

重新认识工程教育

——国际CDIO培养模式与方法

Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach

Edward F. Crawley, Johan Malmqvist, Sören Östlund, Doris R. Brodeur

顾佩华 沈民奋 陆小华 译



高等教育出版社
Higher Education Press

重新认识工程教育

——国际CDIO培养模式与方法

Rethinking Engineering Education:
The CDIO Approach

Edward F. Crawley, Johan Malmqvist, Sören Östlund, Doris R. Brodeur

顾佩华 沈民奋 陆小华 译



高等教育出版社
Higher Education Press

图字:01-2008-2679号

Translation from the English language edition:

Rethinking Engineering Education by Edward F. Crawley, Johan Malmqvist,

Sören Östlund and Doris R. Brodeur

Copyright © 2007 Springer Science + Business Media, LLC

All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

重新认识工程教育:国际 CDIO 培养模式与方法/(美)克劳雷(Crawley, E.)等;顾佩华,沈民奋,陆小华译. —北京:高等教育出版社,2009.4

书名原文:Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach

ISBN 978-7-04-026546-0

I. 重… II. ①克…②顾…③沈…④陆… III. 高等教育-工科(教育)-教学研究 IV. G642.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 036460 号

策划编辑	刘占伟	责任编辑	刘占伟	封面设计	刘晓翔
版式设计	王莹	责任校对	杨凤玲	责任印制	陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009年4月第1版
印 张	17.25	印 次	2009年4月第1次印刷
字 数	320 000	定 价	42.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26546-00

译者序

在 20 世纪 50 年代初,中国的工程教育借鉴了苏联的办学经验,建成了适于计划经济的工科人才培养体系,为国民经济建设高效地培养了大批人才。自改革开放以来,特别是计划经济向市场经济转变的过程中,传统的教育模式显得有些不适应。随之而来,教育行政主管部门、大学和教师都开展了一系列工程教育改革,旨在培养出符合社会和工业需要的工程技术人才。

北美的工程教育在同一时期也出现了一系列的变化,即由以工程教育实践为主导,到工程实践与工程科学较好地平衡,再到以工程科学为主导。自 20 世纪 80 年代以来,科学与技术高速发展,经济和社会需求也不断变化,国家行政部门、行业协会和学校都意识到工程教育必须进行改革,以适应社会的发展,从而出现了一系列的工程教育改革举措和项目。

CDIO (conceive—构思, design—设计, implement—实施, operate—运行)是由 MIT 和瑞典几所大学在 Wallenburg 基金会的资助下,经过几年的研究、探索和实践,于 2004 年创立的。这个教育模式是以产品、过程和系统的构思、设计、实施、运行全生命周期为背景的教育理念为载体,以 CDIO 教学大纲和标准为基础,让学生以主动的、实践的、课程之间具有有机联系的方式学习和获取工程能力,包括个人的科学和技术知识、终身学习能力、交流和团队工作能力,以及在社会及企业环境下建造产品和系统的能力。此模式符合工程人才的培养规律。

本书对 CDIO 教育模式的形成过程和实践的关键内容进行了详细的描述,主要内容包括 CDIO 的改革背景、大纲、标准、课程体系设计,学生能力培养,实践场所建立和实践条件要求,教与学的方法,学生学习能力的考核,教育改革对组织和文化的改变的要求和建议,以及如何对改革的结果进行评估等,是 MIT 等几所欧美大学实施 CDIO 教育改革的总结。本书对于在中国实施 CDIO 教育模式再创新和创造 21 世纪先进工程教育模式具有很好的参考价值。

本人于 2005 年 10 月回中国工作,在汕头大学工学院的五个专业实施 CDIO 工程教育改革已有三年多。虽然本书英文版 2007 年才正式出版,但书中的一些主要内容如大纲、标准等是从 CDIO 的文献及培训材料中获取的,这些内容在我们实施 CDIO 教育模式再创新的实践中起到了很好的参考作用。由于水平所限,译文中错误之处在所难免,请读者批评指正。

另外,要特别感谢教育部高等教育司和理工处的领导对开展和推动基于 CDIO 教育模式的改革与实践的支持,感谢广东省教育厅和高教处的领导和李嘉诚基金会的

支持;同时感谢 CDIO 国际工程教育协作组织的领导和本书作者,特别是 CDIO 发起人,MIT 的 Edward Crawley 教授,对我们在中国实施 CDIO 教育改革给予了热忱的支持与帮助。

顾佩华

2009 年 1 月 14 日于汕头大学

前 言

——培养 2020 年和未来的工程师

我的职业生涯的大部分时间是在 20 世纪——一个物理学、电子学、高速通信和交通的世纪中度过的。现在,我们这一代特别是我们的学生已非常幸运地跨入了 21 世纪——可以期待这将是一个生物学和信息学的世纪。

这一世纪交替的过渡时刻,正是一个合适的时机来重新思考工程教育。回顾自己 35 年多的工程教育经历,我意识到很多事情都有了引人注目的变化,但也有些东西似乎根本就没有发生变化。那些在过去 35 年来一直伴随着我们的挑战,包括使大学第一学年的学习更有意思,告诉人们工程师实际在做些什么,将人类富含的多样性带入工程师队伍。学生必须学会如何将物理、生命和信息科学融入纳米、细观、微观以及宏观的尺度,遵守职业道德和承担社会责任,具有创造性和创新性,以及具有良好的写作和沟通能力。应使学生准备好以全球化公民的角色进行生活和工作,理解工程师如何对社会做出贡献。他们必须对商业过程有一个基本的了解,擅长产品的开发和高质量制造,知道如何构思、设计、实施、运行具有一定复杂性的工程系统。他们必须在可持续发展的框架内进行上述工作,并为以全球化公民的身份生活和工作做好准备。这是一个很高的要求……,甚至有可能是一个不能实现的要求。

真的是这样吗?我在 MIT 的楼道里和在其他大学遇到的那些学生,都可以做这些和更多的事情。因此,必须将我们的视野提高,但是怎样才能实现这样的教育和学习?什么应该保持原状?什么应该改变?

当我们思考面临的挑战时,重要的是要记住有些事情是不变的。比如,学生是由激情、好奇心、参与和梦想而驱动的。尽管我们不可能准确地知道应该教给他们什么,但我们能够把注意力集中在他们学习的环境和背景,他们的动力、想法、灵感,为他们提供充分展示自己的空间。

另一个不变的是要求学生打下一个坚实的科学、工程原理和分析能力的基础。按照我的观点,深刻理解基本原理仍然是我们为学生提供的最重要的东西,我们现在对工程基本原理的认识绝大部分源自通常所说的“工程科学革命”。这一革命的种子很大程度上是由 MIT 的员工所播下的,这些员工在第二次世界大战期间通过开发雷达系统获得的经验创造出与众不同的工程教学和实践的方法。这一时代的巨大遗产,加之来自许多主要学校的贡献,构成了工程教育的新世界,这个新的工程教育更多的是建立在坚实的科学基础上,而不是传统的宏观现象学、图表、手册和编码。新的工程科学需要崭新的教科书和实验室来衬托。但是,对工程教育这一新视角的创

造者来说,并无意要取代那些工程中令人兴奋的东西,那些给学生设计和构建的机会,或者是团队合作及职业道德的需要,而意在丰富学生的阅历。沿这个路子走下去,有些东西会丢失,我们需要重新思考工程教育,并找到一种新的平衡。

也许我太恪守旧式,我仍然坚信,巧妙的构想、精彩的课程教学依旧是极好的教学和学习经验,仍然有一定的位置。但我依然承认大量存在的事实正如我超乎寻常的朋友,1929年诺贝尔物理奖获得者默里·盖尔曼(Murray Gell-Mann)常喜欢讲的,"我们需要从讲台上的圣贤向在学生旁边指导的方向转变"。工作坊教学、团队项目、开放式(无预设答案)问题的解决、基于经验的学习、参与研究,都应该是完整工程教育的组成部分。

CDIO工程教育方法的哲学就是抓住了这些现代工程教育所需要的精要特点——为工程师的工作感到振奋、深入学习基础理论、技能以及工程师贡献社会所需的知识。教学方法就应该抓住学生的学习热情和兴趣。

我鼓励您阅读这种一体化方法,考虑这种方法如何能对贵校的工程教育实践有所影响。

麻省理工学院终身荣誉校长

Charles M. Vest 教授

目 录

第一章 导论	1
1.1 基本原理	1
1.2 背景	1
1.3 CDIO 工程教育改革	2
1.4 教学大纲与标准	3
1.5 实施与发展过程	3
1.6 关于此书	4
第二章 综述	5
2.1 引言	5
2.2 本章目标	6
2.3 改革的动力	6
2.3.1 现代工程师的任务	6
2.3.2 构思—设计—实施—运行	7
2.3.3 工程教育改革的必要性	8
2.3.4 工程教育改革的要求	10
2.4 CDIO 工程教育改革	17
2.4.1 目标集	17
2.4.2 愿景	19
2.4.3 教育方法的基础	27
2.4.4 满足教育改革的要求	28
2.5 愿景的实现	28
2.5.1 CDIO 教学大纲	30
2.5.2 CDIO 标准	30
2.5.3 组织与文化的改变	32
2.5.4 提高教师的能力	34
2.5.5 开源下的 CDIO 方法和资源	34

2.5.6	并行发展的合作价值	35
2.5.7	与国家标准和其他改革项目的一致性	35
2.5.8	吸引和留住具有工程资质的学生	35
2.5.9	满足改革要求	38
2.6	小结	38
	讨论题	39
	参考文献	39
第三章	CDIO 教学大纲——工程教育的学习效果	41
3.1	引言	41
3.2	本章目标	42
3.3	工程知识和能力	42
3.3.1	工程所需的知识和能力	42
3.3.2	合理和详细的教学大纲的重要性	43
3.4	CDIO 教学大纲	44
3.4.1	CDIO 教学大纲的开发和整合	45
3.4.2	CDIO 教学大纲的内容和结构	46
3.4.3	CDIO 教学大纲的验证	50
3.4.4	现代工程主旋律——创新和可持续性	55
3.4.5	CDIO 教学大纲的通用性	57
3.5	学习效果和学生应具备的程度	57
3.5.1	四所 CDIO 发起大学的学习效果研究	58
3.5.2	对掌握的熟练程度的调查	59
3.5.3	麻省理工学院的调查结果	60
3.5.4	三所瑞典大学的调查结果	61
3.5.5	四所大学调查结果的比较	62
3.5.6	贝尔法斯特女王大学的学习效果研究	63
3.5.7	将应掌握的程度转化为学习效果	66
3.6	小结	68
	讨论题	68
	参考文献	69
第四章	一体化课程计划的设计	71
4.1	引言	71
4.2	本章目标	72

4.3 一体化课程计划的依据	73
4.3.1 实际的需要	73
4.3.2 教育方法的理由	73
4.3.3 课程计划设计的特性	74
4.3.4 教师印象中的基本能力	74
4.4 课程计划设计基础	75
4.4.1 课程计划设计过程模型	76
4.4.2 课程计划内容和学习效果	77
4.4.3 已有条件	77
4.4.4 现有课程计划标准化分析	79
4.5 一体化课程计划设计	80
4.5.1 课程计划的结构	80
4.5.2 课程计划内容和学习效果的顺序	85
4.5.3 课程计划与学习效果的对应	87
4.6 工程导论	89
4.7 小结	92
讨论题	93
参考文献	93
第五章 设计—实现经验和工程实践场所与条件	95
5.1 引言	95
5.2 本章目标	96
5.3 设计—实现的经验	96
5.3.1 设计—实现经验的意义	96
5.3.2 设计—实现经验的角色和价值	97
5.3.3 基本设计—实现的经验	98
5.3.4 高级设计—实现的经验	99
5.3.5 设计—实现经验的特性	99
5.3.6 贯穿于课程计划的设计—实现经验	100
5.3.7 设计—实现经验的挑战	107
5.3.8 利益相关者的反映和总结	108
5.4 工程实践场所	108
5.4.1 工程实践场所的角色和益处	109
5.4.2 实践场所的设计	109
5.4.3 CDIO 实践场所的实例	111

5.4.4	CDIO 实践场所中的教与学模式	113
5.4.5	工程实践场所对管理和使用的挑战	116
5.5	小结	117
	讨论题	118
	参考文献	119
第六章	教与学	121
6.1	引言	121
6.2	本章目标	122
6.3	学生对教与学的认识	122
6.4	一体化学习	124
6.4.1	一体化学习的益处	125
6.4.2	多课程经验的一体化学习	125
6.5	提高一体化学习的方法和资源	126
6.5.1	预期学习效果的具体要求	127
6.5.2	预期学习效果的分类	127
6.5.3	预期学习效果的实例	128
6.5.4	预期学习效果的建设性调整	129
6.5.5	教师对一体化学习的支持	129
6.6	主动学习和经验学习	130
6.6.1	主动学习的方法	131
6.6.2	经验学习方法	133
6.6.3	采用多种主动学习和经验学习的方法	135
6.6.4	使工程教育对学生更具吸引力	136
6.7	收益与挑战	138
6.8	小结	138
	讨论题	139
	参考文献	139
第七章	学生学习的评估	141
7.1	引言	141
7.2	本章目标	142
7.3	学习评估的过程	142
7.4	使评估方法和学习效果相一致	144
7.5	学生学习效果的评估方法	146

7.5.1 笔试和口试	146
7.5.2 表现评分	147
7.5.3 产品审查	148
7.5.4 学习日记和卷案	149
7.5.5 其他自我测评的方法	149
7.6 评估结果对教与学的改进	151
7.7 主要收益和挑战	152
7.8 小结	153
讨论题	153
参考文献	153
第八章 适应并实施 CDIO 教学模式	155
8.1 引言	155
8.2 本章目标	155
8.3 以 CDIO 专业计划建设作为文化与组织改革的案例	156
8.3.1 促进文化改革成功的关键因素	157
8.3.2 第一阶段改革——有一个正确的开端	158
8.3.3 第二阶段的改革——建立改革的核心工作的动力	163
8.3.4 第三阶段的改革——制度性的改革	165
8.3.5 大学的改革作为组织改革的案例	166
8.4 教师的提高和对教师的支持	170
8.4.1 提高教师的能力水平	170
8.4.2 提高教师的教学和评估能力	172
8.5 用于支持专业计划改革的资源	175
8.5.1 用工程设计的模式开发 CDIO 方法	175
8.5.2 开源方法和资源	178
8.5.3 并行发展合作的价值	180
8.6 小结	181
讨论题	181
参考文献	181
第九章 专业评估	183
9.1 引言	183
9.2 本章目标	184
9.3 基于标准的专业评估	184

9.4	CDIO 标准和相关的主要问题	186
9.4.1	CDIO 标准的原理与组成	186
9.4.2	与标准相一致的主要问题	187
9.5	专业评估的方法	190
9.5.1	审阅文件	190
9.5.2	与个人和专题小组面谈	190
9.5.3	问卷调查	190
9.5.4	教师工作体会备忘录	191
9.5.5	校外专家的专业审查	191
9.5.6	不同学习时期的分析	192
9.6	按 CDIO 标准评价一个专业	192
9.7	专业的持续改进过程	196
9.8	CDIO 专业计划的总体影响	198
9.8.1	输入、过程和短期效果的初步成果	198
9.8.2	长期效果和整体影响的研究	199
9.9	小结	200
	讨论题	201
	参考文献	201
第十章	工程教育的历史回顾	203
10.1	引言	203
10.2	本章目标	205
10.3	工程教育的起源	205
10.3.1	法国的工程教育	205
10.3.2	北欧的工程教育	206
10.3.3	英国的工程教育	206
10.3.4	美国的工程教育	207
10.4	工程和工业发展	208
10.5	科学作为工程的基础	209
10.5.1	美国的发展	209
10.5.2	欧洲的发展	210
10.5.3	战后的发展	210
10.6	实践能力和经验的减少	211
10.6.1	技术学校的转化	211
10.6.2	工业界的反应	212

10.6.3 回归实践	212
10.7 学科大量增加和学科边界模糊化	213
10.7.1 学科大量增加的解决办法	213
10.7.2 技术与自然边界的模糊化	213
10.7.3 新技术的影响	214
10.8 当代的挑战	215
10.8.1 新的工程职业形象	216
10.8.2 培养工程师新的教育模式	216
10.8.3 用 CDIO 方法应对当代教育的挑战	218
10.9 小结	218
讨论题	219
参考文献	219
第十一章 展望	223
11.1 引言	223
11.2 本章目标	223
11.3 改革工程教育的动力	223
11.3.1 科学突破与技术发展	224
11.3.2 国际化、学生的流动性和适应能力	224
11.3.3 工科新生的能力和态度	227
11.3.4 性别考虑和拓宽生源的问题	228
11.3.5 政府和多边协议项目	228
11.4 CDIO 方法的未来发展	229
11.4.1 应用到其他工程学科	229
11.4.2 在研究生培养中实施	232
11.4.3 工程教育以外的应用	233
11.5 小结	234
讨论题	234
参考文献	235
附录 A CDIO 教学大纲	237
附录 B CDIO 标准	249

第一章 导论

1.1 基本原理

工程教育的目的是为学生成为一名成功的工程师提供所需要的学习——专门技术、社会意识和创新精神。在基于日益复杂的技术和可持续产品、过程和系统的环境中,这种知识、能力和态度的结合是加强高效、创业和卓越所必需的,我们急需提高本科工程教育的质量和内涵。

在过去的 20 年中,学术界、工业界和政府部门的领导提升了对理想工程师特质的认识,开始强调改革的必要性。通过这一努力,人们认识到这样一种隐含的关键需求——要培养学生能够在现代团队的环境下,构思—设计—实施—运行具有复杂和高附加值的工程产品、过程和系统。这是要强调产品、过程或系统的全生命周期,由此产生这种工程教育新方法称之为 CDIO(构思、设计、实施、运行)。

下面的篇幅将表明:产品、过程和系统的构思—设计—实施—运行是如何适应工程教育背景环境的。CDIO 教学模式在考虑利益相关者意见的基础上,明确专业计划中学生的学习需求,并构建了一系列满足这些需求的一体化学习经验。我们具体归纳为一个综合性和具有广泛适用性的方法,即在稳健评估和改变过程的支持下,改进课程计划、教与学和实践场所与条件。采用上述方法,其目的就是要明显提升本科工程教育的质量和内涵。

1.2 背景

在 20 世纪 80 年代和 90 年代,在工业界和政府部门工作的工程师,就已经和学校的教学领导一起讨论如何改善工程教育的状况。在这一过程中,他们考虑了近年来工科毕业生的水平,并确定了一系列理想工程师的特征。其共识是对当前工程教育偏重于包括数学、科学和技术专业方面的理论教学,而对强调技能如设计、团队合作和沟通等方面的实践基础没有加以足够的重视提出了批评。

这些批评表明了现代工程教育中的两个关键目标之间出现了紧张关系:既要

学生培养成为某一技术领域的专家——提高熟练掌握职业所需的专业知识水平；同时又要把学生培养成为“通识家”，即要求掌握某一领域的个人、人际交往能力以及产品、过程和系统的建造能力。

世界许多地方的工程专业都出现了这种紧张关系，这是 20 世纪下半叶工程教育发展的产物。经过那段时间的发展，工科专业从基于实践教育的课程模式转变为基于工程科学的模式，这一改变的目的是要培养学生具有严格的科学功底，使他们能够迎接将来未知的技术挑战。这种改变出人意料，其结果是工程教育的文化发生了偏移，使得在当时工程教育领域一直得到认同的对关键技能和态度的认知价值降低，由此出现了理论和实践之间的紧张关系。

现在我们面临的挑战是，通过引入变革消除这种紧张关系，以满足我们的外部利益相关者的需要。对课程计划和教育方法进行改革，实质上是要转变教育的文化。

1.3 CDIO 工程教育改革

CDIO 工程教育改革通过培养学生成为全面的工程师去应对这一挑战，使学生知道如何在现代团队环境下构思—设计—实施—运行复杂、高附加值的工程产品、过程和系统。这一工程教育改革模式包括以下三个总目标：

- 掌握深厚的技术基础知识。
- 领导开发和运行新产品、过程和系统。
- 了解科研与技术开发对于社会的重要性和战略影响。

这种教育强调基础，而且是建立在构思、设计、实施和运行产品、过程及系统的背景环境下的。我们尽量使课程计划能有效教育学生，并能够提升学生的兴趣，吸引学生到工程领域，使他们在课程学习和职业中能有所作为。

这种构思、设计、实施和运行的背景环境是合适的，因为这种环境就是工程师所扮演的职业角色，而且是培养预备职业工程师的能力和态度的自然场所。在这样的背景环境下，我们开发了一体化方法，用于确定学生学习的需要和建立学习经验的程序，以满足这些需要。

CDIO 教学模式的主要特色在于它创造了能够深化学习技术基础和实际能力的二元学习经验。我们采用现代教学学方法、创新教学方法和新的学习环境为学生提供真实世界的学习经验，这些具体的学习经验创建了一个与技术基础相关的学习抽象概念的认知框架，并为学生提供了有助于理解和记忆这些抽象思维的实际应用机会，由此提供掌握深厚基础知识的途径。这些具体的经验还激发了学生在个人和人际交往能力以及产品、过程和系统的建造能力的方面的学习。

1.4 教学大纲与标准

我们应用一个严谨的工程过程来设计 CDIO 教学模式,以保证实现其目标。我们建立了一体化方法以确定学生的专业学习需要和建立一系列学习经验,以满足这些需要,这两方面都包含在 CDIO 教学大纲和 CDIO 标准的最佳实践的框架中。

CDIO 教学大纲中列出了具体的学习目标,该教学大纲是一个合理的、相互关联和一致的对工程师能力方面的要求。教学大纲是通过需求评估,在有关文件中提炼出来的,并经过了同行的审查。在参考利益相关者意见的基础上,确定了对毕业生专业精通程度的要求,这些学习目标构成了课程设计和评估的基础。

CDIO 教学模式建立了一个课程计划,这一课程计划是由相互支持的技术领域和个人、人际交往能力以及产品、过程和系统的建造能力等高度交叉的能力所组成,这些课程计划能使学生在现代工程实践场所中获得丰富的设计—实现经验。其特点为主动式和经验式学习,并通过稳健的质量评估过程不断予以改进。这些特点正是体现在 CDIO 的 12 条标准中,这些标准定义了 CDIO 课程教育的独特特征,作为教育课程改革和评价的指导,并创立了比较可在全世界范围内应用的基准和目标,提供了可持续改进的框架。

1.5 实施与发展过程

开发和实施 CDIO 教学模式始于四所大学,包括瑞典哥德堡的查尔摩斯工业大学和斯德哥尔摩的皇家理工学院,林雪平大学和美国马萨诸塞州剑桥的麻省理工学院,初期时合作教学的数量已扩展到包括世界各地 20 多所大学。

这种教学模式并非一蹴而就,而是通过在我们的合作学校 and 世界许多其他寻求改进工程教育的学校中的研究和极好的实践基础上建立的,很多人都对此做出了重要的贡献。CDIO 教育改革寻求的是建立和系统化这种国际工作实体,开发出一套能够指导和加速工程教育改革、并可广泛分享使用的方法和开源资源。我们很清楚,大多数教学规划并没有充足的资金和人力资源,采用可分享的开源资源并通过相互协调的努力,有助于迅速转变到一种稳定状态,从而很大程度上重新分配现有的人力、时间和工作场所资源。

CDIO 教学模式并没有规定什么,但必须应用于每一课程计划,包括考虑其目标、大学、国家与学科内容的背景环境。这与许多其他的教育改革运动互相协调,但与国家目标式的认证和评估标准不同。我们提供了一系列相应于工程教育综合改革的潜在解决方案。世界上许多课程教学都在开展这一方面的工作,并做出了重要的贡献,其中很多工作是独立进行的,并与 CDIO 的 12 条标准相一致。我们已经认识到这些