

基于 CDIO 理念的航天创新人才培养研究

陈小前¹, 赵 勇², 李星辰³

(1. 军事科学院, 北京 100091; 2. 国防科技大学 空天科学学院, 湖南 长沙 410073;
3. 军事科学院 国防科技创新研究院, 北京 100091)

摘 要: 教育是国之大计、党之大计, 从“培养什么人、怎样培养人、为谁培养人”这三个问题出发, 探讨了基于 CDIO (conceive, design, implement, operate) 理念的航天创新人才培养实践方法。剖析了符合新时代要求的创新人才特点, 从创新人才培养的供给侧出发分析了我国大学教育的现状, 从需求侧出发探讨了用人单位对创新人才的要求, 分享了团队在建立“纳星研究生创新基地”和“天拓卫星俱乐部”过程中的成果与经验。最后, 依托卫星俱乐部, 提出了基于 CDIO 理念的航天创新人才培养实践体系, 以实现培育符合新时代要求的航天创新人才的目标。

关键词: CDIO 理念; 航天; 创新人才

中图分类号: G640 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874 (2023) 04-0011-07

Cultivation of Talents for Aerospace Innovation Based on the CDIO Concept

CHEN Xiaoqian¹, ZHAO Yong², LI Xingchen³

(1. Academy of Military Sciences, Beijing 100091, China; 2. College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 3. National Research Institute for Defense Technology Innovation, Academy of Military Sciences, Beijing 100091, China)

Abstract: Education is the great plan of China and the Communist Party of China. Starting from the three questions of “who to cultivate, how to cultivate talents, and for whom to cultivate talents”, this paper explores the practical method of cultivating aerospace innovative talents based on the CDIO (conceive, design, implementation, operation; CDIO) concept. Characteristics of innovative talents that meet the requirements of the new era are analyzed, and the goals and requirements for cultivating innovative talents are clarified. While the current situation of university education in China is analyzed from the demand side, the requirements of employers for innovative talents are explored from the supply side. The team's achievements and experience in establishing the “Nano-Satellite Graduate Innovation Base” and “Tiantuo Satellite Club” are shared. Relying on the satellite club, a practical system for cultivating aerospace innovative talents based on the CDIO concept is proposed in order to foster talents that meet the requirements of the new era.

Key words: CDIO concept; aerospace; talents for innovation

一、引言

当今世界正经历百年未有之大变局,科技创新是其中一个关键变量,而科技创新的核心是人才,人才的阵地是教育,必须把教育、科技、人才作为全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。从工程实践角度出发,创新人才指具备创造力、解决问题能力和团队合作能力的人才,能够在复杂多变的社会环境下,提出新的理念、发展新的技术,并为社会进步作出贡献。在现代社会中,创新人才的重要性日益凸显,他们是推动科技创新、经济发展和社会进步的中坚力量。传统的教育体系过于注重知识的灌输和应试教育,培养出来的人才在创新能力和实践能力方面存在不足。因此,必须转变教育模式,重视创新人才的全过程培养和发展。这就需要深入探究创新人才的特点,并寻找合适的培养方法和策略。

2004 年麻省理工学院和瑞典皇家工学院等四所大学创立了 CDIO 工程教育理念——CDIO 代表构思 (conceive)、设计 (design)、实现 (implement) 和运作 (operate),系统地提出了具有可操作性的能力培养、全面实施以及检验测评的 12 条标准^[1]。CDIO 培养大纲将工程毕业生的能力分为工程基础知识、个人能力、人际团队能力和工程系统能力四个层面,要求以综合的培养方式使学生在这四个层面达到预定目标。该教育理念在国外已取得了许多成果,按 CDIO 模式培养的学生深受社会与企业欢迎^[2]。

国防科技大学自 2011 年参加全国 CDIO 工程教育改革会议以来,积极学习各单位的工作经验,在工程实践与创新人才培养体系教育改革方面取得了阶段性的进展。2010 年国防科技大学空天科学学院成立了“空天科学与工程教研团队”,在专业建设、课程改革、教材编著、实践教学、教学管理等多方面,积极开展了较为全面的专业建设和教学改革研究与实践。2011 年年底,空天科学学院参加在南京举办的全国 CDIO 工程教育改革会议,作了关于开展 CDIO 研究与工程教育改革的相关报告。2013 年 11 月 20 日,汕头大学工学院熊光晶教授受邀在国防科技大学“研究生实践教育研讨会”上作了题为“基于 CDIO 的工科专业培养体系”的报告,并与国防科技大学的

教师就如何将 CDIO 模式应用于学生培养进行讨论。

2016 年 6 月,国防科技大学郑伟教授等总结了近年来的专业建设以及教学改革研究与实践成果,出版了《创新人才培养体系研究与建设——空天工程 CDIO 与领导力计划实践》一书。该书围绕国内外工程教育改革趋势、人才培养模式与专业建设、课程体系建设、实践教学体系建设与教学模式改革开展论述,并介绍了研究与建设成果^[3],为探索 CDIO 理念的航天专业本科生工程能力培养模式提供了良好的借鉴和指导建议。

在人才培养方面,虽然教学团队以提高学生的动手实践能力与科技创新能力为目标,对实践教学内容与实践教学模式做了一系列的改革与创新,构建了涵盖本科学习全阶段的多层次实践教学体系,但是对于航天领域卫星方向学生的工程实践与创新能力培养尚未形成科学体系。由于卫星方向涉及的基础课和专业核心课内涵外延丰富,工程应用背景多样,知识结构较为松散,缺乏将书本知识与卫星工程案例相融合的有效手段,导致学生对专业知识的理解停留在书本上,尚未形成科学完整的卫星专业知识体系框架。因此,结合 CDIO 理念,研究涵盖单门课程设计与个人知识体系建立的创新人才教学实践体系,是当前人才培养模式改革的重要指南。

二、关于创新人才培养的供给侧和需求侧分析

(一) 创新人才的特点

“培养什么人”是教育的首要问题。结合工作实践经验,符合新时代要求的创新人才通常具备以下四个特征。

1. 合理的知识结构

当前科学技术的发展突飞猛进,最显著的特点是科学技术不再朝单一方向发展,而是科学理论趋于统一,技术发展趋向综合。学科之间相互渗透、相互交叉,大量新理论、新技术的出现都归功于各学科之间的深度交叉融合。在这样的背景下,培养一名能够适应科学技术发展要求的创新人才,就必须注意引导其构建起合理的知识结构。合理的知识结构应包括基础知识、工具知识、专业知识和人文知识。基础知识是一切创造的根

本,对于学生认清事物的内在本质至关重要;工具知识可以提高学生解决问题的效率;专业知识是科研工作的重要依靠,是对基础知识的综合应用;人文知识有助于学生树立科学的世界观、人生观、价值观,掌握科学的方法论,有利于提高分析问题和解决问题的能力。

2. 较强的工程素养

现代科学技术研究综合性高、实践性强,不但需要宽广、精深的基础知识作为支持,还要求具备解决复杂、综合的实际工程问题的能力,因此要求创新人才具备相当高的工程素养。工程素养就是要求在掌握本学科基础理论的前提下,通过综合相关学科的技术,采用多种有效的手段与方法,完成实际技术产品的能力与素质。为了加强工程素养的培养,对创新人才提出了四个要求:一是树立解决工程问题的意识;二是锻炼从工程问题中提炼学术问题的能力;三是掌握解决工程问题的必要手段;四是提高解决工程问题的能力。

3. 科学的思维方法

在创新人才创新素质的培养上,让学生掌握科学的思维方式,把握创新规律,比单纯教给他们特定的技能或知识更为重要。为此,一方面可以有意识地引导学生进行科研方法论的学习,另一方面可以结合学生具体的学习和研究,灵活地传授各种思维方法。在对创新人才进行思维方法训练时,应强调:坚持辩证唯物主义思想观,特别是用普遍联系的观点看问题;坚持历史唯物主义的思想观,保持思想上与时俱进;培养全面的、系统的思想方法。同时应注重:综合集成,强调综合思维能力;迁移思维,即举一反三的思维方式;发散思维和集中思维相结合。

4. 坚定的科学精神

在创新人才创新素质的培养过程中,应突出强调的一点是注重科学精神的培养。科学精神指的是科学研究素质中的非智力因素,是人的心理素质、意志品质、精神境界的外在表现。必须强调创新人才要牢固树立科学精神,尊重科学和科学规律,以科学的态度和科学的方法认识现实、探索未知,反对一切非理性、反文化、伪科学的观念和倾向,使其养成求真精神、进取精神和合作精神。

(二) 供给侧分析:大学教育现状

“怎样培养人”是教育的关键问题。中国高等

教育注重能力培养,尤其以洪堡式教育模式为代表,该模式侧重于培养学生的动手能力和解决问题的能力,适合大规模培养工程师等技术型人才,是我国在从农业国迈向工业国的发展阶段中主要采用的人才培养模式。结合多年教学经验以及学生反馈,从供给侧出发,对现阶段我国大学教育面临的主要问题进行分析。

1. 教育资源有限

根据国家统计局和教育部的数据,2022 年我国普通、职业本专科在校生达 3,659.4 万人^[4],普通高等学校 2,759 所^[5]。学生群体庞大,势必会使得教育资源分散,大班化教育在所难免,理工科公共基础课上课人数往往能达到 300 人,专业基础课也能达到四五十人的授课规模。大班化教学一方面能使尽可能多的学生有机会接受教育,但另一方面,受到实验设备数量和授课时长等限制,难以满足每个学生全程参与互动的要求。以国防科技大学卫星实践课程为例,现有的卫星相关实验设备价格昂贵,台套数量难以满足人数众多的本科生的使用需求。此外,虽然教师鼓励学生在本科阶段参与到卫星工程项目中,但是卫星项目研制周期大约为一至两年,受限于课程学时,本科生难得有机会全程参与其中,仅有部分研究生才能全程参与。

2. 重理论轻实践

理论是实践的基石,实践是检验真理的唯一标准,但是受限于授课形式与课时,本科课程涵盖范围广,主要以理论课为主,往往到研究生阶段,学生才有时间深入研究^[6]。以卫星方向学生课程为例,涉及卫星工程的专业课程较为广泛,包括材料与结构、热力学、物理学和力学、电子信号等课程。但绝大部分课程都属于理论课,仅有部分课程开设了实验模块。而且由于各门课程由不同的学院承办,课程侧重点与教学实践案例因课而异,对于学生而言,往往在学完一门理论课后难以将理论知识与卫星工程实践串联起来,未能形成贯通式的培养体系。

3. 评价体系不全面

传统的学生评价体系主要采用闭卷考试的形式对学生专业知识掌握程度进行评价,而实践考核在总成绩中占比不高。一般情况下学生只要在考前突击复习,基本上都能取得较为不错的卷面成绩。这种评价体系一定程度上忽视了对学生创

新能力和团队合作能力的培养,待走上工作岗位时学生往往还需比较长的适应期,而事实上能力培养过程才是大学教育的核心和关键,锻炼学生在接受新知识时的学习能力以及应对困难时解决问题的能力远比死记硬背更为重要^[7]。

综上所述,我国教育存在着教育资源有限、重理论轻实践、评价体系不全面的特点。与我国教育模式相对应,美国、英国的大学主要采用纽曼式通才教育,即素质教育,更注重培养团队合作型人才,强调学生在团队中的角色和责任,倡导学生通过合作解决问题,培养创新能力和领导才能。因此,结合我国基本国情,学习西方重团队的教育模式和经验,发扬长处、弥补短板,有助于从培养技术型人才转型成培养技术与领导能力并重的团队型人才。这对于教学形式的转变具有重要的指导意义,对学生的个人成长和发展具有深远的影响。

(三) 需求侧分析:团队实践的启发

“为谁培养人”是教育的核心问题。近年来随着招生规模迅速扩大,学校学生构成在发生变化,学生的毕业去向也更加多样化^[8]。除了部队单位以外,学校为航天工业部门、民营企业等社会机构培养了大批专业人才,学校与企业之间的联系日益加深。航空宇航专业不少学生毕业后步入航天工业部门,继续从事相关领域的相关工作。由于航空宇航专业交叉学科的特点,小至微纳卫星,大至空间站,任何一个飞行器都凝结了很多人的努力与心血,远非一人所能胜任,因此航空航天单位普遍具有偏工程、重团队的特点,与高校重理论的教学方式有很大差异,这也对学生的工程实践能力与创新能力提出了更高的要求。

为了更好地培养适应新时代需求的创新人才,结合多年来与用人单位的交流,从需求侧出发,总结了以下两个要点:(1)与用人单位深度结合,建立校企合作平台。鼓励学校与各行各业的用人单位建立紧密的合作关系,一方面,有助于学校了解行业需求和技术发展趋势,将这些信息融入到人才培养过程中,增强学生专业方向与企业工程需求的黏性;另一方面,企业可以通过合作平台向学校反馈培养建议,并为学生提供进入一线岗位实习的机会,充分锻炼学生的工程实践能力,培养符合行业需求的创新人才。(2)模拟工业部门运营模式,打造学生创新团队。以卫星为例,

学校俱乐部效仿工业部门以项目为导向的运营模式,组建学生创新团队。团队以设计、制造、测试、发射卫星为最终目标,成员根据各子系统分成若干研究小组,围绕卫星平台的硬件与软件进行设计,部分环节与航天工业部门直接对接,合作完成卫星的发射与运营。通过参与创新团队,学生可以接触到前沿的科学研究和技术应用,培养对创新的兴趣和热情,激发他们的创新潜能。

作者所在团队依托“天拓”系列卫星项目,参照航天单位的运营与管理模式,于2009年打造了“纳星研究生创新基地”。该创新基地提供了先进的实验设备和技术支持,为学生创造了充分的实践机会。学生可以在该基地中进行各种与卫星相关的实验和测试项目开发,锻炼实践能力和问题解决能力。此外,学生不仅可以与校内其他团队进行合作交流,还可以前往航天工业部门参与实习实践。14年来,这个以大学生(包括本科生和研究生)为主体的年轻创新团队,相继研制并成功发射了10余颗微小卫星。

2015年,依托“纳星研究生创新基地”,作者组织了仅由研究生和博士生组成的手机卫星研制团队,让学生们在团队中合作,共同完成该卫星的设计、研制、测试、发射、测控等工作。这种团队合作的方式有助于培养学生沟通、协调和合作的能力。在团队中,学生们不仅学会了倾听他人的意见,理解不同观点,而且掌握了通过集体智慧解决问题的能力。此外,通过参加项目,锻炼了学生的领导能力和团队管理技巧,培养了其协调成员、分配任务和推动项目进展的能力。

2021年,整合“纳星研究生创新基地”的资源和经验,团队面向全体本科学生,创建了“天拓卫星俱乐部”,鼓励多年级学生组队参加研讨、实践项目和竞赛等活动,增加高低年级学生间的交流,增强本科学生对卫星的认识,激发学生对卫星的兴趣,提升学生对所学知识的理解和应用能力,促进高水平创新人才的培养。

此前,由于卫星工程涉猎课程广,本科学生前期学习基础课程和专业知识的周期长,到高年级才具备设计卫星和运控卫星系统的专业素质和知识,待完成培养环节后即面临毕业的压力,高年级学生的经验无法传承下来,难以形成闭环继续改进系统,卫星俱乐部的出现可有效解决这一问题。因此,依托卫星俱乐部,召集处于不同学

习阶段的学生组成研究小组，鼓励学生通过参与项目共享实践经验与学习心得，实现教师宏观把控、高年级学生提携低年级学生的闭环迭代，是促进当前人才培养模式改革的有效手段。

三、基于 CDIO 理念的案例研究：国防科技大学天拓卫星团队实践

CDIO 理念是国际工程教育改革的最新成果，卫星俱乐部为 CDIO 人才培养理念的落实和实践提供了广阔的舞台，对于建立培养卫星工程创新人才的教学实践体系具有重要促进作用。通过“航天系统工程”“航天器总体设计与综合实践”等核心课程教学与实践，基于 CDIO 理念，结合卫星俱乐部探索研究卫星方向学生本科阶段贯通式创新实践能力培养的新模式，实现从培养技术型人才到培养技术与领导能力并重的团队型人才的教育模式转变。团队从核心专业课程的 CDIO 闭环结构设计、贯通本科四年的 CDIO 课程培养体系以及俱乐部模式下的 CDIO 贯通式大闭环这三个方面出发，层层递进地展开论证。

（一）核心专业课程的 CDIO 闭环结构设计

基于 CDIO 理念对课程教学进行设计，将课程分为课堂环节和实践环节两大部分。其中课堂环节以学习理论知识为主，包括了“构思”和“设计”两个部分。在构思模块，通过授课教师设定课堂问题情景，引导学生自主学习，分析问题并抽象出问题的模型；在设计模块，授课教师进一步根据问题引导学生联系已有的知识，协助学生初步提出解决问题的思路。实践环节以动手实练为主，包括了“实现”和“运行”两个部分。在实现模块，授课教师给定实验课题，学生通过课堂所学的知识进行编程仿真或实验操作；在运行模块，授课教师验收实践成果，帮助学生进一步分析实验问题^[9]。

以“航天器总体设计与综合实践”课程为例，如图 1 所示，首先在课堂环节对航天器环境、有效载荷设计、结构与机构设计、测控与星载数据管理系统以及航天项目技术管理等方面进行理论知识的介绍与讲解，使学生从构思设计层面对于航天器总体设计要做什么以及怎么做，从理论角度有了一定的了解。然后在综合实践环节，围绕卫星姿态、电源、结构、轨道分系统进行实现与运行，包括微纳卫星姿轨控半实物仿真实验、微纳卫星电源系统半实物仿真实验、航天器数字化构形设计与结构装配实验以及航天器轨道仿真与特性分析实验。在实践过程中反思遇到的问题和困难，再通过温习书本、请教老师和学长、搜集参考文献等方式，不断巩固和加深对知识的理解，做到将课本知识与工程实践融会贯通、知行合一。

以“航天器总体设计与综合实践”课程为例，如图 1 所示，首先在课堂环节对航天器环境、有效载荷设计、结构与机构设计、测控与星载数据管理系统以及航天项目技术管理等方面进行理论知识的介绍与讲解，使学生从构思设计层面对于航天器总体设计要做什么以及怎么做，从理论角度有了一定的了解。然后在综合实践环节，围绕卫星姿态、电源、结构、轨道分系统进行实现与运行，包括微纳卫星姿轨控半实物仿真实验、微纳卫星电源系统半实物仿真实验、航天器数字化构形设计与结构装配实验以及航天器轨道仿真与特性分析实验。在实践过程中反思遇到的问题和困难，再通过温习书本、请教老师和学长、搜集参考文献等方式，不断巩固和加深对知识的理解，做到将课本知识与工程实践融会贯通、知行合一。



图 1 “航天器总体设计与综合实践”课程的 CDIO 闭环结构

（二）贯通本科四年的 CDIO 课程培养体系

针对尚未形成体系化培养模式的问题，基于 CDIO 理念建立贯通本科四年的一体化课程体系，构建由专业导论与基础课、专业特色与拓展课、专业综合与实践课、参与任务实施组成的四级教学新体系，如图 2 所示。

专业导论与基础课构成教学新体系第一级，主要面向大一、大二低年级本科生，包括导论类课程、力学系列课程、热学系列课程等基础课，

目的是引导学生构思卫星设计蓝图，通过导论课程的学习对卫星工程包含哪些方面、成为卫星工程师需要哪些领域的知识有一个总体了解，通过基础课的学习为后续设计环节的开展打下扎实的理论基础。与此同时，卫星俱乐部定期邀请业内专家开展前沿技术讲座，有助于低年级本科生开拓视野、挖掘兴趣、锚定方向，为未来的职业发展作初步的规划。

专业特色与拓展课构成教学新体系第二级，主

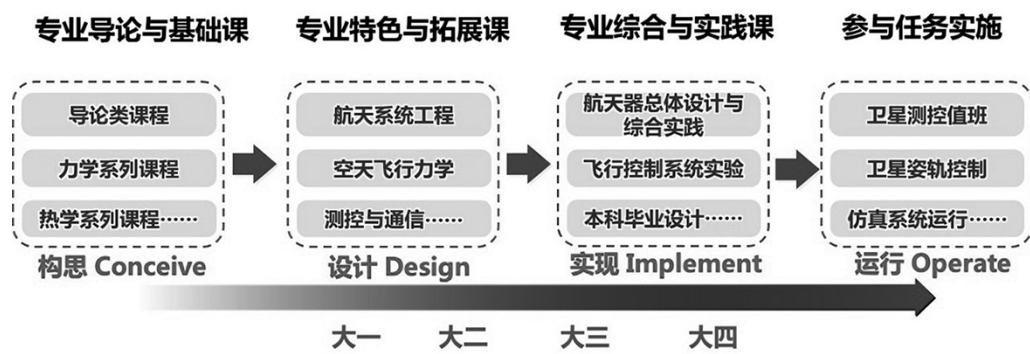


图 2 本科四年卫星方向专业课对应的 CDIO 课程培养体系

要面向大二、大三中低年级本科生，包括航天系统工程、空天飞行力学、测控与通信等专业课，目的是加强学生对专业知识的理解，提高学生运用所学知识设计技术方案、解决工程问题的能力，通过专业课的学习深入剖析卫星本质，为后续实现环节的落实做好充分的准备。在前两个阶段的铺垫下，本科生已具备良好的科学素养和科研能力。卫星俱乐部面向中低年级学生发布竞赛选题，指导学生参与大学生创新创业比赛、空天科技文化节等活动，将书本知识与前沿技术融会贯通。

专业综合与实践课构成教学新体系第三级，主要面向大三、大四中高年级本科生，包括航天器总体设计与综合实践、飞行控制系统实验、本科毕业设计等，目的是通过软件编程、实物与半实物仿真，实现设计方案落地，将理论转化为实践，培养学生独立学习、自主创新、团队合作的综合能力，通过实践课的训练锻炼学生发现问题、解决问题的能力，为后续运行环节的顺利实施埋下伏笔。卫星俱乐部除了为学生提供试验平台、仿真系统以及技术支持以外，还为学生提供论文撰写指导、专利申请教学等服务，促进学生创新成果的转化与落地。

参与任务实施构成教学新体系第四级，主要面向大四年级的本科生，包括卫星测控值班、卫星姿轨控制、仿真系统运行等。对于分配到部队单位的学生，在校期间通过深度参与卫星遥控遥测任务，掌握解决卫星工程问题的方法，毕业后进入工作岗位能更快地适应工作环境，甚至可以直接进入岗位角色，同时也有助于将先进的卫星技术前沿概念带到基层单位。对于到航天工业部门和民营企业就业的学生，在校期间通过专业课程学习与俱乐部课外拓展，全方面了解卫星各分

系统的技术细节，有助于学生发现自己研究的兴趣点，帮助学生进行职业选择和规划，在卫星俱乐部获得的充实的研究经历和开阔的眼界可以使得学生更具岗位竞争力。此外，通过对学生的协作能力和领导能力的锻炼，学生的综合水平和核心竞争力得到显著提高，为未来成为下一任总师、总指挥奠定了基础。

（三）俱乐部模式下的 CDIO 贯通式大闭环

探索卫星俱乐部实践教学运行机制及标准化实验室建设，是顺利推进教学模式改革的关键问题，其首要任务是完善俱乐部学生委员会、学术沙龙、技术培训等日常运行机制，落实俱乐部规范化管理与制度化管理。卫星俱乐部由学术委员会、文档委员会与组织委员会组成，三大委员会各司其职在指导教师们的带领下开展活动。其中学术委员会下辖卫星姿态动力学、轨道动力学、能源、结构、通信等若干研究小组，各研究小组由负责老师以及本硕博各阶段学生组成，围绕各分系统相关技术问题开展研究。文档委员会负责统计俱乐部相关成员名单，收集存档各类文本资料，管理和维护实验室设备和平台，发布本科生毕设课题并跟进毕设完成情况。组织委员会负责组织各类讲座、研讨、技术培训、比赛宣讲等活动，每年依托“航天器总体设计与综合实践”等实践课程发布卫星相关项目课题。

由于现有卫星方向实践教学体系较难实现教学系统复杂度与教学周期的平衡，本科生前期学习基础课程和专业知识的周期长，到高年级才具备实现卫星设计和运控卫星系统的专业素质及知识水平，待学生完成 CDIO 四个培养环节后即面临毕业的问题，培养环节无法形成闭环继续改进系统，学生能力提升速度的瓶颈难以突破。因此，

针对本科生难以完成从构思→设计→实现→运行→构思（CDIO - C）迭代改进的闭环实践这一问题，依托卫星俱乐部平台，将不同年级不同阶段的学生集结起来，共同完成一项卫星项目，实现低年级“构思 + 设计”到高年级“实现 + 运行”，再到低年级“构思 + 设计”的良性反馈，如图 3 所示。首先，在高年级学生的指导下，低年级学生调研国内外研究现状，分析任务总体需求，根据任务要求及约束初步构思任务方案，并分析任务可行性。其次，中低年级学生结合专业课知

识，在前期调研构思的基础上，设计具体实施方案，制定切实可行的技术路线，并由高年级同学协助改进设计方案。再次，中高年级学生基于前辈研究经验落实设计方案，分工进行部组件研制/采购、卫星轨道仿真、整星集成测试等。最后，高年级学生根据任务落实情况运行卫星系统，实现卫星测控、卫星在轨试验和地面模拟运行等。与此同时，高年级将运行过程中遇到的问题及时反馈给其余环节负责人，改进构思、设计和实现方案，实现系统优化升级。

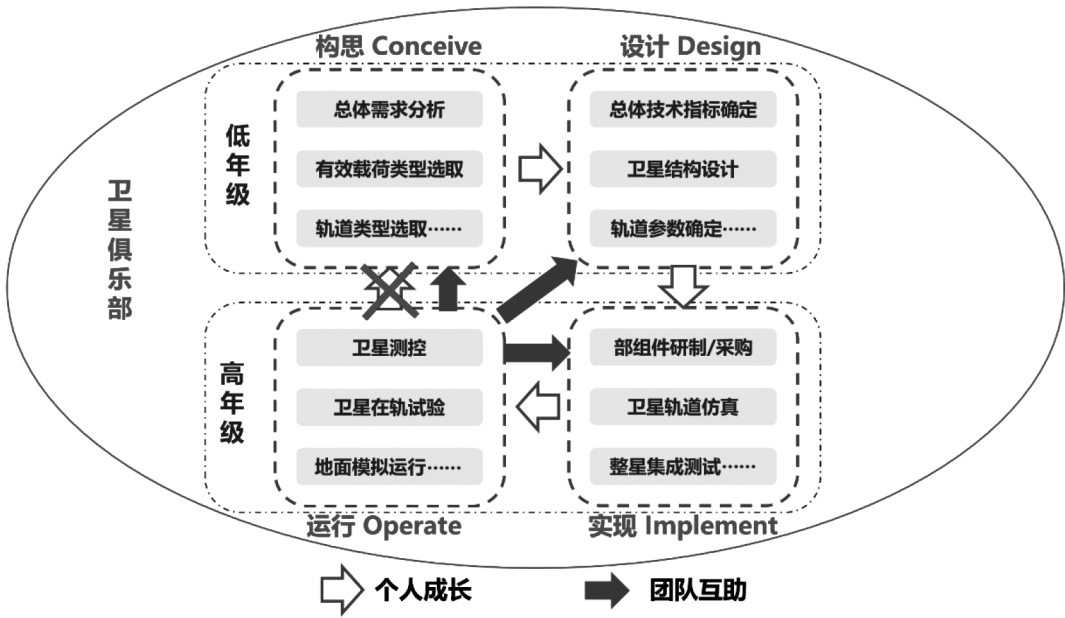


图 3 俱乐部模式下的 CDIO 贯通式大闭环

在这样的培养体系下，就学生个人成长而言，经历了构思—设计—实现—运行四个环节，实现了个人工程能力和创新实践能力的培养和锻炼。此外，大四学生在完成了一个 CDIO 大闭环以后，其所获得的经验教训和改进建议就可以在项目过程中通过团队互助的方式反馈给低年级的学生，实现 CDIO - C 闭环迭代改进实践教学。

综上所述，通过核心专业课程的 CDIO 闭环结构设计、贯通本科四年的 CDIO 课程培养体系以及俱乐部模式下的 CDIO 贯通式大闭环，构建基于 CDIO 理念 + 卫星俱乐部的三位一体人才培养教学实践体系，最终实现学生理论功底、创新能力、实践能力、协作能力和科学素养的全面发展，培养符合新时代要求和就业需求的创新人才。

四、总结

本文首先介绍了 CDIO 工程教育理念，其次归纳总结了创新人才的特点，从供给侧和需求侧出发，探讨了创新人才培养理念和方法。最后，基于 CDIO 理念，以卫星俱乐部实践为例，研究创新人才培养模式改革思路和策略。在课程结构设计方面，分别从“构思 + 设计”与“实现 + 运行”两个维度，开展核心专业课程结构设计，强调理论知识与课程实践相结合。在课程体系搭建方面，建设贯通本科四年的一体化课程体系，构建“构思、设计、实现、运行”四级教学新体系。在闭环实践方面，依托卫星俱乐部，研究低年级“构思 + 设计”到高年级“实现 + 运行”再到低年级

式，以军队价值理念、军校特有的精神谱系为主要内容，更新楼堂馆所、主干道等部位的标语和宣传画，让官兵在视觉震撼和思想激荡中潜移默化地受到教育熏陶。

参考文献：

[1] BARICH H, KOTLER P. A framework for marketing image management[J]. Sloan Management Review, 2016,32(2):94-104.

[2] ARPAN L M, RANEY A A, ZIVNUSKA S. A cognitive approach to understanding university image[J]. Corporate Communications An International Journal, 2003, 8(2): 97-113.

[3] ALVES H, RAPOSO M. The influence of university image on student behaviour[J]. International Journal of Educational Management, 2010, 24(1):73-85.

[4] 吴晓, 陈闻晋. 试论高等学校 CI 战略[J]. 中国电力教育, 1997(4):13-15.

[5] 范如国, 吴迪斌. 高等学校的创新工程: UI 形象设计[J]. 教育发展研究, 1999(4):47-50.

[6] 刘刚, 吴丹, 张雪霞. 彰显与提升: 大学形象战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015:125-193.

[7] 徐厚礼, 张树龙, 尹嫚. 军队高等教育院校分类研究[J]. 军事交通学院学报, 2019, 21(3):77-79, 94.

(责任编辑：高 娟)

(上接第 17 页)

“构思 + 设计”的 CDIO - C 闭环迭代体系。通过构建从单门课程设计到个人知识体系建立再到多年级知识迭代的“点线面”三位一体的 CDIO 教学实践体系，形成了体系化的卫星创新人才培养机制。一方面培养了具备合理的知识结构、较强的工程素养、科学的思维方法、坚定的科学精神的优秀创新拔尖人才，另一方面作为 CDIO 理念与国产俱乐部融合的成功案例，为其他教学单位提供了有益参考。

参考文献：

[1] 克劳雷, 马尔姆奎斯特, 奥斯特伦德, 等. 重新认识工程教育: 国际 CDIO 培养模式与方法[M]. 顾佩华, 沈民奋, 陆小华, 译. 北京: 高等教育出版社, 2009: 31.

[2] 张英. 基于 CDIO 理念我国机械设计制造及其自动化专业本科课程体系研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 20-39.

[3] 郑伟, 李健, 张为华, 等. 创新人才培养体系研究与建设: 空天工程 CDIO 与领导力计划实践[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017: 97-131.

[4] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL](2023-02-28)[2023-06-01]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/28/content_5743623.htm.

[5] 中华人民共和国教育部. 全国高等学校名单[EB/OL](2022-06-17)[2023-06-01]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/s5743/s5744/A03/202206/t20220617_638352.html.

[6] 谢燕, 蒋建平, 李健, 等. 基于航空航天专业 CDIO 课程体系分析 MIT 本科教学特点[J]. 高等教育研究学报, 2012, 35(3): 40-44.

[7] 陆国栋. 我国高等教育的特点分析与发展路径探索[J]. 中国高教研究, 2015(12):14-17.

[8] 周剑勇, 陈青全, 雷勇军. 航天类学员实践能力培养的探索与思考[J]. 高等教育研究学报, 2023, 46(1): 35-41.

[9] 蒲会兰, 丁世文, 李敏之, 等. CDIO 教育理念在“数据库技术及应用”课程教学中的应用[J]. 计算机时代, 2022(2): 119-121.

(责任编辑：高 娟)