

Teaching Reform of Undergraduate Specialty of Diagnosis and Maintenance of NC Machine Tool under Mode CDIO

LI Bin, DAI Yi, DENG San-peng, SHI Xiu-min, JIANG Li, YANG Xue-cui,
SUN Hong-chang, LIU Chao-hua

Dept. of mechanical engineering, Tianjin university of technology and education, Tianjin, China
libinfly@163.com

Abstract: CDIO is a classic mode of engineering education currently in MIT. It emphasizes that the engineering education should pay attention to practice, be based on modern science and technology, be rooted in the real education of students, and be aimed at cultivating new highly qualified engineers. Teaching reform of undergraduate specialty of diagnosis and maintenance of NC machine tool under mode CDIO were carried out. The basic idea and the reform measures in the mode of cultivation, curriculum design and so on under the mode CDIO are introduced, as well as the author's own experiences.

Keywords: vocational education; teaching reform; CDIO; NC machine tool

基于 CDIO 模式的数控机床故障诊断与维修专业教学改革

李彬, 戴怡, 邓三鹏, 石秀敏, 蒋丽, 杨雪翠, 孙宏昌, 刘朝华

天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津, 中国, 300222
libinfly@163.com

【摘要】 CDIO 是美国麻省理工学院工程教育的一种经典模式。该模式强调工程教育应当关注实践, 以科技为基础, 将教育过程置身于学生培养的具体情境中, 以培养新一代高水平工程师为目标。本文探讨了基于 CDIO 教育模式下“数控机床故障诊断与维修专业”的教学改革, 介绍了教学改革的基本思想, 在培养方案、课程设置等方面进行的一系列改革措施。

【关键词】 职业教育; 教学改革; CDIO; 数控机床

1 引言

随着我国工业的快速发展, 数控机床数量和种类急剧增长, 已成为机械制造业的主流设备, 且数量巨大。这些数控机床即将出现故障维修的大量社会需求。目前, 我国机床保有量接近 700 万台, 已成为世界上机床保有量最大的国家, 但是我国机床整体水平比较落后, 服役 10 年以上的机床占 60% 以上, 在不久的将来, 这些机床都可能面临大修或改造。如果每年有 3% 需要大修, 那么一年大约有 20 万台机床需要维修, 大约需要 1 万名专业维修人员。再制造产业已经受到政府的高度重视, 2009 年年初就出台了《循环经济促进法》, 因此大约需要 1 万名专业的数控机床改造从业者。

我国数控机床与国外同档次机床竞争的关键在于售后服务水平。许多用户购买国外数控机床, 买得起、修不起, 一旦机床出现故障, 其高昂的维修费用、较长的维修周期, 都会给企业的生产造成重大损失。目前我国数控机床制造业售后服务技术人员大多来源于现有大学的机械类或电类专业。由于知识结构的限制, 制约了这些企业的售后服务水平, 进而影响了企业的销售业绩, 这也是国产数控机床未能占领国内市场的重要原因之一。

数控机床是集机、电、液、气、光于一体的现代化机电设备, 及时准确地进行诊断与维修是一件很复杂的工作。从学科分类来说, 数控机床隶属于机械制造专业, 但目前的机械制造专业的本科生毕业生并不能直接胜任数控机床的安装、调试与维修任务。因此,

导致社会需求与高等教育出现脱节现象。随之而来的是数控维修人才的短缺,为改变这种局面,许多高职高专院校开始数控维修人才专科层次的教育。数控维修人才专科层次的培养难以达到及时准确地进行诊断与维修的要求。天津职业技术师范大学在2003年开设了“机械维修及检测技术教育(数控方向)”专业,开创了数控维修人才本科层次培养的先河^[1]。面向“数控机床故障诊断与维修”创新型应用人才培养,充分理解数控技术教育的内核,妥善解决本科教学与数控技术多学科、先进性和融合性之间的矛盾,以社会需求作为教学依据形成数控维修本科办学的指导方针与实施路线,构成了创办数控维修本科专业的学科基础。数控机床装调维修工是国家2007年颁布的职业技术标准,这个工种是新工种,融机械和电气技术、知识技能和技术技能合一的综合性职业一体的数控机床装调维修复合型工种。

CDIO是2001年由美国麻省理工学院联合瑞典的查尔姆斯技术大学、林肯平大学以及皇家技术学院等3所高校,共同开发的一种全新工程教育理念和实施体系^[2-5]。CDIO是英文单词“构思”(Conceive)、“设计”(Design)、“实施”(Implement)、“运行”(Operate)的缩写。其中,“构思”包括顾客需求分析,技术、企业战略和规章制度设计,发展理念、技术程序和商业计划制订;“设计”主要包括工程计划、图纸设计以及实施方案设计等;“实施”特指将设计方案转化为产品的过程,包括制造、解码、测试以及设计方案的确认;“运行”则主要是通过投入实施的产品对前期程序进行评估的过程,包括对系统的修订、改进和淘汰等。CDIO具体目标就是为工程教育创造出一个合理的、完整的、通用的、可概括的教学目标,重点将个人的、社会的和系统的制造技术和基本原理相结合,使之适合工程学的所有领域。大纲的最大价值就是其基本原理简单,有很强的可操作性和广泛的适应性等特征,而且可被任何工程教育项目所采用的应用将有助于工程教育课程的设置及教育方法的研究,而且还可以推动考核标准的制订,为我们现行的数控机床维修人才的培养提供一定的借鉴^[6-7]。

2 专业现状

天津职业技术师范大学于2003年开始招收“机械维修及检测技术教育”专业的本科生,面向“数控机床故障诊断与维修”创新型应用人才的培养制定了机电融合、理论实践紧密结合的培养计划,引进和培养自

有人才并举,打造了一支能够胜任数控机床故障诊断与维修教学的高学历一体化特色师资队伍,学校投入大量资金建设了实验实训基地,并根据教学的实际需要编写了一批高水平的教材和讲义。学校积极鼓励教师开展数控机床故障诊断与维修方面的教学改革和科学研究。经过7年多的建设,已经将老本科专业“机械维修与检测技术教育”改造成面向“数控机床故障诊断与维修”创新型应用人才培养的新专业。

通过对企业、职业院校的社会调研,并与国内外同类专业比较,为适应社会对数控维修人才的需求,经过多年教学实践,修订完善的专业人才培养目标是:培养适应社会主义现代化建设需要的,德智体美全面发展的,掌握职业教育、机械制造和数控机床故障诊断与维修基本理论和方法,具备数控机床设计、加工操作、故障诊断与维修能力,从事数控机床故障诊断与维修的“一体化”职教师资和应用型高级专门人才。人才培养规格的具体描述如下:

① 培养掌握职业教育教学的基本方法,具有良好的教师职业素质及运用现代教育技术从事教育教学能力,具备一定的教育科研能力和教学质量评价能力的从事数控机床故障诊断与维修教学的“一体化”职教师资;

② 培养精通数控编程、操作和维修等综合知识,并具有一定的实际经验,知识面广,能自行完成数控系统的选型、数控机床机械结构设计和电气系统的设计、安装、调试和维修,完成机床的数控化改造的数控通才(适合于担任企业的技术骨干或数控机床产品研发的机电设计人员);

③ 培养熟悉各种数控系统的特点、软硬件结构,掌握数控机床的操作与编程,能进行PLC和参数设置,熟悉数控机床的机械结构和机电联调,精通数控机床的机械和电气维修的数控机床维护人员(适合作为工厂设备处工程技术人员)。

“数控机床故障诊断与维修”创新型应用人才培养方案招收技校生源五年制缓解了教学时数紧张的矛盾,以数控机床为教学主线,重点学习与数控机床相关的多学科知识,较好解决了学科前沿性与本科教育基础性之间的矛盾。坚持机电融合、理论实践紧密结合的原则制定培养计划,学生不仅要学习有关数控机床的理论知识,还要进行数控机床操作和维修的技能训练,考取数控机床操作和维修的职业资格证书。

本专业毕业生受到用人单位的欢迎,三届毕业生的就业率都在100%,其中70%就职于国内的职业院

校或高校, 30%就职于数控企业; 毕业生的基础知识扎实, 实践能力强, 工作表现突出, 很快成为单位的业务骨干。

3 基于 CDIO 模式的教学改革

CDIO 以工程项目(包括产品、生产流程和系统)从研发到运行的生命周期为载体, 让学生以主动实践、课程之间有机联系的方式学习工程。CDIO 的理念不仅继承和发展了欧美 20 多年来的工程教育改革理念, 更重要的是提出了系统的能力培养、全面的实施指导、完整的实施过程和严格的结果检验的 12 条标准, 具有很强的可操作性。CDIO 标准是直接参照工业界的需求(如波音公司的素质要求和 ABET 的 EC2000 标准)制定的, 因而能完全满足产业对工程人才质量的要求。迄今已有几十所著名大学加入 CDIO 国际组织, 这些学校的机械系和航空航天系已全面采用 CDIO 工程教育理念和教学大纲, 取得了良好效果, 培养的学生尤其受到社会与企业欢迎。我国的清华大学和汕头大学通过实施 CDIO 教学方法已取得初步成效。

基于本专业的办学基础, 结合 CDIO 的 12 项标准, 明确了教学改革思路。

3.1 优化培养方案

秉承学校“动手动脑, 全面发展”的办学理念, 以培养高素质职教师资和应用型高技能人才为目标, 坚持传授知识、培养能力与提高素质协调发展, 强化学科基础、提升人文素质、优化实践环节, 注重培养职业技能、创新精神和创新能力。由企业、职业院校和专业教师三方组成专业建设指导委员会共同修订培养方案, 与国内外同类及相近专业进行比较研究, 坚持学术性、师范性和职业性相结合, 不断优化和完善以社会需求对工程人员所需要的能力、素质、技能和知识为基础的培养方案, 根据不同的就业方向设置可选模块, 变刚性的教学计划为柔性的人才培养方案。充分利用用人单位和毕业生跟踪调查等途径建立完善的教学质量信息反馈系统, 及时修订和进一步完善培养方案。

基于构思、设计、实现、运作的 CDIO 教学模式, 在课程体系的构建与实践过程中, 坚持机电融合, 突出综合实践能力, 课程体系主要由通识教育、专业基础、专业课程、师范教育课程和实践环节五个模块构成。专业基础增加电类课程, 精选优化机类课程, 为

学生打下良好的机电贯通的学科基础, 如原含在电工技术课程中的电机原理内容加强为独立课程, 考虑到课程交叉, 将机电一体化技术及电气 CAD 课程删除; 专业课程突出数控机床、机床电控及 PLC、运动控制系统、数控机床故障诊断与维修等核心课程, 如数控机床结构、数控机床原理与系统两门课程将整合成综合性的数控机床课程, 增加核心课程学时, 并辅以实践环节; 在加强现代教育技术、学科教学法、职业教育学和师范教育技能训练等师范类必修课程的基础上, 将师范训练融入专业课程教学中, 强化学生的师范能力; 在充实专业课程设计基础上, 实践环节着力打造实训教学体系, 进行数控加工、主流数控系统的故障诊断与维修和组装数控车床的技能训练, 使学生取得数控机床操作工(中级)和数控机床装调工(高级)职业资格证书, 部分优秀学生可以达到技师资格认证, 使学生获得数控机床操作、装调和维修较高的职业能力。

具体措施如下:

① 专业基础增加电类课程比例, 优化各类课程内容, 学生打下良好的机电贯通的学科基础。如电机原理原学时为 32 学时且含在电工技术课程中, 后独立并加强为 64 学时课程, 考虑到课程交叉, 将机电一体化课程及电气 CAD 课程删除, 将画法几何及机械制图课从原 128 学时, 缩为 112 学时, 增加 48 学时的线性代数课程。专业课程突出数控机床、数控机床编程与操作、传感器技术、交流调速系统、数控机床故障诊断与维修等核心课程, 如数控机床原为数控机床原理与结构, 后增加数控机床原理与系统, 后考虑这两门课程交叉性, 改为综合性的数控机床课程, 共 80 学时。传感器技术、交流调速系统、数控机床故障诊断与维修等课程都修订为 64 学时。

② 实践环节着力打造实训教学体系, 进行数控加工、主流数控系统的故障诊断与维修和组装数控车床的技能训练, 使学生取得数控机床操作中级工和数控机床装调工的高级职业资格证书, 部分优秀学生可以达到技师资格认证。

③ 丰富第二课堂, 培养学生创新思维能力, 提高综合应用能力。

④ 本专业教师带领学生积极进行社会实践, 应用所掌握的维修技能为学校和企业修理数控机床。本专业教师带领学生不仅完成对本校数控设备的维修维护, 还积极为其它兄弟院校提供维修服务及技术支持。

⑤ 建立校外实习基地,将学生送往数控机床生产企业进行实践环节。

⑥ 加强精品课程建设,以精品课促教学。

⑦ 学生参与华中数控系统的机床组装项目,促进实训教学环节开展。

3.2 加强课程建设

由企业、职业院校和专业教师共同修订完善课程教学大纲,以“理论先进,注重实践,操作性强,学以致用”的原则对课程的教学内容进行优化组合。课程讲授过程中精选传统内容,结合数控机床在企业中的实际应用,对课程的教学内容进行优化组合;对于应用性强的课程,通过课程基本知识的学习和应用,在保证学生达到获取必要知识能力基础上,教学内容根据企业需要及职业院校的技能大赛需要不断灵活调整,强化理论联系实际和应用知识解决问题的能力,打破以往理论教学同实践教学分开进行的教学模式,将实践性强的课程与实践教学整合成一门综合课程,理论教学和实践教学交替进行;以“大作业”项目驱动教学方法实现理论、实验、实训、设计“四位一体”教学模式,教师介绍“大作业”总体背景知识后,主要进行方法和能力方面的指导,学生在“大作业”完成过程中“做中学”,培养学生自学和查阅资料能力。

将数控机床故障诊断与维修理论、实验、实训课程整合成数控机床故障诊断与维修技术综合课程,将课堂设在实验室,知识讲授与实践交替进行,通过一体化教师的知识传授及实际指导来提高教学效果。将真实的数控机床故障进行再现,通过软件仿真、实际操作等多种不同的方法与手段来检验课程所学知识。在课程学习的基础上,结合企业对机床维修的实际案例和需要调整教学内容,并采取维修仿真、项目式、案例式等多种教学方法,学生完成机床改造或组装、数控维修实训装置的设计制作等项目,掌握数控机床诊断与维修技术,取得相应的职业资格证书。

对于本专业的另外一门主干课程机床电控与PLC,将理论教学和课程设计进行融合,在理论教学进行的同时,布置课程设计任务,让学生带着问题去听课,一方面提高学生学习的积极性,另一方面促使学生在学的过程中学会自主学习,能够主动的为了解决问题而去查资料问问题,进而大大提高学生的效果与效率。在教学内容上,以现有典型机床为模型实例,加强数控机床电控的基础内容,为学生打下良好的电气控制技术功底;提高学生针对不同数控系统的

PLC 调试、设计能力。

3.3 创新实践教学体系,建设高水平教学基地

完善包含华中、FANUC 和 Siemens 数控系统连接与参数配置、数控机床组装与调试等功能的实验、实训基地;建成数控机床故障诊断与维修教学仿真平台和故障库。在教学上注重专业理论学习与技能训练的结合,将实践能力培养贯穿于整个人才的培养过程中。遵循大学生实践能力形成规律和认知特点,按实践教学层次化、实训内容模块化、实训教学方法多样化原则,结合“双师型”特色师资队伍和高水平实训基地建设,构建并实施“三层面”工程实训教学体系。

三层面包括基础层、核心层和提高层。在基础层,通过对典型数控产品的结构、设计、制造、规划和管理有一个基本的体验和认识,使学生建立基本数控工程意识,掌握基本专业技术技能,训练基础创新能力。基础层是完成其它深层次工作所必须的技能,基础层强调理论感知,侧重基本操作,是形成培养素质的基础。针对刚参加工程实训课学生技术能力差、工程认知面窄的特点,教师在教学过程中要充分讲解数控技术知识和相关技能的发生过程和形成过程。尽量增加演示、视频、图表等直观教材进行教学,增加学生的感性认识。例如,在进行数控机床电气控制训练前进行基础层实训时,设计若干真实数控机床的部分电气原理图的识图、绘图训练;教学采用两种基本方法,一是教师利用真实的数控机床电气系统做教具实际演示,并让学生亲自操作,使学生对数控机床整机有感性认识,二是使用录像和 Flash 动画演示主轴、换刀装置、工作台的工作过程,进一步加深学生对数控机床整机各系统的认知。通过基础层面的训练,要求学生不仅要全面了解数控技术相关的机械和电气方面的基本工艺知识,还要对进一步了解数控设备操作技术有一定的认识,还需要能读懂零件图,并能使数控机床按照图纸的要求加工简单的机械零件。

核心层强调技能训练的综合性。训练内容以职业技能为主线,按中级、高级和技师培训的要求,由浅至深设置。核心层强调技能训练的综合性。训练内容按项目模块设置,根据中级、高级和技师培训的要求,模块设置由浅至深,由单项技术技能到复合技术技能,由职业标准规定的核心技能到现代企业需要的高新、复合技术技能。例如,在设置“数控机床装调维修工”高级工训练模块时,除职业标准规定的核心技能课题如参数调整、PLC 系统调试,还将设置整机机电联调

等综合性较强的实训课题, 这些课题包括机械部分装配、精度检测、数控机床电路 CAD 训练等, 引导学生在解决问题过程中应用所学知识和技能掌握探索解决复杂问题的方式和方法。

提高层强调学生学习的自主性、创新性, 倡导能力的个性化培养, 使实训教学内容接近生产实际, 弥补学生实际经验的欠缺。扩展层以自选训练模块、指导性科技立项、仪器设备开发、参与产学研项目、学生自拟课题、企业技术改造等形式进行, 注重在普遍提高的基础上, 鼓励个性发展。促使学生去深入思考, 激发了学生的学习热情。扩展层鼓励和培育学科交叉、专业融合的训练课题。例如, 数控机床实验台开发是一个典型的机电融合课题, 学生对此课题有浓厚的兴趣。本专业教师对此积极引导, 设立了“华中数控实验台设计”和“数控车床(铣床) 组装等”课题, 吸引学生踊跃参加, 学生兴趣小组自行设计机械结构和控制电路, 最终完成设计并应用于实验及实训教学工作。提高层的实训教学结合多种形式的校企合作方式, 使实训教学接近生产实际, 弥补学生实际经验不足的问题, 全面提高学生综合素质。如: 企业工程技术人员专题讲座、技术技能实际案例教学、企业技术改造等。

此外, 还需要进一步与企业加强联系, 吸取企业一线新技术、新方法, 建设高水平的校外实习、实训基地, 实现专业培养目标与社会需求的无缝连接, 以建设滨海新区为契机, 充分利用环渤海优势, 积极开展对地方职业教育的研究, 为区域社会、经济发展做出贡献。继续保持与高职、中职院校的联系, 巩固与加强教育实习基地建设, 扩大与兄弟院校的办学交流。

积极寻求与企业开展多种形式的合作, 加强学校教学与生产实际的结合, 培养和锻炼学生解决企业生产一线实际问题的能力。在长期的教学实践中探索出许多有效的产学研模式, 如与天津源峰科技公司合作开发数控维修实验台, 数控维修实验台的型号及系列包括华中数控系统、西门子 810D 系统、FANUC0i 系统等, 其中机型包括数控车床、数控铣床、数控加工中心、模拟实验台等。通过针对不同数控系统及不同机型的设计开发, 大大提高了学生的工作实践能力。

在教学工作中考虑同多个数控机床厂家进行产学研结合工作, 在项目式教学中, 将实训项目作为完整的训练单元安排在企业中, 有目的、要求、方案、实施步骤和考核标准, 其中最重要的是有一个结果(一项制作、一个设计、一件作品或产品等)。学生通过项

目制作, 可以提高学习兴趣, 增强实践动手能力, 并在企业中实现, 进而达到产学结合的作用。例如, 数控机床电气控制实训中, 可以根据厂家生产的数控机床的电气技术指标和制作来设置相关实训内容任务书的方式发给学生, 指导学生制作相关满足要求的实训台, 完成后教师按照任务书进行检查, 学生在干中学、学中干, 将收到很好的效果。

3.4 建设“一体化双师型”师资队伍

按照自我培养与积极引进相结合的原则, 紧紧围绕本专业的建设目标, 加强师资队伍和学术梯队建设。有计划的选派教师到企业和名校培训进修, 安排老师参加数控机床维修的专题培训, 组织理论老师进行实验实训的项目开发, 并考取相应的高级职业资格证书, 进一步提高教师理论、实践教学水平和学历层次。选派教师到相关企业的设计、生产一线进行实践锻炼, 提高专业教师解决生产实际问题的能力, 提高教学及科研能力。引进 2~3 名专业建设急需的高技能人才, 提倡和鼓励企业、职业院校具有丰富理论及实际经验的教师、工程师来讲座或承担一定的课程教学任务, 使本专业师资中来自产业第一线具有丰富工程实践的工程师占有一定的比例, 帮助学生了解工程实际、指导他们应用理论解决实际问题, 使学生们从他们的言传身教中感受相应的责任、能力和素质。

3.5 教材建设

结合数控机床故障诊断与维修人才培养的特点, 坚持“理论先进, 内容实用、操作性强, 学以致用”的原则精选教学内容, 依据在数控机床管理、维修、改造和培训方面的丰富经验, 贯彻数控机床装调维修工职业资格国家标准, 编写出版《数控机床维修高级应用人才培养规划教材》一套。进一步构建立体化教材, 不断完善多媒体电子课件。建设网上练习系统、网上辅导答疑系统, 建立师生交互机制, 及时反馈学生意见。

3.6 教学研究和科学研究

在做好目前承担的天津市教改课题“数控机床故障诊断与维修应用型人才培养模式的研究与实践”和校级教改课题的同时, 积极鼓励教师申报各级各类教改课题, 参与教改课题, 发表教研论文, 进行本专业教学法的研究。

在做好目前承担的国家自然科学基金项目和“高档数

控机床与基础制造装备”国家科技重大专项等科研课题的同时,积极开展学术交流,努力提高科研水平。以科研成果充实和更新教学内容,以科研活动促进师资队伍建设和,引导学生参与科研创新实践活动,从而形成“科研水平提高——教师教学能力提高——教学质量提高——学生培养质量提高”的良性循环,教研相长,提高教学培养质量和水平。

鼓励教师参加国内外相关的教学研讨会和学术会议,开展学术报告会活动,定期邀请在国内外具有较高学术声望和影响的本学科专家学者来校交流。围绕数控机床的可靠性、故障预警和诊断技术两个研究方向,进一步加强与制造业企业的合作,为企业提供数控机床设计、改造与维修等技术服务,解决企业发展中的技术难题。

4 结论

通过教学改革,提高了本专业的培养质量,探索了适合我国国情的结合 CDIO 理念的数控机床维修人才的培养模式,也希望能对我国职业教育研究起到抛砖引玉的作用。

References (参考文献)

- [1] Dai Yi, Thoughts of Offering Undergraduate Specialty of Diagnosis and Maintenance of NC Machine Too [J], *Journal of Tianjin University of Technology and Education*, 2005, 15(3), P60-62(Ch).
- [2] Wang Shuowang, Hong Chengwen, CDIO: the Classic Mode of Engineering Education in MIT-An Unscrambling on the CDIO Syllabus[J], *Journal of Higher Education in Science & Technology*, 2009, 28(4), P116-119 (Ch).
王硕旺,洪成文, CDIO:美国麻省理工学院工程教育的经典模式——基于对 CDIO 课程大纲的解读[J], *理工高教研究*, 2009, 28(4), P116-119.
- [3] Kang Quanli, Lu Xiaohua, Xiong Guangjing, On the CDIO Syllabus and the Cultivation of Innovative Talents[J], *Journal of Higher Education Research*, 2008, 31(4), P15-18 (Ch).
康全礼,陆小华,熊光晶, CDIO 大纲与工程创新型人才培养[J], *高等教育研究学报*, 2008, 31(4), P15-18.
- [4] Lin Yizhen, Analysing the CDIO Model for Higher Engineering Education[J], *Journal of Herbin University*, 2008, 29(4), P137-140 (Ch).
林艺真, CDIO 高等工程教育模式探析[J], *哈尔滨学院学报*, 2008, 29(4), P137-140.
- [5] Hao Zhixiu, Ji Linhong, Feng Juan, Exploration and Practice of Training the Junior University Students' Engineering Ability with CDIO Concept: A Case Study of Mechanical Basis Practice Course[J], *Research in higher Education of Engineering*, 2007, 37(2), P36-40 (Ch).
郝智秀,季林红,冯涓,基于 CDIO 的低年级学生工程能力培养探索——机械基础实践教学案例[J], *高等工程教育研究*, 2009, 37(5), P36-40.
- [6] Zha Jianzhong, On CDIO Model under "Learning by Doing" Strategy[J], *Research in higher Education of Engineering*, 2008, 37(3), P1-6,9 (Ch).
查建中,论“做中学”战略下的 CDIO 模式[J], *高等工程教育研究*, 2008, 37(3), P1-6, 9.
- [7] Li Manli, An Historical Interpretation of CDIO and its Application Prospects[J], *Tsinghua Journal of Education*, 2008, 29(5), P78-87 (Ch).
李曼丽,用历史解读 CDIO 及其应用前景[J], *清华大学教育研究*, 2008, 29(5), P78-87.