

## 附件 3

# 2024 年度山西省重点研发计划 申报要求及支持方向信息

(能源与节能环保领域)

### 一、申报要求

1.项目申报单位包含牵头单位和参与单位，且必须是产学研联合共同体。牵头单位须为山西省行政区域内注册、具有独立法人资格的企事业单位(包括中央驻晋企事业单位)；有稳定、高素质的研究和管理团队，具有较强的创新能力、技术基础和设备条件；有配套资金保障和良好的信誉。

2.项目负责人为项目的第一责任人，具有完成项目所需的组织管理和协调能力，具有组织科技计划的成功经验，能将主要精力用于项目组织、协调与研究。鼓励青年科技人才、女性科技人才作为项目负责人申请项目。项目负责人限项要求如下：同一年度内限申报 1 项计划项目(含中央引导地方科技发展资金项目；平台类、奖补类除外)，如申报的计划项目未能立项时，方可再次申报。有在研项目的，不得再次申报同一类别计划项目(省科技重大专项、省重点研发计划项目视为同一类别)，且在研和申报项目总数不得超过 2 项。在研项目负责人不得因申报新项目而退出，即使退出，在原

项目执行期内，原则上不得作为负责人申报新的计划项目。参与计划项目编制或论证的专家，不得牵头或参与申报所编制或论证的计划项目。

3.项目申报单位、项目负责人和参与人员信誉良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。项目单位近3年未发生重大环保污染等恶劣影响事件。项目负责人和项目申请单位均须在项目申报时签署科研诚信承诺书，严禁剽窃他人科研成果、侵犯他人知识产权、虚报项目、伪造材料骗取申报资格等科研不端及失信行为。因不良信用记录正在接受处罚的个人，不得申报或参与申报本年度计划项目。项目参与人员未参与项目凝练论证工作。

4.项目申报请认真查阅并严格按照《山西省科技计划项目管理办法》（晋政办发〔2021〕42号）、《山西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见 省科研项目经费和科技活动经费相关管理办法》（晋政办发〔2022〕16号）等执行。

5.所有项目均应整体申报，项目名称不得更改，申报时需覆盖全部研究内容；技术指标不能减少且不得低于通知要求，鼓励高于现有指标。

6.同一单位只能通过一个项目组织单位进行申报，已获得其他财政支持的项目、同一单位研究内容相同或相近的项目不得重复、多头申报。不受理涉及国家秘密的项目。

7.项目执行期 2-3 年。申报项目受理后，原则上不能更改项目名称、申报单位和项目负责人。

8.项目配套资金（包括申请单位自有资金、社会渠道资金等，其他财政专项资金不得列为配套资金）与申请引导资金的比例不低于 2:1；企业须提供会计师事务所出具的上年度财务审计报告，并出具资金配套承诺书和自筹能力相关材料。项目立项后，引导资金实际资助额度未达到申请额度的，差额部分由项目申请单位自筹配套解决。

9.项目申报请严格遵循《科学技术保密规定》和《关于加强科技伦理治理的意见》，项目申报和执行过程中注重科技保密和科技伦理有关要求，提高保密意识，加强科技伦理治理，确保不发生任何问题。

10.严格落实审核推荐责任。项目申报单位和组织推荐部门要严格履行项目审核推荐职责。项目申报单位对申报材料的真实性和合法性负有法人主体责任。组织推荐部门要切实强化审核推荐责任，会同社会信用管理部门对项目申报单位社会信用情况进行审查，并对申报材料内容真实性进行严格把关，严禁审核走过场、流于形式。

11.项目申请单位应提前准备 10 分钟 PPT 汇报材料，以备进一步评审需要。进入答辩环节项目，届时会电话通知，不再预留准备 PPT 的时间。

12.鼓励具有研发实力和意向的民营企业积极申报。鼓励支持加强关键技术领域标准研究，在科技计划项目中设置标准研制指标，以科技创新提升标准水平，及时将科技成果转

化为标准，提出标准研制指标的项目预期立项占比不低于50%。

## 二、方向信息

### (一) 碳达峰碳中和关键技术与示范

#### 1. TOPCon 太阳能电池高能束流辅助烧结技术研究

研究内容：针对 TOPCon 激光辅助烧结技术中局部温度场分布不均引起的银-硅-硼梯度分布规律不清晰、界面接触一致性及稳定性不佳关键性问题，开发激光辅助烧结工艺中局域热场精准调控技术，剖析激光作用下硅、银原子互扩散热力学、动力学演化机制，探明银-硅合金的形态、结构及元素梯度分布规律；开发与激光烧结技术匹配的硼扩散工艺，明确工艺参数对硼源浓度、表面载流子复合、少子寿命、复合电流以及潜在开压的内在影响机制；研究光、电、热、力等作用下的性能变化机制，完成电池的 N-TOPCon 太阳能电池稳定性、可靠性评估。最终改善银-硅合金质量，提高 TOPCon 电池效率、降低电池成本，开展工程示范应用。

技术指标：开发整套激光辅助烧结工艺。烧结峰值温度降低 20~60℃，接触电阻 $\leq 4\Omega$ ， $iV_{oc} \geq 745mV$ ， $V_{oc} \geq 740mV$ ， $J_0 < 1.2 \times 10^{-14}A$ ， $FF \geq 85.3\%$ ，电池转换效率 $\geq 27\%$ ，N-TOPCon 大尺寸(182\*182 mm<sup>2</sup>)电池单片功率 $\geq 8.47W$ ，通过 IEC61215 标准稳定性测试，建立不低 2 GW 的 N-TOPCon 大尺寸电池片生产示范线。

#### 2. 复杂老窑破坏区残煤安全高效复采关键技术及工程示

范

研究内容：针对山西省大量兼并重组煤矿老窑破坏区空间位置不清，围岩破坏程度不详等问题，研发老窑破坏区井上下多方位立体化精确探测技术，井下精确靶向定位、长距离钻孔充填技术；揭示老窑破坏区顶板岩层运移过程，确定破坏区的截割层和承载层分层充填高度，研发低成本、高效能的老窑破坏区充填材料，研发掘进工作面过老窑破坏区分梯次、多区域帷幕注浆技术；研究注浆充填形成再生顶板岩层结构特征，及其与液压支架相互作用关系；建立复杂老窑破坏区残煤安全高效复采关键技术体系，形成复杂老窑破坏区残煤安全高效复采工业示范。

技术指标：基于精准物探结果对老窑破坏区采用长距离钻孔充填后，现场验证充实率 $\geq 90\%$ ；采用新研制充填材料注浆强度不低于设计强度 95%；老窑破坏区充填加固后，回采巷道掘进效率提升 50%，掘进期间围岩变形量不高于原断面设计值 25%，复采工作面支架支护状态良好；建设 1 个示范工程且稳定运行 1 年，产量不低于 70 万吨。

### 3. 钙钛矿/晶硅两端叠层太阳能电池关键材料开发和制备工艺

研究内容：围绕钙钛矿/晶硅叠层电池产业化目标，开展钙钛矿/晶硅两端叠层太阳能电池关键材料开发及化制备工艺研究。主要开展宽带隙钙钛矿电池中涉及的空穴传输层材料和界面钝化材料研究、低溴宽带隙钙钛矿材料及电池器件研

究、高效钙钛矿/晶硅叠层器件研究及大面积钙钛矿/晶硅叠层技术研究。

技术指标:制备出  $1\text{cm}^2$  宽带隙钙钛矿太阳能电池效率  $\geq 24\%$ ; 制备出  $1\text{cm}^2$  钙钛矿/晶硅两端叠层电池效率  $\geq 34\%$ ; 制备出 M5 钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池效率  $\geq 30\%$ ; 环境温度  $85^\circ\text{C}$ , 湿度  $85\%$  的条件下, 1000 小时效率衰减  $\leq 5\%$ ;  $50\pm 10^\circ\text{C}$ 、AM1.5G 光照, 2000 小时效率衰减  $\leq 5\%$ 。

#### 4.煤基固废原位再利用关键技术开发与应用

研究内容: 针对煤炭开采和处理过程中产生的大量煤基固体废物占用土地资源、造成环境污染、制约矿山生态修复等问题, 研发煤基固废制备高强速凝灌浆料原位再用于井下裂痕、空洞和不坚定周边紧固关键技术。研究煤基固废组分含量对材料凝结时间、阶段强度的影响规律, 探究快凝灌浆料力学性能与其尺寸效应和环箍效应间的关系; 研究水料比对速凝灌浆料流动性、收缩率、抗裂性等性能的影响, 实现速凝灌浆料材料的综合性能优化和关键工艺控制, 形成煤基固废原位再利用技术体系, 开展工程应用示范。

技术指标: 煤基固废速凝灌浆料中煤基固废含量  $\geq 25\%$ , 速凝灌浆料的初凝时间在  $2.5\sim 5\text{min}$  可调且不受使用环境的影响或限制; 速凝灌浆料初凝强度  $\geq 18\text{MPa}$ , 4h 阶段强度  $\geq 25\text{MPa}$ , 终凝强度  $\geq 55\text{MPa}$ ; 煤基固废速凝灌浆料坍落度在  $150\sim 180\text{mm}$  之间, 保水率保持在  $95\%$  以上, 收缩率或膨胀率  $\leq 3\%$ ; 建立至少 1 条生产线且稳定运行 1 年, 年产量  $2000\text{t}$

以上；速凝灌浆料耐久性强，抗酸碱腐蚀，服役时限内无开裂、脱落等自然破坏。

### 5.新型智慧供热柔性热网解决方案及关键技术

研究内容：面向集中供热数字化智慧供热系统，能够实时监测能源消耗、室内外温度和用户需求，优化调节后可以提高能源利用效率和用户舒适度。研发数字化供热恒温智控系统，实现供热运行的全自动化，满足对室温准确性、一致性和稳定性的高标准要求。采用自动化监测与调控，实现按需供热，提高供热效率，降低供热能耗。优化“源—网”协同调度策略，实现多能互补，构建智慧柔性热网。构建全省供热系统数据库，实现省—市—县三级联控，保障供热系统安全稳定。

技术指标：供热系统负荷预测准确率 95%以上；室温稳定范围： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、室温一致范围： $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、室温调控精确到  $0.2^{\circ}\text{C}$ ；完成 3 项以上的智慧供热系统的改造和新建工程，应用面积超过 500 万平方米，节能率 8%以上。

### 6.超临界锅炉燃烧健康指数在线监测系统研究与应用示范

研究内容：针对超临界燃煤锅炉低氮改造和深度调峰灵活运行要求下，炉膛主燃烧贴壁区形成的强还原性气氛，导致燃煤锅炉水冷壁结渣和高温腐蚀等问题，研发基于激光光谱技术的水冷壁区域  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}$  多组分同步实时检测技术；开发超临界锅炉燃烧健康指数在线监测分析诊断技术，建立

水冷壁高温腐蚀智能预警和控制策略；研究不同工况和运行边界条件下，超临界燃煤锅炉水冷壁腐蚀机理；建立水冷壁高温腐蚀速率在线评估模型；形成基于还原性气氛测试的燃煤锅炉高温腐蚀和结焦防治控制关键技术，完成工程示范。

技术指标： $\text{H}_2\text{S}$  检测范围：0-2000ppm ( $\leq \pm 3\% \text{F.S}$ )， $\text{CO}$  检测范围：0-20% ( $\leq \pm 3\% \text{F.S}$ )， $\text{O}_2$  检测范围：0-30% ( $\leq \pm 3\% \text{F.S}$ )，浓度分析时间 $\leq 5\text{s}$ ；气氛场监测节点 $\geq 6$ 个；实现尾部烟道  $\text{CO}$  实时监测，实现锅炉效率在线监测；在超临界燃煤锅炉机组上完成工程验证，实现锅炉全负荷燃烧状态下燃烧气氛场中  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$  的激光同步测量以及  $\text{O}_2$  同步测量。

7.面向多场景多功能大容量轻维护移动应急锂电储能电源车关键技术研发

研究内容：为解决移动应急锂电储能电源车在不同应用场景中存在的问题，从大容量、轻维护等角度，研发第三代移动应急锂电储能车的整车结构、底盘等；开发 **PACK** 级综合探测技术应用实现“电—热—气—烟—光”多参数耦合的热失控全过程监测；开发支持储能仓 **PACK** 包热插拔的移动应急锂电储能车控制系统 **BMS**、**EMS** 和通讯系统；在极端环境下，开发移动储能车一键冷启停和离网黑启动功能；研发多台移动储能车自组网扩容与变流器虚拟同步机控制技术；研发基于 **AI** 大模型的云边端协同型单台/集群移动储能车运维和控制平台。形成 1 套面向多场景多功能大容量轻维



护移动应急锂电储能电源车样机，开展应用示范。

技术指标：额定电压 380V，功率  $\geq 400\text{kW}$ ，容量  $\geq 860\text{kWh}$ ，放电时间  $\geq 2\text{h}$ ，紧急功率响应时间  $< 100\text{ms}$ （热备用状态）、 $< 1\text{min}$ （冷备用状态）；充放电转换时间  $< 100\text{ms}$ （从 100%额定功率充电到 100%额定功率放电）；支持储能 PACK 包不停电热插拔；自组网支持“一主一从”或“一主多从”方式联网，可实现储能充放电功率优化分配，切换时间不大于 1s(主转从不大于 0.5s)。平台控制精度不低于 3%，指令响应时间不大于 4s，接入能力大于 2 万点；热失控触发温度评测准确度  $\geq 90\%$ ，热失控产热评测准确度  $\geq 90\%$ ，极端工况安全发生机率及风险等级预测准确度  $\geq 90\%$ ，高风险电芯及失效部件的提前识别  $\geq 10$  天，安全预警时间  $\geq 1\text{h}$ 。

8.基于电力现货市场的虚拟电厂关键技术 在聚合大容量分布式可控负荷方向的技术研究及示范应用

研究内容：针对新能源发电的波动性、间歇性特征，结合电力负荷离散化、多元化特点，为挖掘负荷侧可调资源，促进发用电平衡，研究离散负荷曲线识别、聚类分析、可调能力评估等。评估负荷特性和调节潜力，研究多元负荷聚合最优路径和辅助决策算法，针对单体负荷容量小、数量多、随机性强特点，实现整体输出曲线最优化；研究多元负荷参与的负荷需求响应核算机制，对个体负荷的响应价值进行评估，基于优化模型和求解器等技术，实现最优化调度分配；研究区域型和行业型大规模可控负荷资源库设计，开展虚拟

电厂统一调度管理和能源管理，提高电网安全裕度。

技术指标：可控负荷类型识别准确度 95%以上，可调能力上下限范围预估准确度 80%以上；负荷聚合支持 100 个以上异构负荷节点聚合运算；负荷需求响应评估算法通过时空序列模型分析，实现 5 分钟级核算出清；建立工业区域型可控负荷资源库和电动汽车行业可控负荷资源库试点，负荷调节容量 20MW 以上。

### 9. 烧结烟气深度净化技术与工程示范

研究内容：针对烧结烟气中含有大量的  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  和较高浓度的  $\text{CO}$ ，直接排放不仅严重污染环境且浪费大量能源等问题，开发烧结烟气深度净化技术。实现烧结烟气中多种污染物的联合脱除，既满足烧结烟气中粉尘、 $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  超低排放要求，同时大幅度降低烟气中  $\text{CO}$  及二噁英的排放浓度。开发烧结烟气结合循环流化床燃烧方式下的燃烧组织技术、烧结烟气深度净化装置及余热回收装备研制，开发烧结烟气深度净化系统集成技术，实现余热利用的烧结烟气深度净化工程示范。

技术指标：烧结烟气处理量  $\geq 40$  万  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ；烧结烟气氧含量  $\leq 15\%$ ；排放烟气颗粒物浓度  $< 10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；排放烟气  $\text{NO}_x$  浓度  $< 50 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；排放烟气  $\text{SO}_2$  浓度  $< 35 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；排放烟气二噁英浓度  $< 0.5 \text{ ng-TEQ}/\text{m}^3$ 。

### 10. 大数据驱动的 1000MW 电站锅炉高硫煤掺烧长周期运行关键技术研究

研究内容：针对燃煤电站锅炉采用低氮燃烧技术，易形成高浓度  $\text{H}_2\text{S}$ ，引发水冷壁高温腐蚀，引起爆管等问题，研制 1000MW 电站锅炉高温腐蚀防控装置。研发大数据驱动的 1000MW 电站锅炉高温腐蚀防控策略，挖掘并建立新型配风与炉内速度场、温度场和组分浓度场的映射关系，根据实时运行参数，提出配风方案及防控策略。

技术指标：高硫煤（含硫量大于 2%）条件下 1000MW 电站锅炉高温腐蚀防控装置 1 套；高硫煤条件下 1000MW 电站锅炉还原区水冷壁附近  $\text{O}_2$  浓度不低于 2%、 $\text{H}_2\text{S}$  不超过 100ppm；高硫煤条件下 1000MW 电站锅炉长周期(>10000h) 不发生高温腐蚀引起的水冷壁爆管。

### 11. 焦炉煤气耦合二氧化碳重整制合成气关键技术

研究内容：开发一种焦炉煤气耦合烟气捕集  $\text{CO}_2$  共重整制备合成气技术。针对核心重整反应，实现活性中心与催化性能的优化配伍，促进多种温室气体共转化；针对焦炉烟气  $\text{CO}_2$  捕集工艺，开发对  $\text{CO}_2$  具有高容量和高选择性的固体吸附剂；针对焦炉煤气为反应原料并耦合焦炉烟气中捕获的大量  $\text{CO}_2$ ，经重整反应生成高品质合成气的催化机理及复杂气氛条件下的三重重整过程详细的催化作用机制，实现催化剂逐级放大并开展工业单管试验。

技术指标：完成  $\text{CO}_2$  固体吸附剂宏量制备，搭建百吨级/年焦炉烟气变压提浓中试装置并实现运行，实现  $\text{CO}_2$  脱附浓度  $\geq 98\%$ ，满足焦炉煤气耦合二氧化碳重整制合成气所需组

份；完成  $\text{CH}_4$  三重整镍基多功能催化剂公斤级制备、焦炉煤气耦合  $\text{CO}_2$  重整制合成气立升级模试技术验证，实现  $\text{CO}_2$  转化率  $\geq 80\%$ ；甲烷组分转化率  $\geq 90\%$ ，获得合成气  $\text{H}_2/\text{CO}$  为 1.5-2.2，完成 72 h 技术验证。

## 12.煤矿生产性尘源双模多元化治理关键技术及装备与应用示范

研究内容：针对煤矿生产性尘源产尘机理、理化性质、扩散运移规律不清，粉尘防控效果不佳，环境污染严重等问题，开发具备抑尘剂+荷电性+雾流特性多元化协同控制的新型喷雾降尘技术，开发受限空间湍流捕尘收尘装置，形成多元化协同控制的新型喷雾降尘技术与湍流捕尘收尘装置一体化联合除降尘系统，达到不同工况粉尘高效治理和不淋湿从业人员衣服、不使工作环境积水的双模效果，实现煤矿绿色、高效、近无尘化生产。形成生产性尘源粉尘污染防治与治理新型技术体系，开展工程示范。

技术指标：试验粉尘样品种类不少于 3 种；搭建模拟除降尘实验系统平台：巷道长度不少于 33m、宽度不少于 4m、高度不少于 4m；研究抑尘剂、荷电性、雾流特性多元化协同组合不少于 6 种；开发多元化协同控制新型喷雾降尘技术与湍流捕尘收尘装置一体化联合除降尘系统不少于 3 套；实现尘源粉尘降尘效率  $\geq 90\%$ ，呼吸性粉尘浓度  $\leq 4\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 13.大孔径深穿透煤层气聚能射孔弹及其装备研发

研究内容：通过研发新型大孔径深穿透煤层气聚能射孔

弹及其装备，解决现有射孔技术在孔径和深穿方面的不足。通过实验分析、数值模拟及相似靶现场试验与优化，研发一套适用于深部煤层气资源开发的大孔径、深穿透新型射孔弹，制定射孔作业方案，完善煤层气勘探开发技术体系。开展煤层气资源勘探开发射孔作业工程示范。

技术指标：开发新型煤层气专用聚能射孔弹，适用于 102 型枪，装药量不低于 42g，水泥柱状相似靶射孔孔径不低于 15mm，穿深大于 800mm，配套开发射孔弹高能火药增效模块，具备二次致裂功能；完成在 3 口煤层气井中进行现场使用测试。

#### 14. 便携式煤岩含气量智能化解吸装置研发

研究内容：针对现有的煤层气含量测定方法中设备笨重、体积大，智能化程度低、精度差、不方便运输等问题，开发便携式煤岩含气量智能化解吸成套装置。分别围绕煤岩含气量解吸机理及智能化控制模型构建、孔裂隙特征及温度场对煤岩含气量解吸的影响等方面展开研究，建立远程控制方法及 APP 人机界面，开展解吸装置零部件选型及加工技术，解吸过程智能化控制及计量软件人机交互技术和煤层气智能化解吸装置模块化测试技术研究。

技术指标：设备解吸罐在室温 ~ 100℃ 之间无级可调，可实现自然解吸实验、高温快速解吸、气样采集等测试；可根据煤岩样品大小调节解吸罐空间，保证解吸气中甲烷浓度。能够对煤岩含气量解吸速度和解吸量进行实时、自动连

续计量，并实现远程智能化控制，检测精度达 99.9%。排水计量单元具备自动加水功能，在水位低于设定值时，可实现自动排气抽水。

### 15.长时储能水系有机液流电池关键技术研究与应用

研究内容：针对大规模新能源接入和新型电力系统频率稳定性问题，开发适用于调峰调频的高安全、高比能、长寿命的新一代长时水系有机液流电池储能技术，具体包括：多电子正负极有机电解质分子的电子分布/空间结构设计、合成与规模化可控制备技术；单体电堆的设计与研制；储能调峰调频联合优化技术；兆瓦级水系有机液流电池的储能系统集成技术与应用验证。

技术指标：开发具有自主知识产权的正负极水系有机活性分子体系，实现单分子多电子转移技术在水系有机液流电池中的应用，电子转移浓度 $\geq 2.5\text{mol/L}$ ，电池电压 $\geq 1.2\text{V}$ ，在 $100\text{mA/cm}^2$ 条件下，能量效率 $\geq 87\%$ ，工作温度范围 $-25^\circ\text{C}\sim 55^\circ\text{C}$ ；单堆额定功率 $\geq 20\text{kW}$ ，循环寿命 $\geq 20000$ 次，直流侧能量效率 $\geq 82\%$ ，系统 DC-DC 能量效率 $\geq 75\%$ ；建成 $1\text{MW}/6\text{MWh}$ 储能系统，实现调峰的同时兼具调频。

### 16.动力电池超快充石墨负极研发及应用研究

研究内容：围绕加速推进超快充石墨负极研发，开展超快充石墨负极材料包覆层设计及包覆技术开发、超快充石墨负极材料包覆层表面结构与化学性质调控、超快充石墨负极材料快充劣化机制研究及增强策略设计和超快充石墨负极

级配、电极结构设计及单体电池快充性能研究。

技术指标：包覆材料包覆量 $\leq 2\%$ ；石墨负极比表面积 $< 2\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ，比容量 $> 350\text{mAhg}^{-1}$ ，振实密度 $> 1.1\text{gcm}^{-3}$ ；电极压实密度 $\geq 1.6\text{gcm}^{-3}$ ；单体电池在 $\geq 6\text{C}$ 充电条件下循环寿命 $\geq 4000$ 次。

### 17. 基于数字孪生的交直流混合微电网全景智慧能源系统研究与示范

研究内容：针对交直流混合微电网运行中多重不确定性导致的经济效率不足、安全风险高、可靠性差等问题，研究交直流混合微电网物理实体与观测数据的数字孪生深度融合机理，建立交直流混合微电网源—网—荷—储协同互动式数字孪生模型；研究基于数字孪生体的交直流混合微电网多时间尺度协同调控机制，提出数字孪生体与人工智能协同驱动的能量管理策略；开展基于数字孪生的交直流混合微电网实时运行评估与预警研究，实现对微电网系统的全面监测、运行评估与故障预警；开发数字孪生、能量管理、评估与预警等多模块集成的交直流混合微电网全景智慧能源系统，开展示范应用。

技术指标：交直流混合微电网电能质量符合电网要求，三相电压的允许偏差 $\leq$ 额定电压的 $\pm 7\%$ ，交流频率允许偏差 $\leq \pm 0.5\text{Hz}$ ，直流母线电压偏差 $\leq$ 额定电压的 $\pm 5\%$ ；交直流混合微电网清洁能源消纳率 $\geq 90\%$ ；交直流混合微电网能源成本节约率 $\geq 10\%$ ；交直流混合微电网降低碳排放率 $\geq 80\%$ ；交直流混合微电网并网点日内交互功率跟踪日前计划准确

率 $\geq 80\%$ 。

## 18.考虑智能温控技术的低碳智慧园区用能策略与评价方法研究

研究内容：温控智能玻璃体系和成分设计；建设以屋顶光伏、幕墙光伏、地面光伏为核心的低碳智慧园区光伏模型，解耦特定光谱对光伏出力的贡献，实现分光谱光伏能量追踪；建设低碳智慧园区光伏、冷暖、电动汽车充电桩和储能为核心的园区模型，从安全性、智能性、绿色性、经济性等层面建立源—网—荷三级评价体系，开展与能源结构、用能特性相匹配的最佳低碳智慧园区用能策略。

技术指标：温控智能玻璃响应温度范围为  $25^{\circ}\text{C}-45^{\circ}\text{C}$ ；可见光透过率 $>60\%$ ，太阳能调节效率 $>30\%$ ，保证室内采光性能和隔热保温性能。实际场地验证晴好天气光伏出力预测精度 $>90\%$ ，极低温、强风、大雾等极端天气条件下光伏出力预测精度 $>85\%$ ；提出低碳智慧园区源—网—荷三级评价体系，包含评价指标种类 $\geq 15$ 类；建立智慧园区示范工程且稳定运行一年以上，园区碳排放量相较相似园区减小  $30\%$ ，用能成本下降  $20\%$ ，光伏利用率达到  $100\%$ 。

## 19.动态惯量的风电叶片结构设计核心技术研究

研究内容：针对山西省风能资源集中在风速  $0-5\text{m/s}$  的现状，研究适用于微风发电的动态惯量涡轮机叶片结构设计，实现风速低涡轮机转动惯量小，启动速度小；风速大时，转动惯量增大，发电效率增高、稳定性增强，研究转动惯量与



发电效率关系，提出最佳转动惯量；开展叶片空气动力学设计研究，降低启动速度，提高发电效率，减少噪音；研究多级棘轮分级介入动态惯量技术，增加整体的发电效率和稳定性，使叶片的尖速比始终处于最优区间附近，同时起到叶片限速的效果；试制动态惯量的风电叶片结构样本，在典型风场完成性能测试及示范工程。

技术指标：在风速不大于 4m/s 的情况下，将风电涡轮整体平均能量转换效率提高至 15%，启动风速降至 1.5m/s，在正弦风场中实现连续稳定发电；开展动态惯量风电叶片空气动力学模拟分析，实体结构模型验证误差 <20%，完成至少 3 种动态惯量技术路线对比分析；建立典型风场示范工程并实现稳定运行。

## 20.煤基碳酸二乙酯电解液溶剂合成技术研究

研究内容：针对国内外开发的含氯铜基催化剂存在易失活、设备腐蚀严重、难以满足工业化应用等问题，在实验室级催化剂制备基础上对制备量放大，明确影响催化剂性能的关键因素，优化反应操作工艺参数；对催化剂进行成型制备，选择适宜的成型方法，保证催化剂的活性；开发乙醇液相氧化羰基化合成 DEC 工艺包，实现 DEC 的连续生产，并实时分析气相和液相产物。

技术指标：催化剂制备规模 10~20kg/天，在反应温度 100~130℃，反应压力 1.0-3.0 MPa 条件下，催化剂实现 8000 小时连续稳定运行，乙醇单程转化率 ≥15%，DEC 选择性 ≥

95%，通过精馏分离提纯后产品达到电子级碳酸二乙酯标准。

## 21. 钢铁行业耐湿耐硫 CO 氧化催化剂的研发及反应热综合利用

研究内容：基于钢铁厂烧结烟气 CO 综合治理及反应热利用的需求背景，研究高湿和含硫环境下 CO 催化氧化过程中毒机制；攻关适用于烧结烟气中 CO 氧化催化剂，突破常规 CO 氧化催化剂不能抗湿和耐硫的技术瓶颈，完成烧结烟气催化性能稳定评价，开展 CO 氧化催化剂成型研究，烧结烟气中 CO 催化氧化中试验证，获得可工业化的 CO 催化氧化剂产品及运行参数。

技术指标：CO 进口浓度：0~10000 mg/m<sup>3</sup>（按实际工况定）；SO<sub>2</sub> 进口浓度：0~100 mg/m<sup>3</sup>；水蒸气含量：0~12%（体积百分比）；催化剂使用空速：10000 h<sup>-1</sup>；烟气入口温度：130~280℃；反应器床层温度：180~290℃；烟气催化后出口升温：30~60℃（由进口 CO 浓度定）；催化剂床层压降：<1000 Pa。

## 22. 具有超宽调压范围的新能源汽车大功率直流超快充模块研发

研究内容：为了实现新能源汽车超级快充的大功率和宽输出电压范围需求，提出具有超宽输出电压范围的三相 H7 桥 LLC 谐振变换器，具有一个单相半桥、两个单相半桥串联，一个单相半桥和一个单相全桥串联、三相全桥四种电路拓扑、工作模式和电压增益，在把开关频率限制在较小变化范

围的前提下，实现三相 LLC 谐振变换器的超宽输出电压范围；并将三相 LLC 谐振变换器的三个变压器进行磁集成，减少大功率无源元件的数量和体积，节约成本，提高效率，在此基础上，研发出直流输出电压 200~1000Vdc、最大输出功率 60kW 的超快充模块。

技术指标：交流输入：电压三相 330-456Vac、频率 50/60Hz $\pm$ 5%、效率达到 96%；直流输出：电压 200-1000Vdc 可调、输出功率 60kW、均流度 $\pm$ 5%。

### 23.回采巷道无反复支撑自移式超前支架研发与示范

研究内容：针对回采巷道的稳定性与安全性等煤炭开采过程中亟待解决的关键问题，研制一套自移式、无反复支撑、轻量化、高可靠性的回采巷道超前支架及其配套的履带自移式机器人，解决目前超前支架适应性差、反复支撑顶板等关键技术难题，实现超前支架支护状态自适应调控，并与综采装备实现联动，形成回采巷道无反复支撑自移式超前支架成套技术体系，开展工程示范应用。

技术指标：单组支架的最大工作阻力 $\geq$ 3000kN；支架适应的煤层倾角 $\leq$ 15°；单组移架时间 $\leq$ 15min 之内；单组支架控制精度 $\leq$ 5cm；履带自移式机器人紧急制动时间 $\leq$ 3s；支架故障自诊断率的准确率达到 85%以上；形成至少 1 个回采巷道超前支架支护示范工程。

### 24.面向海量分布式灵活性资源的多能虚拟电厂动态聚合与运行调控关键技术及数智运营平台研发

研究内容：针对近年来新建设的虚拟电厂尚未充分解决新能源不确定性，无法促进消纳更多新能源等问题，研发具备更大可调容量和更多可调资源种类，以及具备多级优化、隐私保护和多主体分布协同的关键技术和数智管理平台。构建资源聚合模型，提升多能虚拟电厂内部资源的高效整合能力；开展多能虚拟电厂多级优化调度研究，提出一体化的虚拟电厂多时间尺度优化调度模型；构建多虚拟电厂分布自律优化和利益分配方法；开发多能虚拟电厂数智管理平台，实现对多能虚拟电厂的高效管理和运营。

技术指标：接入资源种类不少于 4 种，资源聚合单次计算时间不大于 1 分钟；多级优化策略生成时间不大于 1 分钟；隐私信息保护达到 100%，可再生能源消纳不少于 98%；平台单次计算时间不超过 3 分钟，数据保存周期大于 1 年，页面变化刷新平均响应时间不大于 10 秒，支持削峰填谷或辅助服务等至少 2 种场景，支撑不少于 10 个虚拟电厂分布协同运营。

## **（二）黄河流域生态保护关键技术与示范**

### **25.山西省盐穴二氧化碳地质封存关键技术研究**

研究内容：针对影响我省盐穴封存二氧化碳（CO<sub>2</sub>）稳定性与安全性的主控因素不明、地质适宜性评价方法不清等问题，研究山西盐岩层及夹层原位赋存特征，获取盐岩物理化学性质、岩石力学性质、盐岩腔体蠕变、夹层物性特征参数，建立盐层三维地质模型，开展盐穴 CO<sub>2</sub> 封存机理及关键

技术研究；搭建盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存物理模拟装置，实现 CO<sub>2</sub>注入及封存全过程的室内模拟及压力、腔体应变的动态监测，研究优化 CO<sub>2</sub>注入参数、评估 CO<sub>2</sub>封存过程中腔体安全性；开展盐穴 CO<sub>2</sub>封存数值模拟，阐明影响盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存的主要控制因素，建立盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存适宜性评价方法与指标体系，提出盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存示范工程技术方案。

考核指标：搭建盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存物理模拟装置，符合以下指标，模拟盐岩模型尺寸：不小于Φ20×50cm；工作压力：500kPa；工作温度：50℃；盐腔监测（腔体内气体压力范围：0-500kPa，误差≤0.1%；腔体内温度范围：0-50℃，误差≤1%）；CO<sub>2</sub>注入速度：0~20mL/min 可调。确定盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存的主要控制因素，形成山西省盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存适宜性评价方法；提出山西省盐穴 CO<sub>2</sub>地质封存示范工程技术方案；编制盐穴 CO<sub>2</sub>封存地质适宜性评价指标的地方标准（或行业标准、国家标准）（征求意见稿）1 项以上。

## 26. 秸秆高效炭化装备关键技术研发与示范

研究内容：针对山西省秸秆资源分散、收集运输困难、处理效率不高等问题，研发秸秆高效炭化关键技术，研究热力学参数对秸秆处理量和出碳率的影响规律，揭示秸秆浅层炭化动力学特性与内在机理；集成热解炉与可移动装置，开发应用于多场景的移动式秸秆高效浅层炭化装备；优化装备系统工艺，建立自加热维持运行系统，开展物质、能量平衡核算及碳减排效益评价，实现装备最优化、能耗最小化运行；

探索生物炭原位还田、供能等高值化利用新途径，开展经济可行性分析，形成完整的秸秆无害化处理与资源化利用技术体系，并开展示范应用。

考核指标：研发制造不少于 1 台秸秆处理量不小于 450kg/h 规模的移动式秸秆炭化装置样机，在实际应用现场进行示范应用，处置成本不高于 150 元/t，累计处置秸秆总量不少于 50t。开发热解气回用系统，实现装备炭化温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ ，系统能量利用率 $\geq 75\%$ ；每台移动式秸秆浅层炭化装备占地面积 $\leq 50$  平方米，实现秸秆处理面积 $\geq 5$  亩/天，连续作业 100h，每台装备出碳量 $\geq 150\text{kg/h}$ ，秸秆减量化 $\geq 30\%$ ，能量产率 $\geq 70\%$ ；验证生物炭产品原位还田或供能等资源化利用的可行性，实现病菌病毒虫卵草籽杀灭率 100%，生物炭含碳量 $\geq 62\%$ ，氮磷钾（NPK） $\geq 2.5\%$ ；形成完整的秸秆无害化处理与资源化利用技术体系，编制山西省秸秆炭化装备的行业技术标准（征求意见稿）。

## 27.公路基础设施建管养全生命周期碳排放核算与减碳研究及示范

研究内容：针对公路建管养全生命周期碳排放定量数据不足、减污降碳核心技术路径模糊和固废循环利用水平低等问题，开展公路基础设施碳排放核算与减碳关键技术研究及工程示范应用，提出山西省公路基础设施全生命周期内各阶段、各单元碳排放核算方法，建立公路碳足迹核算规则和标准，构建山西省公路基础设施建管养全生命周期碳足迹背景

数据库和碳排放预测模型；研发建设、管理、养护全生命周期内能源-材料-工艺-管理多角度减碳、固碳技术，包括但不限于创新“光伏+高速公路”发展模式，研发沥青路面回收料、粉煤灰、煤矸石、赤泥等固废高值化利用技术，发展低碳薄铺一体化罩面、清洁化沥青路面就地热再生和新型固碳混凝土等关键技术，并开展工程示范应用。构建适用于山西省公路基础设施的绿色低碳技术库；形成山西省公路基础设施碳排放基础数据库、核算平台与减碳技术体系。

考核指标：形成山西省公路行业全生命周期排放因子集，建立山西省公路行业碳足迹背景数据库 1 套，数据库覆盖 90% 以上建设养管护活动排放因子；制定碳排放地方/团体标准不少于 1 项；开发公路碳排放数据采集、核算与监测综合信息管理平台 1 套，数据基本涵盖山西高速公路各基本组织单元，实现自动生成可视化数据报告；公路基础设施全生命周期碳排放预测模型预测精度达到 95% 以上；研发的公路基础设施减碳技术符合以下指标：(1)“光储充供”一体化技术，搭建智慧光伏监测管理平台 1 套，完成山西高速公路光储充供基础设施数据接入；(2)低碳薄铺一体化罩面技术，施工温度 $\leq 130^{\circ}\text{C}$ ，碳排放较常规罩面技术降低 40% 以上；(3)清洁化沥青路面就地热再生技术，拌和、摊铺碾压温度较传统就地热再生技术降低  $30^{\circ}\text{C}$  以上；(4)新型固碳混凝土技术， $\text{CO}_2$  吸收率达到 25% 以上；(5)废旧路面材料回收率达到 100%，循环利用率 $\geq 90\%$ 。工程示范应用面积不少于 300 万

平方米(单车道不少于 800 公里),降低碳排放 1 万吨以上。

## 28.重点工业源 SCR 脱硝系统氨逃逸对 PM2.5 贡献及协同管控技术研究

研究内容:针对工业源 SCR 脱硝系统氨逃逸现状和环境影响不清,SCR 脱硝与氨逃逸控制不协同等问题,筛选钢铁、水泥、焦化中的 2~3 个重点行业,建立离线和在线氨逃逸综合监测技术,揭示典型工况下氨逃逸浓度、排放量和变化规律;建立分行业、分工况的逃逸氨和其他污染物耦合的 PM2.5 贡献评估模型,揭示 SCR 脱硝系统排放烟气中污染物与氨气影响 PM2.5 二次组分生成的关键化学过程以及协同关系,识别重点工业源氨逃逸对区域颗粒物污染的贡献;开发重点工业源 SCR 脱硝系统氨逃逸预测和协同控制技术,揭示 SCR 脱硝系统内氨/NO<sub>x</sub>比、催化剂性能、温度、流速等工艺参数对氨逃逸的作用机制,实现智能化工艺参数调配以确保脱硝达标、氨逃逸减量;形成重点工业源 NO<sub>x</sub>排放与氨逃逸协同控制技术体系,并开展技术应用示范。

考核指标:建立氨逃逸综合监测技术,不同工况下氨逃逸在线测量误差保持在 10%以内;开发 PM2.5 贡献综合评估模型,模拟时间分辨率达到 1 小时,空间分辨率 $\leq 1\text{km}$ ,模拟污染物至少包括 NH<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM2.5、PM10 等 6 项,模型归一化平均偏差(NMB) $< \pm 30\%$ 、归一化平均误差(NME) $< 50\%$ ;开发氨逃逸预测和协同控制技术平台,涵盖脱硝系统负荷、浓度场、温度场、速度场和催化剂性能等参数



不少于 5 项,氨逃逸响应时间<10 分钟,氨逃逸改善率>70%;建成至少 1 项重点工业企业示范工程且稳定运行 6 个月以上,单项示范工程处理气量规模不小于 10000m<sup>3</sup>/h。

### 29.钢渣与烟气二氧化碳同源治理关键技术

研究内容:针对钢渣游离氧化钙(f-CaO)含量高、体积安定性差、利用率低等问题,以及钢铁冶炼烟气中富含大量二氧化碳(CO<sub>2</sub>)无法处置的难题,研究钢渣与 CO<sub>2</sub> 反应的反应机理,揭示烟气矿化钢渣热力学机制;研究典型钢渣中含钙组分与 CO<sub>2</sub> 反应的动力学过程与竞争反应机制,获得钢渣强化碳化反应的动力学参数;测试碳化钢渣使用性能,形成碳化钢渣全量化高效利用技术;建立百吨级/年钢渣中试装置,开展钢渣与烟气 CO<sub>2</sub> 同源治理中试试验,获得烟气 CO<sub>2</sub> 直接矿化钢渣的优化工艺参数和放大规律,编制千吨级钢渣与烟气 CO<sub>2</sub> 同源治理的技术工艺包。

考核指标:建成百吨级/年钢渣烟气矿化钢渣的反应炉一套,连续稳定运行时间不少于 90 天,钢渣累计处理量不小于 180 吨,钢渣固碳量不小于 80kg/吨渣,与现有工艺相比,钢渣利用率提高 10%以上,固碳率提高不少于 40%,能耗降低不少于 20%;碳化钢渣骨料中 f-CaO 含量≤2.0%,压碎值≤26%,吸水率≤3%。

### 30.大型铁矿露天采坑生态修复成套技术研发及示范

研究内容:针对大型铁矿采坑边坡现有修复技术中存在治理成本高、施工难度大、水泥使用量过高、抗压抗劈裂强

度差、生态修复辅助再生作用弱、植被生长速度缓慢、陡坡抗冲刷性能差、边坡表层土体易脱落崩塌等问题，聚焦不同立地条件，开展以铁尾砂为主要固废原料，开发系列生态修复材料组配方案；研究材料配比对生态修复材料成膜性能和凝结性能的影响规律，研究生态修复材料的力学及加固性能、水土保持性能、植生性能、耐候性能等；研究生态修复材料中胶凝材料、天然纤维、保水剂等对材料孔隙结构调控、亲水/憎水性能调节的影响规律，探究胶凝材料、保水剂和铁尾砂的界面结合机理，建立铁尾砂基生态修复材料成膜保水理论；分析原料和生态修复材料有毒有害组分，研究生态修复材料环境友好性能；研究泵送压力、干燥时间等施工工艺参数对生态修复材料性能的影响；在大型铁矿采坑选取典型区域进行生态修复现场应用试验，分析研究工程综合成本、水土保持效果、典型植被生长效果等指标并进行实地工程示范应用。

考核指标：研究形成一套适用于山西露天铁矿采坑全地形条件矿山生态修复技术体系，研发高掺量固废基生态修复材料的设计及制备、高陡边坡生态修复材料挂网等关键技术不少于2项；在大型铁矿采坑区域进行工程应用示范1-2项，生态修复示范面积不低于5000m<sup>2</sup>；生态修复材料中重金属和辐射元素相关检测值符合《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566-2010）和《建筑岩石、天然石材有害元素限量》（GB/T 14506-2016）等标准限值，地表径流水质达到地表水二类水

标准。生态修复材料中铁矿砂掺量 $\geq 70\%$ ，地质聚合物 $\geq 10\%$ ，总固废掺量 $\geq 90\%$ ，修复基面喷膜层抗压强度 $\geq 6\text{MPa}$ ，劈裂强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ ，修复坡面喷膜层抗压强度 $\geq 1.5\text{MPa}$ ，劈裂强度 $\geq 0.3\text{MPa}$ ；抗老化性能：紫外灯老化 500h 后，质量损失率 $\leq 3\%$ ，强度损失率 $\leq 5\%$ ；生态恢复能力：示范区内植被存活率 $\geq 95\%$ ，草本类植物见绿时间 $\leq 15$  天。示范区内扰动土地整治率 $\geq 95\%$ ，拦渣率 $\geq 98\%$ 。综合成本与现有技术相比节约 50%以上。对于陡坡、植被恢复困难的岩石坡等区域，生态修复全过程总成本不高于 50 元/m<sup>2</sup>，一般矿坑边坡综合治理成本不高于 30 元/m<sup>2</sup>。

### 31.山西典型闭坑煤矿区酸性矿坑水污染绿色低耗防控修复技术研发及示范

研究内容：针对山西省酸性矿坑水“形成机理复杂、点多面广、持续时间长”的特点，以及酸性老窑水修复治理体系不健全、成本高、难度大等问题，构建多手段综合高精度调查技术，探明酸性矿坑水产生、迁移与转化的物理、化学与生物学关键条件、影响机制和主控因子，揭示其形成机制；建立适用于山西省特定煤层、环境水文地质条件下的闭坑煤矿酸性矿坑水“污染源-途径-受体”污染概念模型，形成分类分级的污染风险评估方法；集成适用于山西省酸性矿坑水的绿色低耗、持续稳定、方便运维的“源头控制+过程阻断+末端治理”的综合防控与修复治理技术，研发适应于复杂多元场景适应性材料，实现酸性矿坑水的综合防控和分级治

理，进行工程示范，形成可推广、低成本、可持续的酸性矿坑水系统解决方案。

考核指标：研发酸性矿坑水污染风险分级分类评估技术指标 1 套；研发基于地下水系统源-通-汇高精度识别技术、原位注入修复技术、改性可渗透反应墙技术等多途径酸性矿坑水综合防控与修复治理技术体系 1 套；开发固废基复合功能材料 1-2 种，固废综合利用率大于 90%，比表面积 200 m<sup>2</sup>/g 以上，对 Cr<sup>6+</sup>、Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等离子吸附率达到 98% 以上，循环 10 次后性能保持 80% 以上；建成 1 个老窑水污染防控与修复治理综合示范工程且稳定运行，示范工程废水处理量 100m<sup>3</sup>/d 以上，处理后的主要污染物指标达到当地地表水体功能要求或《煤炭工业污染物排放标准》（GB 20426-2006），末端处理成本不高于 1.5 元/m<sup>3</sup>。

### 32. 城镇污水厂混合营养型深度脱氮与协同降碳关键技术研发

研究内容：针对当前城镇污水深度脱氮传统技术过度依赖碳源以及硫、铁基自养脱氮技术尚存在处理负荷低、出水高硫酸盐和铁的结壳失活等问题，开展污水脱氮处理全过程诊断分析与低碳化重塑研究；基于定向调控异养和自养脱氮菌的种间生态关系以及微电流刺激电子传递，研发低成本高效能的混合营养型脱氮降碳关键技术；解析混合营养型协同强化脱氮作用机理，研发无外加碳源全自动深度脱氮降碳成套装备；制定在不改动原有工艺条件下的嵌入式应用方案，

并开展工程示范；构建污水厂混合营养型脱氮技术标准体系。

考核指标：建立机器学习辅助的污水脱氮低碳化重塑模型；研发无外加碳源深度脱氮降碳处理装备一套，在进水总氮浓度不高于 50mg/L，悬浮物不高于 50mg/L，水力负荷不低于  $2.5\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  的条件下，总氮去除率不低于 70%，吨水碳排放强度降低不少于 30%，吨水处理成本不高于 0.015 元；建立不少于 1 个示范工程且稳定运行不少于 6 个月，整个运行过程无外加碳源和碱度补充，水处理规模不低于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ ；编制《城镇污水厂混合营养型脱氮技术标准》、《城镇污水厂深度脱氮降碳嵌入式改造技术手册》等城镇污水厂深度脱氮与协同降碳方面的技术文件 2 项以上。

### 33.煤基产业场地新污染物筛查与风险识别关键技术研究

研究内容：针对山西煤基产业区生产历史复杂、场地土壤中新污染物种类及分布不清、环境风险突出等问题，开发可用于煤基产业场地污染物非靶向筛查技术，解析污染场地中未知与高关注度新污染物（持久性有机污染物、内分泌干扰物、抗生素等）赋存形态与空间分布规律；筛选新污染物暴露特异性风险识别生物标志物，研发效应导向的高通量毒性组分分离鉴定体系，突破煤基产业场地高风险污染物精准识别技术瓶颈，构建场地重点管控新污染物清单；形成新污染物与环境健康危害关联的风险评估成套技术体系，开展面

向煤基产业场地的新污染物筛查与风险识别应用示范。

考核指标：研发煤基产业场地新污染物非靶向筛查技术体系 1 套；开发煤基场地新污染物风险评估方法 1 套，揭示多环芳烃及其衍生物等不少于 5 种煤基新污染物暴露的毒性贡献，识别不少于 3 种关键致毒结构；对 1-2 个面积不少于 3 万平方米的典型煤基产业场地开展新污染物筛查与风险识别应用示范，建立典型煤基产业场地新污染物重点管控清单和基础数据库；优化典型新污染物定量监测方法 1 套；编制山西煤基产业场地新污染物筛查与风险评估的行业技术标准（征求意见稿）。

#### 34. 焦化工业园区场地水土复合污染协同修复技术研发及示范

研究内容：针对山西省典型焦化场地土壤和地下水中多环芳烃类/重金属（As、Cd 等）复合污染场地单一修复技术效率低、治理难度大的问题，研究焦化场地污染特征与规律及化学-生物协同修复机理，构建场地复合污染的化学氧化-钝化协同植物-微生物治理的绿色可持续的应用模式，形成化学-生物协同修复的技术体系。研究焦化场地污染物释放、迁移与转化的内在驱动机制及控制因素；系统开展基于煤基固废的氧化-钝化药剂的构效设计及其氧化-钝化复合污染物的联合调控机制；研究场地中土-地下水-植物-微生物界面污染物的迁移-降解-转化规律；探明生物代谢对特征污染物迁移、转化、降解的影响，以及化学氧化-钝化药剂对其调控机制；

开展化学、生物等技术适用性评估；建成焦化场地复合污染化学-生物协同修复工程示范。

考核指标：构建化学-生物协同修复处理技术模式 1 套，开发基于煤基固废的化学氧化-钝化药剂制备技术 3-4 种，制备成本降低 20% 以上。筛选生物类修复材料（超富集植物、微生物）1-2 种，表层土壤中重金属（As、Cd 等）有效态含量降低 >30%，GB 36600-2018 中列举的多环芳烃类污染物（芘、蒽、萘、菲）去除率 >80%，实现典型污染物扩散通量下降 20% 以上，场地土壤和地下水符合当地土壤和地下水环境功能要求。申请国家发明专利  $\geq 3$  项，形成技术应用与推广模式。建成 1 个面积不小于 1000m<sup>2</sup> 的典型焦化场地复合污染化学-生物协同修复示范工程。

### 35. 黄土高原区设施蔬菜氮素面源污染削减技术研究及示范

研究内容：针对我国黄土高原区设施蔬菜生产中长期施氮过量造成的盈余氮素污染土壤、地下水和空气的问题，拟采用滴灌与化肥氮减施相结合的栽培模式，进行不同水氮管理模式下设施蔬菜土壤氮素淋溶、残留和 N<sub>2</sub>O 排放的研究，明晰可大幅削减盈余氮素对环境产生危害的节水减氮措施；开展不同水氮管理模式下设施蔬菜氮素吸收利用、产量和品质形成的研究，建立不影响产量和品质形成且大幅削减氮素排放的灌溉施肥集成技术；分离筛选设施蔬菜氮素吸收、转运相关功能菌株并对其进行功能验证，探讨功能微生物在节

水减氮栽培模式中的作用机制；进行工程示范验证。

考核指标：探究不同水氮管理模式下黄土高原区设施蔬菜土壤氮素淋溶、残留和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的年际特征，集成有效控水、科学减氮、高效利用、环境友好的节水减氮栽培技术 1 项；化肥氮施用量减少 25% 以上，灌溉水用量减少 40%-50%，硝态氮 ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 淋溶降低 80% 以上，硝态氮 ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 残留降低 20% 以上， $\text{N}_2\text{O}$  排放减少 20% 以上；分离筛选设施蔬菜氮素吸收、转运相关功能菌株 2-3 个；建立黄土高原区设施蔬菜氮素面源污染阻控模型 2-3 套；编写降低设施蔬菜生产中盈余氮素污染的技术规程 1 项；建立示范区 2-3 个，示范验证 100 亩以上。