

引用格式：王素梅, 葛春雷, 张秋菊. 多主体协同：美国与德国关键新兴技术人才培养经验和启示. 中国科学院院刊, 2025, 40(2): 250-259, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20241014002.

Wang S M, Ge C L, Zhang Q J. Multi-agent collaboration: International experience and enlightenment of key emerging technology talent development in the United States and Germany. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(2): 250-259, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20241014002. (in Chinese)

# 多主体协同：美国与德国 关键新兴技术人才培养经验和启示

王素梅<sup>1</sup> 葛春雷<sup>1</sup> 张秋菊<sup>1,2\*</sup>

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

2 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049

**摘要** 党的二十大和二十届三中全会强调，教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑。多主体协同培养关键新兴技术人才是实现教育发展、科技创新和人才培养一体化推进的重要抓手。文章以量子信息、人工智能、生物技术关键新兴技术领域为例，总结美国 and 德国基于区域创新生态的多主体协同培养人才的经验，并提炼对我国在关键新兴技术领域多主体协同培养人才的启示和建议，以期实现我国关键新兴技术人才的高质量培养，推动教育、科技、人才融合发展。

**关键词** 关键新兴技术，多主体协同，国际经验

**DOI** 10.16418/j.issn.1000-3045.20241014002

**CSTR** 32128.14.CASbulletin.20241014002

关键新兴技术是国家高质量发展的重要引擎和驱动力，人才培养是关键新兴技术发展的核心支撑。党的二十大和二十届三中全会对教育、科技、人才进行统筹安排、一体部署，强调教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑，为我国关键新兴技术领域的人才培养指明了战略方向。在“科技是第一

生产力、人才是第一资源、创新是第一动力”发展理念的指导下，多主体协同培养关键新兴技术人才是深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略的重要抓手。当前，我国关键新兴技术人才主要依赖高校单一主体的培养模式尚存在一定局限性，如课程体系更新滞后、实践能力培养不足、产学研衔接

\*通信作者

资助项目：中国科学院学部咨询评议重点项目（2023ZW08A024）

修改稿收到日期：2025年1月26日

不畅等<sup>[1]</sup>，迫切需要构建更加多元化、动态化、协同化的人才培养模式，以满足关键新兴技术发展的人才需求。美国、德国基于区域创新生态系统的构建，采取多主体协同的人才培养模式，通过高校、企业、科研机构、政府等多方力量的互动合作，有效推动关键新兴技术的人才培养和技术创新。两国的经验对我国探索关键新兴技术人才的多主体协同培养路径、加速建立关键新兴技术人才储备具有重要参考价值。

## 1 关键新兴技术人才需要多主体协同培养

关键新兴技术具有创新性、复杂性和不确定性等特点<sup>[2]</sup>。2024年2月美国发布的《关键和新兴技术清单》<sup>①</sup>明确了量子信息和使能技术（以下简称“量子信息技术”）、人工智能、生物技术等领域的战略地位，其创新和发展需要资金、设备、算力、数据、实验环境等大量资源投入，以高校为主体的人才培养往往不具备相关资源或条件。量子信息技术研发需要精密的实验设备和工程技术支持，人工智能研发离不开高性能的计算平台和高质量的数据集，生物技术研发具有跨学科性、高投入和长周期等显著特点。这些关键新兴技术创新所需的核心资源目前主要集中于企业和科研机构，急需高校、企业、研究机构等多方主体协同培养关键新兴技术人才，以提高人才培养的效率和质量。

满足关键新兴技术发展的人才需求。通过高校、企业、科研机构和政府等多主体协同培养模式，有效整合各方资源，形成协同效应，为关键新兴技术的人才储备提供高效支撑。高校提供理论基础和学科知识，企业和科研机构提供实践机会和技术前沿，政府则通过政策引导和资金支持促进各方合作。多方协同的人才培养模式将显著提高人才培养的效率，缩短人

才成长周期，快速建立关键新兴技术发展的人才储备。

提升关键新兴技术人才培养质量。通过多主体协同培养模式，实现理论教学与实践应用的有效融合。高校与企业、科研机构合作，通过实习、项目合作、联合研究等途径，使学生在学习过程中接触到实际项目与问题，积累实践经验，提高实际应用能力。在多主体协同培养提供的跨学科跨领域的学习环境中，学生学习和实践多领域的知识和技能，从而成长为具备开阔视野和综合能力的复合型人才。

构建关键新兴技术人才持续成长机制。关键新兴技术的快速迭代要求学生及在职人员持续学习，及时更新知识和技能，而多主体协同培养可增强教育及培训对关键新兴技术的适配性。高校和科研机构根据最新的研究成果和技术发展，实时调整课程设置与研究焦点；企业依据市场动态和技术发展趋势，相应地修改培训方案与实习项目。政府通过政策制定和资金支持，促进高校、科研机构与企业之间的协同合作，实现关键新兴技术人才的持续成长和技能更新，构建一个支持人才持续成长的终身学习体系，从而形成动态、灵活且持续的人才成长机制。

## 2 基于区域创新生态的关键新兴技术多主体协同培养

在关键新兴技术领域人才的多主体协同培养中，政府、企业、高校、科研机构等主体紧密合作，优势互补，共同促进知识、技术、资金、人才等创新要素的流动和共享。区域创新生态强调创新资源的共享、创新要素的流动，以及创新成果的转化，以“邻近性”优势协调区域内的高校、科研机构和企业，打造差异化竞争格局，构建特色化区域创新生态系统<sup>[3-5]</sup>。

① White House Office of Science and Technology Policy Releases Updated Critical and Emerging Technologies List. (2024-02-12) [2024-08-02]. <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2024/02/12/white-house-office-of-science-and-technology-policy-releases-updated-critical-and-emerging-technologies-list/>.

区域创新生态系统通过优化资金配置、加强技术创新、提升人才培养质量，加速推动关键新兴技术的进步和发展，而资金支持、技术创新和人才培养是关键新兴技术的多主体协同培养中3个密切相关且相互作用的重要要素。① **资金支持**，为技术创新和人才培养提供了必需的财力保障；② **技术创新**，为人才培养提供了丰富的应用场景和前沿发展方向；③ **人才培养**，为技术创新注入源源不断的创新人才和智力支持。本文按照“成立基础—资金支持—技术创新—人才培养—（预期）成效”的分析框架，系统地分析美国、德国在量子信息技术、人工智能、生物技术领域的4个多主体协同培养实践典型案例的经验与成效，旨在为我国构建关键新兴技术人才培养体系提供有益的参考和启示。

### 3 美国关键新兴技术人才培养多主体协同实践

美国实行联邦制，联邦政府负责科技管理，州政府负责教育管理。联邦政府通过协调各部门的科技活动，制定科技政策、计划和预算，各州根据自身发展需求制定教育政策，推动科技与教育一体发展，为区域创新生态的构建和关键新兴技术人才的多主体协同培养奠定了制度基础。

#### 3.1 新墨西哥量子联盟

2018年美国发布《国家量子倡议法案》(National Quantum Initiative Act)，2023年11月，美国两党立法更新该法案，支持将原法案期限延长至2028财年。2022年4月1日，美国能源部的桑迪亚国家实验室和洛斯阿拉莫斯国家实验室与新墨西哥大学成立新墨西哥量子联盟(QNM-C)，桑迪亚国家实验室和新墨西哥

哥大学联合成立新墨西哥量子研究所(QNM-I)，目标是在共同致力于量子研发与人才培养，在新墨西哥州建立量子生态系统<sup>②</sup>。

**成立基础**。新墨西哥州是美国科技研发的重要地区，拥有桑迪亚国家实验室和洛斯阿拉莫斯国家实验室，这2个实验室在量子研究领域处于领先地位。

**资金支持**。2022年4月14日，新墨西哥州议会通过立法将2020年开始试点的技术成熟援助及税收抵免计划延长至2027年，与上述2个国家实验室合作的公司可在12个月内获得最高价值15万美元的技术援助，2023—2027年，每个国家实验室每年最多可获得100万美元的税收抵免<sup>③</sup>。2023年12月，新墨西哥大学量子光子学与量子技术(QPAQT)研究生项目获得美国国家科学基金会(NSF)300万美元资助。2024年，桑迪亚国家实验室获得1200万美元的联邦资助，以支持桑迪亚国家实验室和新墨西哥州大学建立合作实验室，与当地初创公司共享，并为社区大学的量子技术人员创建培训计划。

**技术创新和人才培养**。QNM-I将研究和教育活动联合在一起，为新墨西哥当地的量子经济创造机遇，培养量子技术方面的劳动力，并与先进机构开展合作。通过跨学科基金与量子信息科学研究基金资助化学与化学生物学、计算机科学、电气与计算机工程、数学与统计学、物理与天文学在内的跨学科量子科技研究与人才培养。

**预期成效**。QNM-C和QNM-I有效整合了新墨西哥州内的研究、教育和产业资源，将研究和教育活动联合起来，每年至少培养40名量子领域博士生，以推动量子技术研发和应用。

② Could quantum technology be New Mexico's next economic boon. (2022-04-01)[2024-08-02]. [https://newsreleases.sandia.gov/quantum\\_economy/](https://newsreleases.sandia.gov/quantum_economy/).

③ Cheers to five more years successful Sandia, Los Alamos tech maturation program extended into 2027. (2022-04-14)[2024-08-02]. [https://newsreleases.sandia.gov/trgr\\_extension/](https://newsreleases.sandia.gov/trgr_extension/).

### 3.2 威斯康星州生物健康技术中心

2023年3月，美国白宫公布了《美国生物技术和生物制造的明确目标》（*Bold Goals for U. S. Biotechnology and Biomanufacturing*）报告，设定了新的明确目标和优先事项，用以推进美国生物技术和生物制造的发展。2023年10月，威斯康星州生物健康技术中心（WBHTH）被美国商务部经济发展署选为全美31个技术中心之一。该中心由生物技术孵化器“麦迪逊前进生物实验室”领导，推进研发与教育活动协同，增强该地区扩大生产和交付关键技术的能力，推进精准和预测医学的生物技术发展。WBHTH由领军企业、学术和科研机构、经济发展团体，以及劳动力和职业发展组织等18个合作成员参与。

**成立基础。**威斯康星州拥有研究型大学、医学院、技术学院、威斯康星大学校友研究基金会（WARF）等创新资源。威斯康星州在个性化医疗的区域优势主要有：① **成像和诊疗**。威斯康星州是美国唯一的主要医疗成像设备的制造商GE医疗公司和放射治疗设备的制造商安科锐（Accuray）公司的所在地。② **基因组学**。精密科学（Exact Sciences）公司和因美纳（Illumina）公司分别是癌症诊断和基因组测序的领军企业。③ **大数据和数据分析**。威斯康星州拥有医疗数据公司Epic Systems公司、威斯康星大学麦迪逊分校和威斯康星医学院（MCW）等数据研究机构，以及微软公司即将建设的数据中心。

**资金支持。**2024年7月，WBHTH获得美国联邦政府4 900万美元资助、州政府750万美元资助和产业界2 400万美元投入承诺，通过加速生物医学创新，增加就业机会，加速新产品的应用落地。

**技术创新。**WBHTH将创新、制造业和劳动力发展倡议结合起来，通过“发明—建设—部署”的良性

循环，建立一个世界级的个性化医疗中心。

**人才培养。**“实现生物健康职业路径”（ABC Pathways）项目通过创建符合雇主需求的包容性人才渠道，如扩大认证项目、学徒制和技能培训，解决开发、扩大、建设和部署新技术的劳动力需求，以人才培养支撑行业的可持续增长。

**预期成效。**WBHTH将创造就业机会、促进经济增长、提高健康公平性和促进社会包容性。至2033年，预计将在医疗领域创造3万个新就业岗位，间接创造11.1万个就业机会，带动区域生产总值（区域GDP）增长90亿美元。

## 4 德国关键新兴技术人才培养多主体协同实践

德国实行联邦制，依据《德意志联邦共和国基本法》，科技事务由联邦政府和州政府共同管理，教育事权在州政府。联邦教育与研究部主管科技和教育。各州在科技与教育管理上拥有较大自主权，根据地方特色和优势制定并实施科研与创新资助计划，这种分权模式促进了区域创新生态系统的发展和关键新兴技术人才的多主体协同培养。

### 4.1 慕尼黑量子谷<sup>④</sup>

2016年5月，欧盟委员会发布《量子宣言》（*Quantum Manifesto*），呼吁欧盟成员国及欧盟委员会发起资助额达10亿欧元的量子技术旗舰计划。德国联邦政府自2018年启动《量子技术——从基础到市场》<sup>⑤</sup>研究计划之后，2019年开展了“量子增强网络”（The QuNET initiative）大型量子通信旗舰项目，2020年制定《量子计算路线图》（*Roadmap Quantencomputing*），2021年出台《量子系统议程2030》（*Agenda Quantensysteme 2030*）<sup>[6]</sup>。2021年1

④ MQV website. [2024-08-02]. <https://www.munich-quantum-valley.de/>.

⑤ 英国和德国大力推动量子技术研发. (2019-01-11)[2025-01-24]. [http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2019/kjqykb201901/201901/t20190111\\_5228057.html](http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2019/kjqykb201901/201901/t20190111_5228057.html).



月，德国巴伐利亚科学与人文学院、弗劳恩霍夫协会、马普学会、慕尼黑大学、慕尼黑技术大学和巴伐利亚州代表共同启动“慕尼黑量子谷”（Munich Quantum Valley, MQV）研究联盟计划；MQV研究联盟的创始成员包括慕尼黑大学、慕尼黑理工大学、埃尔朗根-纽伦堡大学、巴伐利亚科学院、德国航空航天中心、弗劳恩霍夫协会和马普学会。MQV以“注册协会”的法律形式进行管理，将大学和科研机构的研究能力进行整合，形成紧密的合作关系，以实现科研资源的高度集聚与协同。MQV旨在通过建立研究机构、工业界、孵化器、资助机构和公众之间紧密的网络链接量子科学与技术的研究、技术开发、研究生培养和教育活动，创建全球领先的量子技术工业化生态系统。

**成立基础。**MQV可利用慕尼黑地区及整个巴伐利亚州的高校和科研机构在量子科学领域数十年的经验；其中，马普量子光学研究所、马普光物理研究所、弗劳恩霍夫协会和德国航空航天中心分别在基础研究、量子计算软件与硬件集成、优化控制理论和量子算法领域具有深厚的研究基础。

**资金支持。**MQV作为巴伐利亚州量子科技发展的核心部署，获得了州政府3亿欧元的资金支持。此外，作为联邦“未来计划”（Zukunftsstrategie Forschung und Innovation）的一部分，MQV还获得了而德国联邦教育与研究部和联邦经济部8 000万欧元的资助。

**技术创新。**成立量子计算与技术中心（ZQQ），旨在开发能够解决传统超级计算机难以应对的复杂计算问题的量子计算机。同时，构建量子科技园区，该园区将配备先进的纳米与薄膜生产洁净室设施，以及现代化的研发和测试实验室，以促进量子科技的深入研究与产业化应用。弗劳恩霍夫微系统和固态技术研

究所和马普学会半导体实验室的新建工程和新基础设施将整合到科技园中。

**人才培养。**MQV通过巴伐利亚“量子科学与技术教育计划”“量子终身学习培训计划”、与弗劳恩霍夫认知系统研究所合作的定制研讨会，以及高中生教育项目，致力于培养全球量子技术和量子计算领域的科研人员、工程师、整合者和使用者。

**协同成效。**MQV推动研究到产业的高效知识转移，并辅以面向学校、大学和公司的教育项目，以及为巴伐利亚州量子技术初创企业提供定制化的创业支持，致力于建立一个具有国际影响力的网络，并努力推动巴伐利亚及其独特的量子生态系统成为全球量子技术的前沿。

#### 4.2 斯图加特-图宾根网络谷<sup>⑥</sup>

2014年，德国将人工智能提升到国家发展战略的高度，并采取了一系列措施加速该领域的发展，陆续发布了《新高科技战略——为德国而创新》《将技术带给人类——人机交互的研究项目》《联邦教育研发部关于创建“学习系统”平台的决定》等政策文件<sup>⑦</sup>。2016年，德国马普学会借鉴“硅谷”模式，在人工智能领域启动了“网络谷”（Cyber Valley）计划。该计划汇集了来自斯图加特和图宾根两个邻近城市的政府机构、学术界与工业界的12个合作伙伴，即马普智能系统研究所、巴登-符腾堡州政府、弗劳恩霍夫协会、斯图加特大学、图宾根大学，以及亚马逊、宝马、爱尔维、奔驰、保时捷、博世和采埃孚等公司，共同致力于人工智能领域的研发与人才培养。

**成立基础。**斯图加特-图宾根地区是欧洲最具创新性的地区之一，是著名大学、科研机构和公司的聚集地，在机器学习领域处于全球领先地位。

**资金支持。**网络谷由所有参与主体共同投资，第

<sup>⑥</sup> Cyber Valley website. [2024-08-02]. <https://www.cyber-valley.de/>.

<sup>⑦</sup> 徐四季. 德国人工智能发展战略述评. (2020-01-21)[2024-12-15]. [http://caes.cssn.cn/xjdt/202001/t20200121\\_5082265.shtml](http://caes.cssn.cn/xjdt/202001/t20200121_5082265.shtml).

一阶段投资金额 1.65 亿欧元；其中，州政府是最大资助者，投资额超过 1.6 亿欧元。产业合作主体在 2018—2022 年为马普智能系统研究所，以及斯图加特大学和图宾根大学的研究小组提供了 750 万欧元研究经费并资助 2 个教授席位。此外，网络谷还得到了 Christian Bürkert、Gips-Schüle、Vector、卡尔·蔡司等基金会的支持<sup>[7]</sup>。

**技术创新。**网络谷是欧洲在人工智能领域最大的研究联盟，研究范围涵盖机器学习、计算机视觉和机器人领域，如数值算法、智能软件、软体机器人（soft robots）。支持初创公司，创业网络包括超过 75 家位于巴登-符腾堡州的尖端人工智能和机器人技术初创公司。

**人才培养。**汇集马普智能系统研究所、图宾根大学和斯图加特大学相关研究力量，成立国际马普智能系统研究学院。该学院共有近 100 名教职工，研究方向集中在机器学习、机器人技术和计算机视觉等领域。

**协同成效。**国际马普智能系统研究学院已成功吸引了全球范围内逾 2 000 份申请，目前跨学科博士培养项目有约 220 名研究生参与。2016 年底网络谷成立以来，学术机构与私营企业之间的合作促进了德国西南部生态系统的发展，涵盖了斯图加特大学和图宾根大学在机器学习、机器人技术、虚拟与增强现实和计算机视觉等领域的多项研究和教育项目，推动学术与产业的融合，以及高素质人才的培养。

## 5 基于区域创新生态的多主体协同培养机制

基于区域创新生态的多主体协同培养机制实现了高校、科研机构和企业深度链接，加速了创新要素和资源的流动，从而促进关键新兴技术人才的高质量培养。

**多主体协同合作网络。**多主体协同培养高度依赖政府、高校、科研机构、企业等多方力量的紧密合

作。美国新墨西哥量子联盟和威斯康星州生物健康技术中心通过建立政府、高校、科研机构和企业之间的合作网络，推动了技术创新和人才培养的同步发展。类似地，德国慕尼黑量子谷和斯图加特-图宾根网络谷通过将政府、高校、科研机构和企业紧密结合，形成了一个高效的区域创新生态系统，实现了资源共享与创新要素的高效流通，为关键新兴技术的发展和人才培养提供了坚实的支持。

**跨学科协作和创新融合。**跨学科的协作是多主体协同培养的核心特征之一。美国新墨西哥量子联盟通过跨学科基金和量子信息科学研究基金资助量子信息技术的技术创新与人才培养，涉及化学、计算机科学、电气工程、数学、物理等多个学科。美国威斯康星州生物健康技术中心、德国慕尼黑量子谷和斯图加特-图宾根网络谷同样通过跨学科的协作，推动了生物技术、量子信息技术、人工智能的创新和进步。

**人才的多层次培养。**多主体协同培养强调建立一个立体化的人才培养体系，以满足不同层次和类型的人才需求。美国新墨西哥量子联盟、德国斯图加特-图宾根网络谷通过联合高校、科研机构和企业，共同培养量子技术领域的博士生和研究人员。美国威斯康星州生物健康技术中心的“ABC Pathways”计划通过技术培训、学徒制、职业认证等方式，培养适应精准医疗和生物健康领域的技术型人才。德国慕尼黑量子谷通过多样化的教育项目，培养全球领先的科研人员、工程师和技术专家，推动了科研与产业的紧密融合。

## 6 美国和德国关键新兴技术人才培养多主体协同模式的主要经验

美国和德国的典型案例表明构建区域创新生态系统作为促进多主体协同培养人才的有效途径，有力推动了关键新兴技术的发展。基于区域创新生态的多主体协同培养模式具有高度灵活性和适应性，能够更好地满足关键新兴技术人才需求。在此模式下，政府、

高校、科研机构与企业之间的深度协作与资源共享，为培养能够迅速适应并推动技术进步的高素质人才提供了有效支撑。美国 and 德国关键新兴技术人才多主体协同培养的经验主要包括中央与地方政府的引导、强大的科研资源与产业基础、稳定多元的资金支持、技术攻关与人才培养项目并行推进，政府、高校、科研机构、企业多元主体相互联动，形成合力，共同培养能够快速适应和推动技术进步的高水平人才，支撑关键新兴技术的持续发展（图1）。

（1）中央政策引导与地方政府的支持是多主体协同培养人才的重要基础。中央层面制定的科技和教育政策，为多主体协同培养提供政策激励。例如，美国联邦政府技术中心计划推动了威斯康星州生物健康技术中心的建设。地方政府在国家政策框架下，结合自身科技和产业基础<sup>[8,9]</sup>制定具体措施和计划，重视关键新兴技术与地区发展的深度融合<sup>[10]</sup>，协调区域内的高校、科研机构和企业，通过平台建设、项目合作等形式，推动人才的多主体协同培养。例如，美国新墨西哥州、德国慕尼黑和斯图加特-图宾根地区的地方政府

在创新政策和资源配置上发挥了关键作用，促进区域内各主体的紧密合作，进而推动人才的多主体协同培养。

（2）强大的科研资源和产业基础是多主体协同培养人才的重要条件。多主体协同培养充分激活现有的科技力量和产业资源，有效整合各方优势，通过创新增量来激发和优化现有存量，从而提升整体科技创新能力和产业竞争力。科研资源为多主体协同培养提供了知识和技术上的支持，产业基础为多主体协同培养人才提供所需资源与平台条件。德国慕尼黑量子谷依托于慕尼黑丰富的科研资源和强大的工业基础，美国新墨西哥量子联盟则以该地区的高科技企业和科研机构为基础，德国斯图加特-图宾根网络谷聚集了德国顶尖的大学和科研机构，而美国威斯康星州生物健康技术中心则建立在其强大的生物技术和医疗健康产业基础之上。

（3）稳定多元的资金支持是多主体协同培养人才的重要保障。政府资助、企业投资、风险资本、慈善捐赠等多种渠道的资金支持为技术创新活动与人才培养提供必要的财务保障。稳定多元的资金支持为多主体协同培养人才提供了重要保障和持续动力，美国 and 德国政府通过科研、教育基金和创新补贴，吸引相关主体协同参与人才培养。例如，德国斯图加特-图宾根网络谷通过与企业 and 投资机构的合作吸引风险投资和企业投资。

（4）技术创新与人才培养同步推进是多主体协同培养的重要策略。同步推进技术创新和人才培养，在高水平技术创新中实现高质量的多主体协同人才培养。通过技术创新培养人才的创新能力与实践技能，支撑新技术、新产品的研发，推动现有技术的升级迭代。通过教育项目，为技术创新持续输出高素质人才，这些人才成为技

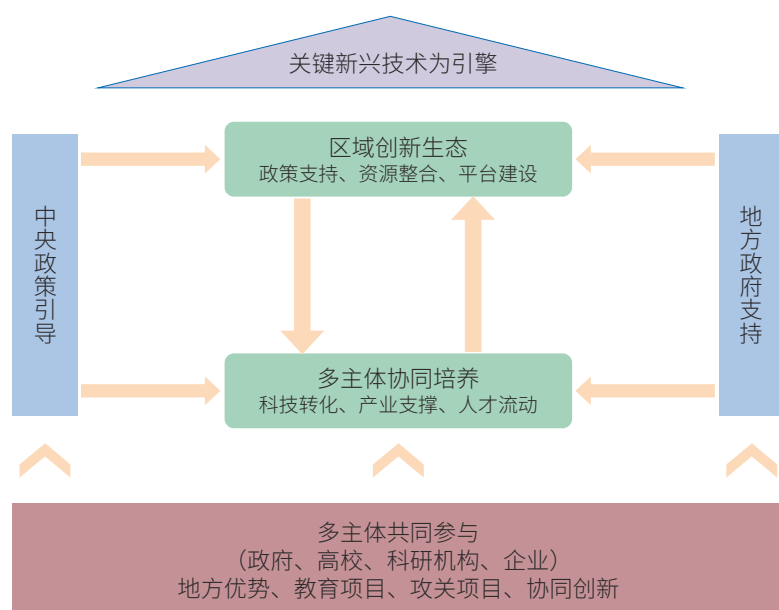


图1 人才的多主体协同培养模式

Figure 1 Diagram of multi-agent collaborative talent development model



术创新活动的核心力量，为技术创新提供了坚实的人才支撑和智力保障。美国新墨西哥量子联盟和威斯康星州生物健康技术中心、德国慕尼黑量子谷和斯图加特-图宾根网络谷均在积极推进技术创新的同时，重视教育项目的实施，提高了教育培训与产业需求的适配度，从而适应关键新兴技术的快速发展。

## 7 相关启示

量子信息技术、人工智能、生物技术等关键新兴技术发展迅速，不仅对特定领域的专业人才提出了更高要求，也需要培养具备跨学科、跨领域的复合型人才。传统以高校为主体的培养模式在知识更新速度、课程内容适应性及技术工具应用等方面存在一定的局限性，而多主体协同培养则强调多方合作，通过整合教育资源和创新教育方式，共同促进人才的全面发展，以更好地适应技术发展的需求。美国、德国的实践案例基于区域创新生态激活现有科技力量和产业基础等存量资源，激发增量动能，促进技术创新与人才培养的深度融合，有效推动关键新兴技术人才的高质量培养，对我国一体推进教育发展、科技创新、人才培养具有重要借鉴意义。

(1) 强化中央和地方政策引导和支持，构建推动多主体协同培养的区域创新生态。发挥中央政策引导和地方政府的“编排”作用，整合政府、高校、企业和科研机构的资源与力量，建立跨界合作的平台和机制。国家层面的科技创新政策、产业发展规划和财政补贴政策，为人才的多主体协同培养提供政策保障。地方政府在此基础上，利用地方科研资源和产业资源优势，精准定位和选择具有竞争优势的关键新兴技术领域，协调区域内的创新资源和力量，强化政府、企业、高校、科研机构之间的协同合作，实施人才培养项目，有效推动关键新兴技术人才的多主体协同培养，支撑相关技术和产业的发展。

(2) 同步推进人才培养和技术创新，建立技术和

人才的互动机制。建立动态的教育与培训体系，及时调整和更新课程内容，引入实践导向和项目导向的教学和实践模式，提高解决实际问题的能力。建立健全持续的职业培训和再教育体系，使在职人员能够不断更新知识和技能，以适应关键新兴技术的发展。建立高校、科研机构和企业之间的人才交流机制，定期举办跨学科的学术研讨会和论坛，组织联合技术攻关，为不同领域的专家学者提供交流与合作的平台。

(3) 构建跨学科跨领域的关键新兴人才培养体系，满足关键新兴技术的发展需求。通过建立跨学科协作网络，实施跨学科跨领域的人才培养项目，以及提供定制化教育和技术培训，确保人才培养与行业需求的有效对接，促进创新资源的流动与共享。完善多元化的评价体系，注重学生的创新能力、跨学科融合能力、实践应用能力和团队协作能力，采用项目评估、同行评审和实践操作等多种方式，全面系统地衡量学生的综合水平。

(4) 构建稳定持续、渠道多元的资金支持体系，确保人才培养和技术发展的可持续性。拓展资金来源，包括政府引导资金、企业投资、风险资本、科研基金和社会捐赠等多种渠道，充分整合多方资金资源，用好政府投资资金和社会资本，形成稳定多元的资金供应体系，保障技术创新与人才培养的持续发展。美国新墨西哥量子联盟和威斯康星州生物健康技术中心、德国慕尼黑量子谷和斯图加特-图宾根网络谷等国际实践案例资金来源广泛，呈现多样化特征，从而构建了稳健的资金支撑体系。

## 参考文献

- 1 周萌, 朱相丽. 新兴技术概念辨析及其识别方法研究进展. 情报理论与实践, 2019, 42(10): 162-169.  
Zhou M, Zhu X L. Discrimination of the concept of emerging technologies and research progress on its identification methods. Information Studies (Theory & Application), 2019, 42(10): 162-169. (in Chinese)



- 2 孙明源. 高校课程改革, 内容更新是根本. 科技日报, 2024-08-21(06).  
Sun M Y. In the reform of the curriculum of colleges and universities, content renewal is fundamental. Science and Technology Daily, 2024-08-21(06). (in Chinese)
- 3 杨博旭, 柳卸林, 吉晓慧. 区域创新生态系统: 知识基础与理论框架. 科技进步与对策, 2023, 40(13): 152-160.  
Yang B X, Liu X L, Ji X H. Regional innovation ecosystem: Knowledge base and theoretical framework. Science & Technology Progress and Policy, 2023, 40(13): 152-160. (in Chinese)
- 4 Robaczewska J, Vanhaverbeke W, Lorenz A. Applying open innovation strategies in the context of a regional innovation ecosystem: The case of Janssen Pharmaceuticals. Global Transitions, 2019, 1: 120-131.
- 5 杨博旭, 王玉荣, 李兴光. 多维邻近与合作创新. 科学学研究, 2019, 37(1): 154-164.  
Yang B X, Wang Y R, Li X G. The impact of multidimensional proximity on cooperative innovation. Studies in Science of Science, 2019, 37(1): 154-164. (in Chinese)
- 6 桂潇璐. 德国量子科技发展战略和趋势研究. 全球科技经济瞭望, 2024, 39(3): 1-6.  
Gui X L. Strategies and trends in the development of quantum technology in Germany. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2024, 39(3): 1-6. (in Chinese)
- 7 葛春雷, 裴瑞敏, 张秋菊. 德国科研机构协同创新组织模式研究. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 345-357.  
Ge C L, Pei R M, Zhang Q J. Collaborative innovation organizational modes of major scientific research institutes in Germany. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(2): 345-357. (in Chinese)
- 8 柳卸林, 常馨之, 董彩婷. 构建创新生态系统, 实现核心技术突破性创新——以IMEC在集成电路领域创新实践为例. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(9): 3-18.  
Liu X L, Chang X Z, Dong C T. Build an ecosystem, realize breakthrough innovation in core technology fields: Take IMEC's practice in the semiconductor field as an example. Science of Science and Management of S & T, 2021, 42(9): 3-18. (in Chinese)
- 9 秦庆, 汤书昆. 国外典型量子产学研联盟案例研究及对中国的启示. 世界科技研究与发展, 2023, 45(2): 243-253.  
Qin Q, Tang S K. Case study of typical foreign quantum industry-university-research institute alliance and its enlightenment to China. World Sci-Tech R&D, 2023, 45(2): 243-253. (in Chinese)
- 10 李万, 常静, 王敏杰, 等. 创新3.0与创新生态系统. 科学学研究, 2014, 32(12): 1761-1770.  
Li W, Chang J, Wang M J, et al. Innovation 3.0 and innovation ecosystem. Studies in Science of Science, 2014, 32(12): 1761-1770. (in Chinese)

# Multi-agent collaboration: International experience and enlightenment of key emerging technology talent development in the United States and Germany

WANG Sumei<sup>1</sup> GE Chunlei<sup>1</sup> ZHANG Qiuju<sup>1,2\*</sup>

(1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** The 20th National Congress of the Communist Party of China and the Third Plenary Session of the CPC Central Committee emphasized that education, science and technology, and talents are the foundational and strategic supports for Chinese-style modernization. Multi-agent collaborative talent development is an important starting point for realizing the organic combination of education development, scientific and technological innovation, and talent development through the joint participation of the government, enterprises, universities, scientific research institutions, and other parties to transform scientific and technological achievements into productivity. Taking the key emerging technology fields of quantum information, artificial intelligence, and biotechnology as examples, this study summarizes experiences of multi-agent collaborative talent development in the United States and Germany based on regional innovation ecology, and provides the enlightenment and suggestions for multi-agent talent development in key emerging technology fields in China, in order to promote the high-quality development of talents in key emerging fields in China and realize the integrated promotion of education, science and technology, and talents.

**Keywords** key emerging technology, multi-agent collaboration, international experience

**王素梅** 中国科学院科技战略咨询研究院副研究员。主要研究领域：科技创新、科技政策等。E-mail: wangsumei@casisd.cn

**WANG Sumei** Ph.D. in materials science and engineering, Associate Professor of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). Her research focuses on science and technology policy, information technology, etc. E-mail: wangsumei@casisd.cn

**张秋菊** 中国科学院科技战略咨询研究院研究员, 中国科学院大学公共政策与管理学院教授。主要研究领域：国际科技战略与政策研究、国际科技合作政策、国际科技人才政策等。E-mail: zhangqiuju@casisd.cn

**ZHANG Qiuju** Ph.D. in ecology, Professor of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Professor at School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences (UCAS). Her research focuses on international science and technology policy, international science and technology cooperation policy, international science and technology talent policy, etc. E-mail: zhangqiuju@casisd.cn

■责任编辑：岳凌生

\*Corresponding author