

# 应用型高校探索

第十七期

发展规划处编

2018年5月9日

---

● 为了避免在工程教育专业认证的进程中走弯路，十分有必要深入探析“复杂工程问题”的实质与特征。对于在传统工程教育思路下难以达成的毕业要求，可以基于企业技术创新的视角，汲取企业界多年来在解决“复杂工程问题”实践中的经验教训，从而与国际工程教育要求实现真正意义上的接轨。

## 【本期导读】

如何破解工程教育中有关“复杂工程问题”的难点——  
杨毅刚，大唐电信科技产业集团副总裁、教授级高级工程师

# 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

大唐电信科技产业集团副总裁、教授级高级工程师 杨毅刚

北京邮电大学经济管理学院博士研究生 孟斌、王伟楠

### 一、引言

自我国正式加入工程教育本科专业认证国际互认协议“华盛顿协议”以来，越来越多的学校和专业开始积极推进认证申报和自评工作。“华盛顿协议”以培养专业工程师为目标，其毕业要求涉及我国传统工科教育未能覆盖的一些方面。尤其是对解决“复杂工程问题”的毕业要求，不少高校和专业存在着共性的理解误区和达成难点。为了避免在工程教育专业认证的进程中走弯路，十分有必要深入探析“复杂工程问题”的实质与特征。对于在传统工程教育思路下难以达成的毕业要求，可以基于企业技术创新的视角，汲取企业界多年来在解决“复杂工程问题”实践中的经验教训，从而与国际工程教育要求实现真正意义上的接轨。

本文首先对国际上学历互认的三大工程教育专业认证协议进行对比，阐述了“复杂工程问题”对于工程教育本科专业认证的重要意义；而后深入剖析了“复杂工程问题”的内涵，指出“复杂工程问题”相关毕业要求的达成难点，并分析了造成这些难点的主观和客观原因；最后，提出以企业界技术创新采用的 IPD 模式作为解决工程教育中“复杂工程问题”难点问题的方法论，以期对相关院校工程专业教育提供参考和借鉴。

## 二、“华盛顿协议”聚焦于“复杂工程问题”

2016年6月2日，中国成为“华盛顿协议”的第18个正式成员，这意味着英、美等发达国家认可了我国工程教育质量，我国开始从国际高等教育发展趋势的跟随者转向领跑者，在应对国际竞争、走向世界的道路上迈进了一个新的阶段。加入“华盛顿协议”，也就必须按照“华盛顿协议”的要求做好各项工作，这对我国工程教育工作提出了更高的要求，尤其是在解决“复杂工程问题”的核心要求上，更要按照与国际标准实质等效的原则来培养学生。

目前国际上学历互认的三个主要协议包括“华盛顿协议”、“悉尼协议”、“都柏林协议”。“华盛顿协议”(Washington Accord, 简称WA)，在国际工程师互认体系中最具权威性，国际化程度较高，体系较为完整，针对国际上本科工程学位(一般为四年)的资格互认，以培养专业工程师为主要目标。“悉尼协议”(Sydney Accord, 简称SA)也是学历层次上的权威协议，主要针对国际上工程技术人员学历(一般为三年)的资格互认。“都柏林协议”(Dublin Accord, 简称DA)则是针对工程技术员的学历(一般为两年，相当我国工科大专)进行认证。

这三类协议涵盖了典型工程活动中工程师、工程技术专家以及工程技术员这三类人员的要求，本质上是对经过专业工程教育训练的毕业生素质进行认证。按照“国际工程联盟毕业生素质及职业能力”中的描述，“毕业生素质是一系列独立且可评价的成

果的组合，这些成果是由衡量毕业生获得的某种程度的实践从业能力的指标组成。”三类协议都根据工程从业人员各自应具备的能力及所承担的公共责任的程度，对相应毕业生应具备的素质设定要求。对比三类协议有关毕业生素质要求，主要差异体现在以下方面：

知识应用的范围不同。WA 要求学生能将数学、科学、工程基础知识以及某个特定专业的工程知识用于解决“复杂工程问题”；SA 要求用于确定的、实用的工程流程、程序、系统和方法；DA 要求用于广泛的实践操作性流程和实践工作。

对分析和研究的技能要求不同。WA 以创新研究为主，需应用基本原理、采用基础性研究方法，对“复杂工程问题”进行分析研究；SA 兼顾研究和实践，需运用所属学科领域的分析工具和数据设计实验，对“广义工程问题”进行研究；DA 以实际操作为主，运用所属工作领域特有的成熟方法和数据进行标准化操作测试，对“狭义工程问题”进行研究。

与社会责任相关的要求不同。WA 要求能够基于工程背景知识进行思考，对可能涉及的非工程因素和应承担的责任进行评价，而 SA 和 DA 只要求对这些因素和责任进行理解。

在团队中的定位和职责不同。WA 要求能够在多样性尤其是多学科背景下作为负责人，并且能够进行经济决策；SA 要求能够在多样性背景下作为负责人；DA 仅要求能够在多样性背景下作为成员发挥作用。

根据上述对比，“华盛顿协议”作为以培养专业工程师为目标的工程教育本科专业认证，其与另外两个协议最大的不同正是体现在对“复杂工程问题”的解决上：专业工程师需要能够应对复杂性、全局性的问题，在不具备成熟工具的条件下创新性地运用基础知识和基本理论，在综合考虑多因素的场景下通过分析、研究、评估、设计、实施等活动带领多学科背景团队高效完成工程目标。因此，解决“复杂工程问题”是“华盛顿协议”的实质核心，也是工程教育本科专业认证区别于其他类型工程教育的重要特征。

### 三、“复杂工程问题”的内涵分析

“复杂工程问题”是工程教育专业认证的一个老问题，也是一个新问题。“华盛顿协议”对它早有明确定义与界定，而在我国 2015 版的《工程教育认证标准》又将它进行了特别定义。标准中规定，“复杂工程问题”必须具备下述特征①，同时具备下述特征②~⑦的部分或全部：① 必须运用深入的工程原理，经过分析才可能得到解决；② 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；③ 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；④ 不是仅靠常用方法就可以完全解决的；⑤ 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；⑥ 问题相关各方利益不完全一致；⑦ 具有较高的综合性，包含多个相互关联的子问题。此定义与“华盛顿协议”对于“复杂工程问题”的界定在特征条目和属性内涵上

都基本相似，我国工程教育认证标准中之所以仍需强调，是因为工程教育首先要建立在对这个核心概念透彻理解的基础之上，否则培养解决“复杂工程问题”的能力也就无从谈起。

### 1. “复杂工程问题”中“复杂”两字的含义

根据我国工程教育认证标准中对“复杂工程问题”的界定，可以发现“复杂”两字在此处至少包含了以下的涵义：

(1) 超越常见问题场景，需要新的标准和方法。“复杂”问题经常涉及以往未出现的场景、不可预见的因素和不常见的问题，因此也没有明显而成熟的解决方法。需要从基本原理出发，通过抽象的、创造性的分析和合适的建模，超越现有技术标准、质量要求和操作规程，从新的角度、采取新的技术路线和工程方法去解决。

(2) 超越单一学科知识，需要多样化技术知识体系。“复杂”问题涉及广泛的技术、工程或其他因素，往往无法使用单一领域的思路和技术给出比较满意的结果。需要引入传统工程领域之外的其他学科专业的支持，重新组合各种工程方法来解决。

(3) 超越纯粹技术范畴，需要考虑非技术因素的冲突。“复杂工程问题”通常涉及与技术本身无关的问题，需要考虑实际工程中的内外部制约因素，以及各因素彼此之间存在的冲突，从而在技术条件与现实需求中进行折中，提出长远而可行的解决方案。

由此可见，具有“复杂性”的工程问题，并非一定是在技术层面难于理解或难于分析，而更多地因为这些问题可能是超越现

有解决方法和标准、超越单一学科知识领域甚至是超越技术范畴的问题。当更多更纷杂的因素和利益方掺杂在问题中来，就会不可避免地存在冲突。工程教育培养的专业工程师需要在这种纷繁复杂的问题中找出平衡的解决方案，这正是“复杂工程问题”的“复杂”所在。

## 2. “复杂工程问题”中“工程”两字的含义

“工程”是指数学、自然科学和工程知识、技术和技能整体的、有目的性的应用，使自然界的物质和能源的特性能够通过各种结构、机器、产品、系统和过程，以最短的时间和精而少的人力做出高效、可靠且对人类有用的东西。

“工程”的定义中包含了这样四层涵义：第一，“工程”以应用作为目的，可用性和稳定性要先于技术的先进性和科学性来考虑。第二，“工程”是一项具有整体性的、有组织的活动，需要借助模型的构造将其内外部诸多要素联系起来。第三，除需要理论、技术的支撑外，“工程”还需要较多的人力、物力来进行较大而复杂的工作，需要团队分工协作才能完成。第四，“工程”的目标是在最短时间、最少人力条件下完成，需要考虑在实施中的成本和经济效益。

因此“复杂工程问题”作为一类“工程”问题，从根本上是以应用为目的的问题。解决“复杂工程问题”所需的知识、素质，以及所采用的分析、研究方法，都需要在社会应用、工程应用中形成。

#### 四、“复杂工程问题”相关毕业要求的难点问题

##### 1. 与“复杂工程问题”有关的毕业要求。

加入“华盛顿协议”是促进我国按照国际标准提高工程技术人才培养质量的重要举措，我国已初步建立了与“华盛顿协议”要求实质等效的工程教育专业认证体系。按照中国工程教育专业认证协会制定的工程教育认证标准，“毕业要求是对学生毕业时应该掌握的知识和能力的具体描述，包括学生通过本专业学习所掌握的知识、技能和素养。”换言之，毕业要求是本科毕业生步入就业岗位时所必须具备的能力要求。

该标准规定的毕业要求分别从12个方面对毕业生的能力提出了非常具体的要求。值得注意的是，其中有8个都提到了解决“复杂工程问题”的能力。由此可见，解决“复杂工程问题”的能力是毕业要求的核心内容（见表1）

表 1 “复杂工程问题”相关毕业要求

毕业要求	属性
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”。	解决“复杂工程问题”所需的知识
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。	解决“复杂工程问题”的分析方法
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、文化以及环境等因素。	解决“复杂工程问题”的解决方案

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。	解决“复杂工程问题”的研究方法
5. 使用现代工具：能够针对复杂工程问题，开发、选择与使用恰当的技术、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。	解决“复杂工程问题”的技术、工具的使用
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。	解决“复杂工程问题”的工程背景、伦理知识
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。	“复杂工程问题”要考虑对环境、社会的影响
8. 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。	---
9. 个人和团队：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。	---
10. 沟通：能够就复杂工程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。	解决“复杂工程问题”所需的沟通能力
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。	

这 8 个与“复杂工程问题”相关的毕业要求是具有联系的系统性要求，彼此并不孤立。其中，毕业要求 1、6、7、10 是解决“复杂工程问题”所需的知识、素质，是解决“复杂工程问题”的前提；毕业要求 2、4、5 是对“复杂工程问题”分析、研究的

方法，是解决“复杂工程问题”方法论的组成部分；毕业要求 3 是解决“复杂工程问题”系统解决方案所提的能力要求，是解决“复杂工程问题”的方法论和能力核心。无论是前面四项解决复杂工程问题所需的知识、素质，还是三项对其进行分析、研究的途径，都要为毕业要求 3 作支撑。

## 2. “复杂工程问题”相关毕业要求的达成缺失。

依据《工程教育认证学校工作指南》的要求，我国工程教育专业认证协会要求申请认证的高等院校需开展自评工作。笔者有幸在最近 7 年来参与工程教育专业认证工作，从一些学校和专业的“自评报告”中看出，与“复杂工程问题”相关的毕业要求第 3 条、第 6 条、第 11 条的达成缺失是共性问题。

(1) 对于毕业要求第 3 条“设计/开发解决方案”，一些学校仅通过专业课教学活动和专业技术课程来达成，无形中混淆了“复杂技术问题”与“复杂工程问题”的本质差别。设计、开发复杂工程问题的解决方案不仅是技术的设计、开发，不能只用技术的方法加以解决，同时还需要很多非技术性的知识。复杂工程问题的设计、开发解决方案需要一整套的设计、开发系统方法论，需要通过开设专业性的知识教学和实践来加以支撑。

(2) 对于毕业要求第 6 条“工程与社会”，大部分学校仅通过马克思主义基本原理概论、思想道德修养与法律基础等政治理论课作为达成依据，而没有开展专门与工程伦理、可持续发展相关的教学环节，学生很难基于工程相关的非技术因素进行思考，

从而对“复杂工程问题”解决方案在社会、经济、法律、健康、安全、法律、文化等方面涉及的影响进行评估。

(3) 对于毕业要求第 11 条“项目管理”，虽然并没有直接提及“复杂工程问题”，但由于“复杂工程问题”需涉及到经济评价，因此也是解决“复杂工程问题”的重要支撑。项目管理本身就是一门专业性的课程，而其中的关键点就是经济决策方法，这也是大多数学校、专业的缺失点。有些学校认为工程相关的经济决策能力就是掌握工程概算知识，将经管专业公共课程和毕业设计期间的项目实践作为达成依据。

综合以上几项毕业要求的达成缺失，可将目前解决“复杂工程问题”能力培养上的误区归纳为三点：仅靠开设技术基础课、专业课等课程来达成工程知识积累，缺乏对解决方案设计、产品开发等工程问题方法论的培养，这是误区一；仅通过提高专业课、实验课、课程设计等教学环节的技术难度来体现对“复杂”问题的解决，这是误区二；针对社会、伦理、经济决策等非技术因素的相关课程没有与实际工程结合，学生缺乏在非技术因素与技术成果存在冲突时解决问题的实践经验，这是误区三。

## 五、造成毕业要求达成难点的原因分析

一些学校和专业之所以在与“复杂工程问题”相关的毕业要求上存在共性的难点问题，原因是多方面的，大致上可以归纳为主观原因和客观原因这两类。

### 1. 主观原因——混淆“复杂技术问题”和“复杂工程问题”。

目前在工程教育专业认证的自评过程中，一些学校和专业对“复杂工程问题”内涵理解不够深入，与工程教育标准的要求存在偏差，将“复杂工程问题”与“复杂技术问题”等同，开设的支撑课程虽名称上与工程相关，但课程的大纲、教学内容与解决“复杂工程问题”的要求不一致。因此有必要先对“复杂工程问题”和“复杂技术问题”的差异进行辨析，以消除主观理解上的误区。

(1) 对“复杂”的理解和评价方法存在差异。

“复杂性”是与层次结构关系、非线性相互关系和自组织开放体系联系在一起的概念。传统高等教育中的“复杂技术问题”通常是那些需要以某一基础专业作为核心、与其他相关专业有关联的难于分析、解答或理解的问题。“复杂技术问题”虽然也具有“复杂性”的特性，但这种复杂通常是用技术复杂度和技术水平高低进行最终成果评价（例如技术专利、学术论文、重大专项、创新项目等的数量和质量）。换言之，采用技术、学术水平进行成果评价的通常都是“复杂技术问题”。

而“复杂工程问题”与“复杂技术问题”不同，它是毕业生在职业岗位中会真正面对的实际工作问题。“复杂工程问题”不仅需要考虑技术开发、实现本身，还需要考虑内外部需求的满足，平衡那些可能与技术目标相冲突的制约因素，从而设计出符合系统性要求的解决方案。外部需求的满足包括市场需求、客户需求、竞争要求等；内部需求的满足包括可生产性、可安装性、可维护

性、可靠性、低成本、性能价格比等。在工程应用、产品开发中无论项目的技术复杂度是高还是低，内外部制约因素及内外部需求的满足都是必需的。这是十分复杂的，对学生能力的要求也是很高的。

## （2）解决问题的价值导向不同。

“复杂技术问题”以技术水平高低作为最终成果评价，因此解决此类问题的价值导向自然也体现在“三个追求”上：一是追求技术的先进性和复杂程度，二是追求在个别或部分技术指标达到最优，三是追求不同于过去的标新立异。在这样的价值取向之下，论文在高等级期刊的发表和引用、发明专利的申请、大型竞赛的排名、科技进步奖的获得，都会成为成功解决“复杂技术问题”的重要标的物，并通过“查新”、“查重”的方式来鉴别成果的创新性，通过评判所采用技术的先进程度来代表新作品、新产品的价值。

而解决“复杂工程问题”的价值导向则大不相同。看似与“复杂技术问题”相似的“复杂工程问题”，虽然与技术方案的设计、开发紧密相关，却不能只用纯粹的技术研发方式来解决。在解决“复杂工程问题”时，不是像解决“复杂技术问题”那样追求个别、部分最优技术指标的突破，而是要关注系统中最差的那个技术指标、性能的提升。可以说，解决“复杂工程问题”追求的不是技术水平的高低，而是市场的认可，是商业价值、经济回报。因此解决“复杂工程问题”也不用“查新”、“查重”来鉴别成

果的水平，反而要强调对已有技术的重复使用，强调技术的继承性。因为以经济回报作为衡量，首先要着重考虑研发、生产的低成本以及新技术的可靠性。当“复杂技术问题”用于实际社会应用并产生经济回报后，才能称为解决了“复杂工程问题”。

### （3）解决“复杂工程问题”不能张冠李戴。

学术型高校关注的是解决复杂性的科学问题和技术问题，以先进性和原创性作为评价目标，这是“复杂技术问题”。而企业界则更关注技术创新，即“在新技术基础上重新组织生产条件和要素，实施科技、组织、商业和金融等一系列活动，以获取商业利益回报为目标”。因此企业技术创新的过程，实质上就是在不断地解决“复杂工程问题”。

解决“复杂技术问题”是学术界、技术界在学术研究、技术研究、发明创造、项目开发中要解决的问题，是技术、学术层面的概念，而解决“复杂工程问题”是企业界在产品开发、工程应用中要解决的问题，是经济回报层面的概念。解决“复杂技术问题”与解决“复杂工程问题”，两者无论是在核心理念、追求的目标、采用的方法、成果价值的评价等方面都是大相径庭的，高等院校在工程教育的培养方法和目标上如果将“复杂技术问题”与“复杂工程问题”相混淆，就很容易在毕业要求的达成上存在偏差。

## 2. 客观原因——工程知识存在结构性缺失。

除了主观原因之外，客观上有些学校和专业的工程教育也的

确实存在结构性知识缺失。不得不承认，在开始工程教育专业认证之前，我国许多高等院校制定的教学计划、课程体系不是为工程教育专业认证要求而设定的，如果只是试图在原来课程体系内将课程进行重新编排来达成工程教育的毕业要求，确实很难真正达到解决“复杂工程问题”的能力培养目标。

造成工程知识结构性缺失的根本原因很大程度上还是与“复杂工程问题”自身特点有关。

第一，“复杂工程问题”本来就与其他工程问题不同，难以采用常规方法解决。实际工作中的难题大多都无法仅用单一及多门的技术课、专业课的知识来解决，甚至往往无法定位这些难题具体与哪门课程相关。因此高校在设计教学环节时也很难反向推导出到底需要设置哪些课程和教学环节才能培养解决“复杂工程问题”的能力。这些课程和教学环节能够给出工程技术的基础知识，但却无法给出在实际工程中解决各类不确定问题的通用框架和应对多因素冲突场景的方法论。

第二，“复杂工程问题”的解决需要在一个真实完整的工程场景下去实践才有意义，因为只有这样才能将各方面因素相互作用而产生的冲突矛盾真实地呈现在学生面前，从而锻炼学生解决冲突的能力，但学校的实践环节条件毕竟有限，难以搭建一个能够覆盖工程全流程环节的实践平台。

第三，由于“复杂工程问题”与“复杂技术问题”不能完全等同，用于解决“复杂技术问题”的知识和能力不一定能够解决

“复杂工程问题”，因此即使是学术水平和技术水平都过硬的高校教师，如果没有长期在企业真实工程中担任负责人的经历，也很难对企业里解决“复杂工程问题”（尤其是解决多因素冲突）所需的知识体系和方法论进行教学。

总之，“复杂工程问题”在涉及工程技术问题的同时还涉及大量非技术性的问题，因此其往往是系统性的问题。不同的职业岗位所面对的“复杂工程问题”差异性很大，在实际工程实践中，解决“复杂工程问题”更需要的是一种方法论，而不是就事论事的具体解决方法。为什么本科生在校期间就必须学会解决“复杂工程问题”的方法论，是因为在实际工程解决方案中如果不考虑各种内外部因素、需求，结论往往是理想化的。然而在实际工程化应用当中，这些看似完美的解决方案往往会在考虑了各种内外部因素和内外需求后变得不再可行，必须对原有设计进行调整。相对攻克技术难题的能力，这种能够综合各因素的系统性思维对“复杂工程问题”而言反而是更关键的，因此从本科教育一开始就需要锻炼学生具有解决多重冲突的方法论能力。

## 六、借鉴企业技术创新方法论培养解决“复杂工程问题”的能力

对于工程教育而言，毕业生的实际学习产出效果是与国际标准实质等效的一个很重要的评估标准。“华盛顿协议”各成员国大多数采取“产出导向”（Outcome-Based Education, OBE）的认证标准，将学生学习结果作为教学成果的评量依据。根据人事

部的统计数字显示,近年来高校理工科毕业生 70%以上进入到各类企业中就业。对于接受专业工程教育的本科生而言,各大企业才是最终检验培养目标是否实现的试炼场。毕业生在企业真实场景中解决“复杂工程问题”的能力,非常需要与企业技术创新在产品开发、市场开拓、工程实施等环节的需求与方法相匹配。

实际上,工程教育中涉及的“复杂工程问题”有很多恰恰就是企业在研发、生产、销售中遇到的实际问题。工程教育院校对于如何培养解决“复杂工程问题”能力的困惑,也正是很多企业在技术创新进程中曾经遇到或正在面临的难点。

上世纪 90 年代前,国际企业界在进行技术创新时普遍存在“唯技术论”,将产品的技术先进性作为产品技术创新的标志,这与当前有些高校工科专业将“复杂技术问题”等同于“复杂工程问题”十分类似。这些“唯技术论”的企业投入了大量资金去攻关技术指标最优的产品,但后来这些产品有些因成本过高导致市场无法接受,有些则因生产条件受限而无法转产,因而对企业造成了极大的经济损失甚至是致命打击。之后企业界吸取了惨痛教训,普遍认识到这种“唯技术论”观点的局限性,开始探索真正能够达到“技术创新以经济回报作为评价”这个方法。

经过几十年的尝试和实践,目前企业界已经形成了一些成熟的方法论和最佳实践。国际上比较通用的产品设计、开发系统方法论为 IPD (Integrated Product Development, 集成产品开发模式)。开发流程、项目管理等方面,形成全面而完备的系统性解

决方案。IPD 现已被全世界的创新型企业所认同，成为大多数创新型企业所遵循的产品开发模式。

IPD 的集成产品开发模式与传统设计开发方法差别很大，不只从技术层面考虑，而更是从经济回报来考虑。做一个新产品要对研发、中试、生产、销售、安装以至到后期消费者的使用、服务进行全流程管控，从内到外全部的环节都是工程师要考虑的设计范畴。这与解决“复杂工程问题”需要综合考虑内外部制约因素以及内外需求的要求完全一致。基于 IPD 的方法论思想，解决“复杂工程问题”除了技术、专业知识外还要考虑许多非技术的因素，要考虑技术开发环节之外的许多其他环节的因素。非技术的外部制约因素包括社会、健康、安全、法律、环境、文化、知识产权、可持续、工程伦理、客户意识等，需要考虑市场需求、客户需求、竞争要求等方面；内部制约因素则包括职业道德、职务发明约束、团队意识、责任意识等。满足外部需求要考虑市场需求、客户需求、竞争要求等，满足内部需求要考虑产品的可生产性、可安装性、可维护性、可靠性、低成本、性能价格比等。IPD 的理念、模式与工程教育专业认证标准的理念高度融合，无疑是解决“复杂工程问题”的一种高效而规范的方法论。

因此，工程教育培养学生解决“复杂工程问题”能力的方式可以借鉴企业在技术创新中用到的方法论。从企业需求视角来看，只有真正既掌握集成产品开发模式、又掌握专业技术知识的毕业生才能具备解决“复杂工程问题”的能力。这种能力的培养正是

中国很多工科专业在工程教育中的普遍缺失，非常需要工程教育界与企业界共同研究探索，从而提出一套行之有效的弥补措施。

## 七、结语

高等院校在工程教育专业认证过程中，首先需要真正理解“复杂工程问题”的内涵，对工程问题的复杂性形成全面而准确的认识，重视非技术因素对技术成果的制约和影响，强化学生在面对普遍存在的冲突场景时的问题解决能力。在解决“复杂工程问题”的能力培养上，仅靠技术知识的传授和课程的增加调整是难以实现与国际认证标准真正实质等效的。工程教育院校可以借鉴企业界多年来在技术创新探索历程中的经验教训，吸收诸如 IPD 等适用于解决“复杂工程问题”的方法论和最佳实践，从而培养具备解决企业实际工程问题综合素质的高水平工程师。

我国现在已经成为“华盛顿协议”的正式成员国，在学生能力培养上不应仍处于“形似”的模仿阶段，而应该在以往工程教育专业认证的基础上，逐步走出一条与工程大国相匹配的独特道路，从“形似”转变为“神似”，以真正提高毕业生解决“复杂工程问题”的能力，走出一条能反映中国高校独特水平的工程教育之路！