与生活、工作经历对比的方式,即采取拟人化的方法讲解本章的难点。在课堂教学上,要求教师以应用案例为主线开展教学。通过案例驱动式教学,课程教学质量有了很大的提高,并受到学生的好评。教学的成功驱使我们把案例驱动式教学方法和一批应用案例融入到教材中,这是我们修订教材的原因之一。

我们修订教材的另一个原因是 2010 年我们对计算科学与计算思维的认识与研究。进入新世纪以来,以计算机科学技术为核心的计算科学发展异常迅猛、有目共睹。计算科学、理论科学和实验科学作为科学发现三大支柱,正推动着人类文明进步和科技发展。计算科学主要包含三部分:运算法则;计算机和信息科学;计算基础设施。与计算科学相对应的是计算思维,简单地说,计算思维是运用计算机科学的基础概念去求解问题、设计系统和理解人类的行为。从计算科学与计算思维的定义中不难发现计算思维能力培养恰恰是大学计算机基础教育的根本目的,自然也是大学第一门计算机教育的根本目的。我们深深感觉到应该将“计算思维”能力培养作为大学计算机基础课程的主线,尽可能多地阐述计算思维的核心概念,把现有教学内容紧密耦合或串联起来,提高本科生的“计算素质”。

本书每章的结构为:本章教学目标、本章教学设问、章节内容、应用案例、本章小结、习题。我们为每章都设计了 3 个以上应用案例。建议每章的课程教学顺序依次为:提出若干引人入胜的问题,明确各章目标,讲授各章知识点和技能点,讲解应用案例,总结加固本章的知识点和技能点。

本书共分为 8 章,第 1 章至第 5 章主要涉及计算科学与计算机基础理论知识,计算机系统平台和常用软件工具的使用方法,前 5 章是本书的基础内容。第 6 章和第 7 章主要介绍多媒体和数据库的应用技术方法。第 8 章为程序设计基础,主要介绍程序设计的概念和步骤,并涉及初步的算法流程描述。后 3 章是本书的应用内容。在具体教学安排上,各校可以根据教学学时、学生的程度等具体情况,选取教学内容,教学顺序可以不按本书的章节次序。

本书由顾刚、程向前主编，程向前编写第1章和第5章，沈红编写第2章，贾应智编写第3章和第7章，刘志强编写第4章，杨忠孝编写第6章，顾刚编写第8章，最后由顾刚统稿。

由于认识水平的局限，许多规律有待进一步探索和深层次的总结。欢迎读者批评指正，编者的E-mail为 [gugang@mail.xjtu.edu.cn](mailto:gugang@mail.xjtu.edu.cn)。愿与广大同行为建设高校高质量的第一门计算机课程共同努力。

编者

2011年6月

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

# 目 CONTENTS 录

<b>第 1 章 计算机与计算思维</b> ..... 1	<b>第 2 章 计算机发展与数字基础知识</b> ..... 37
1.1 计算意义与计算思维..... 1	2.1 计算机发展历史..... 38
1.2 计算科学方法概论..... 5	2.1.1 计算工具的进化..... 38
1.3 可计算性与计算过程..... 7	2.1.2 奠定现代计算机发展的 重要人物和思想..... 41
1.3.1 近代的计算思维：七桥问题..... 8	2.1.3 电子计算机的发展历程..... 44
1.3.2 计算问题的描述..... 9	2.1.4 未来计算机的发展..... 49
1.3.3 计算数据的存储..... 10	2.2 数字化基础知识..... 53
1.4 计算思维的跨学科交融..... 11	2.2.1 计算机中信息度和存储的单位..... 53
1.4.1 计算思维与信息科学..... 12	2.2.2 数制..... 53
1.4.2 计算思维与数论的融合..... 13	2.2.3 字符的表示..... 57
1.4.3 生物信息学..... 14	2.2.4 汉字的表示..... 59
1.4.4 仿生计算..... 14	2.2.5 常见的字符编码..... 62
1.5 计算机学科的核心概念与 问题求解..... 15	2.2.6 多媒体信息的数字表示..... 64
1.5.1 计算机学科的核心概念..... 16	2.3 应用案例..... 65
1.5.2 问题求解的基本步骤..... 17	2.3.1 与汉字编码有关的应用..... 65
1.6 计算思维的技能..... 18	2.3.2 解决网页浏览时出现的乱码问题..... 68
1.6.1 科学思维..... 18	2.3.3 解决网站内容的更新问题..... 69
1.6.2 逻辑思维..... 19	本章小结..... 70
1.6.3 算法思维..... 20	习题 2..... 71
1.6.4 效率思维..... 21	<b>第 3 章 计算机硬件系统</b> ..... 73
1.6.5 创新思维..... 22	3.1 计算机硬件概述..... 73
1.6.6 伦理思维..... 23	3.1.1 冯·诺依曼计算机的概念..... 74
1.7 应用案例..... 25	3.1.2 硬件系统..... 74
1.7.1 非线性方程牛顿迭代求解方法分析..... 25	3.1.3 计算机的主要性能指标..... 75
1.7.2 利用 Excel 进行数学积分计算..... 28	3.2 微型计算机组成..... 76
1.7.3 使用程序进行图的遍历..... 31	3.2.1 中央处理器..... 76
本章小结..... 33	3.2.2 内存存储器..... 77
习题 1..... 34	3.2.3 高速缓冲存储器..... 78
	3.2.4 外存储器..... 79

3.2.5 总线和接口 .....	83	4.5.3 计算机优化配置 .....	163
3.3 常用的外部设备 .....	85	本章小结 .....	165
3.3.1 键盘 .....	86	习题 4 .....	166
3.3.2 鼠标 .....	88	<b>第 5 章 计算机网络基础</b> .....	169
3.3.3 扫描仪 .....	88	5.1 计算机网络概述 .....	170
3.3.4 其他输入设备 .....	89	5.1.1 计算机网络的发展史 .....	170
3.3.5 显示器 .....	89	5.1.2 网络协议 .....	172
3.3.6 打印机 .....	90	5.1.3 网络体系结构 .....	173
3.4 应用案例 .....	91	5.1.4 网络接入技术 .....	179
3.4.1 认识计算机硬件的各个组成 .....	91	5.2 因特网概述 .....	182
3.4.2 扩充内存和更换硬盘 .....	92	5.2.1 因特网的物理结构与工作模式 .....	183
3.4.3 移动存储设备的使用 .....	93	5.2.2 URL、域名、IP 地址及 DNS .....	186
本章小结 .....	94	5.2.3 因特网应用概述 .....	192
习题 3 .....	94	5.3 网络信息安全概述 .....	194
<b>第 4 章 计算机软件系统</b> .....	97	5.3.1 计算机网络安全威胁 .....	194
4.1 计算机软件概述 .....	97	5.3.2 计算机网络安全体系 .....	196
4.1.1 软件的基本概念 .....	98	5.3.3 网络安全服务层次模型和技术 .....	196
4.1.2 软件发展史 .....	104	5.4 网络信息检索 .....	200
4.1.3 软件技术发展趋势 .....	113	5.4.1 信息检索 .....	200
4.2 操作系统概述 .....	116	5.4.2 搜索意愿表达 .....	201
4.2.1 什么是操作系统 .....	116	5.4.3 通用搜索与专题数据库检索 .....	202
4.2.2 操作系统基本知识 .....	118	5.5 因特网对社会的影响 .....	209
4.2.3 常用操作系统概述 .....	124	5.6 应用案例 .....	211
4.3 操作系统功能概述 .....	132	5.6.1 Web、FTP 服务器建立及信息发布 .....	211
4.3.1 文件管理 .....	132	5.6.2 院校网络信息资源的应用 .....	214
4.3.2 进程管理 .....	139	5.6.3 检测和了解计算机的网络状态 .....	215
4.3.3 存储管理 .....	143	本章小结 .....	216
4.3.4 设备管理 .....	147	习题 5 .....	217
4.3.5 用户接口 .....	150	<b>第 6 章 多媒体技术基础</b> .....	221
4.4 操作系统基本操作 .....	151	6.1 多媒体技术概述 .....	221
4.4.1 文件操作 .....	151	6.1.1 媒体 .....	222
4.4.2 磁盘操作 .....	153	6.1.2 多媒体计算机系统的组成 .....	222
4.4.3 命令方式操作 .....	155	6.1.3 多媒体技术的特点 .....	223
4.4.4 安装应用软件操作 .....	157	6.1.4 多媒体技术的应用 .....	223
4.4.5 系统资源管理 .....	159	6.2 多媒体信息数字化 .....	224
4.5 应用案例 .....	161	6.2.1 声音数字化 .....	224
4.5.1 “沃森”是如何思考的 .....	161	6.2.2 图像数字化 .....	226
4.5.2 交互界面设计方法分析 .....	162	6.2.3 视频数字化 .....	228



6.3 数据压缩	229	7.5 应用案例	287
6.3.1 声音的压缩及文件格式	229	7.5.1 “成绩管理”数据库的设计	287
6.3.2 图像的压缩及文件格式	231	7.5.2 图书借阅管理数据库的实现	290
6.3.3 视频的压缩及文件格式	233	7.5.3 南非世界杯信息的检索	292
6.4 多媒体信息基本操作	235	本章小结	298
6.4.1 音频信息基本操作	235	习题 7	298
6.4.2 图像信息基本操作	239	<b>第 8 章 程序设计基础</b>	301
6.4.3 视频信息基本操作	243	8.1 程序与程序设计语言概述	301
6.5 应用案例	246	8.1.1 程序与软件	302
6.5.1 音频文件的噪声处理	246	8.1.2 程序设计语言	302
6.5.2 图像合成	248	8.1.3 程序设计概念	304
6.5.3 配乐电子相册	249	8.1.4 常用程序设计语言	305
本章小结	250	8.2 程序设计的基本过程	307
习题 6	250	8.2.1 问题定义	307
<b>第 7 章 数据库技术基础</b>	254	8.2.2 算法设计	308
7.1 数据库技术概述	255	8.2.3 程序编制	309
7.1.1 数据管理技术的发展	255	8.2.4 调试运行	311
7.1.2 数据库管理系统	257	8.2.5 整理文档	312
7.1.3 数据库系统的体系结构	258	8.3 算法设计初步	312
7.1.4 数据模型	260	8.3.1 自然语言描述算法	313
7.2 关系模型和关系数据库	261	8.3.2 流程图描述算法	314
7.2.1 关系模型的概念	261	8.4 结构化设计方法	315
7.2.2 关系模型的特点	262	8.4.1 结构化设计思想概述	315
7.2.3 关系中的键	263	8.4.2 三种基本程序结构	316
7.2.4 完整性约束规则	263	8.4.3 算法设计实例	318
7.3 关系的规范化	264	8.5 程序设计应用案例	320
7.4 Microsoft Access 2007 基本操作	268	8.5.1 数据排序	320
7.4.1 Access 2007 概述	268	8.5.2 数据查找	325
7.4.2 数据表的建立和使用	273	8.5.3 数据加密	328
7.4.3 建立数据表	274	本章小结	330
7.4.4 数据表的管理	279	习题 8	330
7.4.5 表间关系	280	参考文献	332
7.4.6 创建查询	283		

## 计算机与计算思维

### 教学目标

- 了解计算思维的基本概念
- 了解使用计算机进行问题求解的一般过程
- 了解计算机学科的核心概念
- 了解计算机学科与其他学科之间的关系
- 了解和掌握计算思维的基本技能

### 教学设问

1. 什么是计算思维，非计算机专业学生学习计算思维意义何在？
2. 什么是科学方法，计算在科学方法中扮演何种角色？
3. 计算机学科的方法论有哪几个过程？
4. 计算机学科如何影响其他学科，又如何从其他学科获得经验与教训？
5. 了解计算机学科的核心概念对非计算机专业学生有何意义？
6. 问题求解有哪些基本步骤？
7. 计算思维包括了哪些基本的技能？

### 1.1 计算意义与计算思维

计算思维（Computational Thinking, CT）由美国 Carnegie Mellon 大学计算机科学教授周以真女士于 2006 年提出。她认为，计算思维是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。计算思维代表着一种普遍的态度和一类普适的技能，每一个人都应热心于它的学习和运用。

周以真认为计算思维具有以下特征：

- (1) 是概念化的抽象思维，而不只是程序设计；
- (2) 是基本的，而不是死记硬背的技能；
- (3) 是人的，而不是计算机的思维方式；
- (4) 是数学和工程思维的互补与融合；
- (5) 是思想，而不是人造品；
- (6) 面向所有的人和所有地方；

(7) 关注依旧亟待理解和解决的智力上极有挑战性并且引人入胜的科学问题。

对大多数人来说，“计算”是一个可以领会却又难于言表的数学概念。电子数字计算机的出现和计算机科学的发展泛化了这个概念。无论是过去，还是现在或将来，计算始终都是人类基本思维活动和行为方式的主要方面之一，也是人们认识世界与改造世界的基本方法。

值得关注的是计算思维中的“计算”是 **computation** 而不是 **computing**，在计算机科学与工程领域中用的是 **computing** 而不是 **computation**。在中文中，我们将 **computation** 和 **computing** 都译为计算，如果把计算归入数学领域，就失去了它的本质意义，因为 **computation** 和 **computing** 在英语中有着不同的含义。

根据词典，**computation** 是可用数学表示的任何形式的信息处理的概念，它包括简单的计算和人的思维 (**Human Thinking**)。所以，计算思维无论是由人或机器执行，都是建立在计算处理的能力和限制之上的。

一般来讲，**computing** 意味着任何面向目标的需要、受益于和创造计算机的活动。因此，**computing** 涉及软件和硬件系统的设计、建造；各种信息的处理、规范和管理；用计算机开展的科研活动；使计算机系统具有智能行为；创建和使用通信和娱乐媒体；寻找和收集与任何目的有关的信息等。

如此看来，**computation** 更侧重数学或在计算学科的应用，而 **computing** 是发展和使用计算机及有关技术的人类知识和活动的总和，它不仅需要数学而且需要人类的一切知识和经验来发展和使用计算机。实际上，过去的 60 多年中计算机之所以得到史无前例的发展，一方面在于数学和电子科学为其提供了坚实的理论和技術基础，另一方面在于其他各个学科也提供了各种可能的帮助和动力。没有后者，计算机就不能成为每个人的必需，就不能渗透到人类活动的各个领域，就不能成为当代社会最有效的工具之一。

本章所涉及的计算一词包括了 **computation** 和 **computing** 的内容。学习计算机基础，了解计算思维的宏观特性，对于个人专业发展具有特别重要的意义。以下将论述当代计算思维的十大特征：层次化、结构化、过程化、工程化、智能化、人性化、网络化、移动化、信息化和服务化。

### (1) 计算思维的层次化

层次化源于社会组织和分工。计算思维的层次化蕴含计算思维由计算理论思维、计算技术思维、计算工程思维、计算工具思维、计算服务思维和计算应用思维 6 个层次思维组成。它们分别对应计算理论、计算技术、计算工程、计算工具、计算服务和计算应用。每个层次上的思维都包含许多不同的思维过程、思维模式和思维规律。对这 6 种思维的抽象形式化、理论化和工程化促进了计算理论、计算技术、计算工程、计算工具、计算服务和计算应用的发展，而后者的进一步发展又反过来产生出了新的计算理论思维、计算技术思维、计算工程思维、计算工具思维、计算服务思维和计算应用思维。

### (2) 计算思维的结构化

结构化源于软件开发的结构化系统分析、结构化设计和结构化程序设计。现在，结构化已经成为计算思维的一大特征，它的表现形式往往是每当研究一个与计算有关的问题时，我们会思考：这个问题可以结构化吗？或者，这个问题是否在一个现有的结构中？或者，它的结构是

什么? 等等。

### (3) 计算思维的过程化

过程化源于工程学和企业管理,也是一种计算思维范式。例如,面向过程的程序设计思维。任何计算机算法、程序或协议可以看作是一种过程化的逻辑描述。计算思维过程化的表现形式往往是每当研究一个与计算有关的问题时,可以这样思考:这个问题可以过程化吗?或者,这个问题是否在一个现有的过程中?或者,它的过程描述是什么?等等。从思维过程化的角度来看,计算思维源于并服务于由计算理论、计算技术、计算工程、计算工具、计算服务和计算应用构成的计算思维生存周期,这一生存周期以计算理论为始点,以计算应用为终点,其中的每一节点都将产生计算思维,计算思维从这一计算链的终点到始点的转化构成了计算思维的抽象、升华和理论,而计算思维从这一计算链的始点到终点的转化构成了计算思维的工程化。

### (4) 计算思维的工程化

工程化源于工程学、计算机工程和软件工程,其核心是用工程中行之有效的工程原理、思想和方法来开发计算系统、软件系统或智能系统。工程化往往涉及技术或系统的分析、设计、验证、模拟、仿真和管理。因此,工程化成为计算思维的一种特别重要的特征。计算思维从计算理论、计算技术、计算工程、计算工具、计算服务到计算应用的转化就是计算思维的工程化,其主要要素为需求分析、规格说明、设计和实现方法、测试和分析。计算思维的工程化促进了诸如计算机、手机、平板电脑等计算工具和系统的发展,后者反过来促进了计算思维的工程化。

### (5) 计算思维的智能化

智能化源于 Alan Turing 在 1950 年发表的一篇关于机器智能的文章。人工智能、计算机科学与技术的发展使机器的智能化成为研究热点。计算思维智能化的表现形式为这个机器是智能的吗?能否使这个机器具有智能?可以使这一事务的处理摆脱人类的脑力控制吗?等等。计算思维的智能化促进了交通管理的智能化、业务流程的智能化,以及电子服务的智能化;电子服务和社会生活的智能化的需求反过来促进计算思维智能化的进一步发展。

### (6) 计算思维的人性化

人性化是任何技术和产品的社会要求,急人所急、想人所想是当代科学技术和产品成功的必要条件。许多人上网做的第一件事就是查询,从而使谷歌、百度成为“急人所急、想人所想”的成功典范。计算思维的人性化表现为这个机器或系统是人性化的吗?人一机能否像人与人之间那样自然地交互吗?等等。机器人(Robot)是机器人性化的代表;智能代理(Intelligent Agent)是软件系统人性化的代表。计算思维的人性化促进了人机交互的人性化、计算工具的人性化和社会的进步。信息社会需要计算思维的人性化。

### (7) 计算思维的网络化

网络化源于社会学(社会网络)、经济学(市场网络和经营网络)和计算机网络,互联网使网络化成为计算思维的一种特别重要的特征。计算思维网络化的表现形式为每当研究一个与计算有关的问题时,我们会思考:这个问题可以网络化吗?或者,这个问题是否在一个现有的网络中?等等。例如,当遇到一个不知道的问题时,我们会首先上互联网用各种搜索引擎寻找这一问题的答案。计算思维的网络化促进了互联网的巨大发展,互联网的巨大发展反过来使计算思维的网络化更加深入人心,改变了人们的生活方式、工作方式和思维方式。

### (8) 计算思维的移动化

移动化已经经历了若干革命。汽车、飞机、火车、电话、传真等使人们从一个地方到另一

个地方、与另一个地方的人通信成为可能。然而移动计算、移动通信使人与人的信息交流超越时空,变得更加自然。计算思维的移动化的表现为不管他在何时何地,我能和他联系吗?我能看得见他吗?等等。移动通信与地理信息系统的结合,产生了新的计算模式:与位置有关的计算。这种移动计算模式与服务业结合,产生了与位置有关的服务计算。移动化的通信、服务和生活需要计算思维的移动化。

### (9) 计算思维的信息化

信息化是计算机科学与技术发展到一定时期的产物。20世纪70年代,美国提出信息高速公路,使信息化提到了科学研究和社会的议事日程。互联网和计算机科学与技术的蓬勃发展促进了政务、商务、教育和社会的信息化。因此,信息化成为计算思维的一种特别重要的特征。计算思维的信息化表现为每当研究一个问题时,我们会思考:这个问题可以信息化吗?这个事务流程信息化了吗?等等。计算思维的信息化促进了政务、商务、教育和社会的信息化。信息化的政务、商务、教育和社会将使人们在一种全新的社会中生活和工作。

### (10) 计算思维的服务化

社会生活的服务化从来没有像今天这样重要。实际上,对于计算机行业的领军企业IBM公司未来最看重的服务领域,在2007年所占全球业务份额已达到了37%,软件业务则达到了40%,增长速度都远远超过硬件业务。IBM公司预测,2020年中国将从制造生产型社会转变为服务型社会。而中国经济发展正在向服务型经济转型,计算机科学与技术及信息技术则是现代服务型经济发展的根本保障。这是“软件即服务”Software as a Service (SaaS)和服务计算(Service Computing)正在引起人们关注的原因之一。由此,计算思维与服务建立更加密切的关系成为必然。这种密切关系要求计算思维必须建立在服务基础之上,这就是计算思维的服务化。

上述的十大计算思维特征之间的联系可以分为3个层次,如图1-1所示。

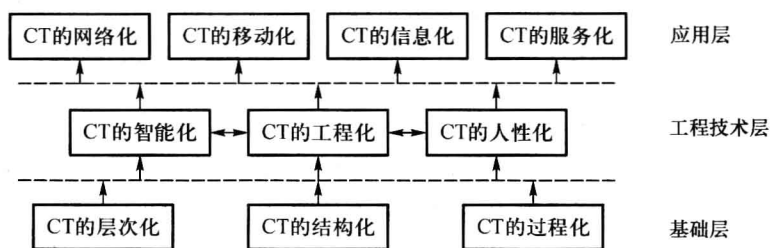


图 1-1 计算思维 (Computational Thinking, CT) 特征与层次关系

简单说来,计算思维的层次化、结构化和过程化是对一个想法或问题进行形式化、特征化和抽象化的系统思维方法,属于系统工程方法。它们也是计算思维的工程化的基础和计算问题求解的最典型、最有效的基本途径。因此,它们处于底层或基础层。

计算思维的工程化是计算思维的智能化、人性化、服务化、网络化、信息化和移动化的前提,计算思维的智能化和人性化是计算思维工程化的重要组成部分。计算思维的工程化、智能化和人性化处于中间层或工程技术层。计算思维的网络化、移动化、信息化和服务化是当代社会的网络化、移动化、信息化和服务化对计算思维的客观要求,它们促进着计算思维的工程化、智能化和人性化的进一步发展。因此,它们处于顶层或应用层。

## 1.2 计算科学方法概论

科学界一般认为，科学方法分为理论、实验和计算三大类。与三大科学方法相对的是三大科学思维：理论思维以数学为基础，实验思维以物理等学科为基础，计算思维则以计算机科学为基础（图 1-2）。

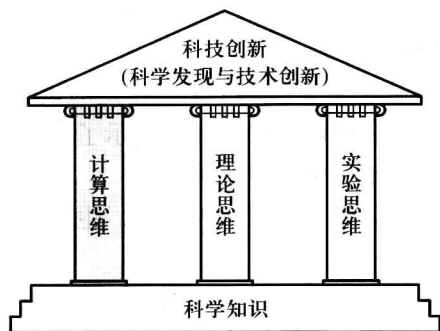


图 1-2 科技创新的思维方式构架

### (1) 理论思维

理论源于数学，理论思维支撑着所有的学科领域。正如数学一样，定义是理论思维的灵魂，定理和证明则是它的精髓。公理化方法是最重要的理论思维方法，科学界一般认为，公理化方法是世界科学技术革命推动的源头。用公理化方法构建的理论体系称为公理系统，如欧氏几何。公理系统需要满足以下 3 个条件。

① 无矛盾性。这是公理系统的科学性要求，它不允许在一个公理系统中出现相互矛盾的命题，否则这个公理系统就没有任何实际的价值。

② 独立性。公理系统所有的公理都必须是独立的，即任何一个公理都不能从其他公理推导出来。

③ 完备性。公理系统必须是完备的，即从公理系统出发，能推出（或判定）该领域所有的命题。

为了保证公理系统的无矛盾性和独立性，一般要尽可能使公理系统简单化。简单化将使无矛盾性和独立性的证明成为可能，简单化是科学研究追求的目标之一。一般而言，正确的一定是简单的。

关于公理系统的完备性要求，自哥德尔发表关于形式系统的“不完备性定理”的论文以来，数学家们对公理系统的完备性要求大大放宽了。也就是说，能完备更好，即使不完备，同样也具有重要的价值。

以理论为基础的学科主要是指数学，数学是所有学科的基础。中外科技史专家研究认为，由于在中国漫长的古代数学史中没有引入公理化思想方法，导致以公理化方法为核心的理论思维就我国的传统教育来说是缺失的。

### (2) 实验思维

实验思维的先驱应当首推意大利著名的物理学家、天文学家和数学家伽利略，他开创了以

实验为基础具有严密逻辑理论体系的近代科学，被人们誉为“近代科学之父”。爱因斯坦为之评论：“伽利略的发现，以及他所用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”

一般来说，伽利略的实验思维方法可以分为以下3个步骤。

① 先提取从现象中获得的直观认识的主要部分，用最简单的数学形式表示出来，以建立量的概念；

② 再由此试用数学方法导出另一易于实验证实的数量关系；

③ 然后通过实验证实这种数量关系。

与理论思维不同，实验思维往往需要借助于某些特定的设备（科学工具），并用它们来获取数据以供以后的分析。例如，伽利略就不仅设计和演示了许多实验，而且还亲自研制出不少技术精湛的实验仪器，如温度计、望远镜、显微镜等。

以实验为基础的学科有物理、化学、地学、天文学、生物学、医学、农业科学、冶金、机械，以及由此派生出众多学科。

在实验思维中，有一个至关重要的核心内容，那就是实验思维往往要借助于特定的设备和环境来进行，例如，一般情况下，用一个网眼大小在10 cm以上的网来捕鱼，不管经过多少次的认真实践，都会得到“在捕鱼区域内没有小于10 cm的鱼”这样的结论。而哈勃空间望远镜（Hubble Space Telescope, HST）是以天文学家爱德温·哈勃（Edwin Powell Hubble）名字命名的。哈勃空间望远镜在位于地球大气层之上的某一轨道上绕地球运行，因此获得了地基望远镜所没有的好处——影像不会受到大气湍流的扰动，视相度绝佳又没有大气散射造成的背景光，还能观测会被臭氧层吸收的紫外线。它于1990年发射之后，成为天文史上最重要的仪器，填补了地面观测的空白，帮助天文学家解决了许多根本性问题，使人们对天文物理有了更多、更深入的认识。哈勃的哈勃超深空视场是天文学家曾获得的最深入（最敏锐的）的光学影像。

所以，对于实验思维来说，最为重要的事情就是设计、制造实验仪器和追求理想的实验环境。

### （3）计算思维

计算思维是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的涵盖了计算机科学的一系列思维活动。

① 计算思维是通过约简、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对已知问题怎样解决的思维方法；

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的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，是基于关注点分离的方法（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，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，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。

计算思维吸取了问题解决所采用的一般数学思维方法，现实世界中巨大复杂系统的设计与评估的一般工程思维方法，以及复杂性、智能、心理、人类行为的理解等的一般科学思维方法。

计算思维最根本的内容，即其本质是抽象（Abstraction）和自动化（Automation）。计算思维中的抽象完全超越物理的时空观，并完全用符号来表示，其中，数字抽象只是其中的一类特例。

数学抽象的重要特点是抛开现实事物的物理、化学和生物学等特性，而仅保留其量的关系和空间的形式。与数学和物理科学相比，计算思维中的抽象显得更为丰富，也更为复杂。堆栈（Stack）是计算学科中常见的一种抽象数据类型，这种数据类型就不能像数学中的整数那样进行简单的相“加”。算法也是一种抽象，也不能将两个算法放在一起来实现一个并行算法。同样，程序也是一种抽象，这种抽象也不能随意“组合”。不仅如此，计算思维中的抽象还与其在现实世界中的最终实施有关。因此，就不得不考虑问题处理的边界，以及可能产生的错误。在程序的运行中，如果磁盘满、服务没有响应、类型检验错误，甚至出现危及人生命的严重状况时，还要知道如何处理。

抽象层次是计算思维中的一个重要概念，它使人们可以根据不同的抽象层次有选择地忽略某些细节，最终控制系统的复杂性；在分析问题时，计算思维要求人们将注意力集中在感兴趣的抽象层次，或其上下层。

计算思维中的抽象最终是要能够利用机器的一步步自动执行。为了确保机器的自动化，就需要在抽象的过程中进行精确而严格的符号标记和建模，同时也要求计算机系统或软件系统生产厂家能够提供各种不同抽象层次之间的翻译工具。

计算机科学在本质上源自数学思维，因为像所有的科学一样，它的形式化基础构建于数学之上。计算机科学又从本质上源自工程思维，因为人们建造的是能够与实际世界互动的系统，基本计算设备的限制迫使计算机科学家必须计算性地思考，而不能只是数学性地思考。构建虚拟世界的自由使人们能够超越物理世界的各种系统。数学和工程思维的互补与融合很好地体现在抽象、理论和设计 3 个形态（或过程）上。

### 1.3 可计算性与计算过程

计算理论是研究使用计算机解决计算问题的数学理论，它有 3 个核心领域：自动机理论、可计算性理论和计算的复杂性理论。可计算性理论的中心问题是建立计算的数学模型，进而研究哪些是可计算的，哪些是不可计算的。计算的复杂性理论研究的是算法的时间复杂性和空间复杂性。在可计算性理论中，将问题分成可计算的和不可计算的；在复杂性理论中，目标是把可计算的问题分成简单的和困难的。

可计算性理论（Computability Theory）研究计算的一般性质的数学理论，也称算法理论或可行性理论。它通过建立计算的数学模型（如抽象计算机），精确区分哪些是可计算的，哪些是



不可计算的。计算的过程就是执行算法的过程。可计算性理论的重要课题之一是将算法精确化。算法概念精确化的途径很多，其中之一是通过定义抽象计算机，把算法看作抽象计算机的程序。通常把那些存在算法计算其值的函数叫做可计算函数。因此，可计算函数的精确定义为：能够在抽象计算机上编出程序，并计算其值的函数。

可计算性理论是算法设计与分析的基础，也是计算机科学的理论基础。可计算性是函数的一个特性。设函数  $f$  的定义域是  $D$ ，值域是  $R$ ，如果存在一种算法，对  $D$  中任意给定的  $x$ ，都能计算出  $f(x)$  的值，则称函数  $f$  是可计算的。

例如：

若  $m$  和  $n$  是两个正整数，并且  $m \geq n$  时，求  $m$  和  $n$  的最大公因数的欧几里得算法可表示为：

E1 [求余数] 以  $n$  除  $m$  得余数  $r$ 。

E2 [余数为 0 吗?] 若  $r=0$ ，计算结束， $n$  即为答案；否则转到步骤 E3。

E3 [互换] 把  $m$  的值变为  $n$ ， $n$  的值变为  $r$ ，重复上述步骤。

依照这 3 条规则指示的步骤，可计算出任何两个正整数的最大公因数，可以把计算过程看成执行这些步骤的序列。实际上，计算过程是有穷的，而且计算的每一步都是能够机械实现的。为了精确刻画算法的特征，人们建立了各种各样的数学模型。

计算机学科的方法论有 3 个过程：抽象、理论和自动化设计及实现。最根本的问题在于：问题如何进行描述？哪些部分能够被自动化？如何进行自动化描述？

建立物理符号系统并对其实施等价变换是计算机学科进行问题描述和求解的重要手段。“可行性”所要求的“形式化”及其“离散特征”使得数学成为重要的工具，而计算模型无论从方法还是工具等方面，都表现出它在计算机上科学中的重要作用。

### 1.3.1 近代的计算思维：七桥问题

七桥问题是 18 世纪著名古典数学问题之一。有七座桥将河中两个岛及岛与河岸连接起来，如图 1-3 (a) 所示。问是否可能从这四块陆地中任一块出发，恰好通过每座桥一次，再回到起点？

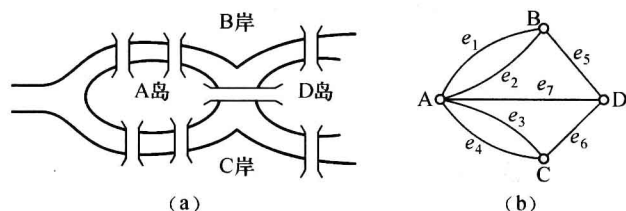


图 1-3 七桥问题

这就是哥尼斯堡七桥问题。欧拉于 1736 年研究并解决了此问题。他用点表示岛和陆地，两点之间的连线表示连接它们的桥，将河流、小岛和桥简化为一个网络，把七桥问题转换成判断连通网络能否一笔画的问题，如图 1-3 (b) 所示。他还给出了连通网络可一笔画的充要条件是它们是连通的，且奇点（通过此点弧的条数是奇数）的个数为 0 或 2。

欧拉的论点是这样的：除了起点以外，每一次当一个人由一座桥进入一块陆地（或点）时，