



中国教育科研参考

2020年第3期
总第(469)期

中国高等教育学会编

2020年2月15日

目 录

智能时代新工科

- 人工智能推动教育改革的实践.....李德毅 马楠 (02)
- 人工智能创新与中国高等教育应对(上).....刘进 吕文晶 (06)
- 人工智能创新与中国高等教育应对(下).....刘进 吕文晶 (15)
- 人工智能与高等教育的协同进化分析.....苏明 陈·巴特尔 (27)

编者的话:自1956年“人工智能”一词诞生以来,经过60余年的演进,人工智能已成为引领未来的战略性技术,世界主要国家相继将发展人工智能作为提升国家竞争力、维护国家安全的重大战略。2017年7月,国务院发布《新一代人工智能发展规划》(简称《规划》),高度强调人工智能是国际竞争的新焦点、经济发展的新引擎、社会建设的新机遇,是一项影响面广、推动社会各领域向智能化发展的颠覆性技术;同时,《规划》指出,我国目前存在人工智能领域人才不足和关键技术研发不足的问题。高等教育作为人才培养和科学研究的主阵地,应积极承担起培养高端人工智能人才、突破人工智能核心技术的时代责任。本刊以“人工智能与高等教育发展”为选题,集中选编若干文章,供读者参阅。

主编:王小梅 本期执行主编:王者鹤 责任编辑:刘军伟
地址:北京市海淀区学院路35号世宁大厦二层《中国高教研究》编辑部
邮编:100191 电话:(010)82289809
电子信箱:gaoyanbianjibu@163.com
网址:www.hie.edu.cn(中国高等教育学会——学术观点栏目)

智能时代新工科

——人工智能推动教育改革的实践

李德毅 马楠

科学技术的发展史就是人类认识世界、改造世界能力的拓展史，就是人类劳动工具的发展史。人类走过了农耕社会、工业社会、信息社会，进入到以“智能”作为当今社会时代印记的新阶段——智能社会。智能改变人类社会生活，改变世界。在农耕社会和工业社会，人类的生产工具主要是基于物质和能量的动力工具，得到了极大的发展。今天，劳动工具转向了基于数据、信息、知识、价值的智能工具，人口红利、劳动力红利不那么灵了，人才红利、智能红利来了，创新驱动发展成为时代的最强音，智能成为经济发展的新引擎，教育成为人才红利中的最大红利。

智能科学与技术是人类进入智能社会后，科学技术自身发展催生的一级学科，多学科交叉渗透和国家重大需求起了助催作用。它在中国特色的科学和教育体系中，具有聚焦智能培养、呼应创新驱动发展的社会需求，对发展智能工具，使我国在2030年成为全球人工智能创新中心，具有战略意义。

我国要成为全球智能创新中心和机器人最大的制造市场，迫切需要在中小学加强智育，发展智能专科学校、高等职业院校，在一流大学设置智能科学与技术学院、机器人学院等，从多角度、多层次进行跨界合作，培养具有跨界创新和工程实践能力的优秀人才。

一、新工科、新学科、新专业

当今世界范围内新一轮科技革命和产业变革，无论是人类智能还是人工智能，个体智能还是群体智能，集中智能还是网络智能，都是在提升创新驱动发展源头的供给能力，是创新的原始驱动力量，是生产力中的核心生产力。早在1993年，时任国务委员、国家科委主任宋健在题词中就明确指出：

“人智能则国智，科技强则国强。”1998年时任国务院副总理李岚清也明确指出：“通过对脑科学的研究，若能提高人的学习认知效率，将是对人类的一大贡献。”2017年百度董事长李彦宏在天津首届世界智能大会上指出：“中国在人工智能方面非常

有优势，创新不只是在大学里，这里还有很大的市场、人才和资金，有大量的数据积累进行训练，7亿网民说同样的语言，有同样的文化道德标准以及同样的法律。中国不领先世界，真的说不过去。”可是，曾经获得中国政府友谊奖的美国科学院、工程院院士约翰·霍普克罗夫特（John E. Hopcroft）的观点却值得我们深思：“中国拥有全球1/6的人口，却没有能拥有全球1/6的智能资源。”

因此，智能时代中国新工科要有新的学科和新的专业，智能科学与技术一级学科及其相关专业首当其冲。尤其重要的是，从长远看，人的素质和智能产生的大数据，正是训练机器人的素质和智能的前提条件。

（一）智能学科的诞生

科学技术的发展已经从认识客观世界、改造客观世界拓展到认识人类自身、认识人脑认知的新阶段，从发明动力工具拓展到发明智能工具的新阶段，经过了蒸汽机时代、电气时代、信息技术时代，进入智能时代（见图1）。

自2004年北京大学在全国首次招收培养“智能科学与技术”专业本科生以来，智能科学与技术专业作为154个本科特设专业之一，全国已有37所大学开展了智能专业的本科人才培养，目前已有13年的积累，急需汇聚、规范和提升，更好地服务于本科生和研究生教育。2010年中国人工智能学会开始论证增设“智能科学与技术”一级学科，相继联合多家学会、高校、科研机构、企业共同开展论证工作，组织论证活动近百次，征求意见上万人，重点论证了智能一级学科的引领性、独立性和普遍性，形成论证结论：“智能科学与技术”应列为一级学科，属工科门类，也可授理科学位。

人类科学史和发明史是智能科学与技术发展的缩影，半个世纪来，相关的诺贝尔奖、香农奖、图灵奖等获得者为代表，对智能学科的诞生和发展做出了巨大贡献。可以从脑科学和神经生物学对脑认知机理的研究进展和成果、人工智能60年研究进展

和成果、人类发展智能工具的进展和成果等三个维度看智能学科的诞生。智能作为一级学科，是提升创新驱动发展源头供给能力的时代需求，有着广阔的应用和发展前景。

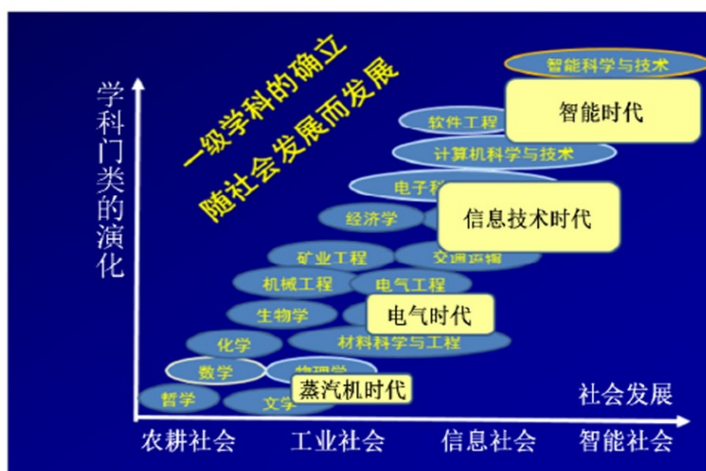


图1 学科门类演化与社会发展关系图

（二）创新驱动、智能担当

当今，不仅是材料、能源、传统制造和动力工具，更重要的是智能及智能工具，体现人的创造力、认知力，成为人类认识世界、改造世界新的切入点，成为先进社会最重要的经济来源。人工智能时代的到来，成为推动智能科学与技术成为一级学科的核心动力。加快从要素驱动发展向创新驱动发展的转变，智能科学或技术是非常重要的解决方案。推动这一事项不仅仅是一个学科建设，更是人工智能工作者的时代使命。

多学科门类的交叉渗透对“智能科学与技术”的诞生起到助催的作用。其中哲学门下的美学、逻辑学、伦理学，理学门下的数学、物理学、生物学、心理学，工学门下的计算机科学与技术、电子科学与技术、控制科学与工程，医学门下的神经学和文学门下的语言学、应用语言学等起到极大的作用（见图2）。

智能科学与技术列为一级学科后，待适当时机，智学可列为一个新学科门类，与哲学、经济学、法学、教育学、文学、历史学、工学、理学、农学、医学、军事学、管理学、艺术学等共同形成我国学科门类的14分法，我们充满期待。

二、“智能科学与技术”的工程教育

智能时代高等教育的价值进一步提高，继“新

工科建设复旦共识”“教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知”“天大行动”之后，新工科的研讨会议相继展开。建设新工科，要服务国家战略发展新型需求、构筑国际竞争新优势、落实立德树人新要求。高等学校要培养造就一大批多样化、创新型卓越工程科技人才，为我国产业发展和国际竞争提供智力和人才支撑，既是当务之急，也是长远之策。智能时代的新工科建设应该与智能一级学科的设置相呼应，且应该有新的专业。智能相关的专业教学与研究在我国部分高校已经开展，也设置了智能相关课程。但由于缺乏智能一级学科规范的指导和引领，使智能科学与工程教育的工程教育在实际发展中高开低走，碎片化、简单化、低水平狭义地演化着，“智能科学与技术”一级学科的建立，则可从根本上解决这个问题。



图2 智能科学与技术一级学科与多学科门类交叉渗透图

（一）“智能科学与技术”有明确的二级学科支撑

目前，我国的学科门类和一级学科是由上而下设立的，对规范学位授予和人才培养具有指令性意义，有明显的中国特色。智能科学与技术作为一级学科，具备三个条件：一是有相对明确、独立、成熟的二级学科支撑，二是能够覆盖智能学科整个内涵，三是学科奠基人被学术同行广泛认可。包括麦卡锡、明斯基、西蒙、纽厄尔、费根鲍姆、图灵、佩里、奥基夫、莫泽、坎德尔、卡内曼、付京孙、王浩、吴文俊、蒲慕明等，有30多人。值得一提的是，其中诺贝尔奖获得者有10人之多，图灵奖获得者6人之多，这在其他一级学科中是不多见

的，华人科学家对智能学科的贡献也很耀眼，是许多其他一级学科难以比拟的。经多次论证取得共识的二级学科如下。

1. “脑认知机理”。阐明认知活动的脑机制，即人脑使用各层次构件，包括分子、细胞、神经回路、脑组织区实现记忆、计算、交互等认知活动，以及如何模拟这些认知活动。包括认知心理学、神经生物学、不确定性认知、人工神经网络、统计学习、机器学习、深度学习等内容。

2. “机器感知与模式识别”。研究脑的视知觉、以及如何用机器完成图形和图像的信息处理和识别任务，如物体识别、生物识别、情境识别等。在物体的几何识别、特征识别、语义识别中，在人的签名识别、人脸识别、指纹识别、虹膜识别、行为识别、情感识别中，都已经取得巨大成功。

3. “自然语言处理与理解”。研究自然语言的语境、语用、语义和语构，大型词库、语料和文本的智能检索，语音和文字的计算机输入方法，词法、句法、语义和篇章的分析，机器文本和语音的生成、合成和识别，各种语言之间的机器翻译和同传等。尤其是计算语言学和语言数字化取得巨大成功，例如信息压缩和抽取、文本挖掘、文本分类和聚类、自动文摘、阅读与理解、自动问答，话题跟踪、语言情感分析、聊天机器人、人工智能写作等，形成一大批井喷成果，中文信息处理与理解尤为突出。

4. “知识工程”。研究如何用机器代替人，实现知识的表示、获取、推理、决策，包括机器定理证明、专家系统、机器博弈、数据挖掘和知识发现、不确定性推理、领域知识库，还有数字图书馆、知识图谱等大型知识工程。

5. “机器人与智能系统”。智能的应用技术，涵盖各种各样工业、农业、医用、军用机器人和服务机器人，还有智能驾驶、智能交通、智能制造、智能家居、智能环保、智能网络、智能管理、智慧医疗、智慧城市、智慧农业、智慧金融等。总之，智能科学与技术以脑认知为基础，以机器感知与模式识别、自然语言处理与理解、知识工程为核心，机器人与智能系统的应用为外围，已经形成一个独立的学科体系。二级学科中，最年轻的知识工程是1977年提出的，至今也已有40年的历史。

（二）回归本科：本科生的工程教育

目前，智能学科的研究生教育远比本科生教育普及，智能时代要求智能学科回归本科，回归到本科生的工程教育。本科不牢地动山摇，只有做好本科生的培养工作，建立合理的课程体系，形成以本科生为中心的人才培养方案、管理模式和教学运行机制。夯实基础，方能培养出新工科背景下的高层次人才，服务于社会各行业，保证我国智能科技的领先发展，攀登国际智能科技的高峰。

在本科基础课程、专业基础课程、专业课程（含核心课和选修课）和任意选修课程等不同性质课程安排上，都有独立的课程体系支撑，可由大学自主设置。对智能科学与技术专业，建立学分机制，课程学分建议设置如表1所示，课程建议如图3所示。

目前，在计算机学院、自动化学院、信息学院等相关工科专业讲授智能内容，一般不超过8学分，这就严重阻碍了社会对智能人才培养的素质要求。本科生设置智能专业，讲授智能内容可达到80学分左右，扩大了将近10倍学分。“智能科学与技术”的二级学科是大学自主设置智能专业课程体系的重要依据，可营造良好的教育环境和巨大生源，确保专业建设有扎实的基础、专门的知识以及宽阔的就业，该专业的核心课程也应该成为理工科为主体的本科生通识教育课程。

应该说，掌握基础性的智能科学与技术的知识和能力，不但不太会从现有的计算机、自动化等学院抢走生源，还会促进其他学科、专业、专业方向自身发展达到一个新的高度。

三、教育改革的实践

人工智能对社会的冲击是全方位的，但对行业的冲击首当教育。

人们历来认为教育等于知识的积累，教育就是传授知识，掌握知识和考知识，教师负责传授，学生负责掌握，教得好坏靠考试，通过考试来评估。当今这一观点受到质疑，人类社会一年的知识增量可能要超过过去百年乃至千年的历史积累，知识是不断演化着的，一个人脑中固有的知识存量，既有利于发展好奇心和想象力，也可能制约好奇心和想象力的发展。所以知识越多并不一定会导致创造力增强。知识工程的奠基人爱德华·费根鲍姆博士在

获得图灵奖的演讲中提出，知识不在于是什么，而在于怎样使用。他略微修正了著名哲学家培根的名言“知识就是力量”，认为这句话应该改为“知识当中隐藏着力量”。

云计算和大数据成就人工智能，教学内容的碎片化和多媒体重构，可即时灵活产生新的聚焦和新的知识点，慕课、微课、翻转课堂和个性化教学等交互认知手段，逐渐把教师转型为教练。我们的观点是教育不再仅仅是知识的积累，智能时代教育的本质是培养受教育者的三个能力：随时随地获取知识的能力、特定问题的决策能力、解决现实问题的创新能力。教育的本质是交互认知和交互认知的方法学，人工智能带给教育的就是改变。

表1 课程学分设置

课程分类	学分设置	
公共与基础课程	全校公共必修课程 36 学分	学科基础课程 12 学分
专业基础课程	33 学分	
专业课程	38 学分(含毕业设计至少 6 学分)	
选修课程	31 学分(含学科大类选修及专业选修课程)	
合计	150 学分	

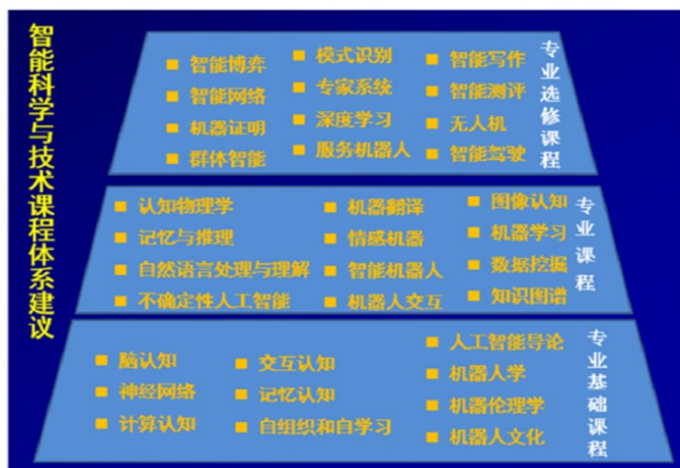


图3 本科课程设置

2016年北京联合大学在全国率先成立机器人学院，面向全国招生。同时，建立特区，形成综合改革试验点，取消行政级别，突显智能时代特色，在新工科人才培养方面进行大胆尝试。机器人学院面向人工智能、大数据、云计算、互联网等新技术，以培养高端智能机器人产业人才为目标，提出了“以科学任务带动人才培养，以载体汇聚不同学科”的人才培养模式，选择应用载体往往比确定科

学问题更重要，载体不必是当前产品的再开发，也未必有巨大的工程量，载体要体现学科研究的基础性、前瞻性和新颖性。学院以20辆“小旋风”无人车及无人机为载体，以车辆动力学基本相同的专用低速电动车辆为开发平台，包括巡逻车、情侣车、高尔夫球车、救护车、接驳车、送货车、物流车、洒水车、消防车和扫地车，共计20辆10种类型，组建兴趣活动组，学生可跨专业、跨年级自由组合，激发创新灵感，能力互补，开发各类锁定性应用，培养兴趣和解决问题的能力，师生基于载体建设专业课程实验、实践教学体系，成为机器人学院的共同关注，形成工程教育的教学改革特色：知行合一，学以致用。和早先的学科教育越分越细相比，机器人学院以明确的载体汇聚不同学科，问题导向，做实践中的研究，学知识，更学本领，研究中国智能产业人才的培养体系、课程设置、实验平台、成果转化方法等。北京联合大学机器人学院正展现出当代青年大学生朝气蓬勃、积极向上，为理想而奋斗的工科大学文化和良好的创新氛围。

人类的发展史，就是人类学会运用工具、制造工具和发明机器的历史，机器使得人类更强大。今天，人工智能正在使得很多知识工作岗位被机器人替代，同时也会涌现出更多新的工作岗位，机器使得人类更加有尊严、更加优雅、更加卓越、更加智慧。人类始终善于更好地调教和帮助机器人，善于利用机器人的优势并弥补机器人的不足，或者用新的机器人淘汰旧的机器人。机器人没有独立的价值观，机器人的价值观就是人类的价值观。各式各样人机协同的机器人，为我们迎来了人与机器人共舞的新时代，毋庸置疑人类始终是领舞者。让我们在新工科建设的“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”的指引下，积极推动工程教育改革创新！

(李德毅，中国工程院院士，中国人工智能学会理事长，清华大学、国防大学博士生导师，北京联合大学机器人学院院长，北京 100101；马楠，北京联合大学机器人学院副院长、副教授，北京 100101)

(原文刊载于《高等工程教育研究》2017年第5期)

人工智能创新与中国高等教育应对（上）

刘 进 吕文晶

人工智能创新，在创新主体、创新动机、创新流程、创新影响要素、创新结果、创新成本甚至创新缺陷等方面都可能与传统创新模式存在根本差异。本轮人工智能热潮刚刚开始，人工智能创新的基本原理是什么，人工智能创新的现状与问题如何，高等教育如何面向人工智能创新做出有效调整？本研究深入人工智能学术与实践前沿，尝试通过深度访谈方法就以上问题做出初步回答。本研究限于篇幅分为上、下，上篇重点关注人工智能创新的基本原理问题。

一、研究设计

人工智能是高密集度创新活动，“强调智能就是强调创新、创新就是智能”。为此，从创新视角展开人工智能研究具有现实意义。本研究旨在回答2方面问题。一是人工智能创新的基本原理。也即，人工智能所引领的创新活动究竟是如何开展的，核心涉及哪些基本要素、基本流程，各要素与流程间的关系怎样，也即人工智能创新的基本原理究竟为何。二是面向人工智能创新的高等教育应对。也即，人工智能创新活动中，高等教育究竟应扮演何种角色，高等教育如何顺应人工智能创新原理进行自我调适与应对。

本研究采用深度访谈方法。访谈对象分为人工智能创新研究群体（学术界）和人工智能创新实践群体（产业界）两大类。学术界访谈对象包含大学教师、科研院所研究人员2类人群；产业界则包含人工智能资深、初创2类企业的中高层从业人员或技术管理人员。研究共包含15例样本（表1），应访谈对象要求，本研究略去了访谈对象姓名，删除了可能涉密的技术细节。

二、人工智能创新的基本原理

（一）人工智能创新的学科原理

访谈显示，一方面，人工智能所依托的具体学科是明确且具体的，但近年来人工智能创新却呈现出“人工智能传统学科+多学科”的显著特征，人

工智能技术创新的相关学科正与人工智能应用创新的相关学科交互融合，这形成了当前中国人工智能创新的学科图谱。另一方面，人工智能创新的学科基础变化正带来整个学术创新体系的变化，尤其是研究机构与应用机构之间的关系正发生明显转变，逐步呈现“你中有我、我中有你、边界模糊”的基本态势。

1. 人工智能创新在技术领域的学科基础相对集中，但正出现不断扩大趋势。访谈显示，人工智能所依托的计算机、信息、自动化、软件等传统学科仍然是技术创新的关键依托，但当前围绕人工智能中心学科不断扩大学科边界的趋势已经形成。比如，一些高校的计算机学院正迅速向人工智能学院转变；大量传统意义上非人工智能学科的受教育者，正通过跨学科学习等方式将自身标记成为“人工智能人才”。访谈显示，作为中国科研水平的最高代表——院士群体，正出现面向人工智能转向的最新趋势，访谈对象列举了多位来自非传统人工智能学科、但目前活跃在人工智能领域的院士名单，显示出中国学界面向人工智能创新进行学科转型的基本趋势。而且，人工智能在技术创新领域已经逐渐呈现出跨学科协同的主要态势，并且该趋势仍在加强。举例来说，“工业4.0”的核心涉及的人工智能工厂、智能生产和智能物流三大主题就涉及大量学科融合议题，比如传统基础工科（如机械学科）正在人工智能创新的硬件领域（如智能制造）形成更多成果。此外，人工智能创新正打乱传统的学科布局，学科界限变得模糊，可能的原因是“（中国）一旦某个学科比较热门，其他专业只要能靠上的都会来做（F1）”（受访者代码见表1）。

2. 人工智能创新正实现对传统学科的突破，面向“大文大理”的全学科融合将成为可能。访谈显示，人工智能创新正吸引大量非传统学科加入，通过人工智能实现跨越“大文大理”的学科融合创新存在现实可能性。社会学科、艺术学科甚至人文科

表1 访谈对象基本信息列表

编号	工作机构	岗位职责	访谈时长
F1	北京某“双一流”高校 A	教授、杰青	1.5 小时
F2	北京某“双一流”高校 B	教授、青年千人计划学者	1 小时
F3	北京某“双一流”高校 C	教授、曾担任某人工智能企业技术负责人	1.5 小时
F4	北京某“双一流”高校 D	副研究员、图像识别方向	1 小时
F5	中科院某研究所 A	研究员、人工智能硬件方向	1.5 小时
F6	中科院某研究所 B	研究员、人工智能软件方向	1.5 小时
F7	人工智能大型企业 A	博士, 专职研究员	1.5 小时
F8	人工智能大型企业 B	博士/博士后, 专职研究员	2 小时
F9	人工智能大型企业 C	博士, 高层管理人员	1.5 小时
F10	人工智能大型企业 D	博士, 专职研究员	1.5 小时
F11	人工智能初创企业 E (人工智能硬件)	博士, 企业负责人, 已实现盈利	1.5 小时
F12	人工智能初创企业 F (教育类初创企业)	博士, 企业负责人, 已完成融资	1 小时
F13	人工智能初创企业 G (自然语义分析方向)	博士, 某著名互联网企业原人工智能实验室负责人, 后独立创业, 已完成上亿美元融资	3 小时
F14	人工智能初创企业 H (视频识别方向)	博士, 企业已完成首轮融资	1.5 小时
F15	人工智能初创企业 I (机器人方向)	博士在读, 企业负责人, 兼某高校科技园部门负责人	1.5 小时

学的创新想法, 将有望通过人工智能创新得以释放。未来, 数据驱动型的人工智能创新模式, 掌握技术规律、上传有效数据的各学科从业者都可能获得相应创新成果, 非传统人工智能学科从业者将更容易进入人工智能创新循环体系。当前这一趋势已经凸显, 人工智能创新正迅速向各具体学科渗透, 并一定程度上形成了对各学科的创新引领。比如, 北京某高校受访对象指出, 该校人工智能学科正与本校法律和金融等学科展开合作, 提供法律的辅助方案、辅助量刑和其他法律分析、金融分析工具等。一些受访对象甚至认为, 受到传统学科轻视

的“民科”领域的部分创新性想法, 也可能随着人工智能发展出现创新突破可能。虽然如此, 人工智能创新仍然遵循渐进式创新的基本逻辑, 创新增长点仍然主要来自前期创新积淀, 创新活动具有显著连续性特点, 人工智能创新仍然是“站在巨人肩膀上”的渐进式创新, 通过某一“创新想法”迅速开展人工智能创新活动的“激情式创新”并不被受访对象看好。

3. 人工智能创新正形成研究与应用的“模糊边界”, 研究机构与应用机构正重新定位各自职能。访谈显示, 本轮人工智能创新正给予非传统研究机构更多创新话语权限。一些互联网公司乃至传统行业企业, 正按照人工智能创新规律, 通过购置硬件提升计算能力、购买或自行积累形成大数据资源、协同使用或自行引进人才进行模型训练等, 增强自身的人工智能创新能力。重大基础性创新活动仍集中在高等学校、科研院所等传统创新主体, 但理论创新与实践创新的边界正变得模糊, 人工智能创新正加速创新主体间的融合进程。

(二) 人工智能创新的技术原理

访谈显示, 深度学习算法、大数据资源和计算能力提升被认为是此轮人工智能创新热潮兴起的关键。当前阶段仍迫切需要人工智能基础领域的创新突破。

1. 深度学习算法实现了人工智能创新的方法论突破。访谈显示, 人工智能技术创新是多方向的, 深度学习过去不是、未来也不是人工智能创新的单一技术方向。虽然如此, 深度学习却是人工智能发展历程中的重大突破。此前的人工智能技术方向大多要求满足大量假设条件, 而实际应用场景往往十分复杂, 因此形成了人工智能的创新瓶颈, 并导致在相当长的历史时期内人工智能研究并不被看好。而深度学习算法则弱化了对这些假设的要求, 可供训练的数据集即可实现对具体应用场景的学习模拟, 这与其他算法在方法论上存在本质不同。举例来说, 以前通常用价格模型来预测房价, 需要输入面积、位置等参数进行模型预测。

但深度学习算法则不同，它可以利用房屋大数据进行学习训练，当输入新房信息时系统就可自动给出房屋估价，虽然价格计算原理往往较难解释，但结果却往往非常准确。此外，从技术原理看，深度学习还具有的增强学习、自我迭代等能力，也是此轮人工智能被认为“更加智能”的主要原因。

2. 数据驱动的基本原理实现了人工智能创新的思维方式转变。访谈显示，本轮人工智能创新具有数据驱动的基本特征，数据驱动型人工智能创新扭转了人类的创新思维方式。人类早期对待人工智能的态度大多是“求全责备”的，试图形成全方位模仿人类的“通用机器人”，但最终纷纷走向失败，非常类似于早期利用仿生学制造飞机，人类最终制造出的飞机机翼是固定的而不是完全模仿鸟类的活动机翼。本轮人工智能创新思维方式转变的重大意义恰在于此，“不求通用、但求专业”，“不求替代、但求辅助”的新的人工智能创新思维，更加接近于人类目前的技术创新能力，也可能更加接近人工智能创新的“正确道路”。本轮人工智能发展不仅扭转了过去贪大求全、力求速胜的思维方式，而且小步快走、务求实效的特征非常突出，有效促进了人工智能在“非通用”领域逐步的“生根落地”。数据驱动的创新特质也增强了数据资源与创新结果间的紧密联系，随着人类社会的继续向前发展、数据资源的进一步丰富、数据质量的持续提高，未来的人工智能创新效果将会不断趋好。

3. “暴力式”特征实现了人工智能创新的具体路径转变。部分受访对象用“暴力式创新”字样来形容本轮人工智能的深度学习算法，认为人工智能正进入无理论、无方法、主要依靠数据量和计算力开展创新活动的新阶段。深度学习算法过去早已出现，但人工智能却并未因此而迅速发展，恰是由于过去大数据积累不足和人类的计算能力准备不够。近年来的发展历程表明，深度学习、大数据资源、计算能力、应用场景等要素的协同，是形成当前阶段人工智能创新成果的根本，人工智能创新本质上是多个创新要素的协同而非单一要素的突破。该种“暴力式”创新特征的出现具有重要意义。举例来说，医疗领域长期以来成为需要较长人才培养周期、高度依赖医生个体经验、偏向医生个体认知

和能力的“部分经验主义”领域，而以沃森等为代表的人工智能产品正迅速揭开各类病理和药理，甚至可能打开中医的“神秘宝库”，即使短时间内相关创新成果无法完全替代人类，其也可以作为辅助工具帮助人类在提高诊断水平、改善治疗方案、降低医疗成本、促进社会公平等方面做出极大改变。

4. “人工智能+”与“互联网+”的本质不同在于生产力与生产关系的差异。访谈显示，本轮人工智能热潮和此前的互联网热潮存在根本区别。互联网属于生产关系，人工智能属于生产力，并且是“生产力中的核心生产力”。互联网解决的是信息不对称问题，人工智能则试图在本质上提升人类生产力，美国等倡导的工业互联网，核心就是把机器学习、大数据、物联网、机器与机器通信、信息网络系统等综合在一起，以持续“激发生产力”。如果说“互联网+”解决的是商业模式问题，那么“人工智能+”则解决的是生产效率问题。举例来看，“互联网+教育”所形成的慕课等内容，并没有对人类社会知识生产方式产生本质性影响，但“人工智能+教育”则完全可能改变教育模式、提高教育效率。比如，过去课堂评价主要是测试，人工智能时代则完全可以进行客观的情感计算评估，直接分析学生在课堂上的投入感、愉悦度等，将大幅提升教育教学效率。人工智能甚至可以形成新的未被人类发现的知识，不管是阿法狗下出人类叹为观止的围棋棋谱，还是一些专利保护公司运用人工智能发现知识盲点进行知识产权保护，都是“人工智能+”形成生产力的基本过程。

5. 深度学习算法不能包打天下，人工智能创新呼唤重大突破。访谈虽然肯定了当前人工智能创新的重突破，但相关素材中也大量提及了深度学习算法的现实局限。一些访谈对象明确指出，深度学习并不一定是人类通往未来“真正人工智能时代”的正确道路，当前绝大多数的深度学习属于“机器学习”而非真正的“人工智能”，因为各类算法并未真正解决“类人性”特征。当前人工智能创新最急切期待的是基础理论的突破，而该种突破既可能来自于业界呼声较高的脑科学等领域，也可能来自于自动化、信息、计算机等人工智能的传统学科甚至其他学科。比如，未来如何把先验的脑中知识与

算法结合起来，如何把人类知识库信息快速准确融合进模型训练，实现人与机器的双向互动，这是人工智能创新的关键点也是难点，以当前人类的理论准备来看并不具备解决可能，仍然呼唤重大基础性理论创新。

（三）人工智能创新的协作原理

访谈显示，人工智能创新是一项系统工程，在创新体系方面，需要加强技术创新与制度创新的协同；在创新主体方面，需要多主体的深度协同。

1. 技术创新与制度创新并行，反映出刚性人工智能创新与柔性人工智能创新的协同发展。访谈显示，人工智能在不断推行技术创新的同时，必须密切关注制度创新。人工智能可能引发全行业、全领域创新活动的“颠覆”，各行业在迎接人工智能创新的过程中，新老理念的交锋、新老技术的交替、新老产品的更迭，都可能形成大量制度空白和制度漏洞，人工智能制度创新必须及时跟进。具体而言至少涉及到两大类制度创新。

一类是人工智能创新保护方面的制度创新。人工智能创新的知识产权保护相比于传统创新更为困难。从学术精神看，研究者尤其是基础领域研究者更倾向于公开报告自己的研究发现，这在捍卫学术精神的同时也增加了知识产权的保护困难。传统创新活动通常将论文与专利分开，论文更多报告学术发现，专利更多形成应用保护。但在人工智能领域，知识产权的保护特别困难。当前世界各大科研机构几乎都把人工智能代码进行公布，虽然注明不准商业应用，但后来者往往只要针对应用场景稍作修改即可成为公共知识，知识产权很难获得实质性保护。这其中还涉及到专利保护的周期问题，专利一般分防御性和进攻性两种，专利审核周期一般为两到三年，但人工智能的技术迭代周期远远快于这个速度，因此无论是防御性的还是进攻性的，以专利方式保护人工智能创新成果都很难形成实际壁垒。事实上，中国早在2016年发布的《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》中就已经注意到了“知识产权保护”的上述问题，人工智能时代，专利如何更好发挥保护知识产权的作用，如何调动参与主体积极通过专利方式保护人工智能知识产权，如何通过其他非专利方式保护人工智能创新

知识产权等，都需要通过制度创新探索解决。

另一类是人工智能伦理保障方面的制度创新。人工智能创新涉及到数据、隐私、不良后果等大量伦理问题，很多问题是人类社会首次面对，亟待通过制度创新加强制度建设。典型的伦理建设议题包括：第一，训练数据集的真实性和隐私保护问题。数据驱动型人工智能创新，数据数量与质量关乎创新结果，其中涉及到大量伦理问题。比如，自然语义分析等因涉及到国计民生（如电影评分）或重大利益（如总统大选），人为恶意提供有偏差数据存在可能。目前多国大选民调已经出现“水军”问题，受数据噪音误导的人工智能分析结果可能影响民意走向，如何通过技术创新和制度创新排除“水军”数据非常迫切。此外，数据隐私问题也非常突出，2018年5月欧盟通过了专门针对公民大数据采集和运用的严苛规定，在此之前，脸书公司的数据泄露事件，中国某大型互联网公司有关公民隐私数据的不当言论等都触碰着民众的敏感神经。数据资源是人工智能创新的稀缺资源，但当前却面临着现实悖论，一方面大量的公民信息数据是机器学习的关键所在；另一方面公民数据信息本身具有高度的私密性，法律和道德层面都极力反对窃取公民隐私的不当行为。一些访谈对象反映，在与人工智能企业合作过程中，他们并未对企业所提供数据的来源进行真实性和伦理审查。当前一些机构或个人利用人工智能概念进行炒作以获得不当得利，此类问题也应归入人工智能伦理制度创新范畴，需要通过制度创新构建“充满道德挑战的工程环境”。除此之外，人工智能伦理制度创新还涉及到破除传统“认知偏见”问题，如新加坡推出的无人驾驶公交车很多民众拒乘，如何消除使用者疑虑也呼唤更多制度创新。

2. 人工智能创新更多体现其开放性特征，人工智能创新的开放程度显著好于历史上绝大多数的技术创新活动。人工智能创新之所以成为第四次工业革命的先锋，恰在于人工智能本身有着类似于前几次工业革命的高度开放与快速传播特征。人工智能创新将有可能像电力发明一样，快速“颠覆”所有行业领域，其“颠覆”速度甚至可能快于电力、蒸汽机乃至互联网的发明。该种快速传播特征的前提

是人工智能的高度开放性特征，也即人工智能创新主体愿意开放源代码给中小参与者，中小参与者愿意在开放平台上共同展开创新活动，人工智能巨头与中小企业所形成的良性互动格局将成为未来人工智能发展的必由之路。该种开放还体现在不同创新主体间的协同上，最典型的是科研机构与企业的协同创新。访谈显示，本轮人工智能发展大幅提升了企业的参与度，虽然在短期内企业无法挑战以大学为代表的传统人工智能创新主体的地位，但二者之间的协同创新态势正逐渐形成。人工智能企业正越来越多地与科研机构进行人工智能研究合作。

（四）人工智能创新的产业原理

访谈显示，人工智能创新在产业机制上，既表现出创新与创业的紧密衔接，又表现出不同层次类型主体间的复杂联系，这很大程度上体现了人工智能创新原理与传统创新原理的差异。

1. 创新创业主体多样，人工智能技术与具体行业充分融合发展，推动行业转型或新产业生成。访谈显示，当前阶段人工智能创新正处于上升关键期和创业黄金期，创新创业机会主要集中在人工智能技术与应用的结合领域。人工智能的产业机制与传统机制存在较大差异，最显著不同在于其主体的多样性。人工智能创新创业主体除传统大型公司尤其是大型数字类公司、互联网公司外，另两类主体正迅速加入。一类是人工智能技术创新的研究者。一些创新研发人员正迅速加入创业活动，他们依托在人工智能领域的技术创新成果，通过吸引投资迅速成立初创型人工智能公司，高校、科研院所等传统学术组织的从业者的直接人工智能创新创业活动也在迅速增加，一些人工智能研究人员正通过显性（辞职创业）或隐性（兼职创业或出售服务）方式，直接实现与产业界的融通。该种方式有时也以机构形式出现，比如中国科学技术大学就持有著名人工智能公司科大讯飞的部分股份。另一类是传统行业面向人工智能转型。一些传统产业中的佼佼者，已经积累形成行业数据库和数据采集渠道，他们正以此为基础迅速转型成为人工智能创新创业主体。一些受访对象主张从“是否拥有应用场景”来进行人工智能公司的类型区分，据此可以将人工智能公司划分为两类，一类公司以脸书、谷歌等为代

表，本身拥有独立的传统业务，他们将人工智能与传统业务结合起来转型成为新的人工智能巨头。另一类公司被称为“纯粹的人工智能公司”，以中国的商汤公司等为代表，他们专注于人工智能的技术创新，其创新创业活动需要寻找具体的应用场景，其技术创新成果“和哪个领域结合”“和谁结合”非常关键。以一个具体产业—教育产业来举例，可以将教育产业的人工智能公司大致分成三类。一类是以新东方为代表的传统企业，他们虽然成立了人工智能实验室等创新组织，但这些组织更多是对现有业务的拓展；第二类是传统教育数字类公司，比如在线视频录播类企业，当遭遇发展瓶颈后他们开始面向人工智能寻求创新转型；第三类是过去与教育无关的人工智能企业，他们也开始利用技术创新成果进军教育行业（如科大讯飞）。

2. 寡头与中小企业并存，开放与垄断交织，释放出大量创新创业活力。一些访谈对象在谈及人工智能创新的产业关系时，大多既承认大型企业尤其是人工智能巨头和互联网巨头的垄断地位，也认为中小企业在人工智能创新活动中具有不可或缺的重要地位，未来将可能形成“大企业提供人工智能平台”+“中小企业进行平台创新”的基本产业分工。一些访谈对象还预测，“新一代人工智能公司”即将出现，也即由于人工智能对于各类产业的广泛“颠覆性”，大型公司很难覆盖所有行业，中小型公司或各具体行业类公司可能通过开源算法、技术共享、面向实际应用场景迅速成长起来。当前多个人工智能巨头已经推出创新创业平台，鼓励中小创新主体展开二次创新。开源不仅让中小人工智能创新主体分享最新的科技成果，而且开源核心算法和框架的使用增加也推动了整个人工智能行业的快速发展，既降低了人工智能创新门槛，也为新企业提供了发展机遇，将推动企业产品研发的速度加快，大企业将可能逐渐发展成为行业引领者甚至规则制定者，形成完整的人工智能创新创业生态系统。人工智能巨头间的竞争也将从传统的产品竞争变为平台竞争，占据顶端优势的行业巨头需要根据应用者需求不断提升平台质量以保证用户使用和用户增长，开源平台竞争加剧尤其是人才竞争激烈凸显。近年来人工智能行业薪酬水平呈指数增长就是

上述原理的具体表征之一。

3. 技术创新与应用场景创新融合，技术专业与行业专家协同推进。访谈显示，人工智能促进产学研结合，关键在于技术创新与应用场景匹配与契合，尤其是以人工智能为代表的新工科建设更加强调学科的实用性、交叉性与综合性。而现实情况是，无论是高校还是企业，即使人工智能技术是成熟的，也并不能代表应用方真实需求。人工智能创新的成败在于能否将相关技术深入到实践应用场景，能否真实获得场景数据，能否理解场景特定需求，能否开发出解决实际场景特定需求的高质量产品。当前的人工智能发展，技术创新与实践创新“两张皮”问题仍非常突出，导致人工智能创新概念多、真正人工智能创新产品少。人工智能技术门槛取决于具体应用者对业务本身的理解，人工智能产品的好坏考核的是产品的综合性，人工智能应用的背景知识以及对用户的理解至关重要，不存在一个通用技术能适用所有场景的可能，而且未来随着技术越来越细分、越来越精准更不存在这种可能。人工智能时代，人的素质成为研发和训练机器人的前提条件，未来人工智能领域一定是技术与行业的结合，核心是技术专家与行业专家的深度协同。

三、中国人工智能创新的现状与问题

人工智能是新工业革命的核心驱动力。当前中国明确提出创新驱动发展的总体战略，加快从要素驱动发展向创新驱动发展的转变，人工智能是一种关键的解决方案。访谈显示，本轮人工智能热潮有可能突破历次人工智能发展的“历史周期律”。人类前两次人工智能热潮都出现了从高峰到低谷的技术创新巨幅震荡，大量创业型公司迅速崛起又快速毁灭，该种“技术成熟度曲线”问题成为了人工智能创新的“历史周期律”。究其原因，根本在于前两次人工智能技术创新突破不深、与应用场景联系不足。2017年被称为人工智能“落地年”，显示出本轮人工智能技术创新与应用创新距离的大幅缩小，有望破解上述人工智能创新的“历史周期律”问题，至少将大幅降低人工智能技术创新由盛转衰的曲线坡度。尤其是与前两次人工智能热潮更多停留在“科幻”“想象”层面不同，本轮人工智能发展所依托的深度学习算法仍处在快速创新突破阶

段、所依托的数据资源仍处于高速增长积累阶段、所调动的计算能力仍处于大幅提升增加阶段，在此基础上形成的人工智能创新成果已经部分满足了人类社会的想象并使人类从中广泛受益。虽然如此，访谈也显示出，本轮人工智能创新刚刚起步，现阶段中国某些关键性问题仍非常突出。

1. 人工智能创新的认知与实际脱节，赋予人工智能创新太多不切实际的幻想，存在创新“泡沫”风险。访谈显示，现阶段中国人工智能创新的核心问题之一是民众对于人工智能的认知与人工智能发展的实际相脱节，该种“脱节”也曾广泛出现在前两次人工智能热潮，如不加以有效引导将可能影响中国的人工智能创新进程。当前中国人工智能创新已经出现民众呼声过高、部分企业虚假炒作、概念过多落地不足等现实问题，社会舆论对人工智能赋予了太多不切实际的期望，很多机构看重的是人工智能的“名头”，套上的是人工智能的“帽子”，并误认为“人工智能是万能的”。而事实上，现阶段以深度学习为基本算法的人工智能技术创新，其创新迁移能力是非常有限的。中国人工智能创新的速度虽快，但仍显著慢于民众的心理预期，各人工智能创新主体对于人工智能前景的展望过于急功近利，很大比例的人工智能创新活动仍停留在概念炒作阶段，而事实上“很多行业和领域并没有发生任何实质性变化（F3）”。该种人工智能创新认知与实际的脱节，既与民众受科幻作品影响产生的人工智能认知偏差有关，也与部分媒介的无良吹捧有关，“一些天花乱坠的宣传让对人工智能一知半解的民众陷入迷途（F2）”。一些受访对象非常明确地提及了当前人工智能创新存在的泡沫、泡沫产生的原因和泡沫破裂可能造成的危害，并认为现阶段该种泡沫甚至已经可与“上世纪末的互联网泡沫”相类比。人工智能创新泡沫具体有两种表现，一种是无限夸大人工智能创新的能力和影响，混淆人工智能的应用场景局限，模糊通用人工智能与非通用人工智能的边界，让民众形成人工智能“无所不能”的错误认知。另一种是鼓吹当前数据驱动型人工智能的历史地位，否定了数据驱动型人工智能创新只是整个人工智能创新历程中的阶段性成果的现实，未深入探究以深度学习为主要方向的人工智

能创新理念与技术局限，而类似创新泡沫的背后往往是经济利益或其他利益的驱动。一些受访对象认为，当前数据驱动的人工智能发展方式虽有其实用价值，但并不会解决未来人工智能发展的根本问题。一些炒作把机器说得像人甚至“超人”一样，但从技术层面来看，“现在连技术突破的方向都看不见”“技术突破的影子都没有”“预测可能发生的时间都做不到（F19）”。人工智能创新的健康运行需要“工程精神”，还需要“规矩准绳”，实事求是应成为现阶段人工智能创新的最低遵循。

2. 人工智能基础创新不足，创新方向不明确，通用智能创新缺乏可靠根基。访谈显示，本轮人工智能创新趋势尚难预测，根本性的创新突破仍有待重大的基础创新成果出现。实现公众理解的“像人一样的人工智能”（通用人工智能）目标，目前并不具备扎实的理论基础，仍然呼唤重大的理论突破。受访对象较为一致的观点是，本次人工智能热潮背后并没有大的理论上的突破，本质上是数据时代加上计算力的提高，促成了一些偏应用性的人工智能方向的发展。而且当前人工智能在不同领域的研究进展差异很大，因此未来人工智能的重大突破方向可能也不是单一的。比如，目前自然语言处理领域还处于早期阶段，但计算机视觉领域已经“非常智能”了，未来在自然语言处理和计算机视觉两个不同领域的人工智能理论突破方向可能是不同的。有关人工智能基础创新的未来方向，一些受访对象鼓励中国通过对人脑仿生学的研究促进人工智能发展，但另一些受访对象则认为，遵循脑科学、神经网络等方向推进人工智能创新并不一定能够成功，“脑科学研究已经很多年了，实际进展非常缓慢，脑科学是否是人工智能的创新之路仍看不清（F3）”。

3. 人工智能技术创新与实践创新鸿沟依然存在，创新转化仍存现实困难。访谈显示，人工智能虽然“热”起来了，但真正需要解决的核心科学问题依然存在，现阶段人工智能技术创新成果仍然较难转化成为实践创新成果。很多人工智能技术创新仍处于探索阶段甚至“概念炒作”阶段，并没有开发出相应的真实产品。有访谈对象认为，中国人工智能公司已超过1 000家，但如果从是否拥有真实

的人工智能产品角度来评判则远没有那么多。一些有产品的人工智能公司，产品质量也与真正意义上的人工智能相差甚远，甚至有可能成为“人工智障”。比如，当前人工智能语音识别系统的很多产品是非常初级的，只是在语料库中进行简单搜索，这与多年前的专家系统思维没有根本区别。再比如，市场上推出的若干款对话机器人，绝大多数并不能真正明白人类在说什么，更理解不了人类情感、意识等。一些语音或文字识别机器人宣称的百分之九十多的识别率，大多是在非常小的数据集中得出的结论。而且，本轮人工智能热潮最引人注目的就是技术与行业（产业）的结合，这也是未来人工智能创新价值产出的关键所在，但恰是在此方面目前仍存在很多不足。比如，在结合的意识上，很多行业目前是抵制人工智能的，该种抵制与人工智能创新和应用条件尚不完全具备有关。比如，有些行业期待引入人工智能技术，但却既缺乏对人工智能创新的基本理解，也没有人工智能创新人才，更没有人工智能创新技术积累，导致其对人工智能创新存在畏惧。而那些掌握人工智能技术的公司、高校或科研机构对具体哪些行业拥有真实的人工智能需求却缺乏敏锐度与沟通渠道，未来具体行业与人工智能的融合创新仍然是一个漫长的过程。

4. 人工智能创新从模型训练到实际应用周期较长、难度较大、风险较高。访谈显示，一些涉及人类切身利益的人工智能技术创新与实践创新成果，往往周期很长，难度很大，并面临着显著的人身、道德和伦理风险。这最主要集中在医疗、自动驾驶等领域。一些受访对象明确反对现阶段中国人工智能在涉及“人的生命和健康”领域的应用，认为人工智能应在不危害人类自身的框架内进行。人工智能创新风险还体现在人工智能创新所依托的大数据质量不高方面，当前人工智能的数据质量问题突出，很多领域并未形成真正的大数据资源（如北京某高校具有显著的国防色彩，相关学科领域因保密要求并无现成的大数据素材），一些较为封闭的领域也存在大数据库建设不佳的问题（如中医领域）。现阶段很多人工智能创新主体都宣称拥有大数据资源，但却往往并未考虑数据的数学特性，从技术原理看，好的人工智能训练通常要求数据具有

一定的统计平衡性，当前大家误认为深度学习是万能的，对数据本身缺乏质量评估，各类数据不管合适与否都交给机器去做。与此同时，目前还面临着如何在小样本空间开展人工智能创新的问题，也即在数据量并不充沛的情况下如何进行机器学习。当前很多应用场景获取人工智能训练所需的大数据较为困难，或者对数据进行标记较为困难，多数情况下研究者只能得到部分小样本数据，如何运用小样本数据进行深度学习是当前人工智能技术创新亟待攻克的难点。比如，某电网的大数据中99.99%是正常运行数据，如果要用人工智能预测非正常供电行为，则剩下的0.01%异常数据才是至关重要的，但这部分数据相当稀少，用小数据样本来训练故障模型就很有挑战性。

5. 人工智能的“过程黑箱”、解释性风险、反人工智能等为创新留下隐患。访谈显示，人工智能创新依然面临着“过程黑箱”的解释性困难，这在很大程度上仍然是人工智能创新特殊原理的体现。具体而言，在人类历史的绝大多数时期，创新都是有因有果的明确互动关系，而当前人工智能所依托的深度学习算法则模糊了深度学习过程，既难进行结果解释也难进行算法调整。当前人工智能的可解释性问题为人工智能创新留下“重要隐患”，目前关于“人工智能到底是怎样给出结论的”还很难得到确切解释，尤其是卷积神经网络达到更深层次，人类已无法完全理解人工智能的运算过程，这与以往的大多数创新活动所强调的严谨性、可解释性、可预测性等不同，人工智能创新结果变得并不可控，创新结果有时甚至“表现出一些奇怪特征（F7）”。可解释性已经成为当前深度学习的“最大问题（F13）”，目前深度学习的过程“黑箱”结构异常复杂，有的已经能达到上千层神经网络，通常情况下人类看到的是给计算机一个输入，计算机给出一个输出，但内部的决策过程十分庞大，很难知道计算机为何给出相应的输出。而且一旦某些地方进行了微调，有关模型可能就会发生连锁反应，究竟会产生什么改变较难预知，这也就做不到“可控”。举例来看，自动驾驶出现车祸，研究者为了让机器学习避免该种车祸的情况而加入一些新的算法，看似问题得到了解决，但也可能因此导致其他

问题出现。除此之外，最新的一些研究出现了“反人工智能”的专门方向，试图通过算法“骗过”人工智能技术，这也为人工智能创新带来巨大隐患。比如，一些技术已经可以干扰自动驾驶汽车对于目标的识别，这将有可能带来灾难性后果。

6. 中国仍需要实现人工智能领域的基础创新，借以抢抓本轮人工智能创新战略机遇。中国因历史原因错失了前两次人工智能热潮，但却抓住了本轮人工智能的创新机遇，这恰恰反映出本轮人工智能创新的不同原理。该种独特的创新原理为中国、印度等后发国家迅速介入人工智能创新活动提供了历史性机遇。但也由于长期以来较为缺乏人工智能创新的基础布局与突破，中国虽然可以直接跨越多个人工智能发展阶段、直接运用成熟算法并依托本国的消费市场形成后发优势，但在人工智能重大基础理论创新方面仍留有隐患，这可能导致后续人工智能创新潜力与竞争力不足。从“跟跑”到“并跑”再到“领跑”，中国只有实现在人工智能基础创新领域的重大突破，更多掌握原创性智能科学技术，才可能成为人工智能和机器人市场规则的重要制定者和主导者，才可能全面实现各项人工智能发展目标，也才有可能抓牢抓实本轮人工智能发展的历史性机遇。中国人工智能在向美国学习与借鉴过程中，不应追求机制层面的“复制”和“模仿”，而应面向理念层面实现“融通”与“领悟”。这也正如有的被访谈对象所形容的，原发性创新和应用创新关系是“道”和“术”的关系，中国要在本轮全球人工智能竞争者拔得头筹，不能有道而无术，更不能有术而无道，《道德经》中的“道法术”的思想也许可以成为处理中国人工智能创新方向的基本思路。

四、人工智能创新的基本原理

基于全文研究，本文建构了人工智能技术推动—市场拉动—环境驱动的人工智能创新过程。该理论模型与技术推动—需求拉动相关研究的结论相符，说明人工智能的创新源自技术推动力与市场拉动力的共同作用，同时，也不能忽视环境要素在创新过程中的影响。

第一，人工智能创新过程中的技术推动力分析。本研究显示，本轮人工智能创新的核心要素之

一在于技术要素，恰由于长期以来人工智能基础原理和关键技术的不断突破，才形成了人工智能创新的基础。从历史脉络来看，人工智能的三次热潮都是以技术的重大突破为前提的。其中，本轮人工智能热潮的核心技术突破在于基于大数据算法的深度学习 and 机器学习技术的突破和使用。人工智能创新的技术方面显示，人工智能研究与应用具有很强的技术壁垒，一些研究文献认为当前全球真正可以算作人工智能人才的只有数万人。与此同时，人工智能创新具有显著的基础学科、基础理论、基础技术的特征，也因此人工智能的技术突破往往可能形成重大的基础性创新成果，并在此基础上形成海量的实际应用成果，而且将有力推动相关学科专业的跨越式发展。从人工智能发展的技术方向来看，逐步向类人化方向发展将成为人工智能技术创新的核心目标。当前人工智能创新仍受到很大制约，仍无法实现通用人工智能的关键突破，核心也在于重大基础技术创新尚未出现。

的进步以外，更重要的是实现了技术要素与市场要素的融合，“技术创新+大数据+计算能力”+“应用场景”被认为是本轮人工智能创新发展的“基本公式”。所谓应用场景，即真实的人工智能运行环境。有效的应用场景为人工智能创新提供需求端、数据端、应用端和人才端支持，便于通过动态的数据更新促进人工智能创新产品的优化与迭代。

第三，人工智能创新过程中的环境驱动力分析。本轮人工智能的创新发展，关键之一还在于创新环境的变化。这一方面，体现在政策环境的变化上，近年来各国逐渐意识到人工智能可能带来的巨大变革，纷纷加快了人工智能的政策布局，在大多数国家甚至出现了政策布局先于人工智能创新活动的基本态势，反映出政策环境对于本轮人工智能创新的关键影响。另一方面，体现在人工智能自身技术环境的变化，人工智能创新的特征决定了其具有开放性、突破性等基本属性，该技术环境的变化

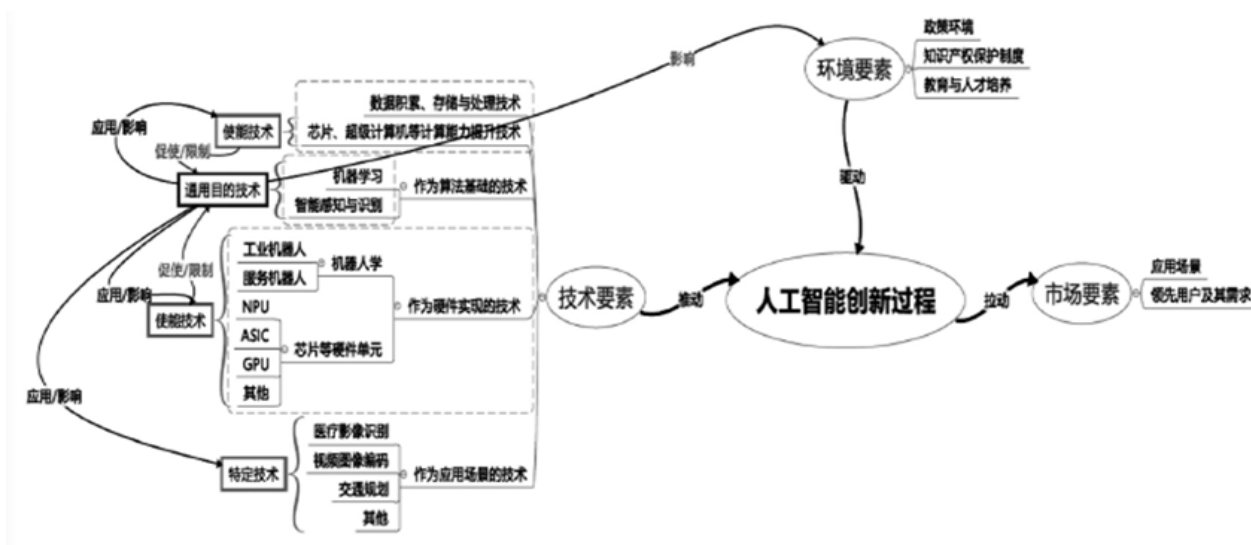


图1 人工智能创新的三维理论模型

第二，人工智能创新过程中的市场拉动力分析。本研究显示，与前两次人工智能热潮更多停留在理论和“科幻”层面不同，本轮人工智能创新最重要的特点则是打通了技术创新与产业应用的壁垒，各类“用机器替代人”的美好愿景首次从实验室走向产业实践，这也是本轮人工智能发展产生巨大影响的原因所在。具体来看，人工智能创新的市场要素主要表现为应用场景及所产生的特定需求。本轮人工智能的迅速发展，除得益于上述技术要素

大大提升了人工智能的创新效率。此外，更为基础性的人工智能创新的环境要素还在于教育与人才环境，这是人工智能创新的关键保障。

（刘进，北京理工大学人文与社会科学学院副研究员，北京 100081；吕文晶，麻省理工学院斯隆商学院、数字经济研究中心博士后研究员，麻萨诸塞州坎布里奇 MA02139）

（原文刊载于《高等工程教育研究》2019年第1期）

人工智能创新与中国高等教育应对（下）

刘 进 吕文晶

人工智能创新，强化了对于人才，尤其是高层次、跨学科、创新性、复合型人才的需求。面向人工智能创新，高等教育人才培养活动面临诸多问题，应及时作出调整。

在上一篇有关人工智能创新基本原理研究的基础上，本研究从人才培养视角聚焦中国高等教育系统，尝试回答2方面的问题，一是当前中国人工智能人才培养面临哪些核心问题，从高等教育视角看，这些问题背后的原因为何；二是人工智能创新究竟对高等教育人才培养活动提出了哪些新的需求，中国高等教育面向人工智能发展在人才培养方面应做出哪些调整。研究在继续使用深度访谈素材的基础上，进一步通过“扎根”方法引入了对相关文献资料的使用。

一、当前阶段中国人工智能人才培养的核心问题

以人工智能为代表的第四次工业革命极大凸显了人才在创新活动中的中心地位。人工智能创新

对各类人才的基本学科素养、创新迁移能力、理论创新与实践创新融合提出了新的更高的要求。面向人工智能创新有效开展高等教育人才培养活动正成为各国人工智能竞争的关键，也成为现阶段各国高等教育新的历史使命。当前中国正积极参与全球人工智能创新，努力布局人工智能创新人才培养体系，不断促进人工智能人才培养规模扩大与质量提升，但仍然面临着诸多问题。

（一）从人工智能人才储量来看，中国人工智能创新人才总体储备不足但补强态势明显，仍面临高端创新型人才缺乏等现实问题

访谈显示，人工智能创新人才的层次类型较为多样，当前中国不同层次类型人才分布并不统一。普通层次的人工智能人才储量正迅速增加，该类人才在人工智能创新应用等环节发挥了关键作用，但人工智能创新人才总量仍然显著落后于人才需求，导致人工智能人才市场的定价不断攀高；高层次创新型人才仍非常稀缺，劳动力市场高层次人

表1 中国人工智能人才存量分类与现状

人才分类	人才类型	人才特征描述	人才存量	人才需求	高等教育人才培养
顶尖人才	复合型	把握人工智能前沿，有效开展新技术和新应用创新	极少	急需	周期漫长(学历水平要求高，长期甚至终身从事人工智能活动)，高等教育尚未探索形成有效的人才培养方法
	学术型	从事人工智能学术前沿探索，以论文、专利、软件著作权等方式形成创新成果	极少	急需	
	应用型	从事人工智能应用前沿探索，以实际产品或其他形式实现应用领域的突破	较少	急需	
一流人才	复合型	跟随人工智能前沿，部分参与新技术和新应用创新，具有技术创新与应用场景的综合能力	较少	急需	周期较长(博士生及以上，并需要一定的就业年限)，高等教育在技术创新与应用场景的融合方面缺乏探索
	学术型	从事人工智能某一具体细分方向的局部探索，以论文、专利、软件著作权等方式形成创新成果	紧缺	刚需	周期较长(博士生及以上)，高校教师、学生是主力，企业等仍较为缺乏
	应用型	从事人工智能实践应用工作，在产品化过程中担当设计、架构等核心工作	紧缺	刚需	周期较长(硕士生及以上，并需要一定的就业年限)，高等教育人才培养与市场融合是关键
普通人才	复合型	不熟悉人工智能前沿，不直接参与新技术和新应用创新，但从事具体的人工智能技术创新与应用场景的结合工作	紧缺	刚需	周期正常(四年制本科及以上)，高等教育前期其他非人工智能专门人才可以进行部分补充
	学术型	从事人工智能某一细分方法的研究执行工作	较多	需要	
	应用型	从事人工智能产品开发过程中的代码编写等具体工作	较多	需要	
其他人才	/	从事与人工智能相关的其他工作，如数据标记等	很多	充足	/

才竞争日趋激烈，高层次人才缺乏已导致人工智能创新进程放慢。本研究将访谈对象提及的人工智能人才分为“顶尖”“一流”“普通”3种层次，按照“复合型”“学术型”“应用型”3种类型进行了总体概括（表1），这并不是对于人工智能人才的严格划分，但仍具有一定的说明意义。

1. 人才存量总体不足。访谈显示，当前中国人工智能创新人才的需求缺口应在几十万量级，这既包含高层次人才，也包含普通人才。当前中国人工智能人才缺乏是全方位的，一些访谈对象明确指出“招不到需要的人，甚至完全招不到人”，虽然这一现象近3年来得到缓解但问题仍未根除，根本原因在于高等教育人才培养的缓慢性 and 滞后性。对于具体的人才缺口，有访谈对象测算，当前中国已有上千家人工智能公司，以一家人工智能公司平均缺位100人计算，中国人工智能总体人才缺口为10万人，但一些大型人工智能企业人才缺口往往达上千人，因此中国人工智能人才缺口达十万量级。但该种人才缺口的估算非常模糊，主要原因在于不同研究者对于人工智能创新人才的边界认定并不一致。

2. 高端人才更显缺乏。所谓“高端人才”，主要对应表1中的“顶尖人才”和“一流人才”，主要指的是掌握扎实的人工智能学科基础，具备较强的基础创新或实践创新能力，面向人工智能技术或应用前沿开展各类创新活动的人才。中国当前真正稀缺的是高端人才，这主要反映的是人才的算法能力，第一要求技术能力强，第二要求理解应用场景能力、解决问题能力强。当前中国具备以上两种完整素质的人才仍非常稀缺。高端人工智能人才不仅要研发人工智能产品，而且要求熟悉具体行业情况，擅长定义和解决具体行业问题。与“高端人才”相对应的是“普通人才”，主要指的是将各类人工智能创新需求实际落地完成的技术类人才。举

例来说，一家人工智能零售类网站，早期开展基于产品特征的人工智能技术平台开发，涉及到人工智能框架搭建、模型训练、机器人开发等，所需要的更多是高端人才，而后期的系统维护、添加新产品、重复性模型训练等工作则主要由普通人才承担。即使在早期平台开发阶段，人才类别也存在高端与普通的显著差异，从事高端机器人研发和模型调试的大多属于高端人才，从事基础实现等工作的大多为普通人才。当前阶段中国任何一种人工智能的高端人才都处于“急需”状态，其中顶尖人才中的复合型、学术型人才极少，因而访谈对象普遍认为中国人工智能基础创新和大型应用创新显著落后于美国。

3. 中低端人才边界模糊。人工智能中低端人才边界非常模糊，存在显著“底部效应”。前期人工智能行业薪酬水平大幅提高，导致各类非人工智能人才迅速涌入，当前阶段严格界定人工智能的人才边界非常迫切但又困难。访谈显示，人工智能领域中低端人才往往与传统互联网行业人才高度重复，造成有关人工智能人才界定和统计口径存在较大差异，某些研究报告中所提及的中美人工智能人才数量对比，往往由于统计口径差异而并不具有可比性。人工智能中低端人才边界模糊与中国高等教育领域人才培养体系架构有关，在高等教育人才培养体系，由于人工智能处于多个学科的交叉领域，尚无公认的人工智能人才学科界定，人工智能人才更多以领域化碎片化形式出现，很难真正区分“谁是人工智能人才”或者“谁不是人工智能人才”。

4. 人才“贴标签”问题突出。访谈显示，由于人工智能领域迅速走热，大幅提升的薪酬水平正吸引大量非典型人工智能人才加入该领域，这些并未经过严格学科训练或产业训练的人才往往缺乏基础创新能力，更多是通过“贴标签”的方法功利性

完成人才流动。某“猎头公司”的数据显示，近3年来，大量各类人才迅速向人工智能领域流动，其中大部分来自于之前较为“火热”的互联网金融等领域，而这些“人工智能人才”具有一定的投机性，多数属于自我“贴标签”，通过修改简历或通过到人工智能企业实习等方式迅速实现身份标签转变，并不具备扎实的人工智能创新能力。也存在高校集体“贴标签”的问题，即一些高等学校，出于学生就业等考虑，更换学院或院系名称，以更靠近人工智能行业。该种“贴标签”虽然有利于人才迅速向人工智能领域流动，但该种流动更多是“零和博弈”，把人才从一个行业搬到另一个行业，而非实现人才面向人工智能创新的能力增长，这也为中国人工智能行业发展留下了重大的隐患。该种人工智能人才的“贴标签”行为并不完全是由于劳动力市场本身造成的，根源还在于中国人工智能产业本身就存在着“贴标签”的行为。当前，中国人工智能产业发展已经出现“泡沫”，大量非人工智能企业通过更改企业名称等方法迅速转型成为“人工智能企业”，但其中大量企业仍然属于大数据或互联网企业，很多企业甚至仍然是传统企业，其从业人员也跟随企业贴上了“人工智能人才”的标签。

5. 人才区域分布失衡加剧。访谈显示，此轮人工智能发展，进一步拉大了中国不同地区间人工智能人才分布差距。多位访谈对象指出，当前中国主要的人工智能人才集中分布在北京和深圳两地，上海等传统中心城市面临着显著的人工智能“人才荒”的现实问题，上海等地与北京、深圳的人工智能人才总量、人才层次差距进一步拉大；与此同时，部分“准一线”城市开始在人工智能领域发力，表现出雄厚的后发优势，典型的是杭州和武汉两地。杭州阿里巴巴等企业拥有巨

大的人工智能人才使用需求和职业吸引力，浙江省还率先启动了智慧城市等人工智能产业化试点，这对于全球人工智能人才流动形成强大的吸引力。一些分析显示，北大、清华两校向浙江的人才流动已经超过了传统目的地上海，其中人工智能大数据和互联网行业是最主要的人才聚集行业。与之相比，武汉市正将长期以来的高等教育优势向人才优势转化，通过各类政策举措留住人才；更多鼓励人才的创新创业活动，提高高层次人才集聚能力。武汉市推出的“3551”等人才工程正带动形成新一轮武汉市创新创业热潮，大量人工智能企业得以迅速发展，华中科技大学等高校人工智能创业活动非常普遍，一些博士毕业生并未选择在高校任教而是走向了科技创业的前沿，光谷已经成为中国人工智能创新创业的主要地区之一。

（二）从人工智能人才培养来看，仍存在滞后性明显、教师群体偏小、高等教育系统设计尚未理顺等显著问题

1. 人工智能人才迅速补强，但并非主要得益于高等教育转变，高等教育人工智能人才培养仍具有显著滞后性。访谈显示，当前中国人工智能领域的高端人才仍非常匮乏，而中低端人才正得到迅速补充，这部分得益于高等教育人工智能相关学科的人才培养活动调整，但主要得益于人工智能周边学科人才的迅速流动和补充，以及企业内部自行开展的人才培养活动，而非高等教育系统的根本转变。第一，这得益于人才自身的有意调整。当前阶段中国人工智能人才正出现“泛学科化”倾向，多个非传统人工智能学科正大量面向人工智能领域输送人才。访谈中一些人工智能企业的高管反馈，2015年前后很难招到真正具有人工智能学科背景的毕业生，2017年之后应聘

人才质量则大幅提升，但应聘者的母学科仍然主要不是人工智能学科，因为高等教育机构从调整学科专业到人才毕业周期较长，所以计算机电子工程等其他学科专业人才大量涌入，这些毕业生大多自行调整了职业规划，通过毕业设计等转变成为人工智能人才。第二，这得益于企业的人才培养努力。和传统行业不同，本轮人工智能创新过程中的企业人才培养角色更为凸显。访谈显示，人工智能人才尤其是高端人才的培养是长期性、复合性的，从走出校门进入人工智能企业，再到真正成为人工智能高端人才，需要经过长期严格的学术训练和实践训练。本轮人工智能发展，企业根据人工智能人才需求，逐渐加大了人工智能人才在进入企业后的培养力度。第三，这得益于高等教育系统的部分转型努力。近年来中国人工智能相关政策不断出台，核心都包含有人工智能人才培养议题，在此基础上，一些高校的非传统人工智能学科开始向人工智能学科转变，一些传统研究领域开始尝试引入人工智能方法，正逐步形成多学科培养人工智能人才的新格局。一些高校已经成立人工智能学院，部分高校已经探索建设人工智能学科或专业，更多的高校则有意识地促进相关学科加大开展人工智能研究和人才培养力度。

2. 人工智能人才培养教师群体仍总体偏小。本课题组尝试对中国研究型大学人工智能类教师规模进行测算，研究选择了能够代表中国高等教育尖端水平的全部140所“双一流”高校作为研究对象，将这些高校中信息学院、计算机学院和软件学院（及类似名称的学院，如人工智能学院、信息与科学学院、软件与微电子学院等，未包含自动化学院）中从事与人工智能相关工作的大学教师作为研究的目标人群。通过简历阅读与分析，140所高校中有39所高校并不包含从事人工智能研究工作的教

师，这些高校主要集中在师范类、军事类、医学类、语言类和艺术类院校，剩下的101所高校中有3513位从事人工智能相关研究工作的大学教师。本研究未将自动化及相关学科纳入，因为简历分析发现，多数高校的自动化学科构成复杂且仍以传统学科如工科为主，人工智能学科只占较小比重。但由于简历分析未包含自动化相关学科，以及机械等与机器人可能相关的学科，如果按照1:2比例放大，也即当前中国研究型大学从事人工智能相关创新活动的高校大约在100所左右，相关从业人员大约在7000人左右，高等学校从事人工智能创新活动的群体总体规模偏小。简历分析还显示，人工智能创新具有高技术密集、高人才密集、高学历水平等特征，即使一些研究型大学也尚未包含人工智能的学科基础，“双一流”高校之外的其他高校人工智能人才培养师资基础总体上更为薄弱。

3. 人工智能人才培养的高等教育系统设计尚未理顺。访谈显示，中国高等学校此次面向人工智能创新人才培养，已经做出了前所未有的快速反应，但总体上中国高等教育系统在人工智能人才培养方面仍存在显著不足。第一，仍未形成与人工智能创新相匹配的人才培养理念，对于人工智能创新究竟需要何种人才，高校在人工智能创新人才培养中的职能与定位，高校人工智能人才培养应遵循何种基本理念，高校人工智能人才培养的总体目标与学生个体的能力目标等方面，都尚未进行深入探索；第二，仍未形成与人工智能创新相契合的人才培养模式，当前人工智能人才培养仍然处于“快出人才”阶段，如何“出好人才”，尤其是对于高端人工智能创新人才究竟该如何培养，尚未探索形成有效的培养模式，相关高校的人工智能创新人才培养方式多样，仍未形成较为稳定、可供借鉴的人才培养模式；第三，仍未形成与人工智能创新相匹配

的人才培养能力，现有的人工智能人才培养能力不足，除上述师资条件缺乏外，在人工智能人才培养课程、教学资源、教学平台等方面仍有欠缺；第四，仍未用人工智能来改造高等教育本身，仍未全面引入人工智能理念和技术来转变高等学校人才培养观念，提升人才培养质量；第五，仍未处理好高校与其他人工智能人才培养单位、高校与人工智能产业之间的关系，人工智能人才培养仍局限在高校内部，创新人才的协同培养与系统使用探索不足。

（三）从中美人工智能对比来看，中国人工智能人才培养和科研管理模式仍存在重后端轻前端、重应用轻基础、重短期轻长期等现实问题

访谈过程中，中国人工智能专家普遍谈及了中美人工智能竞争（“竞赛”）问题。基本的观点认为，当前美国更多占据人工智能创新的前端（即主要从事基础人工智能技术和框架的研发），中国更多占据人工智能创新的后端（即主要从事人工智能相关创新实践的落地）。

1. 中美人工智能全球两强的格局已经显现。访谈显示，中美人工智能竞争日趋激烈，两国已经成为全球最主要的人工智能大国，且与加、法、德、日等国不同（比如法国人工智能主要聚焦在健康、交通、环境、国防与安全等领域而非全部领域），中、美两国人工智能政策目标“宏大而全面”，显示出两国在人工智能领域均有“领跑”意图。访谈对象普遍较为肯定中国近年来在人工智能创新方面的努力，尤其是国家层面有关人工智能发展的

表2 聚焦编码
(人工智能时代的高等教育人才培养理念转变)

初始代码	聚焦编码(亚类)
人工智能能推动教育自身的不断变革与创新	高等教育人才培养总体目标发生根本性转变
大学需要鼓励校园创新	
人工智能能够使学生形成问题求解的思维方式	
人工智能能够帮助学生掌握基本创新技术	
终身教育体系将更普及	
人工智能使得教育不受时空限制	
学习时间将变得更加弹性化	
免费教育年限将延长	
人工智能将为终身学习的教育体系提供技术支持	
教育服务将变得日常化和终身化	
人工智能能够为终身学习提供支持	
传统应试教育重要性急剧下降	
人工智能能够为职业教育转型提供技术支持	
人工智能能够在大数据中发现知识,作出智能决策	
人工智能技术将建构包括智能学习、交互式学习的新型教育体系	
人工智能将为灵性教育提供舞台	高等教育人才培养总体目标发生根本性转变
高等教育将更关注学生的情感	
教育重心将转移到人的精神和情感上来	
人工智能将更着重于人的内心发展	
需建立人工智能人才培养体系	
应加大人工智能人才培养力度	
应建立开放型人才培养体系	
应鼓励学科交叉与融合	
应引导职业教育加入人工智能人才培养	
应该构建系统化、深度学习的教育系统	
应建立以学习者为中心的教育环境	
具备人工智能素养的复合型创新人才需求加大	
人才培养向复合人才靠拢	
人才培养目标变为批判性、创造性、实践性创新人才	
应更注重综合性人才培养	
使教育向高创造性、高艺术性和高复杂性工作转变	
需增加跨学科人才培养	
教育导向应以智慧开发为中心	
教育的价值应体现在健全的人格	
应更加注重学生的综合发展(包括职业技能、自我认知等方面)	
人文和审美教育更重要	
人文素养教育必须强化、跨国跨专业跨文化的教育必须强化	
人文教育将更受重视	
高校对人才的培养更应该注意人文情怀	
能够使学习者的人文情怀回归	
需要高学历、信息化与强技能的人才	
应提高学生的创造力和解决问题能力	
需培养有表达能力、社交能力、全球视野和国际竞争力的人才	
应更注重学生信息素养的培养	
要求学生具有创造力等多方面能力	
需普及人工智能知识,并结合动手实践培养智能科学领域学科素养	
学生自主探究活动增多	高等教育人才培养个体目标发生根本转变
学生将转变为知识的创造者	
人工智能能够使学生解决问题时拥有多种思维方式	
高校将专项提供智能交互式的学习体验,更注重学生全面发展、主动学习意识 的激发记类知识会让位于推演、个性化知识	
通识教育的重要性与日俱增	
未来将更重方法论的学习	
教育模式将不只以知识传递为重心	
人工智能能改变教育过程的组织序列	
人工智能能通过大数据开展更科学的放权改革	

部署，并认为当前人工智能领域的中美两强格局已基本显现，“人工智能发展强烈地体现了国家意志，中国非常期待在这次人工智能创新上能够起到引领作用，目前中国在人工智能领域基本上已经扮演了全球第二的角色。无论从中国科研人员数量和论文数量质量，还是人工智能应用的广度和深度上看，中国基本上已经进入全球前2位（F2）”。

2. 中美人工智能人才存量差距仍然显著存在，但正不断缩小。多位访谈对象谈到，国际人工智能人才储备主要以几大人工智能国际竞赛为风向标，之前各类竞赛名单中较少出现中国团队身影，少量参与竞赛的华人也主要集中在文本分析等少数人工智能领域，真正来自中国本土的团队（由中国本土教师带队、用中国服务器搭建研究框架）更少。但近年来该种状况正迅速转变，不仅中国人的名字越来越多出现在各类人工智能竞赛，而且获奖名次也不断提升，中国本土组队参赛并获奖已经司空见惯，这从一个特定视角显示出中美人工智能人才储备的差距在缩小。除此之外，中国人工智能人才涉足的领域也大大扩宽，几乎囊括了全球人工智能研究的所有前沿领域，论文发表、专利申请、软件著作权申请等数量和质量也在稳步提升，其背后也都是人的因素，较为真实地反映了中美人才竞争的状况。

3. 中美人工智能人才培养方式存在较大差异。访谈显示，中美对待人工智能人才培养的态度与方式存在显著不同。一些访谈对象认为，中国更像是举全国之力试图在人工智能领域搏得领先，美国则显得更为平静。但事实上，美国在人工智能创新上仍然明显处于领先地位，美国看似平静的背后其实也在努力发展并没有丝毫放松。中美两种不同的思维方式导致在人才培养方面存在较大差异，中国体制更利于在人工智能人才战略制定和执行方面

发挥前瞻功能，一些访谈对象认为当前中国的人工智能科研布局、投入等已经好于美国。美国则依托强有力的学术劳动力市场，形成在人工智能基础人才和基础技术创新领域的优势。尤其在人工智能的基础研究方面中美仍然差距明显，这背后则是顶尖人工智能人才存量和质量的差距。中国当前的人工智能人才储备更多集中在应用端（后端），而在前端基础研发方面则较弱，此外，中国科研体系的容错机制也与美国存在差距，这导致虽然中国人工智能论文和专利数量已经接近美国，但原发性创新大部分还在美国，“中国应增加一些原发性创新，再静一静，容忍失败，这样才能做得更好（F5）”。

二、人工智能呼唤怎样的高等教育改革——来自文献中的观点

人工智能领域大量教育与非教育类研究文献，都不约而同地谈及了人才培养在本轮人工智能创新活动中的核心地位。那么，人工智能创新对高等教育人才培养究竟提出了哪些新的需求？人工智能呼唤怎样的高等教育改革？

本研究引入“扎根理论”研究方法，以过去35年间（1984—2018）165篇直接谈及人工智能与高等教育改革议题的CSSCI期刊论文为研究对象，通过对数十万字研究文献的精细化阅读，筛选出与高等教育阶段人工智能人才培养直接相关的原始书面数据，在此基础上进行了较为规范的三级编码，形成3个聚焦编码，具体如下。

（一）面向人工智能的高等教育人才培养理念转变。通过三级编码，扎根形成包含高等教育人才培养总体理念、总体目标、个体目标三个聚焦编码（亚属类）指标，并将聚焦编码（属类）概括为“面向人工智能的高等教育人才培养理念转变”

1. 高等教育人才培养总体理念发生根本转变，

创新能力成为高等教育人才培养的核心指向，高等教育重心逐渐向素质教育、灵性教育、情感教育、内心发展等方向转变，终身学习、日常学习等成为常态。扎根结果显示，面向人工智能创新，高等教育理念必须进行彻底改革，创新人才培养将成为高等教育更为重要的社会职责。高等教育应加大学生创新意识、创新技术和创新能力的培养，鼓励学生形成主动创新思维，激发学生的创新灵感，重视和保护学生的创新“灵性”。高等教育应更加关注学生的意识与情感，更加注重学生非技能层面的心理建设与内心发展，为学生各项创新活动做好准备。高等教育终身教育体系应更加系列化、持续化和深入化，为创新人才培养提供超越时空限制的知识获取途径。高等教育应进一步模糊大学（科研院所）与社会的知识边界，打破知识壁垒，为创新人才在职业流动过程中提供知识更新和职业转型支持。

2. 高等教育人才培养总体目标发生根本转变，亟待形成独立完整、开放包容、更大规模、多类型高等教育主体参与的人工智能人才培养价值体系；亟待形成面向复合性、批判性、综合性、艺术性、复杂性、跨学科、人文情怀等的人工智能人才培养目标体系；亟待形成面向信息能力、创造能力、社交能力、国际化能力、问题解决能力等的人工智能人才培养能力体系。扎根结果显示，高等教育应面向人工智能创新，通过人才培养总体目标的有效调整，进一步带动各参与主体、各人才培养环节做出理念调整，从根本上促成面

表3 聚焦编码

(人工智能时代的高等教育人才培养模式转变)

初始代码	聚焦编码(亚属类)
新的教学模式需要被探索	高等教育教学模式发生根本转变
新型教育模式将出现	
医学教学模式和流程将被改进	
人工智能能够引发教育模式的重大创新	
新的教学模式应该以学生作为教学的主体	
人工智能新型教育模式应该以学习者为中心	
AI能够基于大数据预测学生学习表现并提供个性化学习需求	
人工智能能够确定学习者的特定学习需求	
人工智能能够给学生推送个性化的学习资源	
人工智能能够促进个性化教育和终身学习	
根据学生的需求实现学习过程的个性化	
个性化的教育将提高教学效率	
培训结构将更加灵活的运用人工智能制定个性化学习方案	
人工智能能够提供更有效更个性化的学习计划	
因学定教、精准教学	
能够对学生实现个性化教育	
人工智能能够为学生打造个性化的教育和教学模式	
学习环境和模式将会变得更个性化更开放	
人工智能能够刻画学生行为特征,制定个性化学习方案	
人工智能能够为学习者提供个性化的学习服务	
以学生为中心的个性化学习模式将成为主流	
个性化的服务学习将成为主流	
人工智能辅助教学系统能够帮助教师因材施教	
AI能够使教师教学个性化	
个性化的学习定制教育能够避免学生和家长在专业选择的盲目性	
AI能够构建学科知识图谱,教师、学生模型,并进行个性化培养	
人工智能学科需要建立与完善	高等教育学科组织发生根本转变
将出现新的智能科学和技术一级学科	
教学内容将体现学科交叉性	
教育内容必须打破以学科逻辑中心的组织和选择模式	
多学科门类将交叉渗透	
人工智能将促进多维交互,进行知识的构建	高等教育教师角色发生根本转变
人工智能将帮助完善学科知识图谱	
高校学生将在海量知识的背景下组织开展积极有意义的重新构建	
人工智能能将教学内容碎片化重构	
人工智能将对高校内的教师和非教师造成影响	
教师身份将发生转变	高等教育教师角色发生根本转变
人工智能能解决教师资源缺乏的问题	
智能教育机器人能够解决师资不足和师资结构不合理的问题	
人工智能能将个体从重复性教育工作中解放出来	
人工智能能帮助教师转型	
人工智能能够帮助教师改进课程	
需要建立教师之间的网络改进教学	
人工智能提供了教师展示和发展自我的平台	
在将AI融入教育的过程中需要提高教师信息素养并且开发过种种考虑教师的需求	
科研中的基础性工作将由人工智能实现	
教师的基础教学任务将被替代	
人工智能技术将成为教师重要的辅助工具	高等教育教师角色发生根本转变
人工智能能够帮助教师提供更丰富的知识内容或者更生动的教学方式	

向创新人才培养的高等教育改革。高等教育人才培养总体目标涉及到人才培养的价值体系、目标体系 and 能力体系的全面改革。其中，价值体系的改革，核心是要求高等教育将人工智能创新人才培养放到中心环节，建设形成完整的全过程创新人才培养机制，按照人工智能发展态势，加大人才培养规模，深化人才培养主体之间的互联互通，形成协同育人的有效机制。目标体系的改革，要求高等教育及时调整和修正人才培养的目标要求，按照人工智能创新人才的复合性、批判性等特征，确立人才培养的基本方向，重构人才培养的目标体系。能力体系的改革要求高等教育进一步开展以人工智能为代表的新工科创新人才培养能力体系研究，进一步探究各类人才培养能力养成的教育规律与有效路径，强化高等教育增值理念，在人才入口与出口端加强对目标能力侦测与考察。

3. 高等教育人才培养个体目标发生根本转变，学生将成为创新主体，高等教育职责更多在于唤醒学生主体意识和主体能力，增强学生问题解决与知识创新能力，强化通识教育，保护学生创新本真。面向人工智能创新人才培养，学生在创新系统中的角色定位将发生根本性变化，高等教育应更加强化学生的自主学习行为，引导学生从知识的被动接受者变为知识的主要创造者。高等教育的根本目标应从传递知识变为增强能力，应唤醒学生的主体意识和主体能力，改变对于学生的评价标准。高等教育应帮助学生形成新的面向多种问题解决的思维方式和思维能力，应更加注重学生的学习体验，提升高等教育对于学生学习的吸引力。高等教育应进一步挤压应试教育的生存空间，不断铲除应试教育的生存土壤，有序剥离和剔除低创新能力需要的学习内容，更加注重对于学生学习方法运用能力的培养而非对具体知识本身的掌握。高等教育应更加重视通

识教育，通识教育应成为高等教育人才培养的主责。高等教育应重视对于学生创新天性（灵性）的保护，引导学生掌握创新工具（方法论、方法、技术），形成创新习惯。

（二）人工智能时代的高等教育人才培养模式转变

1. 高等教育教学模式发生根本转变，将“以学生为中心”打造形成新的教育模式，个性化教育模式将成为主流。扎根结果显示，面向人工智能创新人才培养，需要对现有的高等教育人才培养模式做出重大调整，核心在于两个方面。一方面，是强化“以学生为中心”基本理念在人才培养模式上的具体贯彻执行，高等教育应通过人才培养模式调整，进一步突出学生的中心地位。另一方面，是强化个性化教育理念。随着人工智能的进一步发展，高等教育将真正进入因材施教的个性化教育阶段，将通过技术手段有效甄别学生的个性与潜质，将有条件更好满足学生的个性化学习需求，将更有效地侦测学生学习效果，将有望针对学生学习进度开展个性化学习指导并提供个性化的学习服务。高等教育进入个性化教育阶段，不仅可以帮助高校因材施教、促进“人人成材”理念的落实，而且可以帮助学生和家长更好做出学业和职业规划，避免盲目追风，降低人才培养的机会成本。

2. 高等教育学科组织发生根本转变，需要不断促进学科交叉融合与知识重构。扎根结果显示，知识交叉融合与知识体系重构是人工智能时代高等教育人才培养模式转变的关键。从形式上看，人工智能将有可能形成独立的一级学科（但不同文献对此仍有争论）或其他形式的独立学科组织；从内容上看，人工智能将动摇各学科组织的已有基础。如果用生物概念来比喻，人工智能创新人才培养的学科体系重构需要高等教育打破传统学科的“细胞

表4 聚焦编码

(人工智能时代的高等教育人才培养过程转变)

初始代码	聚焦编码(亚属类)
人工智能课程将成为必修	高等教育课程体系发生根本转变
人工智能与 stem 教育是相辅相成的关系	
人工智能需要大学建设新的课程体系	
将人工智能融入到课程体系之中	
学校学科专业课程将不再封闭	
高校能够开展人工智能相关课程并转化或迁移到中小学中	
人工智能能够促进远程教学内容实现定制化与精准化	
智能化检索系统将被构建	
获取学习资源会变得更加方便	
立体化多元化的教学场需要建立	
智能教育平台能够优化学习环境	高等教育资源发生根本转变
教育人工智能能够为学生提供一个更温馨舒适的学习场所	
校园环境将变得一体化、智能化	
泛在学习将成为可能	
学习的地点将扩展得更广泛	
知识渠道更广阔	
利用人工智能和网络创造出多维的学习空间	
学习方式将不再固定在某一时间、某一地点	
人工智能能够给学生提供更多的信息和数据	
学习的空间和时网将扩展到校园之外	
人工智能能扩大优质教育资源的覆盖面	高等教育教学方法发生根本转变
知识获取的方式变得多样	
数字教学资源多样化	
人工智能能够为学生提供了广阔的发展空间	
沉浸式学习将成为可能	
人工智能能够对资源进行有效配置	
开放互联的学习重心将成为趋势	
学习核心已经转为泛在学习	
偏远地区的辅助教学	
人工智能可以促进教学资源开发和建设	
人工智能将形成一体化学习方法	高等教育教育管理发生根本转变
人工智能能提供各种仿真的工作场景,帮助学生专业知识和技能	
高校应该引入智能导学系统帮助学生	
人工智能能够结合信息技术提高教学效率	
人工智能能够减轻学生的外部认知负荷	
需要对人工智能教育产品进行监管和评估	
高等教育教育管理发生根本转变	
人工智能教育产品需要制定相关标准	
智慧教育平台需要制定统一的标准,确保数据的标准化	
人工智能教育机器人会出现,用用在自动化答疑和辅导、测评、多方面交流	
人工智能能够辅助教师阅卷、批改作业、测评学生	高等教育教学方法发生根本转变
人工智能将部分替代教师的工作,对教学进行综合测评	
人工智能能够更好地预测学生成绩以便对教学和管理进行改进和干预	
人工智能能够帮助教师进行学生成绩分析,实现因材施教	
智能考试系统将承担测评学生的任务	
自动系统能够对英文作文进行评分	
人工智能能够测评学生多方面的能力	
能够分析学生的学习行为以便更好的实施教学活动	
人工智能技术能够帮助建立标准化考场	
人工智能能够促进考试评卷更标准	

壁”，促进不同学科“细胞液”之间的深度融合与交叉创新，未来不同学科之间将彼此交织渗透，“你中有我、我中有你”将成为新的学科组织的常态，学科边界将逐渐模糊化，新型学科组织将较难进行学科识别和划界，跨越大文大理的学科融合也成为可能。而学科交叉融合的背后，则是知识创新的路径改变，过去沿着单一学科范式“深挖式”的知识创新路径，将可能被“深挖式”与“学科交互式”相结合的新的知识创新模式所取代，学科交叉形成海量的碎片化知识片段，将成为各类基础创新的源泉。未来，海量的创新成果，既可能来自于人类自身，也可能来自于人工智能本身。随着人工智能的“智能化水平”的进一步提升，将不断加快知识创新节奏，让各类创新活动真正造福人类，还将形成知识的“自我发现”“自我破解”和“自我增值”能力，人类知识创新活动进入快车道，人与机器的创新竞赛成为可能，“提出问题”将变得更为重要，高等教育也将更加注重问题提出能力的教育，中国传统意义上更乐于接受知识、不擅长提问的高等教育人才培养方式将做出极大改变。

3. 高等教育教师角色发生根本转变，将促进教师教学与科研行为的变革。扎根结果显示，在人工智能创新人才培养过程中，教师在高等教育系统中的角色定位将发生重要变化，教师将成为改变高等教育人才培养模式的关键一环。一方面，借助人工智能发展，教师的教学效率将大幅提升，将有效解决师资力量缺乏、教学投入

续表4

信息技术能够更好地测评学生的跨学科综合能力	高等教育教学方法发生根本转变
学习指导将有机参与	
教育助力将辅助学生管理	
人工智能科普教育突出实践体验	
人工智能能够帮助教师管理授课过程	
人工智能能够分析出学生今后的学习方向	
相关教学实验研究能够激发学生的学习兴趣	
AI能够为管理者和师生提供教学的数字画像和绩效测评	
人工智能能够对教育的大数据进行采集	
人工智能能够对互联网上的优质教学资源进行手机以及构建四通	
人工智能能结合新兴技术解析学习行为和教学行为的认知过程	
人工智能将改进教学模式	
人工智能能够开发有目的性的教学系统	
人工智能能够更合理的进行教学评价	
有助于教育的整体构建、共享和整合	
教育分析系统将被开发	
人工智能能提升教学服务过程,革新教学评估方法	
智能决策系统能够大大提升教学效率	
人工智能能够改进教学策略	
能够对教学进行评估	
高校应该建立智能教学专家系统	
人工智能能够涉足教育管理	
人工智能能够对长期形成的优质教学进行数据化,然后确定一些行为能够被结构化,以提升教学	

最主要特点是开放性更强、精准度更高。

从开放性来看,人工智能时代的课程体系,不仅课程的迁移能力大为增加,而且高等教育与中等教育甚至初等教育的课程衔接程度也更好,知识的连贯性更佳,学习者的学习粘性更强。从精准度来看,人工智能时代将使得精准课程、定制课程等成为可能,课程调整的节奏将不断加快,过去大学几年一调的课程大纲调整,可能会被“小步快走”式课程体系微调制度所取代,高等教育机构将可以根据教学监测结果,动态调整课程体系,精准满足学生学习需求。

2. 高等教育教学资源发生根本转变,将拓宽知识渠道打造形成立体式学习场域。扎根结果显示,人工智能时代,高等

不足等传统问题,也将极大缓解弱势高等教育机构的教学质量问题。对于教师本人而言,各类智能教学技术的引入将大幅降低教师教学工作量,提升教学质量,教师有望从繁琐的事务中解脱出来,克服教学倦怠,并通过解放大脑在教学活动中带领学生更好进行创新训练。另一方面,借助人工智能发展,教师科研行为也将发生根本性变革,各类低效重复性研究工作将可能交由人工智能完成,教师将更好地成为研究活动的前沿开拓者。研究还显示,不仅是狭义上教师,高等教育系统中的其它教育工作者(教育管理人员、教育辅助人员等)的角色和行为也将发生显著改变。

(三) 人工智能时代的高等教育人才培养过程转变

1. 高等教育课程体系发生根本转变,将建成更为开放、精准的新课程体系。扎根结果显示,人工智能时代呼唤高等教育系统形成新的课程体系,其

教育教学资源将更为丰富,知识获得途径的多元化,进一步改变高等教育系统中教师和学生的职责与分工,高等教育系统应着力打造打破时间、空间立体式学习场域,全社会应进一步模糊大学内外部知识体系壁垒,学生毕业后将继续有效地从高等教育系统汲取知识和智慧。人工智能还可能进一步促进教育公平,帮助落后地区拉平教学资源差距,保障弱势群体的公平受教育机会。

3. 高等教育教学方法发生根本转变,学习方法革命将提高教学效率,降低学生负荷。扎根结果显示,面向人工智能创新的高等教育人才培养,需要将传统教学方法逐渐与人工智能的新技术新方法融合,通过人机一体化教学方法变革进一步提高教学效率,不断降低学生学习负荷,解放学生大脑,让学生有更多独立思考的时间和空间,彻底改变以知识记忆为主的教育考核模式。

4. 高等教育管理发生根本转变,将本质性提升

教育管理效率与科学性。扎根结果显示，人工智能将被广泛用于高等教育管理工作，教育管理效率和科学化水平将得到大幅提高。持续困扰高等教育的教育评估问题将得到根本解决，学生是如何学习的，学生是如何获得知识的，教师教学是否达到了预期效果，这些过去的教学评价“糊涂账”将清清楚楚地由人工智能系统所评估，教育评估效率将大幅增加，评估的科学性将得到根本性改善，评估本身也将从对群体的评估深入到对个体的精准评估，评估也将对学生的知识存量、知识传递方式的有效性、知识对于创新的价值等更根本性指标作出评判。除了评估之外，人工智能时代教育管理的其他方面也将更为精细化，并大幅降低教学管理成本，“院校研究”也可能真正进入科学化时代。

三、结语

人类历史上三次人工智能发展热潮，没有哪一次比本次对于创新的需求和期待更高，对于高等教育创新人才培养的关切和渴盼更多。人工智能创新，从基本原理来看，大大区别于传统已有的创新模式。这导致一方面，人工智能创新对于创新人才的需求发生了根本性转变，亟待高等教育调整人才培养理念、模式、过程，做出积极应对；另一方面，人工智能创新本身也对高等教育的上述应对提供了可能，更加科学化、精细化甚至个性化的人工智能创新人才培养模式，完全有望借助于最新的人工智能成果来实现。本文第一部分是当前中国人工智能人才培养现状的分析，属于“实然”层面的现状与问题描述；第二部分是对学术界有关高等教育如何面向人工智能进行教育改革的梳理，属于“应然”层面的未来发展与变化趋势分析。本课题组认为，无论实然层面的分析是否精准，无论应然层面的分析是否可行，本文都为下一阶段面向人工智能创新的中国高等教育改革提出了一个基本命

题，即人工智能时代中国高等教育非改不可、非大改不可。而如何面向人工智能创新做好高等教育应对，则应随着人工智能创新活动的不断深入，成为高等教育学界持之以恒关注和研究的核心议题。本课题组同时建议，当前阶段高等教育学界应面向人工智能创新人才培养深入开展以下研究。

1. 进一步探究人工智能创新的基本原理，面向人工智能重大基础创新做好高等教育布局与发展。本研究显示，人工智能正极大改变全球和中国的创新格局，尤其是对于创新主体、创新要素、创新过程等产生根本性影响。也即，面向人工智能的人类创新模式正发生关键变化。以创新为使命之一的高等教育系统应密切关注人工智能创新进程，应进一步探究人工智能创新机理，应进一步厘清人工智能创新的要素及要素间关系的变化，也应按照人工智能创新规律及时调整高等教育系统布局。本研究显示，本轮人工智能创新，高等教育系统在创新活动中的中心地位并未发生根本性变化，但与此同时，企业等其他创新主体正在人工智能创新中发挥越来越重要的作用，高等教育系统应该树立危机意识，应采取有效举措力争在人工智能时代继续引领人类创新活动。具体到中国而言，中国政府和高等教育系统已充分意识到本轮以人工智能为代表的第四次工业革命的全局意义，已将人工智能发展上升到战略层面，相关政策文件已陆续出台。下一步，应按照政策目标进一步细化创新理念与实践行动，尤其是应面向人工智能重大基础创新做好高等教育布局与发展。第一，应进一步做好高等教育系统人工智能创新的目标规划，尤其是围绕人工智能创新的重大学校做好规划与引导；第二，应进一步整合高等教育系统内部的人工智能创新资源，尤其是促进高等学校与科研院所的协同创新，促进硬件领域与软件领域的协同创新，促进不同学科之间的协同创

新；第三，应进一步促进高教系统与社会系统的创新联动，尤其是鼓励高等教育系统与其他创新主体在创新方向选定、创新过程协作、创新人才共育、创新成果共享等方面下足功夫。

2. 进一步理顺高等教育系统的内外部关系，按照人工智能人才规律夯实人才培养基础。高等教育系统应继续承担人才培养基础职能，更多更好地输送合格人工智能人才。一是应开展人工智能人才需求分类测算。中国人工智能人才缺口在几十万到一百万上下，高等教育系统应进一步围绕国家人工智能发展战略进行更为精确的人才需求测算，及时调整学科结构，高质量培养输送人工智能人才。二是应避免盲目扩张和无序竞争，避免“一窝蜂”追热门可能带来的人才培养质量下降、培养内容重合、就业竞争激化等问题。三是应面向高层次人才培养发力。

当前中国人工智能人才缺口主要是2个方面：

①高层次研究人才缺乏，人工智能学术论文发表虽居全球前列，但深层次原创性重大人工智能创新成果非常缺乏，面向战略性长期性高层次的研究人才的培养应成为现阶段中国高等教育的主要使命；②高层次应用人才缺乏，掌握人工智能前沿技术、熟悉相关产业应用场景的人才极度缺乏，造成人工智能应用领域“泡沫”较大、“落地”不足。中国高等教育系统应从技术端和场景端两个方面入手，高质量培养交叉复合型人才，满足创新创业实际需要。四是应在人工智能学科布局上下功夫。人工智能是一个高度交叉学科，应加强学科发展引导，既改变当前单纯依靠学科间自发融合的缓慢进程，又不应该按照传统的学科逻辑将人工智能设定成为专门学科反而限制其自由发展，应探究形成真正符合人工智能未来发展的自由式、松散式、交互式的学科发展模式，为人工智能发展创造良好的学科环境。五

是应进一步延长人工智能人才培养链条。人工智能人才培养是长周期性活动，高层次人工智能人才大多需要具有博士研究经历。应延长人工智能人才培养链条，前置相关人才培养环节。可以类似于一些外国语中学提前开展相关小语种学习，建议可以在中学阶段前置部分人工智能课程，或在中学阶段推出高质量人工智能学科竞赛，促进在该领域有爱好和特长的学生及早脱颖而出。对此教育部已经做出快速反应，2018年从小学到高中新增人工智能作为必修课。

3. 进一步改革科研体制机制，释放高等教育创新活力。访谈显示出的当前中国人工智能创新的核心问题大都聚焦在中国科研体制方面。下一步，面向人工智能创新，中国应进一步改革科研体制，形成创新土壤。一方面应持续增加创新成果厚度，着力扭转“美国做基础、中国做应用”的人工智能创新标签，通过基础创新引领带动应用创新，通过体制机制改革祛除创新“泡沫”和浮躁心理，降低人工智能应用化对创新人才尤其是科研人员的可能冲击，保护多种创新可能，在高等教育系统中继续增加跟更多面向人工智能重大基础性创新的方向、人员和资源。另一方面，应形成鼓励创新、宽容失败的科研环境，改变传统的考核评价机制，扭转科研短视带来的各类问题，鼓励科研尝试、宽容科研失败，鼓励宽基础、长周期的深入性研究。此外，应着力加强科研人员伦理道德监管，避免在人工智能领域出现“基因编辑婴儿”类重大科技伦理问题。

（刘进，北京理工大学人文与社会科学学院副研究员，北京 100081；吕文晶，麻省理工学院斯隆商学院、数字经济研究中心博士后研究员，麻萨诸塞州坎布里奇 MA02139）

（原文刊载于《高等工程教育研究》2019年第2期）

人工智能与高等教育的协同进化分析

苏明陈·巴特尔

2017年7月国务院发布的《新一代人工智能发展规划》指出，人工智能是国际竞争的新焦点、经济发展的新引擎、社会建设的新机遇，是一项影响面广、推动社会各领域向智能化发展的颠覆性技术，同时也指出我国目前存在人工智能领域人才不足和关键技术研发不足的问题。工业和信息化部印发《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020年）》，提出要依托重大工程项目，鼓励校企合作，支持高等学校加强人工智能相关学科专业建设，培养产业发展急需的技术人才。人工智能成为一项重要的国家战略，也是实现科技强国的重要机遇。高等教育不仅是人工智能广泛影响的其中一个领域，而且也是培育人工智能高端人才的主要场域。高等教育要积极地承担起培养高水平人工智能人才队伍的时代责任。从2004年北京大学开设国内首个智能科学与技术的本科专业，到2018年南开大学、南京大学、天津大学等国内高等院校相继成立人工智能学院，人工智能由一个多学科交叉的、边缘性的学科，变成了一个具有引领性、普遍性的研究领域，高等教育系统在适应智能社会发展的过程中不断变革。

一、人工智能技术变革

人工智能被称为第四次工业革命。人工智能与一般工业技术的不同，在于它能通过计算机来取代、延伸与强化人的脑力劳动。吴文俊认为：“第一次工业革命是体力劳动由于机器竞争而贬值，现在工业革命则在于脑力劳动的贬值，至少人脑所起的简单的、较具体的、较具有常规性质的判断作用将要贬值。”1997年超级智能计算机Deep Blue战胜俄罗斯国际象棋特级大师卡斯帕罗夫，2016年人工智能机器人AlphaGo围棋战胜李世石，2017年战胜柯洁，最强版围棋机器人AlphaGo zero又战胜了AlphaGo，这意味着在棋类博弈领域人工智能远超

人类智能，人工智能的深度学习能力和进化速度达到令人惊叹的境界；在生活领域涌现了智能驾驶、无人翻译、自动解题等诸多人工智能技术的应用。Susskind认为医疗、教育、法律、新闻、审计、管理咨询、建筑等领域人工智能也会比人类做得更好，许多人开始产生人工智能机器人抢走人类工作机会的危机意识。危机感不仅来自于已经实现的人工智能，同时也来自于对未来人工智能的想象。Barrat将人工智能称作人类最后的发明，认为人工智能递归式自我改进能使其智能性指数式提升，人工智能将全面超过人类智能甚至具有自我意识，能够轻而易举地给人类带来灾难性后果；Tegmark则直接把未来具有自我意识的人工智能机器人称为一种新的生命，并分析人类如何与更高级生命体共存的问题；Grimson则认为人工智能只会成为一种广泛使用的工具，机器学习会变得像使用word、powerpoint或者excel一样。不论是基于已有的人工智能技术的分析，还是基于未来人工智能技术的想象，不论是将人工智能视为一种生命体，还是将人工智能视为一种工具，在人工智能时代人类如何与人工智能协同共存都成为领域内的首要议题。

人工智能不仅是教育服务的工具，也是教育复杂系统研究的方法。新一代人工智能之所以能够迅猛发展，在于人工智能的研究从以仿生学为基础的传统方法转变为以数据驱动和超级计算为核心的现代方法，把智能问题转变为数据问题，在数据中获取信息和知识并实现机器深度学习。诺贝尔奖得主Thomas J认为“人工智能其实就是统计学”。大数据分析技术和物联网技术是人工智能的关键支撑，大数据分析对象由局部性、片面性的样本数据变为全面性、完备性的完整系统数据，分析工具由小样本数据分析软件变为超级计算机，更为重要的是，人工智能意味着一种研究方法的嬗变，人类智能通

过简化复杂性来理解和分析世界，而人工智能则是复杂系统的全景分析，这极大提高了对复杂系统的分析和仿真能力，改变了对教育等复杂系统问题研究时必须把复杂系统抽象为简单系统的思维范式，从而提高理论和实践的一致性。

许多教育学者觉察到人工智能对教育领域的变革并抱以积极的态度，譬如，梁文鑫认为教学问题的解决不再依赖于教师头脑中的模糊的经验，转变为基于对海量的教学问题的描述以及教学问题解决方案的分析；范国睿认为教育决策是一个复杂的系统共存，对于复杂教育问题的研究和政策建议，也必须依赖于翔实可靠的数据，依赖于对这些反映客观教育现实的数据的自动化处理和分析。同时对人工智能也存在一些怀疑和忧虑的态度，怀疑来源于在过去十多年计算机技术在教学中的应用中并没有展现出明显的提升教育质量的作用，认为人工智能对教育变革的作用可能夸大了；忧虑则来源于达尔文进化思维，认为人工智能可能完全淘汰人类。这些都反映了对人工智能时代的高等教育生态系统如何演变的不同态度和看法。当前人工智能技术仍处于弱人工智能时期，能够自动化完成任务，而未实现机器自我进化，即便是智能程序本身也需要大量的人工标记，形成目前“有多少智能就需要多少人工”的技术现状。也正因人工智能离不开人工，而高等教育等系统也需要人工智能带来便利，这种互相影响、甚至依赖的关系也是人工智能与高等教育系统能够进行协

同进化的基础，同时也使人们在人工智能工具论和人工智能生命论中，更多地认为人工智能是一种为人所用的工具，而生命论仍然更多的是一种想象。

二、高等教育与AI协同进化的竞争性和协同性

同进化理论最早是由Ehrlich和Raven于1964年在分析植物和蝴蝶互相作用对进化的影响时提出的，其一对一协同进化的严格定义为：一个物种的性状是对另一物种性状的反应而产生的进化，而后一物种的性状本身也是对前一物种性状的反应而产生的进化。在达尔文进化论中，一个物种往往被孤立地分析，认为物种进化是基因突变、遗传和环境适应的结果，强调单一物种内部在对有限资源的竞争中优胜劣汰、适者生存，而无法解释不具有遗传关系的物种间的进化，因此它只局限于解释具有基因信息交流的物种（即单一物种）的进化，突出了种群内部生存竞争的残酷性，却忽略了种群间共生、互惠的协同关系，具有很强的片面性和局部性。协同进化将生物界视为一个整体，而不仅是分析各物种单独与自然的关系，揭示了生物进化的更普遍性规律，在生态系统中处于各食物链层级上的物种不仅互相竞争、制约，又协同、互惠，各自获取资源，形成一定时空条件下相互之间的生存平衡和持续发展。学科视角下可以把人工智能类比为一个新的物种，将其看作是一个高等教育生态系统学科群协同进化的产物。它是由教育学、数学、心理学、哲学、计算机等学科体系为知识基础而形成的新学科，虽然人工智能的相关知识结构在原属学科中是边缘性的，但是这些边缘性的知识结构联结在

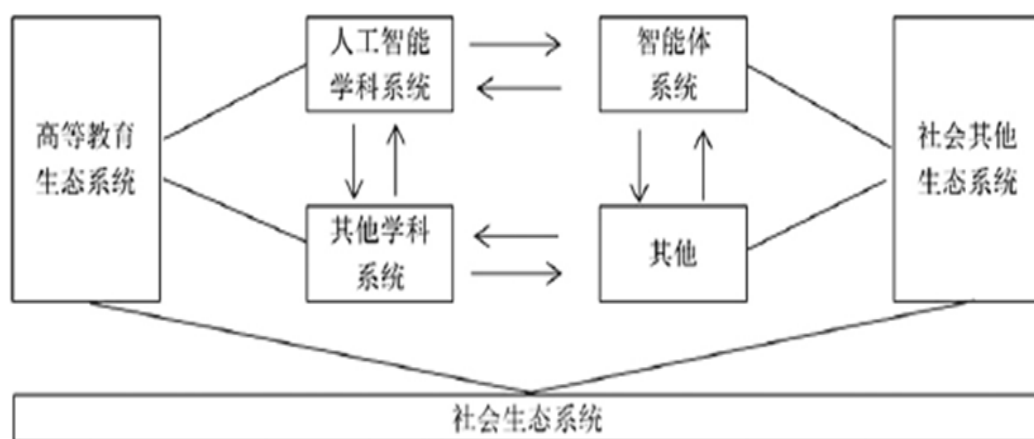


图1 社会生态系统的协同进化

一起产生了系统的协同效应，形成了一个新的人工智能知识生态系统，同时，人工智能知识生态系统反过来又影响了教育学、计算机等原有的知识生态系统，这使得人工智能与教育学、数学、心理学、哲学、计算机等学科乃至整个高等教育生态系统协同进化、互相影响，最终形成整个社会生态系统的协同进化（如图1所示）。高等教育系统是传递和研究高深知识的场所，也是培养社会所需精英人才的场所，受到人工智能直接和间接的影响。人工智能技术在智能导师系统、智慧校园等方面的应用中直接影响高等教育系统，促进了教学自动化和教育服务自动化；同时人工智能会使得社会对不同专业的知识和人才需求发生结构性变化，在实用主义办学模式下社会需求的变化就会引导高等教育系统通过积极调整专业人才培养来尽可能地避免人才供给和人才需求的错位。

在人工智能时代，高等教育面临极大的机遇和挑战，其本质上是人类智能与人工智能竞争性和协同性的问题。高等教育系统对人类社会具有特殊的意义，作为传递高深知识和创新高深知识的主要场所，高等教育是人类智能的高地，同时由于教育本身的复杂性和当前人工智能技术的局限性，教师一直被认为是人工智能难以替代的行业，而计算机辅助教育甚至会有一些负面的作用，乔布斯之问至今令人深思“为什么计算机改变了几乎所有领域，却唯独对学校教育的影响小得令人吃惊”。陈晓珊对人工智能技术能否改变教育提出怀疑，认为人的限度制约了技术威力的发挥，而技术的限度又制约了其在教育中的应用，教育是人的灵魂的教育，而非理智知识和认知的堆积，所以人只

能由人来教，人不能由机器来教，教育应当回归精神交流的本质。首先，我们不得不承认当前人工智能技术对教学质量的提升是不确定的，同时也需要考虑到高等教育系统的特殊性，不仅仅包括教学，也包括科研和高等教育的社会服务，在这些方面专家系统、数据挖掘、自动定理证明等人工智能技术都已有广泛的应用，尤其是大数据分析领域开启了发现知识的新大门，对原有的以统计学为根基的社会科学实证研究造成颠覆性的影响，也对探索隐含的、未知的知识提供可能。

当前人工智能技术与通用人工智能仍然相距很远，人工智能的应用普遍“只做一件事”，譬如AlphaGo只会下围棋，智能驾驶只能驾驶，智能翻译只能翻译，这体现出目前人工智能只是某个单元智能，而人类智能是多元智能，在没有人机协同的情况下人工智能是无法完全取代人类智能的。其次，人类智能和人工智能在处理不同问题时各有优势，人类智能认为困难的问题对人工智能可能是容易的，而人工智能认为容易的问题对人类智能却可能是困难的。Moravec发现要让计算机如成人般地下棋是相对容易的，但是要让计算机有如一岁小孩般的感知和行动能力却是相当困难甚至是不可能的，基于此他认为人类智能的能力分布是不均匀的，并提出了“人类能力地形图”（如图2所

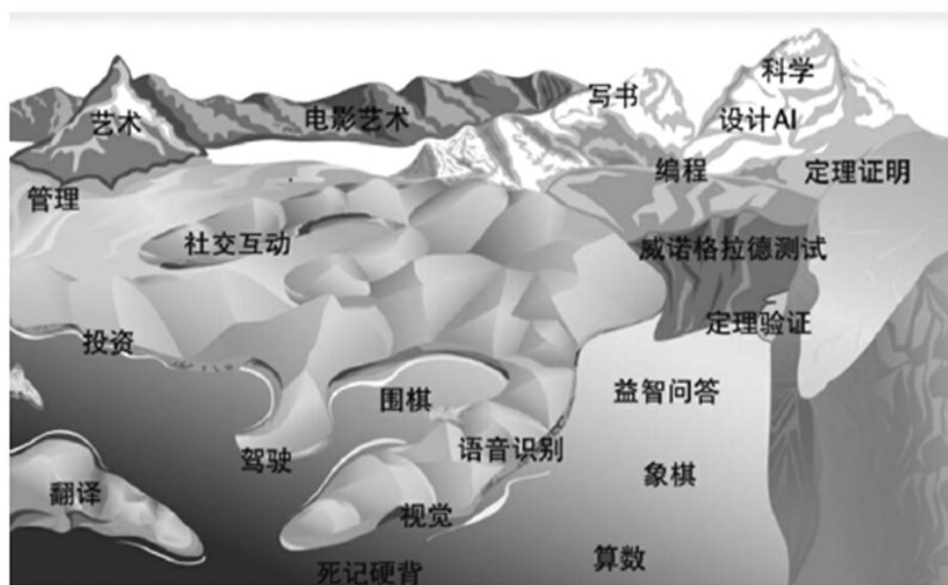


图2 人类能力地图

示)。在该地图中,地势越高的领域人类智能越擅长,海平面代表人工智能与人类智能相持平的领域,海平面以下代表人工智能超过人类智能的领域,海平面以上代表人类智能尚未被超越的领域。可以由此看出,科学、写书、艺术、管理仍处于海平面之上,这些对应了我国高等教育学科划分中的自然科学(理、工、农、医)类与管理学,人工智能在这些领域完全替代的可能性较小;投资、翻译、语音识别、定理验证已经与海平面持平,这些对应了我国高等教育学科划分中的经济学、语言文学、数学,人工智能已经实现对这些领域的替代;益智问答、棋类、算数等已经处于海平面以下了。在人工智能可以替代人类智能的领域,未来社会必然会减小这些领域的人才需求,高等教育系统中学生热门专业的选择必然会向人工智能难以替代的学科集中,同时,人工智能的兴起也会衍生出许多新的岗位,高等教育需要承担起培养人工智能领域人才的责任。虽然人工智能会重构高等教育系统,在许多领域人类智能不如人工智能,但这并不意味着算数、益智问答等内容将会消失,也不意味着投资、翻译等领域内的知识已没有传授和研究的必要,人的教育规律决定了人的知识结构不可能是空中楼阁,需要通过基础性的训练培养学生扎实的知识基础。

三、AI时代高等教育生态系统的演化趋势

在目前人工智能技术的应用体现出二者互补、互益的特征。将人工智能嵌入到高等教育生态系统中是新时代的必然发展趋势,高等教育领域将由于一个百分百人类智能的领域转变为集成智能的领域,人工智能技术与一般技术的特殊性、高等教育与一般智能应用域的特殊性都决定了人工智能与高等教育协同进化、协同发展的重要意义,“集成智能”的高等教育生态系统将通过构建一个更具多样性、适应性和竞争性的新生态而更好地实现教育的多维价值。

(一) AI促进差异化和多样性发展

教育是一个复杂系统,这决定了教育学传统研

究方式是很难创新、很难突破的,人工智能就是一个分析复杂系统的有力工具,也是提高对教育规律认知水平和教育技术水平的有力工具。人工智能以大数据为分析样本,使用云计算和分布式处理的现代信息技术分析总体,突破传统研究范式中以经验为基础的专家知识和以少量样本、部分变量为基础的建立在统计学之上的数据知识中所存在的不充分、不完备的问题,研究中的解释变量和被解释变量由传统模型分析中的几个、数十个转变为数千个甚至更多,将遗失变量的可能性降至最低,这使得在教育研究中弥补人类智能的不足,挖掘隐藏的教育规律,也使得在分析问题充分地考虑到每个个体的独特性、差异性,促进培养方式的多样化、个性化。

在高等教育生态系统内部,随着不断的知识传播和知识创新,人类的知识结构不断丰富,而且学科之间的联系和交叉更加紧密,新的课程、新的学科不断涌现,各子系统协同共存具有多样化的趋势。在高等教育与社会系统的交流中,随着社会分工的不断加深,社会生态系统对专业人才的数量和种类需要都不断增加,社会需求促进高校培养学生的类别逐渐多样化,人工智能学院等高校新设机构也体现出高校在积极地自我调节从而更好地适应社会、服务社会。虽然工业文明对生物多样性和文化多样性造成破坏,但是高等教育系统本身是不断多样化的,而且高等教育提高人类的认知水平和技术水平,这又产生了对物种多样性和文化多样性保护的意识,也提高了保护物种多样性和文化多样性的能力和手段。但是,在人工智能推广之前,教育技术仍具有很大的局限性,这使得高等教育具有很强的功能主义特征,譬如在教学过程中,教师无法充分地根据每个学生的差异定制个性化的教学方案而倾向于把学生看作同质的学习工具,兴趣、性别、民族、地域、性格、家庭情况等学生异质性的条件都难以顾及,同一堂课,在授课内容、学生任务的分配、学习方法的选择、授课方式等方面是一样的,最终形成了以成绩为导向的教育筛选体系,经

过适应和层层筛选形成了学生“同质化”“逆多样化”的现象。不论是自然生态系统、社会系统还是高等教育系统，系统多样性受到损害的原因在于技术的不足、认识的不足，在生态系统中每一个子系统都在维持生态系统结构稳定性和功能有效性上发挥着特定的作用，但是人类工业文明形成了地球以人类为中心的观念，人类的生产活动加速了生境丧失和物种灭绝的速率，威胁了自然生态系统中的物种多样性；另一方面，人类工业文明逐渐形成了以现代性文明为中心的观念，许多地方性的传统文化逐渐消失，破坏了文化生态多样性。教育为社会发展服务，显然教育系统在促进工业文明的发展中发挥了重要的作用，义务教育具有标准化的趋势而高等教育又具有面向现代化的特征，这使得教育系统直接推动了人类工业文明的发展，而又间接导致了物种多样性和文明多样性的损害，体现了技术作用的双重性，而人工智能在数据抓取和情境营造中都是以异质性的人为主体，不同个体背景和环境的差异导致不同个体的数据聚类 and 搜索差异化，个体差异连同产生差异的小世界情境本身构成每个个体的独特视角，最终通过放大和强化个体差异促进后现代特征的多样化。

（二）AI强化高等教育的适应性

高等教育适应性按照其层次结构可以分为两个方面：高等教育系统对外部环境的适应性和高等教育系统内部学生对学习环境的适应性。在人工智能时代，高等教育对外部环境的适应性在于满足建设智慧城市、智慧社会的人才需求，也在于中美大国博弈中不使核心技术受制于人的竞争需求。人工智能对传统产业的巨大影响使其成为大国竞赛的新领域，中美两国都把人工智能作为重要的国家战略并大力支持相关产业的发展。2018年3月，美国战略与国际研究中心发布《美国机器智能国家战略》，其目标就是要通过培养人工智能的研发人才和人工智能的应用人才来维持美国在人工智能领域的绝对领先地位，提出要通过高校、研究室等多方途径加大资助机器智能的体系研究，培养劳动者计算机科

学和机器智能相关知识使其能够适应人机协同环境。2018年5月，白宫主办美国人工智能峰会，总统特朗普表示人工智能将改善生活的每一个方面，研究利用人工智能为民服务的政策，同时也提出了以人工智能实现军事战略优势的目标，并且创建由联邦政府最高级研究官员组成的人工智能专门委员会。中美之间的人工智能竞争已经不单是以阿里巴巴和谷歌为代表的中美互联网企业之间的竞争，由于人工智能的应用领域包含了行政、商业、医疗、教育、军事等几乎所有领域，中美政府已经意识到仅由企业研究人工智能是远远不够的，必须由国家战略支持人工智能的发展。人工智能的竞争归根结蒂是人才和技术的竞争。今年国内诸多高校相继成立人工智能学院，主动自我调节适应国家对教育系统的新要求，培育人工智能专业的人才。

在传统社会中的适应性问题往往指个体对社会的适应，强调社会对人的改造和历练，突出个人对社会的适应能力，而人工智能可以通过智能服务为个体提供个性化的生活环境和学习环境，形成智慧环境对个人的适应。高等教育系统内部学生对学习环境的适应性是教学过程中教师和学生互相作用的过程，适应性教学是针对学生异质性的个性化教学，学生个体之间在认知能力、认知结构、知识基础和学习动机等方面存在差异，因此，需要根据个性需求设定目标，进一步发挥其个性优势，促使其能力得到发展。人工智能教育会对原有的知识传递结构和教育模式造成冲击，从原来的知识——教师——学生传递模式，变为交互式的由数据库和专家系统连接的体系，把“以教师为中心”的教学模式从根本上转变为“以学生为中心”的教育模式，将学生的兴趣和能力融入到真实世界的活动中，提供一个智慧的课堂环境。智慧校园的建设可以提高学生的适应能力，从以往的“学生适应学校”变为“学校适应学生”，实现真正的因材施教和个性化教学。

（三）AI促进高等教育竞争性变化

从生物进化的视角，竞争性是指个体对有限资

源的争夺。在高等教育系统内部，比较容易理解的是在学生需求一定的情况下，人工智能会形成对人类智能的部分替代，减少高等教育系统对行政管理、部分教学岗位的需求。生态学视角下的竞争性具有残酷的一面，同时也是系统进化的主要动力，而且竞争者之间可以通过降低生态位重叠实现竞争性与协调性的统一，提高资源利用效率。竞争性也体现在人工智能学科与其他学科之间，公众以社会需求为评判依据，将不同的学科赋予不同的价值权重，出现“热门学科”和“冷门学科”的现象，“热门学科”报考人数多，“冷门学科”报考人数少，而且人工智能学科大多从计算机专业分离或组建，一经设立就成为新的热门。同时，人工智能减少了社会系统对翻译、教师等专业人才的需求，增加了对人工智能领域人才的需求，这必然会改变专业选择的学生结构。另一方面，国家对不同学科发展的支持力度也发生了变化，人工智能成为重点支持的领域，我国《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划》提出，以多种方式吸引和培养人工智能高端人才和创新创业人才，支持一批领军人才和青年拔尖人才成长，依托重大工程项目，鼓励校企合作，支持高等学校加强人工智能相关学科专业建设，引导职业学校培养产业发展急需的技能型人才。

在高等教育大众化的情况下，学生获得高等教育资源的竞争性比较弱，但是各个学校教育水平参差不齐。不论是义务教育还是高等教育，名校资源都具有很强的竞争性，在层层选拔经过激烈竞争之后才能获得名校受教育机会，人工智能可以通过机器智能导师解决优质教育资源不足的问题，丰富高等教育资源，使更多的人可以获得优质的高等教育。教学自动化会增加教育资源供给，人工智能将削弱高等教育的竞争性，甚至使高等教育成为非竞争性、非排他性的公共物品，这无疑会促进高等教育大众化迈向更高水平。竞争性的缺失也导致高等教育服务边界的模糊化，人工智能所导致的教师知识传授职能的弱化和学校知识传递场所的弱化，从

以人为师到以机器为师、以网络为师，学生从教师习得的知识与从计算机习得知识的比例正逐渐减小。当智能机器越来越能够胜任部分的教学任务，学习场所也就会由传统的学校向生活场所、工作场所和虚拟学习场所延伸，学校作为传递知识的场所变得更容易被其他场所替代，高等教育的功能就可能由教学和科研并重而不断弱化教学，更加重视学生自己搜索知识和解决问题的能力。

四、结语

人工智能产生于人类智能，人类智能将不断推动人工智能的发展，反过来人工智能将弥补人类智能的不足，未来世界的发展不再仅仅由人类智能推动，而是由人类智能和人工智能共同推动。协同进化意味着对新事物从生态系统整体的角度、以持续发展的观念来思考问题，任何一次科技革命都会对人类社会带来变革，在改变原有生态平衡的同时需要不断适应从而构建一个新的平衡稳定的生态系统。高等教育生态系统也需要积极适应人工智能的发展，人工智能时代要创办一流大学。人工智能教育需要建设新的课程体系，根据人工智能学科的特点进行改进，为人工智能领域的人才培养提供保障。另一方面，人工智能带来的变革会是颠覆性的，而教育系统向来以保守著称，高等教育系统很多变革——包括那些发源于内部的变化——由于未能突破现存结构的约束而告失败，高等教育结构和制度的产生大都是为了保护研究者和教师的正当利益，然而，一旦这些结构和制度得以确立，它们可能会变得很难驾驭，其顽固程度往往令人吃惊。高等教育系统的变革总是存在层层障碍，人工智能带来的变革可能触及部分研究者和教师的利益，高等教育需要积极的自我变革适应智能社会的发展，迅速作出制度上的反映。

（苏明，南开大学周恩来政府管理学院博士生，天津 300350；陈·巴特尔，南开大学周恩来政府管理学院教授，内蒙古民族大学客座教授，天津 300350）

（原文刊载于《高教探索》2019年第9期）