

# CDIO工程教育改革实践模式与 “中国制造2025”的关联性

徐梦溪, 卢阿丽, 庄严

南京工程学院, 计算机工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年4月25日; 录用日期: 2022年5月23日; 发布日期: 2022年5月30日

---

## 摘要

简要介绍近年来蓬勃发展的全球领先的CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate, CDIO)工程教育改革与实践模式, 简要介绍“中国制造2025”相关知识, 以及物联网、云计算、大数据、人工智能、机器人等关键元素。在此基础上, 基于“中国制造2025”作为驱动工程教育变革重要因素的视角, 分析和讨论CDIO工程教育改革实践模式在“中国制造2025”背景下的继续适用性, 并对CDIO与“中国制造2025”的关联性、适应于“中国制造2025”所需要的工科学生知识结构和综合素养及培养质量, 以及发展实施CDIO所需要修正和完善的具体措施等做出分析。

## 关键词

CDIO, CDIO大纲和标准, 工程教育, 教学改革

---

# Relevance of CDIO Engineering Education Reform Practice Mode to “Made in China 2025”

Mengxi Xu, Ali Lu, Yan Zhuang

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

Received: Apr. 25<sup>th</sup>, 2022; accepted: May 23<sup>rd</sup>, 2022; published: May 30<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

This paper briefly introduces the CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) engineering education reform and practice mode that has developed rapidly in recent years. Meanwhile, this paper

briefly introduces the knowledge of “Made in China 2025” and key elements such as Internet of Things, cloud computing, big data, artificial intelligence and robotics. On this basis, from the perspective of “Made in China 2025” as an important driving factor of engineering education reform, the continued applicability of CDIO engineering education reform practice mode in the context of “Made in China 2025” is analyzed and discussed. It also analyzes the relevance of CDIO to “Made in China 2025”, the knowledge structure, comprehensive quality and training quality of engineering students that are adapted to “Made in China 2025”, and the specific measures that need to be revised and improved for the development and implementation of CDIO.

## 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. 引言

“中国制造 2025”催生一场“新工业革命”，也必将以最基本的方式影响我国的高等工程教育体系，同时，对工科专业人才培养的要求也发生了巨大变化，就知识结构而言，要求具备：1) 全生命周期服务能力，即从开发、设计、仿真测试、运行等多方位的服务能力；2) 不同层级的垂直集成能力，即对不同层级进行系统架构、协调的集成能力；3) 全局建模能力，即从资产管理、技术集成、通信协调、数据采集、功能设计、业务管理等多维度的建模能力。这是未来对工科专业人才的能力需求，不仅要求学生个人的开发能力和运作能力要强，还要有全局的思维能力和开放的开发思想，也就是要有整体的协调与配合能力[1] [2] [3] [4]。我国高等工程教育必须适应这种变化，包括持续解决诸如先理论后实践的串行教学模式、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。本文后续的内容组织安排：首先简要介绍 CDIO 工程教育改革与实践模式，“中国制造 2025”和德国“工业 4.0”；然后对 CDIO 与“中国制造 2025”的关联性，以及适应于“中国制造 2025”所需求的工科学生知识结构、综合素养及培养质量等做出分析和讨论，并对 CDIO 需要修正和完善的具体措施提出建议。

## 2. CDIO 工程教育改革与实践模式

CDIO 模式是近年来蓬勃发展的全球领先的工程教育改革与实践模式之一，作为培养下一代工程师的创新教育框架，CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate, CDIO, 构思 - 设计 - 实现 - 运作)以产品及系统研发到产品及系统的运行、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，让学生以主动、实践的方式学习工程[5] [6] [7]。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，是与经济社会需求和产业发展紧密联系、相互推动的。CDIO 理念是在 2000 年由美国麻省理工学院(MIT)、瑞典皇家理工学院、查尔默斯大学和 Linköping 大学等几所大学联合创立，随后倡议发起了以 CDIO 命名的国际合作组织。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。从 2005 年第一届始，CDIO 国际合作组织每年组织的年度国际会议已连续召开了 17 届，第 18 届 CDIO 国际会议将于 2022 年 6 月在冰岛雷克雅未克大学(Reykjavik University)召开，会议主题：枝繁叶茂——为未来做准备(Surviving and

Thriving-Preparing for the Future) [5] [8]。

2005年汕头大学率先引入CDIO模式,经过十多年的实践与发展,已成为推进我国高等工程教育改革的重要手段。2016年我国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[9][10]。

### 3. “中国制造2025”和德国“工业4.0”战略

2012年美国率先提出“国家制造创新网络计划”(简称NNMI计划),2013年“德国工业4.0”、“英国工业2050战略”、“新工业法国战略”和“日本再兴战略”等相继出台,随后,2015年5月,国务院正式印发《中国制造2025》,部署全面推进实施制造强国战略。“中国制造2025”与2013年4月德国政府正式推出的“工业4.0”战略,都是在新一轮科技革命和产业变革背景下针对制造业发展提出的一个重要的战略举措。两国在战略定位上,德国“工业4.0”战略规划要由制造强国向超级强国转变,“中国制造2025”则提出要由制造大国向制造强国转变。“中国制造2025”提出的十大重点领域、德国“工业4.0”关键元素和实现技术分别示于图1、图2。

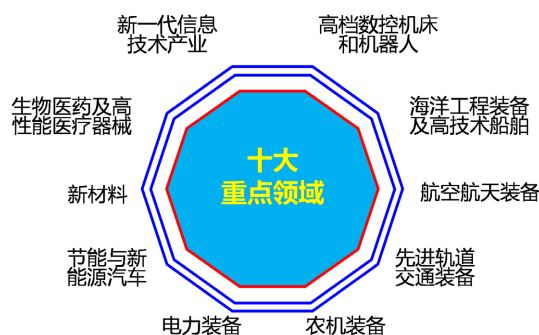


Figure 1. Ten key fields proposed by “Made in China 2025”

图1. “中国制造2025”提出十个重点领域

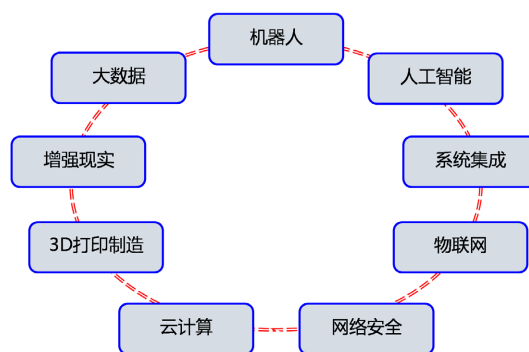


Figure 2. Key elements and implementation technology of “Industry 4.0”

图2. “工业4.0”关键元素和实现技术

### 4. CDIO与“中国制造2025”的关联性分析

“中国制造2025”改变了产业发展的方式,同时,也更加需要一大批与之相应的高等工程科技人才的支撑,这对我国高等工程教育改革提出了更高要求。从“中国制造2025”、“建设制造强国的行动纲

领”战略和对创新型工程科技人才的现实需求入手,梳理和分析 CDIO 与“中国制造 2025”的关联性,有利于进一步促进 CDIO 的发展,为新工业时代、新经济和新兴产业发展提供持续的智力支撑和高等工程科技人才保障[1] [7] [11] [12] [13]。

CDIO 包括了“教学大纲”和“标准”二个核心文件[5] [6] [14]。CDIO 教学大纲为课程体系和课程内容设计提供了具体要求,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。有关“中国制造 2025”的新知识(如物联网、云计算、大数据分析、人工智能、机器人等)可以在新版的 CDIO 教学大纲第一部分“技术知识和推理能力”中得到有效地涵盖。在第二部分(个人能力、职业能力和态度)、第三部分(人际交往能力:团队工作和交流)、第四部分(在企业、社会和自然环境背景下的构思、设计、实施、运行系统——创新的过程),仍然适用于所有工程专业。使用大致相同的个人技能和人际交往技能,遵循大致相同的通用流程,将预期的学习结果与专业实践相结合,培养“中国制造 2025”时代要求的各行业类型的工程师,这与当代全球经济社会的时代精神是大体一致的。我们认为,目前的 CDIO 教学大纲能够充分包含“中国制造 2025”所需的所有技能,这也从另一侧面说明了教学大纲在“中国制造 2025”背景下的继续(仍然)适用性。

“CDIO 标准”文件共有 12 条标准,可以看作是对 CDIO 教学大纲文件执行保障、学习效果评估和 CDIO 能力考核的文件[14] [15]。基于“中国制造 2025”视角,比较分析“中国制造 2025”与每条 CDIO 标准的相关性。表 1 给出了最新的 V3.0 版 CDIO 标准与“中国制造 2025”的相互关联性,以及适应于“中国制造 2025”背景下工科学子所需要的知识结构、综合素养及培养质量的分析与比较[15]。

**Table 1.** Relevance of CDIO standards and “Made in China 2025”

**表 1.** CDIO 标准与“中国制造 2025”关联性

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。
相互关联性:	
CDIO 理念仍然是培养下一代工程师的创新教育框架, CDIO 标准 1 与“中国制造 2025”是相互关联、相互推动的;但随着更加注重和强调对多学科团队工作重要性,由于产品、过程/系统和服务的性质不同,因此生命周期的开发和部署可能会更短,例如在生物医学设备领域。	
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。
相互关联性:	
学习的效果与新修订的 CDIO 大纲仍然是相互关联的,但需要与相关的涉众进行验证,应该系统性地考察和评估技能的构建,而不是逐一评估每一项技能。	
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。
相互关联性:	
一体化教学计划中有关“中国制造 2025”的新知识,如物联网、大数据、系统集成知识等,应包含在适当的教学模块中,其知识深度和学习阶段的安排取决于每个工程学科的需要。例如,机械工程专业的二年级设置物联网课程,而系统集成、数据分析等课程可安排到三年级,同样,云计算、网络安全等课程应整合到合适的模块中及安排在高年级时段。另外,工程教育的一个关键组成部分是项目工作,与“中国制造 2025”相适应的项目将越来越复杂和多学科性质,一体化教学计划中应给予足够的重视,例如,北斗卫星导航系统(BDS)的创新和发展将需要计算机和通信网络科学家与不同学科以及全球化背景下的专家合作,学生需要更熟练的人际交往技能,和与不同背景和学科的人合作工作的能力。	

## Continued

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。
相互关联性：	
在 CDIO 标准 3 的基础上，标准 4 需要对现有的基础级课程/项目做出适当修改，向学生介绍“中国制造 2025”，增加“中国制造 2025”知识的维度，例如，大数据和数据分析应用知识，以及数字素养、时间和资源管理等个人和人际交往技能的培训。	
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。
相互关联性：	
我们知道，几乎所有工程教育的现有课程计划已经挤满。因此，不建议再增加新的课程/项目，而应仔细审查现有课程/项目所能提供的涉及“中国制造 2025”知识的应用。应与本学科所服务的行业/企业合作，为学生获取更多与行业/企业相关的合作项目，包括多学科项目，提升学生在各种 CDIO 技能方面的能力，包括“中国制造 2025”所需的新技能集。	
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。
相互关联性：	
CDIO 标准 6 与标准 5 中对“中国制造 2025”的关注一致，工程学习场所的概念应扩展到校园之外，包括学生在车间、工厂完成实习/项目，此外，工程学习场所还应包含虚拟空间(虚拟学习环境)，学生在增强现实/虚拟现实(AR/VR)环境下，通过模拟学习，以强化既动手又动脑“做中学”。例如，在 AR/VR 环境中，对于成本太高而无法与实际相结合的产品、流程或系统的学习。	
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。
相互关联性：	
CDIO 标准 7 近同于标准 6，云环境中的在线协作，可帮助培养个人和人际交往技能，面对面互动以补充课堂上讲授的效果。AR/VR 环境可以提供一个更真实、更安全的体验式学习环境，能够模拟全天候的工作环境，如排除故障过程中可能运行的危险，可以更好地促进新技能的获取。	
标准 8——主动学习	基于主动学习和经验学习方法的教与学。
相互关联性：	
AR/VR 中的云、物联网、沉浸式环境等，提供了以一种新的方式参与主动体验式学习的机会，特别是在校园环境学习执行现实世界中危险、或太复杂太昂贵的任务时，同学之间的在线协作，如模拟执行化学事故应急响应任务，使得学生在探索不同的场景或结果的学习过程中，得到更高层次的思维技能的训练。对于目前的主动学习方法，如“思考-结对-分享”、“一分钟论文”等仍然很有意义，通过创造性地应用沉浸式环境等，主动体验式学习效果可变得更佳。	
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。
相互关联性：	
“中国制造 2025”战略实施下学习方式的变化要求教师调整教学理念以适应新的学习环境。教师需要学习通过云计算、教育技术工具、AR/VR 等新方法来吸引学生，需要将“中国制造 2025”中确定的新技能整合到教学模块中。教师需要再学习新的知识，还需要培训如何使用数据分析来对学生学习过程做实时分析，以利于调整和改进教学措施，需要在虚拟世界中掌握数字指导和联合解决问题的技能。	

## Continued

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。

相互关联性：

正如“中国制造 2025”影响学生学习方式一样，也将影响 CDIO 能力考核与评估的方式。如，数据分析的功能会改变对学生的能力考核与评估方式。基于 AR/VR 中模拟的紧急情况，可以根据对现实世界做假设分析/假设推理的场景进行更“高阶”或更具挑战性的能力考核与评估。

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。

相互关联性：

CDIO 标准 12 始终与持续改进有关。“中国制造 2025”的实施会因行业而异，技能集也会因行业而异，还有，技术的进步也将进一步影响新技能的发展。因此，定期进行专业评估很重要，最好是不超过 3 年期做定期的专业评估而不建议 5 年期。

通过上述的分析和比较，CDIO 工程教育改革与实践模式、教学大纲和 12 条标准仍然适应于面向“中国制造 2025”的工科学生的教育培养，显示了在“中国制造 2025”背景下的继续(仍然)适用性[7] [12]。但建议 CDIO 还需要在以下几方面进行修正和完善：

1) 目前的研究工作大多都集中在工程教育如何以应对和适应新工业时代、新经济和新兴产业发展的技术挑战方面，但更重要的是需要研究从国外发达国家引入的 CDIO，在新工业时代、新经济和新兴产业发展背景下，如何具体地修正和完善 CDIO，以继续更好地“使能”工科学生创新服务“中国制造 2025”。

2) 注重教育和培养学生在新工业时代、新经济和新兴产业发展环境下的工作方式，需要更熟练的人际交往技能，在与不同背景和不同学科/专业的人一起工作的技能，以及团队协作精神。

3) 将来的必修课程和学生的学习方式将会有很大的不同。具体来说，课程内容更广泛、多学科交叉，甚至还包括管理和经济等学科知识，授课甚至可能是外聘的行业/企业工程师，根据课程的需要，更多的学习将安排在虚拟的工作场所或工业现场、车间，这需要进一步加强校企合作和本行业相关单位或机构的参与。

4) “中国制造 2025”需要能够整合多学科和跨领域知识的新一代工程师，能够更专注于从系统的角度理解系统的工作，而不仅仅是一个领域知识的专家；必须应对“中国制造 2025”所涉及的新范式/概念(如建模、仿真、互操作性及自组织)和新技术(如物联网、大数据和数据分析)，开发和设计聚焦于多学科、新的专业课程/项目非常重要，但目前的这方面的工作是缺乏的，需要加强。

5) 注重为学生提供定制教育和个性化学习体验，基于项目的学习周期，需要制定更短的校内学习时间，腾出空间给予更长的实习时间。

## 5. 结束语

本文在简要介绍 CDIO 工程教育改革与实践模式、“中国制造 2025”基础上，基于“中国制造 2025”视角，分析和讨论了实施发展 CDIO 的继续(仍然)适用性，以及适应于“中国制造 2025”以及新经济和新兴产业发展所需要的工科学生知识结构、综合素养及培养质量等，并对进一步实施 CDIO 需要修正和完善的具体措施提出了建议。

## 参考文献

[1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.

- 
- [2] 吴岩. 新工科: 高等工程教育的未来——对高等教育未来的战略思考[J]. 高等工程教育研究, 2018(6): 1-3.
- [3] Pereira, A.C. and Romero, F. (2017) A Review of the Meanings and the Implications of the Industry 4.0 Concept. *Procedia Manufacturing*, **13**, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- [4] Kemp, A. (2016) *Engineering Education in a Rapidly Changing World*. 2nd Edition, TU Delft.
- [5] <http://cdio.org/>
- [6] Crawley, E.F., Malmqvist, J., Lucas, W.A. and Brodeur, D.R. (2011) The CDIO Syllabus v2.0: An Updated Statement of Goals for Engineering Education. *Proceedings of the 7th International CDIO Conference*, Copenhagen, 20-23 June 2011, 42 p.
- [7] 徐梦溪, 吴晓彬. CDIO 方法: 高等工程教育改革与新发展[J]. 教育进展, 2022, 12(3): 606-613. <https://doi.org/10.12677/AE.2022.123099>
- [8] <https://cdio2022.ru.is/>
- [9] 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.
- [10] <http://www.chinacdio.stu.edu.cn>
- [11] 李拓宇, 李飞, 陆国栋. 面向“中国制造 2025”的工程科技人才培养质量提升路径探析[J]. 高等工程教育研究, 2015(6): 17-23.
- [12] 韩照祥, 朱惠娟. “中国制造 2025”背景下高校工科学生工程素质提升路径优化与实践研究[J]. 科教导刊, 2019(34): 5-6.
- [13] 董刚. “中国制造 2025”视阈下高校制造业人才培养——以宁波市高校为例[J]. 中国高校科技, 2020(9): 54-58.
- [14] [http://www.chinacdio.stu.edu.cn/Detail\\_Code.aspx?Content\\_ID=1521&Channel\\_ID=101](http://www.chinacdio.stu.edu.cn/Detail_Code.aspx?Content_ID=1521&Channel_ID=101)
- [15] Cheah, S.-M. and Leong, H. (2018) Relevance of CDIO to Industry 4.0-Proposal for 2 New Standards. *Proceedings of the 14th International CDIO Conference*, Kanazawa Institute of Technology, Kanazawa, 28 June-2 July 2018, 17 p.