【论文选刊】吴婧姗 等：未来工程师的核心能力 ——基于智能技术驱动型企业实证研究的内容分析

原创 吴婧姗 等 [高等工程教育研究](javascript:void(0);)

**高等工程教育研究**

微信号

功能介绍 《高等工程教育研究》是我国第一份、也是唯一一份面向工程教育研究的高等教育类学术期刊。本刊以发展工程教育教学学术、推进工程教育教学改革、提高工程人才培养质量为宗旨，关注国内外工程教育界重大问题，提供工程教育最新资讯，分享最新研究成果。

2019-12-24

**作者简介：**吴婧姗，浙江大学中国科教战略研究院博士后；朱凌，浙江大学中国科教战略研究院研究员；施锦诚、吕正则，浙江大学公共管理学院博士研究生。**基金项目:**教育部人文社会科学研究青年基金项目（18YJC630197）；国家自然科学基金面上项目（7177030261）**原文刊载于《高等工程教育研究》2019年第六期50-57页。**

**摘  要：**大数据、云计算、人工智能等核心技术正驱动产业智能化发展转型。智能工程情境下涌现出的新技术手段和工具，正在改变甚或颠覆工程师的工作模式，对工程师能力亦提出了全新要求。针对这一现实诉求，本研究对七家智能技术驱动型企业开展深度调研，并基于访谈资料的内容分析和工程需求分析，尝试构建未来工程人才核心能力的基本框架，包括3个主维度和12个子维度。毋庸置疑，在智能化技术及话题愈加普及的当前，该框架也凸显出了未来工程师基于数字的复杂问题求解能力：其中，数字思维与建模仿真、跨界融合是企业智能化转型中最受关注的能力项。此外，相比于前沿洞察与技术开发能力，我国企业对工程人才创新性思维与原始创新能力的重视仍然不足，对于智能化趋势下可能从技术追赶到创新引领的转型契机尚未形成及时充分的响应。本文最后尝试从产业需求和工程教育演进规律出发，为我国工程教育改革与创新提供建议和研究思路。

**关键词：**智能化　工程人才　核心能力　数字　跨界

**一、引言**

以大数据为核心动力，伴随云计算、人工智能、物联网等前沿技术的深化与升级，产业发展在智能化趋势下正在全面呈现出虚拟网络与实体物理深度融合、人类智慧与机器智能协同创新的场景。由此，将可能彻底改变工程师的工作模式，对工程人才提出了全新要求和更严峻挑战。我国在以新一代智能制造为核心竞逐未来产业生态主导权中能否获得先发优势，很大程度上取决于适应智能化转型发展的工程人才储备。根据世界经济论坛的研究报告，高达42%的核心技能将会在2018-2022年间发生转变。[1]这引发了本研究的思考：未来工程场景从根本上将对工程师提出何种要求？最关键的核心能力有哪些？智能技术驱动产业、社会转型，改变甚至颠覆传统意义上对工程的认知和对工程师的要求，工程教育将新涌现出哪些特征？并将如何回应变革需求？从工程教育的需求方来看，教育和产业之间是否已形成信息和模式的良性互动，从而能够应对未来的变革和巨大挑战？一系列研究关注都将从未来工程师的能力问题出发，并将结合工程教育的整体趋势、甚或是范式特征的感知和分析，从而对未来工程教育模式进行全新的思考和建构。作为未来工程师这一话题的首篇，我们将扎根前沿企业现实情境，解决第一个问题：通过对智能化相关典型企业的深度访谈，从人才需求视角识别面向产业智能化趋势的我国工程人才核心能力构成。

**二、文献回顾**

能力通常指完成一定活动的具体方式，以及顺利完成活动所必需的心理特征。然而，能力内涵界定模糊，就其对应诸多英文表达可见一斑。如capacity,capability,ability,skill,competency,faculty,talent,aptitude等[2]，反映了在不同语境下对能力的不同理解。本文所指的“能力”主要对应“competency”的语意，侧重于工作胜任力，是丈量教育与工作需求之间差距的有效标尺。[3]对工程人才能力的探讨是一个永续常新的话题，本部分将梳理相关研究的不同视角及其主要观点。

一是从工程教育认证的角度，对毕业生素质和职业能力提出基本要求。目前两大国际主流的认证体系（“华盛顿协议”与“欧洲工程师认证”）对培养目标的设定较接近，都注重学生专业技能、工程实践技能和社会技能的训练以及综合素质的养成[4]，但这些标准“只是达到了国际认证质量的‘底线’”。[5]部分研究以此为参照，对培养目标进行现实情境的对比分析与理论延展：一项历时七年的工科毕业生追踪调查表明，认证标准中的团队合作、交流、数据分析与问题求解是工程实践中最重要的能力[6]，特别是解决复杂工程问题的能力[7-9]，要求工程人才突破学科边界，保持对公共事务的关怀，更好地应对21世纪环境与社会的挑战。[10]

二是基于对教育创新与变革的思考，预测面向未来的工程人才的核心能力。英国皇家工程院（RAE）在2014年发表调研报告《像工程师那样思考：对教育系统的启示》，着重强调“工程思维习惯”[11]，以别于数学思维习惯和科学思维习惯。而如何造物和更好地造物，恰恰是工程思维的核心。[12]以工程创新创业教育著称的美国欧林工学院进一步定义工程师是“想前人不敢想、且排除万难去实现之”，认为在扎实的数学与科学基础上，工程师必须具备团队合作思维、创业者思维、跨学科思维、全球思维和伦理道德思维[13,14]，这些复合性思维能力“更侧重于设计而非分析”，体现为“在技术与人类行为之间搭建桥梁”。[15]MIT发起“新的工程教育转型”（NEET）[16]也从认知方式上用创造性思维、系统性思维、批判与元认知思维等11项能力重新定义了何谓成功的工程师。类似地，荷兰代尔夫特理工大学对工程人才培养的目标定位充分强调跨学科与系统性思维、想象力与创造力、全球思维等。[17]我国工程教育改革从“卓越工程师教育培养计划”到“卓越2.0”（新工科建设），也一直持续关注工程人才能力培养的规范性[18-21]，其中，“融合”与“创新”已经成为新工科人才新能力的高频关键词。[22]

三是根据产业变革、新兴技术的发展趋势，识别工程人才应具备的从业能力，其中不乏来自产业界的思考。早在2004年，IBM 就意识到结合服务、科技、工程与管理的服务科学（SSME）将是未来全球经济发展的主流，由此提出“T型人才”[23]，即至少在一个领域深入掌握专业知识，同时在大量相关领域拥有全面的知识，且勇于拥抱改变、思考创新事物，从而能够与跨学科的同事共同解决问题。其中，横向技能或软技能，包括自我认知、自我管理、人际交往、适应力、沟通能力等，被视为克服产业与教育鸿沟的关键。[24,25]作为对人才供需不匹配的回应，美国产业界近年提出教育变革公式：STEM1.0+未来新能力平台＝STEM2.0。所谓“新能力平台”直指未来工程科技领域从业者的四大核心竞争力[26]：基本的就业技能、卓越的创新技能、娴熟的数字技能和过硬的专业技能。来自欧洲的研究者从“工业4.0”引发的制造系统范式变革着手，探讨科技人力资源的技能需求[27,28]，特别强调大数据／数据分析、预见性维护等信息与通讯领域相关的技术能力。[29]

通过对相关文献的系统梳理，我们初步形成以下论断：首先，伴随科学技术和工程系统复杂程度的提高，工程师的能力需求也日益突显出复合性、批判性、艺术性、复杂性、跨学科、人文情怀、创新创造、可持续发展等趋势和特征。[30-32]其次，尽管已有相当研究表现出对工程人才能力结构的充分关注，但在研究视角和方法上仍存在较大缺口：一是以往研究多从人才供给的视角探讨工程师能力，缺少与产业界的互动与衔接。工程教育认证的标准尽管有较大普适性，但缺乏对技术变革和产业智能化发展趋势的快速响应，亟待敏锐洞察出智能工程情境下涌现出的新技术手段、新工作模式以及对应的新的知识和能力结构。二是当前对智能化情境及能力结构的研究，较为缺乏规范、严谨的实证分析过程，其研究结论并非基于现实案例及经验数据，没有对能力及其构成进行充分论述以及与现实工程情境的映射。三是欧美等国家或地区对技术趋势及本土工程师的需求已有较成熟的分析和判断，然而这些研究结论与我国产业发展实情的适配性尚未得到验证。因此，对我国产业转型升级过程中企业用人需求的深入调研以及智能化领域相关工科人才培养目标的研究具有现实必要性和迫切性。

**三、研究设计**

本研究依托中国工程院“智能化趋势下的工程教育范式变革与再设计”院士咨询课题开展工作，选择了一批国内具有代表性的企业进行实地调研和访谈。访谈对象、人数及职位级别亦具有专业性和权威性等特征，案例材料较为详实。研究人员针对所有调研工作形成了详细的工作纪要和访谈材料，作为本文进行内容分析的资料来源。

**（一）   案例选择。**

为尽可能全面、客观地呈现我国产业智能化水平并反映转型时期工程师需求，案例选取维度和标准如下：一类案例立足前沿，重点关注智能技术研发型企业，拟从技术成熟度较高的细分领域（如语音识别、计算机视觉、云计算等）选取业内标杆性企业；另一类案例面向智能技术落地的应用场景，从人类的生产生活出发（即智能制造、智慧城市）选取典型代表性企业；同时，考虑到我国大多数企业尚未完成数字化转型的基本国情，在未来的很长一段时期，需要将数字化、网络化、智能化并行推进、融合发展。[33]因此，制造型企业的选择要尽量涵盖不同规模类型、不同发展阶段。按上述标准，本研究选择了７家企业（见表１）。

表1  调研案例简介

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 领域 | 调研案例（简介均来源于企业官网） |
| 智能技术研发型 | 语音识别 | 科大讯飞：科大讯飞股份有限公司成立于1999年，长期从事语音及语言、自然语言理解、机器学习推理及自主学习等核心技术研究并保持国际前沿水平。  受访对象：研究院副院长XF1 |
| 计算机  视觉 | 海康威视：杭州海康威视数字技术股份有限公司成立于2001年，是以视频为核心的智能物联网解决方案和大数据服务提供商。  受访对象：研究院副院长HK1、产业发展部总监HK2 |
| 云计算 | 阿里云：阿里云计算有限公司成立于2009年，以在线公共服务的方式，提供计算和数据处理能力，是全球前三大公共云服务提供商。  受访对象：阿里云大学总经理AL1、首席信息官AL2 |
| 智能技术应用型 | 智能制造 | 海尔：海尔集团创立于1984年，是全球大型家电品牌，目前已从传统制造企业转型为共创共赢的物联网社群生态。在互联工厂基础上，推出全球规模最大的工业互联网平台COSMOPlat，是国家智能制造示范平台。  受访对象：平台高级经理HE1、超前创新中心总工HE2、洗衣机事业部总工HE3 |
| 娃哈哈：杭州娃哈哈集团有限公司创建于1987年，其智能工厂是食品饮料产业首个产供销过程全数字化管控的智能工厂，入选工信部智能制造示范项目。  受访对象：机电研究院智能装备研究所副所长WH1、自动化研究所所长WH2 |
| 春风动力：浙江春风动力股份有限公司始建于1989年，专注于大排量冷动力技术研发制造。公司正全面开展车联网平台、消费者终端定制系统开发，其中，“特种车辆大规模个性化定制”入选智能制造示范项目。  受访对象：首席信息官CF1、生产总工CF2、常务副总经理CF3 |
| 智慧城市 | 城云科技：城云科技（中国）有限公司成立于2012年，旨在通过构建“物联网+大数据+人工智能+务联网”的生态系统，为中国新型智慧城市提供承运方案。  受访对象：副总裁CY1、组织人才发展部门总监CY2 |

**（二）   数据来源。**

本研究主要从以下渠道获取案例的相关资料：其一，文档资料：研究人员在访谈前对案例公司先进行比较全面详实的资料收集，包括官方网站、新闻报道、公开采访资料、专业评论、图书资料等，同时在访谈过程中收集企业内部资料，总共获得文档资料14余万字；其二，访谈资料：研究人员自2018年3月开始至2019年7月先后赴案例公司，采访了技术专家、生产总工、首席信息官、负责战略或运营的高管等较高层级的业内人士共15名。考虑访谈效果，灵活安排一对一深度访谈、小组座谈等多种形式，最终得到访谈资料13份、近11万字。

**（三）   编码过程。**

本研究以表1中7家企业为研究对象，采用内容分析法对其进行编码分析，从而识别产业智能化趋势下工程人才核心能力构成。由本文其中3名作者（1 名博士后、2名博士生）组成研究小组，完成编码工作。小组成员都接受过专业的科研训练，熟悉编码的程序和技巧，同时，前期都参与过企业调研活动，能较清晰地理解并抓取文本资料所传递的信息。

数据编码的具体步骤是：首先，小组成员分别独立通读第一个案例的所有资料，提取文本中与工程人才能力相关的条目。第一个案例解读完毕后，将3人编码一致的条目输入条目库，对于意见不一致的条目经讨论后确定进入条目库或删除。接着，研究小组继续上述步骤，分别对第2至4个案例、第5至7个案例进行两次集中编码和讨论。第二步，将所有案例的编码结果相互叠加，得到条目总计171条。研究小组对条目进行梳理，剔除了涵义过于空泛、或只在一个案例的编码结果体现的条目。第三步，将剩余的156个条目进行二次编码，经讨论后提炼出12个子维度，并进一步归纳得到三个主维度，即：基础就业能力涉及条目数31个、子维度3个，工程专业能力涉及条目数59个、子维度4 个，可持续发展能力涉及条目数66个、子维度5个。

**四、研究发现**

本部分将主要阐述三个主维度及其具体内容。为方便表述，引用的案例资料按“企业代码—材料类型—序列号”的方式编号以作标识。以“HE-A-02”为例，HE代表访谈的案例企业海尔集团，A代表访谈记录（B代表公开资料、C 代表内部资料），02代表该案例企业资料的序列号。

**（一）基本职业能力。**

在基本职业能力的主维度中，共有相关条目31条。其中，工程意识与工匠精神的条目数占了近半，反映了雇主对工程人才基本从业素养的高度关注。具体表现在：工程师始终围绕解决现实问题，坚持结果导向、效率意识。新一代信息技术“要做到万物互联中真正的好用，是要解决刚需，而不是噱头”（HK-A-02）。调研企业对“机器换人”的看法是“不会为了无人而无人”，“不存在真正的无人，无人不是追求目标，高效才是最终目标”（CF-A-02）。在制造型企业的现实工程情境中，“对于很小的部件，如机器伸不进去的焊接点，仍然要由人工来做”（HE-B-04），这更需要工程人员发挥出务实肯干、精益求精的工匠精神。如某受访企业对技术团队提出的要求：“精度达到99%还不算本事，把99%提升到99.99% 才是成功的起步”（CF-B-01）。工程师除了追求技术的精确性和稳定性，还要有使命感和责任感，通过技术攻关以填补国内空白乃至占领全球创新高地，以及关注人工智能等新兴技术的普遍应用可能对社会伦理的冲击。如多家受访企业基于海量数据和计算能力创造了更大的市场价值，但同时也都面临用户隐私保护的问题。此外，也有受访者认为，归根结底是“对专业的兴趣”，“否则他只是打一份工，不会有更多的责任感”（HE-A-02）。

在访谈中，多名被访者提到“开放”和“共享”，在以往文献中较少提及，但对于数字化驱动的信息社会网络和智能产业生态有重大意义。工程师要对新兴技术及其对现有工作带来的挑战保持积极的心态，如“和人工智能科学家一起去思考，怎么样把知识固化成人工智能的模型”（XF-A-01）；工程师要学会在松散、开放的工作环境中协同工作，并肩负起知识沉淀、传播和发展的使命，实现共创共赢共享。譬如，“每个工程师根据工作经验总结开发课程”（WH-A-01）、“把项目报告上升到方法论”（HE-A-02）等已经成为多家受访企业的常规工作机制。由此，本文把该子维度命名为“开放、共享与合作”。第三个子维度是“终身学习与迅速迭代”。在企业调研中，不少受访对象反映了未来的不确定性，“很多事情技术上没有前人的经验做参考、商业上没有可复制的模式、现实情况下也没有太多的确定因素作为判断依据”（AL-B-05），因此要求工程师具备强大的自我驱动力，不断学习、革新和成长，勇于挑战、勇于试错，迅速适应不断变化的环境。详见表2。

表2 “基本职业能力”维度及典型条目

|  |  |
| --- | --- |
| 维度（条目数） | 典型条目 |
| 工程意识与工匠精神（15） | 我们一直是“顶天立地”的做事风格，从某种程度上说，我们的理想和追求，一直是“顶天”的，我们要去解开人类大脑智慧的奥秘。同时我们也是“立地”的，我们要脚踏实地的、一步一步地解决感知智能、认知智能、常识推理、阅读理解等一系列的技术问题。 |
| 开放、共享与合作（8） | 我一定会去寻找那种开放型的，具有创新性的人跟我来合作……愿意把他掌握的知识分享给别人，和人工智能科学家一起去思考，怎么样把知识固化成人工智能的模型。 |
| 终身学习与迅速迭代（8） | 很多事情技术上没有前人的经验做参考、商业上没有可复制的模式、现实情况下也没有太多的确定因素作为判断依据……工程师现在的做事方式再也不是一步到位，而是先给出1.0版本，发现问题后再修改。 |

**（二）   工程专业能力。**

在工程专业能力的主维度中，共有相关条目59条。从子维度的条目数来看，数据思维与建模仿真能力最受企业关注（19条）。随着生产和流通环节应用虚拟仿真系统及信息技术实现虚拟与现实世界的互联互通，转型过程中企业用人标准也发生相应变化，“以前更多是做好产品的设计、运营等等，现在是怎么样用数据思维去创造新的价值”（AL-B-03）。特别是智能技术应用落地，传统制造企业工程人员的工作性质已由“原来直接面对设备”变成“在中控室读取一切信息”（WH-A-01），这要求工程师全面理解参数，基于数据做出分析、预测和判断；同时熟练使用软件工具、深度挖掘工业数据，通过对业务流程的抽象应用于软件优化和开发；以及具备数字安全意识、对有效信息的获取与甄别能力等。

工程设计思维的条目数为14条，集中反映为把现实需求转化为技术目标的抽象化思维以及对复杂问题进行多层拆解的结构化思维。在万物互联的时代，人机交互现象的背后是企业由提供产品转向提供场景式服务。因此，通过数字化技术赋能，工程设计将着力于根据各种项目的场景虚拟抽取出可以产品化的东西。工程师“要理解用户的原始需求，并转化为产品的功能，然后把产品的功能和技术的创新点，或者说技术的算法一一对应起来”，以及“通过把场景细分，并最终识别到单一的可控的产品上面，如果人工智能的算法超过人的能力，那么人就不要干这件事情，交给机器去”（XF-A-01）。

工程技术基础和基于项目的工程实践也表现出较强的显著性。工程技术基础包括掌握扎实的数学、计算和通讯基础理论知识，精通工程专业基本原理、方法，具备严谨的学术训练经历。在企业访谈中，对工程技术基础的讨论主要有两种观点：一方面，受访的智能技术研发型企业普遍表达了对本科专业训练不足的担忧。“主要因为这两年的技术切换太快了”（HK-A-01），很多以前是研究生层次的内容，如深度学习、网络构建技巧、大数据架构等，在这些企业眼里都是基础知识，迫切需要“把这些下放到本科阶段来学习”（XF-A-01）。另一方面，受访的智能技术应用型企业（特别是生产制造型企业）对毕业生的工程技术基础比较满意，主张扎实的理论基础是应对技术更迭的根本。这类企业比较遗憾的主要是工科毕业生实践能力的欠缺。通过深度访谈，研究人员发现，企业所看重的实践能力“不是一来就能上手”的操作性技能，而是工程项目经验，是对行业的整体认知、对所学专业知识的应用场景及应用技巧的理解，需要“在做的过程中结合自己的失败案例，不断验证才能够获得”（CF-A-01）。详见表３。

表3  “工程专业能力”维度及典型条目

|  |  |
| --- | --- |
| 维度（条目数） | 典型条目 |
| 数据思维与建模仿真（19） | 以前更多是做好产品的设计、运营等等，现在是怎么样用数据思维去创造新的价值……这一方面应该是这些底层的，比方说人工智能的或者是计算机、机器学习这些算法的人，还有一部分其实是这些传统工科的人，他自己本身也要有这种算法或者是计算方面的能力……做自动化控制的提供编程，做工艺的人要知道机器上应该调哪个参数。 |
| 工程设计思维（14） | 他要理解用户的原始需求，并转化为产品的功能，然后把产品的功能和技术的创新点，或者说技术的算法一一对应起来，这个是一个很重要的工作……他们其实主要工作做的就是拆解定义……拆解成每一个技术需求。 |
| 工程技术基础（13） | 我有很深的理论，基础很扎实，他提到什么问题我都能给他解释一下……给我谈个什么问题，我马上能举一反三的，把这里深层次的关联性给弄出来。 |
| 基于项目的工程实践（13） | 学过数学、学过计算机的人非常多，真正缺少的是具有对某个行业有深入理解的人才……C语言、java这些工具学校里面都有，当然这些的操作和练习在对企业来说是不够的。我假设C语言是一个工具，这个是需要实操或者需要有项目经验才能够获得的。 |

**（三）  可持续发展能力。**

在可持续发展能力的主维度中，共有相关条目66条，归纳为跨界融合、系统思维、用户思维、前沿洞察与技术开发、创造性思维与原始创新等五个子维度。根据访谈，拥有跨界融合能力的工程师是企业最看重也是最紧缺的。有企业将其表述为接口能力，即“将现实世界的各种问题和需求转化，与不同学科背景的专业人士实现技术沟通并完成工作衔接”（XF-A-01）；或表述为复合能力，“既要懂应用又要懂软件、懂算法，不仅是工科交叉、文理也要交叉”（AL-A-01）；也有企业从跨界创新的角度去理解，“在技术创新上，一些跨界的创新往回推的成功率更高一些”（HE-A-01）。其本质上是因为云计算、大数据、人工智能不仅是一种技术，还是一种能力：服务的能力。比如，生产洗衣机的传统制造企业在智能化转型过程中，不仅是改造无人工厂，而且是经营理念的转型：“我们给消费者提供的不是洗衣机，是衣物护理解决方案”（HE-A-03）。所以洗衣机制造的工程项目还要同时研究洗衣液，研究各种材质的洗衣护理环境，研究顾客对洗衣机功能、款式的个性需求，将研发、生产、市场、售后等原本割裂的环节集成在一起，由不同专业背景的人组建团队快速响应、协同工作，提供一套完整的个性化服务。服务促进了产业的融合，模糊了学科的边界，跨界将成为未来工程师的工作常态。详见表4。

表4  “可持续发展能力”维度及典型条目

|  |  |
| --- | --- |
| 维度（条目数） | 典型条目 |
| 跨界融合（19） | 其实最紧缺的永远都是有点跨界的人才，就是中间怎样把现实世界的各种问题、各种需求转化为技术上面的可以实现的目标，充当一个接口的作用，接口永远都是最重要的，否则的话鸡同鸭讲。 |
| 系统思维（14） | 对整个流程的创新，相当于整机放上去对整个流程进行改变，那么需要设计人员对整个生产系统了解，至少对其所处业务层次的前后业务了解。……以前研究一个单机就可以了，现在要对公司整体生产线流程要有更深的认识。 |
| 用户思维（14） | 原来工厂我把活干出来，然后卖出去，一般消费者要就要，不要就不要做。今天这个是消费者想要什么，我工厂要生产什么。原来是以产品为中心，今天是以用户为中心。 |
| 前沿洞察与技术开发（13） | 比如说我们做大数据，以往是基于规则经验来做，但从去年论文来看，有一个非常明显的趋势，是在用图挖掘技术来做，我们做了一些尝试，认为很有前途，我们就有一个上百人的团队在做，这个就是从技术上来导入的。 |
| 创造性思维与原始创新（6） | 希望每个人写菜谱，不是说今天有个菜谱，你在那自己烧菜就行了，连菜谱都没有的时候，创新能力没有……我不需要执行的人，我需要有野心的人，我需要有创新力的人。 |

系统思维和用户思维，同样反映了未来工程师的工作习惯，也被受访对象反复强调。智能化趋势下的工程将实现不同场景的人员、信息、数据、设备的实时互通互联，对工程师的系统架构能力提出了更高的要求。对于智能技术研发者而言，“原来只要做个软件或者做个硬件就能满足用户的需求，但是现在软硬件一体化、云端一体化已经成为一个必然趋势，任何一个开发者不能绕开”（XF-B-05）。对于智能技术应用者而言，“以前研究一个单机就可以了，现在要对公司整体生产线流程有更深的认识，至少对其所处层次的前后业务充分了解”（WH-A-01）。更进一步，面向未来的工程师还要了解用户个性化需求、具备换位思考能力，即“能知道客户对哪块业务更感兴趣，哪方面更具有市场价值”（CY-A-01）。因此，某受访企业要求研发工程师“到用户家去拜访”（HE-A-01），以提高其业务敏感度，从而挖掘市场需求、发现机会窗口。用互联网界一个经典的比喻就是：用户想要更快的马，而工程师要做的是创造一辆车。

企业对工程创新的需求主要反映在对工程师的两项能力要求上：前沿洞察与技术开发、创造性思维与原始创新。基于对调研文本的分析，前者的条目数是后者的两倍多（分别是13条、6 条）。一方面，企业普遍强调对国内外前沿技术的追踪，包括学术界的基础研究动态，“然后尝试把最先进的技术应用到工程化的产品里面”（HK-A-02）。特别是从技术演化趋势上看，人工智能将逐步代替人工完成重复性工作，市场上需要“大量泛AI人才”基于人工智能等相关技术去实现产品和服务的创新，或是对传统行业进行升级改造（XF-B-04）。但不止一位受访者表示，毕业生缺乏对人工智能领域最新前沿技术的了解和使用，往往需要企业“补课”。而另一方面，与前沿技术应用备受推崇形成鲜明对比的是，创造性思维与原始创新是所有能力子维度中条目数最少的，从某种程度上说明还不够引起企业足够的重视。“开放式创新”正在逐渐成为企业创新的主导模式，这意味着工程师要通过引进外部资源提出创造性解决方案。“目的不是为了借力，而是为了超越，不是拿来主义，而是站在他的肩膀上再创新”（HE-A-03）。近年来，随着我国科研实力的提升，科技创新已由同步跟随到步入“无人区”，迫切需要一批工程师开疆辟土，长期从事大量原创性的工作。

**五、结论与讨论**

**（一）研究结论。**

通过对案例材料的编码分析，本文尝试构建产业智能化趋势下我国工程人才核心能力的基本框架，包括3 个主维度和12个子维度（如图1），基本涵盖了《华盛顿协议》对毕业生素质的要求，如工程专业基础、工程项目实践以及部分软技能等。通过企业深度访谈，研究人员还发掘了一些新涌现的能力需求，或识别出产业对某些能力项的理解发生的微妙变化。本文尝试将这些特征体现在能力框架上，特别是基于数字的价值创造、以用户为中心的系统集成（详见表5）。同时，该框架对思维能力的倾向也与近些年国际工程教育改革的方向保持一致。



图1 智能化趋势下我国工程人才核心能力框架

基于所发现维度的强弱和分布，本研究还初步识别了企业对工程师能力的重视程度。其中，数字思维与建模仿真、跨界融合两个能力项最受关注，集中反映了新一轮科技革命背景下未来产业靠数据、连接驱动发展的趋势以及对未来工程师基于数字的复杂问题求解的强烈需求。而根据访谈数据分析，本研究发现，我国企业对工程人才创新性思维与原始创新能力的重视仍然不足，对于从技术追赶到创新引领的转型契机没有较为充分、及时的响应。

表5 本文核心能力框架与《华盛顿协议》毕业生素质要求对照表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 子维度 | 条目数 | 内容吻合度 | 对应《华盛顿协议》内容 |
| 1 | 数据思维与建模仿真 | 19 | - | 现代工具应用  调查研究 |
| 2 | 跨界融合 | 19 | - | 个人与团队工作 |
| 3 | 工程意识与工匠精神 | 15 | + | 环境与可持续发展  职业伦理 |
| 4 | 工程设计思维 | 14 | + | 设计/开发解决方案 |
| 5 | 系统思维 | 14 | + | 工程师与社会 |
| 6 | 用户思维 | 14 | -- |  |
| 7 | 工程技术基础 | 13 | ++ | 工程知识  问题分析 |
| 8 | 基于项目的工程实践 | 13 | ++ | 项目管理与财务 |
| 9 | 前沿洞察与技术开发 | 13 | - | 现代工具应用 |
| 10 | 开放、共享与合作 | 8 | + | 个人与团队工作  沟通交流 |
| 11 | 终身学习与迅速迭代 | 8 | ++ | 终身学习 |
| 12 | 创造性思维与原始创新 | 6 | -- |  |

注：++表示比较吻合，+表示一般吻合，-表示不够吻合，--表示没有明确对应的条目。

**（二）讨论与建议。**

本研究通过企业实证研究，解构产业智能化趋势下未来工程师的核心能力，为我国工程教育改革与创新提供了进一步思考的空间：

第一，遵循“产业情景—人才需求—教育供给”的逻辑链条开展工程教育研究与实践，培养面向产业的工程师。当前，工程教育改革致力于产业与高校深度融合与协同发展，但作为协同双方仍需建立从宏观至微观的合作机制、甚或是战略共同体，基于共同的初衷、变革的刺激和未来的感知，以保障其一体性。

第二，技术的迅速迭代催生传统产业转型与新兴产业崛起，迫切需要高校在人才培养（特别是本科生培养）的体制机制上突破既往规则和传统标准的桎梏，对前沿技术保持敏锐的嗅觉，从而培养真正面向未来的工程师。我国新工科的倡议和当前实践正在对此进行探索，积极开拓工程教育改革新路径。

其三，面向未来智能化工程场景，工程师必须具备数据和计算思维、建模与仿真技能。高等教育机构在将计算集成到工程教育的过程中，应当更积极地与产业密切合作开发面向新兴智能技术的前沿课程和工程体验，并探讨更前沿的技术手段以保障更加及时和深度的合作互动。

本文尝试对智能技术驱动下的工程教育改革进行初步探讨，以作抛砖引玉。工程人才培养是一个系统工程，有些能力需要在高等教育阶段掌握，而有些能力更适合职后阶段训练。[34]本文尽管提出了面向未来的工程师核心能力，但如何通过产教融合，让企业和高校各自发挥功能和优势，从而有针对性地开发、培养这些能力还需要科学的路径规划。同时，工程人才培养要遵循工程教育自身规律。从工程教育的演化视角，探讨新涌现的关键特征，预判工程教育未来可能的发展方向，并从国际工程教育改革前沿中总结培养未来工程师的路径和模式，是我们接下来进一步探讨的系列话题。

**参考文献**  
[1] World EconomicForum. The Future of Jobs Report 2018[EB/OL]. [2018-09-17]. https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018.

[2] 沈漪文. 基于能力框架的HRST能力建设研究[D].杭州:浙江大学,2009:27.

[3] VAN KLINK M R,Boon J. Competencies: The triumph of a fuzzy concept[J]. International Journalof Human Resources Development and Management, 2003, 3(2): 125-137.

[4] 陈国松,许晓东. 本科工程教育人才培养标准探析[J]. 高等工程教育研究, 2012(2):43-48.

[5] 陈涛,邵云飞. 理念与现实:我国高等工程教育加入《华盛顿协议》后的发展趋向探析[J]. 高校教育管理, 2018(1):54-60.

[6] PASSOW H J.Which ABET Competencies Do Engineering Graduates Find Most Important in TheirWork?[J]. Journal of Engineering Education, 2012, 101(1):95–118.

[7]余寿文. 工程教育评估与认证及其思考[J]. 高等工程教育研究, 2015(3):1-6.

[8]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]. 高等工程教育研究,2016(05):17-26+38.

[9]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]. 高等工程教育研究,2017(02):72-78.

[10] El-ZEIN A H,HEDEMANN C. Beyond problem solving: Engineering and the public good in the 21stcentury[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 137:692-700.

[11] LUCAS B,CLAXTON G, HANSON J. Thinking Like an Engineer: Implications for the EducationSystem[R/OL]. [2014-05-22]. https://www.raeng.org.uk/publications/reports/thinking-like-an-engineer-implications-full-report.

[12]王沛民. 工学论随想|工程思维[EB/OL]. [2018-10-22].http://www.sohu.com/a/270457608\_99896482.

[13] MILLER R K.Building on Math and Science: The New Essential Skills for the 21st-CenturyEngineer[J]. Research-Technology Management, 2017, 60.

[14] 李泽湘. 颠覆创新人才培养的欧林经验[EB/OL]. [2019-05-07].http://zhishifenzi.com/news/innovationview/5926?category=multiple.

[15] MILLER R K.Why the Hard Science of Engineering is No Longer Enough to Meet the 21stCentury Challenges[EB/OL]. [2015-05-15]. http://www.olin.edu/sites/default/files/rebalancing\_engineering\_education\_may\_15.pdf.

[16] MITRA B. NewEngineering Education Transformation(NEET)[EB/OL]. [2018-05-17].https://www.4tu.nl/cee/en/events/discussion-future-engineering-education-mit-4tu/mit-neet-tue-may-17-2018.pdf.

[17]KAMP A.Engineering Education in the Rapidly Changing World: Rethinking the Vision forHigher Engineering Education[R/OL]. [2016-06]. http://resolver.tudelft.nl/uuid:ae3b30e3-5380-4a07-afb5-dafd30b7b433.

[18] 林健. “卓越工程师教育培养计划”通用标准诠释[J]. 高等工程教育研究, 2014(1):12-23.

[19] 周开发,曾玉珍. 新工科的核心能力与教学模式探索[J]. 重庆高教研究,2017,5(03):22-35.

[20] 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(06):6-10.

[21] 吴涛,刘楠,孙凯. “新工科”视域下工程人才关键能力的思考[J]. 黑龙江高教研究,2018(03):156-160.

[22] 龙奋杰,邵芳. 新工科人才的新能力及其培养实践[J]. 高等工程教育研究, 2018,172(05):41-46.

[23] IBM. 服务科学的发明[EB/OL]. [2009-03].https://www-31.ibm.com/ibm/cn/ibm100/icons/servicescience/index.shtml.

[24] CRAPS S,PINXTEN M, SAUNDERS G N, et al. Professional roles and employability of futureengineers[C]//Proceedings of the 45th SEFI Annual Conference 2017-EducationExcellence for Sustainability, Sep 18-21,2017: 499-507.

[25] COLMAN B, WILLMOTP. How Soft are ‘Soft Skills’ in the Engineering Profession?[EB/OL].[2019-08-12].https://repository.lboro.ac.uk/account/articles/9558890

[26] STEMconnector’s Innovation Task Force. STEM 2.0-An Imperative For Our FutureWorkforce[EB/OL].[2014-10].https://www.stemconnector.com/publication/stem-2-0.

[27] HECKLAU F, GALEITZKEM, FLACHS S, et al. Holistic Approach for Human Resource Management in Industry4.0[J]. Procedia CIRP, 2016, 54(Complete):1-6.

[28] MOURTZIS D.Development of Skills and Competences in Manufacturing Towards Education 4.0: ATeaching Factory Approach[C]//International Conference on the Industry 4.0model for Advanced Manufacturing. Springer, Cham, 2018: 194-210.

[29] PRIFTI L, KNIGGEM, KIENEGGER H, et al. A Competency Model for" Industrie 4.0"Employees[C]//13th International Conference onWirtschaftsinformatik(WI),February 12-15, 2017:46-60.

[30] 刘进,吕文晶. 人工智能创新与中国高等教育应对(下)[J]. 高等工程教育研究,2019(2):62-72.

[31]TABAS B,BEAGON U, KÖVESI K. Report on the future role of engineers in society and theskills and competences engineering will require [R/OL]. [2019-05].https://www.astep2030.eu/sites/sub\_site\_astep2030/files/2019-05/report\_1\_literature\_review\_a-step\_2030\_a1\_t1\_.pdf.

[32] KÖVESI K,CSIZMADIA P. Skills and Competencies for Innovators: New Priorities andRequirements for Engineering Graduates[J]. Training Engineers forInnovation,2018: 63-84.

[33] 周济,李培根,周艳红,等. 走向新一代智能制造[J].Engineering,2018,4(1): 11-20.

[34] BRUNHAVER S R, KORTE RF, BARLEY S R, et al. Bridging the Gaps between Engineering Education andPractice[M]//US Engineering in a Global Economy. Chicago: University of ChicagoPress,2018:129-163.