

内部资料
注意保存

科技参考

产业科技动态·未来产业

第 2 期 (总第 49 期)

徐州市科学技术局
徐州市科技情报研究所

2024 年 8 月

本期要目

- 全球主要经济体氢能产业发展政策及启示
- 地下储能储氢技术的前沿发展与应用分析
- 车规级 GaN 功率器件行业浅析
- 关于徐州市细胞与基因治疗未来产业重点发展方向的思考
和建议
- 脑机接口技术行业现状与未来展望

编者按

徐州瞄准打造“5+X”未来产业体系，突出技术攻关、中试孵化、强企育链、场景建设、人才集聚、金融赋能、创新治理和开放合作，系统构建未来产业全链条培育生态，抢占发展新赛道，培育发展新动能，加快培育壮大未来产业集群，助力构建面向未来的现代化产业体系、新质生产力。

市科技局面向科技前沿，紧盯未来产业发展动态，局产业研究专班设立未来产业研究团队，跟踪国内外未来产业和技术发展现状与趋势，结合我市产业基础优势，编发《产业科技动态》，开展科技特色研究活动，为相关部门、企业、园区、院所提供参考。

本册为未来产业专刊，每两月一期，主要关注氢能与新型储能、深地空间利用、第三代半导体、细胞和基因技术、通用人工智能5个成长型未来产业。

徐州市科学技术局

目 录

氢能与新型储能

全球主要经济体氢能产业发展政策及启示·····1

全球主要经济体对氢能产业发展战略定位分析·····5

深地空间利用

地下储能储氢技术的前沿发展与应用分析·····10

中国地下空间探测行业的政策环境研究分析·····14

第三代半导体

车规级 GaN 功率器件行业浅析·····18

第四代半导体氧化镓行业研究分析·····22

细胞和基因技术

关于徐州市细胞与基因治疗未来产业重点发展方向的思考和建议·····30

细胞与基因治疗（CGT）行业概况及国内产业布局·····39

通用人工智能

脑机接口技术行业现状与未来展望·····43

全球首个“RISC-V 车路云协同 1.0 验证示范系统”发布·····50

全球主要经济体氢能产业发展 政策及启示

全球低碳氢能发展总体上仍处于导入期，各国均围绕其氢能战略目标及侧重点，采取相应的产业政策以促进氢能产业快速发展。

一、低碳氢能发展处于起步期，加大科技投入不断破解技术瓶颈

从全球看，低碳氢能发展仍处于市场导入期。这主要体现在，氢能在交通、建筑、电力等新兴部门以及工业部门的氢冶金、绿氢炼化等新兴领域的部署和应用仍处于探索阶段，存在诸多瓶颈，绿氢规模制备和氢能创新应用的技术成熟度和装备可靠性有待提升，氢储运基础设施体系尚不成熟。欧美日等发达经济体围绕氢能“制储输用”全产业链加大资金投入力度，力求在重点领域打通氢能应用关键堵点，促进产业发展。例如，欧盟委员会 2022 年批准了 52 亿欧元公共资金，为一项名为“IPCEIHy2Use”的氢能产业化项目提供支持，预计将拉动 70 亿欧元民间投资，涵盖氢能技术创新和相关基础设施建设等领域；2023 年正式宣布成立“欧洲氢能银行”，目标是缩小氢能投资缺口，链接欧盟内外氢能供需，支持欧盟工业净零法案的实施。美国 2021 年颁布的《基础设施投资和就业法案》，授权拨款 95 亿美元用于清洁氢的研发和示范项目建设等。日本政府依托新能源产业技术综合，支持利用开发机构（NEDO）设立了 2 万亿日元的“绿色创新基金”

可再生能源电解水制氢、大型氢供应链建设等技术创新。这些工业化国家期望在产业导入期，通过加大关键技术环节科技投入，建立并巩固在氢能和燃料电池领域的领先地位。

二、氢能发展前景需规划引导，实施长效政策有利于稳定企业预期

欧美日等发达经济体均较早发布了国家层面的氢能战略或路线图，并在其中设立了远期战略目标及各时间段的阶段性目标。同时，建立并实施长效政策，为氢能产业发展、市场投资和技术创新提供稳定平台。《美国国家清洁氢战略和路线图》进一步设立了2050年的量化目标，稳定产业发展预期。除了在国家层面设定远期战略目标，上述各经济体还颁布了一系列财税及投资领域的长效激励政策，欧盟及美国对氢能给予的相关税收减免长达十年，日本最新发布的氢能战略规划也明确了未来十五年对氢能领域的投资计划和方向。

三、氢能解决方案成本仍较高，亟须多环节发力，突破经济性制约和加快应用场景落地

欧盟和美国按制氢、储运加和终端应用等三个主要产业链环节提供财政补贴，促进氢能全产业链协同发展，加快应用场景落地。

制氢环节，主要针对绿氢生产实施税费抵免和财政直接补贴。欧盟积极支持利用风能和太阳能等可再生能源制氢，对绿氢生产技术开发提供支持，降低电解槽投资成本和可再生电力成本。以2017年启动的欧盟 H2Future 可再生氢应用示范项目为例，该项

目也是当时全球最大的绿电制氢项目之一，获得了欧盟“地平线2020”项目的1800万欧元补贴。美国2022年通过《通胀削减法案》，其中45Q和45V对氢能提供了长达十年的生产税和投资税减免，符合条件的绿氢项目最高可获3美元/千克H₂的生产税收抵免和30%的投资税收抵免。在一些低工业电价的州，补贴后绿氢成本已实现与灰氢、蓝氢平价，竞争力大幅提升。

储运加环节，主要针对输氢管线、加氢站等氢能基础设施建设项目实施税费抵免和补贴政策。欧盟以资本支出补贴、上网电价补贴等方式为大规模储氢、输氢管道和加氢站等基础设施建设提供支持。美国规定储氢设备可享受全额30%的投资税抵免至2032年年底，之后逐年递减至22%和20%并于2035年到期，每年剩余的税收抵免可结转到下年的税款中，满足特定含量要求设备可额外享受10%投资税收抵免，州级税收抵免可与联邦税收抵免叠加共享。《通胀削减法案》规定加氢站可获30%建造成本或折旧资产6%的税收抵免，金额为3-10万美元不等。

终端应用环节，欧盟和美国主要支持氢燃料电池应用。目前，超过一半的欧盟成员国实施了相关补贴政策，包括登记税优惠、购买补贴、所有者税优惠、公司用车税优惠、非经济福利等。美国联邦政府和加利福尼亚州侧重于消费终端补贴，如造车免税、购车免税、停车免费、政府公车置换补贴等。

综上所述，主要工业国的能源决策者立足氢能产业发展实际，找准氢能在能源变革大潮中的发展定位，推出了匹配各自国情的

产业扶持政策。在可预见的未来，主要国家将加速科技革命赋能氢能产业转型升级，推动制度创新激发市场活力，促进交流合作开拓国际市场，以低碳氢特别是可再生氢作为氢能产业助力经济社会实现绿色低碳可持续发展的发力点，把握新一轮工业革命和产业变革的主导权，在大变革时代中赢得战略优势地位。

全球主要经济体对氢能产业发展战略定位分析

全球 150 多个国家和地区已提出碳中和目标，其中近 30% 制定了氢能国家战略或路线图。主要工业国将发展氢能作为加快能源低碳转型、抢占未来产业制高点、保障国家能源安全、培育经济新增长点的重要抓手，争做氢能产业的全球领导者。由于在资源禀赋、转型压力、创新能力和国内市场空间等方面存在一定差异，不同经济体对氢能产业的战略定位和发展侧重点有所不同。

一、欧盟和美国将氢能产业作为实现碳中和的重要战略方向，积极提升本土氢能供给能力，扩大国际贸易，争当全球氢能产业发展的“领头羊”。

欧盟发展氢能产业的主要目的是提升能源保障能力，巩固能源转型领先优势，加快重点行业脱碳步伐。近年来随着欧盟能源转型步入深水区，碳排放量最大的工业部门面临碳减排难题。为夯实经济振兴根基重塑工业竞争力并实现脱碳目标，正在大力支持氢能特别是低碳足迹氢（下称低碳氢）发展，为钢铁、化工等难减排行业提供碳中和解决方案。欧盟 2020 年发布氢能战略，设立了清洁能联盟，提出要将氢能在欧洲能源结构中的份额从目前的不足 2% 提高到 2050 年的 13%-14%。欧盟本土能源供给较少，能源对外依存度较高，2020 年近六成能源依赖进口。2022 年俄乌冲突发生后，为摆脱对进口俄罗斯能源的依赖，欧盟推出了

“REpower EU”能源计划，明确提出到2030年生产1000万吨可再生氢，并进口1000万吨可再生氢的发展目标，展示了欧盟以可再生氢为载体，加快能源转型步伐，保障自身能源安全的雄心。

美国将氢能视为能源转型的关键方向，自20世纪70年代以来，长期支持氢能和燃料电池关键技术研发和应用示范，目的是确保在氢能领域拥有全球领先的技术实力。近年来，美国出台了系列新政策支持清洁氢发展，力图驾驭未来产业的主导权。2021年拜登政府宣布美国计划于2050年实现碳中和目标，同年能源部发起了名为“HydrogenShot”的氢能科技攻关计划，拟用十年时间将美国清洁氢生产成本从目前的约5美元/千克降至2030年的1美元/千克。在《通胀削减法案》补贴政策引导下，美国企业发展清洁氢（绿氢+蓝氢）的动力大增。从规划目标看，2023年美国发布的《美国国家清洁氢战略和路线图》提出，在工业部门、重型运输、长期储能和清洁电网等领域切实推进清洁氢商业利用，明确了氢能产业的发展目标：2030年、2040年和2050年，美国清洁氢年产量将分别达到1000万吨、2000万吨和5000万吨，如果上述目标得以实现，通过氢气的清洁低碳生产和应用，到2050年可以使美国的温室气体排放量较2005年降低约10%。

二、沙特阿拉伯等资源型国家利用本土可再生能源等优势，力图到21世纪中叶争抢主要氢能出口国地位。

以沙特阿拉伯、澳大利亚为典型代表的资源型国家，拥有丰富的化石能源和可再生能源资源，积极致力于成为低碳氢能生产和出口大国，在碳中和时代保持能源主要出口国的地位。为抓住

全球能源加速转型带来的新机遇，澳大利亚、沙特阿拉伯先后发布了涵盖氢能生产和出口的产业扶持政策，与日本等主要能源进口国合作，携手开发氢能市场，争取在氢能国际贸易中占得先机。

澳大利亚 2019 年发布的《国家氢能战略》提出，力争到 2030 年成为全球氢能产业的主要参与者。澳大利亚拥有丰富的能源资源，制氢来源可选项较多，低碳氢能出口贸易首选太阳能发电等可再生能源制氢，其次为化石能源制氢与碳捕集封存（CCS）技术结合。西澳大利亚东南部正在规划建设一个综合性绿色燃料大型项目，配套 50 吉瓦风电和光伏装机，远期规划形成 350 万吨/年绿氢产能，预计 2027 年该项目做出最终投资决策。近年来，澳大利亚政府积极推动与日本、韩国等国的氢能产业合作，开拓氢能出口市场。

沙特阿拉伯虽暂未发布氢能国家战略，但明确表示将致力于成为世界最大氢气出口国，并将氢能作为国家长期能源战略的一部分。沙特阿拉伯不仅拥有巨大的天然气储量，同时拥有丰富的太阳能资源，在蓝氢，绿氢生产方面都具备资源优势。该国正在 NEOM 地区的 Oxagon 建设世界级绿氢工厂，计划投资 84 亿美元，整合 4 吉瓦光伏、风电发电和储能系统，预计 2026 年项目投产后，氢气产量预计可达 600 吨/日（约合 22 万吨/年）。沙特阿拉伯正在规划建设数个大型绿氢生产基地项目，展现了其未来抢占国际氢能出口市场的雄心。

三、日本、韩国等创新型国家依托本土技术创新体系，积极提升氢能装备制造、应用部署和国际贸易能力，试图打造未来产

业发展的新优势。

日本和韩国属于典型的资源匮乏型工业化国家，能源对外依存度长期保持高位、同时本土缺乏丰富的可再生能源资源。为保障能源安全，布局未来产业和实现碳中和目标，正在依托自身制造业基础和技术优势积极发展氢能产业，探索开发海外氢能资源。

日本是氢能发展的先行者，早在20世纪70年代就成立了氢能协会，开展氢能和燃料电池技术攻关，目前拥有的氢能和燃料电池技术相关专利数量位居世界前列，已在氢能制备、转换、储存、加注和燃料电池应用等关键领域形成了较高的技术壁垒。日本在主要工业国家中较早发布了氢能发展路线图，将发展氢能作为国策，大力推进氢能全产业链发展，积极建设氢能社会。2017年日本率先发布了国家层面的《氢能基本战略》，发布支持氢能发展的政策措施，积极培育氢能应用场景，明确了2030年的氢能发展目标。近年来，为解决国内能源资源匮乏过度依赖进口化石能源、核电重启困难等问题，同时推进工业深度脱碳进程，日本加快了氢能产业的发展步伐，计划依托氢能科技优势，积极开发海外氢能市场，弥补本土资源潜力不足的短板。日本政府提出，到2030年要在国内外形成15吉瓦电解水制氢能力，构建全球氢能供应链充分利用世界范围低成本可再生能源和褐煤等能源，结合电解水制氢和CCS等技术发展低碳氢，通过氢液化或化学转化等技术实现氢能远洋运输，氢气消费规模届时将达300万吨；到2040年和2050年，将分别达到1200万吨和2000万吨。日本2023年最新发布的氢能战略规划特别提出，未来十五年日本将投

资 15 万亿日元（合 7500 多亿元人民币）推广氢能应用，并将目标应用领域从以往的交通、居民和电力部门进一步拓展到供热、钢铁和石化等难减排行业，为 2050 年实现碳中和目标奠定基础。

韩国政府长期支持氢能科技研发，2003 年将氢能定位为韩国“21 世纪前沿科学计划”主攻技术领域之一。2018 年韩国政府将氢能经济与人工智能、大数据并列为三大战略投资领域，力争在氢能产业链各环节占得先机；2019 年发布《经济发展路线图》，提出要在 2030 年进入氢能社会；2021 年公布了旨在发展氢能产业的“氢能领先国家愿景”争取到 2030 年构建产能达 100 万吨的清洁氢能生产体系、将清洁氢比重目标从之前的 40% 提升至 50%，其远期规划的燃料电池汽车和加氢站目标均位于全球前列。韩国积极发展氢能的主要目的是保障能源安全，同时希望氢能产业能够成为未来经济发展新的增长极，打造氢经济领先国家。与日本相似，韩国也存在资源短板，希望构建海外氢能供给体系，积极与美国、澳大利亚、智利等资源国建立氢能双边或多边合作关系。

地下储能储氢技术的前沿发展与应用分析

随着全球能源结构的调整和碳中和目标的推进，氢能作为一种清洁、高效的二次能源，越来越受到关注。氢能的储存和运输是实现氢能大规模应用的关键环节。近年来，地下储能储氢技术因其具有大容量、低成本、安全性高等优点，逐渐成为研究热点。

一、地下储能储氢技术现状

地下储能储氢技术主要分为物理储氢和化学储氢。物理储氢主要包括高压气态储氢、低温液态储氢和固态储氢。高压气态储氢通过高压罐体储存氢气，技术成熟，但存在安全隐患。低温液态储氢通过将氢气冷却至 -253°C 液化储存，具有高储氢密度，但需要高能耗和复杂的绝热系统。固态储氢主要包括金属氢化物储氢、化合物储氢等，具有储氢密度高、安全性好等优点，但面临材料成本和储放氢速度等问题。

地下储氢技术主要利用盐穴和废弃矿井等地下空间储存氢气，储氢容量大、投资成本低，但需要解决氢气对储气库材料的腐蚀问题。盐穴储氢通过溶腔工艺在地下盐层中形成储氢空间，具有高气密性、低成本等优点，已在美国和欧洲得到应用。废弃矿井储氢则利用废弃矿井作为储氢场所，具有环保意义，但需要解决矿井的密封性和安全性问题。

二、地下储能储氢的国际前沿

美国在地下储氢技术方面具有领先地位。美国能源部(DOE)

资助的“HyStock”项目，成功利用地下天然气储气库进行氢气储存示范。2020年，DOE进一步推出了氢能储存研究计划，旨在通过技术创新降低地下储氢的成本和提升安全性。美国国家实验室和多所大学也在积极开展地下储氢技术的研究，包括氢气在地下岩石中的扩散行为、储氢材料的选择及其性能等。

欧洲在地下储氢技术方面也取得了显著进展。德国在盐穴储氢方面进行了多项实验和示范项目，如“HyUnder”项目，通过盐穴储氢示范验证了技术的可行性和经济性。此外，欧洲多个国家还在废弃矿井储氢方面展开合作研究，探索这一技术的应用前景。英国和法国等国家在地下氢气储存领域也取得了一些进展，特别是在氢气与岩石、地下水相互作用的研究方面，积累了丰富的经验。

三、地下储能储氢的国内发展

我国高度重视氢能产业的发展，2020年，国家发展改革委和国家能源局联合发布的《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》明确提出，加快氢能及储能技术的研究与应用。2021年，科技部启动了“氢能技术与应用”专项，支持地下储氢技术的研发与示范。2023年，国家能源局进一步出台政策，鼓励地方政府和企业积极探索地下储氢技术的应用，以实现氢能产业的快速发展。

云龙湖实验室在地下储氢技术方面开展了深入研究。实验室通过与国内外知名科研机构和企业合作，积极推进地下储氢技术的创新与应用。2023年，徐州市科技局当年度重点产业技术研发合作项目“复合衬砌岩洞长期高效储存氢能关键技术研究”，云

龙湖实验室作为主导单位与挪威工业科学研究院（SINTEF）、中国矿业大学合作，研究复合衬砌岩硐氢能长期高效储存，旨在为矿区的绿色转型提供新途径。

四、地下储能储氢的技术挑战

地下储能储氢技术尽管前景广阔，但也面临诸多技术挑战。首先是储氢材料的选择和优化，现有的储氢材料如金属氢化物、复合材料等在储氢密度、储放氢速度、耐久性等方面还有待提升。其次是地下储氢环境的复杂性，包括高压、高温、湿度变化等，都会对储氢材料和设备的性能产生影响。此外，氢气的渗漏和扩散问题也需要进一步研究和解决，以确保地下储氢的安全性和可靠性。

五、地下储能储氢的未来展望

地下储能储氢技术作为一种新兴的氢能储存方式，具有广阔的发展前景。随着技术的不断进步和应用的逐步推广，地下储氢将成为实现氢能大规模应用的重要途径之一。未来，地下储氢技术的发展将主要集中在以下几个方面：

一是不断提升储氢材料的性能，开发新型储氢材料，如纳米材料、复合材料等，提高储氢密度和储放氢速度。优化地下储氢的工艺流程和设备设计，提高储氢系统的效率和安全性。

二是建立和完善地下储氢的技术标准和安全规范，确保地下储氢的安全性和可靠性。制定地下储氢的经济性评价标准，推动地下储氢技术的商业化应用。

三是政府应继续加大对地下储氢技术研发和示范项目的支持

力度，出台相应的激励政策，推动地下储氢技术的应用和推广。鼓励企业和科研机构加强合作，共同推动地下储氢技术的发展。

四是加快氢能产业链的建设，涵盖氢气生产、储存、运输、应用等各环节，形成完整的氢能经济生态系统。推动地下储氢技术在能源、交通、工业等领域的应用，实现氢能的规模化应用。

地下储能储氢技术作为一种新兴的能源储存方式，具有广阔的发展前景和重要的应用价值，它是实现氢能大规模应用的重要路径之一。在国家政策的支持和科技创新的推动下，通过不断的技术研发和产业布局，我国在地下储能储氢领域已经取得了一定进展。未来，随着技术的进一步突破和商业化进程的持续加速，地下储能储氢必将为我国能源结构优化和绿色低碳发展提供重要支撑。

中国地下空间探测行业的政策环境研究分析

一、国家层面的地下空间探测政策法规

随着中国迈向高质量发展的新阶段，对国土空间治理也提出了新要求：优化国土空间结构和布局，统筹考虑地上地下空间综合发展，形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局。国家陆续出台了《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》《中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》等文件，均提出统筹地下空间开发利用的总体要求，涉及地下空间开发利用、地质勘查、地下空间设施等方面。

表 1 地下空间探测相关政策法规汇总

政策名称	发布时间	发布机构	主要内容
《城市地下综合管廊建设规划技术导则》	2023.5	住房和城乡建设部	综合管廊建设规划期为近期 5 年，远期 20 年，原则上 5 年进行一次评估。根据评估结果及时调整。
《自然资源部关于加强国土空间详细规划工作的通知》	2023.3	自然资源部	要融合低效用地盘活等土地政策，统筹地上地下，鼓励开发利用地下空间、土地混合开发和空间复合利用，有序引导单一功能产业园区向产城融合的产业社区转变，提升存量土地节约集约利用水平和空间整体价值。
《扩大内需战略规划纲要（2022-2035 年）》	2022.12	中共中央、国务院	推进城市设施规划建设和城市更新。加强市政水、电、气、路、热、信等体系化建设，推进地下综合管廊等设施 and 海绵城市建设。
《“十四五”全国城市基础设施建设规划》	2022.7	住房和城乡建设部、发展改革委	完善城市交通基础设施，科学规划建设城市综合交通系统，加快发展快速干线交通、生活性集散交通、绿色慢行交通，实现顺畅衔接，提高居民出行效率和城市运转保障能力。

政策名称	发布时间	发布机构	主要内容
《“十四五”新型城镇化实施方案》	2022.6	国家发展改革委	提出在高质量推进新型城镇化过程中：推进管网更新改造和地下管廊建设；建立地下空间开发与运营管理机制，推行分层开发和立体开发；探索建设用地地表、地下、地上分设使用权，鼓励轨道交通地上地下空间综合利用。
《关于印发扎实稳住经济一揽子政策措施的通知》	2022.5	国务院	指导各地在城市老旧管网改造等工作中协同推进管廊建设，在城市新区根据功能需求积极发展干、支线管廊，合理布局管廊系统，统筹各类管线敷设。加快明确入廊收费政策。多措并举解决投融资受阻问题，推动实施一批具备条件的地下综合管廊项目。
《关于加强地质勘查和测绘行业安全生产管理的指导意见》	2021.3	自然资源部	落实地质勘查和测绘行业安全生产属地管理职责，加强对地质勘查和测绘行业安全生产的管理和指导，维护人民群众生命财产安全，保障经济社会发展，督促相关单位在工作中把安全生产作为重要任务。
《中华人民共和国国民经济与社会发展“十四五”规划》	2021.3	国务院	规划中对完善新型城镇化战略、提升城镇化发展质量提出了新要求，明确提出以“统筹地上、地下空间利用”的手段来转变城市发展方式，实现城市品质的全面提升。
《国家综合立体交通网规划纲要》	2021.2	国务院	构建高精度交通地理信息平台，加快各领域建筑信息模型技术自主创新应用。
《关于加强城市地下市政基础设施建设的指导意见》	2020.12	住房和城乡建设部	开展地下设施普查，建立和完善综合管理信息平台，统筹城市地下空间和市政基础设施建设，建设健全协调机制，提高建设效率，减少安全隐患及事故，提升城市安全韧性。
《关于统筹推进自然资源资产产权制度改革的指导意见》	2019.4	国务院	加快推进建设用地上、地表和地下分别设立使用权，促进空间合理开发利用，重点开展空间开发权利等重大理论和实践问题研究。
《城市地质调查总体方案（2017-2025年）》	2017.11	中国地质调查局	提出了开展“空间、资源、环境、灾害”多要素城市地质调查，构建地上地下一体化的“透明城市”的目标。
《关于加强城市地质工作的指导意见》	2017.9	国土资源部	部署城市地质调查示范，探索完善城市地下空间资源开发利用模式和管理制度。

表2 国家层面地下空间行业标准汇总

标准类型	标准名称
基础 / 通用标准	GB/T41925-2022 《城市地下空间与地下工程分类》
	GB/T41455-2022 《地下管线要素数据字典》
	GB/T28590-012 《城市地下空间设施分类与代码》
	JGJ/T335-2014 《城市地下空间利用基本术语标准》
规划设计	GB/T41447-2022 《城市地下空间三维建模技术规范》
	GB/T51358-2019 《城市地下空间规划标准》
	GB/T35636-2017 《城市地下空间测绘规范》
	GB/T51336-2018 《地下结构抗震设计标准》
施工建设	GB50208-2011 《地下防水工程质量验收规范》
	GB50108-2008 《地下工程防水技术规范》
	DL/T5827-2021 《地下洞室绿色施工技术规范》
	JGJ165-2010 《地下建筑工程逆作法技术规程》
	JGJ/T212-2010 《地下工程渗漏治理技术规程》
运营管理	GB/T42987-2023 《城市地下空间数据要求》
	GB/T35644-2017 《地下管线数据获取规程》
	GB50208-2011 《地下防水工程质量验收规范》

(图表资料来源：中商产业研究院整理)

二、相关法律法规的缺陷和不足

(一) 政策体系不完善

受历史因素影响，地下空间开发利用与管理方面的专门规定还非常少，当政府法规部门在建立地下空间规划与管理所有权标准时，缺少了强有力的法律保障，使得地下空间的发展仍处在不可依赖的状况。因为政府政策和立法相对滞后性，国家规范标准

比较片面，所以并不能针对实际发展问题进行有效指导。

（二）地下空间利用缺少科学的规划和有效管理

近年来，以达到高效利用土地，加快推进城市经济发展的目的，地下空间的开发利用得到了各级政府的重视，地方政府积极开展对地下空间的利用规划。但对地下空间的利用还存在很多问题，地下空间开发利用的规划层次与覆盖面不足不能够达到高效利用地下空间的目的，与一些发达国家相比在规划理念和行政管理手段上存在明显差距，导致各个设施之间缺乏整体性，地上和地下工程的开发者缺少信息交流，地下空间设施的配套工程与地上不协调，造成权利冲突，严重影响地下空间开发的综合效率。

三、解决措施

建立健全法律体系。从法律上明确地下空间权，建立我国地下空间开发管理的专门法律，提升立法位阶，完善地下空间规划法律体系，确保法规之间的协调性和整体性。

设立专门管理机构。建立明确具体的地下空间开发专门管理机构，明确各个职能部门和下属机构的管辖范围和执法力度，确保地下空间探测行业的有序管理和执法。

加强综合规划和长远战略研究。对城市地下空间资源的总量、需求量、已开发量以及保留待开发量等数值进行综合研究分析，结合地方发展特色，制定综合的城市长远发展规划，为地下空间探测行业提供科学指导。

加强政策宣传和解读。政府应加强对地下空间探测行业政策法规的宣传和解读工作，提高企业和公众对政策法规的认知度和理解度，促进政策法规的有效实施。

车规级 GaN 功率器件行业浅析

氮化镓（GaN）电子器件具有更高耐压、更快的开关频率、更小导通电阻等诸多优异的特性，在功率电子器件领域有着广泛的应用前景。目前 650V 级的 GaN 基横向功率器件（如高电子迁移率晶体管）已经广泛应用于消费类电子产品的快充设备、大数据中心的电源管理系统，而用于电动汽车上的 1200V 级器件是 GaN 功率电子器件领域的研究热点和难点。

一、车规级氮化镓功率器件进入新纪元

从全球角度看，在特斯拉的领头效应下，全球范围内已有不少车企和 Tier 1 企业（车厂一级供应商）发布车用第三代半导体功率器件。丰田与日本名古屋大学合作开发“全氮化镓汽车”，且目前宝马也已经加入氮化镓汽车应用这一阵营，车规级氮化镓功率器件市场规模进入新纪元，其市场规模不断升高。在电动汽车领域，目前 EPC 和 Transphorm 已经通过了车规认证。与此同时，BMW Ventures 对 GaN Systems 公司的投资，表明了汽车行业越来越认可和重视 GaN 功率器件解决方案应用于电动汽车及混合动力汽车。全球氮化镓产业规模呈现爆发式增长，值得一提的是，电动汽车领域的年复合增长率高达 185%。

二、车规级氮化镓器件的国外科技创新发展概况

美欧日等国家和地区的这些企业和机构正在努力研发发展 GaN 在大电压下的潜力。

（一）Odyssey（奥德赛）的革命性创新

Odyssey 公司凭借高质量的块状 GaN 晶圆作为其专有的垂直传导功率开关晶体管的衬底，在 GaN 中实现区域选择性掺杂工艺，宣布完成 1200V 耐压等级 GaN 垂直结构结型场效应晶体管器件的产品化开发。Odyssey 的 1200V 垂直 GaN 产品样品制作完成，于 2023 年第一季度开始向客户发货。1200V 产品细分市场预计将以 63% 的年复合增长率更快地增长。Odyssey 公司的目标是完全取代目前由 SiC 服务的更高功率器件市场。

（二）YESvGaN 项目进展

在 PCIMEurope2023（2023 年德国纽伦堡电力电子系统及元器件展览会）上，博世展示了其 YESvGaN（垂直硅基氮化镓）项目的进展，博世已经实现在硅和蓝宝石上生长了二极管击穿电压超过 500V 的堆叠层，并在 150mm GaNonSilicon（氮化镓上硅技术）晶圆上去除了硅，形成了 4 μ m 厚、最大直径为 5mm 的 GaN 薄膜。不过博世还没有到最终晶体管完成的阶段，目前正在围绕着验证技术是否可行进行大量的研究。如果该技术得以实现，将有望加速垂直 GaN 的量产化。除此之外，比利时的研究实验室 imec 在 200 毫米晶圆上展示了突破性的 GaN 工艺，该工艺首次可以在高功率 1200V 设计中替换碳化硅。

三、车规级氮化镓器件的国内科技创新发展概况

1200V 级氮化镓器件的高效率和紧凑尺寸使其成为车规级大功率零部件的理想选择，但在国内电动汽车领域的应用目前还处于发展阶段，没有量产供货车厂，在技术上与国外技术差距明显。还需建立百家争鸣，百花齐放的良好竞争生态，进一步加强量产的技术和工艺攻关。

（一）能华微电子

江苏能华微电子科技发展有限公司创办于2010年，在IEDM2023国际电子器件领域顶级会议，全球首次报道1200VGaN高低压兼容制备工艺，基于该技术研制的1200VGaN半桥集成芯片实现了800V/1MHz/175°C条件下无串扰工作。包含高压增强型GaN器件、低压增强型GaN器件、二极管、电阻和电容等，其中高压器件击穿电压达2300V，在1200V电压下的关态漏电仅为100pA/mm，浅槽隔离结构击穿电压达3000V。该成果体现了GaN器件在1200V应用领域的优势，将领衔推动GaN器件在1200V应用领域的广泛应用。

（二）致能半导体

广东致能科技有限公司成立于2018年12月，2023年11月宣布完成首个1200VD-Mode高可靠性氮化镓平台建设。在满足1200V系统可靠性条件下，本征击穿已经达到2400V，可广泛用于工业、新能源、汽车等领域。

（三）量芯微电子

苏州量芯微电子有限公司(GaNPower)成立于2018年，公司也是国际上为数不多的可以量产1200VE-mode硅基高压氮化镓产品的公司，同时具备集成GaN驱动产品研发实力。

（四）镓宏半导体

江苏镓宏半导体有限公司成立于2021年，拥有大尺寸硅基氮化镓材料大失配异质外延生长技术，研发的1200V增强型氮化镓大功率器件，导通电阻 $R_{on} < 100m\Omega$ ，反向漏电 $I_{ds} < 10\mu A$ 。国外车规级氮化镓功率器件技术快速发展，已经超出其传统功能的

范畴。国内车规级氮化镓功率器件的研制虽然可满足目前产业需求，与国外技术差距明显、在材料、器件、封装及应用等环节的核心关键技术和可靠性、一致性等工程化应用问题技术方面仍然是卡脖子的关键。

四、行业发展趋势

（一）技术创新领域

中国第三代半导体的发展仍与全球存在差距，未来第三代半导体行业发展主要解决当下行业共性技术难题，包括大尺寸 Si 基 GaN 外延问题，高压产品量产问题以及 Sic 单晶生长问题等。

（二）市场规模趋势

目前第三代半导体产业电力电子和射频领域各环节都呈现快速发展状态，衬底、外延及芯片产能加速扩张，成本持续降低，国内外主流厂家都制定了积极进取的市场策略。而中国拥有第三代半导体最大的应用市场，在新能源汽车、数据中心、5G、消费电子等强劲带动下，预计未来几年我国第三代半导体将继续保持高速增长。

五、总结

目前国内厂商已完成中低端车规级氮化镓功率器件研发与量产，但受设计水平的制约，高端车规级氮化镓功率器件我国仍处于研发阶段。没有设计水平及整体性能提升，我国自主可控的车规级氮化镓功率器件产业，中、高档产品不可能和欧美、日本在国内乃至全球范围内竞争。车规级氮化镓功率器件核心技术迫切要实现自主可控，解决“缺链”的现实问题。

第四代半导体氧化镓行业研究分析

氧化镓 (Ga_2O_3) 是一种“超宽禁带半导体”材料，超宽禁带半导体也属于“第四代半导体”，与第三代半导体碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN) 相比，氧化镓的禁带宽度达到了 4.9eV ，高于碳化硅的 3.2eV 和氮化镓的 3.39eV ，更宽的禁带宽度意味着电子需要更多的能量从价带跃迁到导带，因此氧化镓具有耐高压、耐高温、大功率、抗辐照等特性。并且在同等规格下，宽禁带材料可以制造 die size (管芯尺寸) 更小、功率密度更高的器件，节省配套散热和晶圆面积，进一步降低成本。

一、政策分析

(一) 政策背景

2022年8月，美国商务部产业安全局 (BIS) 对第四代半导体材料氧化镓和金刚石实施出口管制，认为氧化镓的耐高压特性在军事领域的应用对美国国家安全至关重要。此后，氧化镓在全球科研与产业界引起了更广泛的重视。

(二) 政策概要

2018年，北京市科委研发计划将氧化镓列为重点项目。

2020年10月，广东省发布《广东省培育半导体及集成电路战略性新兴产业集群行动计划 (2021-2025年)》提出化合物半导体抢占工程：大力发展氮化镓、碳化硅、氧化锌、氧化镓、氮化铝、金刚石等半导体材料制造。

2021年4月，山西省发布《山西省“十四五”技术规划》中提到半导体专用设备领域：开展大尺寸高纯度半绝缘4H-SiC单晶设备、氧化钾半导体单晶设备技术研究。

2021年7月，宁波市发布《宁波市新材料产业集群发展规划（2021-2025）》中指出培育发展氧化镓、金刚石、氮化铝超宽禁带第四代半导体材料。

2021年11月，山东省《山东省第三代半导体产业发展“十四五”规划》中提到坚持全产业链发展，提升产业竞争能级——提升材料制备能力，推动氧化镓等新一代超宽禁带半导体材料的研发与产业化。

2021年11月，天津市发布《天津市新材料产业发展“十四五”专项规划》提出重点突破关键战略材料——新一代信息技术材料，加快开发4英寸氧化镓单晶等宽禁带半导体批量生产制备工艺。

2021年，中国工程院发布《面向2035的新材料强国战略计划》中明确将氧化镓单晶列为重点发展项目。

2022年8月，国家科技部发布《十四五重点研发计划》中明确提到重点研发大尺寸氧化镓半导体材料与高性能器件研究。

（三）政策解读

第四代半导体材料在我国科技部的“战略性电子材料”名单中，很多规格国外禁运、国内也禁止出口，是全球半导体技术争抢的高地。目前，由于国内第四代半导体研发产业刚起步，因此相应政策较少，目前以各级地方政策为主，政策内容主要为鼓励和支持第四代半导体的研发工作。尽管国家层面针对第四代半导体技

术的直接支持政策尚不充分，但通过在集成电路和新一代信息技术等关键领域的政策扶持，间接地为第四代半导体技术的发展提供了有力的推动。

第四代半导体在功率器件、射频器件、5G通信等领域都有着广泛的应用场景，作为科技部十四五研发计划中的一员，未来一定会有更多政策出台推动第四代半导体的发展。

二、行业概况

（一）行业市场规模

氧化镓衬底和外延环节位于功率器件的产业链上游。类比碳化硅产业链，价值集中于上游衬底和外延环节。在碳化硅器件的成本中，47%来自衬底，23%来自外延，衬底+外延共占70%。随着氧化镓的成本进一步降低，衬底占比会比SiC小得多。

1. 氧化镓在功率器件的市场

日本氧化镓领域知名企业FLOSFIA预计，2025年氧化镓功率器件市场规模将开始超过GaN，2030年达到15.42亿美元（约人民币100亿元），达到SiC的40%，达到GaN的1.56倍。根据上文提到的，氧化镓产业链中价值量与碳化硅类似，因此可以估算出到2030年，氧化镓衬底+外延在功率器件的市场规模将达到70亿元人民币左右。

2. 氧化镓在射频器件的市场

氧化镓在射频器件的市场容量可参考碳化硅外延氮化镓器件的市场。SiC半绝缘型衬底主要用于5G基站、卫星通讯、雷达等方向，2020年SiC外延GaN射频器件市场规模约8.91亿美元，

2026 年将增长至 22.22 亿美元（约人民币 150 亿元）。

（二）行业市场前景

1. 新能源车市场为氧化镓提供了巨大的应用场景。

国内在车规级功率器件方面尚且很薄弱，目前尚无车规的 SiC MOS IDM。虽然有几家在 XFab 代工的 Fabless（无晶圆厂）企业可以快速具备较为全面的 SBD（肖特基势垒二极管）和 MOS（金氧半场效晶体管）规格推向市场，销售和融资进展较为顺利，但是未来仍要自建 FAB 形成 IDM（集成设备制造商）掌握产能、研发独有工艺，才能产生差异化的竞争优势。

充电桩对成本非常敏感，这就为氧化镓提供了机会。如果能满足甚至超过性能需求的同时，以成本优势获得市场的认可，那么氧化镓在这个领域的应用就有很大的可能性。

2. 48V 电池或成氧化镓在电力电子领域重要应用

随着锂电池的广泛使用，可以用更高的电压系统取代铅蓄电池 12V 电压系统，实现高效、减重、节能的目的。这些锂电池系统内将广泛采用 48V 电压，对于电子电力系统来说，需要的是高效率的 48V 向 12V/5V 转换。以二轮电动车市场为例，据 2020 年的资料显示，中国电动两轮车总体产量为 4834 万辆，同比增长 27.2%，锂电渗透率超过 16%。面对这样的市场，氧化镓、GaN 和硅基 SG-MOS 器件等 100V 耐压大电流器件正在瞄准这个应用发力。

3. 氧化镓将以消费电子领域作为切入口进入市场

长期来看，氧化镓功率器件将在 650V/1200V/1700V/3300V 的

市场中发挥作用，并预计在 2025 年至 2030 年将全面渗透车载和电气设备领域。短期来说，氧化镓的功率器件将首先在消费电子、家电以及高可靠、高性能的工业电源等领域出现。它的这些特性可能使其在硅（Si）、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等材料之间形成竞争。

三、产业链分析

（一）产业链概况

功率器件半导体产业链上游主要是原材料及设备供应环节，包括晶圆、光刻机、引线框架、宽禁带材料及其他辅助材料的供应；产业链中游主要是芯片制造设计封装的生产制造环节，包括功率半导体分立器件和功率模块；产业链下游的应用市场涵盖不同领域的电子电器应用环节，包括消费电子家用电器领域、工业控制网络通信领域、军工航空轨道交通领域以及从发电、输电到用电的整个流程。

1. 上游衬底：大尺寸衬底尚未量产

SiC 从 2 寸到 6 寸花了 20 年（1992-2012），而氧化镓从 2 寸到 6 寸仅 4 年（2014-2018），目前日本 NCT 公司领跑全球氧化镓产业，供应全球近 100% 的氧化镓衬底，2 寸片 2.5 万元，4 寸片 5-6 万元。中电科 46 所在 2018 年创造了国内的氧化镓 4 寸记录，山东大学于 2022 年也报道了 4 寸，目前国内还未出现有量产能力的公司或院校，一定程度上限制于砷坩埚的成本。

2. 中游器件：日本产业链完善、中美后来居上

得益于衬底和外延片的本国供应，最先形成日本国内的氧化

镓产业链；美国的器件研究成果最突出，各种创新的结构和工艺极大地推动了氧化镓器件的进步；随着我国衬底和外延的进步，器件相关结果也达到了国际水平。

（二）竞争分析

1. 日本：IDM 全产业链领跑全球

国际上只有日本形成量产并开始产业化的应用，主要应用领域为工业电源、工业电机控制等，产业方以安川电机、佐鸟电机为主要代表。日本预计将在 2023 年量产氧化镓功率器件：

日常 NCT 公司已在 Ga_2O_3 实验线上制造了器件样品，正在建设量产线，计划 2023 年量产。

日本 FLOSFIA 将在 2023 年 Q2 之前，氧化镓器件的产能达到每月数十万个，向汽车零部件厂商等销售。

日本电子零部件厂商田村制作所也将在 2024 年以每月数万个的规模启动生产，到 2027 年将产能提高至每月约 6000 万个。

2. 美国：氧化镓器件研究最为先进

美国目前仅 Kyma 公司有 1 寸衬底产品，单晶尺寸上落后于中国，产业链也较为空白。器件成果非常突出，创新能力强大，各种创新的结构和工艺极大地推动了氧化镓器件的进步。

3. 中国：衬底环节紧追日本

我国的氧化镓衬底能够小批量供应，外延、器件环节产业化进程几乎空白，研发主力军和突出成果都在高校和科研院所当中。不过，我国氧化镓器件的研发处于世界前三，在 IP 方面，扭转了

在 SiC 领域的被动局面。目前的氧化镓的产业阶段类似 SiC 在特斯拉 Model 3 推出之前的状态，技术储备已经完成，等待标志性事件引爆市场。

目前国内主要从事氧化镓相关研发和产业化的企业以及相应成果有：

(1) 中国科大国家示范性微电子学院龙世兵教授课题组在氧化镓器件的研究方面取得了突破。

(2) 浙大杭州科创中心在 2022 年成功制备了 2 英寸的氧化镓晶圆，于 2024 年 8 月，由中国科学院院士杨德仁担任首席顾问的镓仁半导体完成 Pre-A 轮融资并于杭州银行达成战略合作。

(3) 杭州富加镓业由中国科学院上海光学精密机械研究所与杭州市富阳区政府共建，专业从事氧化镓单晶材料设计、模拟仿真、生长及性能表征等工作。

(4) 北京铭镓半导体专注于氧化镓材料及其功率器件产业化的研发，已经实现 2 英寸氧化镓衬底材料的量产。

(5) 中国电科 46 所成功构建了适用于 6 英寸氧化镓单晶生长的热场结构。

(6) 西安邮电大学的科研团队在 8 英寸硅片上成功制备出氧化镓外延片。

四、总结

目前，全球范围内对第四代半导体材料的研发正处于关键阶段，鉴于美国对氧化镓和金刚石等第四代半导体材料实施了出口

管制，中国面临着从基础研发起步，逐步推动产业化进程的挑战，以期在国际市场中占据一席之地。与此同时，日本作为第四代半导体材料产业化的先行者，其产品刚刚进入市场，也正处于接受市场检验和认证的阶段。各个国家和地区正在进行着一场关于未来半导体技术制高点的激烈竞争。

关于徐州市细胞与基因治疗未来产业 重点发展方向的思考和建议

一、产业概念及市场发展

细胞与基因治疗（CGT）是指将外源遗传物质导入靶细胞，以修饰或操纵基因的表达，改变细胞的生物学特性以达到治疗效果的一种新兴治疗方式。主要包括细胞治疗和基因治疗，细胞治疗又主要分为免疫细胞治疗和干细胞治疗，其中免疫细胞治疗根据免疫细胞的不同和作用机制的不同进行再划分。基因治疗目前主要集中在基因药物和基因诊断两个方面（详见附表1）。随着生命组学、基因测序、生物计算等技术的加速转化，细胞与基因治疗产业已成为当今世界最具竞争力的朝阳产业之一，也是近年来发展最迅猛的新兴领域。国家《国民经济与社会发展“十四五”规划》《“十四五”生物经济发展规划》，将“基因与生物技术”列为七大科技前沿攻关领域之一，“重点发展基因诊疗、干细胞治疗、免疫细胞治疗、生物计算、脱氧核糖核酸（DNA）存储等新技术”。细胞与基因产业将迎来历史最佳发展机遇期。

目前，全球细胞与基因治疗产业（CGT）市场规模不断扩大，据统计，2016-2020年，全球CGT市场从0.5亿美元增长到20.8亿美元，复合年增长率为153%。预计到2025年将达到305.4亿美元，复合年增长率高达71%，成为全球极具成长性的重大产业之一。

附表 1 细胞与基因治疗定义及分类

【定义】细胞与基因治疗是指将外源遗传物质导入靶细胞，以修饰或操纵基因的表达，改变细胞的生物学特性以达到治疗效果的一种新兴治疗方式，主要分为细胞治疗与基因治疗。

1. 细胞治疗：主要包括免疫细胞治疗和干细胞治疗。

1.1 免疫细胞治疗：免疫细胞治疗指对特定免疫细胞类群进行分离、基因修饰、激活并扩增回输患者体内，可治疗多种疾病包括肿瘤、自身免疫性疾病和感染性疾病等，是一种极具前景的治疗方法。免疫细胞又称白细胞，主要有 B 细胞、T 细胞、自然杀伤细胞（NK 细胞）、巨噬细胞（M 细胞）、树突状细胞（DC 细胞）、肿瘤浸润淋巴细胞（TIL 细胞）等，主要治疗方法包括 CAR-T、CAR-NK、CAR-M、TCR-T、DC、CIK 等。

1.2 干细胞治疗：干细胞治疗是指利用自体或异体来源的干细胞经体外操作（分离、培养、定向诱导甚至基因修饰）后植入人体并进行治疗疾病的过程。

2. 基因治疗：主要包括基因药物和基因诊断等。

2.1 基因药物：基因药物是指将正常的或者有治疗作用的外源基因插入到靶细胞中，修复靶细胞中有缺陷的基因，或者替代有缺陷的基因，从而达到治疗疾病目的的生物医学技术产品。

2.2 基因诊断：基因诊断是在基因水平上对疾病或人体的状态进行诊断。它是以遗传物质（如 DNA 或 RNA）为检查对象，利用分子生物学技术，通过检查基因的结构或表达量的多少来诊断疾病的方法。

目前，全球细胞与基因治疗产业（CGT）市场规模不断扩大，据统计，2016-2020年，全球CGT市场从0.5亿美元增长到20.8亿美元，复合年增长率为153%。预计到2025年将达到305.4亿美元，复合年增长率高达71%，成为全球极具成长性的重大产业之一。

我国细胞与基因治疗产业起步较晚，但发展迅猛。2023年预计达11亿元，在政策推动、技术进步、在研药品陆续上市等多重刺激下，2025年市场规模有望激增到155亿元，复合年增长率高达276%，成为全球最大的CGT治疗市场和发展速度最快的区域之一。

二、技术创新及发展趋势

近年来，细胞与基因治疗领域研究热点频现，涵盖免疫细胞治疗、干细胞治疗（包括类器官）、基因药物、基因诊断全部细分领域。在免疫细胞治疗方面，以CAR-T细胞疗法为热点的靶向免疫治疗逐渐向通用型和多靶点发展；在干细胞治疗方面，其临床应用范围不断扩展，修复或再生受损细胞和器官正在成为可能；在基因药物方面，小分子核酸（RNA）药物正逐步成为研发热点；在基因诊断方面，目前主要技术创新热点包括测序（Sanger测序、NGS测序及单分子测序）、PCR（qPCR、dPCR等）、基因芯片、核酸质谱等技术。

三、重点方向思考及发展建议

按照未来产业颠覆性、成长性、战略性、先导性等特性，结合细胞与基因治疗前沿热点方向和徐州市产业基础，选定**靶向免**

疫细胞治疗、干细胞及类器官、基因诊断三个产业领域作为徐州市布局细胞与基因治疗重点方向。

（一）靶向型免疫细胞治疗

1. 选取依据

【应用前景】靶向型免疫细胞治疗将主要应用于抗肿瘤（包括血液淋巴瘤及实体瘤等）及自身免疫性疾病领域，未来将迎来数千亿乃至万亿美元的市场。

【治疗优势】靶向型免疫细胞治疗主要方法包括 CAR-T、CAR-NK、CAR-M、TCR-T、DC、CIK 等，与传统治疗方法相比，尤其在抗肿瘤领域，具有靶向性强、副作用小、发挥作用时间长等优势（详见附表 2）。

【产业基础】徐州医科大学在 CAR-T 免疫细胞疗法国际国内领先，其在全球最早开展 CD19 和 BCMA 双靶向人源化 CAR-T 细胞治疗骨髓瘤临床研究，能同时清除肿瘤细胞和肿瘤干细胞，有效率 92%，治愈率 62%，疗效显著优于美国上市的同类产品，已完成 50 例多中心临床研究。其研发的通用型 CAR-iNKT 已经通过优化制备方案，能够使制备的 iNKT 纯度达到 99%，体外扩增倍数超过 2000 倍，达到临床应用数量级，细胞体内存活提高 100 倍，未来有望实现关键技术突破，带来相关产业产值爆发性增长。

【临床优势】徐州市拥有丰富临床资源，常年总诊疗数超 6000 万人次，医疗服务周边 20 个城市 1.2 亿人口，为靶向型免疫细胞治疗奠定重要临床基础，近期，市科技局正牵头推进与北大医学部及北京肿瘤医院的合作，国内上市的两款 CAR-T 药物临床研究均由北京肿瘤医院牵头开展，在国内处于领跑地位。

附表2 靶向免疫细胞治疗各细分领域分析

1. CAR-T: 嵌合抗原受体 T 细胞免疫疗法。CAR-T 细胞疗法相对成熟，但赛道拥挤，国际已有 6 款产品上市，国内已有两款上市，具有靶向性强、仅需单次给药、特异性高等优点，存在对实体瘤效果不佳、可引起排异反应、仅支持自体回输等缺点。
2. CAR-NK: 嵌合抗原受体自然杀伤细胞免疫疗法。CAR-NK 临床研究显示出：不会引起移植物抗宿主病以及细胞因子风暴、对实体瘤治疗有效、支持异体回输（通用型）等优势，在抗肿瘤及自身免疫性疾病方面优势突出。
3. CAR-M: 嵌合抗原受体巨噬细胞免疫疗法。CAR-M 细胞具备对实体瘤有疗效、可增强 T 细胞杀伤作用、毒副作用小等优势，但存在无法增殖等缺点，限制其进一步使用。
4. TCR-T: T 细胞受体嵌合型细胞疗法。TCR-T 和 CAR-T 原理类似，都是对患者自身的 T 淋巴细胞进行体外改造，然后回输患者体内，区别在于识别抗原类型不同，TCR-T 可识别更大范围的潜在肿瘤特异性抗原，可以更好的对抗实体瘤，但需要 MHC 分子，无法研发出通用性 TCR-T。

2. 实现路径

为加快通用型免疫细胞疗法在徐州市布局发展，建议从以下几个方面进行布局和实施：一是加快重点企业培育。支持徐州医科大学（崛创生物）靶向免疫细胞疗法进入临床研究 I、II、III 期，直至获批上市，在创新研发、资本融资、临床试验、审评审批、

市场准入等方面进行全方位全生命周期孵化和支持。二是强化重点产业布局。加强靶向免疫细胞疗法高科技企业、高层次人才、高技术项目招引，加快淮海经济区生物样本库建设，全面招引培育 CRO、CDMO、CSO 等服务外包机构，集聚形成包括细胞免疫治疗领域研发、生产、销售、服务等环节的全产业链布局。三是注重关键技术突破。重点支持靶向型免疫细胞疗法中 CAR 系列细胞的纯化、制备、扩增及避免免疫清除相关技术和药物代动力学方面技术研究。

（二）干细胞及类器官

1. 选取依据

【市场前景】干细胞指一类具有自我更新、多向分化潜能的细胞，在再生医学领域有广阔的应用前景，在细胞替代、组织修复、疾病治疗等方面具有巨大潜力。目前，用于细胞修复的干细胞治疗技术日趋成熟，逐渐形成了从基础研究、临床研究、临床转化，到产业发展的全链条体系，仅干细胞储存市场已达百亿级，此外，干细胞应用领域还包括美容、抗衰老等，未来 5 至 10 年，我国干细胞临床转化或迎来发展“黄金期”。

【技术基础】近年来，针对糖尿病、眼部疾病、心血管疾病等一系列疾病的干细胞疗法不断获得优化，治愈潜力不断增强。随着干细胞等技术升级及学科加速融合，器官制造开始实现初步应用，肝脏、皮肤等多种人造组织器官已实现在动物移植并存活，为类器官产业发展提供重要的技术支撑。

【政策基础】2023 年 6 月，国家药监局药审中心发布《人源

性干细胞及其衍生细胞治疗产品临床试验技术指导原则(试行)》，为干细胞治疗技术研发和临床转化提供政策支持。

【产业基础】徐州市在干细胞制备、存储和临床应用研究等方面已经具备了一定的先发优势，科源生物在生物样本库建设，诺航生物、优锐生命科技、徐州市健康研究院等在干细胞采集、制备、存储及间充质造血干细胞临床应用等方面处于国内领先水平。

2. 实现路径

为推动徐州市未来产业在干细胞治疗或类器官领域实现爆发性增长，建议从以下三个方面进行部署和实施：一是加快高端人才引进。顶尖科研院所人才团队引进，重点招引中科院生化细胞所、中科院大连化学物理所、复旦大学等在干细胞及类器官研究领域国内领先的人才团队及技术创新成果，集中力量建设一批新型研发机构或研究院用于吸纳顶尖人才和进行应用转化，深化人工组织器官构建等技术研发。二是扶持本地重点企业。集中力量推动本地诺航生物、科源生物、优锐生命科技、徐州市健康研究院等企业进行干细胞采集、制备、存储、临床应用和开发转化，支持本地企业获取国家脐带血造血干细胞/间充质干细胞存储资质，突破干细胞衰老和美容相关技术研究、干细胞修复病理损伤、组织器官再生等细胞技术临床应用。三是注重建设专业特色园区。布局规划建设干细胞(类器官)专业特色产业园区，在招商、用地(水、电)、融资、科研、人才等方面提供全方位专项政策支持，加快形成干细胞与类器官治疗领域产业集聚、耦合和裂变。

(三) 基因诊断

1. 选取依据

【市场前景】 基因诊断行业根据基因诊断应用领域可分为科研级基因诊断、临床级基因诊断和消费级基因诊断三种。基因测序应用主要有无创产前检测（NIPT）、植入前胚胎遗传学诊断（PGD/PGS）、遗传疾病风险检测等。其中 NIPT 是当前市场规模最大、最成熟的领域。2022 年，中国基因诊断服务行业市场规模为 192 亿元人民币，预计未来，随着基因治疗、细胞治疗等为代表的新一代生物技术日渐成熟，到 2030 年，中国基因诊断服务行业市场规模将达 1536 亿元人民币，年复合增长率达 26.05%。在医疗新基建风口之下，催生总价值上万亿的市场。

【技术基础】 液体活检技术近年来获得突破，其主要集中于检测和分析癌细胞释放到血液中的癌症基因。新一代基因测序技术结合液体活检技术将助力疾病精准诊断进入新发展阶段。液体活检技术指采用高通量测序、PCR、微流控芯片等手段对肿瘤患者体液标本中的 CTC、ctDNA、外泌体以及血小板等进行检测，获取肿瘤相关信息，具备实现早期筛查、实时动态监测、克服肿瘤异质性及提供全面检测信息等独特优势。

【政策基础】 目前，对癌症进行早筛查、早诊和早治，被认为是降低死亡率的有效方法。《健康中国 2030 规划纲要》也指出，要将癌症早筛作为重点工作内容，到 2030 年要实现全人群、全生命周期的慢性病健康管理。而基因诊断技术，作为肿瘤筛查和诊断的重要手段，也将覆盖更多应用场景，如肿瘤精准诊疗、生殖生育诊断、遗传病诊断、基因身份证等，并将链接众多新兴产业。

【产业基础】徐州爱湾医学是国内第一批深度融合临床质谱及高通量基因测序技术的公司，致力于代谢及基因多组学研究与转化的医学检验，在脊髓型肌萎缩症基因诊断、遗传性耳聋基因诊断等方面国内领先。阔然生物是业内领先的肿瘤精准医疗高科技企业，其主营业务为肿瘤基因诊断业务，覆盖脑肿瘤、实体瘤、血液肿瘤，其中脑肿瘤业务市场占有率30%。

2. 实现路径

为推动徐州市未来产业在基因诊断领域实现规模性集聚与增长，建议从以下三个方面进行部署和实施：一是推动关键核心技术攻关。大力发展基因测序、液体活检、体外免疫诊断等技术，推进重点疾病尤其是恶性肿瘤精准诊断治疗技术联合攻关。开展基因存储及分析、基因诊断、胚胎植入前遗传学筛查和基因检测等应用型技术研究工作。二是支持重点企业做大做强。充分利用淮海经济区医疗人口资源优势，支持重点企业基因诊断创新产品纳入医保支持体系及初期市场推广应用，推动基因诊断公共试验平台和设备资源共享。三是培育专业技能型人才。推动重点企业与徐州医科大学、徐州医药中专等高校共建人才实训基地，开设基因诊断、基因检测相关课程等。

细胞与基因治疗（CGT）行业概况 及国内产业布局

一、细胞与基因治疗（CGT）产业链

CGT 产业链上游主要提供细胞生产全流程中所需的仪器、设备、试剂耗材的供应商。由于国内产业起步较晚，部分中高端装备与耗材仍然以进口为主，国内企业的细胞培养及开发工艺、离心提取、分选收集、洗涤浓缩等工艺技术与外资企业存在较大的差距。但国产厂商正积极全面布局，逐步打开进口替代空间。

中游为药物研发公司以及研发和生产外包服务商（CRO/CDMO），由于 CGT 药物研发与生产的技术标准要求高，平台搭建与技术迭代需要较大的固定资产投资，因此大型制药公司和中小型科技公司更倾向于利用专业外包来降低成本，使相关 CDMO 行业率先受益，得到加速发展。

下游为细胞治疗的实施主体即三甲医院，一般医院提供临床平台，合作企业从事细胞的增殖、制剂研发，为医院提供细胞技术服务与支持或是为患者提供个性化治疗。

二、细胞与基因治疗（CGT）管线分布

CGT 在研管线药物与市场情况：据 ASCGT 数据，全球 3633 项 CGT 临床试验中，2024 项为基因治疗管线，包括 CAR-T 疗法在内的基因编辑，占比为 55%；803 项为不涉及基因编辑的细胞

治疗管线，占比为 22%。从全球 CGT 在研药物适应症分布来看，肿瘤和罕见病药物位居前列。

中国 CGT 药物临床在研管线约 600 项，除上市 5 款外，申请上市的 3 项，I 期临床 259 项，II 期临床 233 项，III 期临床 20 项，批准临床 26 项，申请临床 52 项。其中，I 期临床占比 43%，II 期临床占比 39%，说明中国 CGT 药物多处于临床早期阶段。

研究最集中的靶点依次为 CD19、BCMA、CD22、CD20、MSLN。应用技术最普遍的为 CAR-T、干细胞治疗、基因治疗。聚焦最多的适应症依次为实体瘤、B 细胞急性淋巴细胞白血病、多发性骨髓瘤、B 细胞淋巴瘤、肝细胞癌、急性髓系白血病。

免疫细胞疗法的主要类型包括 CAR-T、TCR 转导 T 细胞 (TCR-T)、肿瘤浸润淋巴细胞 (TIL) 和自然杀伤 (NK) 细胞等，其中 CAR-T 疗法是临床中的热门领域。截至目前，全球 I 期临床的 CAR-T 药品有 285 项，中国 133 项；全球 II 期临床的 CAR-T 药品有 169 项，中国 100 项。

从在研药物管线看，上海同样遥遥领先，CGT 药物管线数量 397 个，其次是北京 (226)、杭州 (114)、苏州 (108)、深圳 (88)。这种情况背后的主要原因在于长三角地区以往医药产业发展积累，其生物医药龙头企业众多，在资金、人才、研发 (或获取海外技术合作) 等方面优势明显，因此其企业在往 CGT 赛道切入也具有先发优势。

从管线数量 TOP10 企业来看，来自上海的企业或单位居多，

包括上海雅科生物、上海元宋生物、优卡迪、原启生物、邦耀生物等 5 家。其中上海雅科生物管线数量超 35 个，是国内 CAR-T 细胞临床研究病例数较多的单位。浙江大学和深圳市免疫基因治疗研究院的管线数也超过 25 个，位居前三，在临床研究上积累了大量技术成果。

三、细胞与基因治疗（CGT）市场分布

截至目前，我国有 9 款细胞与基因治疗产品获得国家药监局上市批准，其中 5 款 CAR-T 产品、1 款溶瘤病毒、1 款基因治疗、2 款 mRNA 疫苗。主要分布在上海、南京、天津、云南和深圳这 5 大城市，而上海以 4 款数量遥遥领先。

上海在 CAR-T 上亮点突出，有 3 款产品上市，来源于复星凯特、药明巨诺、科济药业。还拥有国内唯一的溶瘤病毒疗法——来源于三维生物的安柯瑞。南京和天津也各自跑出了 1 款上市 CAR-T 产品，来自南京驯鹿生物的伊基奥仑赛注射液和来自天津合源生物的纳基奥仑赛注射液。云南则依托沃森生物上市了 2 款治疗新型冠状病毒感染的 mRNA 疫苗。深圳虽然拥有全球最早上市的一款基因治疗药物——赛百诺的今又生，但因为疗效不佳、专利纠纷等各种因素，目前鲜见其身影，更何况新的 CAR-T、基因编辑治疗、mRNA 等技术在不断突破涌现，颠覆以往技术。

从企业数量看，据药渡数据显示，上海、北京、南京和苏州的 CGT 企业数量领先，处于全国第一梯队。上海在药物产品、企业集聚程度上均明显领先，在于其拥有的跨国药企优势，因为无

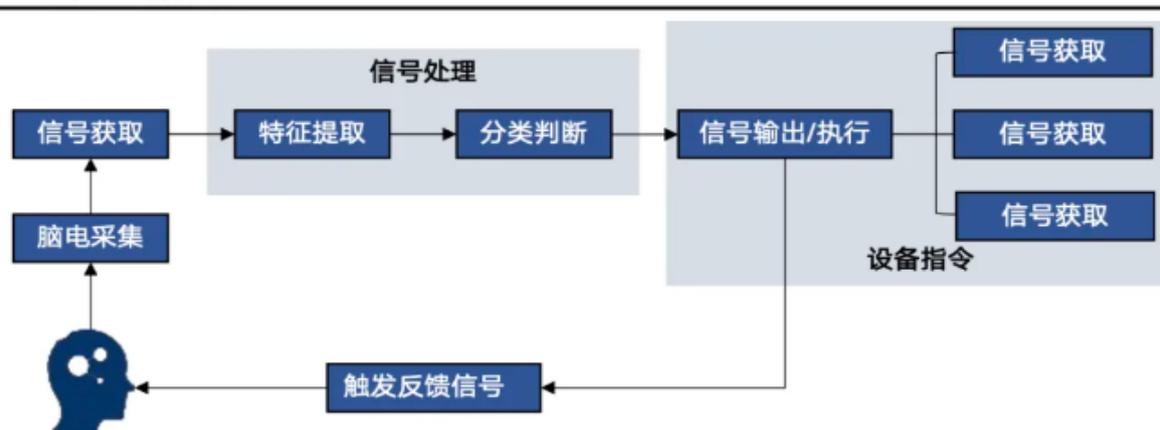
论是基因治疗还是 CAR-T 治疗技术最初都是由海外的企业率先实现突破，海外药企往往拥有领先性技术，而上海的国际化企业能快速引进这些领先技术。

脑机接口技术行业现状与未来展望

一、脑机接口技术起源与介绍

脑机接口是神经科学、生物医学、物理学等多项前沿技术的融合。1973年，美国加州大学洛杉矶分校教授雅科·维达尔正式提出脑机接口即“brain-computer interfaces”（以下简称：BCI）技术的概念和定义。BCI指在人或动物大脑与外部设备之间创建的直接连接，实现脑与设备的信息交换，BCI是一种测量中枢神经系统活动并将其转换为替代、恢复、增强、补充或改善自然中枢神经系统输出的系统，以改变中枢神经系统与其外部/内部环境正在进行的交互，经过近五十年的研究开发BCI已成为科学探究中发展最快的领域之一。

脑机接口工作方式



□ 脑机接口的工作流程包括脑电信号的采集和获取、信号处理（特征提取和分类判断）、信号的输出和执行，最终再将信号反馈给大脑。

- 信号采集：使用传感器，如脑电帽采集大脑信号。
- 信号处理：主要包括信号处理、特征工程、分类回归三个步骤。
- 信号的输出和执行：根据脑信号的含义向外界设备发送指令，以完成使用者意图。

二、脑机接口技术的应用及分类

经过国内外科研团队多年研发，BCI的应用已取得众多进展。目前BCI的实际应用主要在医疗领域，尤其在神经系统疾病，如在癫痫控制、脑卒中功能康复中发挥了很大作用。随着AI的应用、算力的提升，BCI新技术得到进一步发展。

BCI可促进脑卒中瘫痪患者、脊髓损伤高位截瘫患者损伤功能的康复。临床随机对照试验（RCT）结果显示，与常规康复患者相比，基于运动想象的BCI训练后瘫痪患者运动功能的评分显著增高。同时也可以通过BCI设备获取患者的运动意图，实现对假肢、外骨骼或者轮椅等外部设备的控制。BCI可以让运动神经元病患者脑电信号转换为键盘代码传输到目标设备，生成文字和语音文本，实现与外界的通信交流。BCI可对闭锁综合征、最小意识状态等患者进行意识分类判断、获取，并分析貌似“植物人”患者的脑电信号，掌握其意识状态，实现对意识障碍的诊断与评定，甚至促进意识障碍患者与外界交流。BCI可诊断不同病因的认知障碍，并可促进神经元和神经胶质反应以改善阿尔茨海默病的病理表现，通过神经反馈训练，BCI提高此类患者的注意力、视觉感知、情感调节和语言能力。可预测癫痫发作和定位癫痫病灶，基于癫痫脑电网络研究的BCI可评估癫痫患者的术后疗效，并进行实时反馈控制。

传统上，BCI按照实现的方式分为侵入式和非侵入式两种。侵入式BCI需要将电极或传感器植入大脑或神经组织中常见的有

基于皮质脑电图 BCI、微电极记录 BCI、立体定向脑电图 BCI 及深部脑刺激 BCI。

非侵入式 BCI 是指采用放置在头皮上的电极阵列等方法，采集脑电信号或者其他形式的大脑活动，常见的有基于脑电图、脑磁图、功能 MRI（磁共振成像）及功能近红外光谱 BCI。基于头皮脑电信号的无创 BCI 应用于脑卒中后上肢运动功能康复的研究结果均显示，经 BCI 技术干预后，亚急性或者慢性脑卒中患者的上肢功能得到显著改善。

脑机接口分类，按接入方式

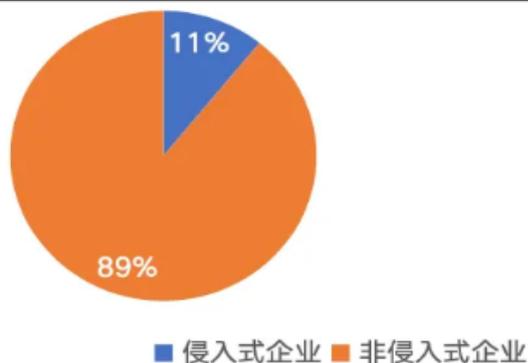
侵入式

侵入式脑机接口通常直接植入到大脑的灰质，因此可获得质量较高的神经信号。其缺点是容易引发免疫反应和愈伤组织，进而导致神经信号质量的衰退。

非侵入式

非侵入式接口不进入大脑，如使用脑电帽。但由于颅骨对神经信号的衰减作用和对神经元发出的电磁波的分散和模糊效应，使得信号分辨率不高。

国内BCI融资企业数，2015-2022H1



相对于非侵入式，侵入式技术壁垒较高：侵入式技术通常需要进行开颅手术，将电极植入到大脑皮层采集脑电信号，但也极

易引发人体的排异反应；非侵入式设备只需要用电极连接头皮来获取信号，对人体伤害较小，技术难度较低。

除了以上两种，最新提出的介入式 BCI 技术，介于侵入式与非侵入式之间，是指通过微创介入手术将介入脑电传感器贴附在脑血管壁上，采集相应脑区的神经信号。介入式 BCI 的创伤较侵入式 BCI 小，信号质量较非侵入式 BCI 高，但该项技术现处于实验验证阶段，还需阶段性验证开发。

三、脑机接口技术的发展现状

根据中国电子技术标准化研究院的《脑机接口标准化白皮书 2021》，2019 年全球脑机接口市场规模约 12 亿美元，预计 2027 年达 37 亿美元，年复合增速率约为 15.5%，目前脑机接口技术主要应用于医疗及健康保健场景，受到脑机接口技术和伦理、安全等因素的制约，无论是各国科研院所还是企业，研究重点都侧重非侵入式脑机接口，国内布局非侵入式技术企业占比大，2015-2022 上半年国内脑机接口行业获得融资的企业共 37 家，其中仅 4 家企业布局侵入式技术且获得融资，89% 企业均采用非侵入技术切入脑机接口赛道。

今年，多项侵入式 BCI 研究成果的发布引发社会广泛关注，脑机接口从实验室被推向了公众视野，成为当下投资热点。2024 年 1 月 30 日，由埃隆·马斯克创立专注于研究 BCI 技术的 Neuralink 公司宣布完成了首例人类大脑侵入式 BCI 植入手术。以皮质脑电图为主，放置于硬膜上的 BCI，由于没有与脑神经元

直接接触，也被称为半侵入性 BCI。2024 年 1 月 31 日，首都医科大学宣武医院赵国光教授团队、清华大学医学院洪波教授团队宣布完成全球首例无线微创植入硬膜上 BCI-Neural Electronic Opportunity (NEO) 的临床植入试验。

现阶段侵入式与非侵入式技术优劣各异无法相互替代，两项技术将长期并存、共同发展，直到技术成熟衍生出细分市场。脑机接口技术的发展将撬动医疗健康、教育、游戏甚至智能家居行业。麦肯锡《The Bio Revolution Report》预计，未来 10 到 20 年全球脑机接口产业产生经济规模将达 700-2000 亿美金。

当下脑机产业尚未成体系，企业、研究机构大多自给自足，场景覆盖面较窄。随着技术愈发成熟和资本的持续入场，目前康复医疗已成为主要市场，随着技术的推进和医疗商业化的奠基，有望推动脑机接口+N 个行业的深度结合。

未来 10 年将是脑机接口高速发展的 10 年，全球多家脑机技术创业公司崛起，商业发展潜力巨大。创新技术将推动市场应用的想象力，未来脑机接口不再单一出现，而是与商业生态系统共进退。以康复医疗为标杆，脑机接口将落实在多行业生态中。

四、脑机接口技术面临的挑战

尽管 BCI 技术在医疗领域中的应用前景广阔，包括在光标控制、神经修复和肢体康复、光学义肢，以及躯体感觉、听觉、语音合成器中的应用等，但目前还存在一系列技术与伦理上的挑战。

BCI 需要收集和分析脑电，或其他脑神经元活动信息，直接

与患者个人隐私关联，因此数据传输、存储安全问题不容忽视。随着微电子学和材料学科的创新发展，无线连接和微型化电极是未来 BCI 技术发展的重要方向。如何确保收集的数据仅用于计划中的医学研究，不被窃取、滥用或泄露，在整个技术开发和应用过程中必须重视。无线技术的应用，可以提升 BCI 的便携性，提高患者生活质量，对其信号传输安全性的保障措施，需要进行更高级的系统设定及有相关安全条例的保障。

与非侵入式 BCI 相比，侵入式 BCI 获得脑部信号质量高，解码技术稳定。目前多项重大进展研究均采用侵入式 BCI。然而，在开颅植入电极的过程中，感染、颅神经损伤等是须规避的重要风险，术前的植入计划制订需要多学科团队进行 MDT 病例讨论；长期植入脑组织材料的组织兼容性、获得电信号的稳定性、采用微电极须避免位移及保持采集精度，也是目前面临的技术挑战。进一步优化电极材料、减少对脑组织的免疫源性，以及提高 BCI 系统的稳定性是目前的重要工作。电池续航能力也是 BCI 设备长期植入的重要研究方向，长期植入后的供电稳定性、电极采样的精准性、脑组织的反应性等关键问题，均需神经科学、工程学、生物学、材料科学等多个学科协同攻关。

中国信息通信研究院云计算与大数据研究所发布的《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书（2023年）》中提出，医学领域 BCI 专利申请数量为 1239 项（2013-2022 年）。从脑神经信号的精确识别到复杂数据的处理分析，再到用户交互界面的设计，

BCI 技术的发展依赖于多学科的深度融合。如何实施技术转化制度，搭建上市后监管框架，促进技术商业化进程及临床应用，都是 BCI 技术稳健发展过程中需要解决的问题。如何进行规范化的临床试验研究，针对 BCI 系统设计和应用的效果鉴定，也是目前亟待解决的问题。鉴于患者损伤的神经环路及个体心理存在差异，导致 BCI 研究结果可能产生偏差，这对 BCI 临床试验设计提出了新的挑战。未来 BCI 的临床研究需要通过大机器学习、大数据分析等综合智能技术，关注临床试验中的个体差异，开发个体化的 BCI 解决方案，提高系统的有效性。

随着社会的发展，对医疗服务的要求不断提高。为了推进 BCI 及相关 AI 技术在医疗领域的应用，推动基于临床问题的医工交叉融合，建设自主化 BCI 和脑机融合系统，复旦大学附属中山医院（简称中山医院）在 2017 年 7 月建立神经心理影像智能工程实验室探索 BCI 技术在脑疾病及脑健康中的应用场景。自主开发的基于无创脑电图 BCI 技术和步态检测医疗机器人，赋能中山医院的医疗服务创新。

BCI 技术已被列为将会改变世界的十大新兴技术之一，相信未来可推广普及的 BCI 技术必将助力临床医师或健康从业者更好地提供优质、高效的医疗卫生服务。

全球首个“RISC-V 车路云协同 1.0 验证示范系统”发布

8 月 10 日，“上海 RISC-V 数字基础设施生态创新中心”揭牌暨“RISC-V 车路云协同 1.0 验证示范系统”发布活动在上海临港举行。行业专家、企业家、RISC-V 及智能网联汽车产业链上下游共同探讨 RISC-V 在智能网联汽车产业的生态建设，加快推进 RISC-V 在垂直行业场景的创新应用示范落地。

AGI（通用人工智能）时代，智慧交通是 AI 应用中最具创新活力的垂直行业之一，也是数字基础设施建设的重要组成部分。智慧交通体系的建设，需要交通、汽车、信息通信三大产业的交叉融合、相互促进、协同发展。智慧交通的未来，是车与路、车与车、车与云的深度协同。

上海 RISC-V 数字基础设施生态创新中心是由 RDI 聚力联盟与临港投控集团共同发起成立的一家开放式平台型组织，旨在聚合 RISC-V 生态链伙伴资源、探索 RISC-V 在各垂直行业场景的创新应用，助推 RDI 创新生态和产业的发展。活动现场，创新中心与上海临港投控集团签署战略合作协议。上海 RDI 生态创新中心总经理冷丽国发布“RISC-V 车路云协同 1.0 验证示范系统”。该系统是全球首个面向智慧交通场景应用的 RISC-V 车路云协同 1.0 系统，由上海 RDI 生态创新中心和奕斯伟计算、大唐高鸿、元石智算、车路通等生态链伙伴共同搭建。

在车端，上海 RDI 生态创新中心开发了符合 3GPP R14/R15

标准的车载 OBU 产品原型，完成了 C-V2X 协议栈的移植和验证，实现了原型机与现有商用 OBU 和 RSU 的互联互通；在路侧，基于奕斯伟计算 RISC-V 边缘计算芯片，开发了 MEC 硬件产品原型，完成了多模交通数据融合感知算法的移植和优化工作，并采用临港路口交通数据进行了测试验证，已完成的测试满足 SL2 等级要求，其中多数结果已达到 SL3 等级要求；在云端，上海 RDI 生态创新中心开发了 RISC-V 服务器原型硬件，在此基础上完成了操作系统、数据库、web 服务等一系列基础软件的移植适配，完成了交通数字孪生平台和应用软件的开发和移植。这是 RISC-V 技术在车路云一体化垂直行业应用上从理论探索到实践验证的关键一步。冷丽国表示，后续上海创新中心将继续迭代并完善 RISC-V 车路云协同示范系统，同时进一步探索 RISC-V 在其他垂直行业场景的应用，共同推动 RDI 生态建设和产业发展。现场，上海 RDI 生态创新中心、临港数字基建、奕斯伟计算、上汽集团、东软集团、大唐高鸿、延锋国际、天数智芯、中科驭数、忆芯科技、吉大正元、埃创科技、元石智算、奥凌科电子、锋行致远、车路通等 16 家企业代表联合启动“RISC-V 车路云协同 2.0 系统共建”，RDI 聚力联盟理事长单位奕斯伟计算公司高级副总裁、首席技术官何宁博士代表生态链伙伴分享“RISC-V 车路云协同系统共建规划”，进一步明确系统建设的阶段目标和时间表，旨在切实提升 RISC-V 架构在车路云协同系统中的应用广度和深度，进一步推广 RISC-V 在智慧交通及其它垂直行业场景中的创新应用。

奕斯伟董事长王东升表示，RISC-V 计算架构由于其简洁、开

放、灵活、低功耗、模块化及可扩展性等特点，正成为 AI 时代原生计算架构。他此前提出的 RDI（RISC-V Digital Infrastructure，RISC-V 数字基础设施）产业概念，是指所有采用 RISC-V 架构的数字基础设施，包括各场景的芯片、设备、软件、系统方案，以及由此形成的新网络、新算力、新数据、新设施、新终端等。RDI 产业是一个新鲜事物，生态还不完善，需要政产学研各界伙伴携手合作，共同推动生态创新和产业发展。北京大学讲席教授、RISC-V 国际基金会人工智能与机器学习技术专委会主席谢涛认为，RDI 的产业概念能结合地方及垂直行业需求来构建以 RISC-V 为核心底层架构的体系化解决方案，这个想法很好地契合当下国际上逐渐形成共识的思路，即针对特定行业或领域，在 RISC-V 上做指令集扩展，并团结生态链各企业分工合作，开源开放地共建系统软件栈，贡献到国际开源社区，打破当下封闭且垄断的软件生态。

RISC-V 数字基础设施生态创新和产业发展是必然趋势，更是机遇，需要生态链上下游伙伴开放合作、协同创新，紧密融合技术前沿与行业应用，推动 RISC-V 在更多垂直行业场景落地发展。

责任主编：鲍 斌

副主编：季小超 张 燕

编 辑：王 莹 史 伟 万 思

研究团队：张兆祥 杨 晨 谷 栋 杜 贵 杜明政



地 址：徐州市新城区元和路 1 号行政中心东综合楼 B 区

邮 编：221000

电 话：0516-83842594 邮 箱：xzskjqbyjs@126.com