



国家精品课程教材

实验室科研探究

——基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验

主 编 卢达溶

副主编 汤 彬 吴 彤 王 坦

主 审 傅水根

清华大学出版社



国家精品课程教材

实验室科研探究

——基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验

主编
卢达溶

副主编
汤 彬 吴 彤 王 坦

主审
傅水根



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书呈现给大家的是清华大学的一项教育教学改革实践成果,是北京市教育教学研究重点课题“基于广泛科研资源的探究课程新模式”的主要成果之一。本教育教学改革实践通过组织实验室科研探究课程,盘活科研积累,扩展教学资源,使学生取得基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验,铺垫基础教学、专业教学和各项创新培养措施,实现通识基础上的宽口径教育的培养目标和厚基础、宽口径、强实践、重创新的教学理念。

本书分教育研究、课程内容、比较借鉴、教学案例和效果调研 5 个部分。全面展示了这项教学改革的思路、做法和效果。以帮助学生和教师更好地把握课程改革的脉络,共同将课程实践变成教育教学改革的一个试验区,把改革推向深入。本书可供参与课程学习的学生作为教科书,也可供关心教育教学改革的大学校领导 and 广大教育工作者借鉴参考。本书精选的 20 个教学案例还是介绍工程方面科学研究前沿成果的科学普及读本,可供广大工程人员和科学爱好者阅读。

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

实验室科研探究:基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验/卢达溶主编. —北京:清华大学出版社,2009.11

ISBN 978-7-302-21076-4

I. 实… II. 卢… III. 科学实验—教学研究—高等学校 IV. N33-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 169129 号

责任编辑:丁 岭 李 晔

责任校对:焦丽丽

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

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

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:22.25 彩 插:5 字 数:554 千字

版 次:2009 年 11 月第 1 版 印 次:2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:033428-01

努力把探究课建成精品课程 ——在“实验室科研探究”课程建设研讨会上的讲话

袁 驷

“实验室科研探究”课的开设,是该校在实施研究型教学模式方面的又一次有益探索。一年来,学校各部门、各院系和各实验室通力配合,老师、同学积极响应、广泛参与,针对该课程的建设动了很大脑筋,下了很大功夫,取得了喜人的成果。听了大家的发言,很受教育和鼓舞,对这样一种既能调动教师的积极性,又有益于学生培养的模式,我觉得没有理由不坚持下去。我们不但要坚持下去,而且要不断改进,使之日臻完善。

就个人的理解和认识,该课程的特色有下面四个方面的主要体现:

第一,体现了以人为本。对大学来说就是以育人为本,以培养人才为本。人才培养是大学办学的根本任务,教学改革着眼点就是要围绕着人才培养,不断改进人才培养的模式,适应各种人才的培养,适应研究型大学的人才培养,适应国家发展对人才的需求。“实验室科研探究”课程紧紧扣住了以人为本,体现得比较充分、到位。

第二,体现了通识教育和研究型教学。该课程的开设,可以使按自己的兴趣和发展需求,跨院系、跨专业选择几十个科研项目进行学习探究,从科研实践的角度向老师学知识、学做事、学做人。学生由此得以建立起通识的框架,进而通过探究型学习,逐步进入到宽口径专业教育。探究课在“通识教育基础上的宽口径专业教育”方面是一个很好的体现。

探究课寓学习于探究之中,又以探究激励学习,是研究型教学的很好体现。古人说“读万卷书,行万里路”。读万卷书是学习,行万里路是探究。一静一动,一个是书本,一个是实践,互促互补,相得益彰。“实验室科研探究”课中老师和同学处于同等地位,共同探究;通过以老师为主导的因材施教,加上以学生为主体的因材施教,达到一种乐教乐学、教学相长、互动并进的教学效果。就这个意义而言,古人的传道、授业、解惑似乎还缺了一个师生共同探究的环节。鼓励和引导学生自主学习,探究课是一种有效的模式。

第三,体现了教学内容的融汇与整合。我们很高兴地看到,该课程充分地利用

了清华多学科丰厚的科研资源,涉及面非常广,除了主体的工程领域外,还将经济、法律、历史、哲学、新闻传播、艺术等领域集一门课之中。随着课程的发展,还可进一步扩大和深入。

第四,体现了适应性的教学组织和管理。虽然只经过了短短一年,该课程在资源重组和教学管理方面的工作却得到了扎实推进,已演进形成一套比较规范的组织和管理模式。

为落实高等教育质量工程,紧密围绕我校既定的“高素质、高层次、多样化、创造性”的人才培养目标,按照“通识教育基础上的宽口径专业教育”定位,“实验室科研探究”课一定要建设和发展下去。对该课程的下一阶段建设和发展提几点看法:

第一,注重融通,优化全局。这门课程是一门通识课,所以更要注意这个“通”字。我们不是孤立地开设这门课,应该与其他课程有所融通,与其他教学环节有所融通,使整个教学体系的全局得到优化。很多老师和院系领导花很多时间在这门课上,就是看到了这门课程与学科建设、人才培养、国家发展对人才需求等各方面都有一条通路,这些认识是比较高远的。这门课程有可能打通很多其他课程打不通的脉络,比如说与 SRT(学生科研训练)计划相融通,能探究出新的 SRT 计划的课题;与学生赛事相融通,能培养出参加全国乃至世界大赛的苗子;与科研课题相融通,也能为科研领域培养出一些拔尖人才。另外,还要特别注意与第一课堂教学相融通。在整个教学活动中,比重最大的还是第一课堂教学。如何使探究课与第一课堂教学相融通,既是第一课堂的前期铺垫,又是其后继实践,激励第一课堂的学习兴趣和动力,活化第一课堂的研讨,增进第一课堂的教学效益,是一个值得深入研究和不断实践的课题。

第二,注重探究,深化内涵。探究课有别于以往其他课程的不同之处在于探究,其内涵也从这里体现。注重探究的内涵就是注重培养拔尖的创新人才,如果只是走过场,或者是一般性地了解一些知识,就不可能激发出创新点,也就失去了这门课程的意义。一年来的实践已经显示出一些喜人的效果,值得进一步探索 and 深化。

第三,注重研究,提升质量。党的十七大报告关于教育的论述重点是“质量”。探究课的建设也是一个探究过程。希望教务处、学校各有关部门都要注重研究这门课程的建设,研究这门课在整个教学体系中的地位、价值、意义、优势,不断提升探究课的质量。

第四,注重总结,创新管理。开设好这门课程,在教学管理方面对我们提出了新的要求。一年来的实践表明,我们的教学管理有很好的适应能力,希望注重总结,进一步创新管理,充分发挥出这门课程的活力。

第五,注重提炼,追求卓越。我们既然下决心办一件事,就要把它办好,要拒绝平庸,追求卓越。希望教务处和主持这门课程的各位老师,多从理念上进行挖掘,就内容、体系、方式和方法对这门课加以深入研究,进而到对培养模式和管理体制的综合研究。

总之,今天的研讨会水平很高,其中很多理念很有新意,也很有启发性。希望各个院系都要重视这件事情。学校和教务系统一定会大力支持这么一个创新的教学模式和课程,认真研究大家今天提出来的宝贵意见和建议。希望大家一同来探讨和研究这门课,大胆创新、勇于实践,把这门课程真正建设好,做成一个精品,做成一个品牌。

致 同 学

世界著名大学校长曾多次聚首研讨：当代理想的大学生应该具备什么素质？最终在三点上达成共识：道德素质、通识素质、应用技能及其素质。世界向全球化发展的趋势和 2008 年以及 2009 年的金融危机的警示，再次说明了这三点共识的指导意义。

教育是促进人的全面发展、为未来准备人才的事业。人才的健康成长是世界健康发展的前提条件。道德素质是一个人的灵魂，是构成时代精神的基础，因此怎么强调都不为过。应用技能及其素质也是服务社会、建设国家所必需的。何为通识素质，可能至今还没有一个令人满意的表述。但是，通识作为教育的目的，相信所有的人都会同意。新时代需要培养的是综合能力强的人才。因此，对学生的综合能力培养意义深远。近几十年来，各国教育在这方面不断探索，不断推出新的课程改革方案。1995 年，我国高等教育界开始提出并着手开展大学生的文化素质教育，国家开始了加强高等教育通识教育的改革。进入新世纪以来，中学教育开始了新课程改革，2007 年教育部“2 号文件”又提出高等教育“实施质量工程”，更加强调了这一点。

加强通识素质的一个重要方面就是要解决知识结构和思维方式问题。系统科学和复杂性研究已取得骄人的进展，为解决世界难题提供了新的思想武器，应给予充分的重视。建构高效创新的知识结构更必须解决主导性与相关性、先进性与应变性、整体性与扩展性的关系，这是一个能动的过程。当然同学们主观能动性的发挥需要一个必不可少的条件，那就是学校和老师要帮助学生建立起能够促进其发展的环境。正如林语堂先生所言：“我深信凡真正的教育都是风气作用。风气就是空气，空气好，使一班青年朝夕浸染其中……学问都会好的……因为学问这东西，属于无形，所求于朝夕的熏染陶养……古人所谓春风化雨，乃得空气教育之真义……”

“实验室科研探究”课程的开设，正是学校和老师为营造这种环境所做的不懈努力。关于课程的做法和想法，在本书其后的内容将有详细说明。这里作 3 个比喻，或许可以帮助同学们更好地理解 and 利用这个平台。

人类个体通过学习取得知识，实现自身与自然界及人类社会的联系。这个过程就像盖房子，首要的是搭起脚手架，而不是一上来就急着一块一块地垒砖。“实验室科研探究”课程结构的设计和教学单元的选择，以清华百年工程积累为基础，

着意实现对主要学科门类的覆盖,就是想用直观的实践方式,帮助同学们突破跨学科认知的主、客观障碍,了解各门课程所学知识在实际中的应用及相互关联,取得向更广阔空间发展的抓手,建起这个脚手架。在发现学校资源的同时,进一步发现自己,规划自己,设计安排好自己的大学学习和生活,取得更好的发展。

再进一步,人的学习过程,不是知识信息的简单堆砌,更应像是一个化学反应,由已有的思想材料和新取得的实践进展融合出创新的认识。因此,学会思维就显得格外重要了。学习思维的三部曲是:了解自己的思维过程,关注自己思维方式的变化,打下认知的良好基础。在“实验室科研探究”课中,老师用自己亲历的科研案例,在实验室现场现身说法,向同学们展示解决实际问题的思维过程,同时也就向同学们提供了思维对象和思想材料。希望同学们以更加能动的姿态积极参与进去,梳理自己的思维,体悟方法论的重要,并把它联系到自己大学学习的全过程。这其实是一种催化剂,对学习可以起到效果倍增的活化作用。

“实验室科研探究”更希望成为同学们发展成长的营养基。基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验,是对整个学习过程的一个很好的铺垫。从宏观看,工程是工业文明的载体,工程将基础科学(包括文理)变成现实,课程为学生提供了新的视角和视野认识现代文明,并为向知识经济时代迈进做好准备;从微观看,每一个教学单元提供的都是一线科研活细胞的全息图景,不仅知识综合,思想活跃,而且浸透着清华百年积淀下来的传统和作风,洋溢着科学和人文的整体感。希望同学们能在这种氛围的滋养下,养成定期整理和序化新知识新信息的习惯,培养使零碎、点滴知识不断系统化的治学品格,学会对知识进行组建和重组,把分散的知识进行整合,解决我们面临的问题。充分利用学校提供的有形的和无形的资源,使自己的潜能得到充分的发挥。

世界是发展的,人的认识也不会终结。“实验室科研探究”课程本身就是一个不断探究的过程,其发展期盼着师生携手进一步实践。更期盼的是,同学们能将自己身处其中的教改实践也作为一个案例,把课程的建设当作自己的一份事业,当作对自己和社会的一种研究,在将课程实践推向前进的过程中学会探究,与课程共同成长,同时也培养自己具有更好的合作、交流能力。为此,本书前半部分用研究文体(行动研究、叙事研究、理论研究)阐述我们现在对它所达到的认识;后半部分选载了部分教学单元案例,意在使同学们对课程的初衷和做法有所理解,更加充分地利用这个平台发展自己。

致教师同行

这里呈献给大家的是我们进行的一项教学改革实践,以及围绕它所取得的一些认识,由衷地希望与大家共同讨论,并共建共享。

对教育的要求从来都是来自产业、经济和社会发展的需求。当前正处于一个从工业经济向知识经济转变的时代。信息化的发展不但造就了规模巨大的信息产业,而且广泛渗透到社会经济的各个领域,从根本上改变了社会生产生活方式,从而导致经济形态的重点发生转变。融合作为一种信息时代渐走渐强的发展趋势,在经济领域主要表现为技术融合、市场融合、产业融合。其中技术融合是以市场融合为导向,并与市场融合一起构成产业融合的基础;映射到教育领域,则表现为课程融合、专业融合、文化融合。专业面向发展,也服务于市

场,课程改革应反映出专业融合的趋势,最终达到文化融合全面育人的目标。这将使人才培养发生革命性的变化。清华大学通过“实验室科研探究”课程的开设,盘活科研积累,扩展教学资源,落实通识教育,启发文化自觉。这个由近百名老师和实验室协同开展的教学改革实践,就是大家通力合作进行融合的探索。本课程期望实现的基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验,正体现着这种人才培养范式的目标和途径。

我们选择工程作为切入点,是为了体现教育对生活和社会需求的回归。

从横向看,工程是人们综合运用科学理论和技术手段,遵循社会伦理和规则去改造自然世界的过程及其所取得的物质成果,是现代社会运行的基础结构。从纵向看,由数学、物理、化学、生物、力学等基础科学的深入发展演进为工程学,大大地推动了人类的工程实践,积累了前所未有的知识、智慧和财富,撑起了整个工业文明。工程以其鲜明的综合性特色,更接近文化的现代形态。工程文化应该说是文化在近代的重要发展,是人类在现代作为一个整体对世界把握的一个不可或缺的部分。历史从哪里开始,逻辑就从哪里开始。我们充分利用综合性、研究型大学的有利条件,集全校文、理、工各科老师的聪明才智,依托布局合理的众多实验室,向本科生全面展现一线科研活动和文理各门学科迄今已经达到的认识高度和思想成果,并用以铺垫整个大学的学习生活,使其从静态的知识世界中摆脱出来,进入动态的生活世界,接触实践、了解国情、贴近发展,形成大气的思维架构,展现大逻辑。这在师生间形成了一种互惠互补、生机勃勃的文化生态,处处春风化雨、润物无声。学生通过这个过程,将知识及其建构过程放置在更加深刻的背景下进行考察,理工类学生体味自然知识与人文知识的整体感,技术的世界将会变得更加深刻;文科学生也可借此向文理融通方向发展,逐渐整合出自己完整的知识结构和统一的人格。

对工程文化的挖掘和强调,是为了实现教育观念实质性的转变。

教育的本原目的是塑造人,即促进学生的全面发展,提升人的生存质量和生命价值。而文化是人类作为一个统一整体对世界的把握,是人类本质力量的对象化,是人的实践活动积累化育而成的内在于主体的精神成果。作为人类为自己未来做准备的教育,其本质理所当然非文化莫属。因此,从教育的本原目的思考,我们必须将知识育人转化为文化育人,将人类社会历经坎坷的发展中所累积的优秀成果转化为个体的内在力量,促进人的全面发展,进而促进社会的全面发展。近世以来的中外历次教学改革中,“回归”的呼声一浪高过一浪。这实质上是深层次思维方式在发生转换,即课程与文化关系的思维方式在发生转换。科学实验是人类发展的三大实践活动之一,是活生生的生活世界。生活世界遵循理解论与价值论的原则,追求对具有无限可能性的意义和价值的感悟、理解与建构。因而,走向生活世界就是走向文化世界。“实验室科研探究”课程以科研实践为载体,使学生得以跨学科地积累对科学、技术和工程的认识,学习并领悟渗透于其中的方法论;同时用精选的人文讲座引导多维度的体验与思考;并以此铺垫各种创新培养环节,使其形成一个系统。其鲜明的实践指向性,使学生在自我发现、自我规划、自我创造、自我实现的过程中完成个性的全面、自由与和谐发展。而个体发展的极终目的,则是为更好地承担社会所赋予的责任,为未来建立起更加美好的社会而努力。

将课程定位为工程文化体验,表达了广大师生经过深入的实践和思考后产生的一种顿悟。在这种顿悟的鼓励下,师生们在“实验室科研探究”课程中开拓出教育活动的一片新天地。教师们开始对自己所熟知而笃信的教学法进行思考,渐渐认识到传统课堂强调技法而

缺少概念性思维,重视微观而忽视宏观,满眼是题而忽略了作为教育主体的人。教师的角色不能再是拿起肢解的知识往学生头脑中灌输,学生也不应再是被动接受,去比赛自己的记忆能力。学校的学科知识只有与学生个人的理解和经历,与自己的成长过程相结合才可能找到知识生长的地方,在科研一线、在实验室现场、学生与老师零距离接触。老师面对在研项目如数家珍,学生刨根问底,思想活跃。在广泛涉猎的基础上,逐渐明确自己的兴趣点,甚至组成团队,继续探究。这种师生间的良性互动,一边帮助学生学习知识,一边帮助他们重新理解生活,发掘他们新的才能,这不禁使同学们惊呼:原来大学还有这样一种上法!这种没有压力的观摩参与渐渐铺垫出越走越宽的成长之路,使大学学习生活变得有骨有肉、有血有情,优绩生有了更广阔的天地,因材施教,如鱼得水;暂时落后的学生也增长了信心,在广阔天地中因材施教,同样能成长为优秀人才。实验室和研究项目作为学术探索和呈现的载体,共同构成学生成长发展的巨大的营养基。规模化培养的共聚效应使学生的个性发展更加充分。在这种比较宽松和追求上进的氛围中,学生把学校真正融入自己的生活,各按步伐,共同前进,积极主动地度过大学本科这段人生发展的关键期。

本书是采取理论研究和叙事研究相结合的方法进行编写的。主编“中国教育叙事丛书”的丁钢先生在该书的总序中写道:“教育无论对于教育者,还是受教育者,都是一种生活方式,而且是一种日常的生活方式。所以,我们如果想要了解教育,并且期望发展教育,就必须了解和理解这种生活方式。当然,生活方式也是多种多样的,尤其当其以经验事实的方式流动的时候,就构成了丰富多彩的教育图景。而要揭示这幅丰富多彩的教育图景,教育叙事研究就会成为重要的理论方式。”我们在教改实践中对此也深有同感。我们力图将“实验室科研探究”这项群策群力进行的教学研究活动说清楚,但又是那么力不从心。一方面随着实践的进展,不断有新的想法、新的做法出现;另一方面这种想法和做法又由于传统理论语言的限制而很难加以表达。因此,在后续几部分中我们采用了叙事研究的策略,把课程的内容、做法、进程、比较以及师生的感受用老师和学生自己的语言和教学案例表述出来。这样做可能会更真实地反映教育这一生活事实的本来面貌,并使大家能够方便地参与进来,把问题想得更清楚,事情做得更明白。我们衷心希望全国的同行都来贡献智慧,集思广益,实现共建共享。随着课程内涵的扩大,逐渐形成一种张力,进一步拉动研究和探索,把教学改革和实践稳步推向前进。

在教材的编辑过程中,我们的思路进一步清晰了。“实验室科研探究”整个教学和学习过程,不正是一个由老师和同学共同进行的既连贯又得体的教育叙事吗?老师梳理了自己,学生认识了自己,课程得到了发展。师生共同关注“人类个体亲身经历并被其解释的活生生的存在”,使整个课程成为一个不断展开的故事,我们每一个人都是“有故事的人”,而不仅仅是一个时空固定的论题。在这里空间被打开了,由学习者用做人生发展的基材,资源真正可以为“以人为本”而存在了。在时间维度上,参与者立足现在,但在回溯中又能反思过去,与自己学习和生活的经历整合,再憧憬希望,放飞理想,使整个生活充实完整,生机盎然。三个维度呈现三度螺旋,把我们的学习、生活变得有骨有肉、有血有情,变得知行统一,理性与生活统一。这不正是大家所孜孜以求的那种教学改革的境界吗?

“实验室科研探究”课程的改革,受到北京市高等学校教育教学改革立项重点项目“基于广泛科研资源的探究课程新模式”立项支持,使课程的改革和教学研究得以推动和深化。

在本书付梓之际,谨对支持指导本课程教改的清华大学校领导、各部处领导、各院系领

导,对热情参与教改实践的全体老师和同学,对本课教学和本书编写中引用参考的各种文献的中外作者、编者、译者,表达我们由衷的感谢!没有您们的支持和参与,没有您们的努力和智慧,没有您们的辛劳和汗水,本课的教改和本书的出版是不可能完成的。

参加本书编写工作的人员(按姓氏笔画排序):

于燕梅	毛 波	王习术	王庆柱	王 京	王 坦	王爱民	王涵涌	包成玉
卢达溶	宁传刚	刘 莉	刘 聪	吉 霖	孙嘉英	朱 涛	朴香兰	毕大强
汤 彬	汲国强	吴 彤	吴 静	宋述强	张文增	张尚弘	张武生	张姝艳
张 春	张春峰	张新钰	张龔华	李丹勋	李双寿	李仲奎	李兆麟	李希光
李和平	李建保	李 政	杨丽丹	汪 进	沈若萌	陆永庆	陈 欢	林 红
范文慧	郑 宁	赵 伟	郝 丽	骆广生	夏 雪	徐 博	徐 霞	桂许春
梁楚楚	梁 鹏	黄学永	黄松龄	傅水根	曾福泉	程 刚	董甲瑞	魏家华

卢达溶

2009年5月

代序	I
前言	III
第一部分 教育研究	1
1.1 行动研究	1
1.1.1 课程设立的背景	1
1.1.2 课程的内容和目标	2
1.1.3 课程选课情况分析	3
1.1.4 课程的教学效果	5
1.1.5 课程的创新点	5
1.2 模式研究	6
1.2.1 以融通的课程铺垫课程的融通,提高教学过程的 培养质量	6
1.2.2 从探究课程学会探究学习,提高学生的学习质量	7
1.2.3 用协同的管理实现管理协同,提高教学管理水平	7
1.2.4 用复杂性科学研究复杂的教育过程,稳步提高课程质量	9
1.2.5 形成课程的风格	10
1.2.6 以追求卓越的精神培育精品课程,建成全面教育试验区	11
1.3 机理研究	11
1.3.1 分析基本矛盾,设定目标和途径	11
1.3.2 借重系统科学,设计课程结构	12
1.3.3 聚集资源要素,提升课程内涵	12
1.3.4 认识自主主体,培植内在动力	13
1.3.5 注重整合融通,优化培养过程	14
1.3.6 鼓励因材施教,充实因材施教	14
1.3.7 启发文化自觉,实现人的全面发展	14
1.4 文化学研究	15
1.4.1 课程的文化定位	15
1.4.2 课程的文化品质	16
1.4.3 课程的文化功能	18
1.4.4 且思且行,行胜于言	19

第二部分 课程内容	21
2.1 课程结构	21
2.2 教学单元图景(部分)	27
2.3 教学单元内容简介(目前部分)	35
2.4 教学单元方法论提炼——在科研案例中提炼方法论的参考提纲	61
2.5 探究学习模式的网络环境	63
2.5.1 学习共同体的理念	64
2.5.2 学习共同体的合作探究学习设计	64
第三部分 比较借鉴	69
3.1 学校层面	69
3.1.1 哈佛大学的通识教育:不断演进的进程	70
3.1.2 麻省理工学院(MIT)的通识教育:均衡的知识结构	72
3.1.3 牛津大学的通识教育:联合学科的综合性课群	76
3.1.4 柏林洪堡大学的通识教育:在科研中实施	77
3.2 产业层面	78
3.3 理论层面	83
3.3.1 建构主义知识观	83
3.3.2 建构主义的学习观	85
3.3.3 建构主义的教学原则	86
3.3.4 建构主义教学模式	86
3.4 认识与反思	89
第四部分 教学案例	92
案例1 太阳能利用中的材料科学	93
案例2 虚拟仪器技术概述	100
案例3 微焦点X射线成像	115
案例4 常压气体放电等离子体与公共健康	125
案例5 液液萃取技术的发展及应用	139
案例6 从原理到技术——以水污染控制微生物学原理与技术为例	146
案例7 机器人技术与欠驱动拟人机器人手	155
案例8 先进材料力学性能试验与表征概述	169
案例9 河流模型实验与数字仿真	183
案例10 地下工程的物理模拟试验技术及其在超大型地下洞室群研究中的应用	198
案例11 利用电子动量谱学方法进行分子轨道成像	208
案例12 计算技术简介	215
案例13 嵌入式微处理器技术的概述	225

案例 14	仿真科学与技术	238
案例 15	首饰艺术	248
案例 16	电力电子技术与能源发展概述	261
案例 17	全球财经信息服务商——彭博公司案例研究	273
案例 18	企业资源规划应用理论与技术概论	282
案例 19	演示实验的物理性与趣味性	289
案例 20	大学理想的反思(讲座单元)——纽曼大学理想与清华 20 世纪 20—40 年代教育理念的一点比较	301
第五部分	效果调研	313
5.1	学生眼里的“实验室科研探究”	313
5.1.1	学生的收获和体会	313
5.1.2	学生教育研究文章	326
5.2	老师眼里的“实验室科研探究”	338

第一部分 教育研究

教育研究是教学改革的前提。古人云：“意在笔先者胜，意在笔后者败。”教育教学改革实践虽是摸着石头过河，也要事先深思熟虑。积极探讨方法论，把教学和学习当作研究来做，是大学应有的品格，无论对教师，还是对学生，都应该是这样的。因此，本书从教育研究切入，以便使大家对课程的初衷、做法、预期有一个较好的理解和把握，在教学实践中更好地实现共同的追求。

1.1 行动研究

行动研究是一种新的研究方法。它从实际工作需要中寻找课题，在实际工作过程中进行研究，由实际工作者与研究者的共同参与，使研究成果为实际工作者理解、掌握和应用，从而达到解决问题，改变社会行为的目的。行动研究在研究的同时对被研究的现象进行干预，使其更加完善。行动研究也是实践性方法，旨在通过相关实践探索经验，提升认知。2007年春季学期以来，清华大学开设了一门面向本科生的全校性公共选修课程“实验室科研探究”。该课程受到广大师生的热情参与，也引起了兄弟院校的广泛关注。本节拟通过对该课程建设实践的行动研究，用教育科学的理论、方法、技术，对其实施途径和具体措施展开分析，以期在实践和理论两个层面，去审视、指导、改进该课程的教学实践。

1.1.1 课程设立的背景

随着知识经济和全球化脚步的加快，以及政治、经济、环境不确定性的增加，近些年来产业界、教育界展开了关于教育如何适应未来经济社会发展的全球性讨论。

2001年至2006年，美国国家科学院、国家工程院和国家研究理事会共50名院士联合完成了题为“2020年的工程师”项目研究，在2004年和2006年分别做出《新世纪工程学发展的远景》和《适应新世纪的工程教育》两个总结报告，为美国的未来发展做准备。该报告认为，适应未来的教育必须确定综合化的思路，创建综合化的课程；工程学位还将成为文科学位的预备学位，管理、医学、法律和商业的学生都必须具备基本的工程素养。美国哈佛大学2008年2月7日公布的其30年来最大的一次课程调整方案，也试图用更加强调科技教育和国际化的全面教育来塑造人，实现“培养出来的年轻人与进校时大不一样”的目标，以应对不确定性越来越大的世界和未来。

在我国，本科教学体制在建国后为满足大规模经济建设对专业人才的迫切需求，学习苏联专业化人才培养模式，在一定的历史阶段发挥过重要作用。但其“专

业分化过细,知识结构单一”的弊病严重影响高等教育更高阶段的创新人才的培养。自 20 世纪 70 年代以来,我国各高校对人才培养模式进行了不同程度的改革,但高等教育人才培养模式并没有发生根本的改变。有学者认为我国大学人才培养模式的问题主要体现在以下 4 个方面:一是过窄的专业教育,使学生的学科视野和学术氛围受到局限;二是过弱的文化陶冶,使学生的人文素质和思想底蕴不够;三是过重的功利导向,使学生的全面素质培养和扎实的基础训练受到影响;四是过强的共性制约,使学生的个性发展受到抑制^[1]。

1995 年,我国高等教育界开始提出并着手开展大学生的文化素质教育,国家开始了加强通识教育的改革。2007 年教育部“2 号文件”提出“实施质量工程,全面提高高等教育质量”的要求。在清华大学,将其进一步明确为:坚持以人才培养为根本,培养和造就拔尖创新人才,同时这也是清华大学最主要的社会责任和建设世界一流大学的根本追求。在这个任务下,如何贯彻“厚基础、宽口径、强实践、重创新”的培养理念;如何把丰厚的科研积累转化为本科教学资源,充实因材施教;如何优化学生的学习过程,以环节的融合提高教学链的附加值;如何实现通识教育与宽口径专业教育的有机衔接,学校一直都在寻找落实的措施。

更好地落实这些理念的关键,是要拿出能一步步实现的大纲。从我国的国情出发,从针对毕业生就业时人才市场所反映出的社会人力资源的需求出发,对于目前仍处于工业化向信息化过渡阶段的中国大学本科教育来说,过晚地进入专业,在专业能力训练等方面就会出现明显的不足,培养计划在专业课安排上也会出现很大的困难。因此有必要探索一种在各院系的专业管理下,整合全校的整体资源,以文化素质教育为灵魂,以丰厚的科研资源为载体,实现通识教育基础上的宽口径专业教育的培养范式。

在这样的背景下,清华大学全校性公共选修课“实验室科研探究”于 2007 年春季学期应运而生,并在北京市教委的关怀和校领导的支持下,开展了教改立项研究。

1.1.2 课程的内容和目标

本课程具体的做法是:在学校领导及各部处的支持下,在全校范围内,以分散于各院系的众多实验室为依托,筛选出一批典型的科研项目和成果(目前已涉及 32 个院系的 92 个实验室),分别组成课程独立的教学单元(每个单元 2 学时),组织学生按自己的意愿和需求进入到相关教学单元所在的实验室,由高水平教师和有经验的工程技术人员现身说法,用通俗的语言和直观的形式(如实验室现场、图板、音像资料、报告文档、原始资料、启发式设问等)全方位展示科研过程。在课程教学单元讲授中,老师讲述科研项目的立项背景和实施过程、所依托的装备条件和遇到的问题、解决问题的思维方法,与同学进行讨论交流,分享经验教训与心得体会。课程同时精选人文讲座单元,从文化、传统、伦理、哲学、心理等方面引导学生多维度的思考和体验,更深刻地认识技术世界、自然世界和人类社会,使自然科学与人文、社会学科的关联更密切。学生从所有单元中自主选择 8 个单元计 1 学分,各学期可接续选探究课(I)~(IV),最多可积 4 学分,跨学科观摩 32 个项目。

本课程开设总概论课环节,阐述新时期理想的大学生应该具备的素质、清华大学育人的思路、课程的作用、进行方式和学习方法。课程各教学单元教师在网络学堂公布各自教案、参考资料和预习要求。通过资料阅读环节,使学生有备而来,有利于提高课堂的学习效率。课堂上,每个单元通过概论讲话,使学生在宏观上了解该单元所在领域科学技术的演进和产业发展的脉络,再通过具体科研案例将学生引向深入。课程重视学生与科研实践及参与前沿研究的

科技人员相接触。这有利于学生感悟工程文化的厚重内涵和积淀过程,从中探究社会、经济发展的内在规律与科学技术间的联系,从而提高学生对整合自身知识结构的自觉性和能力。

本课程的考核除了要求学生实地深入教学单元的科研现场外,还要求学生记录实践日志,即记录在课程各教学单元学习中的所见所闻、所思所感,记录自己的探究与发现,力求在共性中找出差异,在差异中发现共性。课程拟利用该措施,有意识地引导学生了解自己的思维过程,关注自己思维方式的变化,学会积极思维,引导深度思维。

由于本课程是由横跨院系的众多实验室和教师共同建立的本科教学平台,所以课程的持续健康发展,离不开学校、各职能部门和各院系领导的支持,离不开各实验室主任和广大实验室技术人员的支持,离不开广大一线科研教师的积极参与。课程由教务处、实验室与设备处、注册中心和训练中心共同进行教学管理。

这样,就低成本地建立起一个基于广泛科研资源的、可使大量学生受益的、可引发学生兴趣的,同时又具有一定深度的“通识教育”平台。将这个平台衔接到清华大学现有的本科生培养方案中,就可能起到一个承前启后、承上启下的作用,从而可活化整个教学培养过程。本课程努力实现如下的教学目标:

- (1) 使学生形成广阔的视野,尽早获取工程文化体验;
- (2) 使学生有合法渠道感性地接触实验和实验室,同时更理性地进行实践和探索;
- (3) 推动学生自觉地规划并发展自己,及早介入科学研究过程。

课程进而有望实现如下的教育目标:

- (1) 与老师和科研教学的“活细胞”零距离接触,共同守望清华精神,提高科学素质;
- (2) 体现人文关怀,使学生感受到细柔缓慢却润物细无声的教学和研究的渗透力;
- (3) 同时感受实践的意义和思想的力量;
- (4) 为学为人,更好地融入社会。

1.1.3 课程选课情况分析

本课程目前已经进行了5个学期,受到学生的积极参与,每学期学生选课人数均在500人左右。我们通过图示方法对课程的选课情况进行了初步总结。图1-1是本课程教学单元的学科构成,它涵盖了清华大学大多数的学科大类。这说明,通过该课程的设立,一个基于广泛科研资源和人文资源的通识教育平台已经形成,学生有合法的渠道高效率地搭建起认识工程的脚手架,方便地了解学校,了解自己,进入自己感兴趣的领域;图1-2是选课学生的学科专业构成,可见选课学生来自于不同的学科大类,且各学科大类均有相当数量的学生选课。这说明这种课程教学方式已经被广大同学所认可。学生通过这种早期体验,可以更快地触摸到工程综合的本质,使自己的思维更加深刻,尤其喜人的是文科学生也在依托该课程平台向文理融通的方向努力,使自己更加务实;图1-3是选课学生的年级构成,可以看出大一、大二学生占选课学生的80%以上。这说明这种课程形式更受低年级同学欢迎,对顺利进入大学的低年级学生的学习和生活是一个很好的引导,对他们日后能够以比较宽厚的基础进入高年级学习是一个很好的铺垫,因此课程有利于完成通识教育与宽口径专业培养的顺利衔接;图1-4是学生选择教学单元所涉及的学科大类数,可以看出绝大多数学生所选择的教学单元涵盖3个以上的学科大类。这较好地说明学生对学科交叉和沟通的渴望,有利于使学生初步形成跨学科、跨系统和跨专业的大思维,有利于改变他们局限于某一个专业领域学习的状态,从而易于引领本科学习的全过程。

教学单元的大类学科分布

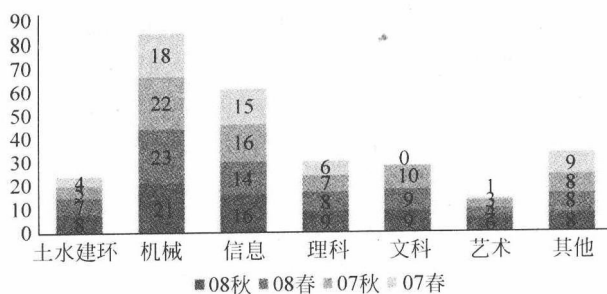


图 1-1 教学单元的学科构成

选课学生所属的大学科分类

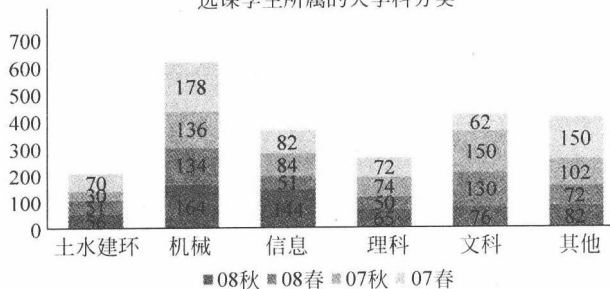


图 1-2 选课学生的学科专业构成

选课学生的年级组成

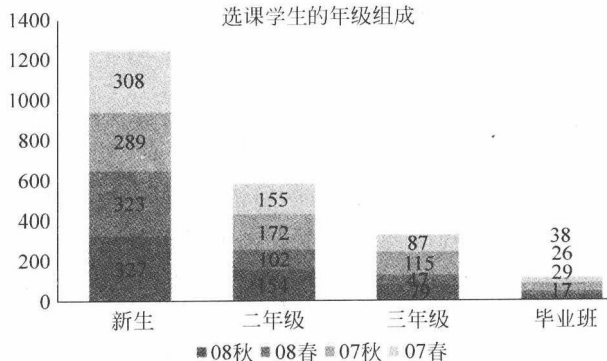


图 1-3 选课学生的年级构成

学生所选单元涵盖的学科大类数分布

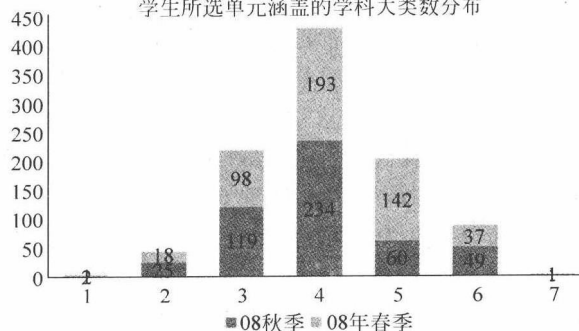


图 1-4 选择教学单元所涉及的学科大类