

“十四五”能源领域科技创新规划

2021 年 12 月

目 录

前 言	1
一、发展形势	2
（一）世界能源科技发展形势	2
（二）我国能源科技发展形势	5
二、总体要求和发展目标	8
（一）指导思想	8
（二）基本原则	8
（三）发展目标	9
三、重点任务	10
（一）先进可再生能源发电及综合利用技术	10
（二）新型电力系统及其支撑技术	17
（三）安全高效核能技术	22
（四）绿色高效化石能源开发利用技术	26
（五）能源系统数字化智能化技术	39
四、保障措施	46
（一）健全能源科技创新协同机制	47
（二）完善能源科技创新平台体系	47
（三）推动能源科技成果示范应用	47
（四）突出企业技术创新主体地位	48
（五）优化能源行业技术标准体系	48
（六）加大规划任务资金支持力度	49
（七）加强能源科技创新国际合作	49
（八）加速能源科技创新人才培养	50
五、附录：技术路线图	50

前言

能源是攸关国家安全和发展的重点领域。世界百年未有之大变局和中华民族伟大复兴的战略全局，要求加快推进能源革命，实现能源高质量发展。“碳达峰、碳中和”目标、经济逆全球化势头、传统产业数字化智能化转型等新形势、新动向、新要求为能源革命和高质量发展带来新的机遇和挑战。创新是引领能源发展的第一动力。科技决定能源未来，科技创造未来能源。加快推动能源技术革命，支撑引领能源高质量发展，并将能源技术及其关联产业培育成带动我国相关产业优化升级的新增长点，是贯彻落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略的重要任务。

“十四五”是“两个一百年”奋斗目标的历史交汇期，是加快推进能源技术革命的关键时期。《“十四五”能源领域科技创新规划》（以下简称《规划》）是“十四五”我国推进能源技术革命的纲领性文件，与国家中长期科技规划以及“十四五”现代能源体系规划、科技创新规划、各专项规划有机衔接、相互配合，紧密围绕国家能源发展重大需求和能源技术革命重大趋势，规划部署重大科技创新任务。《规划》提出了2025年前能源科技创新的总体目标，围绕先进可再生能源、新型电力系统、安全高效核能、绿色高效化石能源开发利用、能源数字化智能化等方面，确定了相关集中攻关、示范试验和应用推广任务，制定了技术路线图，结合“十四五”能源发展和项目布局，部署了相关示范工程，有效承接示范应用任务，并明确了支持技术创新、示范试验和应用推广的政策措施。

一、发展形势

（一）世界能源科技发展形势

当前，在能源革命和数字革命双重驱动下，全球新一轮科技革命和产业变革方兴未艾。能源科技创新进入持续高度活跃期，可再生能源、非常规油气、核能、储能、氢能、智慧能源等一大批新兴能源技术正以前所未有的速度加快迭代，成为全球能源向绿色低碳转型的核心驱动力，推动能源产业从资源、资本主导向技术主导转变，对世界地缘政治格局和经济社会发展带来重大而深远的影响。

世界各主要国家近年来纷纷将科技创新视为推动能源转型的重要突破口，积极制定各种政策措施抢占发展制高点。**美国**近年来相继发布了《全面能源战略》《美国优先能源计划》等政策，并出台系列研发计划，将“科学与能源”确立为第一战略主题，积极部署发展新一代核能、页岩油气、可再生能源、储能、智能电网等先进能源技术，突出全链条集成化创新。**欧盟**在《欧洲绿色协议》中率先提出了构建碳中和经济体的战略目标，升级了战略能源技术规划（SET-Plan），启动了“研究、技术开发及示范框架计划”，构建了全链条贯通的能源技术创新生态系统。德国、英国、法国等分别组织了能源研究计划、能源创新计划、国家能源研究战略等系列科技计划，突出可再生能源在能源供应中的主体地位，抢占绿色低碳发展制高点。**日本**近年来出台了《第五期能源基本计划》《2050 能源环境技术创新战略》《氢能基本战略》等战略规划，提出加快发展可再生能源，全面系统建设“氢能社

会”。

受政策驱动，可再生能源、非常规油气、核能、储能、智慧能源等领域诸多新兴技术取得重大突破并跨越技术商业化临界点，引领世界能源消费结构呈现非化石能源、煤炭、石油、天然气“四分天下”，且非化石能源比重逐步扩大的新局面。全球能源技术创新主要呈现以下新动向、新趋势。

一是可再生能源和新型电力系统技术被广泛认为是引领全球能源向绿色低碳转型的重要驱动，受到各主要国家的高度重视。面对日益严重的能源资源约束、生态环境恶化、气候变化加剧等重大挑战，全球主要国家纷纷加快了低碳化乃至“去碳化”能源体系发展步伐。国际能源署预测可再生能源在全球发电量中的占比将从当前的约 25% 攀升至 2050 年的 86%。为有效应对可再生能源大规模发展给能源系统可靠性和稳定性带来的新挑战，美、欧等国积极探索发展包括先进可再生能源、高比例可再生能源友好并网、新一代电网、新型储能、氢能及燃料电池、多能互补与供需互动等新型电力系统技术，开展了一系列形式多样、场景各异的试验示范工作。

二是非常规油气技术掀起席卷全球的页岩油气革命，成功拓展油气发展新空间，成为颠覆全球油气供应格局的核心力量。美国从上世纪 70 年代开始布局页岩油气技术攻关，经过数十年的持续探索，成功发展了旋转导向钻井、水平井分段压裂等系统化的页岩油气开发技术，支撑美国油气自给率持续提升，推动非常规油气技术成为世界各国竞争的焦点。全球非常规油气资源占油

气资源总量约 80%，可采资源量超过 80% 分布于北美、亚太、拉美、俄罗斯 4 大地区。在各相关国家的大力支持和推动下，全球非常规油气技术不断取得新突破、技术成熟度持续提升，正在推动全球油气产业从常规油气为主到常规与非常规油气并重的重大转变。

三是以更安全、更高效、更经济为主要特征的新一代核能技术及其多元化应用，成为全球核能科技创新的主要方向。福岛事故后，全球核电建设整体进入稳妥审慎发展阶段，但核能技术创新的步伐并未减缓。美、俄、法等核电强国，凭借长期技术积累，瞄准更安全、更高效、更经济等未来核能发展方向，不断加大研发投入和政策支持，在三代和新一代核反应堆、模块化小型堆、核能供热等多元应用、先进核燃料及循环、在役机组延寿和智慧运维等方面开展了大量技术研发和试验示范工作，为引领未来全球核能产业安全高效发展奠定了坚实基础。

四是信息、交通等领域的新技术与传统能源技术深度交叉融合，持续孕育兴起影响深远的新技术、新模式、新业态。美、欧、日等主要发达国家近年来在能源交叉融合技术方面开展了大量有益探索和实践。大数据、云计算、物联网、移动互联网、人工智能、区块链等为代表的先进信息技术与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场等环节深度融合，持续催生具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等特征的智慧能源新技术、新模式、新业态。电动汽车及其网联技术、氢燃料电池车等低碳交通技术，推动能源、交通、信息三大基础设施

网络互联互通、融合发展，正在开启能源、交通、信息领域新的重大变革。

（二）我国能源科技发展形势

我国已连续多年成为世界上最大的能源生产国、消费国和碳排放国。社会主义现代化强国建设的深入推进对能源供给、消费提出更高要求。在“碳达峰、碳中和”目标、生态文明建设和“六稳六保”等总体要求下，我国能源产业面临保安全、转方式、调结构、补短板等严峻挑战，对科技创新的需求比以往任何阶段都更为迫切。经过前两个五年规划期，我国初步建立了重大技术研发、重大装备研制、重大示范工程、科技创新平台“四位一体”的能源科技创新体系，按照集中攻关一批、示范试验一批、应用推广一批“三个一批”的路径，推动能源技术革命取得重要阶段性进展，有力支撑了重大能源工程建设，对保障能源安全、促进产业转型升级发挥了重要作用。

高比例可再生能源系统技术方面。风电、光伏技术总体处于国际先进水平，有力支撑我国风机、光伏电池产量和装机规模世界第一。10兆瓦级海上风电机组完成吊装。晶硅电池、薄膜电池最高转换效率多次创造世界纪录，量产单多晶电池平均转换效率分别达到22.8%和20.8%。太阳能热发电技术进入商业化示范阶段。水电工程建设能力和百万千瓦级水电机组成套设计制造能力领跑全球。全面掌握1000千伏交流、 ± 1100 千伏直流及以下等级的输电技术。柔性直流输电技术占领世界制高点，全球电压等级最高的张北 ± 500 千伏柔性直流电网示范工程、乌东德水电

送出 ± 800 千伏特高压多端直流示范工程已投产送电。

油气安全供应技术方面。常规油气勘探开采技术达到国际先进水平，在国际油气资源开发中具有明显比较优势。非常规和深海油气勘探开发技术取得较大进步，建成一批国家级页岩气开发示范区，页岩气年产量超过 200 亿方，支撑我国成为北美之外首个实现页岩气规模化商业开发的国家，自主研发建造的全球首座十万吨级深水半潜式生产储油平台“深海一号”投运。油气长输管线技术取得重大突破，电驱压缩机组、燃驱压缩机组、大型球阀和高等级管线钢等核心装备和材料实现自主化，有力保障了西气东输、中俄东线等长输管线建设。千万吨级 LNG 项目、千万吨级炼油工程成套设备已实现自主化。

核电技术方面。形成了较完备的大型压水堆核电装备产业体系。自主研发“华龙一号”和“国和一号”百万千瓦级三代核电，主要技术和安全性能指标达到世界先进水平。自主研发的具有四代特征的高温气冷堆商业示范堆已投产发电，快中子堆示范项目已开工建设。模块化小型堆、海洋核动力平台等先进核反应堆技术正在抓紧攻关和示范。

化石能源清洁高效开发利用技术方面。年产 1000 万吨以上特厚煤层综采与综采放顶煤开采装备、重介质选煤技术等煤炭开发利用技术装备实现规模应用。煤矿瓦斯治理、灾害防治技术水平显著提升，百万吨死亡率持续下降。具有自主知识产权的神华宁煤 400 万吨/年煤炭间接液化等一批煤炭深加工重大示范工程建成投产。国际首创的 135 万千瓦高低位布置超超临界二次再热

机组投入运行，煤电超低排放水平进入世界领先行列。具有完全自主知识产权的 50MW 燃气轮机已实现满负荷稳定运行。

能源新技术、新模式、新业态方面。主流储能技术总体达到世界先进水平，电化学储能、压缩空气储能技术进入商业化示范阶段。氢能及燃料电池技术迭代升级持续加速，推动氢能产业从模式探索向多元示范迈进。能源基础设施智能化、能源大数据、多能互补、储能和电动汽车应用、智慧用能与增值服务等领域创新十分活跃，各类新技术、新模式、新业态持续涌现，对能源产业发展产生深远影响。

然而，与世界能源科技强国相比，与引领能源革命的要求相比，我国能源科技创新还存在明显差距，突出表现为：**一是**部分能源技术装备尚存短板。关键零部件、专用软件、核心材料等大量依赖国外。**二是**能源技术装备长板优势不明显。能源领域原创性、引领性、颠覆性技术偏少，绿色低碳技术发展难以有效支撑能源绿色低碳转型。**三是**推动能源科技创新的政策机制有待完善。重大能源科技创新产学研“散而不强”，重大技术攻关、成果转化、首台（套）依托工程机制、容错以及标准、检测、认证等公共服务机制尚需完善。

“十四五”是我国全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年规划期。进入新时期新阶段，要充分发挥科技创新引领能源发展第一动力作用，立足能源产业需求，着眼能源发展未来，健全科技创新体系、夯实科技创新基础、突破关键技术瓶颈，为推动能源技术革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系提供坚

强保障。

二、总体要求和发展目标

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中、六中全会精神，全面落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略和创新驱动发展战略，聚焦保障能源安全、促进能源转型、引领能源革命和支撑“碳达峰、碳中和”目标等重大需求，坚持创新在能源发展全局中的核心地位，统筹发展与安全，以实现能源科技自立自强为重点，以完善能源科技创新体系为依托，着力补强能源技术装备“短板”和锻造能源技术装备“长板”，支撑增强能源持续稳定供应和风险管控能力，引领清洁低碳、安全高效的能源体系建设。

（二）基本原则

1.补强短板，支撑发展。紧紧围绕国家能源重大战略需求，加强能源领域关键技术攻关，补强产业链供应链短板，逐步化解能源技术装备领域存在的风险。

2.锻造长板，引领未来。牢牢把握能源技术革命趋势，以绿色低碳为方向，加快推动前瞻性、颠覆性技术创新，锻造长板技术新优势，带动产业优化升级。

3.依托工程，注重实效。依托重大能源工程推进科技创新成果示范应用，加快推动科技成果转化为现实生产力，切实发挥能源项目建设对科技创新的带动作用。

4.协同创新，形成合力。与能源、科技等总体规划以及各专

项规划统筹衔接，强化产业链创新链上下游联合，加强各方支持政策协同，形成能源科技创新合力。

（三）发展目标

能源领域现存的主要短板技术装备基本实现突破。前瞻性、颠覆性能源技术快速兴起，新业态、新模式持续涌现，形成一批能源长板技术新优势。能源科技创新体系进一步健全。能源科技创新有力支撑引领能源产业高质量发展。

——**引领新能源占比逐渐提高的新型电力系统建设。**先进可再生能源发电及综合利用、适应大规模高比例可再生能源友好并网的新一代电网、新型大容量储能、氢能及燃料电池等关键技术装备全面突破，推动电力系统优化配置资源能力进一步提升，提高可再生能源供给保障能力。

——**支撑在确保安全的前提下积极有序发展核电。**三代大型压水堆装备自主化水平进一步提升，建立标准化型号和型号谱系。小型模块化反应堆、（超）高温气冷堆、熔盐堆、海洋核动力平台等先进核能系统研发和示范有序推进。乏燃料后处理、核电站延寿等技术研究取得阶段性突破。

——**推动化石能源清洁低碳高效开发利用。**“两深一非”、老油田提高采收率等油气开发技术取得重大突破，有力支撑油气稳产增产和产供储销体系建设。煤炭绿色智能开采、清洁高效转化和先进燃煤发电技术保持国际领先地位，支撑做好煤炭“大文章”。重型燃气轮机研发与示范取得突破，各类中小型燃气轮机装备实现系列化。

——**促进能源产业数字化智能化升级**。先进信息技术与能源产业深度融合，电力、煤炭、油气等领域数字化、智能化升级示范有序推进。能源互联网、智慧能源、综合能源服务等新模式、新业态持续涌现。

——**适应高质量发展要求的能源科技创新体系进一步健全**。政-产-学-研-用协同创新体系进一步健全，创新基础设施和创新环境持续完善。围绕国家能源重大需求和重点方向，优化整合并新建一批国家重点实验室和国家能源研发创新平台，有效支撑引领新兴能源技术创新和产业发展。

三、重点任务

（一）先进可再生能源发电及综合利用技术

聚焦大规模高比例可再生能源开发利用，研发更高效、更经济、更可靠的水能、风能、太阳能、生物质能、地热能以及海洋能等可再生能源先进发电及综合利用技术，支撑可再生能源产业高质量开发利用；攻克高效氢气制备、储运、加注和燃料电池关键技术，推动氢能与可再生能源融合发展。

1.水能发电技术

（1）水电基地可再生能源协同开发运行关键技术

[集中攻关]研发基于气象水文预报和流域综合监测技术，防洪、发电、航运、供水、生态等综合利用多目标协调，满足安全稳定运行和市场需求的流域梯级水电站联合调度技术；研发基于风光水储多能互补、容量优化配置的新型水能资源评估与规划技术，构建基于可再生能源发电预报预测技术的多能互补调度模

型，支撑梯级水电、抽水蓄能电站与间歇性可再生能源互补协同开发运行。[示范试验]研发并示范特高压直流送出水电基地可再生能源多能互补协调控制技术；研究基于梯级水电站的大型储能项目技术可行性及工程经济性，适时开展工程示范。

（2）水电工程健康诊断、升级改造和灾害防控技术

[示范试验]开展大坝性态及库区智能监测与巡查、大坝健康诊断技术研究及专用设备研发；突破结构增强、渗漏检测与治理、增容改造、水下修复、金属结构维护、大坝拆除和重建等升级改造技术。开展流域大型滑坡稳定性、致灾机制与预警指标、滑坡灾害监测体系、堰塞湖形成与溃决、滑坡灾害风险防控等研究。示范满足防灾应急和维护检修要求的高坝大库放空关键技术。

2.风力发电技术

（3）深远海域海上风电开发及超大型海上风机技术

[集中攻关]开展新型高效低成本风电技术研究，突破多风轮梯次利用关键技术，显著提升风能捕获和利用效率；突破超长叶片、大型结构件、变流器、主轴轴承、主控制器等关键部件设计制造技术，开发 15 兆瓦及以上海上风电机组整机设计集成技术、先进测试技术与测试平台；开展轻量化、紧凑型、大容量海上超导风力发电机组研制及攻关。[示范试验]突破深远海域海上风电勘察设计及安装技术，适时开展超大功率海上风电机组工程示范。研发远海深水区域漂浮式风电机组基础一体化设计、建造与施工技术，开发符合中国海洋特点的一体化固定式风机安装技术及新型漂浮式桩基础。

（4）退役风电机组回收与再利用技术

[应用推广]开展退役风电机组整机回收与再利用工艺研究，重点突破叶片低成本破碎、有机材料高温裂解、玻纤以及巴莎木循环再利用等技术，构建环境友好、资源节约的风电机组退役技术标准体系。

3.太阳能发电及利用技术

（5）新型光伏系统及关键部件技术

[集中攻关]研发大功率中压全直流光伏发电系统技术与大功率直流升压变换器，实现直流变换器电压等级 30 千伏及以上；突破大型光伏高效直流电解系统技术及万安级高效率直流电解变换器；开展近海漂浮式光伏系统技术及其高可靠性组件、部件技术研究。

（6）高效钙钛矿电池制备与产业化生产技术

[示范试验]研制基于溶液法与物理法的钙钛矿电池量产工艺制程设备，开发高可靠性组件级联与封装技术，研发大面积、高效率、高稳定性、环境友好型的钙钛矿电池；开展晶体硅/钙钛矿、钙钛矿/钙钛矿等高效叠层电池制备及产业化生产技术研究。

（7）高效低成本光伏电池技术

[示范试验]开展隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）、异质结（HJT）、背电极接触（IBC）等新型晶体硅电池低成本高质量产业化制造技术研究；突破硅颗粒料制备、连续拉晶、N型与掺镓P型硅棒制备、超薄硅片切割等低成本规模化应用技术。开展高效光伏电池与建筑材料结合研究，研发高防火性能、高结构强

度、模块化、轻量化的光伏电池组件，实现光伏建筑一体化规模化应用。

（8）光伏组件回收处理与再利用技术

[示范试验]研发基于物理法和化学法的晶硅光伏组件低成本绿色拆解、高价值组分高效环保分离技术装备，开发新材料及新结构组件的环保处理技术和实验平台，高效回收和再利用退役光伏组件中银、铜等高价值组分。

（9）太阳能热发电与综合利用技术

[集中攻关]开展热化学转化和热化学储能材料研究，探索太阳能热化学转化与其他可再生能源互补技术；研发中温太阳能驱动热化学燃料转化反应技术，研制兆瓦级太阳能热化学发电装置。[应用推广]开发光热发电与其他新能源多能互补集成系统，发掘光热发电调峰特性，推动光热发电在调峰、综合能源等多场景应用。

4.其他可再生能源发电及利用技术

（10）生物质能转化与利用技术

[集中攻关]研发生物质炼厂关键核心技术，生物质解聚与转化制备生物航空燃料等前沿技术，形成以生物质为原料高效合成/转化生产交通运输燃料/低碳能源产品技术体系。[示范试验]研发并示范多种类生物质原料高效转化乙醇、定向热转化制备燃油、油脂连续热化学转化制备生物柴油等系列技术。突破多种原料预处理、高效稳定厌氧消化、气液固副产物高值利用等生物燃气全产业链技术，开展适合不同原料类型和区域特点的规模化生

物燃气工程及分布式能源系统示范，提升生物燃气工程的经济性和稳定性。

（11）地热能开发与利用技术

[集中攻关]突破高温钻井装备仪器瓶颈，支撑水/干热型地热能资源开发；攻关中低温地热发电关键技术；开展高温含水层储能和中深层岩土储能关键技术研究，实现余热废热的地下储能。

[示范试验]突破干热岩探测、压裂及效果评价等关键技术，研发单井采热系统、增强型地热系统以及地面综合梯级热利用系统，开发干热岩热储压裂-采热-用热一体化优化设计平台，开展干热岩型地热能开发利用工程示范。[应用推广]推广含水层储能、岩土储能等跨季节地下储热技术利用，因地制宜推广集地热能发电、供热（冷）、热泵于一体的地热综合梯级利用技术。

（12）海洋能发电及综合利用技术

[集中攻关]研发波浪能高效能量俘获系统及能量转换系统，突破恶劣海况下生产保障、锚泊等关键技术，实现深远海波浪能高效、高可靠发电。[示范试验]突破兆瓦级波浪能发电、潮流能发电以及海洋温差能发电等关键技术，开展海上综合能源系统工程示范。

5.氢能和燃料电池技术

（13）氢气制备关键技术

[集中攻关]突破适用于可再生能源电解水制氢的质子交换膜（PEM）和低电耗、长寿命高温固体氧化物（SOEC）电解制氢关键技术，开展太阳能光解水制氢、热化学循环分解水制氢、低

热值含碳原料制氢、超临界水热化学还原制氢等新型制氢技术基础研究。[示范试验]开展多能互补可再生能源制氢系统最优容量配置研究，研发动态响应、快速启停及调度控制等关键技术；建立可再生能源—燃料电池耦合系统协同控制平台；研发可再生能源离网制氢关键技术；开展多应用场景可再生能源-氢能的综合能源系统示范。

（14）氢气储运关键技术

[集中攻关]突破 50MPa 气态运输用氢气瓶；研究氢气长距离管输技术；开展安全、低能耗的低温液氢储运，高密度、轻质固态氢储运，长寿命、高效率的有机液体储运氢等技术研究。[示范试验]开展纯氢/掺氢天然气管道及输送关键设备安全可靠、经济性、适应性和完整性评价，开展天然气管道掺氢示范应用；研发大规模氢液化、氢储存示范装置。

（15）氢气加注关键技术

[示范试验]研制低预冷能耗、满足国际加氢协议的 70MPa 加氢机和高可靠性、低能耗的 45MPa/90MPa 压缩机等关键装备，开展加氢机和加氢站压缩机的性能评价、控制及寿命快速测试等技术研究，研制 35MPa/70MPa 加氢装备以及核心零部件，建成加氢站示范工程。

（16）燃料电池设备及系统集成关键技术

[示范试验]开展高性能、长寿命质子交换膜燃料电池（PEMFC）电堆重载集成、结构设计、精密制造关键技术研究；突破固体氧化物燃料电池（SOFC）关键技术，掌握系统集成优

化设计技术及运行特性与负荷响应规律；完善熔融碳酸盐燃料电池（MCFC）电池堆堆叠、功率放大等关键技术，掌握百千瓦级熔融碳酸盐燃料电池集成设计技术。开展多场景下燃料电池固定式发电及分布式供能示范应用。

（17）氢安全防控及氢气品质保障技术

[集中攻关]开展临氢环境下临氢材料和零部件氢泄漏检测及危险性试验研究，研制快速、灵敏、低成本氢传感器和氢气微泄漏监测材料，研发氢气燃烧事故防控与应急处置技术装备；开展工业副产氢纯化关键技术研究。

专栏 1 先进可再生能源发电及综合利用技术重点示范	
01 水能发电技术示范	① 依托水电基地调节能力，在流域风、光资源丰富地区，开展水风光储多能互补综合开发基地工程示范； ② 开展水电工程健康诊断、高坝大库放空等试验示范。
02 风力发电技术示范	③ 开展 12~15MW 级超大型海上风电机组工程示范； ④ 开展深水区域漂浮式风电机组工程示范。
03 太阳能发电及利用技术示范	⑤ 建设晶体硅/钙钛矿、钙钛矿/钙钛矿等高效叠层电池制备及产业化生产线，开展钙钛矿光伏电池应用示范； ⑥ 开展高效低成本光伏电池技术研究和应用示范； ⑦ 开展退役晶硅光伏组件回收与再利用技术示范。
04 其他可再生能源发电及利用技术示范	⑧ 开展生物燃料乙醇、生物柴油、生物燃油等生物液体燃料工程示范，以及覆盖秸秆、粪便、糟渣、餐厨垃圾等不同类型原料的生物燃气工程示范； ⑨ 开展干热岩热能高效综合利用试验示范；

⑩ 开展兆瓦级波浪能、潮流能、海洋温差能等海洋能发电技术示范验证。

05 氢能和燃料电池技术示范

开展不同应用场景下的可再生能源-氢能综合能源系统应用示范；
开展管道输氢、天然气管道掺氢工程示范；
开展低能耗、大规模氢液化工厂与液氢储运关键技术示范；
开展加氢站关键装备及技术研发示范；
开展百千瓦级及以上质子交换膜燃料电池、固体氧化物燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池分布式供能应用示范。

（二）新型电力系统及其支撑技术

加快战略性、前瞻性电网核心技术攻关，支撑建设适应大规模可再生能源和分布式电源友好并网、源网荷双向互动、智能高效的先进电网；突破能量型、功率型等储能本体及系统集成关键技术和核心装备，满足能源系统不同应用场景储能发展需要。

1. 适应大规模高比例新能源友好并网的先进电网技术

（1）新能源发电并网及主动支撑技术

[集中攻关]开展新能源功率高精度预测技术研究，突破新能源发电参与电网频率/电压/惯量调节的主动支撑控制、自同步控制、宽频带振荡抑制等关键技术，研发“云-边”协同的新能源主动支撑智能控制和在线评价系统，提升并网安全性。[示范试验]研究并示范无常规电源支撑的新能源直流外送基地主动支撑技术；研究并示范新能源孤岛直流接入的先进协调控制技术，实现纯电力电子网络稳定运行；突破中压并网逆变器和光伏高效稳定直流汇集等关键技术，开展新型高效大容量光伏并网技术示范。

（2）电力系统仿真分析及安全高效运行技术

[集中攻关]研发电力电子设备/集群精细化建模与高效仿真技术，更大规模和更高精度的交直流混联电网仿真技术，建立智能化计算分析镜像系统，突破具有经济运行与安全稳定自我感知能力的源网荷储多元接入的多级调度协同、广域协调安全稳定控制技术，实现复杂运行环境下电网运行特性的深度认知和运行趋势的有效把握；开展新型电力系统网络结构模式和运行调度、控制保护方式，直流电网系统运行关键技术，以及高比例新能源和高比例电力电子设备接入电网稳定运行控制技术研究，提升电网安全稳定运行水平；开展电力系统遭受严重自然灾害、物理攻击、网络攻击等非常规安全风险识别及防范研究，提高非常规状态电网安全稳定防御和应急处理能力。

（3）交直流混合配电网灵活规划运行技术

[集中攻关]开展多电压等级交直流混合配电网灵活组网模式研究，掌握源网荷储精准匹配、整流逆变合理布局的新型配电网规划技术，研制多端差动保护、区域故障快速处理等装置及直流配用电装备，突破大规模随机性负荷、间歇性分布式电源和大规模分布式储能接入下，中低压配电网源网荷储组网协同运行控制及市场运营关键技术，实现配电网大规模分布式电源有序接入、灵活并网和多种能源协调优化调度，有效提升配电网的韧性和运行效率。

（4）新型直流输电装备技术

[集中攻关]开展交直流协调控制快速保护以及多馈入直流系统换相失败综合防治技术研究，研制新型换流器、新型直流断路

器、DC/DC 变换器、直流故障限流器、直流潮流控制器、有源滤波器、可控消能装置等设备。

（5）新型柔性输配电装备技术

[集中攻关]研制过电压抑制与监测、主动电压支撑、暂态潮流调控、故障电流限制、振荡动态阻尼、低频输电、柔性变电站、新型无功补偿、有源调压、混合滤波等装备，开展面向新型电力系统应用的新型电力电子拓扑结构和控制等关键技术研究。

（6）源网荷储一体化和多能互补集成设计及运行技术

[示范试验]开展源网荷储一体化和风光火(储)、风光水(储)、风光储一体化规划与集成设计研究，掌握场站级高电压穿越和次同步振荡抑制技术；研究储能充放电最优策略与聚合控制理论，建立工业园区级智慧能源系统一体化解决方案，形成规模化智慧可调资源；研究电动汽车与电网能量双向交互调控策略，构建电动汽车负荷聚合系统，实现电动汽车与电网融合发展；开发适应新能源汇集输送的多端柔性直流输电、输电线路动态增容等关键技术，实现源网荷储广域灵活调节、安全稳定和经济运行多目标协调控制。

（7）大容量远海风电友好送出技术

[集中攻关]突破大容量海上风电机组的全工况模拟及并网试验关键技术装备，研制风电机组干式升压变压器，突破远海风电全直流以及低频输电系统设计关键技术。[示范试验]开展远海风电柔直接入关键技术、装备及运维技术研究，突破大容量直流海缆及附件材料设计及制造技术，掌握紧凑化、轻型化海上平台设

计关键技术，并进行示范应用。

2.储能技术

（8）能量型/容量型储能技术装备及系统集成技术

[集中攻关]针对电网削峰填谷、集中式可再生能源并网等储能应用场景，开展大容量长时储能器件与系统集成研究；研发长寿命、低成本、高安全的锂离子电池，突破铅碳电池专用模块均衡和能量管理技术，开展高功率液流电池关键材料、电堆设计以及系统模块的集成设计等研究，研发钠离子电池、液态金属电池、钠硫电池、固态锂离子电池、储能型锂硫电池、水系电池等新一代高性能储能技术，开发储热蓄冷、储氢、机械储能等储能技术。[示范试验]开展 GWh 级锂离子电池、大规模压缩空气储能电站和高功率液流电池储能电站系统设计与示范。

（9）功率型/备用型储能技术装备与系统集成技术

[集中攻关]针对增强电网调频、平滑间歇性可再生能源功率波动以及容量备用等储能应用场景，开展长寿命大功率储能器件和系统集成研究；开展超导、电介质电容器等电磁储能技术攻关，研发电化学超级电容器、高倍率锂离子电池等各类功率型储能器件；研发大功率飞轮材料以及高速轴承等关键技术，突破大功率飞轮与高惯性同步调相机集成关键技术，以及 50MW 级基于飞轮的高惯性同步调相机技术。[示范试验]推动 10MW 级超级电容器、高功率锂离子电池、兆瓦级飞轮储能系统设计与应用示范。

（10）储能电池共性关键技术

[集中攻关]开展基于储能电池单体和模组短时间测试数据预

测长日历寿命的实验验证和模拟仿真研究，实现储能电池 25 年以上的循环寿命及健康状态快速监测和评价；开展低成本可修复再生的新型储能电池技术研究，研发退役电池剩余价值评估、单体电池自动化拆解和材料分选技术，实现电池修复、梯次利用、回收与再生；推动储能单体和系统的智能传感技术研究；推动储能电池全寿命周期的安全性检测、预警和防护研究；开展基于正向设计，适合梯次利用的动力电池设计与制造，以及梯次利用场景分析、快速分选、系统集成和运维等关键技术研究。[示范试验]研发电化学储能系统安全预警、系统多级防护结构及材料等关键技术，示范大型锂电池储能电站的整体安全性设计、能量智能管控及运维、先进冷却及消防等关键技术。

（11）大型变速抽水蓄能及海水抽水蓄能关键技术

[示范试验]研制大型变速抽水蓄能机组水泵水轮机、发电电动机、交流励磁系统、继电保护系统、计算机监控系统、调速系统等关键设备，研制发电电动机出口断路器等高压开关设备，建立变速抽水蓄能技术体系。突破海水抽水蓄能电站应对海上恶劣天气的发电调度、水库和地下水防渗、发电机组抗附着和抗腐蚀、进水口和尾水系统防海浪等关键技术，适时开展工程示范。

（12）分布式储能与分布式电源协同聚合技术

[集中攻关]开展分布式储能系统协同聚合研究，提出多点布局储能系统的聚合方法，掌握多点布局储能系统聚合调峰、调频及紧急控制系列理论与成套技术，实现广域布局的分布式储能、储能电站的规模化集群协同聚合；开展岛屿可再生能源开发与智

能微网关键技术攻关。[应用推广]突破分布式储能与分布式电源协同控制和区域能源调配管理技术，提高配电网对分布式光伏的接纳；研发基于区块链技术的分布式储能多元市场化交易平台，推广基于区块链共享储能应用技术。

专栏2 新型电力系统及其支撑技术重点示范	
01 适应大规模高比例新能源友好并网的先进电网技术示范	
① 开展无常规电源支撑的新能源直流外送基地主动支撑技术应用示范； ② 开展新型高效大容量光伏并网技术示范； ③ 开展源网荷储一体化设计及运行示范； ④ 开展风光火（储）、风光水（储）、风光储一体化设计及运行技术示范； ⑤ 开展电动汽车与电网互动（V2G）示范； ⑥ 开展深远海域海上风电基地柔性直流送出工程示范。	
02 储能技术示范	
⑦ 开展大规模压缩空气储能电站系统设计与示范； ⑧ 开展规模化高安全高性能液流电池储能电站系统设计与示范； ⑨ 开展高惯性旋转备用储能技术应用示范； ⑩ 开展大型锂电池储能电站工程示范； 开展变速抽水蓄能及出口断路器示范； 开展海水抽水蓄能工程示范。	

（三）安全高效核能技术

围绕提升核电技术装备水平及项目经济性，开展三代核电关键技术优化研究，支撑建立标准化型号和型号谱系；加强战略性、前瞻性核能技术创新，开展小型模块化反应堆、（超）高温气冷堆、熔盐堆等新一代先进核能系统关键核心技术攻关；开展放射性废物处理处置、核电站长期运行、延寿等关键技术研究，推进核能全产业链上下游可持续发展。

1.核电优化升级技术

（1）三代核电技术型号优化升级

[示范试验]开展三代核电在工程建设及运行过程中涉及的设备、工艺、布置和施工等关键技术优化研究，进一步提高机组安全性、经济性、厂址适应能力和设备可靠性，支撑建立具有完全自主知识产权的三代核电标准化型号和型号谱系。[应用推广]结合国际市场要求，开展型号适应性研发，支撑设计审查认证及取证；持续开展核电厂设计优化和先进技术研究，助力自主三代核电批量化发展及在国际市场推广应用。

（2）核能综合利用技术

[示范试验]开展核能供热（冷）方案优化及安全设计原则、核能海水淡化低温闪蒸等核心设备以及核能制氢工艺方案等关键技术研究，研究核能与风电、光伏、储能、氢能等的多能互补形式，优化完善以核电厂为核心的综合能源系统方案及运营技术，推动核能梯级利用，提高核能综合利用效率。

2.小型模块化反应堆技术

（3）小型智能模块化反应堆技术

[示范试验]开展小型智能模块化反应堆技术以及先进热交换、监测、材料、软件体系和安全性等关键技术研究，突破核心技术装备，完成先进模块化小型反应堆典型项目一体化与智能化设计，满足在园区、海岛、基地、矿区等多场景工程应用条件，适时开展小型模块化反应堆核能综合利用工程示范。

（4）小型供热堆技术

[示范试验]开展供热堆系统设计、燃料组件、试验验证等关键技术研究，突破关键设备技术，实现小型供热堆设计、装备、建造和配套体系的标准化，适时开展小型堆供热商用示范。

（5）浮动堆技术

[集中攻关]开展浮动式反应堆装置总体技术方案等关键技术研究，研制满足海洋条件和小型化要求的关键设备，健全海上浮动堆标准规范体系。

（6）移动式反应堆技术

[集中攻关]开展轻型、智能核电源装置设计与关键技术研究，突破移动式反应堆关键共性技术，开展气冷微堆、微型压水堆、热管反应堆等型号总体方案设计及关键核级设备研制，完成相关试验验证，形成具备可移动能力的先进核电源装置方案。

3.新一代核电技术

（7）（超）高温气冷堆技术

[集中攻关]开展高温气冷堆主氦风机电磁轴承等关键设备优化改造，突破多模块协调控制技术；研制超高温气冷堆关键设备，研发（超）高温堆“热-电-氢”多联产应用技术，形成（超）高温气冷堆多用途应用技术方案。

（8）钍基熔盐堆技术

[集中攻关]建设 20MWe 小型模块化钍基熔盐研究堆及科学设施，探究堆内燃料盐、出堆燃料盐和处理后燃料盐中锕系元素和裂变产物的存在形式和转化规律，建立熔盐堆材料失效评估、寿命预测标准方法，完成钍基熔盐堆与发电系统耦合技术的研发

与验证。

4.全产业链上下游可持续支撑技术

（9）放射性废物处理处置关键技术

[集中攻关]开展放射性废物综合处理等研究，研发完善等离子熔融、蒸汽重整等废物处理关键技术；建立废物综合处理最优化技术体系和核电机组长期运行废物处理方案，建设中低放废物的处置场。

（10）核电机组长期运行及延寿技术

[集中攻关]开展核电厂长周期安全可靠运行策略研究，突破核电厂复杂严苛条件下的智能翻新、设备整体更换、多功能远程操控、老化（故障）在线监测等关键技术，研制定位、切割、焊接与金属粉尘收集等智能化专用装备，并构建三维仿真模型和全生命周期大数据系统；研究核电厂关键设备更换后长期运行的可行性及实施路径。[示范试验]开展结构完整性检测与评价、关键部件材料快中子辐照损伤评价、一回路重要镍基合金部件及主管道材料性能退化行为预测、智能化核设施健康管理监测、辐照脆化热退火老化缓解等核电机组老化与寿命管理基础性和应用性技术研究，建立运行许可证延续技术体系和老化管理大纲技术体系。

（11）核电科技创新重大基础设施支撑技术

[集中攻关]加快反应堆热工水力、严重事故机理等先进理论研究成果的试验验证技术攻关，支撑高平台架和研究设施的建设与升级。

专栏3 安全高效核能技术重点示范

01 核电优化升级技术示范

- ① 开展具有完全自主知识产权的三代核电型号优化升级示范；
- ② 开展现役核电机组供热等综合利用示范。

02 小型模块化反应堆技术示范

- ③ 开展小型堆核能综合利用工程示范；
- ④ 开展小型堆供热商业示范。

03 全产业链上下游可持续支撑技术示范

- ⑤ 针对服役年限即将到期的核电机组开展运行许可证延续论证及示范。

（四）绿色高效化石能源开发利用技术

聚焦增强油气安全保障能力，有效支撑油气勘探开发和天然气产供销体系建设，开展纳米驱油、CO₂驱油、精细化勘探、智能化注采等关键核心技术攻关，提升低渗透老油田、高含水油田以及深层油气等陆上常规油气的采收率和储量动用率；推动深层页岩气、非海相非常规天然气、页岩油和油页岩勘探开发技术攻关，研发天然气水合物试采及脱水净化技术装备；突破输运、炼化领域关键瓶颈技术，提升油气高效输运技术能力，完善下游炼化高端产品研发体系。聚焦煤炭绿色智能开采、重大灾害防控、分质分级转化、污染物控制等重大需求，形成煤炭绿色智能高效开发利用技术体系。研发一批更高效率、更加灵活、更低排放的煤基发电技术，巩固煤电技术领先地位。突破燃气轮机设计、试验、制造、运维检修等瓶颈技术，提升燃气发电技术水平。

1. 油气安全保障供应技术

——陆上常规油气勘探开发技术

（1）低渗透老油田大幅提高采收率技术

[示范试验]完善纳米驱油开发理论,研发表征评价技术装备,发展第二代纳米驱油技术;突破陆相沉积低渗透油藏 CO₂ 驱油提高采收率工程配套技术;开展低渗透油田纳米驱油、CO₂ 驱油工业化示范,提高我国低渗透老油田原油采收率。

(2) 高含水油田精细化/智能化分层注采技术

[示范试验]开展水驱、聚驱分层开采实时监测与控制技术研究,建立油藏与工程一体化的智能分层开采精细管理系统,开展精细化/智能化分层注采工程示范,提高高含水油田原油采收率。

(3) 深层油气勘探目标精准描述和评价技术

[集中攻关]揭示深层-超深层油气成藏机理,建立以岩相古地理重建、规模储层分布预测、资源潜力评价为核心的深层油气成藏有效性评价方法,形成深层油气勘探地质理论与地球物理评价技术体系,为深层油气勘探突破和增产提供支撑。

——非常规油气勘探开发技术

(4) 深层页岩气开发技术

[示范试验]开展深层页岩气储层特征、工程条件及有效开发一体化研究,掌握深层页岩气“甜点区”评价技术,探明深部原位赋存环境下页岩原位力学行为演化,突破页岩储层高温、高压和高应力水平井多段压裂技术,支撑埋深 3500~4500 米页岩气的经济有效开发。

(5) 非海相非常规天然气开发技术

[示范试验]开展陆相、海陆过渡相页岩气、致密气和煤层气富集机理与分布规律研究,掌握非常规气“甜点区”评价技术,攻

关穿层体积压裂及压后排采关键技术，研发井筒合采工具，开展CO₂增能复合压裂工艺技术应用，建立非海相非常规天然气开发行业标准与规范体系，支撑压裂水平井平均单井累计产气量达到6000万立方米以上。

（6）陆相中高成熟度页岩油勘探开发技术

[示范试验]开展微纳米孔喉系统表征、流体赋存机理与可动性评价、“人工油气藏”开发、产能动态评价等关键技术研究，开展“甜点区”评价和“井工厂”体积压裂技术示范，形成陆相中高成熟度页岩油富集理论与效益勘探开发配套技术体系。

（7）中低成熟度页岩油和油页岩地下原位转化技术

[集中攻关]突破原位转化机理与选区评价、低成本钻完井、高效加热、储层改造、体系封闭、高温高硫化氢安全环保采油等关键技术，建立全过程精细化生态环境保护技术体系，开展原位转化开发先导试验研究，支撑中低成熟度页岩油和油页岩进入商业开发阶段。

（8）地下原位煤气化技术

[集中攻关]开展地下原位煤气化地质评价选址、气化炉建造、气化运行控制、地面集输处理、产出气综合利用等技术攻关及井下高温工具研制，研发物理模拟装置和数值模拟系统，构建地质工程一体化评价开发技术体系并形成标准规范，为中深层地下原位煤气化先导试验奠定基础。

（9）海域天然气水合物试采技术及装备

[集中攻关]建立天然气水合物资源评价、富集区地球物理预测、地质建模与开发潜力评价技术体系，研发水合物储层-井筒-输送全流程优化设计软件平台，突破海域天然气水合物水平井开发、流动保障、试采管柱与举升、脱水净化等关键技术，完善试采设计方案，支撑海域天然气水合物单井日产气量提升至 3~5 万立方米。

——油气工程技术

（10）地震探测智能化节点采集技术与装备

[集中攻关]开展 MEMS 数字传感技术、基于 LoRa 架构的陆上节点自适应组网技术研究，研制陆上、海洋智能化节点地震采集系统，实现百万道级全数字地震探测和深海稳定可靠采集。[应用推广]应用高精度可控震源智能系统，实现智能化、网络化的高效作业管理；建设海洋地震采集装备制造及检测平台，应用海洋地震勘探系统地震拖缆、控制与定位、综合导航、气枪震源控制等核心装备并装配三维地震物探船，支撑海洋地震勘探技术装备在海洋深水油气勘探开发的推广应用。

（11）超高温高压测井与远探测测井技术与装备

[集中攻关]突破耐高温芯片、耐高压结构材料、高性能传感器等关键技术，形成 230℃/170MPa 以上超高温高压快速成像和井旁/井地/井间远探测测井技术装备，配套采集处理解释软件与刻度装置等技术，解决复杂油气藏的深远精细测量与评价技术难题。[应用推广]开展高可靠快速与成像、全域成像、随钻成像等

仪器系列优化升级和地质适应性研究，推进地层成像测井成套装备的规模化应用，持续提升国产高端测井装备核心竞争力。

（12）抗高温抗盐环保型井筒工作液与智能化复杂地层窄安全密度窗口承压堵漏技术

[集中攻关]开展井筒工作液抗高温稳定机理、复杂地层井漏及井壁失稳机理研究，建立工作液超高温评价方法和防漏堵漏评价方法，研制 $\geq 240^{\circ}\text{C}$ 环保型工作液、响应型堵漏材料等关键材料，减小井筒工作液在井漏时对环境的污染，提高一次堵漏成功率，降低井漏损失时间和单井漏失量。

（13）高效压裂改造技术与大功率电动压裂装备

[应用推广]研发地质工程一体化压裂优化设计平台，完善长水平井油气高效体积压裂、智能压裂和高密度“井工厂”多井多缝立体压裂工艺和二次完井及重复压裂关键技术，研制分布式光纤监测技术与装备、智能材料、大功率电动压裂装备及工具，实现超 3000 米水平段水平井高效体积压裂工艺与车载式全电动压裂装备的推广应用。

（14）地下储气库建库工程技术

[集中攻关]开展复杂油气藏建库库容空间高效利用及储气库监测技术研究，研制大型储气库用离心压缩机关键核心部件及新型节能大规模天然气烃水吸附处理装置，构建储气库地质体-井筒-地面一体化完整性评价体系并形成储气库完整性管理标准及规范，全面支撑国内复杂地质条件储气库大规模建设及安全运行。

——管输技术

（15）新一代大输量天然气管道工程建设关键技术与装备

[示范试验]研制 18 兆瓦天然气管道集成式压缩机、智能化单枪双丝/双枪四丝自动焊机、钢管、弯管、管件和配套高压球阀等核心装备。

——炼化技术

（16）特种专用橡胶技术

[集中攻关]开展氢化丁腈橡胶、梯度阻尼橡胶、长链支化稀土顺丁橡胶分子设计及制备技术研究，突破合成工艺及控制技术，研制耐油氢化丁腈橡胶复合材料、宽温域宽频率高阻尼消声瓦用复合材料，完成稀土顺丁橡胶高性能轮胎试制，形成氢化丁腈橡胶产品生产线、梯度阻尼橡胶稳产和长链支化稀土顺丁橡胶成套技术。

（17）高端润滑油脂技术

[集中攻关]开展多元醇酯、烷基萘、硅烃、低聚抗氧化剂等高端润滑材料构效关系和高选择性合成技术研究，研制硅烷基空间润滑油、高性能航空涡轮发动机润滑油、超宽温通用航空润滑脂等高尖端润滑油脂产品，为高端润滑油脂、多元醇酯、长链烷基萘等基础油工业级批量化试生产建立条件。

（18）分子炼油与分子转化平台技术

[示范试验]开展分子炼油机理研究，突破分子表征、先进分离、模拟放大、分子重构、智能控制等关键技术，构建产品结构

灵活调整的石油分子转化平台，实现传统炼厂多产化工料或多产航煤兼顾化工料，增强传统炼厂产品结构调变能力。

专栏4 油气安全保障供应关键技术装备重点示范	
01 陆上常规油气勘探开发技术示范	① 开展老油田 CO ₂ 驱油示范工程； ② 针对高含水油田开展精细化/智能化分层注采工程应用示范。
02 非常规油气勘探开发技术示范	③ 开展埋深 3500 米以深页岩气勘探开发示范； ④ 开展陆相页岩气、海陆过渡相页岩气和煤系非常规气的规模化勘探开发示范； ⑤ 开展“甜点区”评价和“井工厂”体积压裂技术示范。
03 炼化技术示范	⑥ 开展多产化工料或多产航煤兼顾化工料等传统炼厂转型升级示范。

2.煤炭清洁低碳高效开发利用技术

——煤炭绿色智能开采技术

（19）煤矿智能开采关键技术与装备

[集中攻关]研制智能实时随机超前探测技术，支撑“透明矿井”所要求的地质保障体系建设；研发井筒机械破岩智能建设、综采设备精准定位与导航、综采设备群智能自适应协同推进、井下智能网联无轨辅助运输等关键技术装备，开发适应煤矿各类巷道条件的智能化快速掘进成套技术装备，提高掘进效率，减少作业人员。

（20）煤炭绿色开采和废弃物资源化利用技术

[集中攻关]研发采空沉陷动态监测技术、矸石等固体废弃物充填采煤技术、地表生态修复、煤水资源一体化利用技术，改善

矿区生态环境；开展关闭矿井资源挖潜再利用、采空区封存 CO₂ 技术研究，实现关闭矿井资源的深度开发。[示范试验]研发煤矸石、煤泥、粉煤灰高效利用技术，开展矿区典型大宗固废资源化利用示范；建设煤矿地下水、低浓度瓦斯、井下废热等低位热能利用技术示范工程；开展煤火区灭火、治理区绿色生态修复研究，开展地下煤火热能利用与生态恢复综合示范。

（21）煤矿重大灾害及粉尘智能监控预警与防控技术

[集中攻关]研究工程扰动下深部原位岩石力学行为，突破深部强采动大变形围岩控制、冲击地压智能防控技术；开展深部工程结构围岩地层改性、深度高地应力采场围岩综合控制等技术研究；研制井下极端复杂环境下多功能、高精度、低功耗智能感知设备，研发井下海量多源异构数据的高效分析处理与智能预测技术，实现重大灾害事故风险识别、预测与预报预警；[示范试验]突破采掘面粉尘控制与净化、呼吸性粉尘浓度连续在线监测、粉尘危害精确预警等关键技术，开发大容尘量和强耐湿性的送风过滤式个体防护设备，实现粉尘高效防控。

（22）煤炭及共伴生资源综合开发技术

[集中攻关]开展精确探明煤系地层的煤、油、非常规天然气、稀有金属、水等叠置资源赋存条件，精准定量确定开发模式研究，实现煤炭及共伴生资源的有效开发。[示范试验]开展煤系“三气”（煤层气、页岩气、致密砂岩气）综合开发、矿区煤层气分布式经济高效利用技术研究，推进煤矿区煤层气开发与瓦斯治理协同示范。

——煤炭清洁高效转化技术

（23）煤炭精准智能化洗选加工技术

[示范试验]研发旋流场重介质精准分选、界面调控增强选择性浮选、煤泥水高效固液分离等关键技术装备，突破工艺参数和产品质量高精度在线检测及预测技术，形成煤炭精确分选技术工艺及装备；突破自适应原煤性质全流程智能控制、数字孪生运维等技术，构建智能化选煤技术体系。

（24）新型柔性气化和煤与有机废弃物协同气化技术

[集中攻关]开发适宜于油气联产的大型柔性气化炉技术，提高甲烷产率、减少污水排放量，实现低阶煤的清洁高效利用。[示范试验]开展水煤（焦）浆与炼厂废弃物共气化技术研发与示范，协同处理炼厂含油污泥、废油浆等废弃物；开展 3000 吨/天粉煤加压气化技术研发与示范，解决高灰分、高灰熔点煤清洁高效气化难题。

（25）煤制油工艺升级及产品高端化技术

[集中攻关]突破煤炭分级液化的温和加氢液化、残渣热解、固体残渣-废水共气化等关键技术，提高煤制油的过程能效、油品收率和油品品质；研发百万吨级煤油共加氢制芳烃、航空燃料等高品质特种燃料油成套技术。[应用推广] 优化升级超百万吨级大型煤炭间接液化成套技术装备，进一步开发汽油等超清洁液体燃料生产技术。

（26）低阶煤分质利用关键技术

[集中攻关]突破煤焦油深加工制取化工新材料技术。[示范试验]开展百万吨级低阶煤热解及产品深加工、万吨级粉煤热解与气化耦合一体化等技术装备工程示范，推进低阶煤分质利用。

（27）煤转化过程中多种污染物协同控制技术

[集中攻关]突破低成本炭基催化剂制备、新型脱硫脱硝反应器及原位再生等关键技术装备，形成适于工业炉窑烟气多种污染物协同净化成套技术；突破煤化工高盐、高浓、难降解有机废水深度处理工艺技术，形成煤化工转化过程中废水协同净化技术。

——先进燃煤发电技术

（28）先进高参数超超临界燃煤发电技术

[集中攻关]开展 700℃ 等级高温合金材料及关键高温部件的制造、加工、焊接、检验等关键技术研究。[示范试验]研发 650℃ 等级蒸汽参数的超超临界机组高温材料生产及关键高温部件的制造技术，开展关键高温部件损伤机理研究，开发高温段锅炉管道及集箱、主蒸汽管道和汽轮机高压转子等高温部件产业化制造技术，突破高温部件应用的同种/异种焊接、冷热加工和热处理等关键技术，开展 650℃ 等级超超临界燃煤发电机组工程示范。

（29）高效超低排放循环流化床锅炉发电技术

[示范试验]开展循环流化床锅炉炉内石灰石深度脱硫以及 NO_x 超低排放机理基础研究，优化大型循环流化床锅炉的物流态、水动力和传热、均匀布风、受热面壁温偏差控制以及受热面布置等设计，突破高效、低成本的超低排放循环流化床锅炉发电关键技术，实现锅炉炉膛出口 NO_x、SO₂ 基本达到超低排放限

值要求，大幅降低循环流化床锅炉的污染物控制成本，适时开展工程示范。

（30）超临界 CO₂（S-CO₂）发电技术

[集中攻关]开展 S-CO₂ 基础物性研究、闭式热力循环以及发电系统集成优化等关键技术研究，掌握适配不同热源的 S-CO₂ 发电系统及关键设备设计制造技术。[示范试验]研制 S-CO₂（闭式）燃煤锅炉、透平、压缩机、高效换热器等关键设备，开展 10 ~ 50MW 级 S-CO₂ 发电工程示范及验证。

（31）整体煤气化蒸汽燃气联合循环发电（IGCC）及燃料电池发电（IGFC）系统集成优化技术

[示范试验]研究提升 IGCC 联产制氢、灵活性发电等技术；研发 IGFC 系统高温换热器、高温风机、纯氧燃烧器等关键装备，开展系统集成优化、系统动态特性、发电系统控制及连锁控制策略等关键技术研究，开发优化尾气纯氧燃烧及 CO₂ 捕集技术，适时开展工程示范及验证。

（32）高效低成本的 CO₂ 捕集、利用与封存（CCUS）技术

[集中攻关]研发新一代高效、低能耗的 CO₂ 捕集技术和装置，提高碳捕集系统的经济性；开展 CO₂ 驱油驱气、CO₂ 合成碳酸酯、聚碳等资源化、能源化利用技术研究；突破 CO₂ 封存监测、泄漏预警等核心技术；研发碳捕集转化利用系统与各种新型发电系统耦合集成技术。[示范试验]开展百万吨级燃烧后 CO₂ 捕集、利用与封存全流程示范。

（33）老旧煤电机组延寿及灵活高效改造技术

[示范试验]建立临近设计寿命的燃煤机组运行状态、机组系统和主辅设备性能、主要金属部件寿命等评估方法体系，结合节能提效和灵活性提升等需求，研究延寿改造与节能提效改造、灵活性提升改造等集成的综合改造技术，建立煤电机组延寿运行期间主要金属部件服役状态诊断、监测与寿命管理技术体系，开展工程示范及验证。

（34）燃煤电厂节能环保、灵活性提升及耦合生物质发电等改造技术

[应用推广]推广先进成熟的节能提效、超低排放、深度节水、废水零排放、固废减量及综合利用技术；因地制宜推广低压缸零出力、加装蓄热装置、火-储联合调频等火电灵活性提升改造技术；因地制宜推广燃煤耦合农林废弃物、市政污泥、生活垃圾等发电技术，进一步提高现役燃煤电厂耦合生物质发电技术水平。

3.燃气发电技术

（35）燃气轮机非常规燃料燃烧技术

[集中攻关]研发以煤气化合成气、高炉煤气、焦炉煤气等低热值气体为燃料的燃气轮机安全稳定燃烧技术，开展掺氢燃气轮机设计、制造、试验及稳定低排放燃烧技术研究，掌握适应轻柴油和天然气双燃料的燃气轮机稳定切换燃烧技术，针对伴生气、富氢合成气、轻柴油等非常规燃料开展相应机型燃气轮机的多领域应用。

（36）中小型燃气轮机关键技术

[示范试验]突破中小型驱动燃机设计和制造技术，完善关键部件和整机的试验验证能力，推动自主驱动燃机示范应用；研发分布式能源系列燃机，突破各类型燃机设计和验证技术，建设完善具有一定通用性的中、小、微型燃机试验平台，满足各类型燃机试验需求，推进中小型燃机示范应用。

（37）重型燃气轮机关键技术

[示范试验]突破重型燃气轮机自主设计、燃烧室、透平热端部件、控制系统、寿命评估及运维检修服务等关键瓶颈技术，研制具有完全自主知识产权的 300MW 等级的 F 级燃气轮机；开展 50~70MW 等级原型机自主开发、制造和试验等关键技术研发；突破重型燃气轮机透平叶片毛坯的自主设计、铸造及检测技术，开展引进型 F 级、H 级重型燃气轮机热端部件、控制系统、运维检修服务创新示范及工程验证，形成基本完整的自主知识产权重型燃机设计体系以及相应规范、软件和数据库。

专栏 5 煤炭清洁低碳高效开发利用及燃气发电技术装备重点示范

01 煤炭绿色智能开采技术示范

- ① 开展矿区典型大宗固废资源化利用示范；
- ② 开展煤矿地下水、低浓度瓦斯、井下废热等低位热能利用示范；
- ③ 开展地下煤火热能利用与生态恢复综合示范；
- ④ 开展井工矿井、露天煤矿粉尘智能监控预警与职业病防治研究与示范；
- ⑤ 开展煤矿区煤层气开发与瓦斯治理协同示范。

02 煤炭清洁高效转化技术示范

- ⑥ 开展煤炭精确分选、全流程智能控制、数字孪生运维等技术应用示范；
- ⑦ 开展水煤（焦）浆与炼厂废弃物共气化技术研发与工业示范；

- ⑧ 开展适用于高灰分、高灰熔点煤的大规模气流床粉煤加压气化技术研发与工业示范；
- ⑨ 开展百万吨级低阶煤热解及产品深加工、万吨级粉煤热解与气化耦合一体化等技术装备工程示范。

03 先进燃煤发电技术示范

- ⑩ 开展 650℃ 蒸汽参数等级的先进超超临界燃煤发电工程示范；
开展炉内控制实现炉膛出口超低排放的超超临界循环流化床锅炉发电工程示范；
开展 10~50MW 等级超临界 CO₂ 发电工程示范及验证；
开展新一代 IGCC 联产制氢及灵活性发电工程示范；
开展整体煤气化燃料电池发电（IGFC）系统集成技术示范及验证；
开展百万吨级 CO₂ 捕集、利用与封存全流程示范；
开展 300MW 及以上的老旧煤电机组延寿与节能提效、灵活性提升等综合改造技术示范。

04 燃气发电技术示范

- 开展工业驱动型、分布式能源、海上油气平台用等中小型燃机自主化创新示范；
开展 300MW 等级自主研发 F 级燃机示范；
开展引进型 F 级、H/J 级重型燃机热端部件、控制系统、运维检修服务等自主化创新示范。

（五）能源系统数字化智能化技术

聚焦新一代信息技术和能源融合发展，开展能源领域用智能传感和智能量测、特种机器人、数字孪生，以及能源大数据、人工智能、云计算、区块链、物联网等数字化、智能化共性关键技术研究，推动煤炭、油气、电厂、电网等传统行业与数字化、智能化技术深度融合，开展各种能源厂站和区域智慧能源系统集成试点示范，引领能源产业转型升级。

1. 基础共性技术

（1）智能传感与智能量测技术

[集中攻关]开展能源领域专用的传感材料研究，突破核心器件设计与制备技术，掌握特种传感器集成封装和高可靠性技术，开展传感器关键量值校验与可靠性评价技术研究，确保关键参量的准确可靠；提出低功耗传感网络通信协议；健全关键量测设备运行与质量评价技术，建立安全可信的能源信息采集与互动平台，提升能源量测数据综合分析应用水平。

（2）特种智能机器人技术

[集中攻关]研究面向能源厂站建设、巡检、检测、清理等领域工程应用的机器人运动控制、极限环境下机器人本体适应、复杂作业空间高精度定位、复合自动化检测等机器人控制技术，开发智能路径规划、复杂机动反馈控制等机器人交互技术，为能源厂站的智能运维提供技术支撑和保障。

（3）能源装备数字孪生技术

[示范试验]针对发电装备、油气田工艺设备、输送管道、柔性输变电等能源关键设备，开展三维精细化建模、数理与机理结合的自适应建模、状态参数云图重构、多物理场信息集成等关键技术研究，构建包括设备状态人工智能预测、性能与安全风险智能诊断、人机交互虚拟仿真预测的数字孪生系统。

（4）人工智能与区块链技术

[示范试验]开展图像识别、知识图谱、自然语言处理、混合增强智能、群智优化、深度强化学习等人工智能基础技术与能源领域的融合发展研究；开展跨域多链融合与基于区块链的数据管

理技术研究，构建具备自治管理能力的能源电力区块链平台，研究适用于能源交易、设备溯源、作业管理、安全风险管控等业务的共识机制，开展区块链在分布式能源交易、可再生能源消纳、能源金融、需求侧响应、安全生产、电力调度、电力市场等场景的应用示范。

（5）能源大数据与云计算技术

[示范试验]建立能源大数据模型，支撑构建海量并发、实时共享、开放服务的能源大数据中心，开展能源数据资源的集成和安全共享技术研究，深化应用推广新能源云，全面接入煤、油、气、电等能源数据，打造新型能源数字经济平台。开展适用于能源不同领域的云容器引擎、云编排等技术研究，构建异构云平台组件兼容适配平台和多云管理平台，支撑能源跨异构云平台、跨数据中心、多站融合、云边协同等环境下的应用开发和多云管理。

（6）能源物联网技术

[示范试验]开展适应能源领域标准的物联网通信协议技术、能源物联终端协议自适应转换技术、能源物联网信息模型技术、能源物联网端到端连接管理技术研究，形成云边协同的全域物联网架构，开发适用于能源物联网的新型器件、新型终端与边缘物理代理装置，开发物联网多源数据采集融合共享系统及大数据分析应用，建设能源物联网及终端安全防护技术装备体系，建立具备接入和管理各种物联网设备及规约的物联网管理支撑平台。

2.行业智能升级技术

（7）油气田与炼化企业数字化智能化技术

[示范试验] 研发油气勘探开发一体化智能云网平台、地上地下一体化智能生产管控平台、油气田地面绿色工艺与智能建设优化平台等关键技术系列及配套装置，开展新一代数字化油田示范和低成本绿色安全的地面工艺关键技术示范，实现科研、设计、生产、经营与决策一体化、智能化和绿色化。搭建炼化企业资源全流程价值链优化平台以及基于泛在感知、生产操作监控、运营决策与执行的生产智能运营平台，开展基于工业互联网平台的智能炼厂工业应用示范。

（8）水电数字化智能化技术

[示范试验]开展大坝智能化建造、地下长大隧洞群智能化建造、TBM 智能掘进、全过程智能化质量管控等成套技术集成研发与应用；构建流域梯级水电站智能化调度平台；开发智能水电站大坝安全管理平台，实现智能评判决策及在线监控，推动水电站大坝及库区智能监测、巡查与诊断评估、健康管理及远程运维；完善“监测、评估、预警、反馈、总结提升”的流域水电综合管理信息化支撑技术，形成智能化规划设计、智能建造、智慧运行管控和智能化流域综合管理等成套关键技术与设备。

（9）风电机组与风电场数字化智能化技术

[应用推广]掌握叶片自动化生产工艺技术，推动风电产业链数字化、网络化、标准化、智能化，构建上下游协同研发制造体系；开展风电场数字化选址及功率预测、关键设备状态智能监测与故障诊断、大数据智能分析与信息智能管理等关键技术研究，打造信息高效处理、应用便捷灵活的智慧风电场控制运维体系。

（10）光伏发电数字化智能化技术

[示范试验]加强多晶硅等基础材料生产、光伏电池及部件智能化制造技术研究，构建光伏智能生产制造体系；开展太阳能资源多尺度精细化评估与仿真、光伏发电与电力系统间暂稳态特性和仿真等关键技术研究，构建光伏电站智能化选址与智能化设计体系；开展光伏电站虚拟电站、电站级智能安防等关键技术研究，推动光伏电站智能化运行与维护；开展大型光伏系统数字孪生和智慧运维技术、多时空尺度的光伏发电功率预测技术示范，推动智能光伏产业创新升级和行业特色应用。

（11）电网智能调度运行控制与智能运维技术

[示范试验]开展大电网运行全景全息感知与智能决策、电网故障高效协同处置、现货市场支撑、新能源预测与控制、源网荷储协同的低碳调度、基于调控云的调度管理等技术攻关，研发新一代调度技术支持系统；开发基于卫星及设备 GIS 的多源信息电网灾害监测预警、“空-天-地”一体化监测、输电线路及设施无人机一键巡检、电网“灾害预警-主动干预-灾情感知-应急指挥”一体化智能应急、面向电力行业的电力装备检测、基于物联网的高效精益化运维以及单相接地故障准确研判等关键技术与装备，实现设备故障智能研判和不停电作业。

（12）核电数字化智能化技术

[集中攻关]构建核电研发、设计、制造、建造、运维、退役全周期业务领域的数字化智能化标准体系及平台体系，建立全生命周期大数据系统和核电厂三维数值模型，实现全过程状态结

合、技术要素关联和技术状态贯通；开展反应堆堆芯数值模拟和预测、三维数字化协同设计与智慧工地、机组运行状态智能监控与分析、在役去污、典型设备运行状态全面感知预测与智能诊断、预防性维修、全寿期健康管理以及老化和寿命评估等关键技术研究，支撑构建人机物全面智联、少人干预、少人值守的智能核电厂。

（13）煤矿数字化智能化技术

[集中攻关]开发煤矿工程数字化三维协同设计平台，支撑煤矿智能化设计；重点突破精准地质探测、井下精确定位与数据高效连续传输、智能快速掘进、复杂条件智能综采、连续化辅助运输、露天开采无人化连续作业、重大危险源智能感知与预警、煤矿机器人等技术与装备，建立煤矿智能化技术规范与标准体系，实现煤矿开拓、采掘（剥）、运输、通风、洗选、安全保障、经营管理等过程的智能化运行。[示范试验]针对我国不同矿区煤层赋存条件，开展大型露天煤矿智能化高效开采、矿山物联网等工程示范应用，分类、分级推进一批智能化示范煤矿建设，促进煤炭产业转型升级。

（14）火电厂数字化智能化技术

[示范试验]强化火电厂数字化三维协同设计、智能施工管控、数字化移交等技术应用；突破火电厂数字孪生体的系统架构、建模和开发技术；综合应用先进控制策略、大数据、云计算、物联网、人工智能、5G 通信等技术，从智能监测、控制优化、智能运维、智能安防、智能运营等多方面进行突破与示范，建设具备

快速灵活、少人值守、无人巡检、按需检修、智能决策等特征的智能示范电厂，全面提升火电厂规划设计、制造建造、运行管理、检修维护、经营决策等全产业链智能化水平。

3.智慧系统集成与综合能源服务技术

(15) 区域综合智慧能源系统关键技术

[示范试验]研究区域综合智慧能源系统规划技术；开展复杂场景多能源转换耦合机理、多能源互补综合梯级利用集成与智能优化、智慧能源系统数字孪生、智慧城市高品质供电提升等技术研究，攻克智能化、网络化、模组化的多能转换关键设备；研究综合智慧能源系统能效诊断与碳流分析技术，支撑建立面向多种应用和服务场景的区域智慧能源服务平台，实现电、热、冷、水、气、储、氢等多能流优化运行及智慧运维，全面提升能源综合利用率；开展典型场景下综合智慧能源系统集成示范，推动形成各类主体深度参与、高效协同、共建共治共享的智慧能源服务生态。

(16) 多元用户友好智能供需互动技术

[示范试验]开展多元用户行为辨识与可调节潜力分析、广泛接入与边缘智能控制、灵活资源深度耦合与实时调节、即插即用直流供用电、数字孪生支撑源网荷储协同互动等技术，研制基于5G和边缘计算的可调负荷互动响应终端，研发融合互联网技术的可调负荷互动系统，建立多元可调负荷与智能电网良性互动机制，开展电动汽车有序充放电控制、集群优化及安全防护技术研究，开展分布式光伏、可调可控负荷互动技术研究，开展省级大

规模可调资源聚合调控、台区用能优化示范验证，促进清洁能源消纳和削峰填谷。

专栏 6 能源系统数字化智能化技术重点示范
01 基础共性技术示范 ① 开展发电装备、油气田工艺设备、输送管道、柔性输变电等能源关键设备数字孪生技术示范应用； ② 开展电力人工智能一站式服务系统、智能调度指挥平台等应用示范； ③ 开展区块链技术在可再生能源电力消纳、分布式发电市场化交易、电力批发市场、电力零售市场、安全生产等能源电力业务的示范应用； ④ 开展能源大数据中心安全开放平台开发与示范应用； ⑤ 开展电力云平台异构云组件兼容适配平台开发与示范应用； ⑥ 开展具备接入和管理各类物联设备及规约的物联网管理支撑平台示范。
02 行业智能升级技术示范 ⑦ 开展智能油气田建设项目示范； ⑧ 依托已投运的高坝大库开展智能水电站大坝管理平台示范； ⑨ 开展智能光伏发电示范应用； ⑩ 开展基于主配网协同的新一代智能调度系统示范； 开展基于输电线路的异构融合组网通信智能输电示范； 基于数字孪生和全景感知的输变电工程智能运维综合示范； 开展基于云-边-端一体化智能量测系统及增值服务示范； 选择不同区域、不同地质条件的井工和露天煤矿，开展智能化开采、智能化选煤、矿山物联网等工程示范； 开展设计、建造、运维、检修、决策等全生命周期智能电厂示范。
03 智慧系统集成与综合能源服务技术示范 开展工业园区可再生能源冷热电联供以及电冷热气氢多能转换工程示范； 开展省级大规模可调资源聚合调控示范。

四、保障措施

（一）健全能源科技创新协同机制

落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略，在国家能源委员会框架下，建立健全多部门参加、目标明确、分工合理的能源科技创新协同推进工作机制。国家能源、科技主管部门与各级地方能源、科技主管部门加强能源科技创新工作协同联动，指导各地方完善依托能源工程推进科技创新的相关配套政策。完善能源科技协同创新机制，发挥新型举国体制优势，对于目标明确的攻关任务，按照“揭榜挂帅”的原则确定牵头实施单位，支持牵头实施单位联合相关企业、科研机构、高校，以支撑能源发展需求和重大工程建设为目标，建立跨领域、跨学科的创新联合体，形成协同攻关合力。

（二）完善能源科技创新平台体系

建立健全以全国重点实验室、国家工程研究中心、国家能源研发创新平台以及地方、企业相关创新平台为骨干、梯次衔接的能源科技创新平台体系。依托能源领域优势企业布局设立一批国家能源研发创新平台，发挥行业引领示范作用。进一步优化和规范国家能源研发创新平台运行管理和考核评价，探索建立科学合理的进入退出机制和管理机制，引导其围绕国家任务加大投入、加强支撑。鼓励国家能源研发创新平台实体化运行，用足用好投资、财税、薪酬等国家各类科技创新支持政策，以打通创新链和价值链为导向，发挥行业引领作用，构建开放合作、共创共享创新生态圈。

（三）推动能源科技成果示范应用

根据规划重点任务设立示范工程、示范区，鼓励各类能源项目制定技术装备创新方案，确保规划各项任务“攻关有主体、落地有项目、进度可追踪”。完善能源技术装备首台（套）政策，进一步细化落实容错机制等支持措施。鼓励地方制定细化首台（套）重大技术装备支持政策，经国家认定的首台（套）重大技术装备示范项目，根据实际需要适当给予优惠和支持。鼓励用户企业建立健全首台（套）评价标准，在确保安全的前提下推进能源首台（套）技术装备示范应用。研究建立能源产业技术装备推广指导目录，向市场推广经过示范验证的先进能源技术装备。

（四）突出企业技术创新主体地位

发挥能源领域中央企业技术装备短板攻关主力军、原创技术策源地和现代产业链“链长”作用，推动中央企业和地方企业联动、国有企业和民营企业协同，组织产业链优势企业强强联合和产学研深度协作，集中优势资源突破制约发展的关键核心技术。鼓励民营企业加强能源技术创新，加大研发投入，专注细分市场，掌握独门绝技，独立或与有关方面联合承担规划确定的重点任务。支持由企业牵头联合科研机构、高校、社会服务机构等，聚焦能源重点领域，共同发起建立产业技术创新战略联盟，推动能源基础研究、应用研究与技术创新对接融通。

（五）优化能源行业技术标准体系

积极实施标准化战略，大力推进技术专利化、专利标准化、标准产业化。持续深化标准化工作改革，完善能源标准化管理体制机制。进一步加强能源标准化顶层设计，加快能源领域新型标

准体系建设。坚持能源标准化与技术创新、工程示范一体化推进，强化标准实施监督，以高标准支撑引领能源高质量发展。积极培育发展团体标准，突出行业标准公益属性，着力提升能源标准质量。建设能源标准化信息平台，推动能源行业标准公开。大力推进能源标准国际化，加快能源“走出去”亟需标准的翻译，进一步推动技术标准交流合作和中外标准互认，提升中国标准海外影响力。积极培养能源标准化人才队伍，支持能源企业及标准化机构参与国际标准化工作。

（六）加大规划任务资金支持力度

优化能源科技创新投入机制，多方争取资金支持规划任务技术攻关。在国家能源委员会和国家科技计划（专项、基金等）管理部际联席机制等框架下，积极将规划任务纳入中央预算内投资项目、科技创新 2030—重大项目、能源相关重点研发计划重点专项项目，以及其他各类国家科技计划项目和地方科技计划项目，加强财政资金支持力度。发挥财政资金“四两拨千斤”作用，加强对企业创新基金的引导，推动各类所有制企业围绕规划目标和任务加大研发资金投入，吸引各类社会资本投资能源科技创新领域。鼓励国有资本、民营资本等各类社会资本参与能源行业各环节科技创新。

（七）加强能源科技创新国际合作

立足开放条件下自主创新，积极推进与“一带一路”国家能源科技合作，引导国内外能源相关企业、科研机构、高校在能源科技领域的实质性合作。落实“走出去”共建共享发展模式，研究

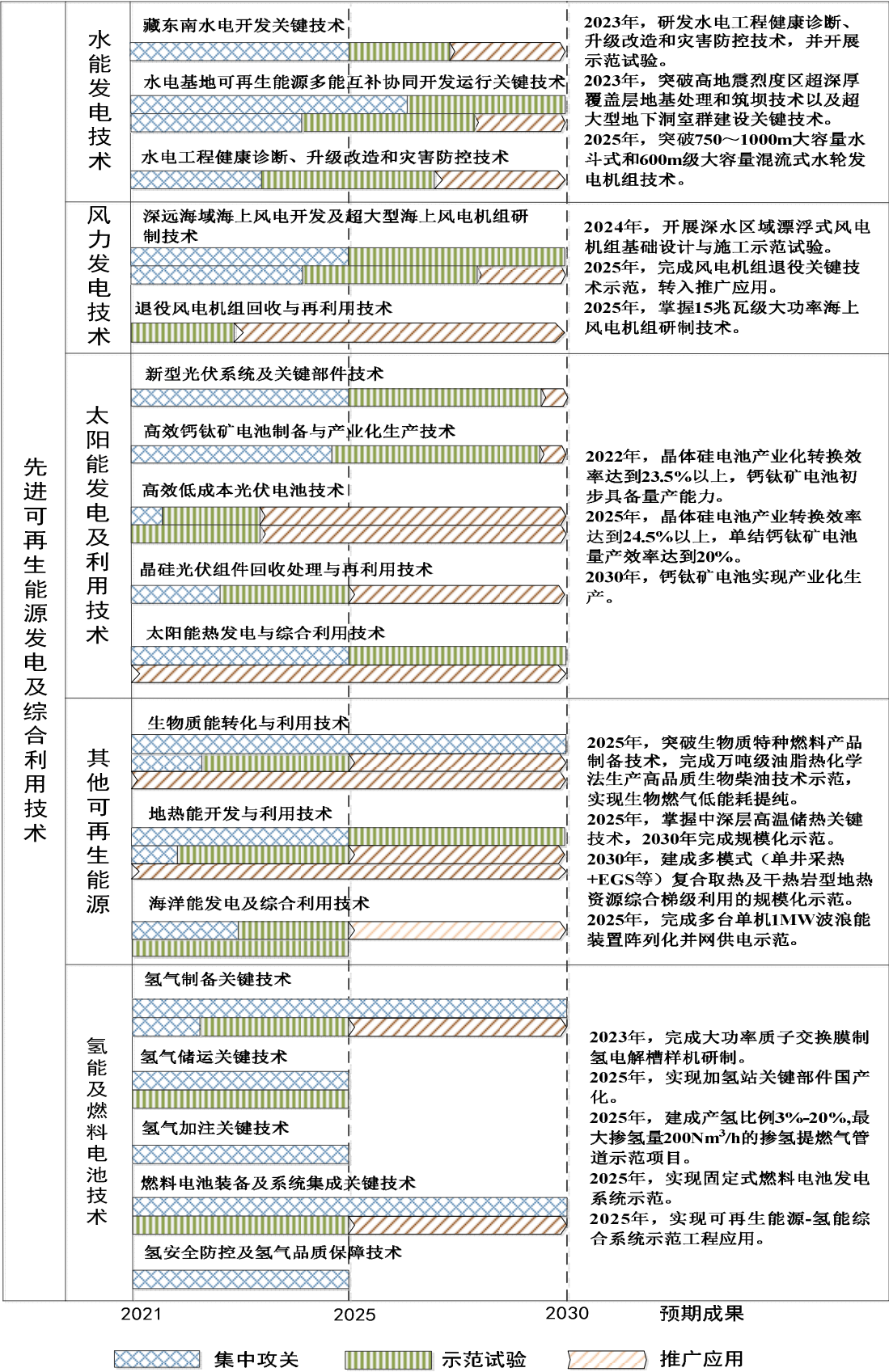
完善能源技术装备国际合作服务工作机制，加强与共建“一带一路”沿线国家和地区在能源技术装备领域的务实合作。积极参与国际热核聚变实验堆计划，加强与清洁能源部长级会议、创新使命部长级会议及国际能源署等多边机制和国际组织的务实合作，促进清洁能源技术研发。

（八）加速能源科技创新人才培养

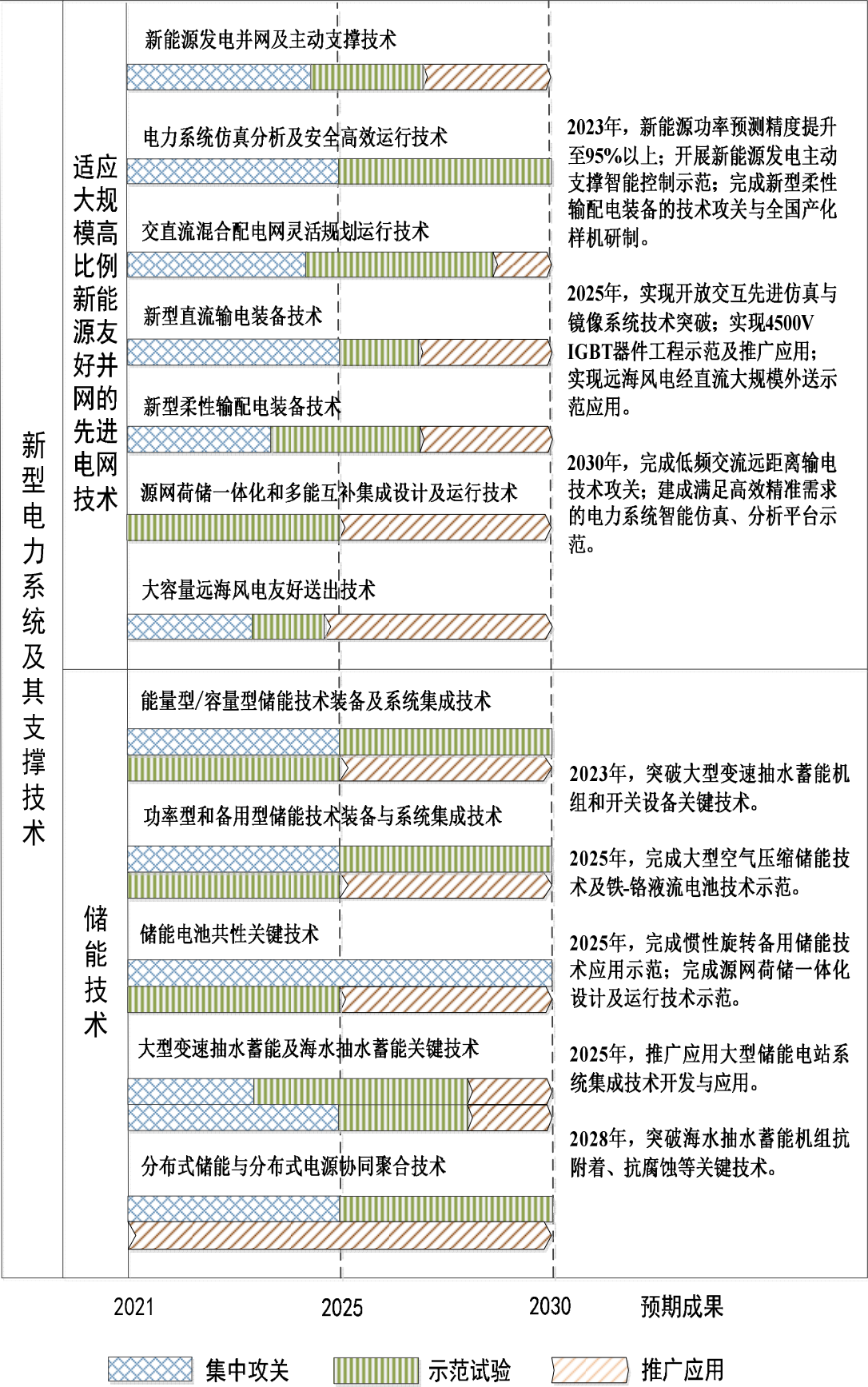
贯彻落实《国务院办公厅关于深化产教融合的若干意见》，根据能源技术革命发展需求，支持围绕能源前沿新兴交叉领域开展产教融合试点，满足跨学科专业人才供给。创新能源技术人才培养模式，遵循能源产业发展规律，依托重大能源工程、能源创新平台，加速技术研发、技术管理、成果转化等方面的中青年骨干人才培养，培育一批引领能源技术前沿、支撑能源工程建设的技术带头人和一批懂科技、精管理的复合型人才。在能源关键技术领域，支持能源企业引进储备高层次技术人才，促进优秀人才在研发机构和能源高新企业双向流动。落实国有企业成果转化奖励相关政策，鼓励能源领域国有企业突破工资总额基数等限制，对能源技术创新、成果转化重要贡献人员和团队进行奖励。

五、附录：技术路线图

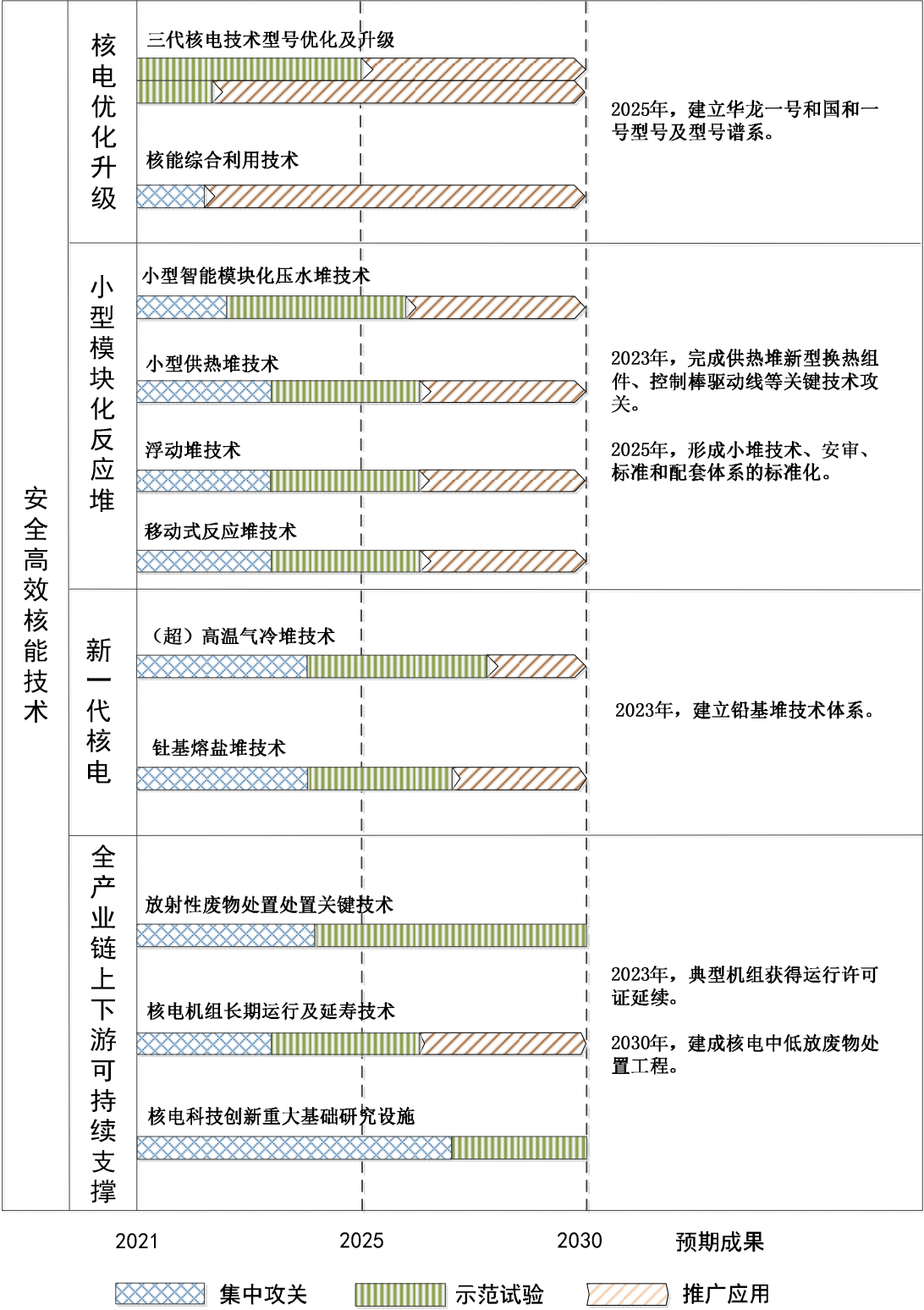
(一) 先进可再生能源发电及综合利用技术



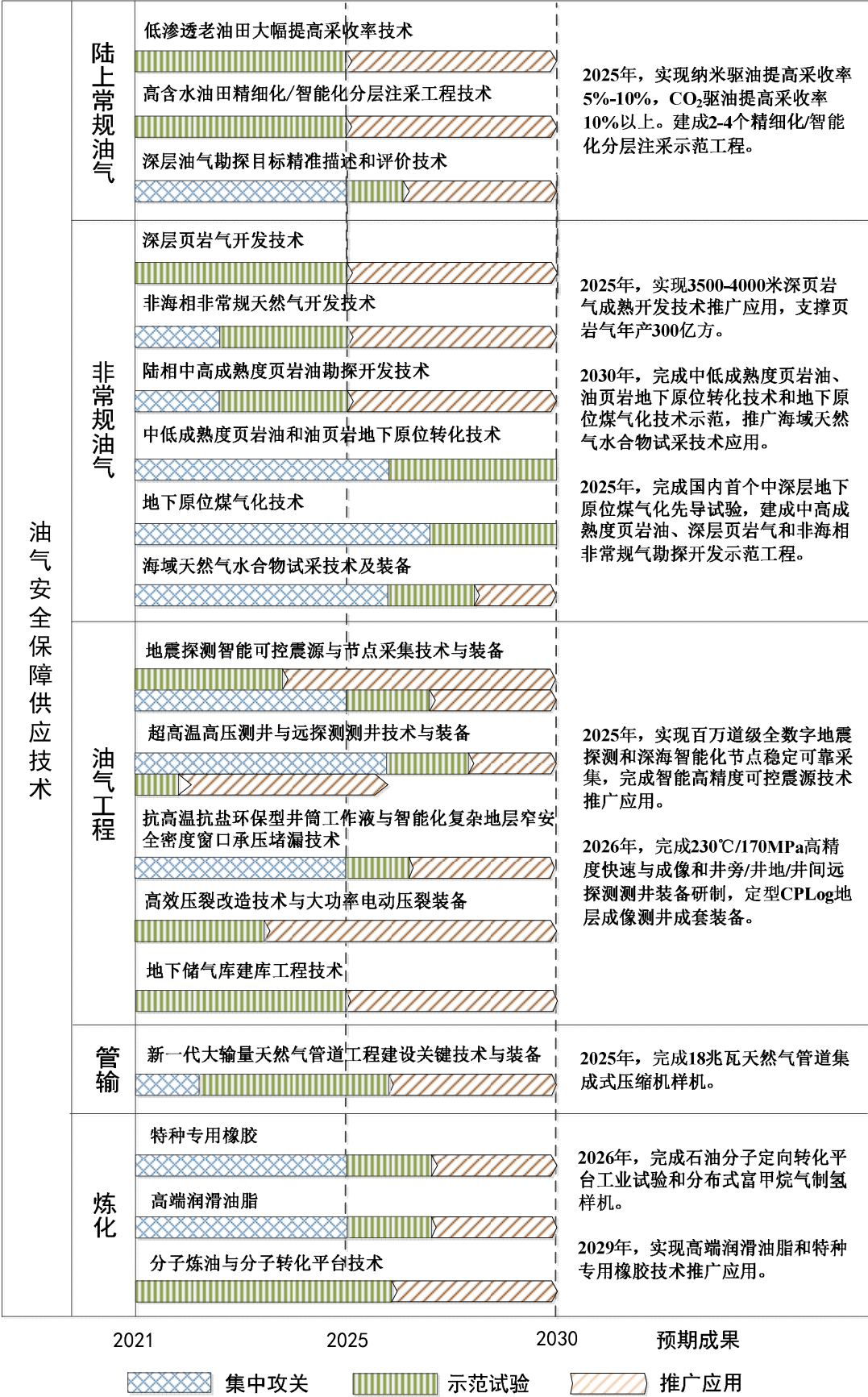
(二) 新型电力系统及其支撑技术

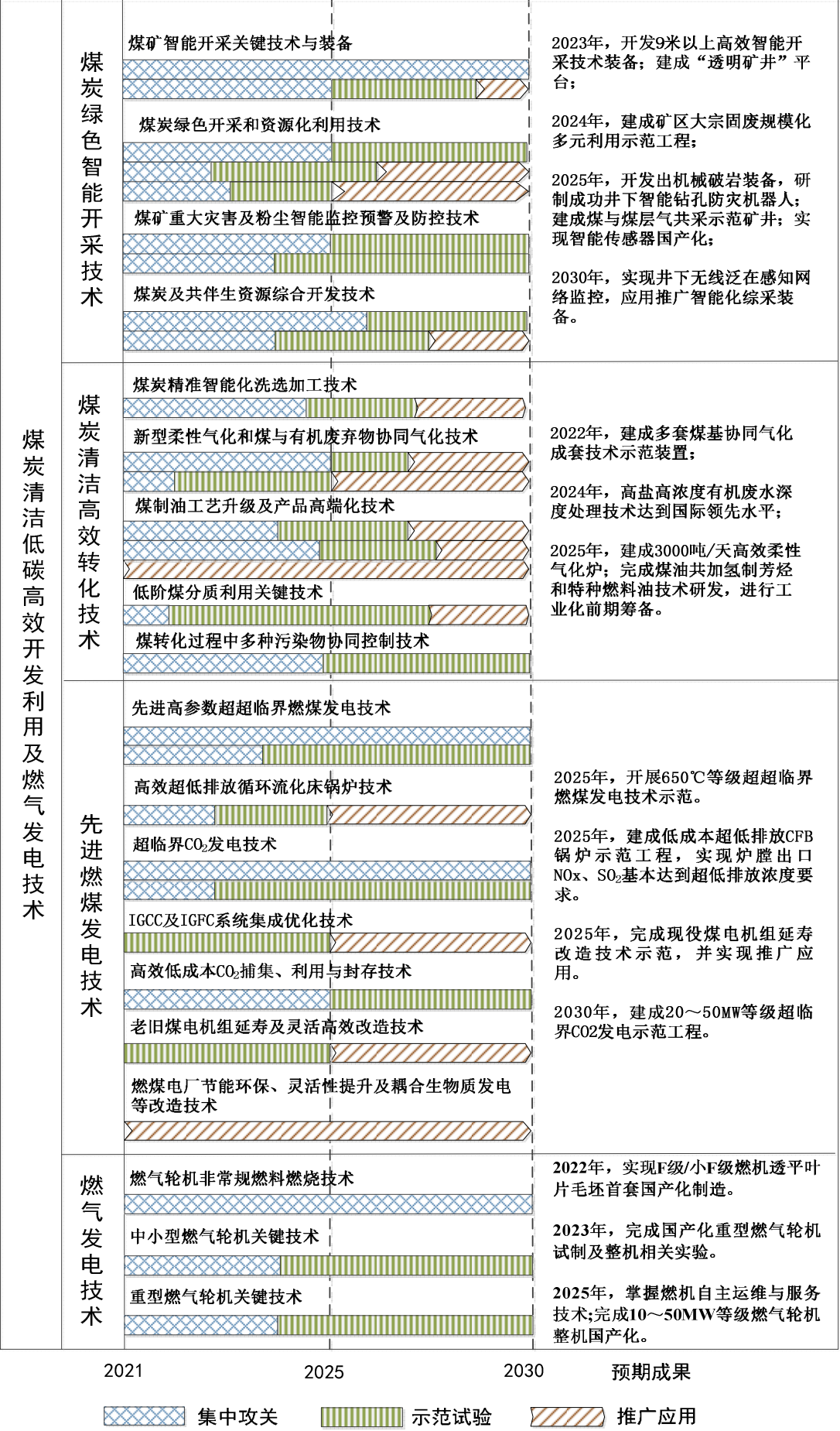


(三) 安全高效核能技术



(四) 绿色高效化石能源开发利用技术





(五) 能源系统数字化智能化技术

