

“十四五”期间实施“四大提升工程”、打造“四大创新高地”、建设“三大支撑平台”

# 科技创新赋能山东能源业高质量发展

□ 本报通讯员 王磊 马向阳 张建国 本报记者 左平岐 张文婷

近日，省能源局等3部门联合印发《山东省能源科技创新“十四五”规划》(以下简称《规划》)。《规划》坚持系统观念，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“双碳”重大战略决策，面向世界能源科技前沿，锚定全省能源结构“四增两减提升”优化调整目标，着力实施“四大提升工程”、打造“四大创新高地”、建设“三大支撑平台”，以科技新引擎点燃山东能源行业高质量发展“新引擎”。

## 发展目标

围绕全面建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系总体目标，重点突破“卡脖子”关键技术与核心装备，引领战略性新兴产业、前瞻性能源技术快速兴起，实现能源自主创新能力大幅提升，能源产业竞争力显著增强，能源技术创新体系进一步健全。

——健全适应能源高质量发展科技创新体系。到2025年，创建国家级创新平台5个左右，省级创新平台20个左右，培育国家级首台(套)重大技术装备20个以上。

——引领以新能源为主体的能源体系建设。到2025年，新建、在役煤电纯凝机组稳燃情况下最小技术出力分别达到额定容量20%和30%，新建、在役煤热电联产机组稳燃情况下最小技术出力分别达到额定容量30%和40%，为全省可再生能源电量占比提升到19%左右提供支撑。

——推动传统能源绿色低碳高效开发利用。到2025年，电网综合线损率下降到3.5%，煤电机组平均供电煤耗下降到300克/千瓦时。

——促进能源产业智能化智慧化改造升级。到2025年，煤矿智能化开采量达到90%以上，油气管道人员密集型高后果区视频监控动态覆盖率达到100%，10千伏线路智能终端覆盖率、配电自动化覆盖率基本达到100%。

## 重点任务

实施“443”工程，即实施四大提升工程、打造四大创新高地、建设三大支撑平台，支撑全省清洁低碳、安全高效现代能源体系建设。

四大提升工程。按照集中攻关一批、示范试验一批、应用推广一批分类推进思路，加快关键核心技术装备研发和推广应用，提升能源科技创新能力。

——新能源技术提升工程。加快太阳能、风能、生物质能、抽水蓄能、地热能、海洋能、核能、氢能等新能源和可再生能源发电及综合利用技术研发及应用。

太阳能。突破高效低成本晶硅、钙钛矿、低成本配套材料等新型太阳能电池产业化关键技术，开发关键配套材料，开展电池组件生产及示范。

风能。开展7兆瓦及以上大型风电机组和低风速风电机组示范，实施深远海上风电柔性直流集中送出工程，示范试验海上风电与海洋牧场、海上制氢综合开发利用技术。

生物质能。示范试验低热值高水分垃圾清洁焚烧、二噁英等污染物超低排放和飞灰无害化资源化利用等新型技术，开展县域生物天然气、沼气综合利用等技术推广应用。

抽水蓄能。开展海水抽水蓄能发电新技术研究，加强中小型抽水蓄能电站关键技术研究，研究废弃矿坑抽水蓄能发电新技术。

地热能。研究中深层无干扰地热供暖、U型和EGS型井下换热等技术，示范试验地热多能融合的氢能发电、供热(冷)、热泵一体等综合梯级利用技术。

海洋能。攻关先进波浪能、潮流能、温差能等利用与示范仿真关键技术，开展海洋能与海上风能、太阳能等多能互补发电及海水淡化、海洋牧场综合利用等新技术示范。

核能。攻关大规模核能供热及核电站重要设备国产化关键技术，示范试验水热同产同送和长距离清洁供暖技术，开展核能海水淡化、制氢、海上浮动堆等技术研究和示范应用。

氢能。开展工业副产氢纯化技术与规模化应用，开发高压氢气压缩机、高压大容量集装箱管束等关键装备，开展管道输氢、天然气掺氢及加氢站示范。

——新型电力系统技术提升工程。围绕构建以新能源为主体新型电力系统，推动多种能源方式互联互通、源网储深度融合，提升电力系统灵活调节能力，促进新能源大规模高比例并网及消纳。

电网。开展交直流混合主动配电网技术研究；推广新能源场站送出等场景的柔性直流技术；研究智能调度控制技术，构建省地县配一体化的智能调度管控体系。

电力调节。开展省外来电送电曲线方案优化研究，推广智能燃烧优化控制、富氧燃烧、高加旁路变负荷调节等煤电机组深度调峰技术及热电解耦技术。

燃气轮机。开展50兆瓦及以下功率等级国产轻型燃气轮机研发，研究燃气轮机压气机部件、燃烧室、控制系统等关键技术，开发燃气轮机整机试验技术和运维技术。

储能。示范试验固态锂电池、钠电池集成、“虚拟电厂”等技术，突破锂电池、低成本多价离子电池、动力薄膜电容工艺装备，推广盐穴压缩空气储能等技术。

——能源智能化技术提升工程。围绕煤炭、油气、电力等能源产业数字化智能化升级，加快云计算、大数据、物联网、区块链等先进技术应用，支撑全省能源体系效率提升与质量变革。

基础智能技术。研究数据智能采集、大数据分析、云计算等技术应用，开展能源优化调度、数字孪生、泛能源大数据等理论研究，促进能源生产、转化、传输、存储等全链条智能化水平提升。

电网智能化。开展智能电网高级分析与优化运行研究，推动智能配电网与数字、通信技术深度融合。推广智能监测高压电气设备、信息安全技术等技术应用，构建新型智能装备体系及运维平台。

油气管网智能化。开展油气管网智能化监测预测、分析控制研究，突破油气管道智能控制、数字化恢复与智能运行优化等关键技术，构建油气管道智能化技术创新平台。

发电厂智能化。开展煤电机组深度调峰运行优化与智能控制攻关，研究电力企业安全生产、节能环保运行等技术，示范试验智慧电厂数字孪生技术，推广智慧电厂管控平台应用。

煤矿智能化。开展煤炭装备工业设计、制造工艺和质量控制等关键技术研究，推广应用矿井智能通风、开采、掘进等技术，搭建矿用5G智能传输基础网络平台。

综合智慧能源。开展太阳能、风能、储能等能源综合高效利用技术攻关，研究多能协同综合能源网络控制装备技术、智能用能终端、智能监测与优化调控等技术及核心技术。

“四流一体”新型能源互联网。研究融合物质流、能量流、信息流、价值流于一体的“四流一体”新型能源互联网技术，开发“四流一体”融合、分析、计算关键技术，打造“四流一体”新型能源互联网。

——能源安全绿色开发技术提升工程。围绕能源安全绿色生产和清洁高效利用，加强关键技术攻关，强化示范引领带动作用，加快先进装备应用，提升能源利用效能。

煤炭安全绿色开采。攻关煤炭开采隐蔽致灾因素探查、重大灾害综合治理、采动损伤监测与控制等技术。示范试验煤体应力随钻感知及远程智能钻孔卸压技术、煤矿灾害智能监测预警等技术。推广高效充填开采、保水开采与地下气化等绿色开采技术。

石油天然气。聚焦深海、深层、非常规等油气资源开采，攻关老油田三次和四次采收率提升。突破钻修井装备、压裂成套设备、连续油管作业车等油气开发高端装备核心技术。开展先进炼化一体化关键技术、重劣质油清洁高效深度转化利用等技术研究，突破新一代原油直接裂解制材料制备等关键技术。

清洁煤电。突破煤电耦合生物质、超临界二氧化碳发电技术。研究煤电机组节能降耗改造、供热改造、灵活性改造制造等技术。探索高温高压临界升级改造技术。研究源网融合智慧供暖、远程节能诊断与运行优化、燃料灵活性等技术。推广汽轮机冷端、烟气余热深度利用等综合节能技术。

煤炭清洁转化利用。开展煤炭液化与热解、煤炭分级分质转化、新型煤油共炼等新技术研究，突破大型高效煤炭气化、煤气净化、煤与生物质或天然气共气等关键技术。研制新一代煤制氢、煤制天然气、煤制乙醇等清洁燃料，研发新一代煤制烯烃、煤制乙二醇、煤制高端润滑油等成套技术装备。

碳捕集利用与封存。研究新一代高效低能耗二氧化碳吸收和捕集新材料，开展煤炭燃烧前、富氧燃烧和燃烧后的碳捕集技术研究，突破二氧化碳物理、化学、电催化转化及大规模碳封存及长期监测等新技术，开展全流程碳捕集、利用与封存项目示范。

高分辨碳足迹核算。研究基于空间信息与技术、全生命周期分析方法的高分辨率碳足迹计算模型与方法，建立本土化碳排放基础数据库和标准体系，开发碳排放、碳核算工具与平台。

四大创新高地。加快先进技术研发、成果转化及产业化步伐，全力打造国内领先四大科技创新高地，助力千万千瓦级海上风电、胶东半岛核电、鲁北风光储输一体化等基地建设。

——海上风电科技创新高地。依托打造千万千瓦级海上风电基地和千亿级山东半岛海上风电装备制造产业基地，重点攻关适合山东海域特点的大功率海上风电机组，提升海上风电装备关键部件自主化水平，实现“十四五”海上风电技术重大突破。

海上风能利用关键设备。攻关7兆瓦等级及以上大功率海上风电机组技术，提升大尺度叶片、发电机、齿轮箱等关键部件自主化水平和配套能力，突破一批“卡脖子”技术。

智慧服务。研发海上风电场集群调控并网系统，研究风电机组在线监测、故障诊断、远程监控、智能运维等技术，支撑海上风电资源高效、大规模、可持续开发利用。

远距离输电。研发高压大容量柔性直流海上换流平台轻量化关键技术，研制换流器、直流海缆、海上平台等关键装备，开展大容量海上风电机组并网技术研究。

漂浮式风电。攻关漂浮式海上风电机组装备关键技术，研究适用于深远海域半潜式基础平台等关键技术，开展远海大型风电场设计建设、风电运输、运维成套设备等技术研发。

——核能开发科技创新高地。依托国和一号、高温气冷堆、华龙一号等核电项目建设，围绕核级材料与核心装备、核电运营和数据管理、核能综合利用等七大领域，全力打造立足山东、全国领先的核电产业技术创新高地。

核级材料与核心装备。围绕三代核电机组建设，聚焦材料服役性能评价与预测，以长期工况下核关键材料服役性能、主管道性能优化工艺为研发方向，研发核电环境温湿度精密控制、核设备实时冷却为核心的热管理系统关键技术和装备。

核电运营和数据管理。以满足核安全为方向，开展核能大数据综合利用与系统集成相关研究，支撑国和一号、高温气冷堆、华龙一号等先进核电技术创新。

核能综合利用。面向清洁供暖需求，开展核能余热供热技术、热电联产技术等研究，提升核能运行效率。开展核能间接空冷系统应用、常规岛余热利用、大型海水冷却塔等关键技术研究，推动科研成果工程化、产业化。

核安全与辐射防护。开展核辐射防护与监测核心设备研发，研究核能非能动消防、应急电源系统技术和装备。开展核能设备及工程项目检验、检测、认证等研究。

环境保护与三废处理。开展核放射线废水处理、多能耦合集成海水淡化、蒸汽重整核废物、工程模拟装置等技术研发。

非动力核技术应用与产品研发。结合农业、医疗、工业CT、公共服务等需求，开展非动力核技术应用和装备研发。小型堆及海上清洁能源综合供给平台。开展核能热电联产低温供热堆、泳池式低温供热堆及海上清洁能源综合供给平台等技术研发。

——多能互补科技创新高地。聚焦鲁北盐碱滩涂地千万千瓦级“风光储输一体化”基地和鲁西南煤炭沉陷区百万千瓦级光伏基地，重点开展大规模、低成本、高效率可再生能源技术研发和多种能源协同利用融合发展，打造具有山东特色的风光储输一体化科技创新高地。

多能协同利用。开展风光资源精细化评估、多时空尺度出力特性等技术研究，构建投资优化决策和运行模拟交互运行一体化平台。突破大电网柔性互联技术，研究满足分布式新能源高效并网消纳的交直流配电网与智能微网技术。研究适应“双高”特征的电力系统并网、输电、调节、控制及需求响应等技术，提高电网防御能力和新能源消纳能力。

储能。研究支撑大规模新能源柔性并网和分布式新能源开放接入的储能配置、系统集成与调控、源网侧多类型储能应用等技术，突破固态锂电池、铁铬液流电池、钠电池、低成本多价离子电池等关键工艺和装备，完善储能安全监管和经济运行技术，推动新能源储能平台基地建设。

多能互补集成。研究横向“电、热、冷、气、水”等多能互补、纵向“源、网、荷、储、控”能源各环节的一体化智慧能源技术，推动能源互联网综合集成技术创新。

——氢动走廊科技创新高地。围绕培育壮大“鲁氢经济带”、打造山东半岛“氢动走廊”，实施“氢进万家”科技示范工程，形成济南、青岛、淄博、潍坊等氢能相关装备产业集群，打造全国氢能示范样板，助力山东省新旧动能转换和氢能高质量发展。

氢能关键技术。聚焦大规模氢能制、储、运、用一体化技术，开展工业副产氢纯化、可再生能源电解水制氢、管输掺氢、管输输氢、高压快速加注等制储运加关键技术研发。开发燃料电池用低铂催化剂、质子交换膜、炭纸和高压氢瓶用碳纤维等关键材料，突破长寿命、高功率膜电极和电堆关键技术。

氢能产品研发。研发兆瓦级电解水制氢装置、加氢站用氢气压缩机等关键装备。开发模块化大功率燃料电池发动机、高压氢瓶等设备，实现中长途重载车辆批量应用。开发燃料电池用空压机、氢气循环泵等燃料电池系统关键部件，突破高压储氢系统减压器、氢管理等关键部件核心技术并实现应用。

“氢进万家”科技示范工程。发挥济南重型商用车研发、制造基地优势，打造

氢能产业创新研发、装备制造高地；发挥青岛物流枢纽优势，打造氢能车辆、船舶制造、热电联供等综合应用基地；布局以淄博、潍坊为龙头燃料电池及关键材料产业集群，以济宁、聊城为龙头燃料电池整车及氢能制储装备产业集群。

三大支撑平台。集聚各类创新要素，构建覆盖能源科技创新全过程的高等级科技创新平台，夯实能源科技创新基础。

——建设能源科技创新平台。聚焦国家能源安全、能源可持续发展及能源重大工程建设对科技创新需求，组织省内能源领域具有较强应用基础研究、前沿技术开发、重大装备研制及工程化、能源科技战略研究等骨干企业、科研院所、高校争创国家能源研发创新平台，打造“政产学研金服用”能源科技创新联合体；聚焦能源重点领域和发展方向，发挥科技成果转化、新旧动能转换等基金的引导作用，凝聚高层次人才，构建省级能源科技创新平台，组织实施省重点技术研发项目，建立全省自主知识产权体系。

——建设能源智能化平台。以智能煤矿、智能管网、智能电网为核心，推动传统能源与信息技术深度融合，实现传统能源绿色低碳、清洁高效。

煤矿智能化平台。成立山东省煤矿智能化新型研发机构，做好新技术开发与集成、首台(套)装备研究推广和成果转化。开展煤炭工业互联网产业研究，推动新一代信息技术与煤炭产业的融合应用，打造煤炭工业互联网公共服务平台。

油气管网智能化平台。鼓励重点油气企业，联合高校、科研院所、专业协会等，打造油气领域重点实验室等创新平台，创建油气管网数字化智能化平台，推进油气管网新型智能技术与装备的研发，实现油气管网的智能化。

电网智能化平台。推进电力机器人、海上风电、储能、先进配电与能源互联网等省部级重点实验室建设，加强山东省智能电网技术创新中心建设，建立新型电力系统能源互联网创新联盟，凝聚科技力量和创新资源，推动关键技术取得新突破。

——建设能源大数据平台。集成“四流一体”新型能源互联网技术与“三端一体”(边端、雾端、云端)工业互联网技术，打造“四流三端”的新型能源工业互联网平台；结合大数据、人工智能等技术，实现企业边缘智能运行、雾端智慧学习、云端智慧决策；研发泛能源智慧系统架构、碳足迹核算与管理、碳达峰碳中和路径科学设计等，赋能政府科学智慧决策、企业绿色低碳发展；整合全省能源行业数据资源，依托山东省能源大数据中心及现有能源系统，构建“1+N”能源数据监控平台，实现对电力、煤炭、油气实时运行数据和重大能源项目精细化管理，确保全省能源安全平稳有序运行。

## 保障措施

科技创新是一项系统性、长期性工程，离不开强有力的保障支撑体系。山东出台一系列引领性、撬动性政策措施，调动激发创新主体活力，打造全国具有核心竞争力的科技创新高地。

加强政策支持。整合财政、税收、科技等政策，推动重点领域项目、基地、人才、资金一体化配置。发挥财政资金引导作用，加大对能源重大共性关键技术和产品研发支持力度，促进新技术、新产品、新模式和新业态不断涌现。

健全创新体系。积极开展国家、省部级创新平台和工程技术中心等培育与建设工作，建立健全梯次衔接的能源科技创新平台体系。完善科技评价激励制度，落实攻关任务“揭榜挂帅”等机制，推动科研力量优化配置和资源共享。

优化发展环境。出台能源行业科技成果转化管理办法，发挥科技奖励在促进科技成果转化、产业化中激励作用。拓宽融资渠道，开展银企对接，支持能源科技创新。弘扬科学家精神和工匠精神，加强科普工作，营造崇尚科技创新的社会氛围。

深化示范应用。建立健全首台(套)评价标准，坚持“凡有必用”原则推进能源首台(套)技术装备示范应用。完善能源产业技术装备推广指导目录，通过政策和市场相结合，开展首台(套)技术装备示范验证，推进自主化技术装备应用。

健全标准体系。完善能源行业标准体系，强化核能、氢能、储能和综合智慧能源等新技术标准制定。创新标准宣贯模式，建立能源行业标准实施信息反馈渠道，不断完善科技标准绩效评价标准体系，强化标准实施情况分析处理和监督检查。

强化交流合作。聚焦关键技术领域，加强国际、国内科技交流合作，开展联合研究，强化先进技术消化、吸收和再创新，解决关键技术难题。创办山东能源绿色发展论坛，鼓励创新主体走出去，打造有国际影响力的高端对话交流平台。

加强人才培养。创新人才引进培养模式，对接国家级人才工程，依托全省人才引进“一事一议”和人才工程，加快“高精尖缺”人才在山东集聚，打造齐鲁能源科创高端智库和能源工匠高地。

### 一图读懂 山东省能源科技创新“十四五”规划

#### 发展目标

- 健全适应能源高质量发展的科技创新体系。到2025年，创建国家级创新平台5个左右，创建省级创新平台20个左右，培育国家级首台(套)重大技术装备20个以上
- 引领以新能源为主体的能源体系建设。到2025年，新建、在役煤电纯凝机组稳燃情况下最小技术出力分别达到额定容量的20%和30%，新建、在役煤热电联产机组稳燃情况下最小技术出力分别达到额定容量的30%和40%，为全省可再生能源电量占比提升到19%左右提供支撑
- 推动传统能源绿色低碳高效开发利用。到2025年，电网综合线损率下降到3.5%，煤电机组平均供电煤耗下降到300克/千瓦时
- 促进能源产业智能化智慧化改造升级。到2025年，煤矿智能化开采量达到90%以上，油气管道人员密集型高后果区视频监控动态覆盖率达到100%，10千伏线路智能终端覆盖率、配电自动化覆盖率基本达到100%

#### 重点任务

##### 实施“443”工程

- 实施四大提升工程
  - 新能源技术提升工程
  - 新型电力系统技术提升工程
  - 能源智能化技术提升工程
  - 能源安全绿色开发技术提升工程

##### 打造四大创新高地

- 海上风电科技创新高地
- 核能开发科技创新高地
- 多能互补科技创新高地
- 氢动走廊科技创新高地

##### 建设三大支撑平台

- 建设能源科技创新平台
- 建设能源智能化平台
- 建设能源大数据平台

#### 保障措施

- 加强政策支持
- 健全创新体系
- 优化发展环境
- 深化示范应用
- 健全标准体系
- 强化交流合作
- 加强人才培养