

# 计算思维与大学计算机基础教育

陈国良 董荣胜

**摘要：**文章首先介绍了大学计算机基础课程的重要性，分析了教学中存在的问题，指出了“狭义工具论”的危害。然后从推动人类文明进步、科技发展三大科学思维之一的“计算思维”入手，阐述了计算思维对培养学生创新能力的重要性。最后按计算思维主要内容，即问题求解、系统设计和人类行为理解，探讨了大学计算机基础课程设置，强调了课程结构设计的重要性，给出了一种以“计算思维”为核心的大学计算机基础课程教学的最小集，为大学计算机基础教育提供了一种以提高学生计算思维能力为目标的新模式。

**关键词：**计算思维；大学计算机基础教育；计算思维导论

## 一、大学计算机基础课程的重要性

对于计算科学的重要性，在美国总统信息技术咨询委员会(PITAC)2005年6月给美国总统提交的报告《计算科学：确保美国竞争力》(*Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*)有明确的阐述。报告认为，虽然计算本身也是一门学科，但是其具有促进其他学科发展的作用<sup>[1]</sup>。报告认为，21世纪科学上最重要的、经济上最有前途的前沿研究都有可能通过先进的计算技术和计算科学而得到解决。尽管报告用的是“都有可能”，但是对于我们学科来说，这个论述已相当到位。那么，为其他学科培养掌握先进计算技术的大学计算机基础课程就显得非常重要。从国家层面，对这门课程的定位就是基础课程，也就是与数学、物理相同地位的基础课程。既然是基础课程，课程的教学方法就应该像数学与物理一样，讲授学科的基础概念。

## 二、大学计算机基础课程教学存在的问题

目前，在大学计算机基础课程的教学中出现了一些问题，主要是“狭义工具论”的问题。“狭义工具论”就是认为计算机基础教学就是教学生怎么将计算机作为工具使用。应该说这种认识对计算机的教育非常有害，这样会使学生对计算学科的认识淡化，无助于计算技术中最重要核心思想与方法的掌握。作为“狭义工具论”显然不好，但在过去一段时间里，在高校中的确某种程度上存在这种倾向。

再来看教程，我们大学计算机基础的教程，名称很多，诸如入门、文化等等，都被认为是计算机基础课的教材。内容基本上是有相关领域的浓缩版，把它压缩在一起。好像网络也讲一点，人工智能、数据库也讲一点，都很浓缩。这会产生怎样的后果？那就是：学生进入大学后，对第一门计算机课程兴趣不大，逃课率较高。

我国出现的这些问题，其实美国也存在。美国著名计算机杂志 *Communications of The ACM* 前主编 Peter Denning 教授，2003年11月在 *Communications of The ACM* 上发表了《伟大的计算原理》(*Great Principles of Computing*)一文<sup>[2]</sup>，在文中介绍过这个问题。当然，他讲的是“程序设计语言”作为大学的第一门计算机基础课程的问题。他介绍道，面对程序设计语言中繁杂的语法规则，在课程的学习过程中，有35%~50%的学生辍学；另外，不少学生还通过抄袭或者是作弊的方式来完成课程。许多非计算机专业的学生从来都没有体验过计算的愉悦——计算原理的相互影响以及问题有效解决的思维方式。

2005年11月，美国 *Computing Research News* 刊登了一篇名为《科学与工程专业的毕业生的工资》的报告。报告介绍了2003年10月在美国科学与工程领域各学科中，计算机与信息科学专业毕业生的平均工资最高。尽管如此，2001年以来，主修计算相关专业的学生却在不断下降。

加州大学洛杉矶分校的高等教育研究会一直都在追踪学生主修专业的情况。他们发现学生对计算专业的兴趣波动很大。具体数据如下图所示<sup>[3]</sup>。

---

陈国良，中国科学技术大学、深圳大学教授，中国科学院院士，教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会主任委员，第一届高等学校教学名师奖获得者；董荣胜，桂林电子科技大学教授。

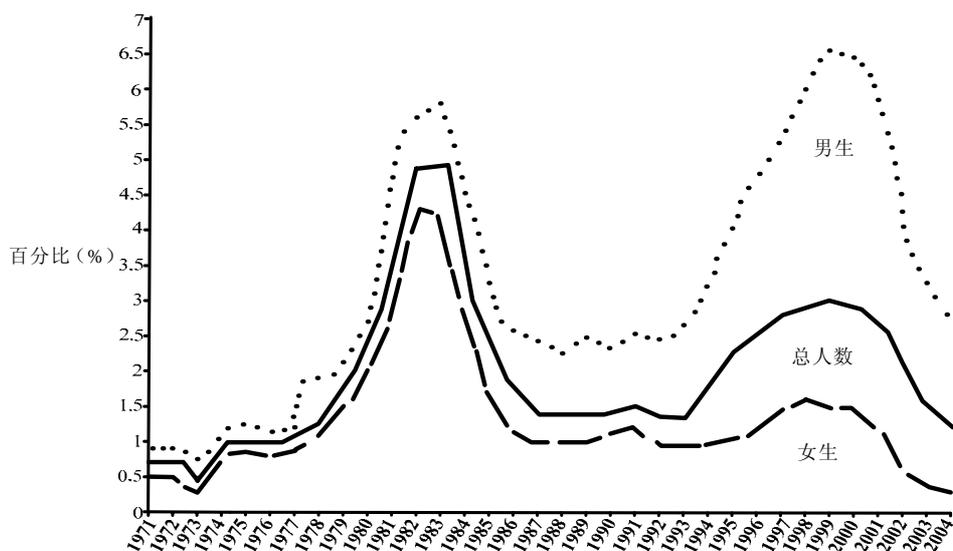


图 美国主修计算专业学生人数的变化

### 三、计算思维在美国产生的背景

计算科学的至关重要性与学生兴趣的下降形成鲜明对比。2005年6月，美国总统信息技术咨询委员会（PITAC）向美国总统提交报告后，美国科学基金会（NSF）很快组织计算教育与研究领域的专家，召开系列会议，于2005年末至2006年初形成4份应对危机的报告。

(1) *Report of NSF Workshop on Integrative Computing Education and Research(ICER) Northeast Workshop;*

(2) *Report of NSF Midwest Region Workshop on ICER: Preparing IT Graduates for 2010 and Beyond;*

(3) *Report from the Southeast Region Workshop on ICER: Preparing IT Graduates for 2010 and Beyond;*

(4) *ICER Final Report of the Northwest Regional Meeting.*

根据以上报告的建议，2007年美国科学基金会（NSF）启动了“大学计算教育振兴的途径”（CISE Pathways to Revitalized Undergraduate Computing Education, CPATH）计划，投入巨资进行美国计算教育的改革。

经过2007年和2008年的资助和项目实践，“大学计算教育振兴的途径”（CPATH）计划相关工作者认识到计算思维（Computational Thinking, CT）在计划中所起的重要作用，对在2009年申报的项目提出了更为具体的以计算思维为核心的课程改革<sup>[4]</sup>。“大学计算教育振兴的途径”（CPATH）计划启动后，不仅引起美国教育界的关注，也引起美国科学界的关注。2008年，美国科学基金会（NSF）还启动了一个涉及所有学科的、以计算思维为核心的重大基础研究计划“计算使能的科学发现与技术创新”（Cyber-Enable Discovery and Innovation, CDI），进一步将计算思维的培育扩展到美国的各个研究领域<sup>[5]</sup>。

以上3个事件，可以联系在一起看待。致美国总统的报告（《计算科学：确保美国竞争力》）开篇介绍道，大约在半个世纪前，前苏联成功地发射了世界第一颗人造卫星，它撼动了美国在政治与科技上的领导地位，促使美国在科学、工程和技术领域进行全面的改革。报告认为，如今美国又一次面临着挑战，这一次的挑

战比以往来得更加广泛、复杂，也更具长期性。报告认为，美国还没有认识到计算科学在社会科学、生物医学、工程研究、国家安全以及工业改革中的中心位置。报告认为，这种认识不足将危及美国的科学领先地位、经济竞争力以及国家安全。报告建议，应将计算科学长期置于国家科学与技术领域中心的领导地位。

回顾历史，1957年前苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星，对美国产生了巨大的冲击。美国人是这么做的呢？他们将改革美国科技的力量放在教育上，投入巨资对美国课程的教学内容和教学方法进行改革，才有了今天世界科学、工程和技术领域上的领先地位。今天，美国将这次以计算科学为中心的教学改革与半个世纪前的那场科技与教育的变革相提并论，值得我们高度重视。致总统的报告不到半年的时间，美国科学基金会就将美国计算教育与研究领域，甚至是其他有关领域的专家召集在一起，分4个大区召开研讨会，检讨计算教育出现的问题，给出了4份相应的研究报告。“大学计算教育振兴的途径”（CPATH）计划，甚至“计算使能的科学发现与技术创新”（CDI）计划，都可以认为是这些报告的产物，其源头是致美国

总统的报告。“计算思维”是报告实施过程中的一个重要成果，也是一个必然的结果，科技的竞争最终是有智慧的人才的竞争。

#### 四、科学与科学思维

科学指的是反映现实世界各种现象的本质和规律的分科的知识体系。科学思维（简称思维）一般指的是理性认识及其过程，也即经过感性阶段获得的大量材料，通过整理和改造，形成概念、判断和推理，以反映事物的本质和规律。

科学思维主要分为理论思维、实验思维和计算思维三大类。一般认为，理论、实验和计算是推动人类文明进步和科技发展的三大支柱。这种认知不仅被科学文献广泛引用，而且还通过了美国国会的听证，以及美国联邦政府和私人企业报告的认同。

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。

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”。爱因斯坦为之评论说：“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。”<sup>[6]</sup>

一般来说，伽利略的实验思维方法可以分为以下三个步骤：

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. 再由此式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先进的实验仪器，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，以及由此派生的众多学科。

以上介绍了理论思维与实验思维的基本概念。下一部分，介绍与本文关系最为密切的计算思维。

#### 五、计算思维

国际上广泛认同的计算思维定义来自周以真（Jeannette Wing）教授。周教授认为，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，以及人类行为理解的涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动<sup>[7]</sup>。计算思维的本质是抽象和自动化。如同所有人都具备“读、写、算”（简称3R）能力一样，计算思维是必须具备的思维能力。为便于理解，在给出计算思维清晰定义的同时，周以真教授还对计算思维进行了更细致的阐述：

计算思维是通过约简、嵌入、转化和仿真等方法，把一个困难的问题阐释为如何求解它的思维方法。

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。

计算思维是一种采用抽象和分解的方法来控制庞杂的任务或进行巨型复杂系统的设计，是基于关注点分离的方法（SoC方法）。

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

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。

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。

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。

在理解计算思维时，要特别注意以下几个问题：

像计算机科学家那样去思维意味着远远不止能为计算机编程，还要求能够在抽象的多个层次上思维。计算机科学不只是关于计算机，就像音乐产业不只是关于麦克风一样。

计算思维是一种根本技能，是每一个人为了在现代社会中发挥职能所必须掌握的。

计算思维是人类求解问题的一条途径，但决非要使人类像计算机那样地思考。计算机枯燥且沉闷，人类聪颖且富有想象力。是人类赋予计算机激情，反过来，是计算机给了人类强大的计算能力，人类应该好好利用这种力量去解决各种需要大量计算的问题。

计算思维是思想，不是人造品。计算机科学不只是将软硬件等人造物呈现给我们的生活，更重要的是计算的概念，它被人们用来求解问题、管理日常生活以及与他人进行交流和互动。

计算机科学在本质上源自数学思维，它的形式化基础建筑于数学之上。计算机科学又从本质上源自工程思维，因为我们建造的是能够与现实世界互动的系统。所

以计算思维是数学与工程思维的互补与融合。

计算思维无处不在，当计算思维真正融入人类活动的整体时，它作为一个问题解决的有效工具，人人都应掌握，处处都会被使用。自然，它应当有效地融入我们每一堂课之中。

## 六、计算思维在我国

计算思维不是今天才有的，它早就存在于中国的古代数学之中，只不过周以真教授使之清晰化和系统化了。

中国古代学者认为，当一个问题能够在算盘上解算的时候，这个问题就是可解的，这就是中国的“算法化”思想。吴文俊院士正是在这一基础上围绕几何定理的证明展开了研究，开拓了一个在国际上被称为“吴方法”的新领域——数学的机械化领域，吴文俊为此于 2000 年获得国家首届最高科学技术奖。

随着以计算机科学为基础的信息技术的迅猛发展，计算思维的作用日益凸显。正像天文学有了望远镜，生物学有了显微镜，音乐产业有了麦克风一样，计算思维的力量正在随着计算机速度的快速增长而被加速地放大。

计算思维的重要作用引起了中国学者与美国学者的共同注意。

由李国杰院士任组长的中国科学院信息领域战略研究组撰写的《中国至 2050 年信息科技发展路线图》指出：长期以来，计算机科学与技术这门学科被构造成一门专业性很强的工具学科。“工具”意味着它是一种辅助性学科，并不是主业，这种狭隘的认知对信息科技的全民普及极其有害。针对这个问题，报告认为计算思维的培育是克服“狭义工具论”的有效途径，是解决其他信息科技难题的基础<sup>[8]</sup>。

孙家广院士在《计算机科学的变革》一文中明确指出：（计算机科学界）最具有基础性和长期性的思想是计算思维<sup>[9]</sup>。

国家自然科学基金委员会信息科学部二处处长刘克教授，特别强调大学推进计算思维这一基本理念的必要性<sup>[10]</sup>。

中国科学院计算技术研究所研究员徐志伟总工认为：计算思维是一种本质的、所有人都必须具备的思维方式，就像识字、做算术一样；在 2050 年以前，让地球上每一个公民都应具备计算思维的能力<sup>[11]</sup>。

中科院自动化所王飞跃教授率先将国际同行倡导的“计算思维”引入国内，王教授翻译了周以真教授的《计算思维》一文，撰写了相关的论文《计算思维与计算文化》。他认为：在中文里，计算思维不是一个新的名词。在中国，从小学到大学教育，计算思维经常被朦朦胧

地使用，却一直没有提高到周以真教授所描述的高度和广度，以及那样地新颖、明确和系统。他希望我们能借“计算思维”之东风，尽快把中国世故人情的“算计文化”反正成为科学理性的“计算文化”，以提高我们民族的整体素质<sup>[12]</sup>。

教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会对计算思维的培育非常重视。2010 年 7 月，在西安会议上，发布了《九校联盟（C9）计算机基础教学发展战略联合声明》，确定了以计算思维为核心的计算机基础课程的教学改革<sup>[13]</sup>。

## 七、计算思维导论课程的构建

大学计算机基础课程群一般由“大学计算机基础”、“算法与程序设计”、“计算机系统类课程（软/硬件基础）”，以及“信息处理与应用基础”等若干课程组成。其中，大学第一门计算机基础课程是计算思维培养的一个关键。对于第一门课程，我们初步构建了以计算思维为核心的课程内容，并命名为“计算思维导论”。下面，从该课程的地位、性质、任务等方面介绍该课程的大致内容。

### 1. 课程的地位、性质、任务

本课程是大学一年级新生入学后的第一门计算机基础课程。课程从推动人类文明进步和科技发展的三大支柱出发，介绍计算思维的定义、本质、特征，以及计算思维对其他学科的重要影响。然后，从学科的根本问题，即“能行性”入手，介绍计算理论的有关内容，包括计算复杂性、图灵机、量子计算等内容。最后，介绍计算机的算法基础、程序设计语言、Python 编程、计算机软硬件基础等内容。

### 2. 课程的基本要求

课程要求学生了解计算思维的基本内容，了解人与计算机器能力的局限性，了解计算思维解决问题的一般步骤，理解计算在问题解决过程中所发挥的作用，初步掌握 Python 编程语言，能进行简单的程序设计。

### 3. 教学内容

（1）计算思维基础知识：科学发现的三大支柱，计算学科的兴起，计算学科的作用，名人名言；什么是计算科学；什么是计算机科学；什么是计算思维；主要研究内容，主要特征（它是什么，它不是什么），计算思维对其他学科的影响。

（2）计算理论：可计算问题、停机问题、计算复杂性等；图灵机，冯·诺依曼计算机模型，存储程序计算

机, 基本组成原理等; 非传统计算模型(量子计算、分子计算、光计算等)。

(3) 算法基础: 算法的基本概念(定义、分类、表达), 算法的设计方法(迭代法、递归法、随机法、启发式法等), 算法的分析(最坏情况分析、平均情况分析), 基本算法介绍(求和、求积、最大/最小、排序、查找、基本的图算法等)。

(4) 程序设计语言: 程序设计的结构问题(程序的三种基本结构、GOTO 语句的问题等); 语言的语法和语义; 低级程序设计语言(机器二进制指令代码、符号汇编语言等), 高级程序设计语言(C、Fortran、C++、Java、Python 等)。

(5) Python 编程基础: Python 语言简介, Graphic Visual——VPython 简介, 科学计算包 Numpy, Matlab 功能的 Matplotlib(库), 安装包 NetworkX, 生物信息软件平台 Cytoscape 等。基本要素: 编程过程, 注释, 操作符, 变量和函数, 数据类型及转换, 字符串, 列表和数组, 字典, 判定结构, 循环语句, 比较符, 参数, 递归, 迭代, 随机数等。Python 编程实例: 基本输入/输出, 定义函数, 创建文件, 直线式编程, for 循环, 调用文件, 数组计算等。基于 Python 的实验: 蒙特卡罗算法计算圆周率, 控制和创建一个声音文件, 仿真一个小型物理系统等。

(6) 计算机硬件基础: 数制与运算, 布尔逻辑与门电路, 计算机组成(CPU、存储器、I/O 设备、系统互联), 指令系统及执行, 计算机体系结构, 组网与因特网(网络基础、因特网协议)。

(7) 计算机基础软件: 操作系统(操作系统的体系结构、协调机器的活动), 软件工程(软件生命周期、模块化、人机界面), 数据库系统(数据库基础、关系模型), 人工智能(智能与机器)。

#### 4. 教学方法的原则建议

以计算学科基本问题为导向, 以经典案例为基础, 通过实验了解和应用编程的基本原理, 通过习题课强化学科基础概念的理解, 着力提高学生的计算思维能力。

#### 5. 教材与参考书目

(1) Allen Downey, Jeff Elkner and Chris Meyers. *How to Think Like a Computer Scientist*. Green Tea Press, 2002.

(2) John Zelle. *Python Programming: An Introduction to Computer Science*. Franklin, Beedle & Associates, 2004.

(3) J. Glenn Brookshear. *Computer Science: An Overview(10th Edition)*. Addison Wesley, 2009.

(4) David Harel, Yishai Feldman. *Algorithmics- The*

*Spirit of Computing(3rd edition)*. Addison-Wesley, 2004.

(5) Jeannette M. Wing. *Computational Thinking. Communications of the ACM*, 2006, 49(3).

(6) Tim Bell, Ian Whitten, and Mike Powell. *Computer science unplugged*. [www.unplugged.canterbury.ac.nz](http://www.unplugged.canterbury.ac.nz).

本届教指委在上届教指委工作的基础上, 总结了计算机基础教学的发展规律, 做了三件大事: 即计算机基础教学的能力培养目标、知识体系和实验体系、核心课程的基本要求。教指委的这些工作, 创造性地建立了计算机基础教学科学化和规范化的教学研究方法, 形成了比较科学的基础课程教学体系, 这些都为以计算思维能力培养为核心的计算机基础课程教学改革奠定了良好的基础。本届教指委为新一轮的计算机基础课程改革作了大量的前期准备工作。在 2010 年 5 月的合肥会议上, 探讨了计算思维融入计算机基础课程的问题, 2010 年 7 月召开的西安会议, 2010 年 9 月召开的太原会议, 均把计算思维列为会议的主要议题, 特别是在《九校联盟(C9)计算机基础教学发展战略联合声明》中, 确定了以计算思维为核心的计算机基础课程教学改革<sup>[14, 15]</sup>。2010 年 11 月的济南会议在更大范围内, 讨论以计算思维为核心的课程教学改革。我们正在积极向教育部领导建言和申请立项, 开展“计算思维: 确保学生的创新能力”的计算机基础课程教学改革的研究。我们现在不仅仅是在谈论, 而且是在具体做了, 包括上海交通大学 2010 年秋季开设的实际上就是计算思维的课程, 以及南方科技大学即将开设全新的计算机基础课程——计算思维导论。

#### 参考文献:

[1] President's Information Technology Advisory Committee. *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*[EB/OL]. [http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609\\_computational/computational.pdf](http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf), June 2005.

[2] Peter J. Denning. Great principles of computing[J]. *Communications of the ACM*, 2003, 46(11).

[3] David Patterson. Restoring the popularity of computer science[J]. *Communications of the ACM*, 2005, 48(9).

[4] 美国国家科学基金 CPATH 计划 2009 年项目申报说明[EB/OL]. [http://www.nsf.gov/cise/funding/cpath\\_faq.jsp#1](http://www.nsf.gov/cise/funding/cpath_faq.jsp#1).

[5] 美国国家科学基金 CDI 计划官方网站[EB/OL]. <http://www.nsf.gov/crssprgm/cdi/>

[6] 爱因斯坦. 相对论[M]. 周学政等译. 北京: 北京出版社, 2007.

[7] Jeannette M. Wing. Computational Thinking[J]. *Communications of the ACM*. 2006, 49(3).

(下转第 32 页)