

人工智能专业人才协同培养研究与实践

柳婵娟¹, 邹海林¹, 王 征², 庄慧娟³, 臧睦君¹, 王庆军¹, 周树森¹

(1.鲁东大学 a.智能科学与大数据研究院;b.信息与电气工程学院,山东 烟台 264039;
2.天津大学 人工智能学院,天津 300072;3.华南师范大学 国际商学院,广州 510631)

摘要:人工智能所具有的多学科交叉、融合、迁移、渗透等独特性,使人工智能人才培养与其他工科专业相比具有更高的挑战度。本文对人工智能人才培养的策略、原则、模式进行了分析探讨,并从实践上进行探索,提出应从人工智能学科属性、科学内涵、学科发展、经济社会需求及学生能力素质提升等方面把握人工智能学科专业体系建设,通过体制机制改革,推进跨学科资源有机整合,建立多学科联合与协同的新型教师队伍,构建系统的、多学科支撑、专通融合的课程体系,搭建人工智能实践与创新平台,深入实施产教融合、科教融合,真正实现多学科融合和产学研协同育人。

关键词:人工智能;人才培养;专业建设;课程体系;教育模式

中图分类号: TP18; G640 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022)03-0193-13

人工智能正成为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,对经济和社会建设产生重大而深远影响,掌握人工智能技术就意味着拥有新的发展空间、更大的价值创造和更强的竞争优势,因此,“世界主要发达国家把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,加紧出台规划和政策,围绕核心技术、顶尖人才、标准规范等强化部署,力图在新一轮国际科技竞争中掌握主导权。”^[1]创新驱动发展关键在人才,教育部《高等学校人工智能创新行动计划》明确提出要“支持高校在计算机科学与技术学科设置人工智能学科方向,推进人工智能领域一级学科建设”“加大人工智能领域人才培养力度”^[2]。截至2021年3月,全国已有345所高校设置了人工智能本科专业,有140所高校设置了智能科学与技术本科专业,近年来还陆续增设了一批与人工智能相关的专业:机器人工程、智能制造工程、智能医学工程、智能建造、智能电网信息工程、智能车辆工程、海洋机器人、智能体育工程、智能装备与系统、农业智能装备工程、智能感知工程、智能无人系统技术、智能建筑与建造等,为培养和造就一大批人工智能领域科技人才奠定了基础。

近年来,各高校在进行人工智能人才培养实

践探索的同时,也在积极开展人工智能专业和“人工智能+X”人才培养相关问题研究。但总体而言,目前人工智能专业人才培养还没有形成系统规范的人才培养体系,对打破学科专业壁垒、促进支撑人工智能的相关学科之间的有效衔接、建设基于多学科融合的人工智能学科知识体系、学科组织体系、课程体系及有效培养机制模式的研究还不够全面和深入;对人才培养相关的理论研究和实践探索有待进一步加强。如何促进我国不同层次的高校建设和形成各具特色的人工智能人才培养体系和模式,加快人工智能人才培养,提升人工智能服务国家经济社会发展的能力是当前高校的一项重要使命。

1 人工智能专业人才培养的策略和原则

人工智能专业教育关注的应该是有助于为人类社会谋福祉的、有助于解决产业创新需求的、有助于学生未来职业发展的内容^[3]。近年来,鲁东大学面向国家人工智能发展战略和产业需求,面向区域经济社会发展需要,从学校类型/层次上确立人工智能专业人才培养目标定位,从学科属性、

收稿日期: 2022-02-17; 修回日期: 2022-03-01

基金项目: 山东省高校教学改革研究项目(M2020022); 烟台市校地融合发展项目(2020XDRHXMXX24)

第一作者简介: 柳婵娟(1980—),女,山东烟台人,副教授,博士,研究方向为人工智能、模式识别、机器视觉。E-mail: luckycj80@sina.com

科学内涵、学科发展、经济社会发展对人才要求、学生未来职业发展等方面把握人工智能学科专业体系建设。

1.1 从学校办学类型/层次上把握人工智能人才培养目标定位

在教育部批准设置人工智能本科专业的345所高校中,既有“双一流”建设高校,也有具有博士学位授权资格高校(非“双一流”建设高校),也有很多地方高校。人工智能具有多学科交叉、融合、迁移、渗透等特性,这也决定了人工智能本科专业人才培养对相关支撑学科的基础与水平、复合型师资队伍、实验平台等办学条件有着较高的要求,也就是说人工智能专业人才培养相比其他工科专业具有更高的难度。因此,已经开办人工智能本科专业的高校应根据各自学校的类型/层次、人工智能相关学科的基础和水平、师资队伍水平、办学设施条件和学生特点,实行差异化定位,形成各自不同的特色。“双一流”建设高校应面向人工智能基础理论和关键核心技术研究需要,以培养人工智能研究/学术型人才为主;具有博士学位授权资格高校(非“双一流”建设高校)应面向人工智能新兴产业需求,着力于培养人工智能技术研究和工程应用型人才;其他高校应面向行业和产业人工智能的应用,聚焦于技术应用型和技能型的人才培养^[4]。在此基础上,制定相应类型人才培养目标指导下的专业人才培养方案和实施计划,科学构建和设置课程体系,建设新型教师队伍,建立高层次实验实践平台,实行有效的育人模式。

1.2 从科学内涵上把握人工智能学科专业体系建设

完整的大学教育既包括具体层面的科学知识、科学方法的传授,也包括抽象层面的科学思想、科学思维、科学精神、创新意识的培养,还包括世界观、价值观的塑造。因此,要从科学内涵上把握人工智能学科专业知识体系、课程体系及教学体系建设。科学内涵包括科学知识体系及其载体、科学活动的运行机制、科学思想方法、科学精神以及科学文化的功能价值等,教育内容要包括理论产生的背景、科学理论体系、思维方法、科学精神、科学理论发展完善过程、科学理论应用以及社会伦理等。同时,也要看到半个多世纪以来,以

计算机技术为核心内容的现代信息技术在改变着世界的同时,也引发了一系列的社会问题,这其中的根本原因在于教育实施过程中过度追求实用性、功能性,而忽视对人才的人格全面塑造,缺乏对社会问题的关注。

因此,在人工智能人才培养实践中,不能仅重视单纯的知识和技术的传授,还要关注科学思想方法及学科知识交叉和相关性,深刻阐述人工智能和计算机科学与经济社会、环境及其他学科之间的关系以及人工智能伦理问题。从专业知识体系构建、课程体系设置,到教学过程,始终坚持知识传授、能力培养与价值塑造有机统一。

1.3 从学科属性上把握人工智能学科专业体系建设

人工智能与其它门类的科学技术相比,具有其独特性。

1) 多学科交叉性

人工智能是涉及基础理论、方法、技术及应用系统的技术科学群,它涉及计算机科学、数学(包括统计学)、控制科学、物理学、认知科学、脑科学、心理学、语言学、哲学等多个学科领域的知识。从学科属性看,人工智能知识体系主要包括数学基础理论、计算机科学理论、认知科学与脑科学、人工智能理论方法和技术及应用系统。从人工智能产业属性上看,它主要包括基础层、技术层和应用层。基础层主要以人工智能芯片、传感器、智能计算理论等研发为主;技术层主要研究各类感知技术与智能处理技术,主要包括机器学习、计算机视觉、自然语言处理、机器人技术、生物识别技术、人脸识别技术、语音识别、人机交互技术、大数据处理和云平台等;应用层主要是面向各个领域的人工智能技术集成与应用开发^[5]。因此,无论是什么层次的高校,人工智能专业知识体系应涵盖人工智能的理论、方法、技术和应用系统四个层次。

2) 高渗透性

人工智能已经深度交叉进入传统学科腹地,与其他学科融为一体,并催生出新的学科形态。例如,人工智能与其它学科融合发展而产生的机器人工程、智能制造工程、智能车辆工程、智能医学工程等等,涉及机械工程、控制科学与工程、计算科学与技术、生物医学工程等诸多学科,具有显著的多学科融合渗透特征。因此,人工智能学科

的建设不仅包括本学科理论的研究,也包括与被辐射学科的衔接和应用研究^[6]。这就要求人工智能领域人才培养要打破学科专业边界,整合来自不同学科专业的学术资源,构筑起多学科支撑的人工智能知识体系与学科组织体系。

3) 强支撑性

人工智能已渗透到经济、社会、文化的各个领域各个层面,发挥着强大的支撑作用,它“重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节,形成从宏观到微观各领域的智能化新需求,催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式,引发经济结构重大变革,深刻改变人类生产生活方式和思维模式”^[1],同时它也“在教育、医疗、养老、环境保护、城市运行、司法服务等领域广泛应用”^[1],产生极大的动能作用和效益。人工智能对经济社会发展的支撑性和应用的广泛性,对人才素质能力培养以及教育内容、教育过程提出了更高要求,应注重相关人文社会科学素质的培养。

4) 应用模糊性

人工智能本身技术逻辑及其应用存在模糊性,即人工智能算法“黑箱”问题。例如,多层神经网络模型——深度学习通过自我训练、自我学习总结出数据背后的规律与特征,表现出了惊人的总结和归纳能力,但它的学习算法和得到的结果缺乏可复制性和可解释性。同时,人工智能学习系统在面对与训练数据不同的新的数据的时候,可能会出现无法预测的错误,这是由于人工智能所依赖的大数据集本身可能存在的缺失或偏颇问题,以及机器学习算法的实现方法决定了其应用的局限性^[7]。另一方面,人工智能技术已应用于社会生活的各个方面,在不同场景下管理、分类、约束乃至决定整个社会的运行,但我们并不能明确界定一个实体对象或工作流程来解释其运行过程^[8]。人工智能算法在对经济社会运行机制、规则产生影响的同时,应用结果的模糊性和不确定性可能带来不可预知的存在性风险,同时风险程度有时难以做出预判。曾发生过的舆论操纵、隐私侵害、种族歧视等问题都是人工智能算法带来的负面案例。

当人工智能算法被普遍应用于人类社会不同领域时,必然会带来诸多的不确定性和治理挑战,因此,人工智能教育必须正视这一问题,在实施教育的同时,高度关注人工智能伦理以及带来的风险管控与治理问题。

1.4 从人工智能发展动态性和复杂性上把握人工智能学科知识体系建设

在人工智能人才培养实施过程中,除了要从学科属性和科学内涵上把握外,还有两个因素必须考虑:一是人工智能学科理论体系尚不完善,仍处在发展之中;二是人工智能发展应用对人类社会的影响和带来的诸多挑战性问题。

1) 人工智能发展的曲折性与复杂性

任何一个学科的形成都是一个从诞生到发展再到应用的不断完善的过程。人工智能自1956年诞生以来,在60多年充满未知的探索道路曲折起伏发展过程中,从概念提出到20世纪70年代专家系统在医疗、化学、地质等领域取得成功应用,标志着人工智能走入应用发展的高潮期;之后由于专家系统存在应用领域狭窄、缺乏常识性知识、知识获取困难、推理方法单一、缺乏分布式功能等诸多问题,其发展又进入低迷期。20世纪90年代,专用人工智能系统研究取得突破性进展,而通用人工智能领域的研究与应用进展缓慢。21世纪以来,随着大数据、云计算、互联网、物联网等信息技术的发展,泛在感知数据和图形处理器等计算平台推动以深度神经网络为代表的人工智能技术飞速发展,大幅跨越科学与应用之间的“技术鸿沟”,人工智能发展应用迎来新的高潮^[9]。人工智能发展过程的跌宕起伏正是其复杂性的体现。

2) 人工智能发展的动态性和不确定性

今天看来,人工智能尽管已经形成庞大的知识体系,但其整个理论基础尚未成熟和完善,传统的人工智能的两种主要范式——符号主义与连接主义,只是从不同的侧面模拟人类的心智(或大脑),具有各自的片面性,依靠单一范式不可能触及人类真正的智能。需要建立新的可解释和鲁棒的人工智能理论与方法,发展安全、可信、可靠和可扩展的人工智能技术^[10]。另一方面,尽管人工智能的理论、方法和技术已应用到经济社会各个方面,但还面临许多要突破的瓶颈问题。人工智能的未来就是发现、理解与创造,因此下一代模型的核心就是要让人工智能精准理解大场景、多对象和复杂关系。需要建立认知模型与类脑智能体系的科学,突破当前人工智能面临的鲁棒性、迁移性、能效比、自适应、可解释性等局限,创造新一代

人工智能^[11]。要实现这一目标可能还有很长的路要走。

新一代人工智能往哪个方向发展,基础的原始创新会取得什么样的突破,还存在很大的不确定性,不是现在就能预测到的。同时,还应看到包括人工智能在内的科技创新在给人类社会带来巨大发展的同时,也对已有的经济结构、社会关系和人类社会生产方式、生活方式、思维方式、管理规则和伦理治理等诸多方面产生深刻影响,至少“在以新型人机关系为基础的智能社会、智能文明中,农业社会、工业社会所形成的理论、方法很可能不再适用”^[12]。

对此,在对人工智能发展的曲折性、复杂性有深刻认识的同时,对人工智能发展应用可能带来的挑战性和不可预知的风险,应保持清醒的认识,认真研究,积极应对,既不能无限夸大人工智能的作用,又要避免对人工智能发展应用可能带来的问题和风险产生悲观进而排斥其发展和应用。在实施教育过程中,在传授知识和进行实践能力培养的同时,要注重学生批判性思维、多学科综合思维、伦理治理思维的培养,教育学生深刻理解人工智能技术应用对经济、社会可持续发展的影响,建立人、机、物协调和可持续发展的意识,在实践中把握和处理好技术发展应用与社会和谐、经济社会可持续的关系问题,承担起应有的社会责任。

1.5 从科学性、特色化上把握人工智能专业课程体系设置

注重多学科支撑下的厚基础、高融合、宽口径的人才培养,重视人才的多学科交叉和工程实践能力的培养,是人工智能学科发展应用的必然要求。在课程体系设置上,应把握好以下原则。

1) 坚持多学科交叉融合的原则,处理好专业教育与通识教育的关系。人工智能专业是一个跨门类的复合型专业,在构筑人工智能教育的知识体系时,要破除传统的单一学科思维意识,打破现有的学科专业界限整合内容,促进多学科知识深度融合,建立多学科支撑、知识为基础、素质和能力为重点、专通融合的课程体系;通过课程资源整合和教师协作,促进不同学科思维方法、教学方法的交融。

2) 坚持系统性和完整性原则,处理好专业培养目标、课程体系与教学环节之间的关系。一是

坚持知识体系与课程体系的系统性、完整性,注重专业培养目标、专业知识体系、课程体系之间的对应关系,避免课程设置和教学内容的碎片化。二是坚持教学环节的系统性、完整性,注重专业目标、课程目标、核心能力与教学环节的对应关系,避免实践环节和内容孤立化及形式单一化。三是坚持教学内容的系统性、完整性,注重基本理论、核心概念、典型方法、存在问题及科学思维全链条教学,注重与其他学科的相关性、以及对环境和人类社会的影响等问题的分析与阐述,避免知识传授的实用性、功利性。

3) 坚持动态性和发展性原则,处理好继承与创新的关系。人工智能仍处于不断发展之中,新理论新方法新技术日新月异,在夯实基础理论知识的同时,始终跟踪人工智能发展前沿,及时将新知识新方法新技术引进到教学中来,始终保持教学计划的动态性和前瞻性,注重知识的多学科相关性、时代性和前沿性。

4) 坚持开放性原则,处理好吸收与创新的关系。人工智能教育在立足我国实际的基础上,应面向世界,面向未来科技和高等教育发展趋势,吸收借鉴国外高校人才培养先进理念,与我国教育实际结合并进行创新,形成中国特色的人工智能教育体系与模式。

5) 坚持层次性、个性化的原则,处理好一般要求与特色发展的关系。在保证人工智能核心知识、核心技术的基础上,通过设置深度广度不同的专业基础课程、不同应用方向的选修课程和拓展课程来体现层次教育,满足不同基础、不同兴趣爱好、特长的学生选择,使学生个人学习潜能、特长得到最大发挥。

6) 坚持理论和实践并重的原则,处理好知识传授与技能训练的关系。既注重基础理论教学,保证教学内容的深度和广度,又要注重学生的实践能力培养和训练,保证实践内容的系统性和有效性。改变过去实践环节和内容的单一性和碎片化,要面向多学科思维能力和复杂问题解决能力的培养,构建从专业实验、综合实验、实习实训、工程项目实践等有机衔接的系统化、多学科融合环境下的工程化综合实践体系。

1.6 从新一轮科技革命和产业变革对人才的要求把握人工智能教学建设与改革

人工智能专业人才将要面对三个挑战:一是

新一轮科技革命的挑战,以人工智能、大数据、云计算、互联网、区块链为代表的新一代信息技术与其他学科日益融合产生许多新技术,与产业融合催生许多新产业、新业态,这种跨界融通的趋势对人才的素质能力提出更高要求;二是人工智能多学科交叉、综合发展的挑战,它的这种多学科交叉、融合、迁移、渗透等属性,决定了单一学科知识结构和认知模式,无法满足人工智能领域科技创新的要求,要求人工智能专业人才需具有复合型知识结构,一专多能;三是所要解决的问题复杂性的挑战,人类面临的全球性挑战和科学研究要解决的问题越来越复杂,单一学科的知识、方法、工具等已不足以破解这些重大科学难题,学科交叉研究发展趋势明显,同时学科自身也在动态演变之中。强化学科交叉和寻求新的科研范式是未来科学技术快速发展的必由之路^[13]。所要解决问题的多元复杂性特点,要求人工智能专业必须注重人才的多学科多领域综合思维能力的训练和培养。

在专业知识层面,人工智能人才需要具备扎实的数学基础、计算机科学基础、科学与工程基础、全面的人工智能理论基础、认知科学和神经科学及一定的人文社会科学知识。在核心能力上,要求人工智能人才具有较强的综合能力,包括学习能力、认知与发现能力、多元高阶思维能力、创新与创造能力、协调与统筹能力及修为与行动能力,如图1所示。

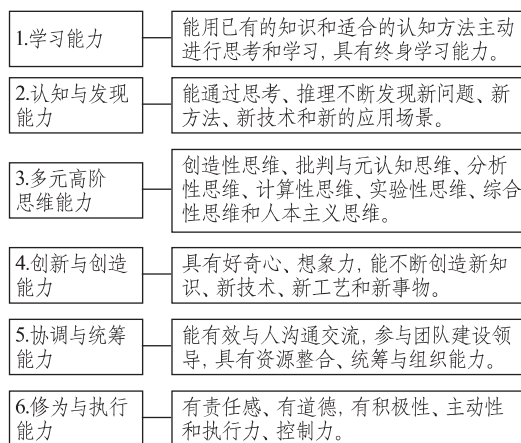


图1 人工智能专业人才核心能力结构

Fig.1 Core competence structure of artificial intelligence professionals

对人工智能人才来说,具备多元高阶思维能力尤其重要,如创造性思维、批判与元认知思维、

分析性思维、计算性思维、实验性思维、综合性思维和人本主义思维^[14]。例如,面对人工智能及相关领域内的复杂工程问题,需要从不同的渠道采集信息,以人、机、物融合的视角,从理论技术、方法工艺、应用价值、社会环境等多个角度,进行识别、归类、表达、综合分析和建模求解,并对结果进行分析和评价,这就需要多学科综合思维能力。再如,对人工智能科学技术的应用及其对客观世界和社会的影响有正确的认识,能够基于工程相关背景知识、人文社会科学知识和法律法规,评价人工智能领域的复杂工程问题解决方案和工程实践对环境、社会、健康、安全、法律以及文化的影响,这就要求学生必须具有人本主义思维能力。

过去强调以知识获取为重心的教育模式无法适应时代发展对人才的要求,要转向思维和能力导向的教育模式,让学生在工程实践中面临各种未知与复杂问题时能够运用恰当的知识、思维和方法去思考、解决问题。因此,在教育实施过程中,既要重视专业知识教育,又要重视多学科、多领域综合思维能力培养,通过专业建设和持续推进教育教学方法改革,保证人才培养目标的实现。

1.7 从学生未来职业发展上把握人工智能教学建设与改革

通过实施教育,为学生本科毕业之后继续学习深造或就业打下基础,包括扎实的理论基础、工程技术基础以及健全的人格和价值观,培育学生将来具备科学发现与创造、工程技术开发与应用的潜能,从而奠定学生未来发展和创新创造的基础。

人工智能涉及的基础理论知识多,技术应用领域广,对人工智能专业学生来说,单从知识层面,既需要学习掌握深入的数学基础知识、计算机科学基础知识(包括程序设计基础)和深入的人工智能专业知识,还要学习相关领域的工程知识和一定的人文社会科学知识。利用本科四年的时间,学习和系统掌握这些理论知识和相关技术,并具备一定的实践能力和初步的创新能力,对本科生来说并不容易做到。这就需要结合学生实际,科学规划,因材施教,科学设置课程体系,创造良好的实验条件,实施有效的育人机制模式,不断推进教学改革等措施提高教学效果。在传授知识的同时注重科学思维训练,培养技能的同时注重人文教育,将思维能力、发现能力、实践能力、创新意

识与能力和人文素质培养贯穿整个教育过程,使学生无论是继续深造攻读硕士博士学位,还是走向工作岗位都能适应人工智能科学研究或技术应用对人才知识素质能力的要求,并能创造和拥有良好的职业发展空间。

2 人工智能专业本科人才培养课程体系设置

目前,国内外高校人工智能本科人才培养模式和课程体系设置呈现多元化,采取了不同的培养模式:一是在相关专业中开设人工智能课程,将人工智能知识融入各专业中;二是依托计算机优势学科,设立人工智能方向,这也体现了计算机科学作为人工智能学科的基础,可承担人工智能人才培养任务;三是成立人工智能本科专业,整合相关学术资源,成立人工智能学院(研究院),构筑全面的人工智能教育体系和课程体系。

2.1 国外高校人工智能专业课程体系设置情况

英国牛津大学未专门设置人工智能专业,而是在计算机科学相关的多个专业中开设人工智能课程。牛津大学计算机科学系目前所设置的计算机科学与哲学、数学、法律三个复合学位课程,均契合了高端人工智能人才多学科深度融合的培养需求^[15]。

美国在人工智能领域科学研究和人才培养方面居于世界领先地位,美国高校人工智能专业是在人工智能技术由实验室走向产业化阶段的过程中形成和发展起来,产业和技术发展是人工智能专业发展的直接驱动力。通过融合通识教育与专业教育,构建了以计算机学科为依托、以人工智能为核心、以多学科为支撑的课程体系^[16]。

麻省理工学院在电气工程与计算机科学系的所属专业中,均开设了相应的人工智能课程^[17],其目标是培养具有宽厚基础知识的计算机、电气工程与人工智能通用型人才。斯坦福大学在计算机科学专业的基础上设置了人工智能专业方向,开设了较多数量的人工智能方面的课程,在大学三年级学生可根据兴趣选择专业方向,所开设的人工智能课程包括人工智能原理与技术、人工智能方法、自然语言处理、视觉、机器人学、计算生物学、机器人与控制等^[18]。英美高校人工智能人才培养的做法也说明人工智能人才的培养模式和途

径是多元化的,不仅局限于人工智能专业。

卡内基梅隆大学计算机科学学院于2018年设置了人工智能本科专业,构建了多学科支撑的人工智能专业课程体系,包括数学与统计核心课程(57学分)、计算机科学核心课程(56学分)、人工智能核心课程(41学分)、专业拓展系列课程(39学分)、科学与工程课程(36学分)、人文与艺术(含认知)课程(63学分)、伦理课程(9学分)、计算机学院选修课(18学分)八个部分^[19],见图2。

卡内基梅隆大学人工智能专业依托计算机科学优势学科,培养未来人工智能领域的领导者和下一代创新者。专业课程体系设置充分体现多学科支撑、通专融合的思想理念,其突出的特点是通识教育与专业教育并重,在整个培养计划中科学与工程、人文与艺术及认知、伦理等通识课程占了相当大的比例,其学分约占总学分的27%,其次是数学类课程和计算机类课程占比也比较大,真正实现了学科知识的融合交叉。实现学科知识的交叉融合的基础在于雄厚的学科基础和高水平教师队伍支持,卡内基梅隆大学整合了全校23个系所近200名从事人工智能研究的师资^[16],同时吸纳人文与社会科学、艺术、信息系统与公共政策、商学、统计、生物、物理、机械工程、土木与环境工程等院系的师资与计算机、机器学习、人机交互、机器人等系所开展合作教学,真正实现多学科联合培养人才。

2.2 国内高校人工智能专业课程设置情况

国内高校选取西安交通大学、南京大学的人工智能本科专业课程体系进行分析探讨。西安交大人工智能专业培养目标是培养扎实掌握人工智能基础理论、基本方法、应用工程与技术,熟悉人工智能相关交叉学科知识,具备科学素养、实践能力、创新能力、系统思维能力、产业视角与国际视野,未来能成为国际一流工程师、科学家和企业家。人工智能专业学生的选拔也有严格的标准,要求数理基础扎实、能力突出、对人工智能兴趣浓厚,并实行动态管理机制^[20]。

西安交大人工智能本科专业课程主要由八个课程群组成:数学与统计课程群、科学与工程课程群、认知与神经科学课程群、人工智能工具与平台课程群、人工智能与社会课程群、先进机器人技术课程群、计算机科学与技术课程群和人工智能核心课程群^[20],专业课程设置如图3所示。

课程群	课程名称	必修/选修	课程群	课程名称	必修/选修
数学与统计 57学分	计算机科学数学基础 微分与积分 积分与近似 矩阵与线性变换 计算机科学概率论 现代回归	必修	专业拓展 39学分	认知和语言系列课程 搜索引擎 语音处理 计算感知 计算摄影 视觉传感器	在专业拓展两个系列中各选一门课程
	新生入门 命令计算原理 函数编程原理 并行与序列数据结构和算法 计算机系统导论 计算机科学重大理论	必修		人与机器交互系列课程 人工智能产品设计 以人为中心的软件开发 人类—机器人交互	
人工智能核心 41学分	人工智能基本概念 人工智能:表征与问题求解 机器学习导论	必修	人文、艺术 (含认知) 63学分	理解与强化 高级新生写作	选修 一门
	计算机视觉 自然语言处理	选修 一门		文学、艺术与社会写作 数据写作 公共问题写作	选修 两门
专业拓展 39学分	决策与机器人系列课程 神经计算 自治智能体 信任、公正与算法 认知机器人:机器人玩具之未来 机器人规划技术 移动机器人算法实验 机器人运动学与动力学	在专业拓展两个系列中各选一门课程	科学科学与工程 36学分	认知心理学 人类信息处理与人工智能 认知 视觉认知 语言与思想	选修 一门
	机器学习系列课程 深度学习与控制 中级深度学习 结构化数据的机器学习 基于文本与图形数据挖掘的机器学习 深度学习导论 数据分析高级方法			经济、政治与社会机构系列课程	选修 一门
			学院选修课 18学分	文化分析系列课程	选修 一门
			伦理 9学分	选修理学院或工学院课程四门	
			学院选修课 18学分	新生研讨:人工智能与人文 计算机中的伦理与政策问题 人工智能、社会与人性	选修 一门

图2 卡内基梅隆大学人工智能本科专业主要课程设置

Fig.2 Main courses of artificial intelligence undergraduate major of Carnegie Mellon University

课程群	课程名称	必修/选修	课程群	课程名称	必修/选修
数学与统计 31学分	工科数学分析 线性代数与解析几何 概率论与随机过程 计算机科学与人工智能的数学基础 复变函数与积分变换	必修	科学与工程 21学分	大学物理(含实验) 电子技术系统 数字信号处理 现代控制工程	必修
	博弈论 信息论	选修 二选一		认知与神经科学6学分	认知心理学基础 神经生物学与脑科学 计算神经工程
计算机科学技术11学分	计算机程序设计 数据结构与算法 计算机体系结构 理论计算机科学的重要思想	必修	先进机器人技术6学分	机器人学基础 多智能体与人机混合智能 认知机器人 仿生机器人	必修 选修 二选一
	3D计算机图形学 智能感知与移动计算	选修 二选一	人工智能与社会2学分	人工智能的哲学基础与伦理 人工智能的社会风险与法律	必修
人工智能核心18学分	人工智能的现代方法 自然语言处理 计算机视觉与模式识别 强化学习与自然计算	必修	人工智能工具与平台5学分	机器学习工具与平台 三维深度感知 人工智能芯片设计导论 无人驾驶平台	必修 选修 三选二
	人工智能的科学理解 游戏AI设计与开发 虚拟现实与增强现实	选修 三选一	专业综合性实验4学分	机器人导航技术 自主无人系统实验 虚拟现实与仿真实验 脑信号处理实验	必修

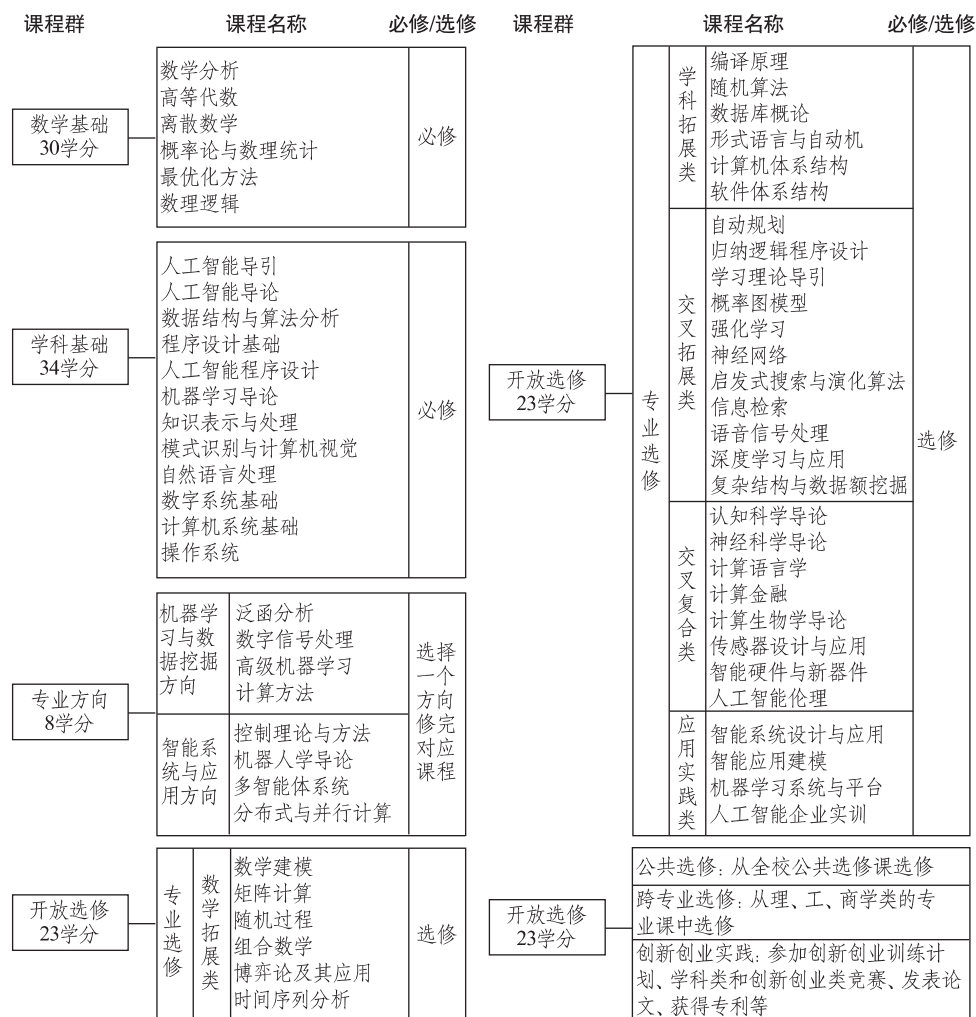
图3 西安交通大学人工智能本科专业主要课程设置

Fig.3 Main courses of artificial intelligence undergraduate major of Xi'an Jiaotong University

西安交大人工智能专业课程设置上,强调科学、技术、工程、人文社会科学之间交叉。其主要特点表现在:一是扎实的数学基础,在数学与统计课程群中,除了有关数学与统计的通识课程外,还设置了“计算机科学与人工智能的数学基础”“博弈论”和“信息论”等课程;二是扎实的人工智能理论基础和技术基础,涵盖了人工智能前沿理论和机器人技术;三是先进的人工智能工具与平台,强调工具与平台在人工智能发展的重要性,有利于培养学生应用人工智能技术开发工具和工程实践能力;四是学科交叉,设置了认知与神经科学、人工智能哲学基础与伦理、人工智能社会风险与

法律等相关的基础课程^[20]。

南京大学人工智能专业目标是培养人工智能基础研究、应用研究、运行维护等方面的专业研究与技术人才,使其掌握跨学科的自然科学基础知识,具有扎实的数学理论、计算机科学基础和人工智能专业基础,具有丰富的实践、动手能力,能自主发现问题、解决问题,在人工智能科学研究创新能力、应用创新能力和交叉领域融合创新能力方面具有特色^[21]。其专业课程体系主要由数学基础、学科基础、专业方向课程、专业选修课程组成,其专业课程设置如图 4 所示。



注: 开放选修课程包括专业选修、公共选修、跨专业选修及创新创业实践课程, 要求修满23学分。

图 4 南京大学人工智能本科专业主要课程设置

Fig.4 Main courses of artificial intelligence undergraduate major of Nanjing University

南京大学人工智能专业课程体系设置的显著特点包括: 一是强调深厚的数学基础, 将“数学分析”“高等代数”“最优化方法”和“数理逻辑”列

为必修课, 还设置了“矩阵计算”“随机过程”“组合数学”“数学建模”“时间序列分析”和“博弈论及其应用”等六门数学拓展课; 二是强调扎实的

人工智能科学基础,设置了“人工智能导论”“机器学习”“知识表示预处理”“模式识别与计算机视觉”“自然语言处理”和“人工智能程序设计”以及专业拓展系列选修课程;三是扎实的计算机科学基础,包括“数据结构与算法”“程序设计基础”“数字系统设计技术”“计算机系统基础”和“操作系统”以及计算机学科拓展系列选修课程;四是突出学科知识交叉,设置了“认知科学导论”“神经科学导论”“计算语言学”“计算金融”“计算生物学导论”“人工智能伦理”“传感器设计与应用”和“智能硬件与新器件”等具有特色的选修课程^[21]。

2.3 构建系统化、素质和能力导向、专通融合的人工智能专业课程体系

通过上面的分析看出,人工智能专业知识(包括技术)体系包括六个层面:一是专业基础知识层,包括数学、计算机科学基础、科学与工程基

础、认知科学与脑科学等;二是核心知识层,包括机器学习、知识表示与处理、认知智能与计算等;三是核心技术层,包括模式识别与计算机视觉、自然语言处理、语音信息处理、人机交互、多智能体系统、机器人学等;四是应用系统层,包括人工智能工具与系统平台、智能系统、机器人等;五是应用领域层,也称“人工智能+X”层,主要是跨学科与跨领域的相关知识,是人工智能与其他学科和领域交叉应用而产生的知识需求,这部分知识与人才培养的特色与学科方向领域有关;六是人文社科知识层,即人工智能职业所需要的人文社会科学知识。

在具体实施过程中,应根据学校定位/层次,确立培养目标定位,以此构建知识为基础、素质和能力为导向、专通融合的课程体系,夯实人才培养的基础。图5是技术研究型/工程应用型人工智能专业课程体系结构。



图5 技术研究型/工程应用型人工智能专业课程体系结构

Fig.5 Curriculum architecture of artificial intelligence based on technical research / engineering application

1) 打牢数学基础。对技术研究型和工程应用型人才的人才培养,设置“高等数学”“线性代数”“概率论与数理统计”“积分变换与复变函数”“人工智能数学基础”等必修课程,在数学拓展模块设置“最优化方法”“组合数学”“泛函分析”“博弈论”等选修课程,供不同基础和能力的同学选

修,以拓展学生数学视野,加强数学思维能力及数学应用能力培养。

2) 设置特色专业方向。根据学校学科优势,设置多个不同方向的模块供学生选择。设置智能系统与应用、智能感知与机器视觉、数据智能挖掘、自然语言处理与应用等专业方向,充分利用和

体现学校在人工智能相关学科的优势和特色。

3) 注重综合素质教育。根据学校学科基础和目标特色,设置跨学科课程体系,推动多学科思维和知识交叉融合。我校人工智能本科专业设置了心理学与认知科学、神经科学、生命科学、生物信息学、环境科学、社会学与哲学等跨学科选修课程模块,设置了“智能医学工程”“智能金融”“智能制造工程”等“人工智能+X”系列课程。通过跨专业课程之间的融合、多学科项目实践融合,培养学生综合素质。同时,还设置了“科学史与科学方法”“创新思维与创新方法”“科学与艺术”“艺术与美学”“社会发展史概论”“创业学”等思维方法系列选修课程。

4) 加强课程思政建设。将计算机伦理、人工智能伦理、创新与工匠精神、中华优秀传统文化、学术道德规范和家国情怀教育等内容,纳入教学。充分挖掘提炼专业知识体系中所蕴含的思想价值和精神内涵、思维方法,将其纳入教学;将学科相关领域的最新科研进展,提炼加工成教学案例纳入教学;将国家重大科技创新发展战略和政策,以及人工智能、电子信息产业发展新经验纳入教学;将教师科研课题、生产实际问题及社会需求新变化纳入教学。

3 人工智能专业人才培养模式研究与实践

3.1 深化体制机制改革,推动跨学科资源整合

1) 建立复合型教师队伍

实现多学科交叉融合,首先需要建立一支跨学科的复合型教师队伍。由于高校实行以院系为教学组织形式的管理体制,跨学科联合培养人才实施起来并非易事,其关键是打破内部行政条块藩篱,通过体制机制改革和制度创新,促进资源有效集聚,探索建立新型柔性教学组织形式。例如,通过建立适应学科融合的岗位考核、专业技术职务晋升、教学和科研绩效评价、共建公用共享科研平台等一系列人事制度改革与创新设计,促进教师跨院系联合进行教学和科研。许多高校成立人工智能学院(研究院)或产业学院,其作用就在

于此。

2) 教师学缘结构多元化

教师学缘结构多元化是实现跨学科融合、保证人工智能专业人才培养质量的关键条件。人工智能学科的教师最好毕业于计算机科学与技术、数学、信息与通信工程、控制科学与工程、生物医学工程、教育学、机械工程、管理科学与工程等学科,教师多元学缘结构为人工智能教育奠定基础。同时,人工智能专业授课教师和导师来自不同院系,既有来自智能科学系、计算机科学系、软件工程系、电子信息工程系的教师,也有来自教育科学学院从事心理与神经科学的教师、来自生命科学学院从事生物医学工程的教师,还有来自文学院从事语言资源处理的教师、来自商学院从事公共政策研究以及经济管理决策与分析的教师;同时也有来自企业的工程师担任产业导师。

4) 团队科研方向交叉融合

要推动学科交叉融合发展,仅仅依靠行政手段还不够,通过大项目引领,把来自不同学科的教师融合起来,开展大团队协作,是推动学科真正融合发展的有效途径。几年来,通过一系列体制机制改革和激励制度设计,推动和实现学科建设方向交叉融合,逐步凝练和形成了智能感知与模式识别、大数据智能化、信任与情感计算、生物医学智信息处理、海洋渔业信息处理、环境监测与控制、农业物联网与大数据、智能制造等多个科研团队和研究领域,通过大科学+大项目+大团队+大平台一体化建设,推动多学科走向融合,为人工智能专业学生培养提供多样化支撑,有效推动了不同学科知识、思维和方法的交叉融合,促进了本科生工程实践能力的培养。

3.2 搭建学生创新与创业实践平台

传统教学实践环节大多偏向于孤立设置,实践内容过度依附于理论教学,实践平台落后于技术发展,与实际应用存在较大差距,无法适应人工智能专业学生多学科综合思维和解决复杂问题能力培养的需要^[22],因此,建立系统化、多学科交叉、多知识点融合的多层次的综合实践平台系统和课程体系,详见图6。

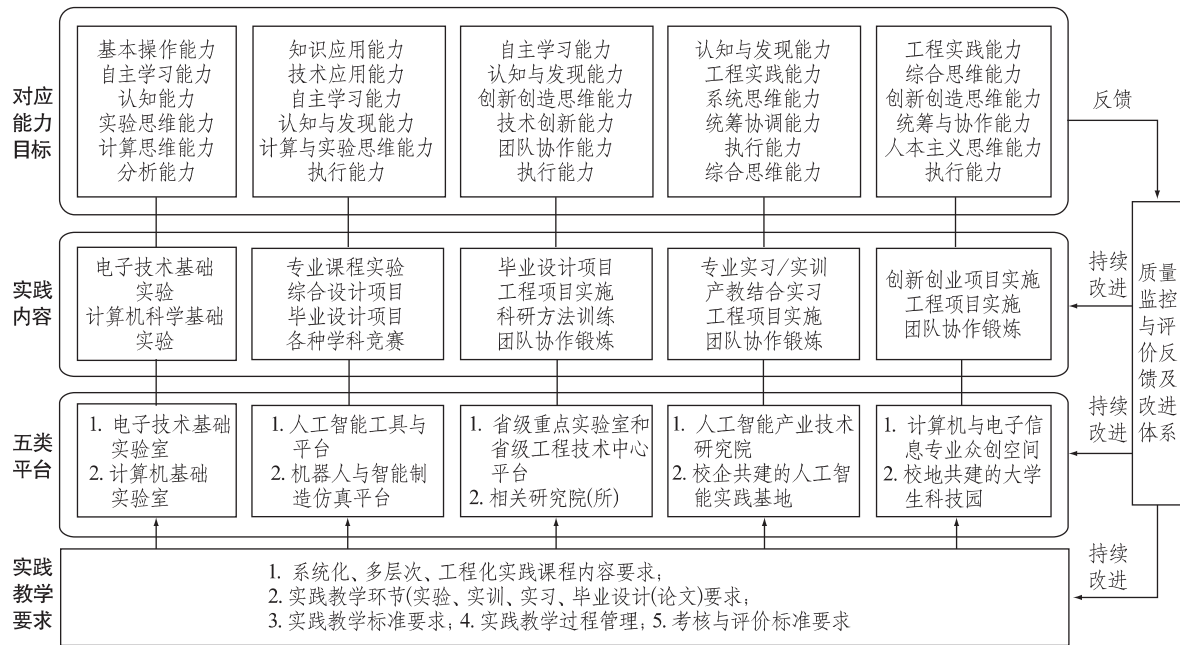


图6 技术研究型/工程应用型人工智能专业实践课程体系结构

Fig.6 Practical course architecture of technical research / engineering applied artificial intelligence specialty

1) 打造本科生实践能力训练平台

学校先后投入资金,建立了支持 PyTorch、TensorFlow、Caffe 等主流深度学习框架的人工智能+大数据综合实验实训平台,包括人工智能学习系统、大数据处理系统、虚拟仿真可视化系统三部分,同时集成海量数据资源、算法、可视化图形等,可实现大数据智能化分析与处理、计算机视觉与模式识别、自然语言处理等科学研究实验功能。另外,与智能制造产业学院联合建立了机器人与智能制造仿真平台,包括工业生产智能化规划、设计与研发,机器人系统、生产制造执行系统(MES)设计与研发,并提供生产管理、质量控制、产品追溯、生产调度等多功能集成应用,为学生工程实践能力培养奠定基础。

2) 打造本科生科研能力训练平台

以“山东省语言资源开发与应用重点实验室”“山东省高校信息物理融合与智能控制重点实验室”“山东省高校半导体器件与光电信息技术协同创新中心”等省级创新平台为主体,成立科技创新共同体,产学研开展学生联合培养。同时,制定激励机制和政策,鼓励和引导本科生加入创新平台、进课题组、进企业,开展科学研究与实践活动,经受科研实践和工程实践锻炼。

3.3 深化产学研合作协同育人

目前,制约地方高校教育发展和人才培养质量的主要因素是办学资源不足,例如,相当多的高校的人工智能方向创新力量以及人工智能实践与创新平台(系统)的层次和水平远落后于行业企业和科研机构,弥补这一不足的有效途径是实施产教融合、科教融合协同育人。这里要解决好产学研合作的两大基本动力:一是政府调控下引导外部需求的推动力;二是参与各方内在利益的驱动力。对政府而言,要发挥政策引导和激励作用,搭建产学研融合的平台;对高校而言,要融入所在城市发展,融入所在地区的行业企业,在为行业企业提供智力支持与服务的同时,吸引和利用社会研究机构、企业的资源来培养人工智能人才。

近年来,鲁东大学积极开展科教结合、产教融合协同育人模式创新与实践。一是依托学校“智能科学与大数据研究院”,联合当地高校和相关企业,成立集科学研究、技术研发、人才培养、成果转化、创新创业孵化的“人工智能产业技术研究院”,围绕人工智能基础理论、核心关键技术和应用场景拓展开展科学研究和技术研发,通过科研项目合作带动产学研协同育人;二是与当地电子信息、人工智能领域的企业共建16个学生校外创新实践基地,学校教师、产业导师共同参与人工智

能专业学生培养方案制定,承担学生科研实践和选题指导工作;三是专业教师、产业导师合作,将科学研究和生产应用中在大数据、物联网、人工智能等领域取得的科研成果反哺教学,将科研问题和实际问题提炼加工为复杂工程问题案例,培养学生认识和解决工程实践复杂问题的能力。

3.4 深化教育教学与评价改革

一是教学方式方法改革,通过研讨课、学术报告、创新竞赛、社会实践、产业岗位实践锻炼等一系列活动,激发学生学习积极性;二是创新学生评价改革,破除考核中的“唯分数”的单一评价标准,坚持过程性评价与终结性评价相结合,推行多种形式、多个阶段、多种类别、多种成绩评定方式的考核制度,将本科生社会和产业实践、教学实践、科研实践、服务社会等活动纳入教学过程,设置综合性实践学分,规定实践项目内容范围和标准要求,由导师团队成员和产业导师联合跟踪指导,综合评判。

4 结语

我国人工智能具有良好的基础和发展态势以及巨大的人才需求,人工智能及相关新工科专业建设任重道远。与其他新工科专业相比,人工智能学科的独特属性使人才培养具有更高的挑战度和更大的难度,需要从学科内涵和学科知识体系、培养目标定位和人才知识素质能力结构、课程体系与课程内容构建,以及多学科交叉复合的新型教师队伍建设、综合性实践平台建设和学生未来职业发展等方面把握好人工智能学科专业建设。通过深化体制机制改革和制度创新,推进校内跨学科资源整合和校外产学研资源联合,建设复合型多元化的新型教师队伍,构建系统化的、多学科支撑、专通融合的课程体系,搭建人工智能实践与创新平台,形成多学科融合和产学研协同育人机制与模式。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [EB/OL]. (2017-07-20) [2021-12-30]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [2] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发高等学校

人工智能创新行动计划的通知 [EB/OL]. (2018-04-03) [2021-12-30]. http://www.moe.gov.cn/srscsite/A16/s7062/201804/t20180410_332722.html.

- [3] 周志华. 创办一流大学人工智能教育的思考 [J]. 中国高等教育, 2018(9): 52-53.
- [4] 古天龙. 适应办学类型/层次的人工智能专业建设 [J]. 中国大学教学, 2020(10): 25-29.
- [5] 柳婵娟, 臧睦君, 邹海林. 论人工智能学科群与产业集群融合发展 [J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2020, 36(2): 125-129.
- [6] 陈·巴特尔, 苏明. 人工智能的学科定位与发展战略 [J]. 国家教育行政学院学报, 2019(8): 18-23.
- [7] 贾开. 人工智能与算法治理研究 [J]. 中国行政管理, 2019(1): 17-22.
- [8] 贾开, 薛澜. 人工智能伦理问题与安全风险治理的全球比较与中国实践 [J]. 公共管理评论, 2021, 3(1): 122-134.
- [9] 谭铁牛. 人工智能的历史、现状和未来 [J]. 智慧中国, 2019(2): 87-91.
- [10] 张钹, 朱军, 苏航. 迈向第三代人工智能 [J]. 中国科学. 信息科学, 2020, 50(9): 1281-1302.
- [11] 光明网. 2021 人工智能大会在京召开 [EB/OL]. (2021-10-26) [2022-01-03]. <https://m.gmw.cn/baijia/2021-10/26/35262694.html>.
- [12] 周雨昀, 王天恩, 王国豫, 等. 人工智能与人类未来的跨学科对话: 从“交叉”到“融合” [J]. 哲学分析, 2021, 12(5): 181-195.
- [13] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金委员会交叉科学高端学术论坛在京召开 [EB/OL]. (2020-11-29) [2022-01-05]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab434/info79282.htm>.
- [14] 马兆远. 人工智能之不能 [M]. 北京: 中信出版集团, 2020: 358-360.
- [15] 谷腾飞, 张端鸿. 英国高校人工智能人才培养模式研究: 以牛津大学为例 [J]. 中国高校科技, 2021(9): 51-56.
- [16] 林健, 郑丽娜. 美国人工智能专业发展分析及对新兴工科专业建设的启示 [J]. 高等工程教育研究, 2020(4): 20-33.
- [17] Massachusetts Institute of Technology. Department of Electrical Engineering and Computer Science. Program objectives and accreditation [EB/OL]. <http://www.eecs.mit.edu/academics-admissions/program-objectives>.
- [18] Stanford University. Computer Science Program [EB/OL]. <https://ughb.stanford.edu/degree-programs/major-programs/computer-science-program>.
- [19] Carnegie Mellon University. Undergraduate Catalog Ar-

- tificial-Intelligence [EB/OL]. <http://coursecatalog.web.cmu.edu/schools-colleges/schoolofcomputerscience/artificialintelligence/>
- [20] 郑南宁. 人工智能本科专业知识体系与课程设置 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2019: 3-9.
- [21] 南京大学人工智能学院. 南京大学人工智能本科专
业教育培养体系 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019: 6-10.
- [22] 周树森, 邹海林. 人工智能专业学生工程实践能力培养研究与实践 [J]. 计算机教育, 2020(10): 113-116.

Research and Practice on Collaborative Training of Artificial Intelligence Professionals

LIU Chanjuan¹, ZOU Hailin¹, WANG Zheng², ZHUANG Huijuan³,
ZANG Mujun¹, WANG Qingjun¹, ZHOU Shusen¹

(1.a. Institute of intelligent science and big data; b. School of information and electrical engineering, Ludong University, Yantai 264039, China;
2. School of artificial intelligence, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
3. School of international business, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: The uniqueness of multi-disciplinary intersection, integration, migration and penetration of artificial intelligence makes the cultivation of artificial intelligence talents more challenging than other engineering specialties. This paper analyzes and discusses the strategies, principles and modes of artificial intelligence talent training, and explores it in practice. And then, it puts forward that the construction of artificial intelligence discipline system should be grasped from the aspects of artificial intelligence discipline attribute, scientific connotation, discipline development, economic and social needs and the improvement of students' ability and quality, meanwhile, it should promote the integration of interdisciplinary resources through the structural reform of education, establish a new multi-disciplinary team of teachers, build a systematic, multi-disciplinary and integrated curriculum system, create an artificial intelligence practice and innovation platform, deeply implement the integration of industry and education and the integration of science and education, and truly realize the multi-disciplinary integration and collaborative education of industry, university and research.

Keywords: artificial intelligence; personnel training; specialty construction; curriculum system educational model

(责任编辑 李秀芳)