

CDIO 大纲与工程创新型人才培养*

康全礼¹, 陆小华², 熊光晶³

(1. 汕头大学 高教所, 2. 汕头大学 教务处, 3. 汕头大学 土木系 广东 汕头 515063)

[摘要] 广义的创新是普遍的, 创新型人才是多样的; CDIO 大纲的能力目标与创新能力相当地契合, CDIO 工程教育模式的中国化将成为培养创新型工程人才的有效途径, 汕头大学的实践是一个较好的证明。

[关键词] CDIO; 创新能力; 工程教育

[中图分类号] G642.0 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8874 (2008) 04-0015-04

On the CDIO Syllabus and the Cultivation of Innovative Talents

KANG Quan-li¹, LU Xiao-hua², XIONG Guang-jing³

(1. Institute of Higher Education, Shantou University, 2. Teaching Affairs Office, Shantou University, 3. College of Engineering, Shantou University, Shantou Guangdong 515063)

Abstract: Innovation in its broad sense is prevalent. Innovative talents are diversiform. The capacity objectives of CDIO syllabus agree with the innovative ability. The Sinicization of CDIO engineering education model will be an effective approach to cultivate innovative engineering talents. The practice of Shantou University is a good illustration.

Key words: CDIO, innovation ability, Engineering Education

我国确立了 2020 年建设成创新型国家的目标, 提高高等学校自主创新能力, 培养创新型人才是实现创新型国家的人力资源基础。如何培养创新型工程人才, 是国内外教育改革的焦点问题之一。CDIO 是国际工程教育与人才培养的创新模式, 2000 年 10 月以来, 由美国麻省理工学院和瑞典皇家理工学院等四所大学组成的工程教育改革研究团队提出、并持续发展和倡导了全新的 CDIO (Conceiving-Designing-Implementing-Operation) 即构思——设计——实现——运行的工程教育理念和以能力培养为目标的 CDIO 理念, 并于 2004 年成立了 CDIO 国际合作组织。CDIO 模式强调综合的创新能力, 与社会大环境的协调发展; 同时更关注工程实践, 加强培养学生的实践能力。CDIO 工程教育模式中国化的实践将成为培养创新型工程人才的有效途径。

一、CDIO 大纲与创新能力的契合性

CDIO 大纲的目标首先强调了技术的知识与科学基础; 第二个目标是培养学生能够引领新产品、工艺和系统的创新和运行, 相应地, 需要培养学生的个人和人际技能以及产品、工艺、系统的掌控技能; 第三个目标是教育学生能够理解在社会

背景下研发的重要性和战略价值, 科学家和工程师要解决从卫生保健到娱乐方面的难题并提高国家竞争力, 从而贡献社会, 研发过程必须考虑到社会责任和可持续发展。CDIO 大纲将以上目标分为 4 大类 14 条 70 点, CDIO 大纲的能力目标与创新型人才的素质要求存在相当高的契合性。

CDIO 大纲制定者认为, 工程教育毕业生应该可以在一个现代化的以团队为基础的环境下, 构思—设计—实施—运行复杂的增值工程系统, 期望工程教育毕业生发展成为完整的、成熟的、有思想的个体。^[1]

CDIO 大纲的第一部分是关于工程技术知识原理和技术推理, 包括基础科学知识 (1.1); 核心工程基础知识 (1.2); 高级工程基础知识 (1.3)。

CDIO 大纲的第二部分为个人和职业技能和特质。工程师所进行的熟练的专业的三种思维模式是: 工程推理和解决问题 (2.1); 实验中探寻知识 (2.2); 系统思维 (2.3)。这三个方面也可以称为工程思维、科学思维和系统思维。工程推理和解决问题包括: 认识和系统表述问题 (2.1.1); 建立模型 (2.1.2); 判断和定性分析 (2.1.3); 带不确定性因素分析 (2.1.4); 解决方法和建议 (2.1.5)。实验中探寻知识包括: 建立假设 (2.2.1); 查询相关书刊或者电子文献 (2.2.

* [收稿日期] 2008-11-12

[基金项目] 广东省软科学研究计划重点项目: 基于 CDIO 工程教育理念的创新型人才培养模式研究 (2007B070900109)。

[作者简介] 康全礼 (1967-), 男, 河南南阳人, 汕头大学高教所助理研究员, 博士, 主要从事高等教育研究。

2); 实验探索(2.2.3); 假设检验和论证(2.2.4)。系统思维包括: 整体思维(2.3.1); 系统内的紧急性和交互性(2.3.2); 确定优先级和焦点(2.3.3); 决断时权衡、判断和平衡(2.3.4)。每个部分的组成都以“阐明问题”开始, 然后穿越该思考模式的所有特例, 最后以实质性“解决问题”结束。

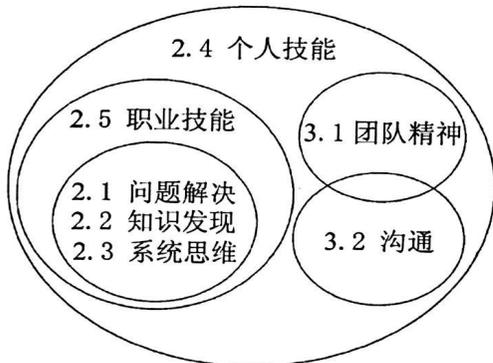


图1 个人和职业技能和人际技能

如图1所示, 在个人技能中, 主要用于职业环境下的那些个人技能与态度、不同于三种思维模式的, 被称为职业技能与态度(2.5); 不同于职业环境下的和人际的, 称为个人的技能与特质(2.4)。个人技能和态度包括: 主动和愿意冒险(2.4.1); 执着与变通(2.4.2); 创造性思维(2.4.3); 批评性思维(2.4.4); 自省个人的知识、技能、态度(2.4.5); 求知欲和终生学习(2.4.6); 时间和资源的管理(2.4.7)。职业技能与态度包括: 职业道德、正直、责任感(2.5.1); 职业行为(2.5.2); 主动规划个人职业(2.5.3); 与世界工程发展保持同步(2.5.4)。

人际技能是个人技能的特别子集, 分为团队精神(3.1)和沟通(3.2)。团队精神包括: 组建高效团队(3.1.1); 团队工作运行(3.1.2); 团队成长和演变(3.1.3); 领导能力(3.1.4); 技术协作(3.1.5)。沟通包括: 交流战略(3.2.1); 交流结构(3.2.2); 写作交流(3.2.3); 电子和多媒体交流(3.2.4); 图表交流(3.2.5); 口头表达和人际交流(3.2.6)。适当情况下, 掌握外语也是必要的: 英语(3.3.1); 其他欧洲语言(3.3.2); 其他外语(3.3.3)。

大纲的第四部分是企业与社会背景下构思、设计、实施和运行(CDIO)系统, 它反映了产品或系统开发是如何经过以下四个阶段的: 构思与工程系统包括: 设立系统目标和要求(4.3.1); 定义功能, 概念和体系结构(4.3.2); 系统建模并确保目标可能达成(4.3.3); 项目发展的管理(4.3.4)。设计包括: 设计过程(4.4.1); 设计过程分期与方法(4.4.2); 设计中对知识的利用(4.4.3); 本学科专业设计(4.4.4); 跨学科专业设计(4.4.5); 多体综合设计(4.4.6)。实施包括: 设计实施的过程(4.5.1); 硬件制造过程(4.5.2); 软件实现过程(4.5.3);

硬件, 软件的结合(4.5.4); 测试, 验证, 认证以及取得证书(4.5.5); 实施过程管理(4.5.6)。运行包括: 设计和优化操作(4.6.1); 培训及操作(4.6.2); 支持系统的生命周期(4.6.3); 系统改进和演变(4.6.4); 弃置处理与产品报废问题(4.6.5); 运行管理(4.6.6)。

产品和系统都是在企业与商业环境下创建和运作的(4.2), 包括: 认识不同的企业文化(4.2.1); 企业策略, 目标和计划(4.2.2); 技术创业(4.2.3); 成功地在组织中工作(4.2.4)。同时, 工程工作(构思、设计、实现和运作)和企业都是存在于更大的社会与外部环境之中(4.1), 包括: 工程师的角色和责任(4.1.1); 工程对社会的影响(4.1.2); 社会对工程的规范(4.1.3); 历史和文化环境(4.1.4); 现时的焦点和价值观(4.1.5); 发展全球观(4.1.6)。

我们可以发现, CDIO大纲的能力要求和创新能力相当契合。技术知识与推理是创新的知识基础。而大纲第二部分所要求的工程思维、科学思维和系统思维, 则恰恰是创造力经常的心理运作过程; 在这三种思维模式中, 从发现问题、到提出假设、验证到解决问题正是创造力的心理历程, 在这些过程中将会产生不寻常的产品。如心理学家托兰斯(Torance)将创新能力视为“这样一个过程, 即对问题、不足、知识上的缺陷、基本元素的丢失、不协调、不一致等现象变得敏感, 并找出困难, 寻求解决途径, 做出猜想或构成假设, 对假设进行检验和再检验, 也许是修改和再检验, 达到最终结果”。^[2]Nickerson认为创造力是发现问题和解决问题的连续历程, 产生历程是发现问题, 探索历程是解决问题; Ward, Smith, & Finke也指出, 创造力是产生(generation)和探索(exploration)历程的循环认知历程。^[3]大纲第三部分的团队精神和沟通能力则是在现代组织和企业中创新的必要条件, 也是增强协作创新、打造创新团队的个人品格要求。

大纲的第四部分则提出了新产品或新系统创造和执行过程的要求, 并要求考虑商业和社会环境, 而“产品”是创造力的结果体现。Runco、Plucker和Lim指出, “创造力经常是根据产品来定义的”。^[4]一般而言“新颖”与“实用”是创造力产品定义中的普遍内涵。大部分学者均普遍认同这样的创造力定义: “创造力是一种历程, 是创造出能为团体所满意与接受的新颖或实用的产品。”Sternberg也认为, 有创意的产品必要条件是新颖、恰当、质量和重要性。费斯特(Feist)则指出创新能力的观念是“新颖而且适于作为问题解决的方法”^[5]。鲁伯特(Lubart)指出: “从西方心理学研究来看, 创新能力可以被定义为产生新颖且适用的工作产品的能力。”^[6]

我们对二者关系不妨列表如下:

表1 CDIO大纲能力目标与创新能力的契合

CDIO大纲	创新能力				
	个人观	过程观	产品观	环境压力观	综合观
1.1 基础科学知识	○				○
1.2 核心工程基础知识	○				○
1.3 高级工程基础知识	○				○
2.1 工程推理和解决问题		●			○
2.2 实验中探寻知识		●			○

创新能力					
2.3 系统思维		●			○
2.4 个人技能和特质	●				○
2.5 职业技能与态度	●				○
3.1 团队精神	●			●	○
3.2 沟通	●			●	○
4.1 外部和社会环境			●	○	○
4.2 企业和商业环境			●	○	○
4.3 构思与工程系统		○	●		○
4.4 设计		○	●		○
4.5 实施		○	●		○
4.6 运行		○	●		○
●高度契合 ○一般契合					

二、CDIO 大纲的实施与创新能力的培养

我国大学生创新能力培养过程中存在的问题是培养模式陈旧, 课程体系僵化, 教学手段单一、教学方式多为灌输式, 大学生评价和激励机制不合理, 缺乏创新环境(包括物质与精神环境)。为了实现 CDIO 大纲的目标, CDIO 国际组织同时制定了 12 项 CDIO 标准作为 CDIO 改革的评价和实施指南, 按照 12 项标准进行改革将会大大促进工科大学学生创新能力的提高。

(一) CDIO 大纲目标的实现将伴随着教育模式的变革, 有利于培养大学生的创新能力

CDIO 的 12 项标准都是围绕如何实现 CDIO 大纲目标的, 进行 CDIO 改革, 将带来从理念到课程到教学到评估的整体改革。标准 3 是“统一综合的课程”, 要求构建满足 CDIO 大纲四方面能力要求的课程体系, 课程应是跨学科的和相互联系相互支撑的; 标准 5 是“培养设计经验”, 要求课程计划中包含两个或两个以上的培养设计经验的课程, 包括一个基本水平的和一个高级水平的; 在课内外活动中学生有机会参与产品、过程和系统的构思、设计、实施和运行; 标准 7 是“综合性学习经验”, 综合学习经验是达成基本知识、个人能力、人际关系技能, 产品和系统建构技能获得的基本途径; 标准 8 是“主动学习”, 主动学习是学生直接参与到思考问题解决问题的活动中, 不提倡被动的知识传授, 而是让学生运用知识去操作、应用、分析和评测。这几个标准在培养大学生创新能力方面有很大的作用。如 MIT 的《航空工程和设计导论》课程通过航空学、太空航行学和设计讲座强调了航空太空飞行工程的基本概念和方法, 积极地引导学生利用信息技术自主学习航空宇宙部分。学生小组要自己动手努力完成一项 LTA (The lighter-than-air) 飞行器设计专题, 其内容包括: 设计、制作、试飞无线电操纵的 LTA 飞行器, 通过实际项目使理论与实践结合。在 LTA 飞行器竞飞前要进行必需的设计评估, 评估 LTA 飞行器的性能、重量和理论特性, 根据新生可理解的程度, 阐明所应用的物理、数学与化学知识。本课程重点是在让学生运用已学的航空太空飞行工程和设计知识, 而不是去掌握新科学和数学。

标准 6 是“CDIO 工作空间”, CDIO 工作空间和实验室

有利于学生动手学习、直接学习、知识建构、人际关系学习, 有利于培养 CDIO 大纲目标的能力; 这提供了学生创新的硬件环境。

标准 11 是“学生 CDIO 能力的考核”, CDIO 大纲所要求的能力的考核方法必须与 CDIO 的理念相一致, 考核方法包括笔试、口试、学生行为观察、等级量表、学生反思、日记、档案袋评价、同学评价和自我评价等。如 MIT 的《航空工程和设计导论》课程的评分方法是学生的成绩将由课堂表现、读书笔记、习题集和 LTA 飞行器设计专题这几部分来评定, 无测验和期末考试。最终成绩大致由以下方法评定: 习题集和阅读摘要占 30%; 学生个人设计文件集占 15%; LTA 飞行器设计专题占 45% (包括初步设计评论、建议性设计评论、试飞和竞飞成绩); 出勤率、参与度、综合评价占 10%。

(二) CDIO 改革的实践与创新型人才培养

进行 CDIO 改革, 会带来怎么样变化, 对创新型人才培养又有什么具体的作用呢, 这里用新加坡理工学院和汕头大学两个个案加以说明。

新加坡理工学院 (Singapore Polytechnic) 从 2003 年到 2005 年进行了 CDIO 改革, 实行了 PBL (project based Learning) 实验, 结果发现, 学生在以下几个方面有特别的收获。毅力: 学生在 C-D-I 阶段开始时, 往往会遇到许多困难; 学生需要在艰难的情况下坚持下去。提高了学习动机: 学生会主动搜寻更多的完成项目做需要的额外信息。学会如何学习: 该项目提供了充分的机会, 让学生从他们的朋辈和教师了解如何学习, 学生举行专题介绍会分享他们的项目经验。灵活思维: 由于该项目提供了许多创造性思维的机会, 在 idea 的产生和设计阶段学生必须灵活地思考; 从这次实践中, 学生从同学中学会了许多产生新观念的技巧。追求正确和精确: 如果学生在测试电路和编程时很草率, 项目就不能完成; 所以很多学生在完成项目中学会了追求精准性。在新情况下应用知识: 在学习了不同的学科知识之后, 学生应用所学的知识完成项目; 这非常不同于传统的在考试时背诵答案的情形。收集数据: 学生需要对所需的观念和信息进行广泛的研究; 这个机会是有益的训练, 学生变得更加足智多谋。创造, 想象和创新: 学生完成的项目普遍非常新颖; 由于有创意的解决方案, 两个团队的项目被当地新闻报道。整合力: 学生需要整合他们所学的

理论,以完成他们的项目。^[7]

汕头大学2005年进行CDIO改革,汕头工学院首先成立了CDIO工程教育改革委员会,组织全院教师多次集体学习和研讨CDIO培养大纲和标准。对照大纲,找出差距,针对实际,明确目标,我们主要的改革措施如下。

1. 制定CDIO课程计划

我们调查了中国工程领域的实际情况,和许多专业协会反复探讨,参照CDIO大纲,我们制定了EIP-CDIO课程大纲。大纲包括:工程师职业道德;基本理论知识;个人能力和职业技能;人际交流与合作能力;在企业和社会环境中构思、设计、执行和使用各种系统的能力。与过去相比,新大纲突出了工科学生的工程师职业道德意识、基本理论知识、个人综合能力的培养。新大纲以课程群的方式将全部专业核心课程有机结合起来,避免相关课程之间的重复,学生能以多元因素合理联想的方式掌握专业知识;新大纲也将项目实施的主线贯穿课程教学的全过程。

2. 以项目设计为导向

CDIO是一种以工程项目设计为导向、工程能力培养为目标的工程教育模式。工程项目设计是工程实践的精髓所在。功能、技术、经济以及环境、社会乃至历史的要求及其限制都要在项目设计的过程中得到反映,CDIO培养模式就是通过项目设计将整个课程体系有机而系统地结合起来的,所有需要学习和掌握的内容都围绕项目设计这个核心。

我们设计的CDIO项目分为三级:一级项目为包含本专业主要核心课程和能力要求的项目;二级项目为包含一组相关核心课程、能力要求的项目;三级项目是为单门课程而设的项目。整个培养计划是以一级项目为主线、二级项目为支撑、三级项目与核心课程为基础,将核心课程教育与对专业的整体认识统一起来,并结合项目训练对学生

的自我更新知识的能力、人际和团体交流能力以及对大系统的掌握、运行和调控能力进行整体培养。

3. 以教师的教和学生的学为核心

在教学方法上,EIP-CDIO培养计划要求教师更新教学观念,树立“以学生为中心”的新观念,引导学生“主动学习”。工学院致力于改变教师队伍重科研、轻教学,重理论研究、轻工程实践的倾向,同时聘请有海外教育经验和工程实践的教师。教师要预先明确所授课程在本专业知识结构中的地位和作用,以及学生学习本课程应该掌握的基本知识和能力,要特别强调相关知识和能力在实践中的有机联系;应从实际或已有知识中发现和提出问题,引导学生思考,应用所学知识探究规律和致力创新;教学中要安排丰富的设计性和综合性实验,尽量让学生亲自动手和全身心投入;要引导学生主动学习,提供更多的动手实践机会,增强概念学习,强调发现问题、分析问题和解决问题能力的培养,建立和加强学习反馈机制。

按照CDIO教学计划的要求,2006年学校投入巨资,对教学实验室进行全面改善,建立CDIO工作空间;同时建成CDIO创新实践中心,实行团队项目负责制,师生共同管理,培育了一批跨学科、跨年级的综合项目。

在学习效果评估方面增加项目报告、设计评估等形式,鼓励多学科综合、创造性和创业精神培养,让学生通过自评、互评改变对学习和生活的态度并逐步形成相应的工作技能。能力考核对号入座,专业知识用口试或笔试,而CDIO相关能力则以记录、报告、自评、互评等形式进行,考核方式的多样化促进了学习方式的多样化,也有利于建立和完善评价系统。在学习构架上,建立教学计划、教学方法和考核方法之间的互相支持、良性互动的构架。

关于改革的效果,我们对土木工程系的学生做了调查:

表2 课程改革问卷调查结果统计

评价项目 程度	自学能力的 提高	实践能力的 提高	沟通能力的 提高	创新能力的 提高	对土木工程 专业的理解	对课程教学 内容的掌握	对本次教学 改革的评价
很好	20%	15%	20%	10%	15%	10%	15%
比较好	65%	65%	70%	85%	50%	70%	60%
一般	15%	20%	10%	5%	35%	20%	25%
不好	0	0	0	0	0	0	0

CDIO工程教育模式采用现代教学理论,创新教学方法,提供新的学习环境,这些有利于学生掌握个人和人际技能和产品、工艺和系统构建能力,同时使学生掌握了工程科技知识;在前面几种能力发展的过程中,大学生的创新能力得到了发展;CDIO工程教育模式为培养大学生的创新能力提供了一种新的可能。

[参考文献]

- [1] Edward F. Crawley. The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education [EB/OL]. <http://cdio.org/cdio-syllabus-rept/index.html>, 2008-07-1
- [2] Torance, E. P. A Longitudinal Examination of Four Grade Sharp in Creativity [J]. Gifted Child Quarterly, 1968(12): 195-199.

- [3] R. J. Sternberg (Ed.). Handbook of creativity [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 189-212.
- [4] Runco, M. A., Plucker, J. A., & Lim, W.. Development and psychometric integrity of a measure of ideational behavior [J]. Creativity Research Journal, 2000/2001(13): 393-400.
- [5] Feist G. J. A structural mode of scientific eminence [J]. Psychological Science, 1993, 4(2): 366-371.
- [6] Lubat, T. I. & Sternberg, R. J. In S. M. Smith, T. B. Ward & Ronald A. Finke (Eds.). The Creative Cognition Approach [M]. Cambridge: MIT Press, 1995: 271-302.
- [7] S. H. Pee, Helene Leong. Implementing Project Based Learning Using CDIO Concepts, [EB/OL]. <http://cdio.org/papers/papers.html#Implementingproject>, 2008-07-1

(责任编辑:范玉芳)