

2025 年度山西省重点研发计划 (第一批) 支持方向信息

2025 年 7 月

能源转型类

方向一：基于氨调控的 CFB 低热值燃料机组低碳路径关键技术与工程验证

一、主要内容

揭示典型固废在流化床复杂氧化-还原气氛下的转化机理及氨的作用机制；探明氨对典型固废燃烧及 NO_x 排放的调控规律；形成基于氨调控的 CFB 煤矸石等固废燃烧过程模型化放大策略；完成掺氨 CFB 机组协同固废处置及资源化工程验证。

二、核心技术指标

在 300MW 及以上 CFB 燃煤机组完成固废耦合氨掺烧工程验证，并满足烟气超低排放要求；掺氨比例不少于 10%，300MW 等级机组满负荷时 CO₂ 减排不少于 26 吨/小时；氨的转化率不低于 99%，50% 负荷及以上时不降低锅炉效率。

方向二：热电联产机组供暖期热电深度解耦节能运行研究

一、主要内容

研究燃煤机组余热回收利用的技术和方法，在火力发电厂深度调峰的前提下，实现高比例回收机组余热；研究供暖季燃煤机组的深度热电解耦节能运行的技术策略，在满足热电深度解耦的同时，确保源侧、网侧节能经济运行；研究燃煤机组在低负荷运行下排放达标技术路径，在深度调峰的低负荷工况下，找出即节能又环保达到排放要求的技术路径；开展热源、热网深度热电解

耦节能运行的经济分析，通过对源、网、荷、储等热电深度解耦节能运行系统的研究，保障其在经济上的可行性。

二、核心技术指标

供暖季现役煤电机组可以实现最小出力 25%-40%额定负荷、最大出力 90%-100%额定负荷的调峰范围，热网可以实现设计热负荷下的稳定运行；热电联产机组出力变化速率达到 0.8%-2.5%额定功率/min，满足电网调度要求；一台机组停机时，机组供热保障率不低于 75%；冬季供暖严寒期满足热网负荷调度要求，热用户客户投诉率显著下降；供暖季热电联产机组年供热量中余热占比不低于 60%。

方向三：高炉煤粉燃烧三维温度图谱诊断关键技术及应用

一、主要研究内容

面向大尺度空间煤粉燃烧诊断难题，研究辐射源物像映射特性与层析表征方法，构建融合深度信息的立体测温模型，以实现燃烧过程中温度的时空演化特征感知；针对煤粉燃烧强散射及多相强噪声对测量结果的不利影响，研究基于图谱的抗干扰与辐射补偿方法，以提高温度重建结果的空间定位与数值解析双重精度；针对煤粉燃烧宽温域辐射信号溯源问题，研究适用于光学辐射参量的复原与约束机制，以满足温度解析过程中的物理参数协同标定需求与准确性；围绕高炉煤粉燃烧应用实际问题，开发高效智能化在线温度监测系统，建立可揭示燃烧动态响应特征的温

度驱动学习模型，为煤粉添加及供氧控制提供关键数据支撑。

二、核心技术指标

构建适用于 25 m 高炉煤粉燃烧的智能化监测系统，实现测温系统与测试平台精准衔接；温度测试范围 900℃—3000℃，精度优于 4%；时间分辨率 ≤ 200 ms；空间分辨率 ≤ 200 mm；空间测试范围覆盖 ≥ 6 m $\times$ 7 m。

方向四：高性能宽温域先进钠离子电池技术研究

一、主要研究内容

针对北方冬季低温或极速放电需求应用场景对电池的高功率、高能量密度、极低温、长寿命等的性能需求，重点开展高功率正极材料技术、高功率负极材料技术及功率低温型钠离子储能电池系统技术研究。通过开发高功率正极材料、新型负极材料及多功能补钠剂电极技术，提升钠离子电池的倍率性能、循环稳定性及工程化应用水平；开发高稳定性钠盐及含钠添加剂电解液，研究其对界面接触和稳定性的影响，指导高效率极低温高安全钠离子电池的设计与开发。

二、核心技术指标

常温条件下能量密度 ≥ 160 Wh/kg、1 C 以上倍率循环 3000 圈容量保持率大于 80%；-20℃下能够实现 0.2 C 以上充到 100% SOC 不析钠、-20℃下 0.2 C 以上倍率充放电库伦效率 $> 99\%$ ；-40℃下容量保持率 $\geq 85\%$ ；60℃下容量保持率 $\geq 95\%$ 。

方向五：双模态微风发电关键技术与示范

一、主要内容

针对山西省平均风速小于 5.0m/s 的风能分布特点，项目聚焦微风发电的产业化推广目标，研究叶片气动性能优化与调控技术攻关。面向微风场景，开发基于仿生结构的低风速启动叶片，通过 CFD 仿真与风洞实验优化升阻比特性。在风速 $\leq 4\text{m/s}$ 时，采用高转矩阻力型构型，快速捕获低风速能量；风速 $> 4\text{m/s}$ 时，通过惯性分级匹配，切换为升力型翼型，稳定尖速比，提高整体发电效率。制作 1kW 样机，在山西典型微风风场开展 12 个月实地测试，验证切换阈值与自然风下的系统稳定性。

二、核心技术指标

在风速 $\leq 4\text{m/s}$ 时，采用阻力型叶片构型捕获低风速能量，目标启动风速 $\leq 1.5\text{m/s}$ ；风速 $> 4\text{m/s}$ 时，通过惯性匹配机制，从阻力型转化为升力型，在最优尖速比范围内，发电平均效率 $\geq 15\%$ 。依托企业现有垂直风电项目工程，制作 1kW 样机，在山西典型微风风场搭建示范工程测试平台，开展 12 个月实地测试，验证自然风场中系统稳定性。

方向六：AI 大模型驱动的虚拟电厂运行优化与多市场可解释决策技术及示范应用

一、主要内容

面向多类型电源、负荷、储能等分布式能源，结合多任务协

同优化、强化学习、元学习等技术，构建多能互补优化调控模型，实现资源状态评估与不确定性量化；融合负荷、气象、价格、政策、异常事件等多源数据，探索基于 AI 大模型的协同训练、专业模型微调与持续演化，提升虚拟电厂在多市场场景下的预测与联合优化出清能力；面向海量数据安全需求，研究联邦学习与可解释优化机制，保障虚拟电厂分布式通信环境下的数据隐私与决策透明性；建设兼容大规模异构终端的虚拟电厂 AI 大模型平台，支持模型动态部署与在线优化。

二、核心技术指标

研发具备可解释性的大规模虚拟电厂 AI 平台 1 套，支持 ≥ 1000 个分布式光伏、分散式风电及配套储能设备，实现 ≥ 500 家工业企业可调节负荷等边缘终端，30—50 个典型应用场景（含零碳园区、工业园区、科研园区等）并发接入；构建包含 5 类典型资源（光伏、风电、可调负荷、电动汽车、储能）的多能互补优化调控模型，初期调节容量 $\geq 20\text{MW}$ ；构建包含中长期、日前、日内现货与辅助服务等 4 类典型市场场景的协同交易优化模型，单位调节容量收益提升 $\geq 10\%$ ；预测模型的日前电力价格预测准确率 $\geq 80\%$ ；AI 模型典型任务响应时间 $\leq 15\text{min}$ 。

方向七：电力市场环境下风电场发电收益智能寻优控制系统的研发与应用

一、主要研究内容

开展山地复杂风能资源更精准的解析与预测，优化监测和预测风速、风向，优化风电场风功率预测技术；构建风电机组关键部件载荷预测模型，设计智能动态控制策略，突破控制系统国产化、电网友好型等关键技术，保障机组在复杂风况下安全稳定运行并提升发电性能；开展电价预测，融合功率和电量预测数据，进行分时与中长期策略优化；研发深度融合功率预测与电力交易的风电场发电收益智能寻优控制系统，实现应用示范。

二、核心技术指标

形成基于人工智能和大数据山地复杂风况风资源模型，风电场中期功率预测精度不低于 75%、短期功率预测精度不低于 90%；实现叶片和塔筒实测载荷降低 1%，机组级及场级降载控制软、硬件系统国产化率达到 100%；风电机组自适应及动态控制策略满足机组运行要求，发电量提升不低于 1%；风电场有功功率变化量上升时间 $\leq 1s$ ，允许偏差不大于 $\pm 1\%P_n$ ，一次调频响应滞后时间 $\leq 2s$ ，一次调频上升时间 $\leq 9s$ ，一次调频调节时间 $\leq 15s$ ；风电场发电收益在同等风况下提升 5%-6%。

方向八：高温煤焦油沥青制备钠电负极硬碳材料关键技术

一、主要研究内容

分析山西典型高温煤焦油沥青的组成（喹啉不溶物、灰分、硫含量、分子量分布、稠环芳烃结构特征等），建立原料特性数据库，开发高效、低成本、可放大的沥青纯化改性技术，优化其

作为硬碳前驱体的反应活性与结构导向性；探索不同预处理方式及炭化条件对沥青分子构型演化的影响规律，揭示调控机制，实现前驱体分子向理想硬碳结构的定向转化，重点优化钠离子存储位点（吸附、插层、填充），厘清煤沥青原料组成、碳材料微观结构、表界面特性与电化学性能间的关联机制，开发低成本、高性能的煤沥青基硬碳材料，突破储钠容量低、动力学缓慢等技术瓶颈；开展煤沥青组分调控技术研究，并探索煤沥青基硬碳材料的规模制备技术，建成吨级煤沥青制硬碳成套示范装置，完成工程验证。

二、核心技术指标

粒径分布（D50）： $\leq 8\ \mu\text{m}$ ；比表面积： $\leq 6\text{m}^2/\text{g}$ ；振实密度： $\geq 0.6\text{g}/\text{cm}^3$ ；灰分含量： $\leq 0.8\%$ ；水分含量： $\leq 0.05\%$ ；比容量： $\geq 320\text{mAh}/\text{g}$ ；首次库伦效率（首效）： $\geq 89\%$ ；循环寿命： >2000 次（容量保持率 $\geq 80\%$ ）。

方向九：烟道气 CO₂ 资源化利用制备高纯甲酸的关键技术研发

一、主要研究内容

探究工业烟道气的不同组分及其对电催化 CO₂ 还原制备甲酸的影响机制；研究工业烟道气 CO₂ 富集-转化策略对电催化二氧化碳还原制备甲酸的影响机制。探究 Bi_xMy 合金催化剂的可控合成方法；明确合金催化剂活性位点的构筑策略，利用水热法、退

火法、磁控溅射等手段探索切实可行的催化剂制备以及结构调控策略。设计用于室温电催化烟道气 CO_2 还原制备高纯甲酸固态槽及配套装置，完成公斤级电催化低浓度 CO_2 还原制备高纯甲酸工艺流程设计与测线装置，评价 BixMy 合金催化剂的甲酸的纯度、选择性、电流密度以及使用寿命。

二、核心技术指标

开发用于室温下固态电解槽电催化低浓度 CO_2 RR 制备高纯甲酸工艺的 BixMy ($\text{M}=\text{Sn}, \text{In}, \text{Cu}$) 合金催化剂，实现以下指标：产物甲酸的选择性大于 95%；产物甲酸电流密度超过 $200 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ；甲酸的纯度超过 99%；BixMy ($\text{M}=\text{Sn}, \text{In}, \text{Cu}$) 合金催化剂使用寿命超过 100 天；搭建一套公斤级电催化烟道气 CO_2 还原制备高纯甲酸测线工艺集成。

方向十：太阳能辅助烟气二氧化碳与灰氢制高附加值 C1 燃料关键技术研发

一、主要研究内容

开发适用于 CO_2 与灰氢协同转化的多功能光热催化剂，兼顾光吸收、热转化及产物选择性调控能力；研究光热电子与热振动协同活化 CO_2 的机制，揭示关键中间体的演化路径与选择性调控规律；开发适用于工业场景的连续流光热催化反应装置。针对烟气复杂气氛下 CO_2 难捕集的问题，开发对 CO_2 具有高容量和高选择性的固体吸附剂；探究焦炉煤气为氢气来源并耦合烟气中捕获

的大量 CO_2 ，经反应生成高附加值燃料的催化机理及复杂气氛条件下的二氧化碳加氢过程详细的催化作用机制，实现催化剂逐级放大并开展公斤级试验。

二、核心技术指标

开发低成本烟气 CO_2 捕集工艺， CO_2 脱附浓度 $\geq 95\%$ ，系统能效提升 25%；完成 CO_2 加氢光热催化剂公斤级制备，实现 500°C 下 CO_2 转化率 $\geq 85\%$ ，C1 产物选择性 $\geq 90\%$ ，催化剂寿命 ≥ 50 小时（连续运行）；研发一体化 CO_2 光热催化转化设备 1 套，实现光能利用率 $> 10\%$ 。

方向十一：新能源宽体车跨平台自主化电控技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）研制基于国产车规芯片的新能源宽体车域控制硬件平台，集成高压驱动接口与多通道通信模块，具备完善的电磁兼容、高防护等级、高环境适应性。（2）建立新能源宽体车能量-热管理跨域一体式电控策略，提出基于深度强化学习的电控策略参数在线优化算法，开展电控系统的软硬件开展全链条测试。（3）构建覆盖纯电、增程、混动等新能源宽体车跨平台电控通用集成国产化自主开发工具链，提出迁移学习赋能的电控参数自适应配置与动态拓扑重构技术，实现异构车型跨平台电控策略快速适配。

二、核心技术指标

(1) 整车电控平台在 -40°C 至 85°C 范围内正常工作，IP6K7防护等级，大电流注入（BCI）抗扰度测试符合功能状态等级A。

(2) 在新能源宽体车完成实车测试，连续陡坡制动能量回收效率 $\geq 85\%$ ，动力系统温控精度 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ，综合能耗经济性相较于燃油车提升20%，控制系统平均无故障时间优于2000h。(3) 开发工具链标定软件及硬件调试设备100%国产化替代，支持纯电、增程、混动等不少于3种新能源宽体车电控策略开发，支持至少4路CAN/CANFD/LIN总线接口。

方向十二：多模态数据融合的掘进成套装备远程运维技术攻关和应用示范

一、主要内容

(1) 研究掘进装备多模态多工况数据集的构建。系统性清洗标注掘进装备在多种工况下的传感器数据、日志、视频、语音等多源异构数据，构建高质量结构化数据集。

(2) 研究多机设备文本日志、传感器数据、视频监控流、语音指令等的多源异构跨模态数据融合方法。实现基于任务的自适应信息互补与联合理解。

(3) 研究掘进装备知识图谱和运维知识库。构建并持续更新涵盖设备本体、故障模式、维修工艺的结构化知识图谱与运维知识库。

(4) 研究分布式处理机制的边云协同架构。设计边缘端实

时轻量处理与云端深度分析协同的分布式架构。

(5) 研究掘进装备多模态人机交互与智能分析可视化运维平台。集成融合数据与智能分析结果，提供多模态交互、智能诊断的可视化运维平台。

二、核心技术指标

(1) 整合历史维修记录与专家经验，形成覆盖 80%以上掘进成套装备常见故障诊断知识库。

(2) 通过深度学习模型，识别故障定位准确率提升至 90%，设备维护效率提升 20%以上。

(3) 掘进工作面设备接入数量不小于 4 台，多模态数据类别不小于 4 种。

(4) 通过多模态数据融合与边云协同决策，维护平台实时数据处理延迟小于 2s。

(5) 知识产权：申请受理发明专利 10 项，申请标准 1 项，取得软件著作权 5 项。

方向十三：综采装备群虚实共生智能决策系统技术攻关与应用示范

一、主要研究内容

(1) 煤层-综采装备群协同运行的动态建模与仿真方法。研究“装备位姿-煤层形态”反演与更新验证策略，实现煤层参数与装备状态的动态映射和实时更新。(2) 综采装备群多智能体

协同决策与节拍优化方法。基于规划截割理念，在数字域内实现5-10刀装备群“初末-过程-动作”的超前预演与迭代优化，形成最优控制节拍。（3）综采装备群虚实共生自适应调控方法。研究最优节拍“反馈-动态优化”机制，实现以虚控实，同步优化装备群控制参数，实现“识别-调控-演化”的全流程自适应优化。（4）将以上关键技术集成为具有完整“感知-决策-控制”功能的虚实共生智能决策系统，形成落地可复制、易推广、有产出的智能综采运行示范工程。

二、核心技术指标

研发一套完整的虚实共生智能决策系统，装备群与煤层整体态势动态映射精度 $\geq 80\%$ ，基于多智能体协同决策生成的最优控制节拍精度 $\geq 75\%$ ，整体“感知-决策-控制”虚实融合调控响应时间 ≤ 1 秒；建立1项示范工程，整体装备群协同运行的人工干预率 $\leq 15\%$ ；特别针对液压支架推移机构窜动量进行实时分析补偿，确保综采装备在连续推进5-10刀范围内，维持 $\pm 50\text{mm}$ 的高标准直线度控制效果，申请3项发明专利，登记4项软件著作权，形成2项团体标准。

方向十四：基于图谱异质模态融合的井下煤矸协同分选技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）针对井下煤矸分选实际工况，获得光谱特征变化规律

与图像特征影响机制，确定适用于井下环境的设备系统参数，分析煤矸最具区分度的特征。基于级联特征融合与权重决策融合方法进行浅层融合。

(2) 研究特征获取方法与模态融合方法对融合模型的耦合作用机制，探究图谱模态有效融合的条件，制定最佳模态融合神经网络模型构建策略。搭建两输入三决策的网络架构，实现端到端训练。

(3) 建立煤矸气吹分选数学模型，研究井下多参数的综合最佳气吹分选性能匹配规律，设计多目标连续分选的可行性判别准则，设计基于遗传算法的任务分配策略与基于强化学习的协同分选模型。

(4) 研制基于图谱异质模态融合的井下煤矸协同分选系统，进行井下应用示范。

二、核心技术指标

(1) 实现 50-300 毫米块煤高速智能化分选，处理能力不低于 200 吨原煤/小时。(2) 能够在井下环境中实现煤矸石识别准确率 95%以上，有效煤炭的回收比例不低于 90%。(3) 传感器包括图像和近红外光谱两种。(4) 执行机构为高压气喷和机械手协同作业，定位精度为 $\pm 1\text{mm}$ ，单位时间内可剔除矸石的最大数量为 200 次/分钟。(5) 研发基于图谱异质模态融合的井下煤矸协同分选系统一套。(6) 建立系统应用示范工作面一个。

方向十五：煤矿支护钢绞线用高性能 82B 钢研发

一、主要内容

1.合金成分优化及高洁净冶炼技术。研究 V、Cr 等微合金元素协同效应，分析工艺参量对夹杂物演变影响，明确夹杂物控制工艺参量，构建成分、工艺、组织间映射关系，优化高洁净冶炼技术，实现成分、夹杂物与基体相协同控制。

2.热力耦合下形性双控技术。研究连铸工艺参量、轧制工艺参量及冷却速率等对显微组织及力学性能的影响，构建“工艺-组织-性能”匹配体系，实现热力耦合下形性协同调控，形成高精度控轧控冷技术。

3.产业化关键制备技术。实验室研究和工业试验相结合，优化冶炼-连铸-热处理-连轧-冷却加工工艺参量，建立可行加工工艺体系，实现 $\Phi 14\text{mm}82\text{B}$ 盘条的稳定批量生产。

二、核心技术指标

高性能 82B 盘条断面收缩率 $\geq 30\%$ ，抗拉强度稳定在 1280–1330MPa，最大伸长率 $\geq 13\%$ ；钢液洁净度控制： $[\text{O}] \leq 20\text{ppm}$ 、 $[\text{S}] \leq 0.010\%$ ；钢坯中心碳偏析指数不超过 1.08；盘条中心偏析等级不大于 1.5 级；轧后盘条中 A、C 类不高于 1.5 级，B 类和 D 类夹杂物不高于 1.0 级；轧后盘条中索氏体化率 $\geq 90\%$ ，珠光体片层间距 150–170nm；钢绞线偏斜拉伸系数 $\leq 27\%$ ，应力腐蚀 $\geq 5.5\text{h}$ ；工业化良品率 $\geq 98\%$ ；锚索支护维护周期 ≥ 3 年。

方向十六：核电高温气冷堆中启堆用高性能石墨研发

一、主要研究内容

1、研究原料焦及沥青的石墨化过程和提纯核石墨的机制。建立稳定的杂质元素去除、石墨纯化、均匀高温温度场构建和调控工艺。

2、研究核石墨的成型、焙烧模式及工艺参数对核石墨材料各向同性的影响及其机制。建立稳定的核石墨成型和焙烧工艺。

3、研究工艺参数对石墨的纯度、孔隙率、杨氏模量、热膨胀系数的影响及其机制。建立稳定的核石墨组织结构调控工艺。

二、核心技术指标

制备出高温气冷堆中启堆用石墨表观密度为大于 1.80 g/cm³, 纯度以碳元素含量进行从测量, 碳元素含量不低于 99.9%; 杨氏模量大于 10.0 GPa, 压缩强度大于 75 MPa, 拉伸强度大于 20 MPa; 常温下导热率大于 150 W/m·K; 热膨胀系数小于 $4.6 \times 10^{-6}/K$; 孔隙率小于 25%; 核石墨棒尺寸满足长度 1000mm, 宽度 300mm, 高度 300mm; 试验生产批量达到 200 吨/年; 核石墨产品具有良好的稳定性, 在使用阶段不发生变形和开裂。

方向十七：基于弱粘性煤配伍制备冶金焦工艺中的复合熔结新材料开发

一、主要研究内容

1.复合熔结新材料组分设计与构效关系研究。开发适配于弱

粘煤冶金的复合熔结新材料，优化弱粘煤配伍过程中配比、成型条件与焦炭指标等参数的匹配性与适应性。

2.复合熔结新材料制备与成型工艺优化。形成弱粘性粉煤复合熔结新材料成型工艺。研究熔融成型关键工艺参数对焦炭质量的影响规律，确立最佳工艺窗口。

3.弱粘性粉煤与复合熔结新材料协同成焦机理研究。研究复合熔结新材料与弱粘性煤配伍的成焦机制及热转化行为对反应后强度等关键指标的调控作用。

4.基于分质分级梯级利用制备冶金焦工艺集成与验证。集成复合熔结新材料与“熔融成型技术”及分质分级装备，构建完整的“弱粘性煤配伍制备冶金焦”工艺路线。系统验证焦炭关键质量指标与焦煤/肥煤替代潜力。

二、核心技术指标

复合熔结新材料为非溶剂油体系下的粘结剂，复合熔结新材料碳含量 $\geq 60\%$ ，硫含量 $\leq 0.7\%$ ；复合熔结新材料可用于成型高温热解制备冶金焦工艺；弱粘煤配入量不低于 35wt%；复合熔结新材料配伍时添加量 $\leq 20\text{wt}\%$ ；焦煤或肥煤用量降低 15%以上，所产固体产品 M40 $\geq 80\%$ ，M10 $\leq 10.5\%$ ，反应性 CRI $\leq 35\%$ ，反应后强度 CSR $\geq 55\%$ ，所产油品为轻质油。

方向十八：赤泥-煤矸石基多孔炭灰复合材料制备技术及工程示范

一、主要研究内容

研究赤泥-煤矸石复合粉料的成型机制及工艺，形成多孔复合颗粒成型技术；研究限域条件下复合颗粒热解及烧结动力学机理，形成多孔炭灰复合材料孔道调控技术；研究多孔炭灰复合材料的吸附机制及环境安全性，实现多孔炭灰复合材料的高效利用；研究规模制备中的工艺匹配性及装备适应性，完成万吨级赤泥-煤矸石炭灰多孔复合材料工程示范。

二、核心技术指标

形成赤泥基炭灰复合多孔材料技术，热解温度 $\leq 1100^{\circ}\text{C}$ 、原料中赤泥占比 $\geq 25\%$ 、煤矸石占比 $\geq 40\%$ ；炭灰复合材料开口孔隙率 $\geq 10\%$ ，比表面积大于 $2\text{m}^2/\text{g}$ ，筒压强度 $\geq 2\text{MPa}$ ；建成万吨级赤泥-煤矸石间壁式共热解制备炭灰复合材料示范工程。

方向十九：基于太空芦竹的矿区生态治理与生物质利用技术

一、主要研究内容

（一）太空芦竹在山西矿区种植生态适应性研究。开展太空芦竹在矿区贫瘠土地、矸石山种植关键管理技术研究，制定高效种植管理技术规范。

（二）太空芦竹对生态改良的效果监测评价研究。搭建“天地一体化”生态环境监测网络平台，开展太空芦竹种植对土壤改良效果、 CO_2 吸收能力的智能化评价评测研究。

（三）太空芦竹协同矿区固废处置与生物质燃料制备研究。

研究制定针对不同燃烧转化需求的太空芦竹燃料配方与技术规范，协同处置矿区低热值固废（煤矸石、煤泥）。

（四）太空芦竹生物质燃料矿区清洁低碳供热的应用研究。
创建矿区生产建设、矿区所需热能相结合的绿色低碳循环经济模式，形成矿区生态修复植物能源化利用系统方案。

二、核心技术指标

（一）矸石山种植首年田间自然含水状态亩产量 ≥ 1 吨/亩，田间成活率 $\geq 90\%$ ，所产芦竹（干基）热值 ≥ 4000 大卡/千克；

（二）形成山西矿区、矸石山太空芦竹规模化种植管理技术规范1套；

（三）形成“天地一体化”生态环境监测平台1套，可监控生长环境中水质、空气、土壤容重、有机质、氮磷钾等土壤养分等生态改良数据；

（四）形成煤矸石制土、制肥制备工艺1份；

（五）试种面积 ≥ 100 亩；种植密度 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，实现低成本矿区矸石山生态复绿；

（六）形成煤矸石与生物质掺烧研究报告及配方1份；

（七）形成生物质制可燃气矿区供热技术工艺1份。

方向二十：脱硫废水萃取除氯近零排放关键技术研究

一、主要研究内容

解析有机萃取高效除氯作用机理。研究萃取剂官能团与 Cl^-

的配位络合机制，明确萃取反应动力学参数。开发经济有效可靠的萃取剂体系。筛选季铵盐类、冠醚类等候选材料，开发高选择性、易再生特性的萃取剂。研究影响萃取除氯效果的主要因素。分析酸化方式、悬浮物、共存离子等对萃取过程的影响机制，优化工艺技术路线。研究萃取除氯对脱硫系统运行的影响。模拟脱硫塔反应过程，研究萃取剂残留对脱硫浆液起泡、浆液密度和脱硫效率的影响，研究氯离子降低对脱硫效率、石膏结晶的影响，完善工艺指标。重塑脱硫废水萃取除氯近零排放工艺。在实验室研究基础上，搭建处理规模 16t/h 的中试装置，验证工程技术可行性和经济合理性，构建脱硫废水萃取除氯近零排放工艺包并开发成套设备。

二、核心技术指标

脱硫废水氯离子萃取效率 $\geq 97\%$ ；氯离子萃取容量 $\geq 48\text{gCl}^-/(\text{kg 萃取剂})$ ；每处理 100 吨水萃取剂损耗不超过 20kg；开发 1 套脱硫废水萃取除氯近零排放工艺包；搭建 1 套脱硫废水萃取除氯近零排放中试平台；形成 1 份《硫废水萃取除氯近零排放关键技术研究报告》；获取 5 项发明专利；脱硫废水萃取除氯中试装置的建设成本不超过 1000 万元，综合运行成本不超过 25 元/吨水，占地面积不超过 80m^2 。

方向二十一：煤矿瓦斯发电机组使用的高空速高温脱硝催化剂关键技术及应用示范

一、主要内容

通过模拟高湿和高温含硫瓦斯发电烟气环境,研究揭示高温脱硝催化剂性能失活的机制。开展抗高湿、耐硫和抗高温条件下Cu-WO₃/ZSM-SSZ 催化剂的设计、制备及高温脱硝催化剂能和稳定性评价。催化剂成型研究,考察成型过程对催化活性和稳定性的影响,获得性能优良的成型催化剂样品。中试研究,开展催化剂侧线中试研究,侧线规模 10000m³/h,实地验证成型催化剂工业化运行参数和稳定性考察。

二、核心技术指标

催化剂 NO_x 脱除率 $\geq 98.3\%$;抗硫浓度 30-50mg/Nm³,耐受湿度 $\geq 15\%$;催化剂稳定运行条件:运行温度 480-550℃,催化剂运行空速 $\geq 15000\text{h}^{-1}$ 。

产业升级类

方向二十二：时速 400 公里动车组轮轴制造技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 服役行为与损伤机制研究：解析时速 400 公里轮轨动态载荷特征，建立损伤预测模型，明确材料失效机理。

(2) 材料与工艺优化：通过微合金化设计、夹杂物改性等提升材料纯净度，优化成型/热处理工艺，开发高强高韧轮轴产品。阐明微合金元素多组元耦合作用对材料的协同强韧化机理，揭示晶粒细化、析出相分布与力学性能之间协同调控的规律。

(3) 性能测试及可靠性评价：测试新产品是否能够满足时速 400 公里速度工况使用需求，完善速 400 公里速度 CR450 动车组轮轴服役可靠性评价方法。

二、核心技术指标

试制出时速 400 公里 CR450 动车组轮轴产品实物，制定技术标准 1-2 项，产品性能指标达到以下要求。

车轮：氧含量 $\leq 12\text{ppm}$ ，氢含量 $\leq 1.2\text{ppm}$ ，屈服强度 $\geq 620\text{MPa}$ ，断面硬度 $\geq 270\text{HB}$ ，断裂韧性 $\geq 75\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ ，拉压疲劳极限 $\geq 400\text{MPa}$ ，辐板最大径向应力为 $\pm 265\text{MPa}$ 的试验应力下经过 107 次循环后车轮不产生裂纹，实现 $\Phi 0.5\text{mm}$ 缺陷检测。

车轴：抗拉强度 680-850MPa， -40°C 冲击功 $\geq 100\text{J}$ ，通过 108

次超高周疲劳测试，表面压应力差 $\leq 20\text{MPa}$ ，实现 $\Phi 0.7\text{mm}$ 缺陷检测。

方向二十三：大吨位工程机械用智能化液压多路阀技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

研发的多路阀性能达到国际一流水平，匹配智能化挖掘机，实现高端化、绿色化、智能化。

(1) 多路阀结构设计关键技术。阀芯节流槽结构研究，进行多相流仿真，探究多种混合节流阀口的影响机制，优化节流槽结构，提升调速性能；阀芯与阀孔的配合间隙、泄漏量、润滑和变形卡紧影响机理研究；分析不同配合间隙对应的泄漏、压力分布和速度分布，研究配合间隙、均压槽对阀芯的影响；多路阀流道优化研究，分析流体流动过程中压力和速度变化，对关键参数进行优化求解，获取最优流道参数组合；

(2) 多路阀智能化研究。依据压力、流量、阀芯位移等信号，对多路阀实现在线监测和远程智能控制；

(3) 多路阀样阀试制、试验和示范应用。对样阀进行型式试验和出厂试验，如：控制特性、微动特性等。

二、核心技术指标

(1) 37t 多路阀，额定流量为 450L/min，额定压力 34.3MPa；50t 多路阀，额定流量 550L/min，额定压力 34.3MPa；75t 多路阀，

额定流量为 550L/min，额定压力 34.3MPa。

(2) 多路阀阀口压降小于 2MPa；

(3) 多路阀流量控制误差小于 5%；

(4) 形成智能化多路阀样件 3 台，在挖掘机上装机应用。

方向二十四：高功率重型柴油机高压共轨泵技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 研究高压密封结构预应力变形、内外压平衡及密封性能演化规律，优化受力结构、密封面和预紧力分布的设计，解决高压工况下密封面渗漏问题。(2) 构建流体-结构-热多场耦合模型，开展高压共轨泵零部件及摩擦副的强度分析与疲劳寿命评估。(3) 开展材料成型与热处理工艺研究，融合低应力精密磨削、研磨与超精密珩磨工艺，构建基于数字孪生的工艺模型，解决柱塞偶件的尺寸精度与表面质量控制难题。(4) 研究滑动运动副的磨损行为和界面相容性，优化 DLC 涂层结构设计与沉积工艺，提升涂层与基材及对偶材料之间的协同性能。(5) 构建压力不足、阀门泄漏等典型故障库，融合多源信号时频域特征利用迁移学习实现泵状态智能监测与故障识别。

二、核心技术指标

(1) 供油压力 $\geq 220\text{MPa}$ 。(2) 高压共轨泵完成 500 小时极限负荷台架试验，进油阀、出油阀、出油阀座和集油板无裂纹或

失效。（3）柱塞精密加工外圆柱面的圆度 $\leq 0.6\text{ }\mu\text{m}$ ，直线度 $\leq 0.6\text{ }\mu\text{m}$ ，柱塞和柱塞套配合精度误差 $\leq 2\text{ }\mu\text{m}$ 。（4）柱塞 DLC 涂层表面粗糙度 $\leq 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。（5）智能监测与故障诊断系统对高压共轨泵的压力不足、阀门泄漏等故障识别准确率 $\geq 92\%$ 。（6）研制高压共轨泵样机，完成工程应用示范 1 项。

方向二十五：PCB 微型发电机技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

本项目主要围绕 PCB 微型发电机的高功率密度、高可靠性和低成本制造，开展以下四方面研究。

1.新型磁材料选型：针对微型发电机对磁性能的高要求，开展新型高导磁、低损耗磁性材料的选型，优化磁性、导电、绝缘材料，提升功率密度、热管理、电磁兼容性（EMC）与微型化需求。

2.多层 PCB 电路设计：基于高频、高密度的能量转换需求，开展多层 PCB 电路的优化与布局设计，提升能量转换效率与电磁兼容性。通过优化布线策略、信号完整性与抗干扰设计，增强电路的稳定性与可靠性。

3.结构优化设计：在满足机械强度与磁路效率的前提，优化整体结构设计，提升系统在高功率运行下的散热能力与长期可靠性。

4.加工工艺优化：针对微型发电机的精密制造需求，优化关

键工艺流程,提升制造精度与良率。并建立完善的质量控制体系,实现高效、低成本、高质量制造。

二、核心技术指标

PCB 微型发电机的核心技术指标参数有外形尺寸、重量、最高转速、转换效率、输出功率及输出电压等。

- 1.样机体积：直径 $\leq 65\text{mm}$ ，长度 $\leq 150\text{mm}$ ，确保产品小型化；
- 2.重量： $\leq 75\text{g}$ ；
- 3.最高转速：最高转速 $\leq 2500\text{r/min}$ ；
- 4.输出功率：输出平均功率 2W，满足多种应用场景需求；
- 5.输出电压：输出电压 $\leq 5\text{V}$ ，保证供电稳定性；
- 6.输出电压精度： $\pm 10\%$ 的精度；
- 7.工作温度： $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ；
- 8.电磁兼容：满足国标电磁兼容要求。

方向二十六：基于电磁波感知的远程拾音传感器技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

针对复杂声环境和远程多目标声源感测的重大需求和难题,开展基于电磁波感知的远程拾音传感器技术研究。(1) 研究声源体的振动响应特征与差异性表征方法,发展电磁波全场声源的自适应选择与定位标识方法,建立基于电磁波全场微振动感知的空间声源辨识机理与定位方法,实现多目标声源的辨识和准确定

位；（2）研究电磁波全场超微幅声振高精度测量与区域拾音技术，实现对目标区域声音信息的非接触式获取，发展电磁波区域拾音与高信噪比宽频声信号重构技术与方法；（3）研制基于电磁波感知的远程拾音传感器及系统样机，进行全场声源辨识与定位方法的测试验证与可靠性评估，完成区域声信号重构方法的测试验证与性能评价，并形成应用示范。

二、核心技术指标

（1）在复杂声学环境中，实现全场多声源分辨定位，距离分辨率优于 10 cm，角度分辨率优于 1° ，定位范围覆盖 $20\text{ m} \times 10\text{ m} \times 1\text{ m}$ 视场。

（2）基于电磁波全场微振动感知，辨识不同类型声源与非声源准确率达到 95%以上。

（3）实现区域拾音，声信号信噪比优于 20 dB，频响范围覆盖 10 Hz 至 400Hz。

（4）在混响、背景噪声或多源干扰等复杂场景下，声源定位与声信号重构的误差控制在 $\pm 5\%$ 以内，系统运行稳定，相比麦克风抗干扰能力提升 30%以上。

方向二十七：面向大型复杂厚板构件的机器人焊接技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

针对大型复杂厚板构件焊接机器人应用中的根部焊道合格

率低(<60%)、多层多道焊侧壁熔合差、轨迹规划效率低等难题，开展以下研究：

机器人宽容差焊接工艺：研究优化焊接参数组合（如加大熔敷量/特定摆动模式），实现对设计范围内装配误差的兼容，在装配间隙宽阈值情况下，提升根部焊道成型质量，适应平焊、横焊、立焊等多种位姿。

拟态多层多道焊技术：开发拟人化电弧控制策略和动态纠偏算法，优化厚板（40-100mm）多层多道焊的侧壁熔合与层间质量。

免示教轨迹规划系统：基于多传感器融合和局部特征识别，研发狭小空间自动避障及快速轨迹生成算法，实现复杂多腔体构件的智能焊接路径规划。

二、核心技术指标

（1）根部焊道一次合格率 $\geq 95\%$ ，满足碳钢、高强钢等4类材料及3种焊接位姿要求。

（2）厚板多层多道焊侧壁熔合率 $\geq 99.5\%$ ，且单道焊缝长度 $\geq 10\text{m}$ 。

（3）复杂构件焊接轨迹规划速度 $\geq 2\text{m/min}$ ，路径规划准确率 $\geq 80\%$ （即需人工调整焊接顺序量不超过20%）；适应 $800\text{mm} \times 400\text{mm} \times 300\text{mm}$ 腔体空间。

（4）授权实用新型专利1项、公开发明专利1项；授权软著不少于2项，发布团体标准不少于1项。

方向二十八：神经管畸形全生命周期智能防控平台构建技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 多源异构数据标准化采集技术研发。构建涵盖产前、新生儿期、儿童及成年期的临床信息系统，标准化采集影像（超声/CT/MRI）、神经功能指标、基因组及环境因素数据，实现全周期数据自动化提取。

(2) 全阶段影像与功能智能分析技术：基于深度学习开发跨年龄段模型，精准分割识别颅脑、脊柱脊髓结构，自动分析神经功能影像特征与功能障碍征象，量化评估 NTDs 动态进展。

(3) 多模态数据融合大模型技术：基于国产高性能计算集群，设计可靠的全周期融合框架，整合影像特征、神经功能指标、临床变量等数据，构建覆盖各阶段的风险预警与功能预后模型。

(4) 全流程智能预警平台构建：适配基层超声设备及移动端 APP，筛查结果实时反馈，在省内各地市试点医院进行推广建立“筛查—预警—诊断—干预—随访”闭环管理流程。

二、核心技术指标

(1) 数据采集标准化：超声影像质控合格率 $\geq 95\%$ ；多源数据（影像/血清/基因/环境/病史）自动化提取准确率 $\geq 95\%$ 。

(2) 影像智能分析：

颅脑/脊柱结构分割精度 Dice 系数 ≥ 0.9 ；NTDs 细微征象识别

灵敏度 $\geq 90\%$ 。

(3) 多模态大模型性能（基于国产设备）：

多模态特征交互：多模态协同推理性能较单模态提升 $\geq 10\%$ 。

多模态诊断性能：针对脊柱裂等病种召回率 $\geq 85\%$ ，准确率 $\geq 90\%$ ，像素准确度（PA） $\geq 87\%$ ，平均交并比（MIoU） $\geq 85\%$ 。

多模态大模型参数：模型参数量 $\geq 72\text{B}$ ，平均生成吞吐量 $\geq 12\text{tokens/s}$

(4) 平台应用效能及验证：

闭环流程覆盖 95% 高危病例，NTDs 漏诊率降低 $\geq 25\%$ （以项目实施前后各 1 年的同期 NTDs 病例数据为对比）。

方向二十九：小批量、多品种复杂精密工业产品高精度智能表面质检技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 工业缺陷数据生成：研究基于人工智能及大模型技术的缺陷数据生成方法，突破传统方法真实性低、多样性不足的局限，构建缺陷合成数据集。

(2) 高精度表面缺陷检测算法：研发多尺度特征融合、弱监督学习及噪声抑制技术等算法，提升对微米级缺陷的检测敏感性与鲁棒性。

(3) 多类型柔性检测技术：研究通用预训练检测模型，结合特征解耦、元学习与迁移学习等技术，建立动态可扩展、可柔

性适配检测技术。

(4) 轻量化实施方法：研究动态剪枝、知识蒸馏、量化感知训练等模型压缩、加速技术，构建轻量化检测模型。

(5) 高精智能检测边缘系统：研发 FPGA 等硬件适配技术，构建集成智能检测模型的边缘系统。

(6) 数据采集系统：进行设备选型，研制一套多视角多光源工业图像采集系统。

二、核心技术指标

(1) 生成模型指标：支持 ≥ 30 类产品、 ≥ 150 类缺陷的图像生成，生成图像真实性 FID < 30 。

(2) 检测模型指标：可识别 ≥ 30 种产品类型，漏检率 $< 0.1\%$ ，误检率 $< 1\%$ ，平均精度均值 mAP $> 93\%$ 。

(3) 轻量化指标：模型参数量 $\leq 2\text{MB}$ ，内存占用 $< 100\text{MB}$ ，边缘端推理速度 $\geq 30\text{FPS}$ 。

(4) 经济指标：设备端每小时检测量 ≥ 2000 件，开箱合格率 99.9%，人工成本降低 70%以上。

(5) 提交物指标：一套智能质检系统，一套多视角多光源工业图像采集系统，一套集成智能检测模型的片上系统，一套质检设备。

方向三十：融合北斗与网络授时的航空数据链敏捷性测试技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 融合北斗、IRIG-B 和 IEEE1588 协议，研究标准时间基准源与高精度网络授时融合机制，为多源异构数据链测试提供高一致性时间保障。

(2) 研究多源异构数据链敏捷采集与链路时延追踪技术，建立数据采集、编码、同步管理与时延标定一体化机制，提升数据链在复杂飞行条件下的一致性控制能力，为链路级时延性能评估与同步一致性优化提供基础支撑。

(3) 设计链路同步性能动态监测与评估机制，结合规则驱动的辅助识别与智能分析方法，评估航电设备和链路时延，定位时延超限设备，为航电系统综合优化提供技术支撑。

(4) 完成敏捷测试系统信号源与接收分析设备工程样机开发，开展典型飞行器航电敏捷测试系统部署与应用示范。

二、核心技术指标

(1) 系统级同步精度： $\leq \pm 50 \text{ ns/跳}$ ；

(2) 网络授时精度： $\leq \pm 60 \text{ ns/跳}$ ；

(3) 参比网络时延： $\leq 5 \mu\text{s/跳}$ ；

(4) 参比网络时延测量精度： $\leq 1 \mu\text{s}$ ；

(5) 参比网络带宽： $\geq 1\text{Gbps}$ ；

(6) 信号源协议种类： ≥ 5 种（ARINC429、1553B、以太网、RS-422/ RS-485/RS-232、视频等）；

(7) 在代表性企业形成推广示范项目 1 项以上；

(8) 形成相关标准 1 项以上。

方向三十一：石墨烯 MEMS 高温加速度传感器研发与应用

一、主要研究内容

1. 加速度传感器设计与制造。完成传感器芯片结构设计及优化，构建适用于 0-1200g 测量范围的石墨烯敏感结构。攻克石墨烯在微纳尺度下的介质层辅助掩膜图形化与超洁净转移难题，实现高精度可控制造。同步设计信号处理和放大电路模块，提升抗干扰能力与动态响应，确保传感器频响 $\geq 15\text{kHz}$ 。封装方面，研究耐高温材料和结构，开发具备优良气密性、热稳定性与机械保护能力的封装方案，实现耐温范围 25-500℃、灵敏度 $\leq 5\text{mV/g}$ 、分辨率 $\leq 10\text{g}$ 。

2. 加速度传感器应用开发。围绕航空航天等极端工况应用，开展典型场景需求调研，聚焦发动机结构振动监测与热区响应等关键场景，明确高温、高频、高加速度条件下的性能指标。设计适用于航发环境的安装部署方案；针对敏感单元界面、石墨烯-电极接触、封装热应力裂纹等失效模式，结合高温热贮存实验（寿命 ≥ 1000 小时、热灵敏度漂移 $\leq \pm 10\%$ ），建立性能退化路径与微观失效机制模型。通过应力、热扩散与微结构分析，提出结构优化和材料改进方案。

3. 加速度传感器工程化和产业化。建立贯穿设计、开发、试

制全过程质量管理体系，制定原材料、工艺参数、性能测试和一致性评估等标准化流程，保障产品可靠性与一致性。开展石墨烯加速度传感器批量试制，形成稳定工艺窗口和良品率控制策略，制定系列化产品标准和技术规范，构建标准与评估体系，支撑产业化推广，最终建成1条小试生产线。

二、核心技术指标

耐温范围 25-500℃；测量范围 0-1200g；频响 $\geq 15\text{kHz}$ ；灵敏度 $\leq 5\text{mV/g}$ ；寿命 ≥ 1000 小时；分辨率 $\leq 10\text{g}$ ；热灵敏度漂移 $\leq \pm 10\%$ 。

方向三十二：SiC 基半导体核电池研发与应用

一、主要研究内容

1.高性能 SiC 换能器件的设计与制备。基于蒙特卡洛方法开展氚源在 SiC 器件内输运仿真模拟,设计高理论能量转换效率 SiC 换能器件；采用低温欧姆接触、沟道电场调节等创新工艺实现小批量 SiC 换能器件制备。

2.高活度氚同位素源的耦合加载。通过磁控溅射耦合低压吸氚系统，调节氚加载温度、氚气浓度等核心工艺参数，完成 SiC 换能器件上的高活度氚源加载。

3.高性能辐射防护集成封装与应用验证。通过引线键合、金属外壳内外双封、灌注封装等工艺，实现低损耗、高辐射防护安全的集成封装，制备数量不少于 3 个 SiC 核电池试验样机；通过第三方测试，评估其辐射安全性、输出性能与长期工作稳定性，

确保试验样机完成核心技术指标要求，并耦合 MEMS 传感器进行供能应用验证。

二、核心技术指标

输出功率密度 $\geq 85 \text{ nW/cm}^3$ （国际先进 40 nW/cm^3 ）；器件能量转换效率 $\geq 12\%$ （国际先进 3% ）；长期稳定工作 ≥ 10 年（国际先进 10 年；电子束等效加载加速老化试验中，等效工作 10 年内，器件开路电压变化幅值 $\leq 30\%$ ）。

方向三十三：基于电化学腐蚀的薄膜型深紫外 LED 关键技术攻关

一、主要内容

1.具有电化学腐蚀牺牲层的深紫外 LED 的结构设计与材料外延生长研究。创新设计超晶格与体复合牺牲层，掌握应力调制与缺陷抑制协同作用途径，改善晶体质量。

2.低 Al 组分 AlGaIn 牺牲层的选择性电化学腐蚀工艺研究。探索选择性电化学腐蚀及抑制非故意纵向腐蚀的方法，开发深紫外 LED 功能层与衬底的电化学腐蚀无损剥离技术。

3.外延薄膜的转移与器件工艺开发。研究基于热压键合的深紫外 LED 薄膜无损转移技术，探索器件台面、电极设计对薄膜应力和电流路径的调控规律，打通薄膜型芯片制程。

4.薄膜型深紫外 LED 的高效光提取技术研究。研究薄膜型深紫外 LED 的高反射电极制备技术，出光表面修饰技术及液体封装

技术，获得高性能的薄膜型深紫外 LED 器件。

二、核心技术指标

设计电化学腐蚀牺牲层结构，实现其上组分不低于 60% 的 n-AlGaIn 材料的 (002) 面 XRC 半高宽 < 300 弧秒，(102) 面 XRC 半高宽 < 400 弧秒；深紫外 LED 多量子阱结构的内量子效率大于 85%；研制的深紫外 LED 薄膜芯片发光波长位于 270 nm–280 nm 之间；实现 2 英寸深紫外 LED 外延片薄膜剥离且无氧化铝残留；剥离后的深紫外 LED 薄膜芯片在 -5 V 电压下，漏电小于 10^{-7} A；封装后的深紫外 LED 薄膜芯片灯珠电光转换效率 $> 13\%$ ，光输出功率大于 110 mW；1000 小时光衰小于 30%；深紫外 LED 薄膜芯片的产品良率高于 20%，产能超过 1 万颗。

方向三十四：LNG 运输船/陆地罐专用耐低温不锈钢关键技术研究

一、主要研究内容

1. 高成型性、超低温性能薄膜围护系统合金体系设计。在 304 奥氏体不锈钢成分体系内，研究 Ni、N、Cu 等关键元素对奥氏体组织及稳定性、低温性能、材料抗深冲成型性等影响规律以及低温强韧性匹配控制，提升材料综合性能。

2. 薄板超高平整度、尺寸精度和表面质量控制。研究高洁净度冶炼及夹杂物控制、高表面质量连铸、多工序联动控制板形、高精度冷变形加工、冷板双面覆膜加工工艺等技术，满足薄板高

质量要求。

3.薄板材料焊接、成形应用技术。研究复杂成形过程数值模拟、化学成分对成形性能的影响、微观组织对成形性的影响、成形缺陷预警、焊接工艺对焊缝质量的影响、焊接接头组织性能研究，根据实际使用环境进行焊接评价，保障下游对材料的顺利加工。

二、核心技术指标

屈服强度 $R_{p0.2}$: 220–280MPa, 抗拉强度 R_m : 500–700MPa, 延伸率 $A \geq 50\%$, 表面硬度: 120 ~ 150 HV, 焊接接头抗拉强度 $R_m \geq 500\text{MPa}$; 铁素体和马氏体组织含量 $\leq 1\%$; -163°C 下抗拉强度 $R_m \geq 1100\text{MPa}$ 、伸长率 $A \geq 30\%$; 平整度 $< 0.5\text{mm}/300\text{mm}$ 。

方向三十五：纳米晶种变质剂高效强化镁合金研发及产业化应用

一、主要研究内容

1.纳米晶种镁合金变质剂开发。探索制备工艺-纳米粒子含量-纳米粒子分布的关联规律，开发多类型高含量纳米晶种镁合金变质剂，形成其可控合成、分散、复合一体化制备技术。

2.纳米晶种变质剂强化镁合金的组织与力学性能调控。研究纳米晶种变质剂作用下镁合金的凝固行为,建立镁合金纳米晶种变质剂-铸造工艺-晶粒细化-力学性能间的关系，开发出高性能纳米晶种变质镁合金。

3.纳米晶种变质剂强化镁合金的产业化应用。制备大规格变质镁合金铸锭，分析其铸造、成形性能，形成变质镁合金的铸造-成形一体化调控技术，推动其在典型铸件、型材、板材中的应用。

二、核心技术指标

开发出不少于 2 类新型镁合金变质剂，新型纳米晶种添加量不高于 0.5 wt.%, AZ 系合金铸件晶粒细化至不大于 $80\text{ }\mu\text{m}$, Mg-Zn 系合金铸件晶粒细化至不大于 $50\text{ }\mu\text{m}$; 变质镁合金铸锭室温抗拉强度不低于 240MPa, 屈服强度不低于 120MPa, 伸长率不低于 4%; 变质镁合金成形件室温抗拉强度不低于 350MPa, 屈服强度不低于 240MPa, 伸长率不低于 10%; 规模化生产重量不低于 1 吨、直径不小于 $\Phi 380\text{mm}$ 变质镁合金铸棒; 年产高品质变质镁合金铸件、型材板材不低于 200 吨。

方向三十六：电弧增材用 600MPa 级铝合金线材研发及应用示范

一、主要研究内容

1.合金化学成分设计。以 7 系铝合金为基础，采用材料 AI 设计、相图计算、热力学计算等新方法，研究 Zn、Mg、Cu 等主要元素与 Tm、Re 等微量元素在铝合金中的作用机制，建立合金成分与合金性能之间的定量关系，研制出一种新型 600MPa 级铝合金线材。

2.合金熔炼技术研究。研究熔炼温度、时间等参数对合金熔炼质量、成分均匀性和微观组织的影响，研究不同精炼工艺对合金熔体质量的影响，提高合金熔体的纯净度，建立完善的熔炼质量检测体系，实现高质量熔炼与凝固。

3.合金挤压、拉拔、热处理、光亮化处理技术研究。研究挤压工艺参数对丝材塑性变形行为、第二相分布、残余应力状态的调控规律。研究拉拔道次和道次变形量对铝合金线材组织和性能的影响。研究不同热处理工艺参数对丝材内部组织再结晶与动态再结晶的转变机制。研究高精度光亮化处理工艺对丝材表面质量的影响。

4.电弧增材制造技术。研究焊接电流、电压、送线及打印速度、层间温度等参数对熔池稳定性、熔滴过渡行为的影响，提高致密度和尺寸精度，制备合格构件。

二、核心技术指标

线材本体性能指标满足抗拉强度 $\geq 650\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 550\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 7\%$ ；直径 1.2mm ，公差 $\pm 0.04\text{mm}$ ；线材在室温下 $3\% \text{ NaCl}+0.5\% \text{ H}_2\text{O}_2$ 溶液中浸泡 100h 以上不产生应力腐蚀裂纹。电弧增材构件性能指标满足抗拉强度 $\geq 610\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 7\%$ ；构件孔隙率 $\leq 0.5\%$ ；以本体屈服强度的 50% 作为恒载荷，在室温下及 $3\% \text{ NaCl}+0.5\% \text{ H}_2\text{O}_2$ 溶液中浸泡 72h 以上不产生应力腐蚀裂纹。

方向三十七：用于合成 SiC 的高纯石墨粉纯化工艺及装备研发

一、主要研究内容

1.超高温场构建与均匀性控制。通过热场仿真设计，选择合适的加热结构及保温材料，满足热场均匀性需求；针对设备测温环境恶劣，存在粉尘干扰等情况，开发出一套能够满足高温真空状态下抗干扰能力强的测温系统，实现恶劣工况下超高温测控。

2.均匀快速气流场 CFD 模拟。通过 CFD 模拟分析和反复试验，设计高效的气流路径和流量，确保工艺气体可均匀快速到达热场内所有区域，实现设备恒温区内纯化质量的一致性。

3.攻关杂质元素物化纯化法。对不同类的杂质元素，依据其饱和蒸气压设置不同纯化温度、气体流量流速、真空度变化范围等工艺参数并持续测试，验证工艺有效性。

二、核心技术指标

高温纯化装备主要核心技术指标：最高温度 2600℃；温度均匀性 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ；极限真空度 $\leq 0.05\text{Pa}$ ；温度稳定性 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ；最大装料重量 550kg。高纯石墨粉高温纯化工艺主要核心技术指标：工作温度 $\leq 2500^{\circ}\text{C}$ ；石墨粉总灰分 $\leq 1\text{ppmw}$ ；石墨粉 B 元素 $\leq 0.01\text{ppmw}$ ；石墨粉 Al 元素 $\leq 0.01\text{ppmw}$ ；石墨粉 Fe 元素 $\leq 0.01\text{ppmw}$ 。

方向三十八：治疗炎症性肠病靶向长效双特异性抗体药物研发

一、主要研究内容

完成长效型 TL1A 鼠源抗体的分子筛选与人源化改造，获得兼具高亲和力及跨种属结合活性的抗 TL1A 人源化抗体分子；基于此构建长效型抗 TL1A/IL-23p19 双特异性抗体，完成分子筛选并获得成药性优异的先导双抗分子；系统开展该双抗的体内外药效学研究，同步完成工艺开发及中试规模生产；通过系统的临床前安全性评价及稳定性研究，验证其安全性与质量可控性；完成发明专利申请以实现知识产权保护，并基于上述研究数据提交 IND 申请，推动该长效型 TL1A/IL-23p19 双特异性抗体进入临床试验阶段。

二、核心技术指标

治疗炎症性肠病靶向长效双特异性抗体药物临床前研究，申请并获得国家新药临床试验批件。在 200-500L 中试生产规模，抗体表达量不低于 3g/L；双特性抗体错配低于 5%，目标双抗大于 95%；双抗全工艺回收率不低于 70%；完成中试工艺研究和优化，关键生物原料全部实现国产化。

方向三十九：治疗糖尿病肾病国家 I 类新药 LM49 的 Me-better 候选药物研发

一、主要研究内容

针对 LM49 的临床反馈，开展 LM49 Me-better 候选药物的研发，以 LM49 的结构为先导，进行针对性结构优化、设计合成系

列 LM49 衍生物，评价其对高糖损伤的肾小球内皮细胞或肾小管上皮细胞等的保护活性，发现活性更好的 LM49 Me-better 候选药物；开展 LM49 Me-better 药物原料药 100g 以上规模的制备工艺研究；开展 LM49 Me-better 候选药物的药代动力学、急性毒性等成药性及初步安全性评价等研究；开展 LM49 Me-better 候选药物的抗糖尿病肾病（DKD）或其它慢性肾脏病的药效学研究。

二、核心技术指标

设计合成 LM49 衍生物 50 个以上，筛选获得 1 个 LM49 Me-better 候选药物，其对高糖损伤的肾小球内皮细胞或肾小管上皮细胞保护的 EC_{50} 优于 LM49；完成 1 个 LM49 Me-better 药物原料药 100g 规模以上的制备；获得 1 个生物利用度、半数致死量（ LD_{50} ）或最大耐受量（MTD）、药效均优于 LM49 的 Me-better 药物，主要药效学指标尿白蛋白/肌酐比值（ACR）的改善优于 LM49；申请获得发明专利 2-3 项。

方向四十：无创微血管内皮功能损伤早期预警评估系统研发

一、主要研究内容

研发针对微血管内皮功能损伤的系统化无创便携预警评估系统，申报并获得国家二类医疗器械注册证。构建基于人工智能算法的多维度动态评估模型，实现不少于 3 类内皮损伤诱因（如舒张功能障碍、慢性炎症反应和代谢异常）的精准识别与量化分析；研发便携式监测终端，支持阻断、运动和加温等试验诱发条

件，重点攻克运动状态下高精度血流信号采集技术，实现多部位数据同步采集、无线加密传输等功能；同步研发应用软件，支持数据和算法模型协同管理功能。形成具有高灵敏度与高特异性的损伤评估体系，并依托多中心临床验证实现产业化推广应用。

二、核心技术指标

开发一套无创微血管内皮功能损伤预警评估系统,获得国家二类医疗器械注册证，并在 5 家以上医疗机构开展临床应用。对不少于 3 种类型的微血管内皮损伤评估的综合准确率、灵敏度和特异性均 $\geq 90\%$ ；监测终端的数据采样频率不低于 50Hz，设备连续使用时间不少于 3 小时；运动状态下至少 2 个部位（包含足部）血流灌注的同步测量准确率 $\geq 95\%$ ，同步误差 $\leq 10\text{ms}$ ；完成临床验证及前瞻性队列研究，样本量不少于 500 例；获得发明专利 2 项、软件著作权 1 项，制定产品质量标准 1 项。

方向四十一：智能温控、净烟悬空灸机器人的研发与推广应用

一、主要研究内容

针对目前艾灸机器人存在智能点火缺失、温控精度不足和净烟效率低的问题，研发智能选穴、温控、净烟悬空灸机器人，申报国家二类医疗器械注册证并进行推广应用。开展智能点火系统研究，开发陶瓷点火模块及点火软件，避免误触烫伤风险；开展动态温控系统研究，包括热惯性补偿技术及渐进升温技术和脉冲叠

加技术研究，基于 PID 算法的动态调节模型；开展复合净化系统研究，包括初效滤网、吸附层及催化模块研究。

二、核心技术指标

完成悬空灸智能机器人开发，具备智能选穴、温控、净烟等功能，申报并获得国家二类医疗器械注册证，实现在 20 家以上医疗机构推广应用。点火系统响应时间 $< 3\text{min}$ ；高精度温度测温模块响应时间 $< 30\text{ms}$ ，皮肤测温范围 $35\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，温度漂移 $< 0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；压力传感器分辨力 $< 0.05\text{N}$ ，动态控温响应时间 $< 3\text{s}$ ，超调量 $< 1.5\%$ ，稳态温度波动 $< 0.5^{\circ}\text{C}$ ，支持 1-3 种灸法组成且安全有效；医用级净烟效率 PM_{10} 拦截率 $> 99.95\%$ ， $\text{PM}_{0.3}$ 拦截率 $> 95\%$ ，挥发性有机物（VOCs）吸附容量 $> 100\text{mg/g}$ ；申请授权发明专利 1 项、软件著作权 1 项，制定产品质量标准 1 项。

方向四十二：肝癌冷冻消融增效治疗的关键技术研究及临床应用

一、主要研究内容

针对肝癌冷冻消融治疗易复发和转移的问题，通过调控肝癌病灶的水代谢，实现冷冻消融增效作用。采用局部注射肝癌细胞的方法，构建荷瘤动物模型，探究可调控水代谢的药物对肝癌病灶水分含量的影响，筛选最佳给药方式及其剂量；通过溶血实验、体内外毒性实验、HE 染色和血样分析等手段，系统评估冷冻消融增效治疗的生物相容性和安全性；建立“水分含量-热导率-

消融效能”之间的构效关系，提升病灶部位水分含量，揭示荷瘤动物体内肝癌病灶的水代谢调控机制，评价冷冻消融增效技术的有效性；临床上实现肝癌冷冻消融增效技术在省内三甲医院及部分县级医院开展应用。

二、核心技术指标

优选出可调控肝癌病灶水代谢的药物 ≥ 2 种；在最佳剂量和浓度情况下，毒性实验细胞存活率 $\geq 85\%$ ，溶血率 $\leq 5\%$ ，急性毒性实验动物存活率100%，对实验动物肝肾功能指标不出现统计学意义上的显著差异；调控水代谢药物靶向递送至荷瘤动物病灶的效率比传统静脉给药提高3倍以上，抑瘤率 $\geq 90\%$ 。在省内10家三甲综合医院进行推广的病例数 ≥ 50 例，临床上实现冷冻消融治疗小于2 cm肝癌病灶的完全缓解率 $\geq 95\%$ ，术后出血并发症发生率 $\leq 10\%$ ，部分县级医院能够独立开展冷冻消融术；申请或获批国家发明专利1-2项；构建动物实验全流程的技术标准体系，推动行业技术规范的制定和专家共识的修订。

方向四十三：颅脑肿瘤术中受激拉曼成像设备的研发

一、主要研究内容

针对颅脑肿瘤手术中对切除边界的精准需求，研发能快速、准确、直观成像的手持式受激拉曼（SRS）成像设备，申请并获得二类医疗器械批件。采集新鲜脑瘤组织样品并成像，模拟脂类、蛋白等主要生物分子的临床病理图；将全部的模拟临床病理图与

标准的苏木精-伊红染色法(HE 染色)病理图数据进行对比分析,验证其有效性;开展安全性试验,招募手术治疗的颅脑肿瘤患者进行应用试验,评估该成像设备的安全性;开展临床推广和应用。

二、核心技术指标

研发颅脑肿瘤术中手持式受激拉曼(SRS)成像设备,申请并获得国家二类医疗器械注册证;激光器至少具备800nm、1040nm两种激发光,激光功率大小可调;具备高灵敏度的电荷耦合器件(CCD)探测器,成像速度 $\geq 500\text{fps}$,分辨率 ≥ 25 万像素;光谱成像数据分辨率 $\geq 500\text{nm}$,平均横向尺寸 $\geq 3\text{mm}$,切片厚度轻压后 $\geq 1-2\mu\text{m}$;设备灵敏度 $\geq 90\%$,有效性 $\geq 90\%$;设备与人体接触部分的生物相容性符合相关要求;申报并获得发明专利1-2项,制定产品质量标准1项;在省内6-8家医院进行推广和应用 ≥ 30 例。

适度多元发展类

方向四十四：城镇污水厂剩余污泥减量及回用技术与示范

一、主要研究内容

(1) 生物菌剂污泥减量化效能及机制研究。开发具有不同功能的复合菌剂，进行菌种筛选和分离，以总悬浮物（TS）作为衡量指标评价污泥减量效果，设置正交实验明确最佳菌剂使用方案，借助分子生物学技术深入解析功能微生物作用机理。

(2) 碱液-水力旋流器有机质能源回收利用研究。微生物破壁促使胞内物质释放到水体中，其碳氮比足以满足碳源回用要求，有机质则通过反硝化和呼吸过程转化为 CO_2 气体排出。采用 CaO 碱液浸泡与水力旋流器组合的方式，有机质成分和回用效率进行分析，并进行水力旋流仿真模拟，形成完整的组合工艺运行方案。

(3) 污泥调理及压滤性能与机理研究。开发适用于破壁后污泥调理方案，通过设置梯度实验分析不同配比调理剂作用，结合污泥减量化效果和有机质回收率，进一步分析污泥含水量全流程动态变化过程，开展工艺运行过程的经济性评估。

二、核心技术指标

新建一套生物减量法为基础的日处理污水量不低于 200m^3 的污泥减量工艺及配套设备，稳定运行 3 个月以上；污泥减量菌种

分离不少于 6 种；减量菌剂投加量比不高于 0.04 kg/吨（绝干）；旋流后污泥灰分占比不低于 60%；污泥量（TS）减少效率不低于 40%；有机质（VSS）回收利用率不低于 30%；污泥处理后含水量降低至 50%以下。

方向四十五：耐盐碱小麦种质创制、品种选育及示范

一、主要研究内容

广泛收集国内外小麦种质资源并进行耐盐性鉴定和评价，利用远缘杂交和染色体工程等技术创制小麦耐盐新种质；采用正向和反向遗传学方法，开展耐盐遗传位点/基因挖掘和分子标记开发；综合利用现代生物技术选育强耐盐小麦品种；在运城和临汾等地建立耐盐小麦示范基地，扩大耐盐品种的种植范围，提高盐碱地的种植效益。

二、核心技术指标

鉴选强耐盐小麦种质材料 10 份以上，创制耐盐度大于 3‰的优异资源 4~6 份；挖掘耐盐关键调控基因/位点 3~5 个，申请或授权发明专利 1~2 项；选育耐盐度大于 3‰且产量不低于 400 公斤/亩的品种 2 个；建立示范基地 1~2 个，推广 2 万亩以上。

方向四十六：基于 A2 基因型筛选的奶牛高效繁育体系构建及精准智能管理技术研发

一、主要研究内容

1.奶牛良种繁育技术集成与示范

通过采集血样/毛发样本，对候选奶牛群体进行基因型鉴定，重点筛选出纯合A2 β -酪蛋白基因型（A2A2）个体。针对供体奶牛开展超数排卵方案的系统性优化，提高卵子采集效率和质量；创新整合活体采卵与体外受精技术，构建流水线式胚胎生产系统，提升囊胚形成率与胚胎移植受孕率。

2.奶牛精准营养调控技术研究与应用

调查评估地源性特色饲料资源，开发优化地域适应性精准配方；研发天然提取物添加剂，通过多组学解析其增效机制，构建奶牛无抗养殖技术体系。

3.奶牛智能化牧场管理技术研究与应用

制定并推行奶牛养殖场SOP管理标准与流程；研发应用实用化DHI报告解读与应用技术，提高生产性能预测准确率；集成示范本土化奶牛TMR精细管理技术。

二、核心技术指标

生产优质A2 奶牛 500 头以上；囊胚形成率达到 40%以上，胚胎移植受胎率达到 50%以上；建立不少于 10 个品种的地源性饲草料营养特征及饲用价值数据；形成 3~5 套地源饲草替代的地域适应性配方，替代率达到 12%，饲料成本降低 5%以上；筛选可有效提高奶牛生产水平的天然提取物不少于 2 种；DHI预测准确率 $\geq 90\%$ ，TMR配比偏差率 $\leq 5\%$ ，示范牛群单产提高 5%以上；示范推广覆盖 5 万头奶牛。

方向四十七：煤矸石本土功能菌发酵营养土资源化利用

一、主要内容

1.聚焦微生物营养土培育技术研发：挖掘山西省原始森林及健康草地土壤中的高效功能菌种资源，通过复合菌群定向构建与配比优化，开发兼具有机物降解、重金属钝化及养分活化功能的菌剂体系，重点突破本土菌株对煤矸石的高效转化能力；同步研发适配本地耕地和煤矸石特性的发酵集成技术。

2.着力产业化体系构建：建立应用示范基地与工厂化生产系统，通过实施大田式原位发酵示范，形成高标准农田重构实践模式；集成模块化发酵单元与智能调控技术，构建标准化、规模化的基质生产线，实现营养土产品的低成本量产与跨区域推广，为板结耕地营养化和固废资源化提供可复制的技术-产业协同范式。

二、核心技术指标

制备微生物制剂产品 3~5 种，生产制剂保藏 3 个月以上，活性保留 80%以上，属于“菌肥”的制剂达到国家相关标准；煤矸石土壤球粒化 50%以上，微生物量占总有机质量高于 1%，微生物量碳和氮（SMB-C/SMB-N）分别高于 200 mg/kg 和 50 mg/kg。

方向四十八：大麦豌豆同种同收间作生产及配套智能播种农机装备研发

一、主要研究内容

1.大麦-豌豆品种鉴选与最优间作模式构建

建立包含 10 个大麦品种与 10 个豌豆品种的鉴选组合，量化分析株高动态、生育期匹配度等关键参数；构建“高秆抗倒大麦+半无叶/无叶豌豆”等立体种植模式，显著降低倒伏率，豌豆固氮作用减少氮肥投入量；优化时空资源配置参数，确定最佳行比配置、种植密度及适宜播期。

2.智能大麦豌豆同播机器人装备研发

开发多源异构地形感知系统，构建农田三维数字模型，实现 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 坡地一键避障路径规划，自主精准无人化作业；设计双作物协同播种机构，采用独立通道精量排种器与电驱动系统，集成 PID 控制模块精准调节播种参数；研发轻量履带电驱底盘，配备增程式能源系统。

二、核心技术指标

鉴选大麦-豌豆间作最优品种组合 2~3 组，要求生育期差异 ≤ 7 天，构建同种同收的“大麦豌豆间作”栽培技术规程 1 套，实现倒伏率 $\leq 15\%$ 、氮肥利用率提高 20%；研发智能同播麦豆机器人 1 台，具备 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 坡地自适应能力，播深稳定性变异系数 $\leq 8\%$ ，播种合格率 $\geq 90\%$ ，作业效率 ≥ 3 亩/小时；在忻州、大同

等地建立核心示范区 1000 亩，辐射推广 1 万亩。申请或授权专利 2~3 项。

方向四十九：基于环境调控大同黄花黄酮富集增效关键技术与产品创制

一、主要研究内容

1.环境因子调控大同黄花菜黄酮富集技术研究

研究黄花菜黄酮合成的时空动态规律及代谢通路响应机制；对省内不同地区大同黄花菜的环境因子进行监测，通过多因子关联分析筛选对黄酮影响显著的环境因子，构建其调控黄花菜黄酮的数学模型，形成高黄酮黄花菜栽培技术。

2.小米糠蛋白互作下的大同黄花菜黄酮增效技术研究

采用不同方法制备不同结合形态的小米糠蛋白-黄花菜黄酮复合物，解析复合物的稳定性、构效关系、体内生物利用度、生理功效以及代谢动力学，形成提高黄花菜黄酮生物利用度的复合物制备技术。

3.药食同源资源协同的营养功能产品创制与功效评价

综合考量食用品质和风味品质，以黄花菜黄酮-小米糠蛋白复合物为核心，与黄芪、连翘、石刁柏、山茱萸等药食同源资源配伍，形成营养强化型的抗抑郁、促泌乳等大同黄花菜系列产品，验证其安全性，并进行功效评价。

二、核心技术指标

建立黄花菜黄酮富集增效关键技术 2~3 项，黄花菜黄酮含量提升 $\geq 25\%$ ，黄花菜黄酮的体内生物利用度提升 ≥ 1.5 倍；建立高黄酮大同黄花菜栽培示范园 2 个，单个示范面积 ≥ 100 亩，总示范面积 ≥ 500 亩；成果鉴定及制定标准 1~2 项，申请或授权专利 3~5 项；研发功能产品 3~4 款。

方向五十：我省药食两用中药材深加工及慢性疲劳综合征功能食品研发

一、主要研究内容

1.研究我省药食两用中药产地及功能特点，总结我省药食两用中药材相关目录，建立药食两用中药材应用体系。

2.药食两用中药材健康食品类型主要包括功能性饮品、膏剂、奶片类等。

3.药食两用中药材制备健康食品工艺研究，制定生产技术路线。并开展中试研究，制定工业化生产后的实施方案，并获得行业认可。

4.研发五类系列健康食品，共 12 种，同时制定药食两用中药材健康食品的配制标准，建立 12 个产品标准。

二、核心技术指标

成功研发 12 个健康食品，实现 51 种药食两用中药高效利用；建成功能性饮品、棒棒糖、饼干等 3~5 条现代化生产线；申请或授权 5~7 项发明专利，出版 1 部专著。