

附件：

## 2022年度山西省重点研发计划 (能源与节能环保领域) 支持方向信息

### 一、碳达峰碳中和关键技术与示范

#### 1. 整体煤气化燃料电池 (IGFC) 尾气高效燃烧关键技术研究与示范

研究内容：开展低热值尾气催化燃烧研究，揭示氢气、一氧化碳和氧气在催化剂表面的吸附与活化以及中间物种的形成和变迁规律，开发低成本、长寿命、高活性新型催化剂；建模优化纯氧燃烧器和燃烧室结构，分析燃烧器内流场流动特性及燃烧特性，强化尾气组成波动适应性，建立尾气燃烧实验台，实验分析燃烧性能，研制高效燃烧器和燃烧室样机；开发低热值尾气高效燃烧系统工艺包，在千瓦级整体煤气化燃料电池装置上完成工程验证。

技术指标：研制高效纯氧燃烧器和燃烧室样机 1 套；开发非贵金属新型催化剂，催化剂稳定运行 2000 小时催化效率衰减  $\leq 5\%$ ；在 15 千瓦级整体煤气化燃料电池 (IGFC) 装置上完成工程验证：IGFC 系统净效率  $\geq 50\%$ ，燃烧室出口干基二氧化碳浓度  $\geq 96\%$ ，燃烧效率  $\geq 97\%$ ，稳定运行时间  $\geq 500$  小时。

#### 2. 费-托合成油中分离提纯 $\alpha$ 烯烃的关键技术及工程示范

研究内容：研发提取费-托合成油中 $\alpha$ -烯烃的技术，脱除含氧化合物以及分离烷烃过程的萃取剂制备与优化，完成公斤级产品试制，形成工业萃取剂生产技术，实现高选择性和高效萃取。确定并优化烷烃分离及 $\alpha$ -烯烃提纯的工艺参数，包括塔板数、回流比、溶剂比、吸附剂用量、液固逆流流速等。进行技术中试，涵盖含氧化合物分离单元、烷烃分离单元、 $\alpha$ -烯烃产品提纯单元。依托技术中试数据，形成万吨级工艺包。

技术指标：建立200吨/年规模的 $\alpha$ -烯烃生产装置1套， $\alpha$ -烯烃浓度 $>99\%$ ，含氧化合物 $<50$ 微克/克， $\alpha$ -烯烃收率 $>90\%$ 。萃取吸附剂对含氧化合物选择性 $>10$ ，萃取剂回收率 $>90\%$ ，萃取剂稳定时间 $>4000$ 小时，吸附剂稳定时间 $>2000$ 小时。形成万吨级 $\alpha$ -烯烃分离提纯工艺包。

### 3. 甲醇合成碳酸二甲酯无氯催化剂工程化开发研究

研究内容：针对当前甲醇氧化羰基化合成碳酸二甲酯（DMC）存在的催化剂失活和设备腐蚀问题，开发高性能无氯铜基催化剂，调控催化剂的强度、活性和稳定性，研究催化剂放大过程，优化反应操作工艺参数。开发甲醇液相氧化羰基化合成DMC工艺包，优化原料供给、合成反应、分离提纯等关键工段，建立工业性试验示范工程。

技术指标：催化剂制备规模不小于15kg/d，催化剂氯含量为0，催化剂寿命不低于12个月，在反应温度100~130℃，反应压力3.0~3.5兆帕斯卡条件下，催化剂实现72小时连续稳定

运行，甲醇单程转化率 $\geq 20\%$ ，DMC选择性 $\geq 90\%$ ，DMC收率 $\geq 18.0\text{wt}\%$ ；建立10kg/d甲醇无氯催化剂制碳酸二甲酯示范工程。

#### 4. 固定床熔渣式煤气化炉低成本催化气化技术

研究内容：研究工业废盐添加对型煤冷热态强度的影响，确定工业废盐最佳掺混比例与方式；考察工业废盐添加对煤焦气化反应的影响规律，阐明钠、钾共存时的催化气化机制，建立煤焦气化反应性预测模型；研究气化条件下工业废盐中碱金属钠、钾的挥发特性，揭示碱金属挥发对熔渣黏温特性的影响规律，确定工业废盐添加对气化炉液态排渣的影响；考察含工业废盐型煤在热解、气化及排渣过程中重金属元素及氯的迁移规律，明确影响重金属元素固定的关键参数；开展含工业废盐型煤固定床熔渣式气化炉催化气化中试，研究其运行经济指标。

技术指标：形成熔渣式煤催化气化技术1项，建成1套8t/h固定床熔渣式煤催化气化装置，碳转化率 $> 95\%$ ，灰渣中含碳量不高于5%，与未添加工业废盐前相比，气化反应温度降低不小于 $100^\circ\text{C}$ 。液态熔渣对工业废盐中有害元素实现安全封存，铜、锌、镉、铅和铬浸出液浓度分别不高于100mg/L、100mg/L、0.6mg/L、1.2mg/L和5mg/L，且各类污染物浓度均低于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007）中表1限值要求。

5. 焦炉煤气耦合焦炉烟气二氧化碳制甲醇关键技术研究  
研究内容: 开展焦炉煤气耦合焦炉烟气二氧化碳制甲醇关键技术研究。研究焦炉烟气二氧化碳变压吸附提浓技术; 研究表面亲疏水性质可调变的加氢催化剂制备方法; 研究二氧化碳、氢气等反应物种在催化剂表面的吸附、脱附性能, 阐明反应物种的吸附解析机理。研究催化剂亲疏水性质、温度、压力等因素对二氧化碳转化率和甲醇选择性的影响规律, 确定影响铜基催化剂长周期运行过程中的耐水性能关键因素, 建立反应动力学模型。建设焦炉煤气耦合焦炉烟气二氧化碳制甲醇立升级模试装置。

技术指标: 完成焦炉烟气二氧化碳变压吸附提浓技术验证, 完成耐水性优良的铜基催化剂公斤级放大制备; 完成 72 小时焦炉煤气耦合焦炉烟气二氧化碳制甲醇立升级技术验证, 在压力为 3~8 兆帕斯卡、温度为 220~280℃、空速  $\geq 5000\text{h}^{-1}$  条件下, 二氧化碳单程转化率  $\geq 25\%$ , 甲醇选择性  $\geq 80\%$ ; 形成万吨级焦炉煤气耦合焦炉烟气二氧化碳制甲醇工艺包。

## 6. 煤炭井下智能精准分选与矸石充填关键技术

研究内容: 开展煤矸石智能高效分选技术装备研究, 实现煤矸石的智能精确分选; 研究智能分选系统的硐室、巷道布置以及原料、产品的运输方案, 实现原煤集中分选、矸石集中处理, 系统统一管理; 研究高可靠性煤矸石转载运输、充填系统和控制策略, 开发井下选出矸石充填关键技术, 建立示范工程。

技术指标：提出煤炭井下智能精准分选与矸石充填关键技术方 案 1 套，并进行工业示范。工业示范指标：井下煤炭分选系统原煤处理能力  $\geq 260$  吨/小时，原煤处理量不少于 150 万吨/年，分选精度  $\geq 95\%$ ，分离后矸石带煤率  $\leq 5\%$ ，煤中带矸率  $\leq 3\%$ ；井下分选出矸石充填量不少于 17 万吨/年。

#### 7. 煤铝共生资源安全绿色高效开发关键技术及工程示范

研究内容：分析煤铝共生资源赋存规律，建立煤铝共生资源总体赋存关系及三维地质模型。研究煤铝共生资源开采矿井总体开拓布置和开采工艺，构建煤铝共采系统模型，研发既有利于煤炭资源开采又兼顾延伸开采铝土资源要求的共采系统；研究不同煤铝共生资源赋存状态下的资源联合共采的时序性，确定煤铝共采系统的关联性和兼容性；开发煤铝共生资源协调开采技术方法，分析不同条件下煤铝共生资源开采的矿压显现规律和岩层移动特征，揭示煤铝共生资源开采的岩层控制机理，实现煤铝联合绿色安全高效开采；建立煤铝共生资源安全绿色高效开发的示范工程。

技术指标：研发 2 种煤铝资源联合开采方法；煤炭资源回采率提高 10% 以上，且达到 70% 以上；煤下铝土矿资源回采率达到 40% 以上；出矿率、掘进率及出矿品位（矿石中 有用成分的含 量）均达到 75% 以上；煤铝共采前期投资减少 20% 以上（与单独布置铝土矿开采相比），且吨铝产能投资成本不高于 200 元/吨。建立年产不低于 300 万吨（煤不小于 200 万

吨，铝不小于 50 万吨) 的煤铝共采示范工程 1 项。

#### 8. 煤层气储层高精度识别与预测技术

研究内容: 开展煤层气储层敏感参数分析, 建立关键参数岩石物理量版; 基于煤系气的不同赋存状态, 构建相应的岩石物理模型; 通过正演模拟研究煤系气储层地震响应特征机理。基于相控混沌反演理论, 开展高精度煤系地层叠后、叠前地震反演方法研究; 研发基于地震属性、地震反演和机器学习的煤层厚度、岩性、含气性高精度定量预测方法。分析多级构造的地震响应特征, 开发基于地震属性和机器学习的多级构造精准解释技术; 综合构造、各向异性反演和叠后、叠前反演, 提高裂隙带、地应力预测的精度和可靠性。

技术指标: 有效识别厚度 3 米以上煤层, 对厚度 2~3 米的煤层进行预测。煤层气的含气性预测准确率  $\geq 90\%$ 。探井深度误差不大于埋深的 2%, 水平井钻遇率  $\geq 90\%$ 。部署的水平井达产率  $\geq 80\%$ 。现场示范应用  $\geq 50$  平方公里, 针对不少于 20 口探井、水平井井位提出部署建议。

#### 9. 深部煤层气地质-工程一体化高效联动开发技术与工程示范

研究内容: 开展精细刻画深部煤层空间展布特征及煤层气赋存规律; 建立煤层气“开发靶区”识别标准, 优化井位部署方案。开展钻井液配伍性及井壁稳定性研究; 建立更加精细的地震剖面, 攻关多靶点轨迹控制技术; 建立测-定-录-导一体化

导向技术，精准判定轨迹方向；实现地质-工程互通互补，建立井-地联动技术体系。开展三维构造应力场研究，建立区域构造模型；开展不同深度不同压裂工艺模拟及缝网延展模型研究，建立水平井压裂适配工艺；压裂后套管变形防治研究，保证压裂效果；形成压裂参数与模型互反馈系统。将研究成果应用于工程实践，形成工程示范并推广应用于深部煤层气区块开发中。

技术指标：建立一套深部煤层气“开发靶区”识别标准，钻遇率大于85%。形成一套测、录井企业规范，施工周期缩短不小于10%，成本降低不小于5%。形成一套地质-工程一体化高效钻井、压裂技术体系，水平井压裂成功率大于80%，研究同类地质结构区域，钻井成功率大于80%。沁水盆地深部煤层气钻井成功率及压裂成功率在原有基础上均提高10%以上。应用地质-工程一体化“开发靶区”识别方法实现井区优选，高产井比例大于70%。工程实践规模：建立地质-工程一体化工程示范区，示范工程井不少于5口，直井日产量大于4500方、水平井日产量大于8000方，年产量不小于450万方。

#### 10. 25MW/100MWh 全钒液流电池长时储能系统关键技术与示范

研究内容：开展全钒液流电池关键核心材料电堆结构、生产工艺等研究，优化设计大功率全钒液流电池电堆结构，提高电堆功率密度；开展大功率电堆密封技术研究，提高单电堆的

可靠性和均一性，提高电池充放效率和能量效率；开展集装箱式全钒液流电池储能系统设计和研发，开发全钒液流储能电站监控系统，实现全钒液流电池的高度集成系统构建、智能管理和产业化；开展百兆瓦级全钒液流电池集成及控制技术研究；突破新一代百兆瓦级、本质安全、高效、超长时间液流电池储能关键技术，完成1MW/4MWh单元模块示范验证及扩大试验，建设百兆瓦时全钒液流电池储能电站示范工程。

技术指标：研发100MWh全钒液流电池关键技术1项，宽温区电解液稳定化控制技术1项，建设1条年产能不低于100MW全钒液流电池智能化生产线，建设1个25MW/100MWh全钒液流电池储能电站示范工程；单堆功率 $\geq 50\text{kW}$ ，循环次数 $>15000$ 次，电流密度 $130\text{mA}/\text{cm}^2$ 下单电池充放电效率 $\geq 80\%$ ， $200\text{mA}/\text{cm}^2$ 下单电池充放电效率 $\geq 80\%$ ；系统单元模块功率 $\geq 250\text{kW}$ ，系统单元模块容量 $\geq 1\text{MWh}$ ，工作温度 $-20\sim 65\text{℃}$ ，储能时长 $\geq 4\text{h}$ ，能量密度 $\geq 40\text{Wh}/\text{L}$ ，储能系统充放电效率不低于70%，启动和响应无相变化，充放电切换 $\leq 0.02\text{s}$ ；百兆瓦级储能系统规模化全寿命周期度电成本 $< 0.12$ 元/度。

#### 11. 大功率磁悬浮飞轮储能电池 AGC 辅助调频关键技术研发与示范

研究内容：针对储能辅助火电机组调频系统中锂离子电池服役寿命迅速下降问题，开展大功率飞轮电池+锂电池混合储



能系统与火电机组联合调频研究。具体内容包括：研究预装式集成方案及多机并联电流谐波抑制技术、共模电压抑制技术；储能变流器(PCS)与飞轮储能系统的协调控制关键技术研究；PCS与飞轮之间的电气、通讯接口机制研究；针对飞轮的启/停、安全运行开发PCS功率控制方式及联动保护技术；混合储能能量管理及功率协调控制策略研究；在不同需求场景下开展参与电网AGC辅助调频的示范应用。

技术指标：飞轮单体功率 $>500\text{kW}$ ，单体容量 $>125\text{kWh}$ ，使用寿命 $>20$ 年；联合调频系统响应速率达到 $1\text{s}$ 以内，AGC调节性能综合评判指标 $K_p$ 达到 $4.7$ 以上；完成 $1500\text{V}$ 储能变流器装置开发，形成预装式储能解决方案；混合储能示范系统 $>7\text{MW}$ ，其中飞轮系统功率 $>2\text{MW}$ 。

## 12. 抽水蓄能电站结构加固与库盆防渗关键技术研究

研究内容：针对抽水蓄能电站水库渗透问题，结合山西区域构造地质和水文地质条件，开展电站结构加固与库盆防渗研究。具体内容包括：研究抽水蓄能电站建运一体库盆总渗漏量监测方案，提出能反映电站周边地下水运移规律和真实渗流场的全域感知方法，建立基于监测数据的实时渗漏量智能预测方法；开展复杂地表和地下储水库空间结构稳定性分析，研究矿区大跨度地下储水、发电空间洞室损伤力学特征、稳定性评价及支护加固措施，提出一套基于时空分区和构造分类的适应性防渗加固综合处理方法体系；开展防渗加固综合处理方法体系

的示范验证。

技术指标：形成一套抽水蓄能电站防渗加固综合处理方法体系；抽水蓄能电站库盆渗漏量计算误差不超过5%；降低渗漏量20%以上，防渗加固成本降低5%以上；在不小于1200MW的抽水蓄能电站进行示范验证，平均日渗水量 $\leq$ 上库总库容0.0015%，极端情况下最大渗水量 $\leq$ 上库总库容0.005%。

### 13. 兆瓦级长寿命磷酸铁锂电池规模化储能电站技术研发与示范

研究内容：针对储能技术中存在的安全、稳定、寿命等核心问题，开展磷酸铁锂电池的电芯、电池模组和储能电站集成方案的研究和设计。具体内容包括：高安全性、高容量、高一致性、超长循环性能的电芯结构和智能制造技术开发；模组中电芯精准控温、延长电池使用寿命和储能效率的电池管理系统（BMS）技术开发；内部集成储能系统、配电系统、环境监控系统、照明系统、消防系统的储能系统技术；兆瓦级储能系统集成与应用示范验证。

技术指标：单体电芯容量 $\geq 3.8\text{Ah}$ ，单体电芯循环寿命 $\geq 12000$ 次（SOC：0~100%）；集成储能电站后，电池模组内部电芯间温差 $\leq 5^\circ\text{C}$ ，自放电 $\leq 8\%$ /年；BMS指标：电压监测精度 $\pm 0.1\%\text{FSR}$ ；温度监测精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；电流监测精度 $\pm 0.2\%\text{FSR}$ ；SOC预估精度 $< 5\%$ ；SOH预估精度 $< 7\%$ ；模组结构设计实现热流体仿真（每个电池模组均带有风扇），模组内

部温度保持在 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；建立从电芯-模组-储能电站的磷酸铁锂示范线；建设1项兆瓦级长寿命磷酸铁锂电池储能电站示范工程。

#### 14. 风电机组与风储场站控制系统关键技术研发与示范

研究内容：开发融合先进测风和故障诊断信息的风电机组国产化主控算法；研究适用于复杂地形高湍流风况的高抗扰性和强鲁棒性风电机组主控技术；探索复杂多变风况下风电机组和储能电池单元输出功率的动态特性的时变规律，研发适用于功率控制的风储场站动态仿真平台；研发考虑储能电池寿命、尾流优化的风储协调控制的能量管理技术；完成风电机组主控技术及风储能量管理技术的应用示范。

技术指标：形成首台套融合先进测风和故障诊断信息的风电机组国产化主控制方法、装置和系统，系统控制周期 $\leq 20\text{ms}$ ，在 $-40^{\circ}\text{C}$ 到 $70^{\circ}\text{C}$ 的环境下稳定运行，研发的控制系统的利用率 $> 99\%$ ；形成首台套基于发电单元动态特性的风储能量管理和一次调频的控制方法、装置和系统，控制指令周期 $\leq 200\text{ms}$ ，有功响应迟滞时间 $\leq 2\text{s}$ ，有功响应时间 $\leq 11\text{s}$ ，有功响应调节时间 $\leq 13\text{s}$ ，有功控制精度 $\leq 1\%$ ，无功响应迟滞时间 $\leq 1\text{s}$ ，一次调频响应滞后时间 $\leq 1\text{s}$ ，一次调频调节时间 $\leq 3.5\text{s}$ ，一次调频响应时间 $\leq 3\text{s}$ ；风电机组的控制技术在 $2\text{MW}$ 以上风电机组上完成测试；风储能量管理技术在 $100\text{MW}$ 或以上的配储能风电场完成示范应用；提升风电场发电量 $\geq 2\%$ 。

## 15. 超高风电机组合结构塔架工程化应用关键技术研究

研究内容：研究超高风电机组合结构塔架结构在风荷载与静力共同作用下的力学性能与工作机理，开展包括考虑压弯扭荷载作用下该类构件的力学性能试验、有限元与理论研究并提出相应设计方法；开展在地震荷载与山西典型风场联合作用下，超高风电机组合结构塔架结构的受力性能与动力响应研究，提出结构抗震设计方法与构造措施；开展装配式超高风电机组合结构塔架、装配安装方式以及不同连接形式下的受力机理研究并完成测试验证。

技术指标：完成超高风电机组合结构塔架结构，在地震荷载与山西典型风场联合作用下的抗震设计方法、构造措施与装配安装方式研究，编制团体或地方技术标准1部；塔架截面钢板最大厚度 $\leq 50\text{mm}$ ，塔架适用高度可满足200m以上使用工况需求，结构整体阻尼比 $\geq 0.03$ ，塔身用钢量 $\leq 600$ 吨，混凝土用量 $\leq 300$ 吨；试制不低于170m高度的超高风电机组合结构塔架结构样本，并完成其在山西典型风场和静力共同作用的力学性能测试示范工程。

## 16. 新型 SiON<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 叠层膜背面接触钝化双面电池

研究内容：针对不同表面微观结构沉积 SiON<sub>x</sub> 介质膜稳定性差、SiON<sub>x</sub> 背面介质膜致密度较高、激光消融难度较大的问题等问题，研发基于 SiON<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 叠加膜的 PERC 双面电池

制备技术。具体内容包括：研究不同湿法药液配比下，二次制绒对表面微观容貌的光滑调控机制，开发出一种单面精细刻蚀的添加剂辅助湿法处理工艺；对 SiON<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 叠加膜制备技术中，SiON<sub>x</sub> 膜厚、化学成分、退火氛围等条件进行优化，研究其对 SiON<sub>x</sub> 介质膜致密度、固定正电荷的影响规律，开发出一种应用广泛、均匀、致密的高钝化质量 SiON<sub>x</sub> 介质膜制备技术；探究激光波长对开孔后几何形貌形成的内在作用机理，开发出一种实用的 SiON<sub>x</sub> 介质膜激光开槽技术。

技术指标：SiON<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 大尺寸（182mm × 182mm）晶硅双面电池正面转换效率 > 23.5%；SiON<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 双面电池背面转换效率大于正面转换效率 70% 以上；预处理测试要求（5kWh/m<sup>2</sup>）条件下，平均光致衰减率 LID < 2%；建设 1 条不小于 200MW 的示范生产线，生产不少于 10000 片双面电池片。

#### 17. 大尺寸柔性钙钛矿太阳能电池关键技术研究

研究内容：围绕柔性电子的发展需求，研究大面积钙钛矿薄膜在柔性衬底上的可控制备工艺及生长机制，发展可低温制备的电荷传输层材料和界面修饰材料，提升柔性电池的效率及耐弯折稳定性。具体内容包括：大面积柔性基板上制备钙钛矿太阳能电池的工艺方法，对钙钛矿组分进行优化，筛选不同的溶剂、共溶剂和添加剂，开发出具有可控流变和浸润特性的墨水，研究可获得表面均匀、光滑、致密的高质量柔性钙钛矿薄膜可控制备工艺；研究薄膜结晶后处理和缺陷钝化技术，大面

积钙钛矿薄膜在微观和宏观多尺度上缺陷组成、分布和调控机制，及其对薄膜激子/载流子寿命、迁移率和器件性能的影响规律；开发高性能无机半导体传输材料及其大面积低温、低损伤制备工艺，开发界面修饰材料与修饰技术。

技术指标：实现大面积柔性基板上生长高质量钙钛矿薄膜，薄膜均匀度误差 $<10\%$ ，制备大面积均匀、连续的电荷传输层，薄膜均匀度误差 $<10\%$ ；大面积柔性钙钛矿太阳能电池（ $\geq 1\text{cm}^2$ ）最高效率 $>19\%$ ，10000次弯折（曲率半径 $<0.5\text{cm}$ ）衰减 $<10\%$ ，在连续 AM1.5G 光照3000h 后效率保持90%以上；大面积柔性钙钛矿太阳能电池组件，面积 $\geq 100\text{cm}^2$ ，最高效率 $>16\%$ ，5000次弯折（曲率半径 $<0.5\text{cm}$ ）衰减 $<10\%$ ，连续 AM1.5G 光照3000h 后效率保持90%以上；提供成套的技术报告和满足性能指标的大面积柔性钙钛矿太阳能电池组件样品。

#### 18. 快充型锂离子动力电池技术开发

研究内容：针对电动汽车中锂离子电池充电速度慢、里程焦虑问题，从关键材料、电极片和电芯技术多层次研究快充型锂离子电池技术。具体包括：开发可快充、高容量的锂离子电池负极材料；高离子导电率电解液的设计与制备技术；研究快充型电极片结构及制造工艺；探究电芯组成、几何结构、集流结构等对于充放电性能的影响；结合所开发负极材料和电芯结构优化快速充电制度。

技术指标：锂离子电池全碳负极材料比容量 $>420\text{mAh/g}$ ，

首次充放电效率 > 93%，最大可8C 充电，具备10公斤级批次供样品能力；电解液的离子电导率 > 12mS/cm；电池单体容量 > 10Ah，室温条件下10分钟充电 ≥ 80%；电池单体能量密度 ≥ 180Wh/kg；循环寿命 ≥ 3000次（25℃，80%充放电深度）容量保持率 ≥ 80%；安全性能满足《电动汽车用动力蓄电池安全要求》（GB 38031-2020）；开发72V/40Ah 电池模组并在电动汽车进行应用示范验证。

#### 19. 车-云融合的电动汽车高安全电控系统关键技术及示范

研究内容：针对复杂工况下电动汽车全生命周期的高安全性需求，开展车-云融合电动汽车高安全电控系统的电气架构设计、功能模块开发、整车安全预警等关键技术研究。具体内容包括：开展通讯网络设计与信息调度机制研究，形成车-云融合的电动汽车电控系统架构技术，开发基于异构数据挖掘、决策与融合的电控系统；研究车-云信息协同方法、电池内部老化机理、充放电优化控制方法，建立数据与物理模型耦合的动力电池 SOX 多维度多状态估计模型，开发车-云融合的动力电池管理模块；研究多时间尺度下动力系统安全评估、异常诊断、车端模型参数更新策略，开发热失控预警与抑制模块、整车安全监控模块，形成车-云融合的电动汽车安全运行监管机制；开展工况模拟与实际道路的车-云协同电动汽车电控系统功能验证，研制高安全电动汽车并示范。

技术指标: 车-云融合的电动汽车1辆: 整备质量  $\leq 1380\text{kg}$ , 0~100km/h 加速时间  $\leq 12\text{s}$ , 最高车速  $\geq 90\text{km/h}$ , 电池容量  $\geq 40\text{kWh}$ , 电机功率  $\geq 60\text{kW}$ , 高压系统集成数量  $\geq 4$ 。开发车-云融合的电控系统1套: 数据传输周期  $\leq 1\text{s}$ ;  $-20\sim 40^\circ\text{C}$  温度范围的电池系统 SOC、SOP 和 SOH 的估计精度误差  $\leq 4\%$ , 电池模型均方根误差 RMSE  $\leq 50\text{mV}$ , 异常电池识别准确率  $\geq 90\%$ ; 动力系统热失控探测时间  $\leq 10\text{s}$ , 热失控预警时间  $\geq 5\text{min}$ , 温度估计精度  $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 定位精度  $\leq 1\text{m}$ ; 在车-云融合电动汽车上进行示范验证。

## 20. 集群式柔性交直流超大功率充电装备关键技术与示范

研究内容: 针对电动汽车超大功率充电装备存在功率分配控制难、动态安全监管难、车辆兼容性差的突出问题, 开展基于车桩网联平台的集群式柔性超大功率充电装备关键技术研究及示范应用, 具体内容包括: 研究高性能恒功率充电模块化变流技术, 研制柔性功率分配单元、充电控制单元及计费控制单元, 基于国产核心器件研发集群式柔性交直流超大功率充电装备; 研究面向车桩网联化管控的超大功率充电堆柔性化充电控制技术、动态功率分配方法、充电装备保护管理策略, 研发超大功率充电装备监控系统; 研究车-桩-云信息交互技术、面向车桩-电网协同能量管理策略, 建立基于多主体数据融合的充电需求预测与引导方法, 开发车-桩-云数据交互协同服务平



台；开展集群式柔性交直流超大功率充电堆技术集成验证与示范。

技术指标：研制集群式柔性交直流充电装备1套，集群式管理总功率 $\geq 1200\text{kW}$ ，服务车辆数 $\geq 16$ 辆，柔性功率分配单元精细度 $\leq 20\text{kW}$ ，单枪输出电压 $\geq 1000\text{V}$ 、电流 $\geq 250\text{A}$ ，充电堆峰值效率 $\geq 96\%$ ，稳压精度 $\leq \pm 0.5\%$ ，稳流精度 $\leq \pm 1\%$ ，输出纹波有效值系数 $\leq \pm 0.5\%$ ，满载谐波含量 $\leq 5\%$ ，满载功率因数 $\geq 0.99$ ；超大功率充电装备监控系统1项，监控数据 $\geq 12$ 项，监控保护模型 $\geq 3$ 个，控制响应时间 $\leq 5\text{s}$ ；车-桩-云数据交互协同服务平台1项，接入充电桩类型 $\geq 3$ 项，接入充电车型数 $\geq 50$ 项，数据互通与调用平均响应时间 $\leq 500\text{ms}$ ；形成超大功率交直流充电堆生产工艺 $\geq 1$ 项；集群式柔性超大功率充电装备示范生产线，设计产能规模 $\geq 1500$ 套/年。

## 21. 氢燃料电池铂基合金催化剂的批量化生产技术及示范

研究内容：针对提升燃料电池系统运行经济性的重大需求，探索高效低成本的稳定性铂基合金催化剂材料设计、制备技术及评价方法，获取铂基燃料电池催化剂宏量制备的关键技术。具体包括：探索铂基-过渡金属合金催化剂结构设计及制备机理，结合理论分析、开发出高性能催化剂材料；研究碳材料结构调控与掺杂改性，实现活性表面精准调控，优化载体抗腐蚀能力，提高金属载体相互作用，综合提升材料催化性能与

耐久性；重点解决合金相互作用的调控与有序化合成、纳米颗粒高分散稳定负载、铂纳米层孔隙度覆盖等关键技术；形成铂合金催化剂膜电极结构强化及寿命保障技术，构建测试评价体系。

技术指标：催化剂铂金属载量  $\leq 0.1\text{g/kW}$ ，初始铂基质量活性  $\geq 0.44\text{ A/mgPt}@0.9\text{VIR-free}$ ，电化学活性面积  $\geq 80\text{m}^2/\text{g}$ ；在  $0.65\sim 0.95\text{V}$  的电压下，进行 30000 次循环后，初始铂基质量活性衰减率  $\leq 30\%$ 、电化学活性面积衰减率  $\leq 30\%$ ；反极耐受时间  $\geq 90\text{min}$ ；实现氢燃料电池用铂合金催化剂年产 300 公斤示范线，量产催化剂性能标准偏差  $< 1\%$ ，具备中试规模产业化生产条件，完成铂合金催化剂在  $30\text{kW}$  氢燃料电池示范应用。

## 二、黄河流域生态保护关键技术与示范

### 22. 山西省域大气污染溯源监测与协同管控关键技术研究

研究内容：针对现有大气污染治理能力和科技支撑水平难以满足精准治污、精准管控的环境治理需求，研究大气污染溯源监测与协同管控关键技术，具体包括：基于污染源监控、环境监测和气象观测等多源数据的溯源和成因分析智能化技术，实现本地精细化的溯源；城市重点涉气排放企业情景模拟及协同管控技术，构建适用于本地的模型参数及配置；城市尺度中长期空气质量达标预测技术，构建适用于本地的中长期达标预测算法；气象条件影响评估技术，筛选适用于本地的气象影响

评估数值模型。

技术指标: 研发出适用于山西省区域大气污染溯源大气污染源监测与协同管控关键技术: 溯源模型空间(经向和纬向)精度不低于 1km; 管控模拟模型空间(经向和纬向)精度不低于 3km; 实现城市空气质量中长期达标预测, 达标预测以年为单位, 时间精度为月度, 通过空气质量数值预报模型模拟结果同空气质量监测结果进行对比, 验证模型性能及准确性; 实现以城市为单位气象影响贡献定量化分析, 气象影响评估时长包括月度、季度、年度, 气象影响评估模块通过气象实况参考数据同期对比结果进行定性验证。建立 1 套山西省本地化算法涵盖  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$  六项污染物的各城市空气质量远期达标预测及情景模拟系统, 情景模拟系统以基本情景下历史监测数据验证模型性能及准确性(包括空气质量达标预测、气象影响评估、规划排放情景模拟三个模块)。

23. 山西省黄河流域矿区裸露工程边坡生态修复关键技术研发与示范

研究内容: 针对沿黄矿区裸露工程边坡生态修复工程稳定性差、易失败的问题, 研究不同区域、不同开采工艺诱发的裸露工程边坡生态受损成因、演变规律与固碳效果评估, 揭示矿区生态系统结构与功能受损特征、过程及修复机制; 研发岩质边坡、土质边坡、岩土混合边坡等不同类型裸露工程边坡的生态修复关键技术, 构建不同类型裸露工程边坡的生态修复技术

模式（植被修复+工程措施）；建成一批适合于山西省并推广于整个黄河流域不同类型裸露工程边坡生态修复技术的示范样板；开展矿区边坡工程生态系统固碳效果评估，研究矿区生态系统总固碳量，评价其抵消人为排放二氧化碳量的效益；研发山西省黄河流域的矿区裸露工程边坡生态修复信息化平台，实现“基础研究—关键技术研发—应用示范—决策服务”为一体的全链条技术体系。

技术指标：构建裸露边坡植被恢复技术体系 1 套；提供针对矿区不同类型裸露工程边坡的生态修复恢复技术 15-20 项；完成分布在黄河旅游公路，忻州市，吕梁市，临汾市和运城市等沿黄 4 市 19 县矿区和露天采石场的 8-10 个典型矿区集成示范，示范总面积不低于 500 亩；建成信息化大数据平台 1 个。边坡植被覆盖率 95%，水土保持率 95%，矿区边坡工程生态系统固碳率提高 20%以上（对照自然边坡生态系统）。

#### 24. 黄河流域电解铝碳渣无害化高值利用关键技术与示范

研究内容：研究不同碳渣磨粉过程结构、形貌、连生嵌布的演变规律，探究不同粒径碳渣在浮选过程的分选效果，实现碳渣的高效分选；开发低成本高效溶出药剂，研究溶出、富集分离、碳化过程锂及其它元素的迁移转化规律，探究在提锂过程对冰晶石结构的影响规律，实现锂的高效提取与冰晶石的再生修复利用；研究碳粉制备新型碳材料过程孔结构的演变规

律，形成回收碳粉高值利用新技术；开展非常规设备研发与全流程优化集成及示范应用，通过 Aspen 工艺流程模拟，形成铝电解阳极碳渣无害化高值利用整体技术工艺，完成千吨级扩试验证。

技术指标：实现铝电解阳极炭渣高效磨粉分选回收碳和冰晶石技术，炭渣中碳的分选回收率  $\geq 80\%$ ，回收碳粉的碳品位  $\geq 85\%$ ，冰晶石中碳的含量在 2% 以下，且冰晶石修复过程 F 的转化率  $\geq 90\%$ ；实现冰晶石中锂的高效溶出、富集分离制备电池及碳酸锂技术，冰晶石中锂的回收率  $\geq 80\%$ ，碳酸锂产品满足工业级碳酸锂的质量要求（GB/T 11075-2013），且最终水溶液中 F 离子的浓度  $\leq 1.0\text{mg/L}$ ；建成年处理 5000 吨电解阳极碳渣无害化高值利用生产碳酸锂示范装置，实现稳定运行不少于 900 天，形成可复制推广成套技术与装备。

## 25. 赤泥多固废协同激发制备路基材料关键技术与示范

研究内容：目前赤泥综合利用规模和利用率长期处于低位，产业化进程缓慢，针对赤泥贮存量、利用率低等突出问题，结合建筑行业碳减排、天然资源短缺的双重压力，利用赤泥、粉煤灰等多固废协同胶凝制备路基材料，实现赤泥综合利用技术产业化。研究赤泥与其他工业固废的协同激发与胶凝机理，胶凝相形成机理与目标物相调控机制，阐明胶凝产物协同固定重金属等有害元素的反应机理，建立多固废原料配比、养护制度和材料综合性能的关联，明确固废各组分对路基材料制

备和综合性能的作用机制，形成基于原料特性和材料综合性能的配方设计方法；研究凝胶结构对材料性能的影响规律，形成赤泥多固废协同激发制备路基材料关键技术，提出提高路基材料力学强度、回弹模量、抗冻融性的有效方法；模拟路基材料产品在复杂环境下重金属溶出行为和放射性，评估材料使用的安全性及其对环境的影响；开展路基材料在道路工程中的应用示范，形成多固废路基材料制备和道路施工整套技术体系。

技术指标：固废总掺量达到 75% 以上，赤泥掺量不低于 40%；路基材料指标：7 天无侧限抗压强度达到 4.0MPa 以上，28 天回弹模量达到 800MPa 以上，15 次冻融循环次数质量和强度损失率分别不超过 5% 和 20%，耐久性能满足《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）要求；路基材料重金属溶出低于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007）相关限值，放射性符合《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566-2010）；建立年产 10000m<sup>3</sup> 赤泥路基材料中试线，建设长度不低于 200m 的赤泥基道路示范工程。

## 26. 生活垃圾焚烧发电厂飞灰胶结充填资源化利用技术与示范

研究内容：针对我国生活垃圾焚烧发电厂飞灰排放量大、环境风险高、利用难度大等问题，开展不同地区和焚烧工艺条件下飞灰物理、化学、毒性浸出等基本特性研究；研究飞灰预处理热解工艺；开展含飞灰胶凝材料在典型矿井充填环境下与

本地工业固废的适应性研究；对典型矿山充填环境下含飞灰充填硬化体环境风险进行评价研究；开展飞灰胶结充填资源化利用全流程规范化环境管理研究；进行飞灰胶结充填资源化利用工程示范。

技术指标：飞灰处理产物二噁英类残留总量不超过 50ng-TEQ/kg（以飞灰干重计），可溶性氯含量不超过 1%，且符合《生活垃圾焚烧飞灰污染控制技术规范(试行)》（HJ 1134-2020）要求；所研制的矿山充填胶凝材料中飞灰的掺量不低于 20%；矿山充填环境下含飞灰胶结充填硬化体的各类有害物质浸出浓度达到《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）规定的限值要求；含飞灰胶结充填硬化体 28 天抗压强度不低于 3MPa；完成不低于 5000m<sup>3</sup> 飞灰胶结充填示范工程；所研制的矿山充填胶凝材料生产成本比普通硅酸盐水泥降低 50%以上；形成技术相关的国家、行业、团体标准或规范征求意见稿 2 项以上。

## 27. 煤基烟气脱硝废催化剂分级分质循环利用关键技术与示范

研究内容：针对选择性催化还原（SCR）技术广泛应用造成的大量废催化剂污染问题，基于废 SCR 催化剂使用环境、燃料组分及运行数据参数等数据库，构建系统的废 SCR 催化剂判定标准及分析方法。构建基于不同失效机理下废催化剂的预处理及再生工艺体系；研究物理及化学清洗技术对催化剂表

面空隙的疏通机制；探索催化剂微观比表面积的释放与催化剂结构及性能间的构效关系；研究再生工艺对催化剂活性组分结构、表面活性位点分布及化学性质的影响机制；研究催化剂再生及活性负载工艺对催化剂性能的影响机制；考察再生后催化剂使用寿命，建立废催化剂再生生产线并完成相应工程示范。建立酸、碱浸出条件下废 SCR 催化剂中的有价元素的回收策略，形成有价元素高效选择性联合回收工艺及废钛渣高效分质回用技术体系，完成废催化剂分体回收侧线实验工艺验证。

技术指标：催化剂再生考核指标：孔道疏通率达到 99% 以上，活性水平达到新鲜催化剂的 98% 以上，机械结构及性能未发生明显变化，且再生后催化剂化学寿命有效延长 24000 小时，形成年再生 5000m<sup>3</sup> 废脱硝催化剂生产线的工艺技术和工程示范。催化剂回收考核指标：钨浸出率 > 80%，钒浸出率 > 90%，完成 10kg/d 废催化剂粉体回收测线实验，形成 1000 吨/年度催化剂有价元素高效提取技术工艺包。

## 28. 钢渣梯级利用与建材资源化关键技术与示范

研究内容：研究钢渣颗粒的游离氧化钙（f-CaO）含量及赋存、胶凝活性、膨胀特性、耐磨性能的关键特性及其分布规律，为钢渣全组分梯级利用提供数据基础。揭示钢渣粒径梯度对其不均匀膨胀等安定性问题的作用规律，构建建材资源化梯级利用创新体系；揭示钢渣与土壤、粉煤灰、水泥、沥青等材料间的作用原理，研究不同建材体系结构组成对钢渣不均匀膨



胀的容纳与抑制机制，建立面向不同建材利用体系的钢渣安定性评价方法与调控措施；突破钢渣制备筑路材料、水泥混凝土、钢渣砖的关键技术，研究钢渣改良土、水泥（粉煤灰）稳定钢渣、钢渣沥青混合料、钢渣混凝土、钢渣砖的材料组成设计与关键性能，形成钢渣梯级利用处理及规模化生产示范线，构建规模化修建钢渣改良土、钢渣基层、钢渣沥青混合料等试验段。

技术指标：构建钢渣梯级利用与建材资源化创新模式，钢渣增值利用率达 100%，预处理加工能耗不高于 40kWh/吨（预处理主要指通过破碎、分选、粉磨等一系列加工工艺，将钢渣处理成不同粒径的颗粒）；用于筑路材料，钢渣掺量在 10%~70%之间，钢渣改良土加州承载比不低于 16%，钢渣基层 7 天无侧限抗压强度满足各等级公路要求，钢渣沥青混合料油石比降低 0.3%以上，钢渣与沥青界面粘结力提升 30%以上，混合料动稳定度不低于 1500 次/mm；用于水泥混凝土，钢渣掺量不低于 20%，降低水泥或胶凝材料用量 5kg/m<sup>3</sup> 以上，矿物掺合料制备能耗降低 40%以上，达到 S75 级矿粉的技术要求；用于钢渣砖，满足混凝土路面砖国家标准（GB 28635-2012）中 Ce40 以上等级技术要求；形成万吨级钢渣建材资源化梯级利用生产示范线 1 条、钢渣砖生产线 1 条，建立钢渣改性土、钢渣基层、钢渣沥青混凝土等试验段 5km 以上，达到钢渣混凝土生产 1000m<sup>3</sup> 以上，建立钢渣制备筑路材料、水泥混凝土、钢渣砖的关键技术 1 套。

### 29. 生物质/污泥等离子高温共转化制氢技术

研究内容：针对生物质/污泥高效能源转换及高品质转化等问题，突破生物质/污泥干燥、粉碎技术、成型和能源化预处理技术；形成生物质/污泥气化转化的理论、方法、技术和设备体系；突破制约生物质/污泥利用的关键技术；研发生物质/污泥等离子高温共转化制氢技术，研发等离子体高温共转化制氢技术中试装置，开展中试装置应用示范。

技术指标：建立8t/d 生物质/污泥等离子高温共转化制氢中试装置1套，等离子高温共转化制氢装置日处理生物质/污泥 $\geq 8t$ ，按照工业示范装置运行标准通过72小时连续运行考核；实现生物质掺混量 $> 75\%$ ，碳元素转化率 $> 80\%$ ，氢气选择性 $> 75\%$ ，氮氧化物排放浓度不高于 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，能耗不高于 $2.4\text{MJ}/\text{kg}$  生物质/污泥原料，与同等规模的传统热化学制氢工艺相比减少 $\text{CO}_2$ 排放量不小于 $5\text{t}/\text{d}$ ；编制生物质/污泥等离子体高温共转化制氢技术规程1例，形成具有自主知识产权的生物质/污泥等离子高温共转化制氢核心技术1项。

### 30. 工业烟气高尘宽温域脱硝关键技术与示范

研究内容：针对水泥行业超低排放改造的重大技术需求，根据水泥厂熟料生产线的烟气参数条件，研究高尘宽温域脱硝关键技术与装备。重点突破高温高尘和中温中尘选择性催化还原（SCR）工艺技术路线配置和催化剂型式，研究抗中毒助催化剂组分、优化载体晶型结构等优化催化剂的配方，增强催化

剂低温脱硝活性，提高催化剂的机械强度、抗中毒性和低温耐硫性能，并开展工程应用示范。

技术指标：建立烟气量不小于 $150000\text{Nm}^3/\text{h}$ 的工业烟气高尘宽温域脱硝示范工程，连续稳定运行时间 $>2000\text{h}$ ；催化剂适用温度 $180\sim 420\text{℃}$ ，耐磨损强度 $<130\text{mg}/100\text{U}$ ，机械寿命 $>5$ 年，抗中毒能力（粉尘浓度） $>60\text{g}/\text{Nm}^3$ 、粉尘中钙基碱土金属含量 $>70\%$ 、烟气 $\text{SO}_2$ 浓度 $<50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，化学寿命 $>24000\text{h}$ 或3年，脱硝效率 $\geq 90\%$ ，单层催化剂 $\text{SO}_2$ 氧化率 $\leq 0.35\%$ ；采用单片高度 $>1000\text{mm}$ 的板式脱硝催化剂，实现良好的抗堵塞性能：单层催化剂初始阻力 $\leq 100\text{Pa}$ 、化学寿命期内每年单层催化剂阻力增幅 $<15\%$ 。

### 31. 活性炭纤维（ACF）负载光催化剂降解挥发性有机物（VOCs）装备研发与示范

研究内容：针对由煤化工与焦化行业引起的臭氧环境污染问题，采用溶胶凝胶法和浸渍提拉法实现催化剂的制备和催化剂在ACF表面的负载，开展ACF/改性 $\text{TiO}_2$ 催化剂对VOCs气体的降解研究。具体内容包括：通过对催化段的内部结构设计，进行VOCs与催化剂表面的流场与传质分析，研究并建立催化剂表面VOCs吸附与矿化原位再生的速率平衡关系；通过催化剂在ACF表面的负载改性，研制高热稳定性、高强度、功能协调耦合、高吸附-脱附、工业成型的新型碳基吸附材料；突破碳基材料自主再生循环利用、过程节能降耗、超低排放等

核心技术，形成工业规模应用成套工艺装备与集成技术；建立 VOCs 污染源分散治理—集中收集—再生循环应用综合治理技术体系；探究 ACF 与光催化剂复合体在不同工况下，经过单级处理与多级处理后对工业混合废气的处理效果；优化光催化反应装置结构，在重点区域工业集聚区进行小型示范工程的建立，将其推广运用于实际工业生产中。

技术指标：研发 ACF 负载光催化剂降解 VOCs 装备1套，满足在10~40℃工作温度及大气压力下对苯类、醛类污染物降解率达到90%以上，对醇、烯烃类污染物降解率达到80%以上；在重点区域工业集聚区或典型工业园区，完成烟气量不小于10000Nm<sup>3</sup>/h 工况下，利用该装备降解 VOCs 并实现自主再生功能的示范工程1项，出口非甲烷总烃含量<80mg/m<sup>3</sup>，满足《炼焦化学工业污染物排放标准》（GB 16171-2012）要求。

### 32. 高炉煤气精脱硫关键技术与示范

研究内容：针对高炉煤气精脱硫中酸性气氛和过度氧化等导致羰基硫水解催化剂活性和稳定性下降等问题，设计研制可以预脱除煤气中酸性组分的保护剂，优化气体组分的扩散和传输，降低毒害组分浓度，改善水解反应过程的化学环境；研发具有优异孔道结构和氧迁移能力的水解催化剂，抑制硫化物的过度氧化和活性位的堵塞，优化水解反应动力学，提升催化剂的活性和抗毒化能力，突破水解催化剂稳定、长效、安全运行关键技术，并建立工程示范。

技术指标：提出水解保护剂和催化剂制备工艺路线；建立水解保护剂和催化剂质量及性能评价方法；在90~150℃、有机硫浓度 $\leq 200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{O}_2$ 含量 $\leq 0.1\%$ 、 $\text{HCl}$ 含量 $\leq 0.02\%$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 含量 $\leq 10\%$ 、粉尘量 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 的工况条件下，有机硫转化率 $\geq 95\%$ ；完成不小于 $1000\text{Nm}^3/\text{h}$ 中试规模的工程示范，有机硫转化率 $\geq 95\%$ ，经干法脱除无机硫后， $\text{H}_2\text{S}$ 含量 $\leq 15\text{mg}/\text{m}^3$ ，燃烧后的烟气 $\text{SO}_2$ 排放浓度小于 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

### 33. 大型水利工程区域水土保持喷膜技术研发及示范

研究内容：针对黄土高原湿陷性黄土水土流失严重、水土保持工作难度大等问题，研究一套可推广的水土保持喷膜技术，具体内容包括：研究水土保持喷膜关键材料组配、孔隙结构调控、亲水/憎水性能调节等关键技术；研究改性剂和黏土矿物界面结合机理，探究喷膜固化黏土颗粒成膜机制；研究水土保持喷膜孔隙亲水/憎水演化规律，探明喷膜保水机理；研究泵送压力、干燥时间等施工工艺参数对水土保持喷膜材料性能的影响；研究水土保持喷膜抗冲刷性能、抗风蚀性能以及风蚀、水蚀后对周边环境的影响性和潜在生物污染性能；选取典型工程进行水土保持喷膜现场应用试验，分析研究工程综合成本、典型植被生长效果等指标。

技术指标：研究形成一套适用于黄土高原典型区域水土保持喷膜技术体系，喷膜层抗压强度 $\geq 5\text{MPa}$ ，劈裂强度 $\geq 0.5\text{MPa}$ ；抗冲刷性好，耐冲刷径流量 $\geq 1\text{m}/\text{min}$ ，冲刷径流水

质满足地表水 IV 类标准；抗老化性能好，紫外灯老化500h 后，质量损失率  $\leq 3\%$ ，强度损失率  $\leq 5\%$ ；选择山西典型区域，进行工程应用示范1-2项，示范水土保持面积不低于5000m<sup>2</sup>。

#### 34. 城镇生活污水处理厂尾水潜流人工湿地集成技术与示范

研究内容：针对冬季北方城镇生活污水处理厂尾水潜流人工湿地处理效果不稳定的现状，研发一套适合山西冬季污水处理厂尾水潜流人工湿地的保温技术及除磷脱氮的高效集成技术；筛选并驯化适于低温（水温4~10℃）环境的城镇生活污水脱磷除氮的合成微生物，优化合成微生物群落组成；构建低温环境下微生物和植物协同作用的水生态处理系统；建立温度、溶解氧、碳氮比等相关参数智能化管控平台，监测、调控尾水潜流人工湿地冬季处理出水水质指标；形成一套城镇生活污水处理厂尾水潜流人工湿地冬季处理技术优化集成应用示范。

技术指标：选育适合低温环境下城镇生活污水脱磷除氮的合成微生物菌群，形成一套适用于低温环境下除磷脱氮协同降解有机物的高效集成技术，建设不低于1万 m<sup>3</sup>/d 城镇生活污水处理厂尾水潜流人工湿地冬季处理技术示范工程1项，出水 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 三项指标达到地表水III类标准。

#### 35. 工业湿式冷却塔余热利用与节水消雾协同技术与示范

研究内容：研究冷却水余热利用方法对节水消雾机理，建

立工业冷却塔余热利用与节水消雾的耦合模型,确定余热利用与节水消雾协同工程化设计方法,开发工业冷却塔余热利用与节水消雾协同的成套技术;研究非采暖季冷却水余热的利用途径和应用场景;研制磁悬浮高效高温水源热泵,实现变频启动,提升热泵压缩机使用寿命,提高机组能效比;建立规模供热示范工程。

技术指标:研发形成工业冷却塔余热利用与节水消雾协同的成套技术,工业循环冷却水全年余热利用率不低于50%;研制国内首套兆瓦级磁悬浮高效热泵,实现10%~100%制热能力调节,最小开机启动电流不超过2A,循环冷却水水温在15~25℃的条件下,稳定制热温度达到60℃以上,该工况下机组能效比不低于4.5,系统全年综合能效不低于6.0;采用该项工业冷却塔余热利用与节水消雾协同技术后,节水率不低于30%,除雾率不低于90%;建成2MW的工业循环冷却水余热利用与节水消雾协同示范工程1项。