

基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养模型

——以系统仿真方向研究生培养为例

陈 彬, 谢 旭, 江小平
(国防科技大学 系统工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 在产学研结合越来越紧密的背景下, 基于实践的研究生创新能力培养成为高校工科类学科面临的重要问题。本文以控制学科与工程系统仿真方向研究生培养为例, 提出一个基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型。该模型考虑了研究生培养过程中需要关注的问题牵引、课题驱动、学科交叉和工程实践四个重要方面, 给出了研究生创新能力培养的解决方案。最后, 通过化学工业区大气污染物监测和管理案例, 给出了模型的具体应用, 培养结果证明了模型的有效性。

关键词: 问题牵引; CDIO 模式; 五边形模型; 大气污染物监测
中图分类号: G643 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8874 (2019) 04-0053-05

A CDIO Model for the Training of Innovative Ability of Postgraduates: The Case of Postgraduates Majoring in System Simulation of Control Science and Engineering

CHEN Bin, XIE Xu, JIANG Xiao-ping
(College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: With increasingly greater integration of production, learning and research, the cultivation of practice-based innovation ability of postgraduates has become an important problem faced by engineering disciplines in colleges and universities. We propose a pentagon model for the training of innovative ability of postgraduates based on CDIO model in the cultivation of postgraduates majoring in system simulation of control science and engineering. This model gives consideration to four dimensions which are important in the cultivation process: problem-based learning, participation in projects, integration of disciplines and practice in engineering, offering a solution to the innovative ability training. The problems of monitoring and management of atmospheric pollution in chemical industrial park is used as the case study. The results validate the pentagon model.

Key words: problem-leading; CDIO mode; pentagon model; atmospheric pollution monitoring

一、引言

2000 年, 美国麻省理工学院 (MIT) 等四所工程大学联合创立了 CDIO 工程教育模式。自 2015 年引入中国之后, 该模式目前已经成为研究生培

养中的重要方式^[1]。CDIO 是构思 (Conceive)、设计 (Design)、实施 (Implement)、运作 (Operate) 四个英文单词的缩写。“构思”是要明确需求, 考虑技术、制度等因素, 提出相应概念、技术和计划; “设计”指制定开发的产品系统所需的各种计划等; “实施”指把设计转变为产品的过程; “运

行”指对产品系统的维护、优化和淘汰等。CDIO 教学大纲将工程教育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，大纲要求以综合的培养方式使学生在四个层面达到预定目标。随着学术界和产业界之间的界线越来越模糊，解决产业界的实际问题已经是研究生阶段学习的重要能力素质。控制科学与工程是一个典型的工程技术类学科，该学科的研究生培养要求之一就是具备解决生产生活中的实际问题的科研能力。本文以控制科学与工程学科的系统仿真方向为例，在 CDIO 模式的指导下提出了一种研究生创新能力培养的五边形模型。

二、基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型

为了突出实际应用问题牵引，规范研究生培养过程，本文提出一种基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型。下文从研究生培养的重要关注点阐述如何提出五边形模型。

1. 研究生培养的重要关注点

(1) 本科阶段的学习是依据培养大纲严格按照课程体系一级一级地上台阶，如图 1 所示。研究生培养则多以指定问题空间下的探索为主。因此，依据学员的知识能力基础，设置合适的问题牵引是培养过程中至关重要的一环。问题的来源既不

能是理论高地上的空中楼阁，也不能是简单的重复，需要在实际场景中寻找合适的难度的问题作为牵引。

(2) 在研究生阶段，学员在课程以外更多地要聚焦课题研究。学员首先要融入课题，找到合适的定位；其次，培养实践和协作能力；再次，锻炼交流能力，包括应用需求交流和工程交流两个方面。因此，课题驱动已经取代课程驱动成为主要的学习推动模式。

(3) 学科交叉是目前整个学术界的共识，在人工智能和大数据的时代，任何一个单独的学科门类闭门造车都很难获得创新性的成果。对于研究生培养也是一样，本专业的知识体系是基础，必须要融会贯通其他专业的知识才能解决问题^[2]。以控制科学与工程的学生为例，在本专业课程学习的基础上，还应掌握计算机学科、数理统计学科的知识才能具备创新能力。

(4) 参照研究生培养目标，工程实践是研究生创新能力的试金石。学员应具备将解决问题的方法和工具最终应用到实际问题场景的能力。只有在实践中真正解决问题，才能评估研究生的能力养成是否合格。因此，在问题的牵引下，研究生创新能力培养最终要进入具体工程实践环节。

综上，研究生创新能力培养需要关注问题牵引、课题驱动、学科交叉和工程实践四个方面。

2. 五边形模型的提出

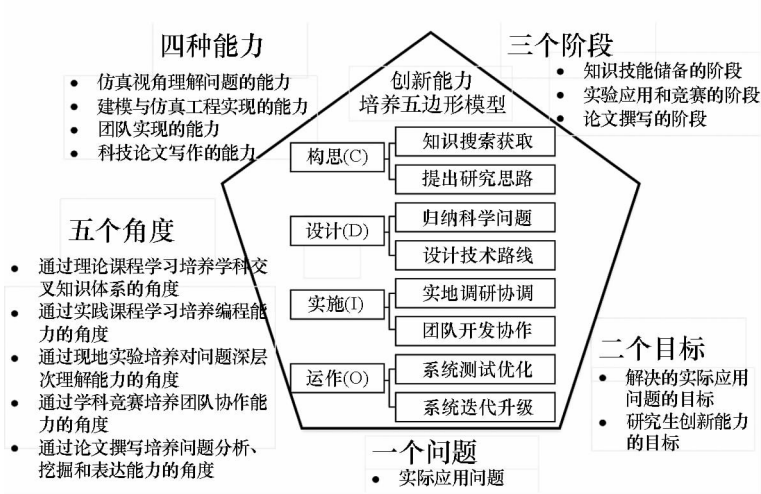


图 1 基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型

基于研究生培养的重要关注点，本文提出一种基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型。CDIO 工程教育模式是五边形模型的内核。其

中，构思表示知识搜索获取和提出研究思路的过程；设计表示归纳科学问题和设计技术路线的过程；实施表示实地调研协调和团队开发协作的过

程；运作表示系统测试优化和迭代升级的过程。

五边形的五条边与 CDIO 模式紧密耦合、相辅相成。第一边代表一个问题，即一个具体与实际应用紧密相关的问题，突出了问题牵引的需要；第二边代表二个目标，包括解决实际应用问题的目标和培养研究生创新能力的目标，突出两个都要达到的目标；第三边代表三个阶段，包括知识和基本技能储备阶段、实验应用和竞赛阶段、论文撰写阶段，突出了学科交叉和课题驱动的需要；第四边代表四种能力，包括从仿真视角理解实际问题的能力、建模与仿真工程实现能力、团队协作能力、科技论文撰写能力，突出了课题驱动和工程实践的需要；第五边代表五个角度，即贯穿研究生创新能力培养的五个角度，分别是：（1）通过理论课程学习培养解决实际应用问题的学科交叉背景知识体系的角度；（2）通过实践课程学习培养实际问题需要的编程能力的角度；（3）通过参与项目和现地实验培养对实际问题深层次理解能力的角度；（4）通过参与学科竞赛培养解决实际应用问题团队协作能力的角度^[3]；（5）通过学术论文的撰写培养研究生的分析、挖掘和表达能力的角度。

通过五边形模型，可以无缝地覆盖研究生创新能力培养需要关注的问题牵引、项目驱动、学科交叉和工程实践四个方面。

三、五边形模型在系统仿真方向研究生培养中的应用

控制科学与工程学科下的系统仿真方向是一个典型的以工程技术为核心的学科方向。这是一个以建模与仿真理论为基础，以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具，根据研究目标，建立并运行模型，对研究对象进行认识与改造的综合性、交叉性的研究方向。下文从系统仿真方向研究生培养要求、在实际问题场景中能力培养实践以及研究生培养效果三个方面进行阐述。

1. 系统仿真方向研究生的培养要求

系统仿真方向的研究生培养对象大多来自于控制科学与工程学科下的仿真工程本科专业。通过四年本科的学习，仿真工程本科专业学员的知识体系由系统仿真、数理基础和计算机基础三个主要部分组成^[4-5]，如图 2 所示。学员已经系统学习了包括连续系统仿真和离散事件仿真在内的基本仿真实论方法，具备了面向对象建模和仿真的能力，特别是对于模型校验和仿真工程实践也进行了培训。因此，系统仿真方向的研究生培养对象对于系统仿真的定义和范畴有了一定的认识，具备了一些工程实践能力，也了解了部分仿真软件的使用方法。

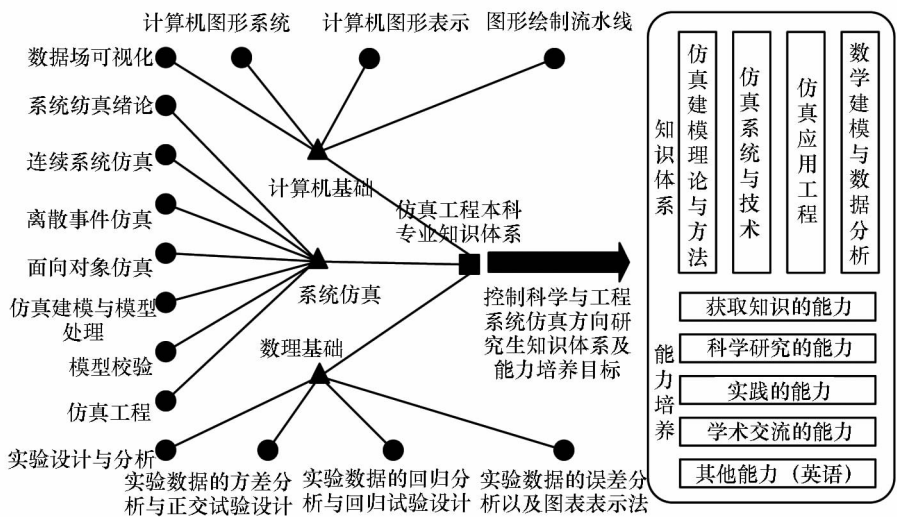


图 2 仿真工程专业本科学员知识结构和研究生能力的培养要求

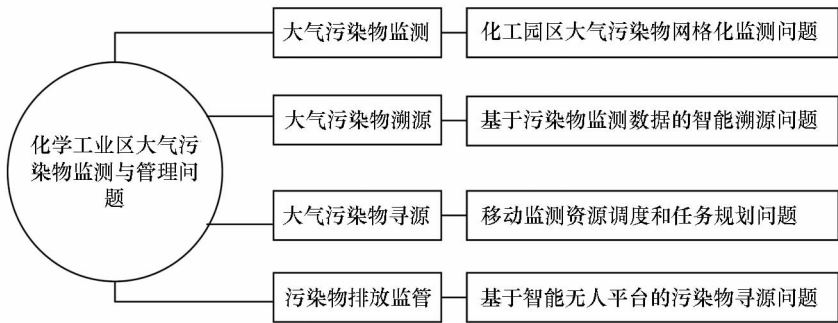
系统仿真方向研究生培养大纲的培养目标分成知识体系和能力培养两大块，如图 2 右部所示。首先，要求研究生建立仿真理论与方法、仿真系

统与技术、仿真应用工程和数学建模与数据分析的知识体系；其次，需要培养完备的获取知识的能力、科学研究的能力、实践的能力、学术交流

的能力以及其他能力等。可以看出，基于 CDIO 模式的五边形模型紧密契合系统仿真研究生的培养要求。以五边形模型为指导，在实际问题场景的

牵引下，可以帮助研究生高效地达到培养目标。

2. 系统仿真方向研究生培养的实际问题场景



本文基于系统仿真研究方向研究需要，选择化学工业区作为实际应用问题场景。化工生产是我国大气污染的主要原因之一，化工生产不安全、不环保不仅会造成更加严重的环境问题，极端情况下，由于有害气体的泄漏和爆炸会引起极其恶劣的突发事件，造成不可估量的生命、财产损失。仅 2016 年大型化工爆炸事故就达到 9 起之多，如四川精细化工设计研究院一车间爆炸事故；大唐多伦煤化工甲醇罐爆燃事故；山西阳煤化工园区粗苯罐爆炸事故等。化工事故大多是由于有害气体泄漏导致的，而缺乏对有害气体的有效监管导致了这些事故的发生，从而造成了无可挽回的损失。因此，为了实时的评估化学工业区的大气质量动态变化以及对城市中重点排放源、污染源的有效监管，亟须开发一个结合常规监测、立体监测和移动监测于一体大气综合观测技术，并在发生重大污染源泄漏或排放事件时，做到及时定位与寻源，从而减小事故带来的损失。

基于对化工园区环境大气污染物监管实际监测的需求，本文梳理了化学工业区环保监测需要解决的实际问题体系，包括四个方面：大气污染物监测、大气污染物溯源、大气污染物寻源以及污染物排放监管，如图 3 所示。需要解决的具体问题包括：化工园区大气污染物网格化监测问题、基于污染物监测数据的智能溯源问题、移动监测资源调度和任务规划问题以及基于智能无人平台的污染物寻源问题。

3. 基于五边形模型的研究生能力培养实践

在实际应用问题的牵引下，五边形模型在实

际问题场景中引用如图 4 所示。以 CDIO 模式为核心，基于系统仿真研究生的知识体系展开问题的研究。构思阶段需要仿真建模理论与方法和数学建模与数据分析的支持；设计阶段则在前面的基础上考虑仿真系统与技术方面的知识；实施和运作则需要仿真系统与技术 and 仿真应用工程的专业知识。同时，数学、计算机和仿生学科的知识也融入项目的设置中，通过学科交叉覆盖到完整的问题场景。在该场景中五边形模型五条边的内涵如下：（1）解决化学工业区大气污染物监测与管理问题；（2）在解决化学工业区实际问题的同时，实现对研究生在大气污染物管理问题中创新能力的培养；（3）培养的过程分成三个阶段，分别是化学工业区大气污染物监测与管理的知识储备和技能储备阶段，大气污染物扩散与监测管理的实践探索和参与主题竞赛阶段，以及大气污染物监测与管理论文撰写阶段；（4）基于这三个阶段的培养，从五个角度出发，分别是通过理论课程学习形成化学工业区大气污染物监测与管理学科交叉知识体系，通过实践课程掌握大气污染物扩散模拟、溯源方法实现需要的编程技术，通过化工区现地实验建立对实际问题场景更深层次认识，通过参与学科竞赛培养形成大气污染物监测、溯源、管理问题体系的团队协作能力^[6]；以及通过环境类仿真方向期刊论文的撰写培养研究生分析、挖掘和表达能力；（5）培养了研究生利用仿真视角理解化学工业区大气污染物监测与管理的能力，对于大气污染物扩散和监测工程实践能力，团队协作能力以及相关科研报告和论文的撰写能力。

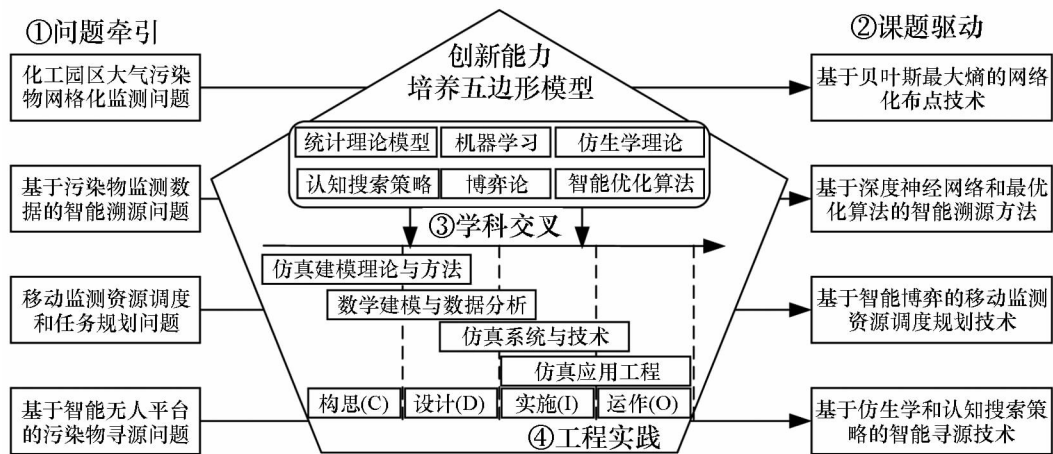


图 4 五边形模型在实际问题场景中的应用

基于五边形模型，对应四个具体的应用问题，课题组设置了“基于贝叶斯最大熵的网格化布点技术”“基于深度神经网络和最优化算法的智能溯源方法”“基于智能博弈的移动监测资源调度规划技术”和“基于仿生学和认知搜索策略的智能寻源技术”四个研究生课题。在这四个课题的驱动下，研究生开展工作首先对计算机、大气扩散、环境管理、仿生等交叉的学科知识进行积累；其次，加深对大气扩散、传感器布设、污染物溯源和寻源问题深入理解后展开工程实践工作；最后，利用实践的成果参与学科竞赛，进行论文撰写，达到能力培养目标。课题的设置充分考虑了研究生创新能力培养需要重点关注的问题牵引、课题驱动、学科交叉和工程实践四个方面。

4. 研究生培养效果

基于前文所述的方法，作者所在的课题组建立了一个“化学工业区大气污染物监测与管理”讨论组。讨论组由两名博士研究生和三至四名硕士研究生组成。近年来，在这个实际问题的牵引下培养了近十名研究生，研究生均具备前往化学工业区开展现场实验（如图 5 所示）和参与学科竞赛以及撰写学术论文的经历。其中，申请到国外读学位的博士研究生 1 名、联合培养博士生 1 名；参加学科竞赛 20 余人次，获得全国计算机仿真大奖赛特等奖 1 组、一等奖 1 组、二等奖 3 组、湖南省挑战杯竞赛一等奖 1 组、军事建模竞赛二等奖 2 组、湖南省互联网+竞赛二等奖 1 组、长城杯军队大学生竞赛三等奖 1 组；发表学术论文 40 余篇，SCI 检索论文 20 篇；形成的学术和科研成果为国家自然科学基金项目、国家重点研发计划项

目以及上海市经信委项目等提供了支持。



图 5 研究生在化学工业区开展的现场实验

四、结语

在国家科研方向调整 and 实际问题需要的背景下，研究生创新能力的培养必须和应用紧密结合起来。本文以控制科学与工程学科专业下系统仿真方向研究生培养为例，提出基于 CDIO 模式的研究生创新能力培养五边形模型。该模型从五个角度梳理了研究生培养中需要关注的问题牵引、项目驱动、学科交叉和工程实践四个关键环节。结合化学工业区大气污染物监测与管理的实际问题，在五边形模型的支持下给出了课题设置方案。通过研究生培养的结果来看，本文提出的模型能够有效地提高研究生获取知识的能力、科学研究的能力、实践的能力、学术交流的能力等，达到了系统仿真方向研究生培养的目标。