

文章编号: 2096-1472(2017)-07-01-04

践行科教融合、贯穿产学研的创新人才培养 ——中国科学院计算技术研究所的实践

董 慧¹, 李晓维^{1,2}

(1.中国科学院计算技术研究所计算机体系结构国家重点实验室,北京 100190;

2.中国科学院大学计算机与控制学院,北京 100080)

摘 要:世界已进入科教融合日趋紧密的大科学时代。本文在多年研究生教育管理实践的基础之上,通过研究借鉴国际先进科研机构 and 大学的成功经验,探索新的体制机制和管理模式,以计算机体系结构国家重点实验室为例,以建设国际一流的科研机构为目标,以科教融合、产学研结合为核心理念、提出人才培养的四项创新举措,并对两个案例分析展开论述,介绍了践行科教融合、贯穿产学研的创新人才培养实践。

关键词:科教融合;产学研结合;创新人才培养

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Innovative Talents Cultivation through Science and Education Integration and Industry-University-Research Collaboration ——The Practice of Institute of Computing Technology,CAS

DONG Hui¹, LI Xiaowei^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Computer System and Architecture,Institute of Computing Technology,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100190,China;

2.University of Chinese Academy of Sciences,School of Computer and Control Engineering,Beijing 100080,China)

Abstract:The world has already entered into the age of Big Science where the integration of science and education becomes closer and closer.This paper explores new systems,mechanisms and management modes,based on the successful experiences of advanced international institutions of scientific research and higher education.From the point of State Key Laboratory of Computer System and Architecture,this paper elaborates on innovative talents cultivation through science and education integration and industry-university-research collaboration,aiming to establish the world-class scientific institution. Four new innovative approaches of talents cultivation are proposed and two cases are analyzed and discussed.

Keywords:science and education integration;industry-university-research collaboration;innovative talents cultivation

1 引言(Introduction)

国务院做出的重大战略决策,对于提升我国教育发展水平、增强国家核心竞争力、奠定长远发展基础,具有十分重要的意义。其中培养拔尖创新人才是重要建设任务之一^[1]。习近平在2013年来中科院考察工作时提出了“四个率先”的要求。强化科教融合,引领知识创新、支撑国家发展,是中科院落实主席要求的核心命题。近年来,中科院构建以研究所为基础、以研究生为主体的教育体系,创造出一系列以科教结合和院所融合为特色的培养创新人才的新模式^[2]。

本文从一个目标、两个核心理念、四项创新举措、两个案例分析展开论述,以计算机体系结构国家重点实验室(下简称“本国重”)为例,介绍了践行科教融合、贯穿产学研的创新人才培养实践。

本国重隶属于中国科学院计算技术研究所,也是中国科学院大学计算机与控制学院的重要组成部分。将科研项目与学科建设、人才培养工作有机结合起来,通过承担和完成重大科研项目和重大科技任务,提升学科水平和竞争力,是本

国重较之一般大学的显著特色和优势。通过研究借鉴国际知名大学的成功经验,探索新的体制机制和管理模式,建设国际一流的科研机构。

2 以建设国际一流的科研机构为目标(Aiming to establish the world-class scientific institution)

2003年,美国科学院的国家研究顾问团提供给美国政府决策参考的一份报告《Innovation in Information Technology》(信息产业创新)中,以1960年代为时间起点,列出了19个极具代表性的超过10亿美元的重要IT技术。图1是Berkeley的David Patterson等在报告《The Parallel Computing Landscape:A View from Berkeley 2.0》中总结的十三所大学对上述十九个重要技术产业化的贡献。这些技术中,大学的技术源头性贡献中斯坦福有四项,分别是工作站、RISC、数据挖掘和最后一公里宽带。

斯坦福大学领先的基础研究是硅谷的创新源泉,有18位图灵奖得主在斯坦福学习工作过,这一数字居全美第一。斯坦福做的最好的是毕业生创业成功者多,20世纪30年代到

2010年毕业于斯坦福的14万名校友共创办了3.99万家公司，创造了540万个就业机会，每年斯坦福校友所创公司的营业总收入为2.7万亿美元。斯坦福大学是世界创业型大学的典范，校友创办了众多改变世界的公司：HP、Cisco、SUN、Netscape、Yahoo、Google、Nike等。如图1所示。

SIB+ Industry	Berkelley	Caltech	CMU	MIT	Boulder	Stanford	UCB	UIUC	UW
1 Timesharing									
2 Client/server									
3 Graphics									
4 Entertainment									
5 Internet									
6 LANs									
7 Workstations									
8 GUI									
9 VLSI design									
10 ASIC processors									
11 Relational DB									
12 Parallel DB									
13 Data mining									
14 Parallel computing									
15 RAID disk arrays									
16 Portable comm.									
17 World Wide Web									
18 Speech recognition									
19 Broadband last mile									
Total	7	2	2	5	1	2	4	1	3

图1 十三所大学对十九个重要技术产业化的贡献

Fig.1 The contribution of 13 universities to 19 important industrialization of new techniques

2050年，我们要做到与国际计算机学科第一名可比，对标就是斯坦福大学。所谓的斯坦福模式，概括而言就是：加强原创性基础研究，利用知识创新成果，孵化高技术公司，促进新产业形成，提升国家竞争力。本国重要学习斯坦福，就是要形成从知识，到创新，到产业、战略需求的贯通，以科教融合中心作为载体，推动创新人才培养的实现。

3 科教融合是手段，产学研是道路(Cultivating innovative talents by science and education integration and through industry-university-research collaboration)

3.1 科教融合是手段

科教融合是中国科学院大学建设成为世界一流大学的核心办学理念。大学的创新能力决定了其研究水平和国际地位，具有开拓精神并能开展原创性实践活动的大学，才有望成为世界一流的大学。近年来，中科院通过中国科学院大学，构建以研究所为基础、以研究生为主体的教育体系，创造出一系列以科教结合和院所融合为特色的培养创新人才的新模式^[2]。

科研与教学是一流大学的一体两面。凡是一流大学都有很强的科研实力，或者叫做知识创造能力，同时新的知识又被快速传递给学生，使学生在知识的前沿学习和思考，从而完成一流教学之使命。中国科学院大学校长丁仲礼说，“国科大同中科院的各研究所实行‘共有、共治、共享’体制，研究生培养又是我们工作的重中之重，因此科教融合是必然的选择”。中国科学院大学的大部分学院都是由研究所来承办的，比如计算机与控制学院，由计算所牵头，联合自动化所、软件所等单位共建。学院的各个教研室都建在我院研究实力最强的实验室中，这些实验室大都是国家重点实验室或中国科学院重点实验室。要求大部分课程由本学科中最出色的专家来主持，从而保证教学内容是足够前沿的，同培养研究生如何做好研究这一目标紧密结合^[3]。

3.2 产学研是道路

20世纪80年代，我国政府提出了“产学研”相结合的战略主张，并开始实施产学研联合开发工程，取得了一系列成就。充分利用科研单位、高校与企业等多种不同教学环境和教学资源，以及在人才培养方面的各自优势，把以课堂传授知识为主的高等教育与直接获取实际经验、实践能力为主的生产、科研实践有机结合的合作形式。可从根本上解决高等

教育、科学研究与社会需求脱节的问题，缩小高校和社会对人才培养与需求之间的差距，增强人才的竞争力。

高等教育、科学研究、经济一体化的趋势越来越强。在知识经济社会中，大学将被推向社会发展的中心，成为社会经济发展的重要动力。以信息技术为标志的第三次科技革命对产学研合作起到了推波助澜的作用，其中，斯坦福大学对师生创业和建立学术界与产业界合作的积极支持，创造了“硅谷”的经济奇迹，使产学研合作在高新技术飞速发展的当今世界，成为推动经济和整个社会发展的一种最强劲的动力。

为了进一步为产学研协同创新注入活力，国家实施“2011计划”，把人才、学科、科研三位一体创新能力提升作为核心任务，把协同创新作为提升创新能力的有效途径。“2011计划”被看作是“产学研一体化”的升级，能够有力地推动创新资源的开发与整合^[4]。

4 人才培养的创新举措(Innovative approaches of talents cultivation)

本国重要成为计算机产业的重要源头，既不能与产业脱节，又不能离企业太近，还要加快原始性创新的产出速度，和科研要素的流动速度。首先，学术的前瞻性是根基，重视重点实验室的学科建设，着力培养高端科学家和拔尖青年学术人才，提升其国际学术影响力。其次，加速转移人才和技术是重点，通过专利许可与转让、商标授权、企业委托项目、职业技术培训等一切可能的形式来加速转移技术，通过体系结构和算法精品课程等特色鲜明的研究生教育、企业联合实验室、科研人员创业等模式加速转移人才。

4.1 科研实践与产业任务紧密结合

实验室一直响应计算所定位的引领产业型研究所的号召，重视和加强与产业界及国际顶尖科研机构的合作交流，与华为、联想、曙光、Intel、INRIA、三星等公司和科研机构成立了联合实验室。其中，华为联合实验室的战略合作项目“高通量服务器研制”，由实验室多个课题组的科研人员和华为工程师共同承担，一年时间产出了近百项专利，并探索了矩阵式团队管理模式，为与大型企业的紧密合作积累了经验。同时实验室与曙光公司联合实验室在高性能计算机系统上进行紧密合作。与英特尔公司于2012年6月成立了联合实验室，在基于MIC芯片的E级高性能异构计算、高通量计算的负载分析等方面开展合作研究，英特尔公司将投入资金、设备、技术咨询支持联合实验室开展工作。源于新一代低功耗处理器方面的长期合作，本实验室与法国国家信息与自动化研究院(INRIA)于2012年12月成立了联合实验室，在2012年度就联合发表了5篇Rank A级别的文章，对科研人员和学生的学术文章水平的提高有很大帮助。本实验室与三星公司联合实验室主要在并行编程框架，可视化编程等方面展开合作研究，已完成多期合作项目。

实验室经过10年的卧薪尝胆，探索了一条不同于以往的联想、曙光、龙芯的发展模式，就是引领创新：通过突破关键核心技术，取得世界水平的前沿研究成果，再转移、辐射到领导型企业如华为，或者创办独角兽型的硬科技的创业公司如寒武纪，实现突破。实验室在信息领域这条变道超车的新道路上，起到了率先的作用。

4.2 科研实践与教学内容紧密结合

在培养学生方面，将科研实践与教学内容紧密结合，不仅能生动形象地为学生诠释本领域的基本概念、基本原理、

基本方法，还给学生提供了工程开发和技术实践的实验环境，并将该领域的最新研究进展引入课堂，解决了教学与科研脱节的问题，促进了学生进一步在该领域从事前沿技术研究，做到了教育和科研的无缝衔接。

建立覆盖集成电路全生命周期质量技术的课程体系：结合中科院计算所研制的多款芯片(多核处理器、众核处理器、自修复处理器等)的全生命周期质量技术问题，建立了完整的课程体系，包括三门核心课程、三门研讨课程和四门国际合作课程，在国内外研究生教学机构中都很少见。其中三门核心课程《VLSI测试与可测试性设计》《集成电路验证》《数字系统的故障诊断与容错设计》均有十余年教育教学实践。

依托中科院计算所集成电路实验室和科研平台，把教学内容与科研紧密结合，培养了学生的创新能力。通过中关村开放实验室、首都科技条件平台、中科院仪器设备共享管理平台等，依托中科院计算所集成电路专业实验室、国科大计控学院智能硬件及硬件安全实验室(基础EDA工具平台、FPGA仿真实验环境等)等，以及实验室自主研发平台等，构成了国际一流的实验室公共科研平台，教学内容与教员承担的科研紧密结合，培养了学生的创新能力。

例如，在《VLSI测试与可测试性设计》课程的科研实践中，学生可使用一款异构多核系统芯片Godson-Dm，学习和实践分布式与多路选择器结合的测试访问机制设计。《集成电路验证》课程的科研实践中，学生可使用一款ARM v8处理器，进行基于指令模板的通用处理器约束随机指令生成，学习和实践各种功能场景的验证。《数字系统的故障诊断与容错设计》课程的科研实践中，学生可使用一款自修复处理器SRP，学习和实践利用SRP搭建无线传感网络容错节点。

通过上述课程的学习，有效提高了学生的创新能力。培养的博士生鄢贵海在IEEE ATS'10上获得博士论文竞赛冠军、在IEEE ITC'11上获得TTTC国际博士论文竞赛亚军；博士生王颖在IEEE DAC'16上获得国际低功耗图像识别竞赛冠军。

4.3 国内外导师深度协同指导

实验室一直非常注重学术交流合作，一直通过“请进来、走出去”的方式，与多家国际顶尖学术研究机构建立了深入的合作关系。申请了“先进计算机体系结构海外团队”得到了中国科学院创新团队国际合作伙伴计划支持，10多位海外知名专家“正式地”定期回国交流和指导，包括美国工程院院士李凯作为重要的技术顾问专家，还有华云生教授(University of Illinois at Urbana-Champaign)、高光荣教授(University of Delaware)、张晓东教授(Ohio State University)、游本中教授(University of Minnesota)、李致远教授(Purdue University)、沈晓卫高级研究员(IBM T.J.Watson Research Center)等时常来指导计算机体系结构基础研究和学科建设工作的开展。

通过广泛的国际学术合作，以及与顶尖学术团队之间强强联合，实验室在顶尖学术会议论文方面做到了从无到有、从有到强的转变。近年来，实验室分别与INRIA的Olivier Temam教授、EPFL的Robert Fasthuber博士、Brown University的Jeff Huang教授、University of Minnesota的Pen-Chung Yew教授、UCSB的Amirali Ghofrani教授、University of New South Wales的薛京灵教授、University of Rochester的丁晨教授等展开了深入的交流与合作，其中，陈云霄研究员和陈天石研究员与Olivier Temam教授合作的论

文分别发表在了顶尖学术会议MICRO'14和ASPLOS'14上，并分别获得了该次会议的Best Paper。

同时，本国重也非常重视与国内科研团队强强联合培养人才，参与国家“2011计划”高性能计算协同创新中心，与国防科大、北京大学、中山大学、浪潮、华大基金等九家协同单位联合开设各类研究生培养课程以及暑期实践班，同时共享体系结构方向的科研平台，培养科研骨干。

4.4 引进国际化创新课程

本国重自成立以来，非常重视国际化创新课程的建设，开设了计算机系统结构先进课程Lec@CARCH(系列讲座)。通过专家集中授课、研讨交流活动、开放课题研讨合作及考察和开放日交流活动等方式，对科研人员和研究生等进行授课。此课程的讲座专家不仅有ACM/IEEE Fellow等国内外资深的专家、学者，还包括国际知名企业(如IBM、Intel等)高级研发人员，他们拥有丰富的科研及工程技术经验，长期从事计算机体系结构国际学术前沿研究，具有扎实的学术底蕴和专业背景，并根据领域内技术发展的现状及未来趋势拟定不同专题，组织参与人员进行分组讨论和课堂交流。

持续聘请UCSB大学Kwang-Ting Cheng教授合作开设课程《高通量计算系统的可靠设计、验证与测试》，UT Austin大学Jacob Abraham教授合作开设课程《VLSI Testing and Design Verification》，麻省大学Sandip Kundu教授合作开设课程《Design for Manufacturability and Reliability of VLSI Circuits》，波特兰州立大学Xiaoyu Song教授合作开设课程“高性能数字系统的建模与验证”。参加授课和研讨交流的知名专家有美国马萨诸塞大学(UMASS)的知名教授Sandip Kundu，加州大学圣地亚哥分校(UCSD)计算机工程系的周源源教授，瑞士EPFL计算机系的Babak Falsafi教授，宾夕法尼亚州立大学(PSU)的John (Jack) Sampson教授，来自INRIA的体系结构与编译领域的国际知名学者Krishna Palem教授和Olivier Temam教授(中科院外专千人)等。近五年，授课和研讨交流一百余次，有超过六千人次的学生参加。

此课程通过在高端计算体系结构、微体系结构、编译和编程、VLSI与容错计算、非传统体系结构等方向上邀请国内外知名专家学者集中授课和研讨交流等，使学员充分了解国际先进技术前沿，培养计算机体系结构及算法的专业能力，激发学员创新思维，有效支撑相关研究及行业应用的开展，加强行业应用人员专业知识与技能，促进科研创新成果的行业应用，带动我国计算机体系结构及算法的提升，通过产学研用的有机结合实现本领域的跨越式发展。此课程还获得人社部国家专业技术人员继续教育基地培训项目的持续资助，到目前为止，进展顺利，北京分院在官方网站上进行了专题报道。

此先进课程是对龙星课程的一个很好的扩展和延续，对提高我国科研水平和培养优秀人才都将起重要作用。龙星计划是2002年开设的，组织一批在美国学术界已有成就、有一定地位的杰出海外华人教授，不定期回国就某一领域，在中国各地大学，系统地讲授一门美国研究生课程(每门课程15—30课时)。就所讲课程的学术领域、有关课题与国内科学家及研究生共同讨论研究。撰写综述文章，并将其在《计算机科学技术学报(英)》上发表。而此先进课程在人群上不仅局限于海外华人，在时间上也更灵活和日常化，两门课程共同对研

究生的国际化视野的培养提供了不可替代的关键作用。

5 创新实践案例 (The case of innovative practice)

5.1 产学研的实践——智能处理器团队

本国重的智能处理器团队,通过践行产学研道路和科教融合,走出了一条贯穿产学研引领创新的道路。

(1)“研”:开创深度学习处理器方向

智能处理器团队,提出并实现了国际上首个深度学习处理器寒武纪。和当前主流通用处理器Intel Xeon E5-2690相比,寒武纪进行深度学习处理的性能和能效提升超过100倍。因此,寒武纪受到了IBM、Intel、微软、哈佛大学、斯坦福大学、MIT、UCLA、UCSB、哥伦比亚大学、佐治亚理工、Inria等欧美高水平机构的广泛跟踪引用,引领了这些机构从事深度学习硬件的研制。2016年计算机体系结构顶级会议ISCA上甚至有近1/6的工作引用该团队成员的论文从事深度学习处理器的研制。

由于其在计算机体系结构国际学术界的影响,寒武纪入选了国际计算机学会通讯(CACM)评选的研究焦点(每年仅十余项),并入选了乌镇世界互联网大会评选的十五项“世界互联网领先科技成果”。团队负责人陈云霁研究员也因开创深度学习处理器方向,被MIT技术评论选为2015年度全球35位杰出青年创新者(TR-35)之一。

(2)“学”:培养优秀科研人才和学生

团队负责人陈云霁研究员也非常重视对学生的培养,在中国科学院大学开设本科生课程,将工程实践和教学内容紧密结合,培养的学生多次在国际高水平会议和刊物上发表文章,在体系结构四大顶级会议(CCF A类)上发表多篇文章,例如杜子东博士在ISCA'15、MICRO'15上发表论文,刘少礼博士在ISCA'16上发表论文。刘道福博士、杜子东博士也获得了“2011计划”协同创新中心优秀博士学位论文奖。

团队非常注重青年骨干的培养。依托于中科院计算所的百星计划、卓越之星计划、国重创新课题等培养计划,培育了一大批青年创新人才。其中,在上述计划的资助下,陈天石研究员于2015年获得国家基金委优秀青年科学基金,郭崎副研究员入选“中国科协青年人才托举工程”。

(3)“产”:积极推进科技成果转移转化

寒武纪不仅在学术上取得了巨大的影响力,同时也在产业化上建立了良好的基础。2016年3月,中科院计算所成立了北京中科寒武纪科技有限公司,推动寒武纪深度学习处理器的产业化工作。公司天使轮融资即接近一亿美元,是中国最贵的天使轮融资之一。成立半年来,公司已经在智能终端领域拿到了近两亿元人民币的订单,实现盈利。2016年底,启动A轮融资,估值有望增长10倍,成长为世界级独角兽企业。

5.2 科教融合的实践——集成电路团队

本国重的集成电路团队践行科教融合的理念,进行了面向集成电路质量技术创新人才培养的教育教学实践,包含一个覆盖集成电路全生命周期质量技术的完整的课程体系,其中三门核心课程《VLSI测试与可测试性设计》《集成电路验证》《数字系统的故障诊断与容错设计》均有十余年科研教学实践。其教育教学目标是通过系统地讲授集成电路质量技术的核心课程、高级选修课程,使研究生掌握集成电路质量技术领域坚实宽广的基础理论、系统深入的专门知识,具有集成电路验证、测试、容错设计方向独立从事科学研究工作、取得创新性研究成果的能力,并培养集成电路验证、测试、容

错设计方向高级工程师技术人员、服务于集成电路产业。

其实践成果主要体现在:锻炼了一支优秀的教师队伍,培养了卓有成效的创新人才,践行了科教融合的教学实践。

(1)优秀的教师队伍

课程体系的全部教员(李晓维研究员、李华伟研究员、沈海华副教授、胡瑜研究员、韩银和研究员等)均来自于科学研究工作的第一线——北京市创新团队“中科院计算所测试与容错技术创新团队”。主要教员2009年以来获得:中科院朱李月华优秀教师奖四人次,中科院优秀研究生指导教师奖一人次;国家技术发明奖二等奖一项、国家科技进步奖二等奖一项、北京市科学技术奖一等奖一项、中国质量协会质量技术奖一等奖一项。

(2)卓有成效的创新人才培养

2009年来,本团队指导的学生王颖博士入选“中国科协青年人才托举工程”,路航等六人获得中科院院长奖,鄢贵海获得中科院优秀博士论文奖,鄢贵海获得中国计算机学会优秀博士学位论文奖,董建波等三人获得北京市优秀毕业生。培养的博士王达等15人担任教授或副教授,培养的硕士张飞在集成电路领域成功创业,获“2014年度昆山市领军型创业人才”称号。

(3)践行科教融合的教学实践

出版学术专著四本、译著一本作为教材和教学参考书,参与编写的英文教材被国际名校普遍采用;依托中科院计算所集成电路实验室,教学内容与教员承担的科研紧密结合,培养了学生的创新能力,培养的学生在国际学术会议DAC'16、ATS'10、ITC'11的学生竞赛中获两次冠军、一次亚军;聘请美国知名教授合作讲授四门研究生课程,促进学生与国际一流学者的合作研究。2009年以来本团队学生在IEEE或ACM Transactions上发表论文36篇。

6 结论(Conclusion)

经过近十年的实践,本国重坚持“1-2-4-2”——一个目标(以建设国际一流的科研机构为目标)、两个核心理念(科教融合是手段,产学研是道路)、四项创新机制(科研实践与产业任务紧密结合、科研实践与教学内容紧密结合、国内外导师深度协同指导、引进国际化创新课程)、两个创新实践案例的实施(计算机体系结构国家重点实验室智能处理器团队的产学研的实践、集成电路团队的科教融合的实践),把创新人才的培养作为根本任务之一,培养出了一批优秀的创新人才,探索出一条人才培养的创新实践道路。

参考文献(References)

- [1] 钟秉林.推进大学科教融合努力培养创新型人才[J].中国大学教学,2012(5):4-6.
- [2] 林彦红.科教融合理念的创新与实践,以中国科学院大学为例[J].研究生教育研究,2015,4(28):27-32.
- [3] 董慧.定位前沿创新源头,架构产业创新桥梁[J].科技成果管理与研究,2015(7):1-3.
- [4] 张钦朋.产学研协同创新政府引导机制研究[J].科技进步与对策,2014,31(5):96-99.

作者简介:

董慧(1983-),女,博士,工程师.研究领域:计算机研究生教育,信息技术发展战略研究.

李晓维(1964-),男,博士,研究员.研究领域:容错计算,研究生教育管理.