**持续提升自动化专业学生解决复杂工程问题能力的探索**

王国霞，李擎，李希胜，安翠娟

（北京科技大学 自动化学院，北京 100083)

**摘要：**解决复杂工程问题能力是工程教育首要任务就是培养学生解决复杂工程问题的能力，本文从国际、国内、自动化专业的视角，对复杂工程问题和解决复杂工程问题的能力要求进行了研究和分析，并且从课程体系搭建、教学手段的改进和教学模式改革、教学评价改革等几个方面给出了持续提升自动化专业学生解决复杂工程问题能力的方法，此系列方法在教学应用中取得了可喜效果。

**关键词：**工程教育认证；复杂工程问题；解决复杂工程问题的能力；工程教育；

**一、复杂工程问题特征界定**

国际上的《华盛顿协议》和我国的《工程教育认证标准》中，对复杂工程问题的特征都有明确定义和界定。我校自动化专业结合学校和学院专业的人才培训定位和培养目标，并经校内外专家充分研讨，也对复杂工程问题的特征给出了界定，如表1所示。对表1中复杂工程问题特征进行对比分析，对自动化专业复杂工程问题的多方面进行了强调。

**1需要的知识范畴**

在《协议》和《标准》中W1和C1中都强调了复杂工程问题的分析和解决要运用深入的工程原理和各种工程知识。我校自动化专业强调有四[5]：（1）U1强调了知识主要来源于自动化专业领域的工程知识；（2）U3中也强调了运用深入的工程原理知识；（3）U5强调了所需知识来源不是单一课程而是多门课程知识的综合；（4） 对知识的掌握程度不再仅限于“理解”、“掌握”等，而是“经过分析”并“深入”“运用”到实践中来解决工程问题。

诚然，解决工程问题需要必要的知识，诸如工程原理、工程实践、工程设计、文献研究等多类型的知识。这些知识不拘泥于某一学科或某几个学科，而是具有很强的学科交叉的特征，这也是工程问题复杂性的体现之一。

**2复杂问题类型界定**

基金项目：教育部第二批新工科研究与实践项目（E-ZDH20201602）；教育部自动化类专业教学指导委员会专业教育教学改革研究课题（202149）；中国学位与研究生教育学会研究课题面上项目（2020MSA117）

“复杂工程问题”一词的核心在工程”，即首先是工程问题。“工程”体现出了工程

的本质。即以实际应用作为目的，即在一定的实际场景中，改造客观世界以满足人们的各种

需求。完成工程问题，可用性、经济性、稳定性为首要考虑的问题。而完成工程问题除了需要工程知识和原理的复杂性，其解决过程中也不限于要协调诸多的人力、物力、环境等等诸多因素，这也是工程问题的复杂性体现另外之一。

《协议》和《标准》中的W3和C3、W4和C4、W5和C5、W7和C7都对复杂问题的类型进行了界定,也是对工程问题的复杂性进行一定程度的界定。

W4和C4强调工程的复杂性在于问题不常见。实际的工程问题面临着多而复杂的因素，所面临的问题自然不会是熟悉的，问题不常见体现出了工程问题的复杂性。W3和C3则强调工程问题的解决方案的不确定性，针对不同的、新出现的不常见工程问题建立新的模型，并能给出原创解决方案。

W5和C5强调了复杂工程问题中无法应用现有的工程实践标准和规范。只有已经出现过或可预测的工程问题中可利用现有的实践标准和规范，而复杂工程问题所涉及因素复杂，且随着新技术出现速度的提升更是不可预知。

W7和C7把工程看成一个完整系统来考虑，而复杂工程问题包括了多个子系统，这也就强调了工程问题的另一种复杂性，即涉及子系统数量庞大、结构复杂，同时系统各部分或各子系统间相互作用使其呈现出非线性的特点。

表1 复杂工程问题的特征界定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 华盛顿协议 | 中国《工程教育认证标准》 | 我校自动化专业的界定 |
| W1:必须有深入的工程知识才能解决，这些知识是指能够运用基本原理分析方法的一个或多个知识要求； | C1:必须运用深入的工程原理，经过分析才能得到解决 | U1:必须来源于自动化专业领域的工程实际问题； |
| W2:涉及大范围的或有冲突的技术、工程和其他问题； | C2:涉及多方面的技术、工程和其它因素，并可能相互有一定冲突； | U2:具有非线性、时变、随机性、不确定性、含有已知和未知干扰，无法用经典方法建立被控对象数学模型的问题； |
| W3:没有明显的解决方案，需要抽象思维及原创性分析以形成合适的模型； | C3:需要通过建立合适的抽象模型才能解决，在建模过程中需要体现出创造性； | U3:必须运用深入的工程原理经过分析才可能得到解决的问题； |
| W4:涉及不太常见的问题 | C4:不是仅靠常用方法就可以完全解决的； | U4:存在一定的约束，技术指标要求多，且有可能相互冲突的问题； |
| W5:属于专业工程实践标准和规范涵盖范围之外的问题； | C5:问题中涉及的因素可能没有完全包含在专业工程实践的标准和规范中； | U5:涉及多门课程，无法用单一课程的理论和知识解决的问题。 |
| W6:涉及多种不同的利益相关者群体，他们具有广泛变化的需求； | C6:问题相关各方利益不完全一致； |  |
| W7:属于高水平问题，包含许多组成部分或子问题。 | C7:具有较高的综合性，包含多个相互关联的子问题。 |  |

我校自动化专业对复杂问题类型作一下界定【5】：

(1)U1强调复杂问题的来源是来自自动化专业领域，并要求是实际问题，说明了问题的不确定性、复杂性等；（2）U2强调复杂问题是非线性的、时变性的、随机性的、不确定的、含有已知和未知的问题；同时也强调这些问题无法用现有经典方法建立被控对象模型；（3）U3和U5分别强调这些问题要经过深入分析才可找到解决的问题；U2、U3和U5一方面说明了复杂工程问题不常见的特征，U2也说明了复杂工程问题超出现有专业工程标准和规范的特征，体现了解决问题方法的不确定性；U2、U3和U5说明复杂工程系统的特点和涉及因素的繁杂和不可预知。

**3存在冲突类型**

复杂工程问题复杂性体现之一在于复杂工程问题涉及因素的复杂性和不确定性。《协议》和《标准》中的W2和C2、W6和C6给出了复杂工程问题存在冲突的类型。W2和C2说明了从实际工程系统的内部来看，其内部因素可能存在冲突；同时工程的本质在于改造客观世界为人所用，除了工程内部因素外，工程问题和外部的诸多因素也会存在冲突，诸如环境、能源、伦理道德、可持续发展等等。这些冲突密切相关者且涉及不同的利益相关者，它们对各自利益诉求不断变化会进一步增加工程问题的复杂性，这一特征在W6和C6中得以体现。

这我校自动化专业的U4则强调了自动化领域的工程问题存在一定约束，技术指标多而可能存在的冲突。该项特征界定主要基于U1中规定的必须来源于自动化领域工程问题，从工程系统的内部和外部技术冲突进行了界定。

**二、解决复杂工程问题具备的能力分析**

《协议》和我国的工程教育专业认证协会都制定了等效的毕业生能力要求标准，如表2所示。《标准》从12个方面对毕业生的能力提出了要求，其中有8个方面都是针对“复杂工程问题”的，由此可见培养学生解决复杂工程问题的能力的重要性可见一斑。

我校结合自身特点提出了自动化专业毕业生能力标准，与《协议》和《标准》中提出的能力标准进行对比，如表2中所示。

从表2看出，我校自动化专业从以下几个方面来要求学生应具备的解决复杂工程问题的能力：

（1）问题提出的能力。实际上，针对任何的工程问题，首要能力就是找到问题，并能准确地提出问题，提出问题和解决问题相比，准确提出问题的能力更为重要。找到问题、界定问题是分析和解决问题的前提。准确界定问题需要深入运用工程原理和工程知识，深入调查工程项目，进行文献研究分析等，然后对问题准确表达。

该项能力还需要学生具备问题意识，我们的教育一直存在重知识、轻问题的弊病，也就是过分关注给予学生知识，而忽视引导学生具备问题意识。问题意识可以让学生关注生活和工程实践之间的联系，进而促使学生理论联系实际，从而提高解决实际工程问题能力。从大到世界性问题，比如能源危机、环境问题、气候问题等等，到个人生活中的小问题，都要有问题意识。问题意识可以引领学生关注实际需求、想象需求、创造需求，从而找到满足需求的方法，产生创新方法和产品。

（2）分析问题的能力。传统分析问题的方法就是通过建立问题模型进行分析，而复杂工程问题不常见，以及复杂工程系统的各种因素的复杂特性，使得分析问题的模型不能应用传统的建模方法，需要应用工程原理和工程知识，并在调查、文献分析的基础上打破原有建模思路的局限，形成创新性思维，建模的手段和方法都要有创新性。

（3）解决问题的能力。首先复杂工程问题的复杂性决定了现有的解决问题的方案和方式是不可行的，只能利用创新性思维，颠覆现有的解决问题的方案和手段，包括现有的工程实践标准和规范的颠覆，寻找创新性的解决方案。

在寻找创新性的解决方案时，要具有对工程和社会具有共情能力，不能仅仅考虑技术因素，还要综合考虑社会中其他利益相关者的长久利益，做到全面的可持续发展。（4）工程实践的能力。实践是工程的根基，而且实践长期领先于科学。在实践基础上形成创造力是工程人才是否卓越的衡量标志之一，同样，在工程实践中的创新更意义非凡。

在工程实践过程中，不仅要开发新工具以解决复杂问题，还要善于运用现有的技术工具和资源，并强化提升现有功能，而且随着人工智能系统迭代更新，工程实践有很多是在智能系统指挥下完成的，人和工具的边界进一步模糊化，在不断提高现代工具功能性的同时，增强人的工程实践能力才能可持续发展。同时，随着技术的进步，工程实践的思维逻辑也在发生着巨大的变化，比如增材制造技术出现后，工程实践不再考虑实现性优先，而是考虑功能性优先[6][7][8]。

1. 团队合作的能力。复杂工程问题的复杂性使得在分析和解决问题的过程中，非是个人可为，需要多学科领域的团队合作，并可能超越国界，具备团队合作能力成为解决复杂工程问题的重要能力之一。

表2解决复杂工程问题的能力分析

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 《协议》和《标准》规定的毕业生素质 | 我校自动化专业解决复杂工程问题的能力 |
| 1 | 工程知识：能够将数学、自然科学、工程基础和专业知识用于解决“复杂工程问题” | 通过观察提出问题的能力 |
| 2、 | 问题分析：能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理，识别、表达并通过文献研究分析“复杂工程问题”，以获得有效结论。 | 通过深入调查、查阅文献，进而独立分析问题的能力 |
| 3 | 设计/开发解决方案：能够设计针对复杂工程问题的解决方案，设计满足特定需求的系统、单元（部件）或工艺流程，并能够在设计环节中体现创新意识，考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境因素。 | 综合运用多种理论和技术进行工程设计的能力 |
| 4 | 研究：能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究，包括设计实验、分析与解释数据，并通过信息综合得到合理有效的结论。 |
| 5 | 使用现代工具：能够针对复杂工程问题，开发、选择和使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，包括对复杂工程问题的预测与模拟，并能够理解其局限性。 | 运用多种技术工具进行工程实践的能力 |
| 6 | 工程与社会：能够基于工程相关背景知识进行合理分析，评价专业工程实践和复杂工程问题解决方案对社会、健康、安全、法律以及文化的影响，并理解应承担的责任。 | 在工程设计和工程实践过程中体现社会、环境等非技术因素和个人创新意识 |
| 7 | 环境和可持续发展：能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响。 |
| 8 | 沟通：能够就复杂问题与业界同行及社会公众进行有效沟通和交流，包括撰写报告和设计文稿、陈述发言、清晰表达或回应指令。并具备一定的国际视野，能够在跨文化背景下进行沟通和交流 | 利用多种交流工具进行团队协作与交流的能力 |
| 9 | 职业规范：具有人文社会科学素养、社会责任感，能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范，履行责任 |  |
| 10 | 个人和团体：能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。 |  |
| 11 | 项目管理：理解并掌握工程管理原理与经济决策方法，并能在多学科环境中应用 |  |
| 12 | 终身学习：具有自主学习和终身学习的意识，有不断学习和适应发展的能力 |  |

**三、持续提升学生解决复杂工程问题能力的培养**

当前，新技术、新业态不断出现，与其相伴而生的工程问题的复杂性逐步提高，解决复杂工程问题能力的培养也更加凸显出其重要性，那么如何把该能力的培养融入到教学过程中就成为必须要考虑的问题。即教学体系如何设置能够达成对学生能力的培养？能力的培养也不是一蹴而就的，而是需要系统地进行，其核心之一是持续改进，未来科技发展令人无法预测使得复杂工程问题的复杂度不断提升，持续提升学生解决复杂工程问题的能力更为重要。我校自动化专业针对复杂工程能力的培养进行深入的研究和实践，取得了一定成果。

**1 课程体系的持续改进**

课程体系的搭建主要解决教给学生什么的问题。主要包括几下几个方面：

（1）搭建学生的知识架构。

知识是能力的必备基础，工程原理、工程专业、工程设计、工程实践、学科研究文献等知识是解决工程问题的基础。这些知识庞杂且是多学科知识的交叉融合，而这些知识如何理清联系并落实到具体的课程中，是首要考虑的问题。

工程教育专业认证通用标准规定的课程体系分为7个模块划分法，我自动化专业的课程体系被分为5个模块[5][9]，每个模块和功能如表3所示：

表3 我校自动化专业的课程

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 课程模块 | 搭建学生知识架构的功能 | 培养学生解决复杂工程问题能力的功能 |
| 数学与自然科学模块 | 工程原理知识、工程建模知识、工程设计知识等 | 识别问题、提出问题的能力，分析和解决问题的能力、建模的能力 |
| 人文社科通识教育模块 | 工程分析设计用到的经济、社会、环境、法律、伦理等方面的知识等； | 培养学生的问题意识，同经济、社会、环境等的共情能力，同业界和社会合作及沟通的能力 |
| 工程基础类课程模块 | 多学科相关的工程原理和工程知识、现代工具相关知识等 | 运用多学科知识和原理来提出问题、分析问题、设计解决方案、运用现代工具、工程实践等的能力， |
| 工程技术课程模块 | 相关学科深入的工程原理和工程知识，工程实践知识等 | 培养学生创新性地分析、设计、开发、评价并实现复杂工程系统的能力 |
| 综合实践课程模块 | 综合工程实践知识、现代工具实践知识、文献研究的知识等 | 培养学生综合工程实践意识和创新意识、综合运用工程原理和工程知识解决实际的复杂工程问题的能力、合作交流沟通能力 |

（2）构建学生解决复杂工程问题的能力架构。

此项培养活动要解决如何把能力的陪养融入课程教学中。根据我自动化专业课程模块的划分情况，首先确定不同课程模块在培养学生解决复杂工程问题能力的功能，如表3所示。其次进一步把解决复杂工程问题能力进行分解和细化，并形成清晰具体的能力点要求，这些能力点要求尽可能具体到能够衡量实现程度。然后把能力点和具体课程及具体的教学环节建立联系，以便在教学过程中找到能力培养的落地点。以“自动化生产实训”这门课程为例，不同的课程内容和教学环节对能力培养的匹配情况如表4所示。某一个能力点要求通过某一门课程中的一两次训练不可能达成，而是通过在不同课程不同项目场景中的系列训练才可达成，所以同一个能力点需在同一课程的不同教学环节以及在不同课程的不同场景中设置实现方式，如表4所示可见一二。

（3）构建复杂工程问题来源网络。

学生解决复杂工程问题的能力培养的一个重要落脚点就是实践[6][7]，在实践中解决真实的复杂工程问题。约翰.穆勒指出：“在人类活动的每个领域，实践都长期领先于科学。”如何选择、准备或设计复杂工程问题是课程体系设置的一个重要环节。

针对不同课程模块在知识搭建和能力搭建中的功能，设置不同的复杂工程问题。理论课堂主要设置相关复杂工程案例，在案例解决的实践中引导增强学生的问题意识、理论联系实际的能力。而实践课程体系是提高学生解决复杂工程问题的临床，是工程教育的重要一环，众所周知，思考能力、解决问题的能力，不是通过过度教学来培养，而是在实践的练习中逐步培养而成的，也就是说学生解决复杂工程问题的能力是通过足够的实践，在实践中获得能力提升。

表4“自动化生产实训”能力指标点

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **教学**  **环节** | | 1 | 2 | | 3 | | | | 5 | | 8 | 9 | 10 | | | |
| 1.1 | 2.1 | 2.2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 5.1 | 5.2 | 8.1 | 9.1 | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 |
| 水箱过程实训 | 需求分析 |  | √ | √ |  |  |  |  | √ |  |  |  | √ | √ |  |  |
| 方案设计  与答辩 |  |  |  | √ | √  **能力点**  **编号** | √ | √ |  |  |  | √ | √ |  | √ | √ |
| 现场实施 | √ |  |  | √ | √ | √ | √ | √ |  | √ | √ | √ |  |  |  |
| 运行及优化 |  | √ |  | √ | √ | √ | √ |  | √ |  |  |  |  |  |  |
| 张力控制系统实训 | 需求分析与文献检索 |  | √ | √ |  |  |  |  | √ |  |  |  | √ | √ |  |  |
| 方案选型  与设计 |  | √ | √ | √ |  |  |  | √ | √ |  |  | √ | √ |  |  |
| 方案论证与答辩 |  |  |  | √ | √ | √ | √ |  |  |  | √ |  |  | √ | √ |
| 现场实施 | √ |  |  | √ | √ | √ | √ | √ |  | √ | √ | √ | √ |  |  |
| 结题验收 |  |  |  | √ | √ | √ | √ |  |  |  |  | √ | √ | √ | √ |

首先针对自动化专业的课程确定如何设置实践活动，验证性实验、探索性实验占比如何？随堂实验还是课程设计？实验内容如何？又是如何与复杂工程问题相关？从而设置了本专业四年逐步深入的实验实践课程体系，该体系在四年里提供了不同复杂度的工程问题，所涉及的领域从单一学科逐步到多学科交叉融合，循序渐进地提高学生解决复杂工程问题的能力。以工程实践能力要求很强的嵌入式系列课程为例来说明，我院对嵌入式系列课程进行整体的规划设计，设计系列的复杂工程问题。例如基础层次实验中的定时器实验的作用的目的是学习定时器的相关知识和使用方法，本系列实践首先从技术要素的角度构建学生的知识结构；进而通过综合层次实验中直流电机实验、陀螺仪实验等系列实验来增加定时器问题的工程要素；在创新层次实验以及第二课堂中学科竞赛、SRTP等环节中进一步增加工程问题的其他非技术要素，从而设计了两轮自平衡小车系统的道路识别实验。通过递进的方式增加实际工程问题的技术和非技术要素的问题，来设置不同类型、不同复杂度的复杂工程问题。

同时，为弥补实验课程复杂工程问题过于单一、实验学时和实验场地受限等问题，我自动化专业还开发设置了第二课堂，主要包括有系列的学科竞赛、综合性创新性竞赛、创新创业活动等组成。第二课堂中提供给学生的工程问题不仅更加符合复杂工程问题的特征，而且复杂工程问题还随着时代不断升级。第二课堂是学生解决复杂工程问题的练兵场，学生解决复杂工程问题的能力在第二课堂的系列活动中可以得到持续提升[11][12]。自动化专业的实践课程体系如图1所示。

**3.2 持续改进教学手段与模式**

课程体系建设是改进的核心，而教学手段和模式的创新则是关键，是教学目的和培养目标得以实现的推动器。教学手段与模式的创新包括教学模式的创新、教学手段的创新、教学技术的创新[13][14]。

课堂教学

实践教学

课堂设计

实调

毕业设计

基础技能培训

SRTP

校内学科竞赛

省级以上学科竞赛

就业技能培训

图1 实践课程体系

我院在工程教育多年研究和改革的基础上，把教学模式在CDIO教学模式的基础上，创新性地研究探索CDIO-OODA全新的教学模式[15]，即在宏观上按照C（构思）、D（设计）、I（实施）、O（运行）四个教学环节对教学任务进行分解，并把四个教学环节细分为四个步骤：O（观察）、O（确认）、D（决策）和A（执行），在这一教学模式的执行过程中[15]，学生解决复杂工程问题能力的培养贯穿于教学各个具体的细节里。

同时，我自动化专业开发了系列包括理论类和实践类的慕课，还开发系列便于学生边学边做的实践课程，，例如自动控制原理、自动化生产实训等课程，都开发出针对不同类别学生的、系列的、可个性化教学的线上线下教学资源。同一门课程有不同专业背景的多位教师主讲，通过不同专业背景下的项目案例大大拓展学生的学习空间。

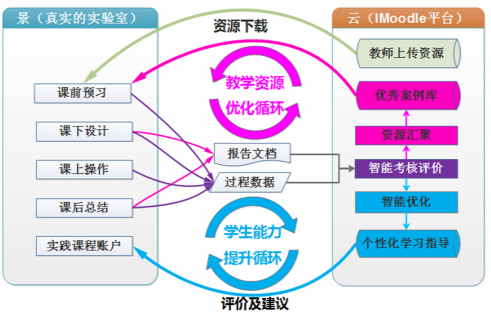
人为的学科划分使得跨学科交叉融合困难，同时在学生群体高度分化的今天，学生的兴趣爱好非常多样，教学方法上的创新势在必行。首先注重启发学生的问题意识，引导学生建立起知识点和能力网络的关联，研究探索在理论和实践教学过程中应用围绕具体项目的基于问题引导型的研究型教学方法。同时，配以合适教学资源开发，开展个性化教学，引导学生学习和探究的兴趣和欲望[16][17]。

在新技术层出不穷的今天，人们努力追赶工业4.0的脚步，如果教学技术停留在原来的状态，学生解决复杂工程问题的能力培养只能是空谈。我专业在两轮工程教育认证的过程中，不断引入新的技术和实验设备，新开发了系列的实训系统，比如我专业建成的“云景”互动教学平台，把实体的教学资源（景）和基于IModle环境的教学管理平台有机集成，把各种教学资源、过程数据等在二者之间互相共享，从而实现了实现了教学资源优化和学生能力提升的持续改进，如图2所示。同时我院还建成了自动化生产实训系统，不仅荣获北京科技大学第十一界校级实验技术成果奖特等奖，在北京市高等学校实验教学示范中心验收中，专家在特色项目中给出了10分满分的评价。于此同时，为能使学生接触到前沿的和新鲜的实际复杂工程项目并提升其工程能力，我专业与自动化业内主流企业建立了联合实验室，共享技术进步[5]。

**3.3 持续改进评价方式**

课程体系设置合理、教学手段和模式的创新完成了培养过程的一部分，而保障培养质量并能持续提升，对教学效果的评价也是不可或缺的一环。

传统的教学评价通常采用卷面考试、答辩或撰写报告的考核形式，但作为考核学生解决复杂工程问题能力的培养效果，上述考核方式就力所不及，而应把学生能力点是否达成作为考核目标。

 图2 云景互动实践教学平台总体框架

持续改进作为工程教育和工程认证的核心理念[18][19]，而如何把持续改进在教学实践中落地尚无相对成熟的方法和成果。

首先，我校自动化专业综合运用了戴明循环[20][21]（PDCA）和工程教育的成果导向（OBE）方法对整个工程教育的教学体系进行改进[22][23][24]，包括课程体系、实践体系和教学内容、教学方式等进行了改革。即在校内外专家、企业家、校友等充分座谈研讨的基础上，采用工程教育的成果导向（OBE）的反向设计方法，建立课程与能力指标点对应矩阵，形成初步的教学体系。在后期的教学运行过程，在不同的教学周期粒度上执行PDCA循环，即四个学年设定为一个大环教学周期，一个学年为中环教学周期，每门课程每个学期为一个小环教学周期，分别在在大环、中环、小环教学周期中执行PDCA的全过程，针对学生解决复杂工程问题的能力的培养，找到存在的问题和不足，对教学体系进行改进，该持续提升的具体方法如图3所示。

然后，针对各个教学周期研究探索了基于定量与定性相结合的全方位多角度的学生能力达成度评价方法，对评价结果应用专家系统理论中的故障树分析法对能力点达成度低分析原因，并在此基础上，对下一周期的教学体系进行改进，依此来保障学生能力培养的持续提升[24][25][26]。

**4、取得的成果**

经过长时间的理论研究和教学实践，我校自动化专业在持续提升学生解决复杂工程问题能力的培养方面取得了一定的成果：

（1）构建了针对解决复杂工程问题能力的教学培养体系，在这一过程中累集了大量的研究成果，以最近四年的大教学周期为例，出版教材10部；教改项目立项32项，其中校级重点立项6项；发表教改论文60余篇；授权专利和软件著作权50余项。

（2）学生解决复杂工程问题的能力获得很大提升。主要的表现在学生参加各种竞赛的比例大幅提高，获得省部级以上竞赛比例超过专业人数的30%，在互联网+创新创业比赛中获一等奖、二等奖等奖项。

（3）教学和学生能力的提升形成良性的相互滋养循环。我自动化专业多门课程的实践教学平台是学生创新实践的成果，在教学过程中经过实践后进一步修正而不断完善形成，学生能力的提升对教学实施了滋养，反哺了教学过程。

**5、结论**

解决复杂工程问题的能力是工程教育的核心目标，本文不仅对比研究了华盛顿协议、中国工程教育认证协会和我校自动化专业对复杂工程问题的特征界定，同时也对解决复杂工程问题的能力进行了界定。同时也给出了我校自动化专业把持续提升学生解决复杂工程问题能力落实到教学实践的措施，并通过部分成果验证了改进方法的有效性。

按计划执行大、中、小环的教学环节

处 理

（Action）

检 查

（Check）

执 行

（Do）

计 划

（Plan）

OBE反向设计教学体系

对大、中、小环的教学周期开展定量定性相结合的全方位多角度的能力达成度评价方法

利用故障树法分析能力点达成度低的原因，给出相应的改进措施，进入下一轮持续改进循环

图3 持续改进的教学周期执行过程示意

**参考文献：**

[1]林健.如何理解和解决复杂工程问题—基于《华盛顿协议》的界定和要求[J].高等工程教育，2016(5):17-26(38).

[2]中国工程教育认证协会：工程教育认证通用标准．http://ceeaa.heec.edu.cn/column .php?-cid=1.7.中国工程教育专业认证协会：《工程教育认证工作指南》（2016版），http://www.ceeaa.org.cn/main!newsTop.w?menuID=01010704

[3] 杨毅刚,孟斌,王伟楠.如何破解工程教育中有关“复杂工程问题”的难点——基于企业技术创新视角[J].高等工程教育,2017,2:72-78.

[4]阎群,李擎,崔家瑞,徐银梅,王国霞.大学生解决复杂工程问题能力的培养[J],实验技术与管理,2017(11):178-186.

[5]李培根.未来工程教育的几个重要视点[J],高等工程教育,2019,2:1-6.

[6]张满,乔伟峰,王孙禺.引领工程教育创新发展培养一流工程科技人才[J],高等工程教育,2019,2:117-123.

[7]马廷奇,冯 婧.回归工程实践与工程教育模式改革[J],高教评估与展,2018,2(34):9-16.

[8]杨马英.自动化专业复杂工程问题能力培养的实践[J],电气电子教学学报,2019,6(41):18-23

[9]李擎,崔家瑞,阎群,等.工程教育认证下自动化专业实践类课程改[J],2016,12(33):225-228.

[10]李擎,崔家瑞,阎群,等.面向工程教育专业认证的自动化专业课程地图设计[J],高等理科教育,2017,6:110-116.

[11]蒋宗礼.本科工程教育: 聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养[J].中国大学教学,2016 ,11 : 27－30.

[12]林健. 运用研究性学习培养复杂工程问题解决能力[J].高等工程教育研究,2017，2: 79-89.

[13]崔家瑞,李擎,阎群,等. “卓越计划”下项目驱动型自动化生产线实训平台研究[J].实验技术与管理,2015 ,10 :199-202.

[14]李擎,崔家瑞,杨旭,等.面向解决复杂工程问题的自动化专业实践能力培养体系研究[J].高等理科教育,2017,3:113-118.

[15]王国霞. 实践教学中应用口袋教学的研究与实践[J]. 高等理科教育,2016,6: 121-125,115.

[16]王国霞. 验证性实验教学改革[J]. 高等理科教育,2016,5:106-113,125.

[17]徐晓飞,丁效华.面向可持续竞争力的新工科人才培养模式改革探索[J],中国大学教学,2017,6:6-10.

[18]李志义.解析工程教育专业认证的持续改进理念[J]. 中国高等教育, 2015, 000(015):33-35.

[19]骆金鸿，基于 PDCA 循环理论的高校课堂质量持续改善模型研究[J],高教论坛,2014,12:18-19

[20]汪诗怀，基于戴明环循环理论的教学质量保障体系构建[J],大学教育,2013,7:8-9.

[21]顾佩华,胡文龙,林鹏,等．基于“学习产出”（ＯＢＥ）的工程教育模式：汕头大学的实践与探索[J]，高等工程教育,2014,1:２７-３７.

[22]李志义,朱泓,刘志军,等．用成果导向教育理念引导高等工程教育教学改革[J]．高等工程教育,2014,２:29-34,70．

[23]李擎, 崔家瑞, 杨旭, 等. 面向工程教育专业认证的自动化专业持续改进[J]. 高等工程教育研究, 2019, 5:76-80,96.

[24]李擎,崔家瑞,杨旭,阎群.基于工程认证持续改进理念的云景互动实践教学平台[J].高等工程教育研究, 2020, 4:99-106.

[25]董洁,彭开香,李擎,等.工程教育专业认证中课程质量定性评价方法研究[J].高等理科教育,2019,6:56-64.

**作者：**王国霞，北京科技大学自动化学院，高级工程师，联系方式：18600466839，kdmycevin@sohu.com.研究方向为实践教学研究和改革（100083）；