

计算思维——概念与挑战

李 廉

摘 要: 本文从现代科学思维体系的角度,阐述了计算思维的内涵与概念、发展历史以及与实证思维、逻辑思维之间的关系。提出了计算思维是构成现代科学大厦的最基本的思维模式之一。在此基础上,本文分析了计算机基础课程教育今后改革的取向和挑战,这个挑战的主要内容是基于计算思维培养的新的教学体系建设,本文建议以循序渐进的方式推进这一计算机课程的重大改革。

关键词: 科学思维; 计算思维; 抽象; 自动化; 计算机课程改革; 计算思维课程体系

计算思维是当前一个颇受关注的涉及计算机科学本质问题和未来走向的基础性概念。这一概念最早是由麻省理工学院(MIT)的 Seymour Papert 教授在1996年提出的^[1],但是把这一个概念提到前台来,成为现在受到广泛关注的代表人物是美国卡内基梅隆大学(CMU)的周以真教授(Jeannette M. Wing)^[2]。计算思维提出了面向问题解决的系列观点和方法,这些观点和方法有助于人们更加深刻地理解计算的本质和计算机求解问题的核心思想。特别是有利于解决计算机科学家与领域专家之间的知识鸿沟所带来的困惑。图灵奖获得者 Karp 认为^[3],自然问题和社会问题自身的内部就蕴含丰富的属于计算的演化规律,这些演化规律伴随着物质的变换,能量的变换以及信息的变换。因此正确提取这些信息变换,并通过恰当的方式表达出来,使之成为能够利用计算机处理的形式,这就是基于计算思维概念的解决自然问题和社会问题的基本理论和方法论。计算机不能解决物质变换或者能量变换这样的问题,但是可以借助抽象的符号变换来计算,模拟甚至预测自然系统和社会系统的演化。本文就计算思维的一些概念和对于计算机教育方面的挑战进行一些讨论,以期引起对于这一问题的充分关注。这些讨论针对以下的问题:

1. 什么是计算思维? 计算思维有什么特征? 与计算机是什么关系?
2. 计算思维是随着计算机出现才出现的,还是早已存在于人类思维模式之中?
3. 计算思维与物理学的思维方式,数学的思维方式有什么区别,有什么联系?
4. 计算思维对于计算机科学研究以及计算机教育的启示。

一、计算思维是人类科学思维活动固有的组成部分

本文中所说的思维都是指科学思维,科学思维是指在人类科学活动中所使用的思维方式。与之相对应的,还有艺术思维,宗教思维等其他思维方式,这些思维不属于科学思维的范畴。

人类在认识世界和改造世界的科学活动过程中离不开思维活动。思维的作用不仅是作为个人产生了对于物质世界的理解和洞察,更重要的是思维活动促进了人类之间的交流,从而可以使人类获得了知识交流和传承的能力,这个意义的重要性是不言而喻的。早期人类表达思维结果的方式一定是相当模糊和凌乱的,因此早期人类对于知识的传承是困难和缓慢的。正因为如此,人类对于自身的思维活动很早就开展了研究,并且提出了一些原则,这些原则揭示了思维活动的以下关键特点:

1. 思维活动的载体是语言和文字,不通过语言和文字表达出来的思维是无意义的。
2. 思维的表达方式必须遵循一定的格式,需要符合一定的语法和语义规则。只有符合语法和语义规则的表达才能被其他人所理解。
3. 为了使别人相信自己的思维结论,必须采取合理的表达方式,说明获得结论的理由,以使别人不去重复思维的过程而相信你的结论。这就是思维逻辑。

这三条原则对于人类文化遗产和知识积累是十分重要的,只有遵从这三条原则,人类文化才可以在一个可靠的背景下发展。人类的知识沟通才可以具备一种相互信任的基础。

到目前为止,符合这样三条原则的思维模式大体上

李 廉,合肥工业大学党委书记、教授,教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会副主任委员。

可以分为三种:

1. 以观察和归纳自然(包括人类社会活动)规律为特征的实证思维。

2. 以推理和演绎为特征的逻辑思维。

3. 以抽象化和自动化为特征的计算思维。计算思维中的抽象化与数学(逻辑思维)的抽象化有不同的含义。计算思维的抽象化不仅表现为研究对象的形式化表示,也隐含这种表示应具备有限性、程序性和机械性。有些文章也把形式化、程序化和机械化作为计算思维的特征。

这三种思维模式各有特点,相辅相成,共同组成了人类认识世界和改造世界的基本科学思维内容。

实证思维起源于物理学的研究^[4],集大成者的代表是伽利略、开普勒和牛顿。开普勒是现代科学中第一个有意识地将自然观察总结成规律,并把这种规律表示出来。伽利略建立了现代实证主义的科学体系,强调通过观察和实验(实验是把自然现象单纯化,以保证可以仔细研究其中的一个局部)获取自然规律的法则。牛顿把观察、归纳和推理完美地结合起来,形成了现代科学大厦的整体框架。

以现在普遍的观点,实证思维要符合三点原则:第一是可以解释以往的实验现象;第二是逻辑上自洽,即不能自相矛盾;第三是能够预见新的现象。即思维结论必须经得起实验的验证。这三条是比较苛刻的,比如爱因斯坦的狭义相对论和广义相对论发表以后,尽管理论上是十分完美的,而且也能够解释当时物理学中一些困惑的问题,但是由于其预言的现象未能观测到,因此在很长一段时间,没有成为一个真正公认的物理学理论。另一方面,量子理论尽管在逻辑上还有一些不够严密的地方(但没有矛盾),但是它的结论经得起实验的检验,并且预言的一些重要现象得到了证实,因此被看做是一种普遍公认的物理学理论。人类在自己的文化发展中采取了谨慎态度,在没有特别必要的时候,不去轻易改变知识结构的主体框架。

逻辑思维的研究起源于希腊时期^[5],集大成者是苏格拉底、柏拉图、亚里士多德,他们基本构建了现代逻辑学的体系。以后又经过众多逻辑学家的贡献,例如莱布尼茨、希尔伯特等,使得逻辑学成为人类科学思维的模式和工具。逻辑思维也要符合一些原则:第一是有作为推理基础的公理集合;第二是有一个可靠和协调的推演系统(推演规则)。任何结论都要从公理集合出发,经过推演系统的合法推理,得出结论。这些推理的过程必须是可验证的,而且总体上说,验证的复杂程度必须低于获得这个推理过程的复杂程度,甚至在某些领域,例如自然科学所要求的那样,验证的过程应该是可机械化的。逻辑思维的结论正确性来源于公理的正确性和推理

规则的可靠性,因此结论的正确性是相对的,为了保证推理结论的可接受程度,人们往往要求,作为推理基础的公理体系应该是可证伪的。

理解了什么是实证思维和逻辑思维,现在我们讨论什么是计算思维。计算思维是人类科学思维中,以抽象化和自动化,或者说以形式化、程序化和机械化为特征的思维形式。尽管与前两个思维一样,计算思维也是与人类思维活动同步发展的思维模式,但是计算思维概念的明确和建立却经历了较长的时期。

从人类思维产生的时候,形式、结构、可行这些意识就已经存在于思维之中,而且是人类经常使用和熟悉的内容,但是作为一种科学概念的提出应该是在莱布尼茨、希尔伯特之后。莱布尼茨提出了机械计算的概念,而希尔伯特更是建立了机械化推理的基础。这些工作把原来思维中属于形式主义和构造主义的部分明晰地表达出来,使之明确成为人类思维一种模式。希尔伯特给出了现在称为“希尔伯特纲领”的数学构造框架,试图把数学还原为一种有限过程。尽管这个纲领并没有最后实现,但是与此相关的工作却真正弄清楚了什么是计算,什么是算法,什么是证明,什么是推理,这就把计算思维里面所涵盖的主要成分逐一进行了深入的揭示,计算思维一些主要特征从实证思维和逻辑思维中独立出来,不再是前两者的附属,而成为与前两者齐驱并驾的第三种思维模式。

计算思维的标志是有限性,确定性和机械性。因此计算思维表达结论的方式必须是一种有限的形式,(回想一下,数学中表示一个极限经常用一种潜无限的方式,这种方式在计算思维中是不允许的);而且语义必须是确定的,在理解上不会出现因人而异、因环境而异的歧义性;同时又必须是一种机械的方式,可以通过机械的步骤来实现。这三种标志是计算思维区别于其他两种思维的关键。计算思维的结论应该是构造性的、可操作的、能行的。大约到了20世纪,关于思维的三个方面才真正形成了相互支撑的科学体系,关于科学研究也明确提出了理论、实验和计算三大手段。另一方面,这三种思维基本涵盖了目前为止科学思维的全部内容,因此尽管计算思维冠以计算两个字,但绝不是只与计算机科学有关的思维,而是人类科学思维的一个远早于计算机的出现的组成部分。计算思维也可以叫做构造思维或者其他什么思维,只是由于计算机的发展极大促进了这种思维的研究和应用,并且在计算机科学的研究和工程应用中得到广泛的认同,所以人们习惯地叫做计算思维。这只是一个名称而已,这种名称反映了人类文化发展的痕迹。

人类科学活动还包含着其他的思维模式,例如类比、联想和猜测(灵感),这些思维不仅伴随着科学活动的全

过程，而且还是很多创新思想的源泉，在科学活动中也占据着重要地位。但是这几种思维不具备前面说的关于科学思维的三条原则，这种思维的过程很难通过具体形式表达出来，使得别人能够相信你的思维结论，除非结论可以使用实证思维、逻辑思维或者计算思维的方式表达出来，因此这三种思维现在还不能称为科学思维。也许将来随着人们对于思维过程的研究深入，找到了一种很好的表达方式，可以把这种思维清晰地加以描述，进行交流与沟通，那么或许这些思维模式也可以称为科学思维。

二、对计算思维的认识在现代科学形成过程中逐步提升

尽管计算思维在人类思维的早期就已经萌芽，并且一直是人类思维的重要组成部分，但是对于计算思维本身的研究却进展缓慢，在很长一段时间里，计算思维的研究是作为数学思维的一部分进行的。这里主要的原因是计算思维考虑的可构造性和可实现性，而相应的手段和工具的研究进展缓慢。尽管人们提出了很多对于各种自然现象的模拟和重现方法，设计了复杂系统的构造，但都因缺乏相应的实现手段而束之高阁。由此对于计算思维本身的研究缺乏动力和目标。

随着科学的不断进步，人类不仅满足于认识世界的成功，而且改造世界的力度和速度也在不断加大。改造世界要求应用已有的知识，设计可以实现的方案，达到预设的目标，这样就提出了器件、装置、系统等各方面的新的设计要求和制造。而所有这些都强调了可构造性、可实现性与可验证性等。这些都是对于计算思维的新的要求和挑战。从17世纪工业化革命开始，人类从以认识世界为主，转向了对于改造世界的飞速发展。蒸汽机、电力、材料、医药等的进步彻底改变了这个世界和人们对于世界的认识。在这个过程中，把对于自然规律的认识变成一种具有可构造性、可实现性的新知识内容，去创造自然界原本没有的物体，这是人类对于知识应用的深化和延拓，在这个过程中，计算思维起到了重要的作用。只有把人类对于自然的认识规律通过计算思维转化为实际可行的行为方案，才能达到改造世界的目标，同时能够深化对于原有知识的理解。计算思维不仅是改造世界的手段，也是认识世界的手段。随着工业化的进程，人们对于计算思维的重要性有了越来越清晰的认识，也越来越得益于计算思维带来的丰硕成果。

随着社会进步和发展，人类对于计算思维的运用越来越普及。早期修建一所房子，整个建筑的构思可能就在主持人的脑子里面；但是随着工程规模的不断扩大，

这种靠记忆来设计和规划建筑的方式越来越不适应，因此需要有施工图纸，施工图纸就是关于房子的形式化的表达方式，这种方式使得人们可以相互沟通设计的思想，共同组织工程的实施。思维从人的头脑中解放出来，成为一种有形的东西，大家可以共同参与和丰富思维过程，当然这种工程图纸是需要符合计算思维所具有的有限性、确定性和机械性特征的。这就是计算思维给人们带来的益处，也是人们对于计算思维的认识不断深化的结果。现在考古工作中，经常苦恼于对于古代很多先进的施工工艺不知道是如何进行的，其原因就是古代的施工很少留下有关的工程说明；即便是保留下来的篇幅很少的说明，也是由于语焉不详，不能清晰表达这些工艺究竟是怎样实现的。也就是说，这些说明不符合计算思维描述结论的原则，因此无法重复这些工艺或者过程，知识的传承在这里出现了断档。这种状况随着历史的进步逐渐得到改善，近代的很多工程，由于留下了丰富的、符合计算思维要求的文档，因此我们（当然也包括后人）可以从工程文件中清晰地了解这些工程的施工方法和工艺。采取计算思维的模式来描述各种工程活动是人类进步的表现，也是人类知识积累和文化遗产的重要方式。即使到了今天，当我们处理诸如问题求解、系统设计以及人类行为理解等方面的问题，也是要求采用计算思维的模式进行问题描述和规划。小到一件工具的制作，大到一项工程的组织。计算思维已经成为思考、表达和操作各个环节的基本模式，并且发展起来了一套相应的描述格式和规范。人类在这些方面的相互理解甚至超越了语言的界限。计算思维一些概念的应用，使得人类前所未有地拉近了彼此的距离，人类可以毫无障碍地交流各种建设目标、工程设计和施工组织。相比之下，在还未采用计算思维描述问题的领域，例如文化领域、社会科学领域（这些领域不大可能采取计算思维），人类的交流和沟通依然存在诸多的困难和问题，误解和分歧经常出现。

因此说，随着现代科学的形成和发展，人们对于计算思维的作用和意义的认识也越来越提升。在目前的社会，使用计算思维考虑和陈述问题，已经成了越来越熟悉和普遍的事实。计算思维成为一个现代人所必须具备的素质。周以真教授认为，计算思维是21世纪中叶每一个人都要用的基本工具，它将会像数学和物理那样成为人类学习知识和应用知识的基本组成和基本技能^[2]。陈国良教授认为，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，人人都应当掌握，处处都会被使用^[6]。徐志伟教授认为，计算思维是无处不在的，提供了理解世界的智力工具，在人类社会中具有永久的价值^[7]。这些都肯定了计算思维在人类思维活动

中的地位以及在当前科学发展中的重要意义。

三、计算机的出现强化了计算思维的意义和作用

计算思维虽然有着计算机科学的许多特征，但是计算思维本身却并不是计算机科学的专属。实际上，即使没有计算机，计算思维也在逐步的发展，并且有些内容与计算机也没有关系。但是，正是计算机的出现，给计算思维的研究和发展带来了根本性的变化。由于计算机对于信息和符号的快速处理能力，使得许多原本只是理论可以实现的过程变成了实际可以实现的过程。海量数据的处理、复杂系统的模拟、大型工程的组织，借助计算机实现了从想法到产品整个过程的自动化、精确化和可控化，大大拓展了人类认知世界和解决问题的能力及范围。机器替代人类的部分智力活动催发了对于智力活动机械化的研究热潮，凸显了计算思维的重要性，推进了对于计算思维的形式、内容和表述的深入探索。在这样的背景下，作为人类思维活动中以形式化、程序化和机械化为特征的计算思维被前所未有的受到重视，并且本身作为研究对象被广泛和仔细地研究。

研究一个问题如何变换成为能够用计算机求解的方式以及如何利用计算机解决问题，计算机科学在这样的要求背景下快速发展。不到 100 年的时间，计算机从一个理论上的装置图灵机，变成了几乎人手一台的极其普及的机器。这种情况得益于人们对于计算机科学的持续深入的研究和探讨。什么是计算，什么是可计算，什么是可行计算等等，计算思维的这些根本性质得到了前所未有的彻底研究。由此不仅推进了计算机科学和工程的发展，也推进了计算思维本身的发展。在这个过程中，一些属于计算思维的特点被逐步揭示出来，计算思维与逻辑思维和实证思维的差别越来越清晰化。计算思维的概念、结构、格式等变得越来越明确，计算思维的内容得到不断地丰富。例如在对于指令和数据的研究中，层次性、迭代表述、循环表述以及各种组织结构（树结构、图结构等）被明确提出来，这些研究成果清晰化了计算思维的具体形式和表达方式，使得原来存在于头脑中模模糊糊的东西成为一种科学而明确的概念。计算机的出现丰富了人类改造世界的手段，同时也强化了原本存在于人类思维中的计算思维的意义和作用。从思维的角度，计算机科学主要研究计算思维的概念、方法和内容，并发展成为解决问题的一种思维模式，这极大地推动了计算思维的发展。

例如，计算机的出现，催生了计算机程序的兴起和发展。计算机程序就是对于所要解决的问题，用一种计算机可以理解的方式来进行描述。由于计算机是一个机

械的执行机构，因此要想把一个计算过程描述清楚，使得计算机可以实现期望的输出结果，就需要对于这个过程进行十分清楚和准确的描述。这个描述不仅对于过程本身的表述清晰，还要考虑出现各种意外情况时如何响应和处理。这种人机交流的方式逐步发展和完善起来，而这一点正是人类自身在使用计算思维进行思考、交流和沟通的特征，这些特征在计算机发展的过程中被强化和凸现出来。人们用于与计算机进行交流和沟通的技术和手段也适合于用于人类自身的交流。作为一种表达思维的方式，计算机程序中采用了各种技术和手段，例如在描述语句方面，采用了递归结构、循环语句、中断和跳出等，在数据组织方面，采用了队列、栈、树等，并且为此发展出一整套形式语言理论、编译理论、检验理论以及优化理论，这些理论和技术都是计算思维中的核心概念。原本就是人类交流中已经存在的表达方式，随着计算机程序的研究而逐步得到清晰化和准确化。计算机程序科学中所发展起来的各项技术不仅为编写程序所采用，而且已经广泛应用到其他领域，只要是需要精确描述一种工程组织或者工艺过程，都采取了类似于计算机程序那样的表达方法。这样的例子还可以在计算机科学的其他方面找到。比方说，递归描述、并行处理、类型检查、分治算法、关注分离、冗余设计、容错纠错、度量折中等。这些内容原来都存在于计算思维之中，但由于计算机科学的发展而得到明确的定义和解释，从而使计算思维本身得到了非常深入的研究和发展。既推进了计算机科学的发展，也促进了人类对于这些属于计算思维重要内容的进一步理解。因此说，计算机的出现和发展强化了计算思维的意义和作用。

四、计算思维教育对当前教学改革挑战

现在我们讨论计算思维的另一个重要的方面，即：计算思维的提出对于计算机教育的挑战。周以真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等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。

这些内容是计算思维区别于逻辑思维和实证思维的关键点。如何把计算思维的一些特征和方法作为计算思维的基本内容，经过梳理和组织，成为培养学生计算思维能力的教材，这给计算机教育提出了新的课题，同时也从新的角度提出了计算机教学改革的目标。这些挑战可以归纳为以下几点：

1. 关于计算思维的培养

通过教学培养一种思维，这一点一直是存在争议的。

就计算机课程教学而言,早期的教学主要是培养技能,以后又逐步发展为培养能力。并且通过十几年的实践,现在已经形成了培养计算机能力的系统的理论、教材、教学方法和评价标准。当前各学校正在进行的计算机教学改革,专业认证以及计算机基础课程基本要求都是按照能力培养的要求和标准来开展的。因此在能力培养的基础上,再提出思维的培养,对于提高计算机课程的认识是十分必要的。计算思维在海量信息处理分析、复杂装置与系统设计、大型工程组织、自然现象与人类社会行为模拟等方面具有重要的意义和作用。在大学计算机课程里面有意识地讲述这方面的内容,并且加以适当训练,有利于提高学生对于计算机科学的理解和认识。过去我们总是说,学生学习数学课程、物理课程并不是要成为数学家或者物理学家,而是通过这些课程的训练养成科学思维的素质和能力,现在这种认识也同样适用于计算机课程。计算思维这个概念在近期如此鲜明提出来,就是将计算机课程对于大学生科学思维能力培养的重要性放在了前所未有的高度。如果从人类思维的三个组成部分——实证思维、逻辑思维和计算思维的角度来考虑,那么计算机课程将会成为等同于数学课程、物理课程一样重要的课程。计算机课程不是培养计算思维唯一的课程,但却是最好的课程,这是从计算思维角度对于计算机课程重要性的新观点。

2. 关于计算思维培养的实践

由于计算思维教育着眼于一种思维模式的养成和训练,因此有着与以往教学不同的要求和目标。这些要求和目标对现有的教育观念和方式提出了新的挑战^[6]。

把知识分解为一个个的知识点,对每一个知识点明确学生掌握的内容、考核的方法,把这些点综合起来形成对于知识内容的整体传授。为此形成了一整套的教学体系、教学内容、教学方法,这就是现代结构主义教育体系的特点。这种培养模式适应工业化社会的人才培养需要,具有标准容易掌握、培养速度快的优点,已经成为当今世界通用的本科人才培养模式。

与此相对应的是中国传统的教育观念,这是实用主义的培养模式。这种培养方法强调知识的整体性和综合性,学生在实践中逐步领会和消化知识,形成自己对于知识的新的觉悟。着眼于学生在处理实际问题时,通过对已学知识的参照和类比,灵活地学会运用知识解决问题的能力。这种培养模式虽然有其优点,但是主要问题是培养标准难以把握,培养速度较慢。因此在现代化的过程中,被逐步替代。但是这种培养模式着重于思维方式的养成,着重于知识的应用,其本质还是值得肯定的。

计算机课程是一个理论性与实践性都很强的科学。

要实现从想法到产品的全过程训练,学生必须经历理论学习和实践操作两个环节。从计算能力培养到计算思维养成,这是一个新的跨越和挑战。关键问题是要通过教学改革的实践探索计算思维培养的方式,积累培养经验。思维培养是一个综合性很强的要求,通过一两门课程是无法完成的。因此计算机课程尽管可以很好地训练有关内容,但是真正意义上的思维培养要从教育体系的全方位来实施。在这个过程中,要注意衔接好能力培养和思维培养的关系,以循序渐进的方式逐步改革计算机课程。其中尤为重要,需要有一个体现计算思维培养要求的教材,以此通过实践来推进改革。

例如对于计算机程序语言课程的教学,从技能培养的角度,只是教会学生编程序即可;从能力培养的角度,则不仅是教会学生编写程序,更要教会学生会评价程序、优化程序;而从计算思维的角度,则更要求学生学会根据所要解决的问题,选择一个适当的程序语言作为描述工具。因为以计算思维的观点,程序语言是描述问题的工具,而程序是描述问题的方式,在选择方式之前,首先要选好工具。

3. 关于计算思维培养的教学体系

根据结构主义的观点,设计一个教学体系,需要建构相应的知识系统。这就是我们常说的知识结构,把需要讲授的知识体系分解为知识单元和知识点,每一个知识点的内容、传授的方式、检验是否掌握的方式都要制定相应的要求和标准。甚至需要细到每一堂课讲什么,怎么讲。这就是当前教学的基本模式和过程。按照这样的模式,当我们把计算思维的内容构建成一个教学体系时,也要把计算思维分解为一些特征点,这些特征点可能包括(但不仅这些)如下的概念:规约、嵌入、转化、仿真、递归、并行、抽象、分解、保护、冗余、容错、纠错、系统恢复、启发式、规划、学习、调度、折中,优化等等^[8]。这些基本属于计算思维的内容和技巧,通过一堂一堂课程的具体讲授被学生所接受,并逐渐内化为学生的思维方法。如果我们这样来理解计算思维的教学体系,那么必然要面对以下的问题:

- (1) 计算思维有哪些基本的组成部分?
- (2) 这些基本组成部分的特征和表现是什么?
- (3) 这些组成部分如何在计算机课程中讲授?
- (4) 计算思维的培养能否像知识点或者技能点那样进行建构?
- (5) 培养计算思维的课程体系和课程要求应该是什么样的?

现在国内外一些高校已经开始了计算思维方面的教学实践,这些实践与通识教育的体系相结合,展现

了很好的效果^[9-10],丰富了学生的知识结构,提高了学生的认知能力和综合能力。特别是在这些实践过程中,更加凸显了计算机课程对于培养学生科学思维能力的独特和重要的作用。现在的问题是,需要在实践的基础上,提出了一个初步的教学体系,尤其是教材的推出。随着计算机教学的改革,逐步加强对于计算思维的培养,对于高校计算机课程的定位将演变为:不是为掌握计算机技术而学计算机课程,而是为掌握计算思维的基本方法而学习计算机课程。这样一来,计算机课程就与数学课程、物理课程的教学目的一样了。

当前需要注意的问题:

(1) 计算能力培养到计算思维训练的转变要循序渐进,要与学生的接受能力和学校的整体教学定位结合起来(通识教育、专业教育、技能教育),不可能一蹴而就,也不可能一刀切。

(2) 计算思维的培养是以计算能力的培养为基础的,一定要在能力的培养上进一步培养思维。

(3) 计算思维培养将会对现有的教学内容进行重新审视和定位,有些内容重复讲述了相同的思维方式,有些思维方式和特点可能没有讲到,可能会进行新的裁剪和增删。

(4) 在传统的教学中,计算思维是隐藏在能力培养内容中的,要靠学生“悟”出来,现在要把这些明白的讲出来,让学生自觉地去学习,提高培养质量,缩短培养的时间。

通过以上诸点来组织新教材的编写,应该是计算思维教学的新的任务和工作内容。

以上就计算思维的概念以及对当前教学的挑战提出了初步的看法。总而言之,关于计算思维以及计算思维教学的讨论还会继续下去,构建计算思维的教学体系和教学方法,将随着整个高等教育教学体系与教学方法的改革而逐步显现出来,也会随着人才培养质量问题而逐步提高对其重要性的认识^[11]。在今后五年将成为计算机

基础课程改革不可回避的问题,也是对于计算机基础课程体系设计的新挑战。随着国家人才战略的实施,对于人才培养质量的高度关注,计算机教育在大学整体教育中的重要性将会更加突出,成为在通识教育中培养具有现代科学思维精神和能力的三大必修课程(数学、物理、计算机)之一。

参考文献:

- [1] Seymour Papert. An Exploration in the Space of Mathematics Educations[J]. International Journal of Computers for Mathematical Learning, 1996, Vol.1, No.1: 95-123.
- [2] Jeannette M. Wing. Computational Thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3): 33-35.
- [3] Karp R. M. Understanding science through the computational lens[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2011, 26(4): 569-577.
- [4] 弗·卡约里. 物理学史[M]. 南宁: 广西师范大学出版社, 2002.
- [5] 张家龙. 数理逻辑发展史[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1993.
- [6] 陈国良, 董荣胜. 计算思维与大学计算机基础教育[J]. 中国大学教学, 2011(1).
- [7] Xu ZW, Tu DD. Three new concepts of future computer science[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2011, 26(4): 616-624.
- [8] Jeannette M. Wing. Computational Thinking and Thinking about Computing[EB/OL]. 2008.
- [9] 九校联盟(C9)计算机基础教学发展战略联合声明[J]. 中国大学教学, 2010(9).
- [10] CPATH. CISE Pathways to Revitalized Undergraduate Computing Education[EB/OL]. <http://www.nsf.gov/pubs/2009/nsf09528/nsf09528.html>.
- [11] 王飞跃. 计算思维与计算文化[N]. 科学时报, 2007-10-12.

[责任编辑: 余大品]