

CDIO方法：高等工程教育改革与新发展

徐梦溪，吴晓彬

南京工程学院计算机工程学院，江苏 南京

收稿日期：2022年2月7日；录用日期：2022年3月2日；发布日期：2022年3月9日

摘要

CDIO高等工程教育方法为学生提供一个强调工程基础的教育背景下，构思-设计-实现-运作 (Conceive-Design-Implement-Operate, CDIO)现实世界的系统和产品。2000年美国麻省理工学院和瑞典皇家理工学院等几所高校创立的CDIO理念，是培养下一代工程师的创新教育框架，已发展成为全球领先的工程教育改革与实践方法之一。本文介绍CDIO方法的基本原理和实施路径，介绍和分析CDIO二个核心文件“大纲”和“标准”新版本的基本内容，综述CDIO国际合作组织召开的2005~2022历年度国际会议和近年来CDIO改革创新情况，综述CDIO在国内的发展，以及我国高等工程教育改革与实践的CDIO进一步发展方向。

关键词

CDIO, CDIO大纲和标准, 工程教育, 教学改革

CDIO Approach: Reform and New Development of Higher Engineering Education

Mengxi Xu, Xiaobin Wu

School of Computer Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Feb. 7th, 2022; accepted: Mar. 2nd, 2022; published: Mar. 9th, 2022

Abstract

CDIO higher engineering education method provides students with system and products in the real world by conceive-design-implement-operate (CDIO) in an education background of basic engineering. In 2000, several universities, including MIT and KTH, established the CDIO concept, which

is an innovative educational framework for training the next generation of engineers and has developed into one of the world's leading engineering education reform and practice methods. This paper introduces the basic principle and implementation path of CDIO method, introduces and analyzes the basic content of the two core CDIO documents "Syllabus" and "Standard" of the new version. Meanwhile, this paper summarizes the international conference held by CDIO international cooperation organization from 2005 to 2022 and the CDIO reform and innovation in recent years, summarizes the development of CDIO in China, and the further development direction of CDIO in China's higher engineering education reform and practice.

Keywords

CDIO, CDIO Syllabus and Standards, Engineering Education, Teaching Reform

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. CDIO 高等工程教育方法及其发展

高等工程教育改革与实践的 CDIO 发展, 始于 1998 年美国麻省理工学院(MIT)制定的 CDIO 教学大纲。CDIO 教学大纲是针对工程教育体系普遍存在着重“工程科学”而轻“工程实践”、以及先理论后实践、工程师教育与工程实践脱节的现状而提出的, 充分考虑了教育目标与企业需求全面的系统验证, 以及用人单位对毕业生的评价被作为参考的关键, 以培养学生符合大纲中所规定的专业实践所需的素质, 包括培养学生掌握和具备较深的技术基础工作知识, 领导新产品、新工艺和新系统的创建和运行, 理解研究和技术发展对社会的重要性和战略影响等三个方面的能力。MIT 的早期工作引起了瑞典皇家理工学院、查尔默斯大学和 Linköping 大学的共鸣, 2000 年四所大学在 Knut and Alice Wallenberg 基金会资助下合作开发为期四年的 CDIO 项目, 并倡议发起了以 CDIO 命名的国际合作组织。从 2002 年前后开始, CDIO 组织由最初的美 MIT、瑞典皇家理工学院等几个创始成员机构发展到开始接纳新的合作成员。到目前为止, 在世界各地(分布在五大洲 30 多个国家) CDIO 合作成员已达 150 多所院校[1]。CDIO 组织还管控 CDIO 的定义文件、CDIO 大纲和 CDIO 标准等。从 2005 年开始, CDIO 组织倡议召开了每年度的 CDIO 国际会议(International CDIO Conference), 历届的 CDIO 会议如表 1 所列[1] [2]。其中, 2022 年 6 月将举办的 CDIO 会议主题是, 枝繁叶茂——为未来做准备(Surviving and Thriving—Preparing for the Future), 2021 年 CDIO 会议主题是, 新常态下工程教育的重新构想(Re-imagining Engineering Education for the New Normal), 2019 年会议的主题是, 变革(Change), 2018 年会议的主题是, 工程教育的创新(Innovations in Engineering Education)。每年度的 CDIO 会议发表了大量的会议论文, 这些论文集中, 相比纯学术方面的研究, 更多的是展示和分享工程教育的项目开发和教改实践与创新的文章。

联合国教科文组织 2015 年发布的《反思教育: 向“全球共同利益”的理念转变?》(Rethinking Education: Towards a Global Common Good)报告中强调[3], 世界正在变化, 教育也必须改变。世界各地的社会都在经历着深刻的变革, 这就需要新的教育形式, 以培养当今与未来社会和经济所需要的能力。2018 年 MIT 在发布的《全球一流工程教育发展的现状》(The Global State of the Art in Engineering Education)报告中指出[4], 工程教育进入了快速和根本性变革时期。当今世界新经济社会需求和新一轮科技革命与产业变革大背景下, 围绕持续解决诸如重理论轻实践、重视单项技术的深入而轻多学科交叉和系统思维,

强调个人学术能力而忽视团队协作精神、重视技术基础而轻管理和经济等问题, 培养支撑和引领新工业时代、新经济和新兴产业发展的工程科技人才, 是 CDIO 高等工程教育改革和实践探索的进一步发展方向。纵观近年来召开的 CDIO 国际会议, 其“生存和繁荣——为未来做准备”、“变革”、“工程教育的创新”等会议主题[2], 从另一侧面反映了 CDIO 国际合作组织和成员探索实施工程教育变革与创新的行动。

Table 1. The international CDIO conferences

表 1. 历届 CDIO 国际会议

会议时间、届数	承办方、会议地点
2022 (18th)	Reykjavik University, Reykjavik, Iceland (将在 2022 年 6 月召开)
2021 (17th)	Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
2020 (16th)	Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden (online)
2019 (15th)	Aarhus University, Aarhus, Denmark
2018 (14th)	Kanazawa Institute of Technology (KIT), Kanazawa, Japan
2017 (13th)	University of Calgary, Calgary, Canada
2016 (12th)	Turku University of Applied Sciences, Turku, Finland
2015 (11th)	Chengdu University of Information Technology, Chengdu, China
2014 (10th)	Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain
2013 (9th)	MIT-Harvard, Cambridge, USA
2012 (8th)	Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
2011 (7th)	Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark
2010 (6th)	École Polytechnique de Montreal. Montreal, Quebec, Canada
2009 (5th)	Singapore Polytechnic, Singapore
2008 (4th)	Hogeschool Gent, Gent, Belgium
2007 (3rd)	Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA
2006 (2nd)	Linköping University, Linköping, Sweden
2005 (1st)	Queens University. Kingston, Ontario, Canada

CDIO 代表构思(conceive)、设计(design)、实现(implement)、运作(operate), 以产品研发到产品的运行、维护和淘汰废弃的全生命周期为载体, 通过建立一体化的、相互支撑的以及有联系的专业培养标准和课程体系, 改变以往由孤立的学科课程组成、与项目目标/专业实践和学生动机过于松散地结合在一起的“烟囱式(stovepipe)”课程设计, 让学生以主动的、实践的方式学习工程, 也可以理解为“做中学和学中做”和“基于项目教育和学习”的集中概括。CDIO 愿景为学生提供一种强调工程基础的、建立在真实

世界的产品和系统的构思 - 设计 - 实现 - 运作(CDIO)过程的背景环境基础上的工程教育。其目标是将预期的学习结果与专业实践相结合,并将重点放在更合适的教与学过程上,这与全球经济社会的时代精神是一致的。CDIO 目标是通过工程教育培养,使学生能够更深入地更全面地掌握工程科技技术基础知识,把控新产品和新系统的全生命周期过程,理解管理和技术对产业发展和社会进步的重要性的深远影响。CDIO 实施思路:从工程师必须具备的基本能力出发,为学生提供一种强调工程基础,建立在真实世界的 CDIO 模式过程,以产品研发到产品的运行、维护和废弃的全生命周期为背景环境,即基于工程全周期人才培养模式,以教学大纲为培养标准,建立一体化的相互支撑和有机联系的课程体系,让学生以主动的方式学习和实践工程[1] [5]。CDIO 体现了系统性、科学性和先进性的统一,代表了当代工程教育的发展趋势。

CDIO 包括了“大纲”和“标准”二个核心文件。CDIO 大纲以分级、分条款逐级细化的方式,表述了现代工程师必须具备的工程基础知识、个人能力、人际团队能力和整个 CDIO 全过程能力,使工程教育改革具有更加明确的方向性、系统性。大纲分为四个层面:1) 技术知识和推理能力;2) 个人能力、职业能力和道德;3) 人际交往能力:团队工作和交流;4) 企业和社会环境下的构思,设计,实施和运行(CDIO)系统方面的能力。CDIO 大纲为课程体系和课程内容设计提供了具体要求。CDIO 大纲 V2.0 版示意于图 1。

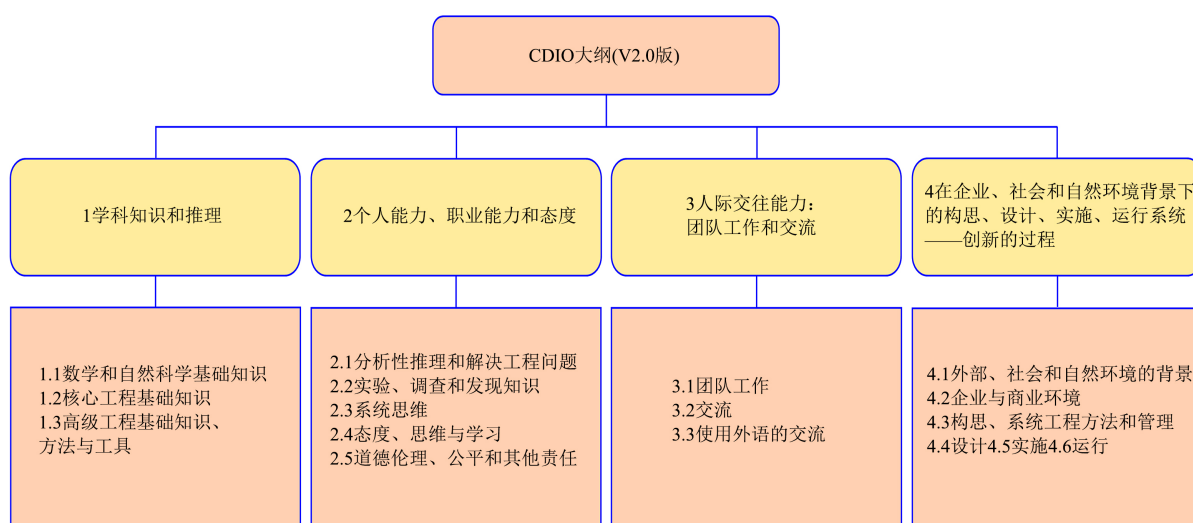


Figure 1. Diagram of the CDIO syllabus V2.0

图 1. CDIO 大纲 V2.0 版的图示

最初的 CDIO 大纲 V1.0 版,有关可持续性的表述没有明确地出现在大纲的更高层次中。V2.0 版在大纲的顶层加强了主题,并对可持续性做了更清晰表述,例如,增加了一个新的章节:4.1.7 可持续性和可持续发展的需要(4.1.7 Sustainability and the Need for Sustainable Development),并在第 4 节和第 4.1 节的标题中包含了“环境”一词[1] [6]。美国 MIT 的 Edward F. Crawley 等研究讨论了 V2.0 版涵盖有关工程领导力和创业精神主题的程度。尽管工程领导力和创业精神与 CDIO 大纲中已经包含的技能并不正交,毕竟,CDIO 的目标是培养有能力的学生。但在现代社会,越来越多的人希望工程师能担任领导职位,而且他们还经常承担企业家的额外角色,这在 CDIO 大纲 V2.0 中对此做了必要的扩展。图 2 示意了 CDIO 大纲中的知识、技能和态度之间的重叠关系,以及工程领导能力和创业精神。为试图响应利益相关者在工程领导和创业领域表达的需求,V2.0 版大纲针对领导力和创业精神作了相应的拓展:4.7 领导工程探索/创新;4.8 工程创业(企业家精神)。

CDIO 大纲给出了期望的学习成果, 即解决了毕业生应该能够做什么的问题。自然, 随之而来的问题是如何才能更好地确保学生学习这些技能的问题, 即需要制定相应的标准。制定 CDIO 标准的主要目的:

- 1) 明确描述 CDIO 项目的关键特征, 对整个 CDIO 的实施和检验进行系统的、全面的指引。
- 2) 通过使用基于能力成熟度的自我评估过程来支持 CDIO 项目的持续改进, 使工程教育改革具体化、可操作、可测量, 并对学生和教师都具有重要指导意义。

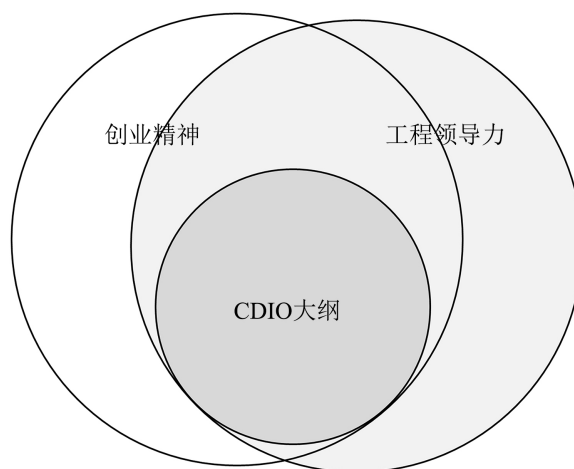


Figure 2. Overlapping relationships between knowledge, skills and attitudes in the CDIO syllabus and engineering leadership and entrepreneurship

图 2. CDIO 大纲中的知识、技能和态度之间的重叠关系以及工程领导能力和创业精神

标准对 CDIO 有关工程教育的 12 个特征提出了定义。CDIO 标准最初于 2005 年提出[1] [7], 后更新到 V2.0 版[1] [6]。CDIO 大纲 V2.0 版本的推出, 相应地影响了 CDIO 标准 V2.0 和 V2.1 版本的发展, 尽管这些更新相对于 CDIO 标准的初始版本很小。近年来, 在世界新经济社会需求和新一轮科技革命与产业变革情势下, 出现了新的教育变革的驱动因素, 包括认识到工程教育在创建可持续发展的社会和丰富的数字学习工具方面发挥着关键作用。此外, 许多实施 CDIO 的学校已经开发了超出 CDIO 标准最初范围的方法。考虑到这些发展, 有必要审查和更新 CDIO 标准。我们知道, 对于工程产品和系统来说, 涉及的首要目标会包含高质量、低成本、高效等, 但在 V1.0 版和 V2.0/V2.1 版中, 除了“增值(value-added)”这个词的使用外, 并没有嵌入到 CDIO 标准中, 使得单独阅读 CDIO 标准 V2.0/V2.1 版的读者可能难以完全理解教学大纲 - 标准的耦合。为此, 2019 年 Johan Malmqvist 等在 V3.0 版本的修订中还专门提出了可持续性和可持续发展这一术语[8]。另外的观点认为, 在 CDIO 大纲中已经涵盖了可持续性和可持续发展这个主题, 尽管 CDIO 标准中没有明确提到这个主题, 合适的方法是先修改大纲, 然后再修改标准来适应这个主题。2017 年引入了可选标准的概念, 以及此类标准的六种候选标准[9], 因此也有建议将可持续发展的内容保留在可选标准中。

新版 CDIO 的 12 条标准(V3.0 版)见表 2 所示[1] [10]。12 条标准中, 有 7 条(用星号标出)被认为是必不可少的。CDIO 标准涉及项目理念(标准 1)、课程开发(标准 2、3 和 4)、设计实施经验和工作场所(标准 5 和 6)、教学和学习方法(标准 7 和 8)、教师发展(标准 9 和 10)以及评估和考核(标准 11 和 12)。这些标准旨在回应课程计划的制定者、校友和工业界想要知道如何认证 CDIO 专业和由 CDIO 专业培养的毕业生。

Table 2. Twelve standards of CDIO (V3.0)**表 2.** CDIO 的 12 条标准(V3.0 版)

标准	内容
标准 1—采用 CDIO 理念*	采用可持续的产品、过程、系统和服务生命周期开发和部署的原则, 构思、设计、实施和运行操作是工程教育的背景。
标准 2—学习效果*	个人和人际交往技能的具体、详细的学习效果, 产品、过程、系统和服务构建技能, 以及学科知识, 与项目目标一致, 并由项目涉众验证。
标准 3—一体化教学计划*	课程设计与相互支持的学科课程, 有明确的计划整合个人和人际技能, 以及产品、过程、系统和服务建设技能。
标准 4—工程概论	本课程为产品、过程、系统和服务建设的工程实践提供框架, 并介绍基本的个人和人际交往技能, 以及工程背景下可持续发展的基本原理。
标准 5—设计 - 实施经验*	课程包括两种或两种以上的设计实施经验的课程, 其中一种是基本水平的, 另一种是高级水平的。
标准 6—工程学习场所	物理学习环境, 包括工程工作空间和实验室, 支持和鼓励对产品、过程、系统和服务建设、学科知识和社会学习的实践学习, 与数字化学习环境相结合, 包括支持和提高教学和学生学习质量的在线工具和空间。
标准 7—综合性学习经验*	综合性学习经验, 帮助学生取得学科知识, 以及个人能力和人际技能, 以及产品、流程、系统和服务建设技能。
标准 8—主动学习	基于主动学习和经验学习方法的教与学。
标准 9—提升教师 CDIO 能力*	在个人和人际交往技能、产品、过程、系统和服务建设技能以及学科基础方面提高教师能力的行动。
标准 10—提升教师教学能力	在提供综合学习体验、使用积极的体验式学习方法以及评估学生学习情况等方面增强教师能力的行动。
标准 11—CDIO 能力考核*	考核和评估学生在个人和人际交往技能、产品、过程、系统和服务建设技能, 以及学科知识方面的学习。
标准 12—CDIO 专业评估	一个根据这 12 条标准和任何可选标准评估课程的系统, 并向学生、教师和其他利益相关者提供反馈, 以实现持续改进的目的。

2. CDIO 在我国的发展

我国高等工程教育实践中存在着诸如先理论后实践的串行教学模式、强调个人学术能力而忽视团队协作精神、重视知识学习而轻视开拓创新的培养等问题, 工程教育的迫切任务是尽快培养与国际接轨的中国工程师。在当时这一背景下, 2005 年 CDIO 高等工程教育改革率先由汕头大学发起, 并开始实施以设计为导向的 EIP-CDIO 培养模式改革, 2006 年成为首个中国高校 CDIO 国际合作组织成员[10] [11]。2008 年教育部高等教育司发文成立“CDIO 工程教育模式研究与实践课题组”, 随后确定了第一批 18 所 CDIO 试点高校名单, 2010 年增加了第二批 21 所 CDIO 试点高校。汕头大学、成都信息工程大学、燕山大学、南京工程学院等高校先后主办或承办过 8 期 CDIO 全国性培训班。2016 年 CDIO 工程教育联盟(英文名称: Alliance of CDIO)在广东汕头成立, 现已有成员高校和企业单位近 200 所[10]。联盟举办的年会列于表 3, 从一个侧面反映了 CDIO 在国内的发展状况[10]。

Table 3. Annual conference of CDIO Engineering Education Alliance
表 3. CDIO 工程教育联盟年会

日期/地点	内容	主办/承办方	会议规模
2016.01 汕头	CDIO 工程教育联盟成立会议暨未来工程教育发展研讨会	汕头大学承办	全国 109 所高校的 400 余名代表参会
2017.04 杭州	2017CDIO 工程教育联盟会议 主题: 建设新工科背景下的 CDIO 工程教育改革与发展	CDIO 工程教育联盟、中国高等教育学会工程教育专业委员会、全国地方高校卓越工程教育校企联盟主办, 浙江大学城市学院承办	全国 100 余所高校和单位的 600 余名代表参会
2018.03 成都	2018 年 CDIO 工程教育联盟年会暨新工科建设实施路径研讨会	CDIO 工程教育联盟、全国地方高校卓越工程教育校企联盟主办, 成都信息工程大学承办	全国 130 余所高校及企业的 550 余名代表参会
2019.04 秦皇岛	2019 年 CDIO 工程教育联盟年会暨地方高校新工科研究与实践项目进展交流会 主题: 一流本科教育背景下的 高等工程教育革新与实践	CDIO 工程教育联盟、全国地方高校卓越工程教育校企联盟、新工科研究与实践专家组主办, 汕头大学、燕山大学等高校联合承办	全国 200 余所高校和 10 余家产教融合企业的 600 余名代表会议参会

CDIO 在我国经过十几年的实践与发展, 面向支撑服务创新驱动发展、“中国制造 2025”等一系列国家战略, 强调以人才知识能力素质为牵引, 通过正向分解, 推进人才培养目标到课程体系到教学方法到评价的整体改革, 丰富和发展了 CDIO 教学改革与实践, 已成为推进我国高等工程教育改革的重要手段[5] [10]-[15]。

3. 结束语

2000 年美国 MIT 和瑞典皇家理工学院等几所高校创立的 CDIO 高等工程教育理念, 是与当时的经济社会需求和产业发展紧密联系、相互推动的, CDIO 高等工程教育方法现已推广至全球各国。本文对 CDIO 及其新发展做了综述, 以及分析和讨论了新工业时代、新经济和新兴产业发展的工程科技人才培养环境下, CDIO 实施工程教育变革与创新的行动和进一步发展方向。

参考文献

- [1] CDIO (2022) CDIO. <http://cdio.org>
- [2] Reykjavik University (2022) CDIO 202218th CDIO International Conference. <https://cdio2022.ru.is>
- [3] UNESCO (2015) Rethinking Education: Towards a Global Common Good? UNESCO, Paris.
- [4] Graham, R. (2018) The Global State of the Art in Engineering Education. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Report, Cambridge.
- [5] 杨毅刚, 宋庆, 唐浩. 工程教育专业认证与 CDIO 模式异同分析与相互借鉴[J]. 高等工程教育研究, 2018(5): 45-51.
- [6] Crawley, E.F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. and Edström, K. (2014) Rethinking Engineering Education—The CDIO Approach. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05561-9>
- [7] Brodeur, D.R. and Crawley, E.F. (2005) Program Evaluation Aligned with the CDIO Standards. *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, Portland, 12-15 June 2005, 10.1028.1-10.1028.18.
- [8] Malmqvist, J., Wedel, M.K., Lundqvist, U., et al. (2019) Towards CDIO Standards 3.0. *Proceedings of the 15th Inter-*

national CDIO Conference, Aarhus, 25-27 June 2019, 1-24.

- [9] Malmqvist, J., Edström, K. and Hugo, R. (2017) A Proposal for Introducing Optional CDIO Standards. *Proceedings of the 13th International CDIO Conference, Calgary, 18-22 June 2017, 1-6.*
- [10] CDIO 工程教育联盟. <http://www.chinacdio.stu.edu.cn>, 2022.
- [11] 顾佩华, 胡文龙, 陆小华, 包能胜, 林鹏. 从 CDIO 在中国到中国的 CDIO: 发展路径、产生的影响及其原因研究[J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 24-43.
- [12] 高成冲, 张杰. 应用型本科院校机械类专业 CDIO 工程教育实践探索[J]. 南京工程学院学报: 社会科学版, 2015, 15(3): 74-80.
- [13] 贾茜, 汪木兰, 刘树青. CDIO 工程教育模式与“卓越计划”实施路径比较研究[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2016(10): 82-83.
- [14] 吴爱华, 杨秋波, 郝杰. 以“新工科”建设引领高等教育创新变革[J]. 高等工程教育研究, 2019(1): 1-7+61.
- [15] Li, X., Xing, Y. and Wang, H. (2021) Teaching Reform of “Linux Management and Application” Based on CDIO. *Proceedings of the 17th International CDIO Conference, Bangkok, 21-23 June 2021, 1-7.*