北京郵電大學
Beijing University of Posts and Telecommunications

AI 赋能集成电路教育数字化发展

白皮书（1.0 版）

北京邮电大学

二〇二四年七月

前　言

教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑。当前，人工智能（AI）将重塑教育范式已成为共识，教育领域正站在变革的十字路口，面临前所未有的挑战和机遇。集成电路是信息技术产业的核心，是汇聚卓越人才的高地，集成电路产业与数字教育、智慧教育的深度融合以及对数智化技术的深刻运用，成为推动产业升级和社会进步的重要趋势。

《AI 赋能集成电路教育数字化发展白皮书》包括以数字化开辟集成电路教育发展新赛道、以智能化破解集成电路人才培养新挑战、以集成化赋能集成电路智慧教育新范式、以国际化形成集成电路融合开放新格局四部分内容，分析了智能时代集成电路教育变革面临的新问题与新挑战，探讨了 AI 赋能集成电路教育数字化发展的作用与路径。

本白皮书由北京邮电大学集成电路学院联合教务处、研究生院、国家卓越工程师学院、叶培大创新创业学院、人工智能学院共同撰写。衷心感谢中国信息通信研究院、中国移动研究院、中国联通研究院、中国电信研究院、清华大学、北京大学、北京航空航天大学、北京理工大学等单位给予撰写工作的支持和帮助。诚挚邀请行业人士关注本白皮书，共同探索集成电路教育数字化转型与智能化演进方向，促进 AI 融入集成电路教育教学和人才培养过程，携手推动我国集成电路产业的高质量发展。

目　录

一、以数字化开辟集成电路教育发展新赛道 1

（一）建设教育强国，推进教育数字化是重要突破口 1
（二）拥抱智能时代，探索教育数字化“聚智强芯之举” 3
1、人才需求和课程体系高度匹配 4
2、教育平台的高度数字化和智能化 5
3、先进的“工程贯穿式”培养理念 5
（三）加快数字变革，引领集成电路教育高质量发展 6
1、加快数字化变革的必要性 6
2、加快数字化变革的创新要素 7

二、以智能化破解集成电路人才培养新挑战 11

（一）集成电路人才培养“四个特点” 12
1、集成电路人才缺口明显，人才结构失衡 13
2、集成电路人才培养体系不完整 14
3、集成电路人才培养难度大，瓶颈突出 15
4、集成电路产业发展迅速，技术迭代更新快 16
（二）集成电路人才培养“三个聚焦” 17
1、聚焦集成电路全生态链人才供给 17
2、聚焦集成电路卡脖子技术等急需刚需 18
3、聚焦产教融合人才培养机制创新 18
（三）集成电路人才培养“三个下功夫” 18
1、在“筑牢培养根基”上下功夫 18
2、在“构建培养格局”上下功夫 19
3、在“完善培养模式”上下功夫 20
（四）集成电路人才培养“四个举措” 20
1、智能教育推进人才培养新模式 20
2、加强师资队伍数智化教学水平建设 22
3、完善集成电路人才数智化培养机制 23
4、落实产教融合新思路 23

三、以集成化赋能集成电路智慧教育新范式 28

（一）AI 赋能的集成化创新平台建设策略 30
1、适合用于集成电路人才培养的人工智能大模型特性 30

2、AI 赋能平台与生态的建设 31
3、AI 赋能新平台下的学生创新模式 37
（二）理论知识的集成化重构 37
1、基于知识切片进行重构 38
2、利用虚实结合手段深化重构 40
3、开发线上微课和微实验助力重构 42
4、开展项目实践夯实重构效果 43
5、实现产学研相融合的绿色便捷通道 45
（三）实验体系的数智化集成 46
1、实验内容和方法的革新 47
2、教学资源的数智化集成 48
3、教学过程的智能化集成 49
4、数字孪生技术助力数智化集成 50
5、评价体系的系统集成与完善 52
（四）教学实施模式创新：“教-学-用”集成 53
1、集成电路教学内容的集成化 54
2、集成电路授课过程的集成化 55
3、集成电路师生互动的集成化 56
四、以国际化形成集成电路融合开放新格局 57
（一）技术创新国际化 58
1、集成电路产业技术创新国际化的背景 58
2、集成电路产业技术创新国际化的现状 59
3、集成电路产业技术创新国际化的影响 59
4、集成电路产业技术创新国际化面临的挑战 60
（二）产业链协同国际化 61
1、集成电路产业链协同国际化的重要性 61
2、集成电路产业链协同国际化的现状 62
3、集成电路产业链协同国际化的发展趋势 62
4、集成电路产业链协同国际化面临的挑战 63
（三）市场拓展国际化 64
1、集成电路产业市场拓展国际化的重要意义 64
2、集成电路产业市场拓展国际化面临的挑战 65
3、集成电路产业市场拓展国际化的发展趋势 67
（四）人才交流国际化 69
1、集成电路产业人才交流国际化的重要意义 69

2、集成电路产业人才交流国际化的现状 70
3、集成电路产业人才交流国际化面临的挑战 71
（五）政策支持国际化 72
1、集成电路产业政策支持国际化的重要性 72
2、集成电路产业国际经验借鉴 73
3、集成电路产业国内政策举措 74
4、集成电路产业政策支持国际化面临的挑战 75
五、未来展望 76
（一）教育技术与人才培养深度融合 76
（二）虚拟技术促进教育优质资源普惠共享 77
（三）智能技术赋能个性化教育新范式 79
（四）人工智能指引教育内容新方向 80

一、以数字化开辟集成电路教育发展新赛道

（一）建设教育强国，推进教育数字化是重要突破口

信息革命时代潮流加速向经济社会各领域广泛渗透，在全球网络与智能技术深入演进的大背景下，推进教育数字化成为普遍共识。各国纷纷将数字化作为创新教育、提升综合国力的重要途径，积极谋划教育数字化转型战略方案。如欧盟《数字教育行动计划（2021-2027）》、德国《数字教育倡议》，法国“教育数字领地”项目等，不断推动数字教育资源完善、教育设施改进、师生素养提升、教育理念升级。

党的二十届三中全会提出，教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑。必须深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略。要深化教育综合改革，深化科技体制改革，深化人才发展体制机制改革。教育数字化是办好人民满意的教育的应有之义，是抢占科技竞争和未来发展制高点的关键之举，是建设教育强国实现中国式现代化的重要先手棋。

2022 年全国教育工作会议上明确提出实施国家教育数字化战略行动，2023 年全国教育工作会议上进一步提出要纵深推进教育数字化战略行动。2024 年全国教育工作会议上提出要强化高等教育龙头作用。不断开辟教育数字化新赛道。坚持应用为王走集成化道路，以智能化赋能教育治理，拓展国际化新空间，引领教育变革创新。

2024 年世界数字教育大会上教育部部长怀进鹏强调，我国教育数字化战略行动要从“联结为先、内容为本、合作为要”的“3C”走向“集成化、智能化、国际化”的“3I”，并突出应用服务导向，扩大优质资源共享，推动教育变革创新。将中国数字教育打造为落实全球发展倡议、全球安全倡议、全球文明倡议的实践平台，为世界数字教育发展提供了有效选择，为教育数字化全局性变革指明了发展方向。

教育数字化不仅是教育领域的一场技术革命，更是实现教育公平、提高教育质量和推动教育创新的战略途径。数字化能力可打破时间和空间的限制及地域和经济条件的制约，让人人都获得优质教育资源。数字化手段使教学过程更加生动和互动，有助于激发学习兴趣和主动性。数字化技术可以实现个性化教学，制定专属学习方案，提升学习效果。数字化应用还为教育管理和评估提供科学的数据支持，促进教育决策的科学化和精准化。

顺应信息技术的发展，我国不断深化教育变革创新，将教育数字化视为开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口。近年来，我国教育数字化发展水平稳步提升，建设成效显著，开始进入高质量发展阶段，但面临从局部转型到全面转型乃至全局变革的新问题和新挑战。需要牢牢把握历史机遇，打造以学习者为中心，更加公平、更加包容、更加开放、更高质量、更有韧性的教育新生态，实现教育数字化跨越式发展，支撑引领教育强国和中国式现代化建设。

（二）拥抱智能时代，探索教育数字化“聚智强芯之举”

集成电路是国家战略重点领域之一，夯实人才培养的“四梁八柱”对产业发展具有重要意义。《国家集成电路产业发展推进纲要》明确提出加强集成电路领域的人才培养与引进，鼓励高校和科研机构设置相关专业和课程。“十四五”规划也特别指出要加大集成电路等关键领域的人才储备和培养力度。新型基础设施建设更是为集成电路人才培养提供了坚实的物质基础和广阔的发展空间。我国正加速培养一批高素质、创新型的集成电路专业人才，以满足产业升级和科技创新的紧迫需求。

探索教育数字化“聚智强芯之举”，是抓住智能时代 AI 红利发展高质量集成电路教育体系的关键所在。芯片技术迭代快、创新需求高、跨学科融合深，集成电路教育“产教脱节”“知识老化”“实践断层”等问题层出不穷。AI 带来全新机遇的同时，也引入了更大挑战。如何运用人工智能、大数据、云网络等新一代信息技术，先“聚智”再“强芯”，打造理论实践有机结合、教育教学资源丰富的集成电路教育体系，具有现实意义。

探索教育数字化“聚智强芯之举”，还是加快培养集成电路卓越拔尖创新人才的必然趋势。由于知识的传播方式和人际交往方式发生了变化，针对传统教育模式的不足，集成电路数字教育突出在人才培养过程中发挥数据这一新质生产要素的核心作用，强化智能技术运用在全面提升人才培养质量上的关键地位，成为实现学习革命、质量革命和高质量发展的战略选择。

如图 1 所示，与传统集成电路教育模式相比，教育数字化的“聚智强芯之举”具有以下特点：



图 1 教育数字化“聚智强芯之举”

1、人才需求和课程体系高度匹配

深入调研集成电路行业和教育需求，与产业内企业合作，分析当前技术发展趋势和行业对人才的具体需求。同时，评估高校在集成电路领域的教学现状和学生技能水平，确定教育改革的方向。通过这一步骤，明确当前集成电路人才培养的困境和痛点，确立数智化创新教育模式的目标和路线方案。精心设计课程体系和工程实践环节，弥合学生当前学情和产业人才需求的巨大鸿沟，深入评估集成电路人才实践能力培养的有效性和教育质量，持续优化课程内容、教学方法和实践项目，确保人才需求与课程体系高度匹配，不断提高人才培养的质量和效率。

2、教育平台的高度数字化和智能化

通过建立数字化教学资源平台，提供丰富的在线课程、电子教材、视频讲解、互动课件和虚拟实验。这种教学资源的数字化，打破时空界限，不仅使得学习内容更为灵活，还能确保教学内容及时更新，与最新技术同步。同时，平台利用大数据和人工智能技术，分析学生的学习数据，提供个性化的学习路径和建议。通过对学生学习进度、理解能力和兴趣点的分析，智能系统能够自动调整教学内容和难度，实现因材施教，提高学习效果。此外，虚拟仿真实验室通过虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，构建逼真的虚拟实验环境。学生可以在虚拟实验室中进行各种实验操作，反复练习，积累实践经验，提升动手能力和工程素养。这种虚拟实验不仅安全高效，还能弥补现实实验中设备和资源的不足。智能化教学管理系统也是该平台的重要组成部分。该系统可以自动安排课程、跟踪学生学习进度、评估学习效果，并提供实时反馈。与传统模式相比，数智化教育模式大大提高了教学管理的效率，优化了资源配置，使教学过程更加高效和有序。

3、先进的“工程贯穿式”培养理念

集成电路人才注重实践能力和工程经验的培养，这是目前高校教育最欠缺的。为解决这一问题，数智化教育模式引入“工程贯穿式”培养理念，以真实的产业工程项目为牵引，将原本分散的课程知识点串联成完整的课程体系，通过理论学习和项目实践提升教学质量。搭建全方位的校企合作框架和协同人才培养模式，

聘请企业专家担任课业导师，依托产业实际工程项目，建设产教融合工程师技术中心，推动校企资源双向流动，联合开展课程教学、实训实践、创新创业等多维度校企合作，充分整合、贯通集成电路创新实践育人资源，实现芯片设计、流片、封装和测试全产业链培养闭环，解决学生无流片经验这一“老大难”问题，打造高质量集成电路人才培养生态系统。

（三）加快数字变革，引领集成电路教育高质量发展

中国共产党第二十次全国代表大会首次明确提出，推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国。我们将深化实施教育数字化战略行动，一体推进资源数字化、管理智能化、成长个性化、学习社会化，让优质资源可复制、可传播、可分享，让大规模个性化教育成为可能，以教育数字化带动学习型社会、学习型大国建设迈出新步伐。

1、加快数字化变革的必要性

集成电路作为现代科技的核心，其发展对于各行业和经济的影响日益显著。通过数字化教育，可以更有效地培养和培训专业人才，适应快速变化的技术需求，增强实践能力，推动技术创新和产业发展。

其一，数字化教育平台可以提供更丰富和互动性更强的学习体验，包括虚拟实验室、在线仿真等方式，帮助学生更好地理解和应用集成电路的复杂概念和实际操作技能，从而提高教育质量和学习成效。

其二，数字技术能够打破传统教学固定时间和地点限制，为教学场景在时空上实现极大拓展，使得优质教育资源可以更广泛地传播和共享。有助于解决不同地域教育资源不均衡的问题，让更多学生平等获取到高质量的教育内容和学习机会。

其三，集成电路的设计和应用涉及多学科的综合知识和技能，包括电子工程、计算机、材料科学等。数字化教育可以通过跨学科的教学模式和项目合作，培养学生的综合能力和创新思维，提升其在技术领域的竞争力。

随着智能化技术的发展，芯片的重要性愈发凸显，集成电路在各个行业的应用越来越广泛。加快数字化教育的变革可以更快速地响应产业对技术人才的需求，使教育内容和质量更贴近实际产业需求，提升毕业生的就业竞争力。

2、加快数字化变革的创新要素

高校数字化改革和创新的新要素主要涵盖以下 6 个方面：

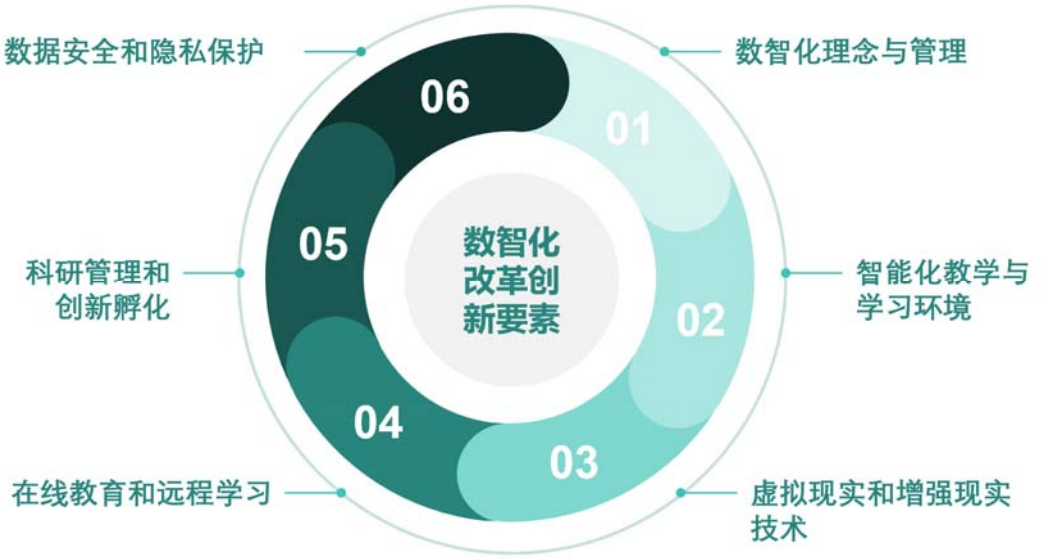


图 2 数智化改革创新要素

（1）数智化理念与管理

在高校中推广和实施数据驱动、智能化和技术创新的理念与实践，可以促进教育教学质量的提升和管理效率的改善。教育数智化是人类信息技术与教育教学深度融合的必然结果，对教育体系和教育者的理念、素养、能力、方式带来了变革，促使人们的思维认识、教育规划、教学方式、工作实践、教育文化等加速向数智化演进和深化，以数智化的认知和方式来解决教育教学问题。未来高等教育教学的数智化理念、环境、文化、导向等将成为高等教育现代化高质量发展的重要引领。高等教育数智化要坚持“以学生为中心”的育人理念，以数智化技术推动高等教育治理体系和治理能力现代化。

高校数智化政策涉及学校业务管理数智化、教学投入与活动、教师与学生等方面。高校数智化管理涉及智慧校园建设、教学过程支持与教学管理、人财物管理等方面。通过数智化技术对教育体系进行全面赋能，推进教育教学全方位全过程改革与教育管理业务流程再造，提升教育体系发展活力与学校治理服务能力，是高等教育数智化管理的基本目标。利用大数据和数据分析技术，从学生信息、教学数据、科研成果等多方面收集数据，并通过分析这些数据来优化学校管理和决策过程。

（2）智能化教学与学习环境

利用先进的信息技术和人工智能技术来改善和优化教学过程以及学习环境，可以提升教育教学效果和学生学习体验。智能

化教学系统可以根据学生的学习习惯、兴趣、学习历史和能力水平，提供个性化的学习路径和内容推荐，能够帮助学生更高效地学习，填补知识漏洞，强化已掌握的知识点。能够实时监测学生在学习过程中的表现，并及时提供反馈。

智能化系统能够自动收集、整理和分析学生的学习数据和表现。这些数据可以用于评估学生的学习成果和教学效果，为教师和学校提供定量和定性的教学评估依据。基于学生的学习历史和兴趣偏好，智能化系统可以推荐适合的学习资源，包括电子书籍、视频课程、在线练习等，帮助学生更有效地获取和消化知识。智能化教学环境可以改善教学管理流程，如课程安排、作业分发和批改、学生进度跟踪等。这些系统可以提高教师的工作效率，使其更多时间专注于教学内容的提升和个性化指导。

（3）虚拟现实和增强现实技术

在高校教育中，VR 和 AR 技术可以用于实验室模拟、实地考察、实践创新等方面，丰富学习体验并提升教学效果。例如，通过 VR 技术模拟实验室操作，让学生在安全环境下进行实验。教师可以利用智能化工具设计和调整课程内容和教学方法。例如，智能教学系统可以分析学生的学习表现，为教师提供关于学生学习进展和需要帮助的信息，帮助教师更好地调整教学策略。利用 VR、AR、视频会议等技术，实现更生动、更互动的教学体验。学生可以通过虚拟实验室进行实验操作，或者通过远程视频会议参与跨地域的互动学习活动。

（4）在线教育和远程学习

在线教育和远程学习是利用互联网以及通信技术，通过电子设备进行教学和学习活动的方式，在全球范围内的教育可及性和灵活性方面发挥了重要作用。突破时空地域限制，学生可以根据自己的时间和地点选择课程，随时随地获得优质教育资源，例如来自世界各地名校的在线课程、专业领域的教育内容等。从学生的学习进度和兴趣出发推荐个性化的学习内容和课程，提供定制化的学习路径和学习支持。支持丰富的互动功能，包括各类实时讨论、在线小组项目等活动，促进学生之间的合作和交流。学习方式不仅限于视频课程，还包括模拟实验、虚拟实境学习、在线测验等多种形式，丰富了学习体验。

（5）科研管理和创新孵化

高校科研管理和创新孵化是现代大学不可或缺的重要组成部分。科研管理旨在推动科技成果的产出、转化和应用以及促进创新和创业精神的培养。涉及到对学术研究活动的规划、组织、协调和监督，其目的是提高科研成果的质量和影响力，加强科研资源的有效利用，推动学术研究的进展和成果的转化。创新孵化可以将学术研究成果转化为实际应用和商业化产品，支持学生和教职员工的创新创业活动，在培养创新人才、促进科研成果转化和推动经济发展方面发挥着重要作用。通过科研管理的有效组织和创新孵化的系统支持，高校能够更好地发挥科研优势，促进创新成果的社会应用和经济效益的实现。

（6）数据安全和隐私保护

高校在推进数智化改革时，在管理和使用大量教育数据时面临着多方面的挑战和责任，需要重视数据安全和隐私保护问题，需要建立健全数据管理政策和安全保障措施，确保学生和教职员工的信息安全。高校需要建立健全网络安全体系，包括防火墙、入侵检测系统、安全监控等设施，保护校内网络免受恶意攻击和黑客入侵。对于重要数据和敏感信息，高校应采用加密技术，确保数据在传输和存储过程中的安全性。同时，建立完善的数据备份机制，以防数据丢失或损坏。设立严格的数据访问权限，根据用户角色和需要进行授权管理，避免未授权人员访问和使用敏感数据。在数据安全和隐私保护方面需要建立起系统的管理体系和技术保障措施，通过综合的措施保护师生及其他相关人员的数据安全和隐私权利，以确保教育信息化进程的顺利进行，同时保障学校社区的安全和稳定。

二、以智能化破解集成电路人才培养新挑战

当前国际局势正在发生深刻而复杂的变化，半导体科技面临愈演愈烈的脱钩、扼制、断供等挑战，“卡脖子”技术背后凸显的是集成电路人才供给严重不足的现实问题。集成电路作为多学科交叉融合的典型技术门类，要实现高水平科技自立自强不仅需要重视核心技术创新，更要关注人才体系化供给。站在教育、科技与人才“三位一体”统筹发展的战略高度，思考如何在产业前沿培养并保持一支真正能打硬仗的人才队伍已迫在眉睫。

（一）集成电路人才培养“四个特点”

集成电路（Integrated Circuit，简称 IC）是一种微型电子器件或部件，它通过特定的工艺将一个电路中所需的晶体管、电阻、电容和电感等元件以及它们之间的布线互连，集成在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上，然后封装在一个管壳内，形成具有所需电路功能的微型结构。这种集成方式极大地缩小了电路的体积，降低了功耗，提高了可靠性和性能。5G/6G 通信、人工智能、物联网、汽车电子、消费电子等领域的快速发展推动了对高性能、低功耗集成电路的需求。

国内集成电路设计业显示出较强的发展活力，但同时也面临着国际竞争和技术挑战。为了应对技术瓶颈，中国正在加大投入进行基础研究和前沿技术开发，特别是在先进制程技术、封装测试技术、电子设计自动化（EDA）工具、知识产权核（IP）等方面。中国在高端芯片制造和关键设备、材料上仍然依赖进口，这是产业链中的薄弱环节。

当前，新发展格局下如何加快集成电路人才供给侧改革，满足我国集成电路产业全面突破带来的人才“质”与“量”的迫切需求，是教育界、产业界共同面临的紧迫问题。综合高等工程教育改革实践以及产业发展实需，我们发现集成电路产业人才培养有四个显著特点：

第一是“缺”。集成电路产业缺高端工程人才，缺优秀师资（尤其缺既有学术背景、又有产业经验的优秀导师），缺工程实

践，也缺创新创业环境氛围。第二是“难”。集成电路产业的技术门槛高、产业投资大，导致学术畏难情绪也相对较高。第三是“杂”。集成电路产业细分领域繁多，这对产业的岗位目标能力提出了更加多元化要求。最后是“散”。集成电路产业作为多学科交叉产业，需要更多既有理论深度、又有事业广度的跨学科人才。比如，设计行业需要懂数学、算法；制造行业需要懂物理；材料行业需要懂化学，等等。上述特点使得集成电路人才培养存在如下问题挑战，探索新型数智化产教融合育人体系的必要性愈发凸显。

1、集成电路人才缺口明显，人才结构失衡

集成电路人才培养受到中央和有关部委的重视，2020 年国务院正式发布《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策》，专门强调了新时期集成电路发展的人才建设问题。《教育部等七部门关于加强集成电路人才培养的意见》聚焦我国集成电路行业人才培育机制体制和人才培育质量两方面内容。人才短缺是中国集成电路产业面临的主要挑战之一。根据中国半导体行业协会预测，到 2024 年行业人才总规模将达到 79 万人左右，但依然有 23 万人左右的人才缺口。人才缺口不仅体现在数量上，而且在人才的层次和分布上也有不均衡的现象。虽然中国集成电路人才数量已经达到美国的两倍，但在高端研发和管理岗位上的人才仍然相对稀缺。缺口主要存在于设计、制造、封装测试、设备和材料等各个环节，尤其是高端芯片设计和制造技术方面的人才最为紧缺。

“集成电路科学与工程”一级学科的设立就是要构建支撑集成电路产业高速发展的创新人才培养体系，从数量和质量上培养满足产业发展急需的人才。总体上看，我国集成电路行业正处于人才需求旺盛期，从业人才短缺问题一定时期内仍将存在。

同时，半导体科学技术是多学科交叉融合的领域，涉及大量的隐性知识、技术经验和行业技术诀窍，而这些关键知识载体是产业内的各类技术人才。集成电路专业人才内涵应该包含3个层次：基础人才、创新人才和领军人才。基础人才指的是行业内掌握基本技能和隐形经验，从事基础流程的人才；创新人才指的是掌握大量的隐性知识和行业技术诀窍，能够推动产业渐进式创新的专业型或复合型人才；领军人才则指的是能够实现集成电路前沿技术“从0到1”的突破、引领产业跨越式发展的关键人才，包含重大源头创新、原始理论创新、重大工艺路径创新等。调研发现，目前我国集成电路人才体系结构性失衡的问题主要体现在两方面：一是缺乏具有行业经验的复合型创新人才，二是严重缺乏国际视野的产业领军人才。在半导体领域创新人才、领军人才等高层次人才的可持续发展和管理方面，尚有不少优化空间。

2、集成电路人才培养体系不完整

集成电路人才培养是确保一个国家或地区能够在半导体行业保持竞争力的关键因素，集成电路作为典型的交叉领域需要更多跨学科人才。目前我国在集成电路人才培养方面有三种方式，第一是高等教育，许多大学设有集成电路、微电子、电子工程、

计算机科学等相关专业，提供本科到博士的教育，着重于培养高水平的科研人才。第二是职业教育，一些职业技术学院等职业学校提供了更侧重于实践技能的集成电路相关课程，旨在培养应用型人才。第三是终身学习与培训，行业内的继续教育和专业培训对于技术人员更新知识、掌握最新技术至关重要。虽然这三种形式的人才培养已经基本建立，但不同层级教育体系与市场需求之间依然存在脱节现象，难以高效融合构建起完备全产业链条人才培养体系。

3、集成电路人才培养难度大，瓶颈突出

“集成电路科学与工程”作为“交叉学科”门类下首先获批的一级学科，其知识面覆盖了通信工程、计算机科学、信息工程、物理学、数学、化学、自动化、机械、电子学、材料学、集成电路设计制造等大部分理工科目和大量前沿发展领域，知识庞杂、跨度大且脉络性不强。这种交叉学科的特性导致人才培养方案制定困难，对学生而言，学习强度大、难度高，极易出现难以适从的情况。

目前我国高校培养芯片人才的实训环境缺乏，掌握国际前沿理论和技术并具备实战能力的师资资源稀缺，由于集成电路产业所涉及的工具和实践设备昂贵，院校相关软硬件设备较为落后且数量不足，而企业能够提供用于教学的资源较少，学生实操机会有限，特别是很多学生在校期间根本就没有经历过集成电路流片等实操训练，很难满足企业对集成电路人才发展的实际要求。

产教融合和科教融汇“双融”创新存在着瓶颈制约。一方面，国际竞争日趋激烈，卡脖子问题凸显，集成电路企业转型升级，企业对人才渴求比以往任何时候都更为强烈。另一方面，集成电路科学与工程作为新兴专业，与知识框架基本稳定的传统学科不同，由于颠覆性技术近年来的不断涌现，这些技术显示出对传统方案的替代潜力，需要被纳入专业知识体系中，也对人才培养提出了新的要求。

4、集成电路产业发展迅速，技术迭代更新快

集成电路产业在全球范围内是一个高度竞争和技术密集型的行业，它对于现代信息技术的发展至关重要。随着科技发展的不断深入，集成电路产业发展的速度也在不断加快。戈登·摩尔在1965 年提出，集成电路上可容纳的晶体管数目约每隔 18-24 个月便会增加一倍，性能也将提升一倍。虽然近年来这一速度有所放缓，但技术进步仍然显著。在工艺制程上，现代集成电路的制造已经进入到了纳米级精度，例如 5 纳米、3 纳米甚至更小的制程节点，这使得芯片可以集成更多的功能，同时降低功耗和成本。每一次节点的变化都带来相关产业的迅速变化。在封装方面，先进封装技术如系统级封装、扇出型封装等，使得多个芯片可以在更小的空间内集成，增强性能并简化设计。为了克服平面微缩的物理极限，3D 堆叠技术开始应用，通过垂直堆叠多层电路来提高芯片密度和性能。在材料体系方面给，除了传统的硅材料，研

究人员正在探索碳纳米管、石墨烯等新材料以及神经形态计算、量子计算等新架构，以期突破现有技术瓶颈。

我国政府出台了一系列政策和规划来促进集成电路产业的发展，包括《国务院关于进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》和《国家集成电路产业发展推进纲要》等。在政府的大力扶持下，中国的集成电路产业近年来经历了快速增长。在产业链布局方面取得了很大进展，包括芯片设计、制造、封装测试、设备和材料等领域。集成电路技术的不断进步不仅推动了电子产品的创新，也深刻影响了经济、社会和文化等多个方面，是推动现代社会发展的关键技术力量。随着 5G/6G 通信、自动驾驶、可穿戴设备、医疗健康监测等新兴应用的兴起，集成电路产业还将持续快速迭代，为人类带来更多的便利和可能性。

（二）集成电路人才培养“三个聚焦”

1、聚焦集成电路全生态链人才供给

实现教科产要素从背靠背“整合”到手挽手“联合”。现阶段面向芯片设计、制造、封装、测试以及 EDA 工具等多个领域，全生态链的人才培养供给非常关键，既懂设计应用又懂装备工艺的产线人才需求更为迫切，需要政府、产业、高校“三箭齐发”，加快组织机制创新，深入推进产学合作。例如，深入推进包括政府主导的就业创业体系、产业主导的实操实训体系、高校主导的导师课程体系等全方位育人要素的共建共享，切实将“行业多主体”打造为“事业共同体”。

2、聚焦集成电路卡脖子技术等急需刚需

实现从应试“破题”到主动式“破局”。需要充分认识“企业是创新的主体”这一论述的深刻内涵，把解决产业发展问题作为工程人才培养的最高追求。发挥学校知识育人、企业实践育人“双优势”，推动人才选拔关口、工程实践关口“双前移”，让工程人才在真实产业环境的大平台中锤炼真本领，在激烈市场竞争的真场景中解决真问题。

3、聚焦产教融合人才培养机制创新

实现从“铆接”式合作到“焊接”式合作。一方面，要在“人”上谋创新。探索“旋转门”机制，打造更加灵活的校内教师和企业专家的互聘模式，打造高质量“双导师”队伍。另一方面，要在“评”上谋创新。优化入口评价，不拘一格选拔培养好苗子；改革出口评价，探索培养成效考核新办法。同时，还要在“管”上谋创新。这方面，我们要善于从国家卓越工程师学院建设上找经验，那就是校企联合人才培养要依托校企联合管理实体来组织运行，为打通校企人才培养壁垒提供坚实组织保障。

（三）集成电路人才培养“三个下功夫”

1、在“筑牢培养根基”上下功夫

筑牢培养的根基是集成电路产业人才培养的重要保障。充分考虑集成电路学科的特点和知识体系，学校探索问题导向下的知识体系重组和交叉实践下的学科体系重构，保障集成电路学科相关学科的平衡发展，提升弱势学科，强化优势学科，并打造特色学科，

高校根据学校的特色和优势，凝练集成电路人才培养方向。并打造以优势学科，赋能新兴战略性交叉学科共同发展的学科体系，形成战略服务型学科生态。在师资队伍建设上，研究方向布局上，需要立足人才培养的需求，构建交叉研究领域。在人才培养层次上，探索本硕贯通、本硕博贯通，并提升和完善集成电路人才学段贯通式培养能力。通过学科布局，平台建设，资源整合，培养模式更行等，形成坚实牢固的集成电路人才培养根基，助力集成电路高质量人才培养。

2、在“构建培养格局”上下功夫

构建一个全面且高效的培养格局是确保集成电路人才培养体系能够满足社会发展需求的关键。集成电路作为一个高度复杂的领域，其设计、制造、测试及应用涉及到多个学科的交叉与融合，集成电路技术已经不再局限于单一的电子工程领域，而是与物理、化学、材料科学、计算机科学、数学、生物学等众多学科交织在一起，形成了广泛的交叉学科研究与应用。集成电路人才培养是跨学科、跨行业的合作，理工科院校具有独特的多学科优势，同时与行业结合紧密的天然优势。培养集成电路人才，需要多学科，多学院共同打造人才培养方案，校企合作，构建精准对接行业产业各环节、服务集成电路领域多层次、覆盖工科人才培养全过程的卓越工程师培养格局，与行业领军企业、国家实验室等开展联合人才培养，推动教育链、人才链与产业链、创新链深度融合。

3、在“完善培养模式”上下功夫

完善人才培养模式是提升教育质量和适应社会发展需求的关键。集成电路作为一门实践型的学科，集成电路人才培养的模式需要不断探索更新，在 AI 赋能下将工程实践要素融入人才培养方案，形成“理论能力-实践能力-创新能力”进阶式提升的卓越工程师培养模式。通过成立企业与学校共建课程，共建专业，共建平台等模式，学校与企业形成人才培养团队，团队共商、项目共谋、导师共聘和人才共育等多少形式，加强产教融合。将服务产业需求作为育人“选题”，依托人才培养的教学平台，以及专业领域的科研平台，在有组织科研实践中开展“实网、实采、实操、实战、实检”的集成电路产业人才培养。

（四）集成电路人才培养“四个举措”

1、智能教育推进人才培养新模式

人才培养的智能化是指利用数字技术和互联网平台来改革和优化教育和培训体系，以适应数字经济时代的需求。数字化转型在人才培养上的应用可以体现在以下几个方面：

（1）在线学习平台

在线学习平台是利用互联网技术提供教育和培训服务的数字平台，这些平台使得学习者能够在任何时间、任何地点通过电脑、平板或智能手机访问教育资源。利用 MOOCs（大型开放在线课程）、虚拟教室、在线研讨会和网络研讨会等，使学习者可以随时随地访问教育资源。个性化学习路径，通过 AI 算法推荐

适合每个学习者能力水平和兴趣的内容。在线学习平台的兴起改变了传统教育模式，为终身学习和全球知识共享创造了新的机遇。社交媒体和在线论坛促进学员之间的互动和知识共享，云协作工具支持团队项目和远程协作，使得学习更灵活化。

（2）模拟与虚拟现实

集成电路应用性实战性要求高，尤其在集成电路制造上需要对硬件进行较大投入，实验成本高昂。并且学生在产线实习面临操作经验不足的问题。模拟可以基于物理模型、数学模型或者是两者结合，通过模拟可有效分析实际操作的各项性能。虚拟现实技术利用计算机生成的三维环境，让学生感觉已置身在一个虚拟世界中可以提供安全、沉浸式的实践体验，为集成电路行业人才培养提供逼真的技能培训环境。

（3）数据分析与学习效果评估

通过对学生学习过程中相关数据的收集、整理和分析，学校可以更准确地评估学生的学习效果，并采取相应的措施进行教学改进和个性化指导，从而提高学生的学习效果和成绩。建立一个数字化的管理平台可以及时收集人才培养的数据，分析学习行为和进度，为优化教学方法和内容提供有力支撑。在大数据和人工智能辅助的基础上，可以对学生的学习过程、作业、作品等自动评价和反馈，提供全天候学习支持和解答疑问，根据学习者的进度和表现动态调整难度和内容。利用人工智能，可以提升评价的准确性和客观性，提升教师工作效率，促进教学改进。

（4）移动学习和持续教育

随着现在移动通讯的发展，通过智能手机和平板电脑等移动设备，可以提供随身携带的学习体验，便于碎片化学习。所配置的应用软件，能够整合学习资料和活动，方便随时访问和复习。在线认证课程和微证书，允许在职人员更新技能而不中断职业生涯，专业发展平台，提供集成电路行业特定的课程和职业发展路径。移动学习让集成电路人才培养更趋于灵活化和持续化。

2、加强师资队伍数智化教学水平建设

随着集成电路教育数字化发展需求，兼具芯片专业知识以及丰富数字教学技能的师资队伍还比较欠缺，师资队伍数智化教学水平建设有待加强。推动集成电路教育数字化转型是一个系统的复杂的长期工程，并不仅仅是简单的将数字技术应用于集成电路教育教学，而是实现技术与教育、技术与教学的深度融合，需要从多个不同方面入手，包括提升教师的数字化素养、建设数字化教学资源、创新教学模式、完善培训机制以及构建良好的数字化教学环境等。

数字化教学资源可以包括但不限于文本、图像、音频、视频、动画、虚拟实验室、在线课程、模拟软件、数据库和互动学习工具等。集成电路产业发展迅速，教学的内容需要跟上快速变化的技术趋势，培养出的人才技能与企业实际需求相符。需要教育部门、学校、企业、教师、学生等共同努力和持续投入，使得数字化教育资源更加丰富和多样化。

3、完善集成电路人才数智化培养机制

通过集成电路人才培养数智化机制的建设，可以提高集成电路人才的培养效果和就业质量。

（1）增设数智化课程：在原有课程基础上，增设大数据、人工智能、云计算、物联网等数智化相关课程，提升学生的数智化素养和技能。

（2）构建跨学科课程体系：打破学科壁垒，构建跨学科课程体系，将电子工程、计算机科学、数学等多个学科的知识有机融合，培养学生的综合能力和创新思维。

（3）加强学生的创新意识和创新能力培养：鼓励学生参加各种科技竞赛和创新项目，培养学生的创新精神和实践能力。实施本硕博贯通制培养模式，超常规加快培养能够胜任中国式现代化建设的集成电路领域拔尖创新和领军人才。

4、落实产教融合新思路

当前，科技革命和产业变革正以前所未有的速度推进。5G/6G、人工智能、大数据等先进技术与教育的深度融合，正加速推动教育变革和创新。党的二十大报告提出“推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”的战略目标。随着国家教育数字化战略行动的实施，智能技术驱动教育变革正成为多方关注的焦点。产教融合通过解决人才供需矛盾、提升教学质量与实践平台能力、促进技术创新与产业升级以及完善政策支持等方面可以推动集成电路数智化培养模式的改革。

集成电路产业对人才的需求持续增长，而当前高校培养的集成电路专业人才数量远不能满足产业需求，存在巨大的人才缺口。产教融合通过校企合作，能够精准对接产业需求，培养符合企业需求的数智化人才。根据《中国集成电路产业人才发展报告》等权威报告，集成电路产业的人才需求在未来几年将持续增长，而高校的培养能力有限，产教融合成为缓解这一矛盾的重要途径。

集成电路产业具有技术复杂、工程实践要求高等特点，仅靠高校自身的教学资源难以满足学生的实践需求。产教融合通过引入企业资源，如先进设备、真实项目等，能够为学生提供更丰富的实践教学资源。校企共建的生产性实训基地，可以让学生在真实环境中进行项目实践，提升实践能力和技术水平。高校教师与企业工程师的交流与合作，形成双师型教师团队，能够为学生提供更加全面、深入的教学指导。

产教融合推动了高校、科研机构与企业的深度合作，形成了产学研协同创新体系。这一体系能够加速科技成果的转化和应用，推动集成电路产业的技术创新和产业升级。校企共同开展技术研发、项目攻关等活动，不仅提升了企业的技术实力和市场竞争力，也为高校师生提供了宝贵的实践机会和创新平台。

集成电路产业技术迭代更新快，对人才培养提出了更高要求。产教融合通过引入最新的技术成果和行业动态，确保人才培养与产业发展同步进行。同时，企业工程师的参与也能够为高校师生提供最新的技术指导和经验分享。

国家发改委等六部门印发的《国家产教融合建设试点实施方案》等文件明确提出了在集成电路等战略性新兴产业中深入推进产教融合的要求。明确了深化产教融合，促进教育链、人才链与产业链、创新链有机衔接的战略性举措。提出通过 5 年左右的努力，试点布局 50 个左右产教融合型城市，打造一批区域特色鲜明的产教融合型行业，建设培育 1 万家以上的产教融合型企业。强调要发挥城市承载、行业聚合、企业主体作用，在完善发展规划和资源布局、推进人才培养改革、降低制度性交易成本、创新重大平台载体建设、探索发展体制机制创新等方面先行先试

2021 年 9 月，习近平总书记在中央人才工作会议上的重要讲话中强调，“要培养大批卓越工程师，努力建设一支爱党报国、敬业奉献、具有突出技术创新能力、善于解决复杂工程问题的工程师队伍”。2022 年 3 月，中组部等九部委启动工程硕博士培养改革专项试点工作，推动工程硕博士培养模式改革。2022 年 8 月，为落实中央人才工作会议精神，教育部和国务院国资委联合正式启动国家卓越工程师学院试点建设。通过实施工程硕博士培养试点工作，大力推进产学研深度融合，提过卓越工程人才培养质量。

智能化在人才培养中的应用不仅提高了集成电路人才教育的效率和灵活性，还促进了全球化视角下的知识共享和文化交流。然而，集成电路人才培养的数字化转型也面临着一系列挑战，这些挑战涉及教育体系、企业需求、技术基础设施以及人才本身的学习方式和接受度。

（1）基础设施建设和完善

数字化教育基础设施的建设不完善是一个普遍存在于许多地区的挑战，尤其是在发展中地区或经济欠发达的区域更为明显，这通常会限制教育的可及性、质量和效率，影响到教育公平和教育现代化的进程。技术设施和平台如果不足以支撑高质量的数字化教育，比如网络带宽、云计算资源、虚拟实验室等，也会影响数字化教育的进程。在网络方面，缺乏可靠的高速互联网连接会阻碍在线教学资源的访问和远程教育的实施，学生和教师可能无法实时参与在线课程或协作项目，计算机、平板电脑或其他智能设备的短缺，使得学生难以获得必要的工具进行数字化学习，缺乏多媒体教室和实验室，限制了教育内容的丰富性和教学方法的多样性，频繁的停电会影响电子设备的使用，导致学习中断和数据丢失。为了实现集成电路教学的数字化转型，需要对现有的硬件设施进行改进和完善。

（2）专项资金设立和投入

实施集成电路数字化转型需要大量资金和资源，包括软硬件升级、师资培训和实验课程开发等，这对于许多单位来说都是一大负担。硬件设备，如集成电路各类专门实验设备、服务器、网络设备、终端设备（电脑、移动设备）等，软件系统，包括操作系统、数据库、应用程序、分析工具和安全软件等，云服务费用，如存储、计算能力和协作软件等。网络升级，包括宽带接入、数据中心、网络安全设施等。移动设备管理和物联网（IoT）设备的

部署。具有数字化教学能力的师资培训和再教育，数字化转型后办公业务流程以适应数字化操作，需要实施新的工作流管理系统，以提高效率和协作。数字化教学资源的建设，比如教学课件，实验案例等。缺乏足够的财政支持会限制教育机构在数字化基础设施上的投入，影响师资培训、内容开发和维护升级等方面。

（3）教育理念和组织方法的革新

数字化转型通常伴随着组织结构和教学理念和教学方法的变革，同时需要组织结构的协同变化，这种变化可能会引起的抵触情绪，增加转型难度。目前部分学校和企业内部的组织结构可能难以适应数字化转型的需求，包括决策流程、资源配置和团队协作等方面，高等教育机构需要更新教育理念和教学方法，以适应数字化时代的需求，但这需要时间和努力，学校也需要根据教学理念和方法改革，制定相关的数字化教育政策和长期规划，如果资源分配不当和项目执行效率低下会影响数字化转型进程。

（4）数据安全和隐私问题

集成电路专业人才是我国的重要宝藏，保护这些人才的信息安全是非常重要的，不完善的网络安全措施可能会暴露学生和教师的个人信息，增加数据泄露的风险。虽然现在在数据安全和隐私方面已经采取了一些技术措施，比如加密技术，身份验证与授权，防火墙与入侵检测系统的部署，定期备份数据以防数据丢失或遭到破坏，定期的安全审计，确保遵守相关法律法规，定期对师生进行网络安全意识培训等。

总之，集成电路人才培养数字化转型是势在必行，但是所面临的挑战也很多，为了解决这些问题，政府、教育机构和企业需要通力合作，采取综合性的策略来改进和扩展数字化教育基础设施，更新和建设集成电路人才培养方案，课程大纲，教学资源、采用新的教学方法、加强师资队伍建设、建立产学研合作机制、优化组织结构和文化、加大技术和资金投入，鼓励集成电路企业员工的进行个人成长和职业发展规划。通过这些措施，可以逐步克服集成电路产业数字化拔尖创新人才培养的障碍，加速数字化转型的进程。

三、以集成化赋能集成电路智慧教育新范式

2024 年，教育部部长怀进鹏在世界数字教育大会上所作的《携手推动数字教育应用、共享与创新》主题演讲中，通过“集成化、智能化、国际化”这 3I 指明了中国国家教育数字化战略行动的未来发展方向。

其中，“集成化”在教育数字化战略中的含义，是指将教育的各个环节、各个要素、各个资源进行有机整合，形成一个统一、协同、高效的数字化教育生态系统。

具体来说，集成化包括以下几个方面——（1）系统集成：将不同的教育信息系统（如学生管理系统、教务管理系统、资源管理系统等）进行整合，实现数据共享、业务协同，提高管理效率。（2）资源集成：将分散的教育资源（如教材、课件、视频、数据等）进行整合，建立统一的资源库，方便教师和学生随时随地获

取和利用。（3）技术集成：将不同的教育技术（如大数据、人工智能、虚拟现实等）进行整合，实现教育教学的智能化、个性化。（4）应用集成：将不同的教育应用（如在线学习、移动学习、智慧校园等）进行整合，构建一个无缝衔接的学习环境。

集成化的目标包括以下几个方面——（1）打破信息孤岛：实现教育数据的互联互通，促进教育资源的共享。（2）提升教育效率：简化教育管理流程，提高教育服务质量。（3）促进教育创新：催生新的教育模式和教学方法。（4）扩大教育公平：让更多的学生享受到优质教育资源。

教育数字化是一个系统工程，只有将各个环节、各个要素、各个资源进行有机整合，才能发挥出数字化技术的最大效能，实现教育现代化。总结来说，“集成化”就是把教育数字化建设从分散走向统一，从割裂走向融合，从而构建一个更加完善、高效、智能的教育生态系统。

晶上集成电路实践教学平台（简称“晶上”平台）是一个典型的实践实训体系的重要组成部分，是“集成化”在集成电路教育数字化的具体实践。“晶上”平台以智能通信特色的一流集成电路人才培养为目标，致力于打造国内高校首个可提供晶圆级工艺能力的智慧开放式、集成化实践教学平台，推动课程入口、服务中台、工艺基座“三位一体”集成化建设，实现集成电路工程教育惟真惟实实践育人要求，支撑通信、电子、计算机、人工智能等相关学科协同发展，提供产教融合创新支撑。

“晶上”平台将链接课程云入口和工艺线基座，以芯片实践实训为中心，根据用户定制化需求，集成从设计、制造到测试全过程教学的资源切片管理与服务，实现芯片定义实验、需求定义工艺，在产出个人专属芯片成果的同时，具备面向人才培养需求形成系列微实验、素材库、作业试题、测试报告等教育教学成果的能力。

（一）AI 赋能的集成化创新平台建设策略

1、适合用于集成电路人才培养的人工智能大模型特性

（1）强大的自然语言处理能力：人工智能大模型能够理解和生成自然语言文本，这对于集成电路领域的知识传授、问题解答和文档编写等方面具有重要意义。

（2）多模态处理能力（如 GPT-4）：GPT-4 等最新模型支持多模态输入和输出，包括文本、图像、视频等。在集成电路人才培养中，这可以用于解析复杂的电路图、芯片结构图等，帮助学生更好地理解和掌握知识。

（3）逻辑推理和问题解决能力：GPT 模型通过大量的数据训练，具备了一定的逻辑推理和问题解决能力。在集成电路设计中，这可以用于辅助进行电路设计优化、版图设计优化等问题。

（4）持续学习和适应性：GPT 模型具有持续学习的能力，可以随着新数据的加入而不断提升性能。在集成电路领域快速发展的背景下，这一特性尤为重要。

2、AI 赋能平台与生态的建设

集成电路技术人才培养模式正朝着数字化、智能化的方向不断演进。如何抓住这一历史机遇，培养出行业亟需的高素质创新人才，已成为摆在集成电路学科建设面前的重要命题。借助信息技术推动大学教学改革时，需进行整体规划，加强顶层设计，从课程体系、培养范式和教师人才队伍建设等方面进行综合研究。

构建集成电路学科的数智化创新教育平台和生态，需要从以下几个关键层面进行系统推进：

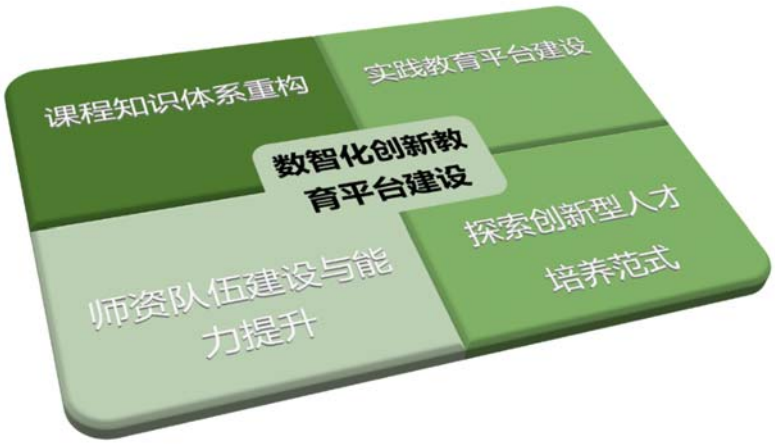


图 3 数智化创新教育平台建设策略

（1）紧跟领域前沿、利用大模型进行课程知识体系重构

传统集成电路课程往往注重基础理论知识，与产业实际需求存在一定脱节。例如当下先进集成电路技术节点已演进到 3 纳米及以下，而一般教材讲授的 CMOS 器件依以平面器件结构为主（即 22 纳米技术节点之前的工艺），对先进节点下各种量子效应涉及很少。而在数智化发展趋势下亟需对现有课程体系进行全面梳理和优化调整，增强其针对性和前瞻性。

以大语言模型和生成式人工智能为代表的人工智能技术正在引领新一轮教育变革，人工智能专业知识图谱构建、知识图谱与大模型双驱动的自适应学习方法可以用于探索“人工智能+高等教育”的人才培养、教育教学新模式，推动前沿人工智能技术在高等教育垂直领域的深度融合与应用，提升高等教育人才培养质量和教育教学水平。

人工智能大模型可以作为知识库，存储并检索集成电路领域的专业知识、最新研究成果、技术标准等。利用大模型可以在全面梳理核心知识领域知识图谱的基础上，梳理课间知识图谱，形成专业知识图谱，从而构建起人工智能知识体系的整体视图。学生可以通过与 GPT 模型的交互，快速获取所需信息，解决在学习过程中遇到的问题。例如学生可以向 GPT 模型提问关于某个特定集成电路的设计原理、制造工艺或性能参数等问题，模型将基于其训练的数据和知识库，给出详细解答内容以及相关可参考的文献资料。

人工智能大模型可以生成个性化的学习计划和教学材料，根据学生的兴趣、能力和学习进度，提供定制化的学习资源。在教学过程中，教师可以利用 GPT 模型来辅助讲解复杂的概念和原理，通过模型生成的图表、动画和实例，帮助学生更好地理解和掌握知识。学生还可以通过与 GPT 模型的互动练习，巩固所学知识，提高学习效果。例如，通过模型进行电路设计的模拟实验，让学生在虚拟环境中进行实践操作，提高动手能力。

人工智能大模型可以为高校师生提供智能化实践案例，支持学员在培训老师和助教的监督和指导下，通过与大模型对话完成特定的集成电路教学科研和实验实践等任务，以提升师生学员的大模型数字素养，使其充分感受和理解大模型的能力边界（包括“幻觉”等内生缺陷），熟练掌握使用大模型开展教学科研工作的方法。

（2）加强实践教学平台建设

理论知识的传授固然重要，但单纯依赖课堂讲授已经难以满足集成电路学科数智化发展的需要。建设集成电路全流程的工艺/设计/制造仿真实验平台，是提升实践教学水平的关键一步。

平台应覆盖集成电路设计、制造、测试等各个环节，为学生提供沉浸式的虚拟实践体验。通过设计仿真、工艺模拟、故障分析等丰富多样的实验训练，学生能够深入了解集成电路产品的全生命周期，培养其解决实际问题的能力。同时可以支持远程实时实验，进一步拓展集成电路实践教学的时空边界。

人工智能大模型结合先进的仿真技术，可以模拟集成电路的设计、测试和优化过程。学生可以在不接触实际硬件的情况下，通过模型进行电路设计、仿真验证和性能评估。例如，在数字电路设计中，学生可以利用 GPT 模型进行逻辑门电路的搭建、时序分析和故障排查等任务。通过模型的仿真功能，学生可以直观地看到电路的运行状态和输出结果，从而加深对电路原理和设计方法的理解。

（3）师资队伍建设与能力提升

教师是实施数智化教学改革的关键主体。加强师资队伍的信息化教学能力培养至关重要。教师教学能力数字化转型不是简单的提升技术应用能力，而是需要具备数字技术融入教学的意识、素养、能力等。

首先要建立针对教师的系统培训机制，帮助他们大数据分析和智能诊断等新技术在教学中的应用方法，提升教学信息化水平。同时，鼓励教师与行业专家开展深度合作，增强对前沿技术发展态势的洞见，确保教学内容与实际需求保持同步。

其次，还应构建教学工作坊等，促进优秀教学经验的传承与创新。在这里，资深教师做好对青年教师的“传、帮、带”、分享教学经验、共同研究符合学生特点的教学方法。通过这种方式，可以逐步培养一支专业技能过硬、教学水平领先的师资队伍。

此外，要建立校企双导师组考核评价体系，以非学科化的、强调工程能力的新标准来评价导师，扭转工科教师理科化、纯学术化、脱离工程实践、唯论文倾向，组建工程实践能力强的校企导师团队。

（4）探索创新型人才培养范式

学科数智化改革的核心目标，就是培养出一批既精通理论知识、又擅长实践创新的集成电路新型人才。要实现这一目标，需要在人才培养模式上进行深入探索与创新。

构建“卓越工程师”、“集成电路科学家”等特色培养方案，系统培养学生的动手实践能力和创新思维。在教学过程中，要注重培养学生的跨学科知识融合能力，挖掘他们的创新潜力。同时，还要加强产学研协同育人机制，为学生提供更多实习实践和创新创业的机会。

利用智能化、虚拟现实等手段，推动以学生为中心的教育。为每个学生建立个性化的学习画像，根据他们的特点优势开发个性化的学习路径，力争做到“因材施教”，实现教育教学的个性化、智能化，培养出更加出色的创新型人才。

数智人才培养需要厚植“数智土壤”，涵育“数智生态”。应积极推动数智技术赋能集成电路学科的教育教学全过程，通过建设智慧教室与云课堂、虚拟全流程仿真平台等推动数智教学空间创新；通过开设数智训练营、主+辅/微专业等推动教学模式创新，构建紧跟产业前沿的动态集成电路知识图谱、数智化课程建设等推动教学资源迭代更新；针对国家集成电路部署的宏观战略要求，高校应以“校企联合”和“教研融合”的方式，共同支撑课程群及教学案例库的建设；畅通“产学研”合作，强化“育才方”与“用才方”的对接，开展联合培养工作，促进技能链、人才链与产业链、创新链深度融合，让广大学生得以在“零距离”的集成电路实验实习实践中了解前沿技术，增强“数智”技能。

通过人工智能大模型，建设创新型自适应学习系统，形成人才培养新范式。基于生成式人工智能技术，可以生成符合不同难

度的测评练习题目，可以根据考试大纲和难度分布来生成各种类型的题目，更准确地考察学生的认知能力；基于学情诊断的微观自适应学习系统可以在线跟踪学习记录的知识状态，通过具有可解释性的知识追踪方法设计，获得学生对目标问题的知识掌握状态，实现学情诊断及自适应的教学资源推荐。

表 1 创新机制与具体措施

创新机制	具体措施
创新项目孵化	结合集成电路学科发展方向，为学生提供创新项目孵化平台，鼓励学生提出并实施集成电路领域的创新项目。
创客空间建立	平台设立集成电路创客空间，为学生提供硬件设备、工具和材料，让学生可以自由实践和创新。
创新竞赛设置	进一步组织更加多元化的集成电路相关创新竞赛，激发学生的竞争意识和创新潜力。
创新思维课程建立	在提供集成电路学科的基础知识和前沿技术的线下和线上课程的同时，引入集成电路专业相关创新思维培养课程，培养学生创新方法论和思维模式。
创新成果展示	设立专门的学生创新成果展示平台，让学生可以展示他们的项目成果和创新成就。
创新导师制度	设立具有集成电路学科特色的创新导师制度，邀请业界专家和学术导师担任学生创新项目的指导老师。
创新在线讨论专区	通过设立集成电路学科在线讨论区和其他相关社区，学生和教师可以在平台上进行讨论和交流。
创新评价体系	收集学生学习数据，进行数据分析，为教师提供学生学习情况的反馈。
创新资源共享平台	提供学习资源库，包括教学视频、文献资料、案例分析等，方便学生学习和教师教学。

总之，建设集成电路学科的数智化创新教育平台和生态，需要从课程体系、实践教学、师资队伍、人才培养和生态建设等多个角度系统推进。通过这些举措的有机结合，我们必将培养出更多高素质的集成电路创新人才，充分发挥高等教育在教育强国建设中的龙头作用，赋能教育、科技、人才的良性循环。

3、AI 赋能新平台下的学生创新模式

针对集成电路学科的数智化改革下的学生创新，可以在教育平台中引入包括创新项目孵化、创客空间建立、创新竞赛设置、创新思维课程建立、创新成果展示、创新导师制度、创新在线讨论专区、创新评价体系、创新资源共享平台等 9 项机制，如表 1 所示。

通过以上措施，可以在数智化改革的教育平台中培养学生的创新意识、实践能力和团队合作精神，促进集成电路学科领域的学生创新和成果转化。

（二）理论知识的集成化重构

集成电路是现代信息技术的基础，在通信、计算机、航空航天等领域有着广泛的应用。随着信息技术的快速发展，数字化和智能化技术在各个领域得到了广泛应用，集成电路领域也不例外。为了适应这一趋势，高校亟需改革传统的集成电路课程体系，引入数字化和智能化实践教学，对集成电路领域的理论知识进行集成化重构。



图 4 “晶上”平台引入的体系重构与产学融合集成

“晶上”平台是实现理论知识集成化重构的重要载体。通过实践平台，可以将抽象的理论知识转化为可操作的数字化模型，使学生能够更加直观地理解和掌握相关知识；可以利用数字化工具和平台进行教学，例如仿真软件、虚拟实验室等，帮助学生进行仿真实验和虚拟实践；还可以开发数字化教学资源，例如微课、慕课等，使学生能够随时随地学习。此外，采用实践教学平台，可以快速的验证当堂的理论知识，快速的转化实践经验，这为加速引入产业界最新前沿的技术知识提供了绿色便捷通道，加速了理论知识的集成化重构。

1、基于知识切片进行重构

基于知识切片进行重构过程主要包括理解集成电路知识切片、进行重构规划、利用大模型实施重构和评估与反馈四大步骤。其中重构规划和实施重构过程均可以利用大模型的强大数据分析、组织、处理能力完成。

（1）理解集成电路知识切片

定义知识切片：知识切片通常指的是将复杂的知识体系划分为若干个相对独立但又相互关联的知识单元或模块。在集成电路领域，这些切片可能包括电路设计、制造工艺、封装测试、性能评估等不同的方面。

分析切片内容：深入了解每个切片的具体内容、关键知识点和相互之间的关系。例如，电路设计切片可能包括数字电路设计、模拟电路设计、混合信号电路设计等子模块。

（2）进行重构规划

确定重构目标：明确重构的目的和期望达到的效果。例如，是为了优化知识体系的结构、提高学习效率、便于知识共享还是为了满足特定的教学或科研需求。

设计重构方案：根据重构目标，设计具体的重构方案。这包括确定重构的范围、方法、步骤以及所需的资源等。

（3）利用大模型实施重构

重新组织知识结构：按照新的逻辑或分类方式利用大模型的智能化能力重新组织知识切片。例如，可以根据集成电路的设计流程（需求分析、电路设计、仿真验证、布局布线、制造测试等）来重新组织知识结构。

整合与关联知识切片：在重新组织知识结构的过程中，注意各知识切片之间的整合与关联。在 GPT 模型中可以通过交叉引用、案例分析、综合应用等方式，加强各切片之间的联系和互动。

更新与完善：在重构过程中，及时更新和完善知识体系中的旧知识、新技术和新方法。确保重构后的知识体系能够反映当前集成电路领域的最新发展动态。

（4）评估与反馈

评估重构效果：通过问卷调查、访谈、测试等方式，评估重构后的知识体系在易用性、完整性、准确性等方面的效果。

收集反馈意见：广泛收集用户或专家的反馈意见，了解他们对重构后知识体系的看法和建议。

持续优化：根据评估结果和反馈意见，持续优化和完善重构后的知识体系。确保它能够持续满足用户的学习和工作需求。

2、利用虚实结合手段深化重构

虚拟实验室是“晶上”平台的重要组成部分，它使学生能够在虚拟环境中进行实验。虚拟实验室可以克服传统实验室的时空限制，为学生提供更加灵活的学习环境。例如，在模拟电路课程中，学生可以使用虚拟实验室进行放大电路、滤波电路、振荡器电路等的设计和仿真实验。这样，学生可以不受时间和地点的限制，随时随地进行实验，提高学习效率。构建虚拟实验室对集成电路理论知识学习具有重要意义，主要体现在以下几个方面：

（1）提高学生对集成电路理论知识的理解。集成电路理论知识往往比较抽象，学生难以理解和掌握。虚拟实验室可以将抽象的理论知识转化为可操作的虚拟实验，使学生能够更加直观地理解相关知识。例如，在模拟电路课程中，学生可以使用虚拟实

验室进行放大电路、滤波电路、振荡器电路等的设计和仿真实验。这样，学生可以更加直观地理解放大电路的基本原理和工作特性，提高对理论知识的理解。

（2）培养学生的实践能力和创新精神。虚拟实验室可以为学生提供一个自由探索、大胆创新的平台。在虚拟实验过程中，学生可以根据自己的兴趣和爱好，进行自主设计和开发。例如，在数字电路课程中，学生可以使用虚拟实验室进行逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路等的设计和仿真实验。这样，学生可以将课堂上学到的理论知识应用于实践，培养学生的实践能力和创新精神。

（3）拓展学生的实验资源。传统实验室的实验资源有限，学生能够进行的实验项目受到限制。虚拟实验室可以突破传统实验室的时空限制，为学生提供更加丰富的实验资源。例如，在集成电路设计课程中，学生可以使用虚拟实验室进行集成电路芯片的设计、仿真、验证等实验。这样，学生可以接触到更多最新的集成电路技术，拓展学生的实验资源。

（4）降低实验成本。传统实验室的实验成本往往比较高，需要大量的仪器设备和耗材。虚拟实验室可以降低实验成本，使学生能够以更低的成本进行实验。例如，在模拟电路课程中，学生可以使用虚拟实验室进行放大电路、滤波电路、振荡器电路等的设计和仿真实验。从而降低实验设施设备要求，可以节省大量的实验成本。

（5）提高实验教学的安全性。传统实验室的实验往往存在一定的安全风险。虚拟实验室可以消除实验安全隐患，提高实验教学的安全性。例如，在集成电路设计课程中，学生可以使用虚拟实验室进行集成电路芯片的设计、仿真、验证等实验。这样，学生可以避免接触到危险的化学物质和高压电，提高实验教学的安全性。

3、开发线上微课和微实验助力重构

利用“晶上”平台提供的丰富资源，可以开发微课和微实验，使学生能够随时随地学习。微课和微实验可以帮助学生巩固课堂所学知识，拓展课外知识。例如，在集成电路设计课程中，可以开发微课讲解集成电路设计流程的各个环节，并提供相应的微实验课程，使学生能够更加深入地学习集成电路设计相关知识。

微课和微实验具有以下特点：学习时间和地点灵活，学生可以根据自己的时间和地点安排学习，不受时空限制；学习内容精炼，课程内容经过精炼，时长一般在 10-15 分钟以内，便于学生理解和掌握；教学方式多样，可以采用视频讲解、动画演示、案例分析等多种教学方式，使教学更加生动有趣。开发微课和微实验可以对集成电路理论知识学习产生以下重要影响：

（1）提高学习效率。由于微课和微实验的课程内容经过精炼，学生可以快速掌握知识要点。此外，微课还可以提供多种学习资源，例如课件、练习题、讨论区等，帮助学生巩固所学知识和掌握的学习技能。

（2）拓宽学习渠道。学生可以通过微课和微实验学习到课堂上无法学到的知识，例如名师讲座、前沿技术等。此外，微课和慕课有助于学生与来自世界各地的学习者共同交流学习，拓展国际化视野。

（3）培养自主学习能力。微课和慕课可以培养学生的自主学习能力。在微课和慕课的学习过程中，学生需要自己安排学习时间和进度，并根据自己的学习情况进行调整。这可以帮助学生养成自主学习的习惯，提高自主学习能力。

（4）激发学习兴趣。微课和慕课可以激发学生的学习兴趣。微课和慕课的教学方式多样，可以为学生提供更加生动有趣的学习体验。此外，微课和慕课还可以提供多种互动环节，例如问答、讨论等，帮助学生更好地理解和掌握知识。

4、开展项目实践夯实重构效果

利用“晶上”平台的设备资源，可以开展项目实践，使学生将理论知识应用于实践，培养学生的实践能力和创新精神。例如，在集成电路应用课程中，可以引导学生进行基于集成电路的智能家居设计、物联网应用开发等项目实践。这样，学生可以将课堂上学到的理论知识应用于实际应用，提高解决实际问题的能力。

开展项目实践是实现理论知识集成化重构的重要途径之一。项目实践可以使学生将理论知识应用于实践，巩固理论知识，提高实践能力和创新精神。具体而言，开展项目实践活动具有以下重要性：

（1）巩固理论知识。在项目实践中，学生需要将课堂上学到的理论知识应用于实际问题的解决，这可以帮助学生加深对理论知识的理解，巩固理论知识。例如，在集成电路设计课程中，学生可以进行基于 FPGA 的图像处理系统设计项目。在这个项目中，学生需要运用数字电路、模拟电路、计算机体系结构等方面的理论知识来完成项目设计。这样，学生可以将课堂上学到的理论知识应用于实践，加深对理论知识的理解。

（2）提高实践能力。项目实践可以为学生提供一个锻炼实践能力的平台。在项目实践中，学生需要面对实际的工程问题，需要独立思考、分析问题、解决问题。这可以帮助学生提高实践能力，培养学生的工程思维和动手能力。例如，在集成电路测试课程中，学生可以进行基于可测试性设计（DFT）的集成电路测试项目。在这个项目中，学生需要学习和掌握 DFT 的基本原理和方法，并将其应用于实际的集成电路测试中。这样，学生可以提高实践能力，培养学生的工程思维和动手能力。

（3）培养创新精神。项目实践可以为学生提供一个发挥创新精神的平台。在项目实践中，学生需要面对未知的挑战，需要不断创新才能取得成功。这可以帮助学生培养创新精神，提高学生的创造性和解决问题的能力。例如，在集成电路应用课程中，学生可以进行基于物联网的智能家居系统设计项目。在这个项目中，学生需要根据实际需求，进行创新设计，开发出具有实用价值的智能家居系统，提高创造性和解决问题的能力。

（4）了解最新技术。项目实践可以使学生了解集成电路领域的最新技术和发展趋势。在项目实践中，学生需要查阅文献资料，了解最新的技术和方法。这可以帮助学生拓宽知识面，了解集成电路领域的最新发展趋势。例如，在集成电路设计课程中，学生可以进行基于人工智能的图像识别系统设计项目。在这个项目中，学生需要学习和掌握人工智能的基本原理和方法，并将其应用于图像识别系统设计中。这样，学生可以了解集成电路领域的最新发展趋势。

（5）为将来工作打好基础。项目实践可以为学生将来从事集成电路相关工作打好基础。在项目实践中，学生可以积累工程经验，提高职业竞争力。例如，在集成电路测试课程中，学生可以进行基于 DFT 的集成电路测试项目。在这个项目中，学生可以学习和掌握 DFT 的基本原理和方法，并将其应用于实际的集成电路测试中。这样，学生可以积累工程经验，提高职业竞争力。

通过以上方法，可以有效地将集成电路理论知识转化为更加生动、直观、可操作的形式，帮助学生更好地理解和掌握相关知识，提高学生的实践能力和创新精神。

5、实现产学研相融合的绿色便捷通道

高校理论知识一般偏向于基础教学，这与实际的产业界前沿技术有一定的差异化，这是天然形成的鸿沟。而缩小该鸿沟的途径，则是在理论知识授课过程中，穿插实践性的实验和动手检验互动教学。只有将理论与实践相结合，才能更快的将基础的理论

授课快速提升到实际应用的层级。作为工程性和交叉性极强的学科，集成电路历来对实验教学和动手能力的培养极为重视。但芯片本身对环境的苛刻要求，成本的居高不下，导致完全在课堂上实现“召之即来、来之能做”成为空谈。

集成电路实践教学平台可有效解决上述难题，通过有效模拟芯片设计和制造过程中的各种因素，进而验证课堂上的基础理论和知识。因此，该平台可以更快的使学生接触甚至消化产业界最前沿的技术知识，从根本上缩短高校课堂理论与实际应用之间的距离，为国家培养真正的集成电路高精尖人才。

（三）实验体系的数智化集成

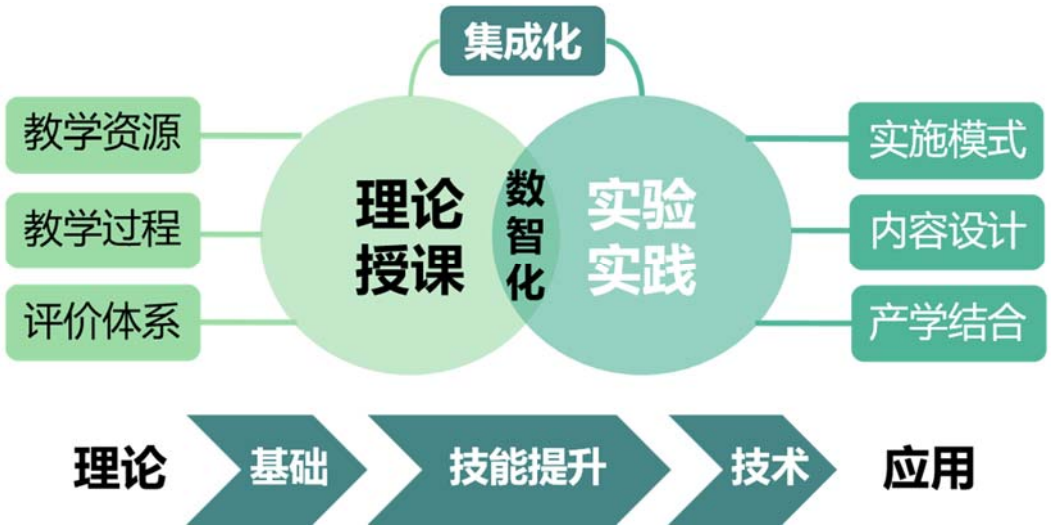


图 5 数智化集成平台：理论与实验授课的集成化

当前传统集成电路实践教学模式已经无法满足新时代人才培养的需求，亟需对集成电路实践教学体系进行数智化集成探索与研究。数智化集成利用信息技术和人工智能技术，对集成电路实践教学过程进行改造和提升，目标是构建一个更加智能、高效、个性化的集成电路实践教学体系。具体内容包括：

1、实验内容和方法的革新

将传统集成电路实验内容与新兴技术相融合集成，引入虚拟仿真、远程实验等新的实验方法，提高实验教学的先进性和实用性，具体可以采取如下举措。

（1）集成新兴技术，丰富实验内容。将人工智能、物联网、大数据等新兴技术引入集成电路实验，使学生能够接触和掌握最新技术成果，培养其创新能力和应用能力。例如，可以设计基于人工智能的图像识别芯片实验，或基于物联网的智能家居系统实验，让学生在实践中学习和应用新兴技术。

（2）引入虚拟仿真，增强实验效果。利用虚拟仿真技术构建逼真的实验环境，使学生能够在安全、可控的条件下进行危险或昂贵的实验，提高实验教学的效率和安全性。例如，可以开发虚拟仿真实验室，让学生能够模拟各种集成电路器件的运行过程，并进行故障排除和调试。

（3）开展远程实验，拓展实验资源。建设远程实验平台，使学生能够突破时空限制，随时随地进行实验，拓展实验资源，提高实验教学的灵活性和可达性。例如，可以与其他高校或科研机构合作，共享实验资源，为学生提供更加丰富的实验项目。

（4）强化项目驱动，提升实验实效。以项目驱动为导向设计开放性、综合性的实验项目，让学生根据项目任务需求进行电路设计、仿真、测试和实现，从而能够将理论知识与实践技能结合起来，培养其解决实际问题的能力。

（5）注重创新启发，培养创新思维。在实验教学中鼓励学生创新，引导学生发现问题、提出问题、解决问题，培养学生的创新思维和创造能力。例如通过参与各类竞赛，鼓励学生设计具有新颖功能或高实用价值的集成电路器件或系统。

通过以上措施，可以有效更新集成电路实验内容和方法，提高实验教学的先进性和实用性，培养学生的创新能力和实践能力，为集成电路人才培养提供更加坚实的基础。

2、教学资源的数智化集成

集成电路实验教学资源的数智化集成，是指利用信息技术和数字化手段，对集成电路实验教学资源进行全面的建设和管理，为学生提供更加丰富、便捷、优质的学习资源。其目标是构建一个集课程资源、实验资源、师资资源等为一体的数字化教学资源库，以支撑集成电路实验教学创新发展。

（1）课程资源数字化：将集成电路课程的教学大纲、教学计划、课程标准、教材、教辅材料等数字化，并建立课程资源库，为学生提供在线浏览、下载和学习的渠道。

（2）实验资源数字化：将集成电路实验的实验方案、实验指导书、实验视频、实验数据等数字化，并建立实验资源库，为学生提供在线查询、预约、仿真和实训的渠道。

（3）师资资源数字化：将集成电路实验教师的教学经验、教学成果、教学案例等数字化，并建立师资资源库，为教师提供在线交流、协作和研讨的渠道。

数字化集成的优势主要体现在：

（1）资源丰富：数字化教学资源库可以汇聚海量的集成电路实验教学资源，为学生提供更加丰富的学习资源。

（2）便捷实用：学生可以随时随地通过互联网获取数字化教学资源，不受时间和空间的限制，更加便捷实用。

（3）个性化学习：数字化教学资源库可以根据学生的学习需求，提供个性化学习支持，帮助学生提高学习效率。

（4）促进教学改革：数字化教学资源可以促进集成电路实验教学方法和手段的创新，提高教学质量。

3、教学过程的智能化集成

利用人工智能技术，对学生进行个性化学习诊断和评价，提供自适应学习支持，提高教学的针对性和有效性。

集成电路实验教学是电子信息工程专业人才培养的重要环节。传统实验教学模式存在教学内容更新慢、教学资源不足、教学评价单一等问题，无法满足新时代人才培养的需求。为了解决这些问题，亟需将人工智能技术应用于集成电路实验教学，实现实验教学过程的智能化。

人工智能技术具有强大的数据分析和处理能力，可以为集成电路实验教学提供以下智能化支持：

（1）个性化学习诊断和评价：通过对学生学习数据进行分析，可以了解学生的学习情况，识别学生的学习优势和劣势，为学生提供个性化的学习诊断和评价。

（2）自适应学习支持：根据学生的个性化学习诊断结果，可以为学生提供自适应的学习支持，包括推荐学习资源、制定学习计划、提供个性化辅导等。

（3）智能化实验评估：利用人工智能技术，可以自动评估学生的实验结果，提供客观、公正的评价。

将 AI 技术应用并集成于芯片实验教学可实现以下目标：

（1）提高教学质量：个性化学习诊断和评价、自适应学习支持等智能化手段可以帮助学生提高学习效率，改善学习效果。

（2）提升学生兴趣：智能化实验教学可以使实验过程更加生动有趣，激发学生的学习兴趣。

（3）减轻教师负担：人工智能技术可以自动完成部分教学任务，减轻教师负担，使教师能够将更多精力放在教学研究和学生辅导上。

4、数字孪生技术助力数智化集成

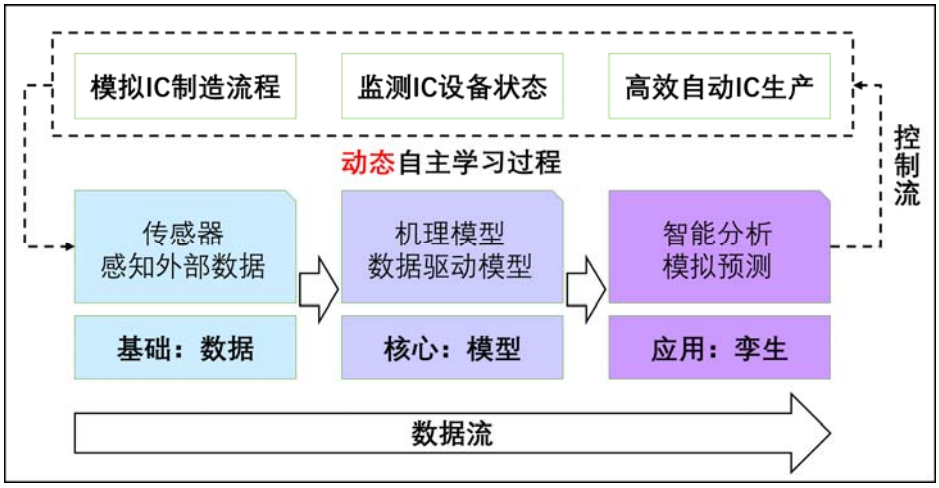


图 6 数字孪生技术和集成电路领域之间的关系

在集成电路生产过程中，数字孪生技术可以应用于建立虚拟模型，模拟制造流程和设备运行情况，帮助优化生产效率和质量。利用数字孪生技术，集成电路生产线可以实现实时监控生产设备的状态和性能，预测潜在故障，并提供远程维护服务，从而减少停机时间和维护成本。在集成电路设计阶段，数字孪生技术可以帮助创建虚拟模型来模拟电路设计和功能验证过程，加速产品开发周期并提高设计质量。通过数字孪生技术监测集成电路生产设备的能源消耗和效率，提供节能优化方案，降低能源消耗成本。结合数字孪生技术和人工智能算法，集成电路生产可以实现智能制造和自动化生产过程，提高生产效率和产品质量。数字孪生技术在集成电路领域的应用可以帮助实现生产过程的数字化转型，提高生产效率、产品质量和设备可靠性。

数字孪生技术在集成电路领域具有广阔的发展前景：

（1）智能制造优化：数字孪生技术可用于集成电路生产线的智能制造优化，实时监控设备运行状态、预测潜在故障，提高生产效率和产品质量。

（2）个性化定制生产：结合数字孪生技术，集成电路制造商可以实现个性化定制生产，根据客户需求快速调整生产线，提供定制化产品和服务。

（3）虚拟仿真验证：数字孪生技术可用于集成电路设计阶段，通过虚拟仿真验证电路设计、功能和性能，缩短产品开发周期，降低成本。

（4）远程维护与保养：集成数字孪生技术的集成电路设备可以实现远程监控、预测性维护和保养计划，减少设备停机时间和维护成本。

（5）能源效率优化：数字孪生技术帮助集成电路生产线实时监测能源消耗情况，提供能源效率优化方案，进一步降低能源消耗成本。

（6）数据驱动决策：基于数字孪生技术的实时数据分析，集成电路制造商可以做出更加准确的数据驱动决策，提高管理效率和生产水平。

5、评价体系的系统集成与完善

传统的集成电路实验教学评价体系主要以纸笔考试和实验报告为考核方式，这种评价方式存在以下问题：

（1）评价指标单一：传统的评价体系主要考核学生的理论知识和实验技能，而忽视了学生的创新能力、思维能力和解决问题能力等。

（2）评价方式滞后：传统的评价方式主要依靠人工评阅，效率低、周期长，难以及时反映学生的学习情况。

（3）评价结果可信度低：传统的评价方式存在主观性强、易受人为因素影响等问题，难以保证评价结果的公平公正。

为了克服传统评价体系的弊端，亟需对集成电路实验教学评价体系进行数智化改革。通过建立多元化立体化评价体系，不仅考核学生的理论知识，还考核学生的实践能力和创新能力。

（1）建立多元化的评价指标体系：不仅考核学生的理论知识和实验技能，还要考核学生的创新能力、思维能力和解决问题能力等。

（2）开发智能化的评价工具：利用人工智能技术，开发自动化的实验评分系统、个性化的学习诊断系统等，提高评价效率和准确性。

（3）构建公正的评价机制：建立严格的评价标准和规范，确保评价结果的公平公正。

数智化改革对集成电路实验教学评价体系具有以下优势：

（4）提高评价的科学性：通过建立多元化的评价指标体系和开发智能化的评价工具，可以提高评价的科学性和客观性。

（5）提高评价的效率：通过智能化评价工具的辅助，可以提高评价效率，减轻教师的工作负担。

（6）促进学生学习：多元化的评价体系和及时的评价反馈可以促进学生学习，提高学生的学习积极性和主动性。

（四）教学实施模式创新：“教-学-用”集成

“晶上”集成电路实践教学平台，可提供晶圆级工艺能力的智慧开放式实践教学能力，推动课程入口、服务中台、工艺基座“三位一体”建设，为实现集成电路工程教育惟真惟实，服务“一生一芯”实践育人要求。“晶上”平台的应用，将推动传统教育模式将发生重大变革。

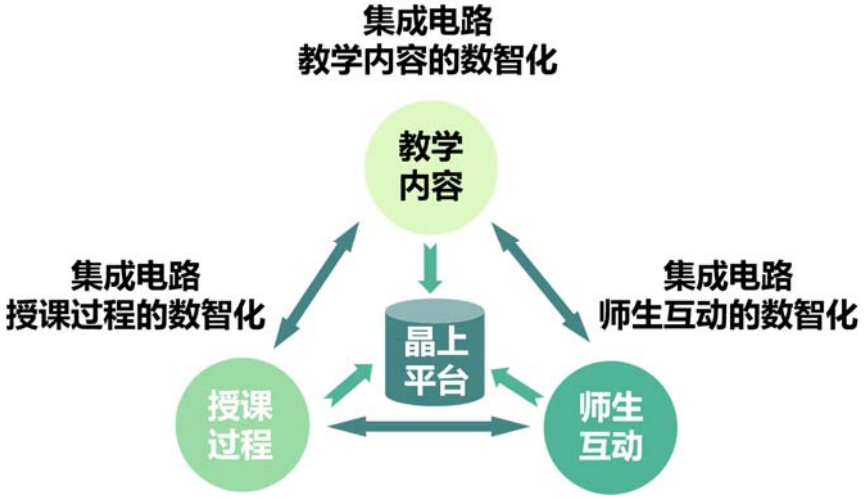


图 7 三类教学实施模式的创新

1、集成电路教学内容的集成化

集成电路属于交叉性极强的学科，既包括数字电路设计、模拟电路设计等传统电子学科内容，也包括 EDA、体系结构等计算机内容，还包括物理、工艺、材料等学科内容，因而集成电路的工程性和实践性很强。此外，实际的封装测试、工艺材料、芯片光刻等实际环境，具有成本高、试错性差、环境等级要求高等特点，不适合大规模的教学实践。

“晶上”平台的出现，使得教学资源呈现集成化的变化。这里的教学资源不仅仅包括讲义、教材等理论知识，对集成电路学科来说，更多的是体现在实验资源。比如，面向 EDA 工具的芯片设计自动化教学资源，面向工艺材料和封装测试的三维封装仿真环境，面向芯片开发的从逻辑综合到版图设计的全流程工具。

这些“新型教学资源”不但提供了集成电路交叉学科所需的实验环境，为学生带来的模拟现实的仿真体验，同时降低了环境成本，提高了芯片设计过程中的试错性。在教学过程中，还方便

教师记录整个芯片设计过程、工艺制造过程、封装测试过程中关键节点的状态和数据，便于存储、分享、检索和讲授。

2、集成电路授课过程的集成化

传统的教学方式，一般通过课堂理论授课和实验实践的结合完成教学过程。而对于集成电路学科而言，受限于实验环境的不足，其实验实践比例相对较低。“晶上”平台的出现，可有效缓解集成电路实验环境的稀缺，提升实践教学的比例。

在理论教学过程中，为了解释集成电路中的某一关键核心问题，教师可随时调用“晶上”平台的仿真环境，借助于模拟现实的三维动态图示展示不同参数设置导致的不同效果，在无需更换课堂的教学环境的前提下，能够随意切换授课的模式，将理论授课与实验验证展示真正做到有机结合在一起，有助于学生对理论知识的深入了解，为后续的实验实践打下良好基础。

在实验教学过程中，教师可提前将不同的设计手段、不同的参数设置、不同的环境配备等进行准备，学生有了直观认知后在真正的实验过程中会详细思考并比对，提升自己的集成电路设计开发经验。此外，模拟现实的实验环境为实验教学提供了巨大的便利，尤其是对于工艺、物理、材料、封装等实验，之前需要采用实际的精密仪器和无尘环境进行操作，同时也受限于温度、时效等现实因素，实验设置必须以微型实验任务为主。基于“晶上”平台的仿真环境，屏蔽掉了这些客观因素的限制，扩大了试验任务的实施和设置范围。

3、集成电路师生互动的集成化

在传统教学模式中，师生的互动主要通过课堂提问、实验作业提交、汇报等形式完成互动，并在互动过程中让教师了解学生对知识的掌握程度，并对教学过程进行调整。随着“晶上”平台的出现，集成电路的教学互动模式产生大的变化。一体化平台，可对教师授予不同权限，能够对学生具体实验过程中的每个节点的状态进行远程监督、评分评审、标识意见。这里的状态既包括文字性的总结汇报，同时也包括集成电路设计过程中的节点文件、版图图示、时序资源报告对比等工程性信息。同时，学生也可以在实验过程中有针对性的向教师提问和咨询，便于实验的正常推进，提升了师生互动的效率。

总的来说，在集成电路实践教学中，“集成化”主要体现在以下几个方面——（1）课程体系的集成。横向集成：将原本分散在不同课程中的集成电路设计、验证、测试等知识点进行整合，形成一个完整的、贯穿整个设计流程的课程体系。纵向集成：将理论教学与实践教学紧密结合，通过项目驱动的方式，让学生从芯片设计到流片、封装测试，全程参与，培养系统思维和解决问题的能力。（2）教学资源的集成。硬件资源集成：将 EDA 工具、仿真软件、开发板等硬件资源进行整合，搭建一个功能完备的集成电路设计实验平台。软件资源集成：建立统一的教学资源库，包括课件、实验指导书、视频教程、设计案例等，方便学生随时随地学习。（3）教学方法的集成。线上线下结合：充分利用在线

学习平台、虚拟仿真实验等方式，拓展教学空间，提高教学效率。多元化教学方法：采用项目式学习、案例教学、翻转课堂等多种教学方法，激发学生的学习兴趣，培养学生的创新能力。（4）产学研的集成。企业合作：与集成电路企业合作，共建实习基地、开展联合培养，让学生提前接触行业前沿技术，了解产业发展动态。科研项目融入教学：将科研项目引入教学环节，让学生参与到真实的科研项目中，提高科研能力。

四、以国际化形成集成电路融合开放新格局

集成电路产业是一个高度国际化的产业，其发展格局受到全球经济、政治和技术等多种因素的影响。集成电路技术不断发展，新的工艺和设计不断涌现。国际化的合作和竞争促使企业在技术创新方面投入更多资源，以保持竞争力。全球对集成电路的需求持续增长，特别是在电子设备、通信、计算机等领域。国际化的市场使得企业能够更好地满足不同地区和客户的需求。集成电路产业的分工越来越细化，不同国家和地区在产业链的不同环节具有各自的优势。国际化的合作有助于实现资源的优化配置，提高产业效率。许多国家和地区都出台了支持集成电路产业发展的政策，包括资金投入、税收优惠、人才培养等。这些政策的推动促进了国际化的合作和发展。企业为了扩大市场份额、降低成本、获取技术和资源，纷纷采取国际化战略，通过跨国并购、合作研发等方式加强国际竞争力。

（一）技术创新国际化

集成电路作为现代信息技术的核心基础，对全球经济社会的发展起着至关重要的作用。随着全球化的深入推进和科技的飞速发展，集成电路产业的技术创新呈现出明显的国际化趋势。技术创新国际化不仅为企业带来了新的发展机遇，也为整个产业的升级和竞争力提升提供了强大动力。深入研究集成电路产业技术创新国际化的特点、影响和发展路径，对于把握产业发展趋势、制定科学的发展战略具有重要意义。

1、集成电路产业技术创新国际化的背景

经济全球化使得各国之间的贸易、投资和技术交流日益频繁，集成电路产业作为全球性产业，其技术创新也不可避免地受到全球经济一体化的影响。企业通过国际化合作可以充分利用全球资源，加速技术研发和产业化进程。

信息技术的不断进步推动了集成电路技术的快速发展，新的工艺、材料和设计方法不断涌现。国际科技合作和交流为企业获取最新的技术信息和创新思路提供了重要渠道，促进了技术创新的国际化进程。

集成电路市场竞争激烈，企业为了在全球市场中占据优势地位，必须不断提升技术创新能力。通过国际化技术创新，企业可以借鉴国际先进经验，提高自身的技术水平和产品质量，增强市场竞争力。

2、集成电路产业技术创新国际化的现状

集成电路产业内的国际合作与交流日益密切，企业之间通过合作研发、技术转让、联合投资等方式开展广泛的合作。跨国企业在全球范围内布局研发中心和生产基地，整合全球资源进行技术创新。

在技术创新国际化的推动下，集成电路产业取得了一系列重要的技术突破和创新成果。例如，先进工艺制程不断演进，芯片性能不断提升；新型封装技术的发展提高了芯片的集成度和可靠性；人工智能、5G/6G 等新兴技术与集成电路的融合创新也取得了重要进展。

集成电路产业技术创新国际化带来了人才的国际化流动。优秀的技术人才在全球范围内寻找发展机会，跨国企业也通过引进国际人才来提升自身的技术实力。人才的国际化流动促进了技术创新的交流与融合。

3、集成电路产业技术创新国际化的影响

通过技术创新国际化，企业可以吸收国际先进技术和经验，提高自身的技术水平和产品质量，从而在全球市场中获得竞争优势。国际化的技术创新也有助于企业开拓新的市场领域，拓展业务范围。

技术创新国际化促进了集成电路产业的升级换代。新的技术和工艺的引入推动了产业向高端化、智能化方向发展，提升了产

业的附加值和核心竞争力。同时，国际化的合作也加速了产业的协同创新，推动了产业链的整体升级。

集成电路产业是一个全球性的产业链，技术创新国际化促进了产业链上各个环节的协同合作。国际企业之间的合作不仅加强了产业链的稳定性，也提高了产业链的整体效率和竞争力。

技术创新国际化为培养创新型人才提供了广阔的平台。国际合作与交流让人才接触到不同的技术和理念，激发创新思维，培养了一批具有国际视野和创新能力的高素质人才。

4、集成电路产业技术创新国际化面临的挑战

集成电路产业技术含量高，存在一定的技术壁垒。国际企业在技术创新过程中面临着知识产权保护的挑战，需要加强知识产权管理和保护，防止技术被侵权。

国际合作涉及不同国家和地区的文化差异，管理难度较大。企业需要建立有效的沟通机制和合作模式，克服文化差异带来的障碍，确保合作的顺利进行。

技术创新国际化需要大量的资金投入，同时也伴随着较高的风险。企业在进行国际化技术创新时需要合理规划资金，评估风险，并采取有效的风险防范措施。

不同国家和地区的政策环境存在差异，对集成电路产业的支持力度和政策导向也不同。国际竞争激烈，企业需要在全球范围内应对来自其他国家和地区的竞争压力。

（二）产业链协同国际化

集成电路作为信息技术的核心基石，对现代社会的发展起着至关重要的作用。随着全球化的深入推进和科技的飞速发展，集成电路产业的产业链协同呈现出明显的国际化趋势。产业链协同国际化不仅有助于提升产业的整体竞争力，实现资源的优化配置，还能够推动技术创新和市场拓展，促进全球经济的繁荣发展。因此，深入研究集成电路产业链协同国际化的发展现状、面临的挑战以及应对策略，具有重要的现实意义。

1、集成电路产业链协同国际化的重要性

集成电路产业链涉及多个环节和领域，全球化的协同合作能够整合全球范围内的技术、人才、资金、市场等资源，实现优势互补，提高产业的效率和竞争力。

国际合作和交流加速了技术的传播和创新，不同国家和地区的企业、科研机构可以共同开展研发项目，分享技术成果，推动集成电路技术的不断进步。

通过产业链协同国际化，企业可以更好地满足全球市场的需求，开拓新的市场领域，扩大市场份额，提升企业的国际影响力。

在全球化的背景下，企业可以通过优化产业链布局，选择成本更低的生产基地和供应商，降低生产成本，提高企业的盈利能力。

2、集成电路产业链协同国际化的现状

全球范围内的集成电路设计企业通过合作、并购等方式进行资源整合，形成了具有较强竞争力的设计团队和设计平台。同时，设计企业与制造企业之间的协同也日益紧密，共同推动芯片产品的研发和创新。

集成电路制造企业在全球范围内进行产能布局，以满足不同市场的需求。一些发达国家和地区拥有先进的制造工艺和技术，成为全球集成电路制造的中心；而一些新兴经济体则通过引进技术和投资，加快发展集成电路制造业，形成了新的制造基地。

封装测试企业通过与国际客户的合作，提升封装测试技术水平和服务质量。同时，封装测试企业之间也加强了国际合作，共同开发新型封装技术，满足市场对高性能、小型化封装产品的需求。

集成电路产业链上下游企业之间的协同合作不断加强，形成了紧密的产业生态系统。例如，设计企业与制造企业共同开展芯片研发，封装测试企业为设计企业和制造企业提供配套服务，上下游企业之间通过合作实现共赢。

3、集成电路产业链协同国际化的发展趋势

随着人工智能、5G/6G、物联网等新兴技术的发展，集成电路产业对技术创新的需求日益迫切。产业链协同将更加注重技术创新的引领作用，企业将加大研发投入，加强与科研机构的合作，

共同攻克关键技术难题，推动产业的升级换代。

随着集成电路产业的不断发展，产业链分工将更加细化和专业化。企业将专注于自身的核心业务，通过与其他企业的合作，实现产业链的协同发展。例如，一些企业将专注于芯片设计，而将制造和封装测试环节外包给专业的企业。

国际合作模式将不断创新，除了传统的合作研发、并购等方式外，还将出现更多的合作形式，如战略联盟、合资企业、知识产权共享等。国际合作将更加注重合作的灵活性和创新性，以适应市场的变化和需求。

数字化和智能化技术将在集成电路产业链协同中得到广泛应用。企业将通过建立数字化平台，实现产业链各环节的信息共享和协同管理，提高生产效率和产品质量。同时，智能化技术将在制造、封装测试等环节发挥重要作用，实现生产过程的自动化和智能化。

4、集成电路产业链协同国际化面临的挑战

当前，贸易保护主义抬头，国际贸易摩擦加剧，对集成电路产业链协同国际化带来了一定的挑战。贸易壁垒的存在可能导致原材料供应不稳定、市场准入受限等问题，影响企业的正常运营和发展。

集成电路产业是知识密集型产业，知识产权保护至关重要。在国际合作过程中，企业面临着知识产权侵权、技术泄露等风险，

需要加强知识产权保护意识，建立健全知识产权保护体系，维护自身的合法权益。

国际合作涉及不同国家和地区的企业和人员，存在着文化差异和管理难度。语言、沟通方式、工作习惯等方面的差异可能导致合作过程中的误解和冲突，需要加强跨文化沟通和管理能力，建立有效的合作机制和团队文化。

集成电路产业对高端人才的需求较大，尤其是在技术研发、管理等领域。国际化的产业链协同需要具备国际化视野和跨文化沟通能力的人才，但目前人才短缺的问题较为突出，需要加强人才培养和引进，提高人才队伍的素质和能力。

（三）市场拓展国际化

集成电路产业作为全球高新技术产业的重要组成部分，具有高度的创新性、战略性和先导性。随着全球化的深入推进和信息技术的飞速发展，集成电路产业的市场拓展国际化已成为必然趋势。国际市场具有广阔的空间和巨大的潜力，能够为集成电路企业带来更多的发展机遇和竞争优势。然而，市场拓展国际化也面临着诸多挑战，如技术壁垒、市场竞争、政策环境等。因此，深入研究集成电路产业市场拓展国际化的机遇与挑战，对于推动产业的健康发展具有重要意义。

1、集成电路产业市场拓展国际化的重要意义

国际市场涵盖了全球众多国家和地区，具有庞大的消费群体

和多样化的市场需求。集成电路产品在通信、计算机、消费电子、汽车电子等领域广泛应用，通过市场拓展国际化，能够将产品推向更广泛的国际市场，开拓新的销售渠道和业务增长点，提升市场份额和销售额。

国际市场竞争激烈，企业为了在竞争中脱颖而出，必须不断加大技术研发投入，提升技术创新能力。与国际先进企业的交流与合作，能够借鉴和吸收先进的技术理念和经验，加速自身技术的升级和创新，推动集成电路产业整体技术水平的提高。

国际化市场拓展有助于企业树立良好的品牌形象，提升品牌知名度和美誉度。通过参与国际市场竞争，企业能够不断优化产品质量和服务水平，增强品牌的竞争力，在全球市场中树立起具有影响力的品牌地位。

国际市场拓展能够促进集成电路产业资源在全球范围内的优化配置。企业可以利用国际市场的资金、技术、人才等资源，实现优势互补，提高资源利用效率，降低生产成本，提升产业整体竞争力。

2、集成电路产业市场拓展国际化面临的挑战

集成电路产业技术含量高，研发投入大，存在着较高的技术壁垒。国际市场上的竞争对手往往具有先进的技术和专利优势，企业在进入国际市场时面临着技术突破和专利侵权的风险。此外，国际市场对产品的质量、性能和可靠性要求也较高，企业需要不

断提升自身的技术水平和产品质量，才能满足市场需求。

国际集成电路市场竞争激烈，全球范围内的企业众多，且实力雄厚。企业不仅要面对来自发达国家的大型跨国企业的竞争，还要应对新兴经济体企业的崛起。市场份额的争夺激烈，价格竞争压力较大，企业需要具备强大的市场竞争力和差异化的产品策略，才能在国际市场中立足。

不同国家和地区的政策环境存在差异，贸易保护主义、技术封锁等因素对集成电路产业市场拓展国际化带来一定的不确定性。一些国家可能出台限制进口、保护本土产业的政策措施，企业需要密切关注政策变化，及时调整市场拓展策略，降低政策风险。

国际市场拓展涉及不同国家和地区的文化差异，包括语言、价值观、商业习惯等方面。企业在与国际客户和合作伙伴进行沟通和合作时，可能会面临文化冲突和管理难度。需要建立有效的跨文化沟通机制和管理模式，适应不同文化环境的要求，提高合作效率和效果。

集成电路产业市场拓展国际化需要大量的资金投入，包括研发投入、市场推广投入、生产设备更新等。同时，国际化市场拓展也需要具备国际化视野和跨文化沟通能力的人才。资金和人才的短缺可能成为企业市场拓展国际化的制约因素。

3、集成电路产业市场拓展国际化的发展趋势

加大技术研发投入，建立完善的技术创新体系。加强与国内外科研机构、高校的合作，开展前瞻性的技术研究和创新项目，突破关键技术瓶颈，提升自主创新能力。同时，注重知识产权保护，申请和维护核心技术专利，构建技术壁垒，保护企业的创新成果。

制定明确的品牌战略，塑造独特的品牌形象。注重产品质量和服务水平的提升，通过严格的质量管理体系和优质的售后服务，赢得客户的信任和口碑。加强品牌宣传和推广，参加国际知名展会、论坛等活动，提高品牌知名度和美誉度。在国际市场上树立起具有竞争力的品牌地位。

积极寻求国际合作与联盟机会，与国际领先企业、科研机构、上下游企业等建立长期稳定的合作关系。通过合作研发、技术转让、产能合作等方式，共同开拓市场，分享资源和优势，提升企业的国际竞争力。同时，参与国际行业组织和标准制定机构，发挥企业的影响力，推动行业的规范和发展。

深入研究国际市场需求和竞争态势，制定差异化的市场策略。针对不同国家和地区的市场特点，进行产品定位和市场细分，提供符合当地市场需求的产品和解决方案。加强市场调研和客户反馈，及时调整产品策略和市场推广方案，提高市场响应速度和适应性。

密切关注国际贸易政策动态，加强与政府部门的沟通和协调，积极应对贸易保护主义措施。通过优化产业结构、提升产品附加值、加强知识产权保护等方式，提高企业的抗风险能力。同时，积极拓展多元化市场，降低对单一市场的依赖，分散市场风险。

加大对人才培养的投入，建立完善的人才培养体系。培养具备国际化视野、技术创新能力和跨文化沟通能力的专业人才。同时，积极引进国际高端人才，为企业的市场拓展国际化提供智力支持。建立良好的人才激励机制，留住和吸引优秀人才。

加强产业链上下游企业的协同合作，构建完善的产业生态环境。推动集成电路设计、制造、封装测试等环节的协同发展，提高产业链整体效率和竞争力。加强产业园区建设，提供良好的基础设施和服务配套，吸引更多企业和资源集聚，形成产业集群优势。

集成电路产业市场拓展国际化是推动产业发展的重要战略举措。虽然面临着诸多挑战，但通过加强技术研发与创新、提升品牌影响力和竞争力、拓展国际合作与联盟、优化市场策略、应对贸易保护主义以及加强人才培养和产业生态环境建设等策略的实施，集成电路产业能够在国际市场中实现可持续发展和竞争优势的提升。政府、企业和社会各方应共同努力，为集成电路产业市场拓展国际化创造良好的条件和环境，推动产业迈向更高水平的发展。同时，企业也应不断适应市场变化和技术发展趋势，

积极创新和进取，在全球集成电路市场中赢得更大的发展空间和机遇。

（四）人才交流国际化

集成电路产业是当今全球信息技术领域的核心支柱，其发展水平直接影响着国家的科技实力和经济竞争力。随着全球化的深入推进，人才交流国际化在集成电路产业发展中的作用日益凸显。优秀的人才是集成电路产业创新和发展的关键驱动力，通过国际人才的引进、交流与合作，可以促进技术的创新突破、产业的转型升级以及国际竞争力的提升。然而，人才交流国际化也面临着诸多挑战，如文化差异、语言障碍、知识产权保护、政策制度差异等，如何有效地应对这些挑战，实现人才交流的顺畅与高效，成为集成电路产业发展亟待解决的问题。

1、集成电路产业人才交流国际化的重要意义

国际人才具有丰富的知识和经验，能够带来新的技术理念和创新思维。通过人才交流，不同国家和地区的人才可以相互学习、交流和合作，加速技术的创新和突破，推动集成电路产业技术水平的不断提升。

集成电路产业竞争激烈，人才的素质和能力直接影响着企业的竞争力。国际化的人才交流可以吸引全球优秀的人才加入集成电路产业，提升企业的研发能力、创新能力和管理水平，从而增强产业的整体竞争力。

随着信息技术的不断发展，集成电路产业面临着转型升级的需求。国际人才的引入可以带来新的产业发展思路和模式，促进产业向高端化、智能化、绿色化方向发展，推动产业结构的优化升级。

人才交流国际化为国内人才提供了与国际接轨的机会，通过与国际人才的合作和交流，国内人才可以拓宽视野、提升能力，培养成为具有国际化视野和竞争力的高素质人才。

2、集成电路产业人才交流国际化的现状

近年来，集成电路产业人才流动呈现出国际化的趋势。越来越多的国际人才选择到中国等新兴市场国家发展，同时也有大量的中国本土人才走出国门，到国际知名企业和科研机构深造或工作。人才流动的方向主要集中在发达国家和地区，尤其是美国、欧洲和日本等集成电路产业发达的国家和地区。

集成电路产业人才交流的形式多样，包括国际学术交流、科研合作、企业间人才交流与合作、人才招聘等。国际学术会议和研讨会成为人才交流的重要平台，吸引了众多国内外专家学者和技术人员参与；科研合作项目为人才提供了共同开展研究的机会，促进了技术的交流与合作；企业间的人才交流与合作加强了企业之间的联系，提升了企业的创新能力；人才招聘则是企业引进国际人才的主要方式之一。

集成电路产业国际合作模式不断创新和丰富。跨国企业通过

在全球范围内布局研发中心和生产基地，实现人才的全球配置和资源的优化利用；产学研合作模式也日益受到重视，高校、科研机构与企业紧密合作，共同培养人才和开展科研项目；国际产业联盟的形成促进了产业链上各环节企业之间的人才交流与合作，提升了产业整体竞争力。

3、集成电路产业人才交流国际化面临的挑战

不同国家和地区的文化背景差异较大，人才在交流和合作过程中可能面临文化冲突和沟通障碍。语言不通、价值观差异、工作方式和习惯的不同等都可能影响人才交流的效果和合作的顺利进行。

集成电路产业是知识密集型产业，知识产权保护至关重要。国际人才在交流过程中可能面临知识产权侵权、技术泄露等风险，企业和人才对知识产权的保护意识和措施有待加强。

各国的政策制度存在差异，包括人才引进政策、税收政策、劳动法规等。人才在跨国流动和工作过程中可能面临政策不适应、手续繁琐等问题，影响人才交流的积极性和效率。

集成电路产业是全球竞争激烈的领域，各国都在积极争夺优秀人才。国际人才面临着来自不同国家和地区的竞争压力，如何吸引和留住人才成为一个挑战。

国内集成电路产业的教育体系与产业发展需求存在一定的不匹配，人才培养的质量和结构不能完全满足产业发展的需要。

缺乏具有国际视野和实践能力的高端人才，成为制约人才交流国际化的重要因素。

集成电路产业人才交流国际化是推动产业发展的重要力量。通过加强国际合作与交流平台建设、优化人才培养体系、完善政策环境、加强文化融合与沟通能力培养、建立人才激励机制以及加强国际人才服务体系建设等措施，可以有效应对人才交流国际化面临的挑战，促进人才的流动与合作，提升集成电路产业的创新能力和竞争力。在全球化的背景下，集成电路产业应抓住人才交流国际化的机遇，积极推动人才资源的优化配置，为产业的可持续发展提供坚实的人才支撑。同时，政府、高校、科研机构和企业应共同努力，营造良好的人才发展环境，吸引更多优秀人才投身于集成电路产业，共同推动我国集成电路产业在全球范围内的崛起和发展。

（五）政策支持国际化

集成电路产业是现代信息技术的基石，是国家战略性新兴产业的重要组成部分。随着全球科技竞争的加剧和数字化转型的推进，集成电路产业的发展面临着诸多机遇和挑战。政策支持作为推动产业发展的重要手段，其国际化对于提升产业竞争力、促进技术创新、拓展市场空间具有深远意义。

1、集成电路产业政策支持国际化的重要性

通过政策支持国际化，能够吸引全球优秀的集成电路企业、

人才、技术和资金等资源流入国内，加速产业的集聚和发展。国际先进的技术和经验能够为国内产业提供借鉴和创新的动力，提升产业整体水平。

政策支持有助于鼓励企业加大研发投入，开展前沿技术研究和创新。国际化的政策环境能够吸引国际科研机构和创新团队参与合作，促进跨领域、跨学科的技术融合与创新，推动集成电路产业技术的不断突破和升级。

政策支持能够帮助国内集成电路企业提升在全球市场的竞争力。通过制定优惠政策、提供资金支持、优化产业发展环境等方式，支持企业进行技术升级、扩大产能、拓展市场份额，在国际竞争中占据有利地位。

政策支持有利于引导国内集成电路企业积极开展国际化合作与并购，拓展国际市场，实现产业链的全球布局。提升企业在全球价值链中的地位，增强产业的国际影响力和话语权。

集成电路产业是国家信息安全的重要保障领域。政策支持国际化有助于提升国内集成电路产业的自主创新能力和供应链安全，减少对国外关键技术和产品的依赖，保障国家信息安全和经济安全。

2、集成电路产业国际经验借鉴

美国通过一系列政策措施支持集成电路产业发展，如国家半导体技术中心（NSTC）的设立、研发税收优惠、政府采购政策

等。注重基础研究和前沿技术研发，鼓励企业创新和竞争，同时通过贸易保护措施保护本土产业。

欧洲各国也制定了相关政策支持集成电路产业，如欧盟的“地平线 2020”计划、创新基金等。强调产业协同发展，促进产学研合作，加强知识产权保护，提升产业整体竞争力。

日本通过财政补贴、税收优惠、产业园区建设等政策支持集成电路产业。注重人才培养和技术创新，推动企业与高校、科研机构的紧密合作，提升产业的核心竞争力。

3、集成电路产业国内政策举措

国家和地方政府设立了一系列集成电路产业发展专项资金，用于支持企业研发创新、产能建设、技术改造等。通过贷款贴息、投资基金等方式提供资金支持，降低企业融资成本。

出台了一系列税收优惠政策，如集成电路企业所得税优惠、研发费用加计扣除等，鼓励企业加大研发投入和技术创新。

建设了一批集成电路产业园区，提供优惠的政策环境、基础设施和配套服务，吸引企业集聚发展。园区内还开展产学研合作、人才培养等活动，促进产业的协同发展。

加强知识产权保护力度，建立健全知识产权保护体系，打击知识产权侵权行为，为企业创新提供良好的法治环境。

制定了一系列人才政策，吸引国内外优秀集成电路人才。包

括提供人才补贴、住房保障、子女教育等优惠措施，建立人才培养和引进机制，提升人才队伍素质。

4、集成电路产业政策支持国际化面临的挑战

国内各部门和地方政府的集成电路产业政策存在一定的分散性和协调性不够的问题，政策之间缺乏有效的衔接和整合，影响政策效果的发挥。

部分政策在实施过程中存在落实不到位、执行效率不高的情况，企业对政策的知晓度和获得感有待提高。政策评估和调整机制不够完善，难以根据产业发展动态及时优化政策。

随着全球集成电路产业的快速发展，国际竞争日益激烈。其他国家和地区也纷纷出台优惠政策吸引集成电路企业和人才，我国面临着来自国际的竞争压力不断加大。

尽管我国在集成电路产业政策支持下取得了一定的发展，但与发达国家相比，在核心技术研发、创新能力等方面仍存在差距。政策支持需要更加注重提升企业的自主创新能力，突破关键技术瓶颈。

集成电路产业涉及多个环节和领域，产业生态环境的完善对于产业发展至关重要。目前，我国在产业链协同、标准制定、测试验证等方面还存在不足，需要进一步加强产业生态环境建设。

集成电路产业政策支持国际化是推动产业发展的重要途径。通过借鉴国际经验，结合国内实际，加强政策协调与整合，提升

政策执行效果，增强国际竞争能力，提升技术创新能力，完善产业生态环境，以及加强政策创新与跟踪评估等策略的实施，可以更好地发挥政策支持的作用，促进集成电路产业在政策支持下实现国际化发展，提升国家在全球集成电路产业格局中的地位和影响力。同时，需要政府、企业和社会各方共同努力，形成合力，为集成电路产业的繁荣发展创造良好的政策环境和发展条件。只有这样，才能在全球集成电路产业竞争中赢得主动，实现我国集成电路产业的高质量发展。

五、未来展望

教育数字化经历了三个阶段，第一个阶段以静态的多媒体课件和教学软件服务（web1.0 时代）为特征；第二个阶段以沉浸式、开放性的资源服务（web2.0 时代）为特征；当前阶段则通过智慧教育平台来提供高质量、体系化、多类型的数字资源服务（web3.0 时代），以有效提升教育的个性化、智能化、虚拟化、公平性等。元宇宙、人工智能、大数据、区块链等技术在数字教育中深度融合，为集成电路教育的数字化转型建立了技术基础。

（一）教育技术与人才培养深度融合

集成电路教育数字化转型依赖于教育技术的革新。通过融合人工智能、虚拟现实、增强现实等新技术，教育技术在实现教育环境创新、教育内容重构、教育模式变革等方面发挥着越来越重要的作用。教育技术产业已与学科教育深度融合。

教育技术加速教育数字化改革进程。在智能时代，智能技术、

虚拟现实、虚拟化等技术的发展，全面推动了教育技术、教育产品的创新升级。新技术与新型教育技术的高速发展，也迫切需要学科教育进行全方位改革，以适应新时代对高层次人才培养的需要。新技术、教育技术、学科教育呈现出一体化发展趋势。从现状来看，全球教育技术产业也正在进化为“教育内容”、“教育模式”与“教育技术”融合的开放系统，融入人工智能、虚拟及增强现实等技术的教育技术市场正在迅速扩大，与教育的数字化改革形成良性循环。

教育技术产业与集成电路教育深度融合。首先，教育技术企业为集成电路数字化提供技术和产品支持。与政府的公共教育产品相比，教育技术企业具备技术、产品，市场三方面的优势，教育技术企业能敏锐发现市场动态，并及时改进和升级教育技术服务。教育技术的发展与高校集成电路学科教育深度绑定，可加快集成电路学科教育数字化转型速度；其次，高校集成电路人才培养目标与企业需求深度绑定，企业不仅是集成电路教育技术、教育平台、教育产品的提供者或者合作者，也是集成电路人才的需求方，企业对人才技能的需求更加明确，对市场需求变化更加敏感，集成电路人才培养目标和企业人才需求之间存在的不匹配的问题，有望在产学研一体化趋势中得到解决。

（二）虚拟技术促进教育优质资源普惠共享

随着虚拟现实、增强现实、虚拟仿真、虚拟化等技术的发展，集成电路人才培养正在形成虚拟空间和现实空间互补融合的教

育环境，这有助于突破时空限制，推动形成公平、个性化、自由的人才培养新模式。

虚拟空间与现实空间融合已成为教育环境的主要特征。许多国家已出台政策，以推动教育环境的智能化、虚拟化改革。早在2012年，我国教育部就提出了《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》，并于2014年发布《教育部办公厅关于开展2014年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知》，推动高等学校实验教学改革与创新，并先后批准认定了数百个国家级虚拟仿真实验教学中心和百余门国家级虚拟仿真教学项目，全面提升实验教学信息化水平，开展国家虚拟仿真实验教学项目建设。为加强未来智能教育环境建设，韩国颁布了《第6次教育信息化基本规划（2019—2023）》，致力于打造以人为本的未来智能教育环境及现实与虚拟空间融合的新型教学环境。2017年，美国发布了《国家教育技术计划2017》，进行教学方式改革，通过使用模拟、协作环境、游戏和认知等方式来吸引和激励学生。2022年，新加坡发布《教育技术计划》，通过在虚拟空间中开展基于兴趣的活动，培养学生的内在动力、激发学生的学习热情，实现学生的自我指导、自我管理与自我评价。另外，虚拟教育环境的发展，有助于突破学习者的时空限制、校际限制，促进教育公平，使任何人都能享受到优质教育资源。

数字化、虚拟化、智能化的教育环境正得到越来越多的关注，随着未来集成电路建模、仿真、设计、工艺制造、封测等虚拟化

及虚拟仿真技术逐步完善，集成电路学科教育环境也将深度重构，形成现实空间和虚拟空间融合的优质资源普惠共享局面。

（三）智能技术赋能个性化教育新范式

智能技术为教育模式的突破创造了新的机遇，关于个性化学习的相关研究取得了显著的成果。智能技术与教育技术的融合在增强交流互动、满足个性化学习、优化教学质量等方面凸显出重要价值。

智能技术赋能以学习者为中心的教学场景，形成以数据为驱动的因材施教教学新范式。个性化学习的教育模式是以学习者为中心，根据学习者认知状态、知识维度以及个体特征等提供最贴切的学习资源。各个国家和相关组织也深度关注教育的智能化与数字化服务，以支持以学习者为中心的教育模式。2017 年，国务院印发的《新一代人工智能发展规划》中明确指出：“利用智能技术加快推动人才培养模式、教学方法改革，构建包含智能学习、交互式学习的新型教育体系。建立以学习者为中心的教育环境，提供精准推送的教育服务，实现日常教育和终身教育定制化。”2023 年，中国教科院和之江实验室联合发布了《重构教育图景：教育专用大模型研究报告》，提出将教育大模型应用于教学，通过用户反馈和技术的多轮迭代来完善模型，把“以学习者为中心”的理念变成现实。2023 年，世界经济论坛发布《推动“教育 4.0”全球框架：投资未来学习，实现以人为中心的复苏》，提倡教育与人工智能技术融合，个性化地处理学习内容和进度。2023 年，

新加坡教育部推出“以技术变革教育”的 2030 年总体规划，提出利用人工智能等新技术，更好地为每个孩子制定个性化学习；形成所有学校分享技术支持的课程、资源和良好实践的文化。英国教育部在其网站也提出利用技术改善数字服务，以满足每个人对世界一流的教育的需求，英国的联合信息系统委员会提供了系列培训工具和服务，以提升师生的数字素养和数字能力。此外，韩国也致力于改变标准化和统一化的教育，推动将以人工智能为代表的数字技术引入个性化教育体制建设中。

智能技术将在集成电路的个性化教学中发挥重要作用。集成电路学科涉及到物理、器件、设计、工艺制造、封测等一系列流程，借助人工智能、知识图谱、虚拟平台等技术，形成多元智能的学习环境，学生可以很清楚的确定所学知识在整个集成电路系统体系中的方位，快速收集学习数据，提供诊断和制定学习内容，满足个性化学习需求。

（四）人工智能指引教育内容新方向

人工智能与 EDA 工具、虚拟仿真技术的融合发展，将引起未来集成电路教育内容的深刻变革。

知识图谱促进集成电路课程重构和教学过程变革。集成电路学科知识图谱作为集成电路知识语义网络，是依赖大数据、人工智能等技术构建的支持教学活动的重要工具，能够促进数字化教育资源建设，助力个性化学习体系发展。集成电路学科知识图谱通过对本学科知识实体和关系等信息的抽取，形成认知框架，对

集成电路数字教育资源的有效组织和管理，专业课程结构优化，促进教育过程的严谨、公平、个性化和准确性等具有重要意义。

人工智能促使集成电路学科教育目标向“人的培养”回归。人工智能、大数据等数字技术的快速发展预示着自动化技术将取代集成电路设计工程师部分设计任务，并在人类的日常生活中发挥重要作用。为此，集成电路教育创新必须回归“人的培养”这一教育本质，促使未来要注重利用人工智能、大数据、云计算等技术，开展以概念和逻辑为基础，以解决实际问题为导向，侧重培养学生人类独特的创造能力、思维能力、沟通协作能力等为目标的教育。