

2025 年度山西省重点研发计划 (第二批) 支持方向信息

2025 年 11 月

目 录

1. 下运带式输送机智能协同调速软制动与能量回馈关键技术	1
2. 深部巷道抽采煤体强度时变特征与高效掘进关键技术示范	2
3. 多源全固废超细粉胶凝材料协同煤矸石充填关键技术研发与工程示范	4
4. 矿山高陡边坡采排联控关键技术开发与示范应用	6
5. 细煤泥绿色高效浮选脱硫降灰技术攻关与应用示范	8
6. AI+低碳能源管理在矿业领域的应用	9
7. 深层煤层气封闭性评价及其控气作用	10
8. 非常规天然气采排水回注地层关键技术研究及示范	11
9. 煤层气停产井沉积物清理复产技术研究与应用	12
10. 基于多源融合探测技术的瓦斯抽采效果智能评价技术及装备研发	13
11. 高效紧凑型天然气压差发电系统关键技术研发	15
12. 用于煤与瓦斯突出灾害监测的光纤气体多参量传感技术及装备研发	17
13. 基于吸附制冷的天然气液化过程中混合冷剂压缩废热回收及制冷技术与示范	19

14. 间冷机组乏汽余热梯级高效利用及灵活热电调峰技术·····	21
15. 100MWh 新型填充床储热技术在火电厂热电解耦中的应用研究	23
16. 高选择性苯部分加氢制环己烯催化剂的研发与示范·····	24
17. 基于煤基燃料的火焰法宏量制备高性能单壁碳纳米管关键技术 开发·····	26
18. CO ₂ 加氢制航空煤油新型催化剂开发与模式研究·····	28
19. 热固性有机废料定向再生与聚氨酯高值化改性技术开发及工 程示范·····	29
20. 煤气化灰渣纺制玄武岩纤维技术及示范·····	31
21. 利用钢渣催化氧化处理焦化废水的产品及装备研发与应用示 范·····	33
22. 塑料新污染物环境暴露的人体健康效应及防治技术研究··	34
23. 电化学法地表水化学需氧量 (COD) 自动监测装备的研制与应 用示范·····	35
24. 高盐碱工业废水超重力净化关键技术及示范·····	37
25. 超低能耗建筑高性能外围护系统技术及产业化示范研究··	39
26. 基于多模态数据卫星汇聚融合的大功率风力发电机远程监测 关键技术与应用·····	41
27. 大尺寸碲化镉发电玻璃幕墙关键技术研发及产业化应用示范	43
28. 高效太阳能电池驱动“人工树叶”制氢器件研发及应用示范	45

29. 耦合跨季节土壤储热的太阳能-地源热泵高效储供热技术研究与示范应·····	46
30. 面向生物质能高效高值化利用的热电联产系统关键技术研究及工程示范·····	48
31. 火电机组耦合混合储能系统的一体化调频调峰技术研究与示范·····	50
32. 面向煤矿应急供电与智能微网的安全型长时储能系统关键技术研发与示范·····	51
33. 面向无人机的低压高安全固态电池关键技术与应用·····	52
34. 新一代煤基水系有机储能关键技术开发及示范应用·····	54
35. 面向高端化工装备的数字底片焊缝智能评定系统开发与应用示范·····	56
36. 基于 X 射线智能成像的煤机设备缺陷在线检测与预警技术攻关和应用示范·····	58
37. 陆上大型集成式风电齿轮箱关键技术攻关及应用示范·····	60
38. 矿山地质灾害北斗高精度形变监测预警技术攻关与示范应用·····	61
39. 工程机械甲醇动力与电液系统匹配技术攻关和应用示范·····	62
40. 高密度、高可靠性集成电路封装国产化技术攻关与应用示范·····	64
41. 航天高强铝合金薄壁结构激光复合制造关键技术及装备研究·····	66

42. 气化炉关键构件激光熔覆涂层视觉监测及性能控制技术攻关和应用示范·····	67
43. 放射性核素分离纯化自动化装置技术攻关和应用示范·····	69
44. 高性能热力循环离心泵关键技术攻关和应用示范·····	70
45. 自动移动机器人分布式控制与绿色自协同调度关键技术攻关和应用示范·····	72
46. 5G基站流量预测驱动网络优化协同节能决策技术攻关和应用示范·····	74
47. 面向驾驶安全的脑机接口技术攻关和应用示范·····	76
48. 全地形无人车技术攻关和应用示范·····	78
49. 机器人用高性能自消隙渐开线少齿差减速器技术攻关和应用示范·····	79
50. 常压下铝锂合金母材制备关键技术攻关·····	81
51. 高性能铜镍硅合金箔材加工关键技术研发·····	82
52. 高强高（Cu-Ni-Sn-Si-P）细晶铜合金带材研究开发项目·····	83
53. 高强韧铸造铝合金研发及其在大型包装装备中的示范应用·····	85
54. 不锈钢/低碳钢复合板制备技术研发与应用·····	87
55. 输氢管网特种球阀抗氢蚀材料及高可靠性关键技术攻关与应用示范·····	89
56. 高性能高碳刹车盘组织调控与数字化铸造关键技术研究及工	

程应用·····	91
57. 高纯净高碳铬铁冶炼关键技术研发及产业化·····	93
58. 氢燃料电池超薄无涂层不锈钢双极板关键技术研发·····	95
59. 高效维生素 D 合成紫外 LED 便携面光源光疗设备研发与应用 ·····	96
60. 400kg 大公斤级蓝宝石单晶生长关键技术攻关和应用示范 ·····	98
61. 高性能低碳环保玻璃纤维研发与应用·····	100
62. 喷射超高性能混凝土成套技术研发及工程示范·····	102
63. 面向高舒适生物防护服的纳米纤维膜宏量可控制备技术及应用 研究·····	104
64. 基于全封闭微流控技术的无菌快速检测系统开发·····	106
65. 下肢功能障碍患者康复助行机器人研发及应用示范·····	107
66. 多模态深度融合的低场强 MRI 图像智能升级系统开发与应用 示范·····	108
67. 治疗儿童心衰的改良型新药的研发·····	109
68. 头颈部肿瘤放疗用多模态适配型口腔支架产品的研发及应用 ·····	110
69. 用于毛发增量的重组 XVII 型人源化胶原蛋白产品研发··	111
70. 基于光生物调控技术的干性老年性黄斑变性治疗仪的研制 ·····	112
71. 绿色酶法制备头孢羟氨苄关键技术开发及产业化·····	113

72. 硝酸甘油喷雾剂的开发·····	114
73. 名老中医临床经验方的医疗机构特色制剂开发·····	115
74. 常见过敏原检测试剂盒的开发·····	116
75. 智能病理取材机器人的研发·····	117
76. 交叉双旋翼无人直升机轻量化与自主控制关键技术攻关和应用示范·····	118
77. 面向大型客机应用满足过冷大水滴及冰晶防护要求的迎角传感器技术研究·····	120
78. 闪电高能信号对飞行器毁伤评估及防护措施的技术攻关和应用示范·····	122
79. 山西小米优质成因解析及利用·····	124
80. 运城盐湖野生大豆种质资源利用及耐盐碱大豆新品种选育 ·····	125
81. 旱作高品质南瓜育种及高效种植关键技术研究及示范···	126
82. 山楂种质创新及功能产品研发·····	128
83. 耕地质量大数据与智能决策系统构建·····	129
84. 抗生素消减耦合重金属阻控的绿色功能有机肥创制与应用 ·····	131
85. 改善果蔬风味的蛋白源活性小分子有机肥创制与产业化应用 ·····	132
86. 促生抗逆合成微生物制剂研创与产业化应用·····	133
87. 特色主粮作物膜肥一体化减污增效研究与示范·····	134

88. 胡麻富硒增效高值化生产关键技术集成及高光谱反演····	135
89. 特优农业辣椒新品种选育及全产业链关键技术研发与应用	136
90. 山西特色农产品智慧酿造食养醋品创制关键技术研究及开发	137
91. 沙棘资源高值化利用关键技术及产业链协同创新示范····	138
92. 山西特色干果核桃优良资源功能产品开发与应用·····	139
93. 猪伪狂犬病病毒新型基因缺失活疫苗及其 gE 和 gB 抗体诊断 试剂盒的研制·····	140
94. 丘陵山区小杂粮智能精准播种机关键技术研发与示范····	141
95. 双孢菇智能化采收机器人技术攻关和应用示范·····	142
96. “特” “优” 珍稀食用菌金耳工厂化栽培关键技术研究	143
97. 晋谷虫草菌——基于小米基质的虫草菌发酵关键技术及高值 功能食品创制·····	144
98. 基因-药剂-装备三元耦合智慧防冻减灾体系建设与示范	145

方向 1：下运带式输送机智能协同调速软制动与能量回馈关键技术

一、主要研究内容

1. 聚焦下运带式输送机阻尼系统与输送带间的摩擦特性，系统研究材料属性、结构形式及表面形貌对摩擦性能指标的影响规律，构建研究模型。

2. 基于多物理场耦合理论与智能控制技术，针对下运带式输送机复杂工况，开展运动系统间的载荷分配机制、制动时序匹配关系及系统稳定性研究，提出多阻尼系统协同控制策略。

3. 研发兼具柔性接触与精准调控功能的智能调速阻尼软制动系统和能量回馈系统，精准控制回馈电网电磁兼容质量，并完成成套装置示范工程应用。

二、核心技术指标

1. 单组软制动系统额定制动力 $\geq 100\text{kN}$ 。

2. 回馈电网 EMC 符合行业标准。

3. 成套装置示范工程 1 项，连续稳定运行不低于 3 个月。

方向 2：深部巷道抽采煤体强度时变特征与 高效掘进关键技术示范

一、主要研究内容

1. 群孔抽采煤体多物理场耦合演化模型。针对深部高瓦斯矿井，构建群孔抽采条件下煤体应力场-裂隙场-渗流场多场耦合力学模型，明确群孔布置条件下煤体强度时变劣化及解吸损伤等演化机理。

2. 瓦斯解吸-钻孔卸压煤体强度时变机制。自主研发抽采煤体解析解吸卸压力学特性试验系统，研究煤体表层-浅部-深部的强度演化全过程。

3. 卸荷松软煤体超前注浆强度强化机理。通过中空锚杆超前预注浆方法，研制亲煤型胶结材料，形成集合“材料输送-定向注浆-实时监测”的一体化加固装备。

4. 内外承载层巷道变形控制技术。提出深部复杂条件下“内承载层+外承载层”协同控制理论，揭示内外承载结构在围岩稳定中的分工与协同作机理，完成深部复杂条件巷道高效掘进工程示范。

二、核心技术指标

1. 建立煤体裂隙-应力-渗流多场耦合模型。

2. 完成抽采煤体解析解吸卸压力学特性试验系统。

3. 研发适应瓦斯解吸环境的注浆加固新材料。

4. 开展深部高瓦斯矿井的抽采-支护一体化综合应用示范，实现抽采条件下深部掘进巷道收敛变形量较传统支护方法减小 20%，掘进速率提高 20%。

方向 3：多源全固废超细粉胶凝材料协同 煤矸石充填关键技术研发与工程示范

一、主要研究内容

1. 多源固废活化机理研究。研究粉煤灰、钢渣、电石渣等多源固废的活化结构响应特性，探明活化方式和活化参数对固废颗粒解聚程度、比表面积及潜在活性的影响规律，形成高反应活性全固废原材料制备工艺。

2. 研发全固废胶凝材料。研究固废类别、粒径分布及配合比对胶凝材料流动性和力学性能的影响规律，研发全固废胶凝材料。

3. 研发全固废胶凝剂协同煤矸石长距离充填工艺。研究料浆“界面-结构-流变”的跨尺度关联机制，探明料浆的流变机理，突破料浆长距离输送瓶颈，构建料浆长距离输送调控技术体系，完成示范工程。

4. 研究充填材料的环境耐久性。研究时间、环境温度及矿井水化学特性对充填材料工作和力学性能的影响，提出基于环境适应性的充填材料性能调控方法。

二、核心技术指标

1. 研发多源全固废胶凝材料，28d 抗压强度 $\geq 32.5\text{MPa}$ ，成本不高于 130 元/吨，建成 30 万吨/年生产线一条，连续稳定运行 ≥ 1 年。

2. 研发全固废胶凝剂协同煤矸石充填材料，料浆质量浓度 $\geq 75\%$ ，煤矸石占总固废比 $\geq 85\%$ ，料浆输送阻力小于 2.0MPa/km （输送距离 $\geq 9\text{km}$ ），充填体 28d 强度 $\geq 4\text{MPa}$ 。

3. 建成全固废胶凝剂协同煤矸石膏体充填示范工程 1 项，年充填量不少于 50 万吨/年。

方向 4：矿山高陡边坡采排联控关键技术开发与示范应用

一、主要研究内容

1. 研发露天矿震识别与定位系统。研制矿用光纤微震解调仪与传感器，同步捕捉采场采动与岩层破裂信息；融合大数据与深度学习技术，研发采动诱发低频微震及高频振动震源定位和识别算法。

2. 研发露天矿高陡边坡监测系统。研制系列化矿用分布式光纤监测仪及相应传感器、传感光缆，构建全光纤露天矿山边坡监测系统，对边坡深部的应力、应变、水文等信息进行全方位、全天候监测，阐释高陡边坡失稳在多维耦合作用下的时空演化规律。

3. 开发全光纤露天矿山采-排联控灾害预警平台。集成矿震与边坡监测系统，结合长周期现场监测数据与物理模拟，揭示采场采动影响排土场稳定性的量化关系；集成光纤传感网络与数据采集、传输、分析系统，开发矿山高陡边坡采-排联控灾害预警平台。

4. 建设采-排联控灾害感知预警技术应用示范项目。在大型露天煤矿部署全光纤边坡监测体系，开展在极端天气、高强度采动影响下的长期运行验证。

二、核心技术指标

1. 研制具有分布式应变、分布式振动、分布式温度、微震等信息监测功能的光纤传感解调仪各一套，达到矿安或煤安标准。

2. 振动测量范围 $\geq 1\text{--}50\text{ kHz}$ ，定位精度 $\leq 30\text{ m}$ ，事件识别种类 ≥ 8 种，识别正确率 $\geq 90\%$ ；温度测量精度 $\leq \pm 0.3^\circ\text{C}@100\text{ m}$ ，分辨率 $\leq 0.1^\circ\text{C}$ ；应变测量精度 $\leq 20\text{ }\mu\epsilon$ ，空间分辨率 $\leq 1\text{ m}$ 。

3. 完成全光纤露天矿高陡边坡采排联控监测方案，建立采动作业与边坡稳定性响应的关联模型，形成智慧矿山光纤监测及灾害预警大数据分析平台1套。

4. 示范项目监测信号覆盖面积不小于 16 km^2 ，连续稳定运行不少于3个月。

方向 5：细煤泥绿色高效浮选脱硫降灰 技术攻关与应用示范

一、主要研究内容

1. 煤泥浮选前调浆强化技术研究。研究超声波对煤泥颗粒的分散作用及对药剂与煤粒表面相互作用的影响机制，开发高效超声强化调浆装备与流程，实现精煤回收率和质量的同步提升。

2. 煤泥浮选绿色药剂开发及浮选工艺研究。设计兼具高选择性与低环境毒性的新型捕收剂分子结构，通过酯化、酰胺化等改性手段，合成环境友好的绿色捕收剂，并开发与绿色捕收剂相匹配的浮选工艺。

3. 煤泥电化学脱硫技术研究。系统探究电化学调控对煤浆中黄铁矿、有机硫等含硫组分表面性质的改性规律。

4. 煤泥绿色高效浮选脱硫降灰技术示范。对所开发的绿色高效脱硫降灰技术进行系统集成示范，优化各技术之间的匹配关系，构建完整的煤炭绿色高效浮选技术体系。

二、核心技术指标

1. 开发浮选调浆装备 1 套。

2. 开发新型绿色浮选药剂 1 种。

3. 完成试制工业生产线 1 项，稳定运行不少于 72 小时；实现浮选药剂消耗量较现有水平降低 20%以上；细煤泥浮选精煤产率提高 1.5 个百分点，脱灰率 > 70%，脱硫率提高 10%。

方向 6：AI+低碳能源管理在矿业领域的应用

一、主要研究内容

1. 构建覆盖矿井开采、运输、加工及选矿环节的多源数据采集体系，容纳电力消耗、设备运行状态、燃料消耗及辅助工序能耗等关键数据。

2. 开发碳足迹全流程追溯与核算平台，实现矿石开采—运输—加工—终端产品的全生命周期碳排放监控，碳排放边界清晰、因子透明、可验证，自动生成碳排放统计报表。

3. 研发面向矿区的智能化能源管理与调控软件，结合 AI 算法与预测模型，实现负荷预测、尖峰平谷用能优化及多维策略控制。

4. 在典型矿区开展试点应用，为矿业企业降本增效、节能降耗和生态环境改善提供系统化技术支撑。

二、核心技术指标

1. 形成可视化能源管理系统 1 套。

2. 实时监控响应：≤ 3 秒刷新全厂能耗总览。

3. 现场应用示范，稳定运行不低于 3 个月。

方向 7：深层煤层气封闭性评价及其控气作用

一、主要研究内容

以山西省石炭-二叠系深层煤层气为研究对象，开展深层煤储层与盖层物性封闭研究，从宏观地质特征和微观封闭机理，揭示煤储层封闭性。分析不同埋深下煤岩地温场、地压场的动态演化规律，开展深层煤储层超压封闭研究，构建煤储层自封闭性与盖层封盖能力定量评价模型。探究煤层气赋存状态，构建游离气预测模型。通过对比含气量、游离气、封闭性的分布规律，探究煤层含气性与封闭性的耦合关系，揭示地质封闭条件对煤层气赋存与运移的控制机理。整合测井解释，综合数值模拟与深度学习，构建封闭性评价参数智能预测模型，实现对深部煤储层封闭单元的智能预测。

二、核心技术指标

1. 建立高温-强应力-高压耦合环境控制下深层煤层气物性封闭-自封闭-超压封闭定量评价体系，形成适用于山西省深层煤储层封盖有效性定量评价方法 1 套。

2. 构建山西省深层煤储层封闭性展布图 1 幅，圈定深层煤层气有利勘探靶区 ≥ 2 个。

3. 构建深层煤储层-盖层多尺度封闭性智能评价技术与深部煤层温-压-应力场动态模拟与封闭性预测技术。

方向 8：非常规天然气采排水回注地层 关键技术研究及示范

一、主要研究内容

1. 研究采排水水质随开采时间、开采工艺的变化规律，确定典型水质类型及其特征参数。

2. 研究回注层位的地下水水文地质条件，包括地下水流速、流向、水位等，建立回注层位地质模型。

3. 研究不同水质采排水回注对地下水质的影响，分析不同回注条件下地下水质的时空变化特征，确定影响地下水水质的关键回注参数和环境因素。

4. 研究不同水质和回注层位下的回注工艺优化方案，降低采排水对回注层位和地下水环境的影响。

二、核心技术指标

1. 建立一套完善的基于不同水质和回注层位的非常规天然气采排水回注地层技术体系和环境影响管控方案。

2. 明确出 1-2 层区域优势回注层位，研发适合区域不同阶段水质的水处理工艺 1-2 套。

3. 在煤层气区块开展回注井示范工程，验证技术体系可靠性，水处理成本降低 20%以上。

方向 9：煤层气停产井沉积物清理复产技术 研究与应用

一、主要研究内容

1. 停产井沉积物成因机理及产出机制。研究停产井沉积物微观形貌结构、矿物组成及官能团类型等理化特性，阐明停产井沉积物的产出来源及成因机理。

2. 停产井沉积物酸蚀-悬砂解堵剂配方库研发。研究酸液对沉积物溶蚀率衰减规律及蚀变特性的影响，建立沉积物成分组构-靶向解堵配方的关联体系。

3. 停产井沉积物酸蚀-悬砂分步解堵增产改造工艺方法。考察现场酸蚀-悬砂分步解堵工艺与停产井复产后产气率恢复情况之间的内在联系，形成停产井沉积物高效清理改造工艺技术体系。

二、核心技术指标

1. 形成一套停产井沉积物分源分策清理技术。

2. 改造至少 2 口停产井，复产改造后停产井滞留沉积物基本顺利排出，相比停产前 3 个月的平均产气量提高 20%，并保持稳产半年。

方向 10：基于多源融合探测技术的瓦斯抽采效果智能评价技术及装备研发

一、主要研究内容

1. 采用微震、电法信号高分辨率处理与高精度成像技术，构建动态信息多源数据自动采集系统。

2. 采用拉曼光时域反射仪（ROTDR）、相敏光时域反射仪（ ϕ -OTDR）和 DAS/DTS 联合监测，对抽采钻孔进行全过程实时监测。

3. 建立多源融合探测与钻孔不同地段瓦斯渗流、煤基质收缩、抽采量、残余瓦斯含量数学模型。采用 COMSOL 解算 DAS/DTS 条件下煤层变形场-扩散场-渗流场多场耦合数学模型，获得钻孔不同地段 DAS/DTS 条件下的渗透率，残余瓦斯压力、残余瓦斯含量的动态演化规律。

4. 研发光纤实时感知体系化装备。研制包括传输系统、振动传感器的分布式光纤声学传感仪，包括传输系统、前端温度传感器的分布式光纤传感煤层测温仪，并工程应用。

二、核心技术指标

1. 建立一套多源融合探测技术的瓦斯抽采效果智能评价体系。

2. 研发多源融合探测技术智能化采集系统及装备，其中主要

包括基于光纤传感的 DTS（温度）、DAS（振动/声波）瓦斯抽采参数测定系统、震电探测系统及装备，测定的瓦斯含量、瓦斯压力与实际值符合率达到 90%以上，震电探测距离达到 100m 以上。

方向 11：高效紧凑型天然气压差发电系统 关键技术研发

一、主要研究内容

1. 建立天然气压差发电系统的热力学模型，基于工艺流程模拟的方式，模拟燃气调压过程的可用压力能及发电潜力，分析用气负荷波动对系统稳定性的影响，模拟验证压力能对燃气场站自供电的可行性。

2. 进行流体动力学优化与流道设计、多场耦合系统集成与热-流-电磁协同控制研究、机械设计与安全防护设计，开发十千瓦级天然气压差发电设备，构建压差发电设备智能监测体系。

3. 开展天然气压差发电设备防爆检测研究，形成检测方案，完成十千瓦级天然气压差发电设备防爆检测认证；面向燃气场站压差发电典型场景，搭建经济性评价模型，综合分析关键影响因素影响规律，提出经济边界条件，结合土地资源、运行参数变化规律、电力消纳条件等因素，提出燃气场站压差发电选址选择，开展典型燃气场站天然气压差发电项目方案设计。

二、核心技术指标

1. 天然气压力能项目经济性评价模型 1 套、选址原则 1 套、典型燃气场站天然气压差发电项目设计方案 1 套。

2. 研发试制 10kW 级压差发电样机，配套智能控制系统；天然气压差发电设备防爆检测方案 1 套；燃气场站自供电技术方案 1 套；完成工业性实验。

方向 12：用于煤与瓦斯突出灾害监测的光纤气体多参量传感技术及装备研发

一、主要研究内容

1. 高精度光纤压力传感器及解调单元原理研究。研究利用热膨胀系数相同的单晶硅基底和带有微腔的硅膜片直接键合构成温度敏感的硅腔和压力敏感的真空微腔，解决键合界面热应力问题；研究双参量交叉敏感原理和高温下温度传感特性，提高压力测量的热稳定性。

2. 研制高灵敏光纤次声传感器及解调单元。研制偏振双折射技术和光谱技术的复合解调单元，优化宽谱光源、光谱分析、空间光路和信号采集参数，探索傅里叶变换干涉光谱解调方法，高效传感器光学绝对相位信息，研究空间光路系统用于接收偏振低相干正交相位和光强参考信号，实现相位信息补偿。

3. 研制高灵敏光纤气体传感器及解调单元。研发调制锁相的 TDLAS 气体浓度传感器，构建重叠光谱拟合模型实现不同气体重叠光谱分离；研究密封波长参考气室中与光源输出波段相对应的混合气体谱线，研究变温环境下光源波长的实时精确标定。

4. 开展工程验证应用。研发形成一套涵盖气体压力、浓度、次声波的光纤气体多参量传感监测装备，在煤矿监测开展工程验证应用。

二、核心技术指标

1. 气体压力传感范围：0.1 ~ 1MPa，气体压力传感精度：≤ 0.5% F.S.，气体压力传感器工作温度范围：-40° C ~ 350° C。

2. 次声传感器工作频率范围：0.002 ~ 100 Hz，次声传感器声压测量范围：0.01 ~ 100Pa，次声传感器自噪声水平：≤ 5 mPa。

3. C₂H₂ 气体检测最小浓度：≤ 10ppm，CO 气体检测最小浓度：≤ 20ppm，CO₂ 气体检测最小浓度：≤ 20ppm，CH₄ 气体检测最小浓度：≤ 20ppm。

方向 13：基于吸附制冷的天然气液化过程中混合冷剂压缩废热回收及制冷技术与示范

一、主要研究内容

1. 耦合余热回收和制冷的燃气液化工艺过程优化和动态响应策略。研究基于深度学习的压缩、换热、制冷等过程匹配机制和优化原则，研究变工况动态响应特性和控制策略，获取典型天然气液化耦合余热制冷工艺运行方案。

2. 高效余热回收及制冷装备。研制适用于混合制冷剂与水换热的高效低阻印刷电路板式换热器，研发低温驱动的高效规模化吸附式制冷机组，实现装备的低阻紧凑化。

3. 系统集成及工程示范。在典型天然气液化工艺中完成示范系统集成建设与示范运行，掌握余热回收与制冷系统的运行特征及变工况调控方案。

二、核心技术指标

1. 研制适用于混合冷剂和水换热的印刷电路板式热回收装置换热效率 $\geq 90\%$ ，单位体积的换热面积 $\geq 90\%$ 。

2. 研制的高效吸附式制冷机组制冷能效不低于 0.50，输出冷水温度 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ ，单机制冷量 $\geq 300\text{kW}$ 。

3. 开发天然气液化耦合余热制冷工艺流程软件包一套。

4. 在 ≥ 20 万吨/年的天然气液化工艺中建成装备及系统应用示范 1-2 套。

5. 在日处理 50 万方天然气液化工艺中节约电能消耗 5.5%。

方向 14：间冷机组乏汽余热梯级高效利用及灵活热电调峰技术

一、主要研究内容

1. 间冷机组乏汽梯级利用系统设计及装备研制。设计基于双温区喷射凝汽器和乏汽引射器及其凝汽器的乏汽余热梯级高效回收利用系统；通过热力计算和仿真模拟研制双温区喷射凝汽器和蒸汽引射器；研究引射器调节锥流量调节特性，获得引射器的静态特性，开发乏汽引射器宽负荷高效运行控制策略。

2. 基于深度热电解耦的梯级供热系统构建及热电调峰性能分析。研究高低旁路可行、安全经济的热电解耦技术途径及装备，进行蒸汽旁路与蒸汽主路能级匹配设计，构建双温区喷射凝汽器+乏汽引射器+抽汽加热器+高低旁路的梯级供热系统，完成热电解耦系统不同工况下的原则性热力计算，分析各供热模式下的热电可调域，确定冬季初末寒期、严寒期供热条件下机组的最小出力和最大出力，完成单台机组最大供热量计算。

3. 热源热网协同优化节能运行分析。设定供热优化目标函数，深入研究不同热负荷下的热源热网协同优化控制策略，实现机组在高背压+引射器供热、常规抽汽供热、低压缸空载（切缸）供热及高低旁路供热等不同模式间的灵活切换和智能控制，分析保障供热负荷和供电负荷的双机能耗。

二、核心技术指标

在 300MW 或以上煤电机组开展工程示范，并实现：

1. 研制间冷机组双温区喷射凝汽器和乏汽引射器，全年乏汽余热供热占比大于 60%，供热期机组发电标煤耗降低 $100\text{g/kW}\cdot\text{h}$ 以上。

2. 实现额定流量从 100%至 70%范围内调节运行时，引射器性能衰减不超过 15%。

3. 供热期机组调峰范围达到 25%-100%额定负荷，单机机组的热调峰能力提升 50%以上。

方向 15：100MWh 新型填充床储热技术在火电厂热电解耦中的应用研究

一、主要研究内容

1. 开展以粉煤灰为原料的蓄热球制备工艺研究，替代现有填充床的陶瓷蓄热球材料，推动煤系大宗固废资源化利用。
2. 基于储能系统部件实验与储能材料性能测试开展实验工作，为数字孪生模型构建提供底层数据来源。
3. 通过储热系统热力学特性与传热机制分析；实时数据接口开发与仿真算法优化；系统精度验证与迭代改进，构建新型喷淋式填充床数字孪生几何模型与物理模型。

二、核心技术指标

1. 完成粉煤灰替代制备蓄热球研发生产，关键技术指标达到抗压强度 $>1800\text{N/颗}$ ，热容量 $(350^{\circ}\text{C}) >1050\text{J/kgK}$ 。
2. 开发百兆瓦时新型填充床储热技术的火电厂热电解耦数字孪生系统，指导并实现将填充床储热效率提高到 93%，蓄热、释热时长增加到 2 小时，应用填充床储热系统将火电机组调峰速率提高到 $2.5\%/min$ 。

方向 16：高选择性苯部分加氢制环己烯催化剂的研发与示范

一、主要研究内容

1. 催化剂设计与优化：（1）活性组分优化：以 Ru 为核心，通过液相原子层沉积（L-ALD）等技术引入过渡金属（Zn、Fe、Co、Cu、Ga 等）作为电子助剂，调控 Ru 的电子态及表面氢吸附能力。（2）界面调控：构建 Ru-M（M= Zn、Fe、Co、Cu、Ga 等）界面，强化环己烯脱附动力学。

2. 催化剂表征与性能评价：（1）利用 XRD、BET、TEM、XPS 等表征手段分析催化剂微观结构。（2）深入研究苯部分加氢反应机理和失活机制。（3）研究活性组分、助催化剂及载体的组成、结构与性能构效关系，进行配方优化设计。

3. 公斤级放大制备与性能评价：（1）建立催化剂公斤级放大制备平台，优化制备工艺。（2）在模拟工业条件的实验装置上进行性能评价，优化工艺参数。

4. 完成百吨级/年工业示范，形成万吨级放大所需工艺及设备参数。

二、核心技术指标

1. 苯单程转化率：≥40%。

2. 环己烯选择性： $\geq 90\%$ 。

3. 催化剂指标满足：活性评价 1000h 无降低；催化剂单耗不高于 2g/t；反应强度介于 130–150℃；压力为 4.5–5.3MPaG。

方向 17：基于煤基燃料的火焰法宏量制备 高性能单壁碳纳米管关键技术开发

一、主要研究内容

针对火焰场中复杂碳源(煤层气)催化生长的核心科学难题，探索精准构筑特定纳米结构的全新过程，为纳米材料的宏量制备提供源头理论与技术创新。

1. 面向煤层气复杂环境的高活性、抗中毒催化剂体系构建：通过理论计算与实验相结合，设计并优化催化剂化学组成与引入方式，研究其在火焰场中的成核与生长动力学。

2. 多尺度火焰场耦合调控与 SWCNT 选择性生长机制研究：系统研究火焰温度、压力、C/O 比、气氛组分等关键参数对催化剂演化及 SWCNT 成核、生长的影响规律，建立“工艺参数-火焰场结构-产品微观结构”之间的构效关系。

3. SWCNT 高效连续捕集与低损伤绿色纯化工艺开发：设计并优化基于静电/过滤耦合的高效、连续产物收集系统。开发以过氧化氢等为核心的温和、低成本、环境友好的纯化工艺，替代传统强酸法。

4. 百克级技术验证系统集成与下游应用全链条验证：搭建并调试百克级/天试验装置，打通并优化全工艺流程，开展其在锂电池浆料中的分散工艺优化、电极制备，并完成 Ah 级软包电芯

的组装、性能评测与解剖分析，形成完整的材料-电芯性能关联数据库。

二、核心技术指标

1. 材料指标：SWCNT 产品纯度 $\geq 95\%$ （提纯后）。

2. 工艺装置指标：建成 1 条初始产品产能 $\geq 100\text{g/天}$ 的连续制备试验验证线。

3. 应用性能指标（进行 $\geq 350\text{Wh/kg}$ 电芯平台验证）：导电剂添加量： $\leq 0.1\text{wt}\%$ ；快充能力：4C 充电，15 分钟内可使荷电状态（SOC）达到 80%；循环寿命：1C/1C 标准循环 1500 次后，容量保持率 $\geq 85\%$ 。

4. 成本控制指标：通过试验数据验证，使 SWCNT 生产成本可低于市场平均成本（2000-3000 元/公斤）。

方向 18: CO₂加氢制航空煤油新型催化剂 开发与模式研究

一、主要研究内容

1. 高性能催化剂设计与制备工艺优化：通过调控活性组分、载体及助剂，优化催化剂配方和制备方法，提升催化活性与产物选择性。

2. 催化剂放大制备与成型技术研究：突破从百克级到公斤级放大的关键技术，解决均匀性、强度及重现性问题，满足模试需求。

3. 模试系统搭建与工艺优化：建立立升级模试装置，开展长周期运行验证，优化工艺参数，评估催化剂稳定性与再生性能，并进行技术经济性与碳减排效益初步评估。

二、核心技术指标

空速为 4000h⁻¹ 的反应条件下 CO₂ 单程转化率 ≥ 25%；航空煤油选择性 ≥ 80%；催化剂寿命 ≥ 600 小时；完成公斤级催化剂制备；建立模试评价系统。

方向 19：热固性有机废料定向再生与聚氨酯高值化改性技术开发及工程示范

一、主要研究内容

系统开展热固性废料的微纳米化结构调控与表界面功能化改性研究，实现微米/纳米级颗粒的可控制备，阐明颗粒尺寸及其分布对 PU 基体分散稳定性的作用机制；研究等离子体处理与偶联剂接枝对界面化学键合与物理吸附的协同增强效应，建立表面特性—界面相容性—宏观性能的定量构效关系；研究共混工艺参数对填料在 PU 交联网络中分散状态及泡孔结构的调控规律，揭示填料—预聚体—发泡剂多组分体系的相互作用机制，构建基于“工艺—分散—结构—性能”耦合关系的多因素调控理论，并进行工程示范验证。

二、核心技术指标

1. 突破微纳米级废料颗粒的可控制备与界面相容性强化等关键技术，获得颗粒尺寸分布均匀的聚氨酯材料，微米级(10-100 μm) 颗粒占比 $\geq 90\%$ 。

2. 构建五类聚氨酯材料成分构成快速识别体系，形成涵盖智能分选—颗粒化调控—低温解聚—表面改性—可控成型的全流程工艺，具备行业推广价值的技术集成解决方案，关键设备国产化率

≥ 85%。

3. 建成千吨级废料热固性有机废料定向再生与聚氨酯高值化改性生产示范线。

方向 20：煤气化灰渣纺制玄武岩纤维 技术及示范

一、主要研究内容

1. 煤气化渣成分特性及深度脱碳技术研究。分析不同工艺煤气化渣的化学成分，明确煤气化渣中主要氧化物组分和碳质的赋存状态；对煤气化渣进行深度脱碳，研究碳质脱除的反应机理；攻关煤气化渣熔融深度脱碳技术。

2. 煤气化渣熔体可纺性评价与可纺性优化技术。研究煤气化渣的黏度、析晶等特性，构建煤气化渣可纺性评价指标；研究主要氧化物成分对可纺性的作用机制，针对不同煤气化渣提出针对性改性方案；形成煤气化渣可纺性定向优化技术。

3. 高 Al_2O_3 特性煤气化渣熔体纺丝技术。研究不同调控程度对煤气化渣熔体结构及黏温特性的影响机制，明确熔体可纺温度区间；研究不同调控程度对煤气化渣熔体析晶能力的作用规律，确定熔体析晶上限温度；基于纺丝过程中煤气化渣熔体的物性，构建适合高 Al_2O_3 特性煤气化渣的纺丝技术。

4. 10 吨/年煤气化渣制备玄武岩纤维示范工程。开展气化渣熔融吹氧深度脱碳小试或中试，优化深度脱碳的技术参数；新建 100 孔玄武岩纤维制备平台；开展 10 吨/年煤气化渣制备玄武岩纤维示范工程。

二、核心技术指标

1. 形成煤气化渣制备玄武岩纤维材料工艺体系，气化渣利用率 $\geq 75\%$ ，纤维强度 $\geq 1800\text{MPa}$ 。

2. 新建 100 孔玄武岩纤维制备平台，开展 10 吨/年煤气化渣制备玄武岩纤维工程示范。

方向 21：利用钢渣催化氧化处理焦化废水的产品及装备研发与应用示范

一、主要研究内容

基于钢渣制备富氧空位铁材料，揭示催化氧化动力学特性与反应机制，研发具有催化氧化性能的水处理产品，开发应用于多场景的钢渣催化氧化反应一体化装备，并进行示范验证。

二、核心技术指标

1. 基于钢渣的水处理产品，对典型焦化难降解有机物的去除率均在 95%以上，非均相催化贡献率 $> 80\%$ ；在其他真实水质条件下，COD、氨氮等目标污染物去除率 $\geq 85\%$ ；产品重复使用 10 个周期后，对 COD 的去除率衰减 $\leq 15\%$ 。

2. 钢渣催化氧化反应一体化装备，装备出水中 COD、氨氮去除率 $\geq 90\%$ ，72 小时斑马鱼胚胎发育良好，溶液总铁浸出值 $< 0.3\text{mg/L}$ ；对至少 1 类其他高浓度有机废水中特征污染有机物的去除率 $\geq 90\%$ 。

3. 开展 $\geq 500\text{ m}^3/\text{d}$ 的焦化废水深度处理工程示范，连续稳定 ≥ 6 个月，吨水处理成本较示范企业原有工艺降低 20%以上。

方向 22：塑料新污染物环境暴露的人体健康效应及防治技术研究

一、主要研究内容

1. 解析塑料类新污染物多途径暴露过程及其与慢性疾病的关联规律与作用机制。
2. 研发微纳塑料污染物的高效水处理技术。
3. 识别特异性生物标志物并构建人体健康风险防控策略。

二、核心技术指标

1. 在山西省典型区域环境及人群生物样本中，识别出不少于 2 类、30 种塑料类新污染物，明确其环境浓度和分布规律，解析至少 2 种典型生产生活行为对人群暴露的贡献率（误差 $<15\%$ ），构建致病行为统计模型，相关性系数 >0.8 ，具有流行病学意义；阐明至少 2 种典型塑料类新污染物与慢性疾病前期生物标志物的关联、毒性通路和致病机制。

2. 针对筛选出的优先关注的典型塑料类新污染物，研发高效饮用水处理技术，综合去除率稳定达到 80%以上。

3. 构建“塑料类新污染物环境健康风险”评价体系；提出针对典型人群的有效健康干预方案，并通过试点干预提升至少 30% 典型人群的风险认知率。

方向 23：电化学法地表水化学需氧量（COD） 自动监测装备的研制与应用示范

一、主要研究内容

1. 研究电化学法测定 COD 的抗干扰机制。建立浊度-信号干扰的量化模型，研究氯离子干扰机理，明确其干扰的主导机制及与电极电位、pH 值的关系。量化核心水化学参数（如氯离子和浊度）对 COD 测量过程准确度的影响，确定智能补偿的关键输入变量。

2. 高性能电化学传感核心组件设计与制备。基于氯离子干扰机制，设计并制备高析氧电位电极；开发高精度信号采集电路与智能补偿算法，构建抗干扰信号处理模型；研制具有自主知识产权的电化学 COD 传感核心组件。

3. 开发智能化 COD 自动监测装备系统。设计并构建基于机器视觉引导的智能水样预处理单元，识别水样中颗粒物的大小、形状和分布，自动优化预处理参数；集成高抗干扰电化学传感模块和智能水样预处理单元，实现自动采样、在线精密过滤、样品均质化及异常样本的识别与分流；结合计算平台，集成传感信号处理、数据实时分析、远程传输及状态自诊断功能，研发闭环智能监测装备原型机，并完成实地运行监测。

4. 开展示范验证。在现实场景，对装备长期连续实地验证，

系统评估仪器在宽温域、多浊度及不同氯离子浓度背景下的环境适应性、数据准确性、运行稳定性、故障率及维护需求等。

二、核心技术指标

1. 智能化 COD 自动监测装备: 融合高抗干扰电化学传感模块和智能水样预处理单元, 满足连续、原位、无人值守的特点, 符合国家和山西省地表水自动监测的相关标准规范要求。高抗氯干扰电化学传感核心组件, 对 COD 标准样品的测量回收率保持在 90%-110%之间; COD 线性测量范围覆盖 5-500 mg/L; 与国标重铬酸盐法比对, 绝对误差 $\leq \pm 5.0$ mg/L。

2. 示范应用与标准化运维体系: 至少选择 1 个省控水站进行示范应用, 与水站现有 COD 监测装备同步采样, 验证本研究的技术参数。现场实际水样在线监测的数据有效率 $\geq 90\%$; 系统平均无故障连续运行时间不低于 2 个月, 并与省级“地表水自动监测联网联通系统”平台联网实现自动监控。制定设备安装规范、操作方法、校准维护指南及数据质控流程, 形成可推广的标准化运维体系。

方向 24：高盐碱工业废水超重力净化 关键技术及示范

一、主要研究内容

1. 超重力强化电活化过硫酸盐与 pH 自平衡机制
 - (1) 超重力-电化学协同活化过硫酸盐的机制解析;
 - (2) 预处理过程有机物转化特性与可生化性提升路径;
 - (3) 基于盐碱组分循环体系的 pH 自平衡与工艺优化;
2. 高盐胁迫下生化系统功能强化与稳定调控
 - (1) 耐盐高效降解菌剂的定向驯化与构建;
 - (2) 高盐生化系统群落结构与功能响应规律;
 - (3) 生化系统强化调控策略与工艺参数优化;
3. 超重力强化非均相催化臭氧深度处理技术与装备
 - (1) 高效非均相催化剂的定向制备与构效关系;
 - (2) 超重力催化臭氧反应器多相流与传质反应强化;
 - (3) 模块化装备集成与智能化控制技术研发;
4. 全流程工艺集成、智能控制与工程示范
 - (1) 单元工艺耦合机制与全流程物质能量流分析;
 - (2) 全流程智能控制策略与数字孪生系统构建;
 - (3) 建成吨级高盐碱难降解有机废水处理工程示范线。

二、核心技术指标

1. 阐明超重力强化电活化过硫酸盐的机制，建立反应过程 pH 自平衡方法，构建超重力催化臭氧传质-反应动力学模型。
2. 研发超重力强化非均相催化臭氧深度处理装备，COD 总去除率 $\geq 95.5\%$ ，BOD/COD 值 ≥ 0.30 ，处理吨水能耗降 30% 以上。
3. 形成全流程工艺包，建成 5000 吨/年废水处理示范线。

方向 25：超低能耗建筑高性能外围护系统技术及产业化示范研究

一、主要研究内容

1. 嵌管式外墙动态传热模型构建与结构优化理论

建立考虑室内外温差、流体参数、墙体材料、嵌管位置等因素的动态传热模型；构建不同气候区及自然界中低品位能源禀赋条件下嵌管式外墙传热性能预测模型，进而得到嵌管式外墙静态传热系数的推荐值范围、推荐低品位冷热源类型和嵌管位置与施工方案，实现墙体热性能与结构性能协同提升。

2. 装配式嵌管外墙产品开发与施工技术研究

针对轻质围护结构建筑结构特点，研究不同嵌管安装形式及位置对建筑本体热工性能及建筑能耗的影响；在此基础上，开发基于装配式技术的嵌管外墙产品，并研究嵌管外墙的结构施工工艺，实现低碳高效施工安装。

3. 嵌管窗传热模型研究与智能协调控制系统开发

构建嵌管窗热-光-通风耦合性能模型，揭示采光、遮阳、换热功能间协同规律；开发嵌管窗自适应控制策略，基于室内外环境变量调节嵌管参数；确立嵌管窗结构设计与施工技术理论。

4. 光伏外窗发电-采光-热舒适协同优化设计

建立光伏外窗光照强度、发电效率与热舒适影响的多物理场

协同模型；优化光伏窗组件布设方式与结构参数，在保证良好采光视觉舒适度和环境热舒适度的同时，最大化光伏发电效率；形成光伏外窗系统集成设计方法，推动相关标准体系建设。

二、核心技术指标

1. 所研发的装配式嵌管外墙空调采暖节能率不低于 20%，嵌管窗综合传热系数降低 10%以上，建筑光伏发电自消纳率达到 80%以上。

2. 建立嵌管窗传热模型并开发智能协调控制系统。

3. 编制超低能耗建筑围护结构体系设计导则 1 部。

4. 实现不少于 1000 平米的装配式嵌管外墙试验区。

方向 26：基于多模态数据卫星汇聚融合的大功率风力发电机远程监测关键技术与应用

一、主要研究内容

1. 大功率风力发电机多源传感与高可靠数据传输技术

研究高精度、耐极端环境专用传感器部署策略，获得结构应力、传动系统扭矩、变流器功率模块温度及环境参数等多源数据；构建星地/5G 多模协同的异构通信网络，解决偏远地区数据传输的实时性、稳定性与完整性问题，形成大功率风机全域感知与可靠传输的一体化技术体系。

2. 多源异构数据融合与大数据模型构建

研究多源传感数据的清洗、对齐与集成方法，建立风力发电机电流、轴承温度、振动加速度等实时运行数据与历史故障数据的标准化的风力发电机大数据库；设计支持高效查询与动态更新的数据管理架构，建立多维度、长周期数据资源的统一存储与管理模型。

3. 多物理场耦合与数字孪生的大功率风力发电机状态建模与故障预演技术

建立面向大功率风力发电机的多物理场耦合模型，实现气动-结构-控制系统的动态交互过程参数化；建立实时数据驱动的虚实映射与动态仿真模型，构建高保真数字孪生体，开发集成发电

机组状态评估、关键零部件故障定位和整机运行优化的可视化、可验证虚拟平台。

4. 基于 AI/数字孪生的故障预测与智能运维风险评估系统

开发基于深度学习和机器学习的故障早期诊断与预测算法，实现对关键部件退化趋势与剩余寿命的精准预测；建立综合考虑风机关键零部件的可靠性、经济性与安全性的运维风险评估模型，提出预测性维护策略，构建从风力发电机状态感知到智能决策的闭环运维支持系统。

二、核心技术指标

1. 支持 ≥ 8 类传感器同步接入与处理，数据接入成功率 $\geq 95\%$ ，实时数据传输延时 $\leq 3s$ 。

2. 对发电机核心部件状态参数的映射误差 $\leq 6\%$ 。

3. 支持单风场 ≥ 10 台风机历史数据存储，典型数据负载下的写入响应 $\leq 600ms$ ，查询响应 ≤ 4 秒，存储容量满足 10 年以上需求。

4. 系统整体诊断准确率 $\geq 94\%$ ，核心部件诊断准确率 $\geq 96\%$ ，对发电机核心易损部件预测误差 $\leq 15\%$ 。

方向 27：大尺寸碲化镉发电玻璃幕墙关键技术 研发及产业化应用示范

一、主要研究内容

1. 大尺寸碲化镉薄膜均匀沉积技术研究。开发适用于大尺寸玻璃基板（ $>2.0\text{m} \times 1.2\text{m}$ ）的磁控溅射、近空间升华（CSS）或气相输运沉积（VTD）工艺，实现 CdTe 薄膜的高均匀性、高致密性、低缺陷度制备。

2. 大尺寸碲化镉发电玻璃高可靠性、低成本封装技术研究。开发适用于大尺寸封装的高强度、高气密性边缘密封材料。研究高阻隔性背板或采用双玻结构，优化创新大尺寸层压封装工艺，一体化封装结构与仿真，以减小电池片应力。设计创新的“封装-幕墙”一体化结构，提升整体可靠性、安全性和安装效率。

3. 发电玻璃幕墙结构与功能一体化设计，开发与建筑结构匹配的安装构件、密封技术和电气连接方案。

4. 开展产业化应用示范及产品可靠性研究。

二、核心技术指标

1. 研制标准组件 $\geq 2.0\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的大尺寸发电玻璃，光电转换效率 $\geq 19\%$ ，单位面积输出功率 ≥ 150 瓦/ m^2 ，实现 5%-55% 的可调透光率。通过有关国际标准的核心认证，首年功率衰减率 $\leq 2\%$ ，

长期使用（ ≥ 25 年）累积衰减率 $\leq 20\%$ 。

2. 建成中试生产示范线，并完成总面积不低于 500 平方米的示范工程建设。

方向 28：高效太阳能电池驱动“人工树叶” 制氢器件研发及应用示范

一、主要研究内容

1. 揭示光伏驱动的“人工树叶”器件中钙钛矿光伏模组与催化模组之间界面电荷迁移机制；解决光伏模组与催化模组之间“光吸收-电荷分离-组件间电荷传输-催化反应”过程的能级匹配问题。

2. 开发有效的器件保护材料及“封装”技术，阻止电解液渗透破坏钙钛矿层，增强光伏器件与光电催化裂解水器件之间的连接稳定性；

3. 研究“材料-器件-系统”集成中性能衰减问题，突破“面积缩放效应”对器件效率的限制，优化大面积器件结构设计方案，构建高效、稳定、无偏压驱动的“人工树叶”制氢系统。

二、核心技术指标

1. 钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池功率转换效率（PCE） $\geq 35\%$ ，在环境温度 85°C 、湿度 85% 的条件下老化 1000 小时后的效率衰减不高于 5%。

2. “人工树叶”制氢系统的太阳能到氢能的转换效率（STH） $\geq 9\%$ ；系统连续运行 500 小时后性能衰减不高于 5%。

方向 29：耦合跨季节土壤储热的太阳能-地源热泵高效储供热技术与示范应用

一、主要研究内容

1. 高效集热与强化换热技术研发。研制适用于跨季节储热工况的新型热管集热器，实现大口径大面积集热器串联及高效传热等关键技术。开发地质适配型地埋管换热系统，研究异型埋管结构及地下结构与埋管换热增强机制，优化地埋管参数和储能体参数，提高单位井深换热量。

2. 多物理场耦合机制与系统优化研究。研究太阳能集热场、地下储热体与热泵机组间的动态能量传递规律，揭示非稳态边界条件下土壤温度场的时空演化特性及热-力-水-化学多场耦合机制，建立系统全生命周期动态仿真模型。

3. 开发智能协同调控系统，实现系统多模式运行优化。

4. 建设示范工程，并进行系统性能监测与验证。

二、核心技术指标

1. 开发大口径大串联热管集热器，瞬时效率截距 $\geq 70\%$ ，地源热泵制热 COP ≥ 4.0 ，地埋管单位井深换热量 ≥ 40 W/m，跨季节储热效率 $> 40\%$ ；

2. 开发智能协同调控系统，地下土壤平均温度稳定在 $\pm$

4 °C，土壤不平衡率低于 15%；

3. 建设供热面积不小于 5000 m² 示范工程，并开展不少于 3 个月的运行监测验证。

方向 30：面向生物质能高效高值化利用的 热电联产系统关键技术研究及工程示范

一、主要研究内容

1. 研究生物质原料高效预处理与定向催化气化技术，提出多形态生物质燃料的精准配伍方案，研发炭化制粉一体化预处理工艺，提出稀土-矿石协同的新型催化与定向气化制氢策略。

2. 研究多能互补耦合与热能梯级高效发电技术，构建太阳能光伏光热与生物质热电联产互补耦合的集成方案。

3. 研究生物质能发电系统智能协同优化与调控技术，开发智慧调控平台，实现对生产全环节的自适应控制，以保障系统稳定。

4. 研究灰渣与碳资源高值化综合利用技术，研发将灰渣用于制备高端活性炭或建筑材料的高值化材料化利用工艺，研制合成气制绿色燃料的可行路径。

5. 建设生物质热电联产系统兆瓦级示范工程，提出涵盖“原料收集-运输-处理-转化-利用”的全链条全生命周期量化评估方法，以论证示范工程的价值与优越性。

二、核心技术指标

1. 研发炭化制粉一体化工艺，使固体生物炭的能量收率 $\geq 90\%$ ；提出稀土-矿石协同的催化气化技术，在气化温度 $750 - 900^{\circ}\text{C}$ 条件下，将产出合成气中氢气的体积分数提升至 50% 。

2. 系统的年平均综合能源效率 $\geq 85\%$ 。
3. 开发智慧调控平台，将全系统运行的自适应调控响应时间缩短至秒级。
4. 灰渣与碳资源的高值化综合利用率 $\geq 80\%$ 。
5. 建设的生物质热电联产系统兆瓦级示范工程，实现单次连续稳定运行时间 ≥ 3000 小时。

方向 31：火电机组耦合混合储能系统的一体化调频调峰技术与示范

一、主要研究内容

1. 火电机组与混合储能系统的优化匹配技术研究。
2. 基于多目标优化的一体化协同控制策略研究。
3. 系统安全防控与智能运维技术研究。
4. 示范工程设计、建设与验证。

二、核心技术指标

完成 10MW 级火-储耦合示范项目建设，配置混合储能系统、监控平台与控制系统，验证技术可行性。

1. 系统调频响应时间 $\leq 200\text{ms}$ ，调频精度误差 $\leq \pm 2\%$ ，满足电网 AGC 指令的精准跟踪要求；系统具备自动与手动控制模式切换功能，控制指令执行延迟 $\leq 50\text{ms}$ 。

2. 运行优化，火电机组调频动作频次降低 40%以上，锅炉煤耗波动减少 20%；混合储能循环效率 $\geq 90\%$ 。

3. 火储联合系统调峰向上爬坡速率 $\geq 3\%$ 额定容量/分钟，向下爬坡速率 $\geq 2.5\%$ 额定容量/分钟。

4. 智能运维平台故障诊断准确率 $\geq 90\%$ ，设备故障预警提前量 ≥ 24 小时。

方向 32：面向煤矿应急供电与智能微网的安全型长时储能系统关键技术研发与示范

一、主要研究内容

1. 面向煤矿应急与微网场景的储能系统顶层设计与能量管理策略研究；
2. 本质安全与多层次防护的长时储能本体关键技术研发；
3. 高可靠集成与智慧化运维的储能系统关键技术研发；
4. 开展工程示范与综合性能评估。

二、核心技术指标

开展工程示范与综合能源评估：

1. 额定功率不低于 100kW，储能容量不低于 400kWh，满功率持续放电时间不少于 4 小时。
2. 循环寿命不少于 15000 次，整体能效不低于 70%(交流测)，支持并/离网无缝切换，切换时间不超过 100ms。
3. 系统可在-25℃至+45℃环境温度下正常运行，且具备远程监控与智能预警功能。

方向 33：面向无人机的低压高安全固态电池 关键技术与应用

一、主要研究内容

1. 研发硫化物/聚合物/氧化物多尺度复合与离子通路设计，配套干法电极、共轧与等压固化等工艺，在 $\leq 1.0\text{MPa}$ 下实现 $\geq 4.0\text{mAh}\cdot\text{cm}^{-2}$ 厚电极稳定运行、25-30 min (10-80%) 快充与低温 (-20°C) 0.5C 放电容量保持 $\geq 60\%$ 。

2. 构建富氟/磷酸盐钝化层与微弹层协同的化学-力学一体化界面，抑制枝晶与阻抗爬升，形成“堆压-温度-倍率”安全域，支撑山地长航时、寒冷季节与快充补能等任务剖面。

3. 打通 BMS 与调度平台数据接口，把真实 SOC/SOH、倍率限值、服务“军民航数据碎裂、空域动态调度不足”的痛点；在仿真与外场中验证动态空域使用效率提升 $\geq 30\%$ 的调度策略与参数包。

4. 将内阻/温升/剩余可用功率等健康信号接入避障与重规划，在典型山地工况下实现障碍识别率 $\geq 90\%$ 、事故率显著下降的算法与控制策略落地。

5. 建立低堆压装配的无人机平台集成线，按针刺/挤压/过充/热箱等开展热扩散与被动防护验证。

6. 制定 1-5 MPa 低堆压性能评价方法与数据模板，形成团体/企业标准建议稿，支撑示范推广与工程可比性。

二、核心技术指标

堆压窗口：运行压力 $\leq 0.5 - 1.0 \text{ MPa}$ 。

面容量： $\geq 4.0 \text{ mAh/cm}^{-2} (25^\circ\text{C})$ 。

能量密度： $\geq 900 \text{ WhL}^{-1} / \geq 320 \text{ Whkg}^{-1}$ 。

低温性能： -20°C 、 0.5C 放电保持 $\geq 60\%$ 。

快充性能： $10 - 80\%$ 在 $25-30\text{min}$ 完成。

安全性：针刺/挤压/过充（至 120% ）无热失控；热箱 200°C 10min 无明火。满足山西矿山、能源基地和复杂地形低空作业的高安全要求。

示范规模：支持无人机物流、巡检与应急运输示范航线。

方向 34：新一代煤基水系有机储能关键技术 开发及示范应用

一、主要研究内容

1. 研究高功率密度电堆的多物理场耦合机制，分析电场、流场、浓度场、温度场及电化学反应对电化学极化、浓差极化和电流密度分布的影响，揭示其在充放电过程中的时空分布特性，明确煤基水系有机液流电池极化与电流密度分布规律，为电堆优化设计提供理论支持。

2. 研发高效能电解液流道结构，研究电极框内流道设计对电解液分布均匀性的影响，分析电极结构参数及匹配流道或双极板流道对极化和电流密度分布的影响。探究多类型、多区域流道耦合下的传质特性，明确流动阻力与电堆性能的关系。设计兼具均匀流体分布、高效传质与低流阻的流道结构，开发适用于高功率密度运行的电堆结构，为提升电堆功率密度提供理论支持。。

3. 开展 60kW 级电堆设计技术研究。基于仿真结果，优化流道结构与电池性能的匹配关系，分析不同 SOC 下电堆内部漏电电流及损耗的分布规律，探究电池节数、管路电阻和内阻等因素对漏电的影响。研发一体化组件设计与制备技术，减少部件数量，提升集成效率并降低成本。形成 60kW 电堆组装工艺，建立高密度电堆集成方法。

4. 研发适用于 60kW 高功率密度电堆及储能系统的分布式 BMS，实现电解液价态监测与 SOC 精确估算，构建电堆多物理场耦合的数字孪生模型。建立电解液-电堆-系统三级管理机制，实现 SOH 预测与系统健康状态评估；研究智能优化调度算法，支持多电堆协同控制。

5. 研究水系有机液流电池储能系统的容量衰减规律、影响因素及恢复方法，揭示其衰减机理。

二、核心技术指标

1. 研制高功率密度水系有机电堆，能量效率 $\geq 80\%$ ；单电堆功率密度： $\geq 60\text{kW}/\text{m}^3$ ；循环寿命： ≥ 10000 次；电堆生产成本： ≤ 1000 元/kW。

2. 水系有机液流电池 BMS 系统的 SOC 检测精度误差 $\pm 5\%$ 以内。

3. 开发 240kW/1MWh 煤基水系有机液流电池系统，基于 60kW 级电堆集成 240kW 高集成度的煤基水系有机液流电池模块并开展应用示范。

方向 35：面向高端化工装备的数字底片焊缝智能评定系统开发与应用示范

一、主要研究内容

(1) 构建数字化焊缝底片海量数据库。以日常生产积累的海量焊接缺陷数据图像为基础，结合国内外标准建立焊接缺陷分类体系，形成焊接缺陷数字图像数据集，并构建数字化焊缝底片海量数据库。(2) 数字底片焊缝缺陷智能评定系统开发。利用图像增强算法提升底片质量；设计深度学习模型实现缺陷自动分割和检测；建立定量分析方法完成缺陷测量与质量评定；最终开发具备缺陷识别、测量、评定及可视化功能的智能系统。同时该系统可以反向追溯焊接参数构建“焊接工艺-缺陷特征”的映射关系模型。(3) 数字化底片焊缝智能评定系统部署与应用示范。在大型煤化工装备关键产品的焊接检验系统中进行系统部署与应用示范，实现高效、高精度的焊缝缺陷检测，部分替代人工评定并形成技术标准。

二、核心技术指标

(1) 构建不少于 3 种焊接工件场景，每种工件包含 5 大类缺陷标准数据集，缺陷底片数据集总数不少于 10 万张。(2) 根据 NB/T47013《承压设备无损检测》，开发数字底片焊缝缺陷检测算法，实现数字化焊缝底片缺陷检出率达 99.5%，检测时间 ≤

100ms，检测精度达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。（3）开发的智能识别系统在水煤浆水冷壁气化炉焊接检验系统中进行集成部署，在日投煤量3000吨级的气化炉生产中实现应用示范。形成数字射线底片焊缝缺陷智能检测的技术标准。

方向 36: 基于 X 射线智能成像的煤机设备缺陷 在线检测与预警技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 微型高分辨率 X 射线成像模块设计。设计深穿透、微焦点 X 射线源, 研制亚毫米级高分辨率数字成像板, 解决系统抗恶劣环境难题, 形成煤机设备缺陷在线成像模块。(2) X 射线图像缺陷识别深度学习算法开发。构建受力部件 X 射线图像数据集, 基于生成模型扩展缺陷数据并增强低质图像, 设计深度卷积神经网络, 实现亚毫米级缺陷精准识别。(3) 基于多传感器融合的部件状态建模与缺陷预警技术。集成 X 射线、振动、红外等多传感数据, 通过融合算法形成部件状态“数字指纹”, 开发预测模型, 实现对缺陷出现与演化的预判。(4) 系统集成开发及测试应用。进行软硬件集成, 形成缺陷在线检测与预警系统样机, 开展测试验证性能指标, 开展实际工况下的应用示范。

二、核心技术指标

(1) X 射线焦斑尺寸 $<10\ \mu\text{m}$, 成像分辨率 $<0.2\text{mm}$, 单次成像分析时间 $<0.2\text{s}$ 。(2) 可检测煤机设备的链条、链轮、联轴器、滚筒等核心受力部件。(3) 可检测缺陷尺寸 $<0.2\text{mm}$ 、深度 $>100\text{mm}$ 、识别准确率 $>90\%$, 对运动部件的检测速度 $>3\text{m/s}$ 。(4) 系统具有辐

射自屏蔽特性，系统外辐射降至本底水平；工作温度范围 -40°C ~ $+85^{\circ}\text{C}$ ，防爆等级 I 类。(5) 至少在 2 家企业开展应用示范，形成煤机设备缺陷在线 X 射线检测团体标准草案 1 份。

方向 37：陆上大型集成式风电齿轮箱

关键技术攻关及应用示范

一、主要研究内容

(1) 大型集成式风电齿轮箱传动系统总体设计。研究多维约束下主轴传动部件、齿轮箱集成结构耦合关系，形成大型集成式风电齿轮箱设计方法。(2) 高扭矩密度齿轮传动系统设计与仿真。建立集成结构传动链系统动力学模型，研究齿轮微观修形参数对传动系统振动影响分析，研究齿轮齿根过渡曲线优化技术，提高传递扭矩密度。(3) 大型风电齿轮箱关键零部件制造技术研究。研究大型齿轮热处理变形控制技术、表面淬火、齿根喷丸以及高精度硬齿面加工技术，形成大型齿轮抗疲劳制造方法，提高齿轮承载能力。(4) 样机研制与测试验证技术研究。完成样机试制，研究集成结构平台化试车连接方案，制定测试大纲，对效率、温升、振动、噪声等进行全面验证。

二、核心技术指标

完成一款陆上大型集成式风电齿轮箱产品研发，形成订货 ≥ 30 台，通过第三方机构认证，实现陆上大型集成式风电齿轮箱的示范应用，产品技术处于国内领先水平，产品技术指标满足：

(1) 额定功率： $\geq 8\text{MW}$ ；(2) 额定扭矩（输入）： $\geq 11000\text{kNm}$ ；
(3) 扭矩密度： $\geq 240\text{kNm/t}$ ；(4) 传动效率： $\geq 97.5\%$ （额定工况）。

方向 38：矿山地质灾害北斗高精度形变监测 预警技术攻关与示范应用

一、主要研究内容

（1）研究复杂矿山监测场景下北斗观测数据质量评估与预处理、实时精密相对定位、实时精密绝对定位、事后基线解算与整网平差技术，实现北斗实时高精度位移解算软件与服务；（2）研究基于短报文通信的终端北斗高精度形变监测技术；（3）研究基于北斗位移监测的虚拟静态化滤波、形变分析算法与分级预警模型；（4）研发矿山地质灾害北斗监测预警技术云平台，实现全天时、全天候北斗星地协同监测预警。

二、核心技术指标

（1）研发北斗实时精密相对定位算法与软件，水平精度 RMS 优于 $8\text{mm}+1\text{ppm}$ 、高程精度 RMS 优于 $15\text{mm}+1\text{ppm}$ ，模糊度初始化时间小于 50s ；（2）研发北斗星基增强（北斗三号 PPP-B2b）绝对定位算法与软件，水平精度 RMS 优于 0.1m ，高程精度 RMS 优于 0.2m ；（3）北斗位移监测数据驱动的多级预警阈值模型，实现半小时内灾害预警响应；（4）研发矿山地质灾害北斗实时监测预警平台，并实现业务化应用，示范应用矿山监测点不少于 4 个；（5）申请发明专利 2 项。

方向 39：工程机械甲醇动力与电液系统匹配 技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）增程式混合动力系统参数匹配设计。设计甲醇增程式混合动力系统总成，建立混动系统多学科仿真模型，以装机功率、成本最小化为目标，形成甲醇发动机、电动机、发电机、电池等单元参数匹配优化设计方法。（2）混动单元与电液系统功率动态匹配。明确不同作业工况的液压功率需求边界，分析混动系统各元件功率输出约束；设计混合动力单元动静态功率负载协同匹配策略；解决运行过程混动系统、电液系统、负载之间匹配问题。

（3）混动系统能量管理策略。建立能量管理模型，基于发动机热效率模型与实时负载需求，构建发电功率自适应调节算法，研究基于模式识别、电池 SOC 反馈调节与能量回收补偿的能量智能分配策略；研制样机，测试评价并推广应用。

二、核心技术指标

（1）以 20t 挖掘机为例，以成本最优，匹配设计出满足 10 小时连续工作混动系统构型及参数，较传统设计方法增程式发动机额定功率降低 20%。（2）以动力源能效最优为目标，形成混动单元-液压泵-负载动态功率匹配和协同策略，系统能耗降低

10%。(3)形成甲醇发电直驱、电池单驱及混合驱动多种驱动模式及其切换控制方法、能量管理策略,在20t及以上挖掘机上推广应用,经第三方检测,较柴油版运行成本降低40%以上。(4)申请混动系统及其管理方法专利2-3件,参与新能源动力源标准建设1-2项。

方向 40：高密度、高可靠性集成电路封装 国产化技术攻关与应用示范

一、主要研究内容

1. 高密度引脚类集成电路引线框架技术研究。（1）框架设计，在现有框架宽度的前提下，进行框架结构优化设计，实现更高排数，同时优化散热结构，提升耐候性。（2）精密模具设计，超精密导向系统、高强度/高韧性的微细型腔与冲头保证模具对位精度 $\pm 50\mu\text{m}$ ；对不同模具端子特性选择匹配的 DLC、TiCN、CrN 等涂层体系，确保产品品质及模具寿命。2. 国产替代高性能金属及高分子材料研究。（1）环氧塑封料关键参数研究，对材料的 TG（玻璃化转变温度）、粘度、模量、热导率、电阻率、吸水率、热膨胀系数等关键参数进行研究，满足高密度封装需求。（2）引线框架材料特性研究，对引线框架材料的屈服强度、导电率、热传导率、热膨胀系数等进行研究，实现高密度产品应用。

二、核心技术指标

1. 产品设计：符合 JEDEC 国际标准。2. 产品可靠性指标，实现消费级产品 Precon、PCT96h、TCT800 次、THT800h、HTST800h 可靠性指标逼近工业级。3. 散热/导电指标，（1）引线框架散热通道优化：载体散热通道由 1.27mm 增加至 2.24mm，散热效率提升 76.3%；EPAD 设计外露散热面积由 6.604mm²增加至 7.676mm²，

散热效率提升 16.23%；（2）框架单颗耗铜量降低 35%以上，单颗封装成本降低 23%以上；（3）电阻率由 $0.6\ \Omega\cdot\text{cm}$ 降低至 $0.25\ \Omega\cdot\text{cm}$ 。

方向 41：航天高强铝合金薄壁结构激光 复合制造关键技术及装备研究

一、主要研究内容

(1) 开展高强铝合金高质高效激光复合焊接关键技术及成套装备研发，揭示多要素协同影响下的微熔池非平衡冶金凝固和气液耦合流动机制，探究非熔化区梯度形性损伤机制，构建 Al-Cu-X 系高强铝合金焊接缺陷控制方法及软化区再强韧工艺技术体系。(2) 开发基于温度场实时反馈的动态应力调控技术，研究空间多热源与柔性约束协同作用下的焊接应力及变形演化规律，基于有限数据量训练构建焊接应力与变形的人工智能预测算法模型，实现对薄壁筒形结构焊接变形的精准调控。(3) 研究高强铝合金焊接结构非均质接头的动态服役性能，分析多因素耦合作用下的失效模式与损伤机理；基于微观损伤表征和数据驱动模型构建非均质高强铝合金焊接结构服役寿命预测方法。

二、核心技术指标

(1) 开发高强铝合金薄壁结构激光复合焊接装备 1 套。(2) 开发高强铝合金焊接接头局部热处理工艺 1 套。(3) 2 系牌号多种高强铝合金接头强度系数不低于 0.85；气孔率 $\leq 0.5\%$ 。(4) 薄壁筒形焊接结构椭圆度 $\leq 0.05\%D$ 、轴线直线度偏差 $\leq 0.02\text{mm/m}$ 。(5) 构建铝合金薄壁筒形结构焊接变形控制和疲劳延寿新方法。(6) 形成铝合金薄壁筒形结构高质量焊接制造企业标准 1-2 项。

方向 42：气化炉关键构件激光熔覆涂层视觉监测及性能控制技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 开展涂层成分及梯度结构设计，构建固液双相、热力耦合熔覆过程有限元仿真模型，模拟结合实验，以降低涂层与基体残余应力，提升界面连接强度和熔覆效率为目标，基于机器学习模型，完成非熔池特征相关参数优化及关键构件熔覆路径规划。

(2) 研究熔覆过程中熔池形貌、温度在线监测及涂层缺陷无损检测技术，提取并识别熔池异常及特征信息，构建“熔池特征相关参数-熔池宽度和温度-涂层缺陷”关联模型，设计熔池特征 PID 闭环反馈控制系统，实现涂层性能在线调控。

(3) 测试关键构件现场熔覆涂层的缺陷分布及耐高温腐蚀性能，构建涂层服役性能评价体系，优化熔池特征闭环反馈控制系统参数，建立包含工艺变量及熔覆路径的数字孪生模型，完成激光熔覆示范生产线软硬件系统搭建。

二、核心技术指标

(1) 熔覆层铁元素稀释率 $\leq 2\text{wt.}\%$ ，熔覆层与基体的结合强度不低于 180MPa ；(2) 熔覆层的滑动摩擦磨损率不超过基材的 30% ；(3) 在硫酸-硫酸铁溶液晶间腐蚀测试、铜加速乙酸盐雾腐蚀测试中，激光熔覆层的腐蚀速率均不高于基材的 25% ，均不高于同种

材料气化炉埋弧堆焊层的 50%；(4)搭建集成涂层在线视觉监测及离线缺陷检测功能的气化炉关键构件激光熔覆系统 1 套，制定高性能涂层激光熔覆技术标准 1 项。

方向 43：放射性核素分离纯化自动化装置 技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 开发针对难测 α 核素高选择性化学分离流程，通过优化反应体系以适应复杂基质，提升目标核素分离选择性与回收率，攻克其在核素分离高效自动化、操作规范标准化中的应用瓶颈；(2) 研发放射性核素全自动分离纯化设备，该设备将集成自动称量、精准取样、目标核素高效分离纯化及稀释功能，通过多通道并行单元设计，提升制样通量与效率；(3) 搭建放射性核素全流程自动化制样质量控制系统，该系统将具备样品溯源、分离过程实时操控、数据采集与自动处理功能，提升分析结果的准确性、可追溯性与标准化水平，为多场景放射性核素制备及测量提供高效、可靠的全自动化解决方案。

二、核心技术指标

(1) 难测低含量 α 核素化学分离纯化回收率 $\geq 80\%$ ，放射性核药中核素分离纯化效率 $\geq 90\%$ ；(2) 放射性核素全自动分离纯化装置一套，实现自动制样和数据处理的全流程闭环管理，放射性核素分离纯化通道数 ≥ 8 个，单批样品处理时间 ≤ 4 小时，日处理样品量 ≥ 24 个，仪器连续运行无故障时长 ≥ 500 小时；(3) 典型应用场景示范单位 ≥ 2 家，客户满意度 $\geq 90\%$ ；(4) 主导或参与制定国际/国家/行业标准 ≥ 2 项。

方向 44：高性能热力循环离心泵关键技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 针对热力管网应用场景，提出热力循环泵总体设计方案，并开展泵过流部件水力设计与迭代优化；基于高保真数值模型和流/热耦合算法，开展泵内流机理与能量损耗规律研究，提出适合宽工况高效运行的最优水力模型。(2) 基于智能优化算法，构建热力循环泵多参数多目标优化设计方法，研究整机结构与整机性能协同匹配关系；同时考虑结构强度约束，确保机组运行可靠性。完成产品制造，并开展全工况性能试验和压力脉动试验。(3) 融合故障样本数据库和神经网络算法，建立运行状态预测及故障诊断模型，研发泵智能运维与在线监测系统，实现参数实时采集和预警，形成完整的智能化监测技术，降低巡检成本、保障热力管网的安全运行。

二、核心技术指标

(1) 提出高保真数值计算方法，在额定工况下泵的扬程、效率和功率预测误差 $\leq 4\%$ ，实现泵性能高精度预测。(2) 构建高性能热力循环泵多目标协同优化设计方法，实现 $80\%\sim 120\%$ 高效运行工况区间泵出口段压力脉动平均幅值与泵扬程之比 $\leq 3\%$ ，显著提升机组运行稳定性。(3) 研制高性能热力循环泵产品，

泵效率值高于 GB19762-2025《离心泵能效限定值及能效等级》
国标二级能效指标，实现泵组高效节能运行。（4）研发高性能
热力循环离心泵智能运维与在线监测系统，实现典型应用示范≥
2 个，为山西省供热管网智能化升级提供示范样板。

方向 45：自动移动机器人分布式控制与绿色 自协同调度关键技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）构建基于网格化管理的分布式多智能体控制系统，解决 AMR 异质性及通信延迟与丢包问题，设计支持超 100 台 AMR 协同作业的集中-分布式混合控制架构。（2）提出实时动态路径规划方法，开展动态环境感知、实时地图重构、订单动态调整、路径重构优化研究，开发异常事件预测系统，显著提升系统响应速度及对异常事件的鲁棒性。（3）设计自主充电方案及智慧能源管理系统，优化充电桩选址、电池健康监测与充电控制策略，提升 AMR 续航与充电效率，延长电池使用寿命。（4）构建多目标多约束的 AMR 集群节能调度一体化优化体系，结合订单需求、能源消耗以及其他资源约束，开展多 AMR 充电需求预测、自适应调度与路径协同优化，显著降低空驶率、提升整体能效。

二、核心技术指标

（1）模拟平台中分布式控制与调度算法的优化对象 ≥ 100 个，网格管理单元 ≥ 2 个；（2）通信延迟 $\leq 10\text{ms}$ ，安全距离 $\leq 5\text{m}$ ，网格管理单元 $\geq 100\text{m} \times 100\text{m}$ ，驱动能耗比降低 $\geq 6\%$ ；（3）局部路径调整 ≤ 0.1 秒，实时地图重构 ≤ 10 秒，电机控制响应时

间 ≤ 0.1 秒；（4）异常订单模式识别准确率 $\geq 70\%$ ，电池充放电循环寿命估计准确率 $\geq 70\%$ ；（5）制定企业标准 ≥ 1 项，申请专利或软件著作权 3~5 项，推广应用示范场景 ≥ 1 处。

方向 46：5G 基站流量预测驱动网络优化协同节能决策技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 构建高精度流量预测模型，采集基站真实数据，提出优化 GRU、TCN 与 LSTM 的并行模型，通过交叉注意力融合多方时序特征，提升 5G 基站流量长期预测精度与场景泛化能力。(2) 构建基站空闲时间模型。提出自适应麻雀搜索算法，结合模型对流量预测数据进行聚类分析，以此确定初步载波关断时间。(3) 研究协同网络优化的基站节能策略。以客户感知度为基础，通过流量预测优化网络配置，对低于经验值的有限时段进行扇区负荷负担，并与第(2)结合协同建立节能策略机制模型，寻找最大关闭时段。(4) 系统开发与应用示范：开发节能管控平台，实现数据采集、预测分析、策略生成与执行一体化。并选取运营商的 100 个 5G 基站作为应用示范建设基地。

二、核心技术指标

(1) 构建基站流量预测模型，预测误差中平均绝对误差 (MAE) 小于 12%、均方根误差 (RMSE) $\leq 15\%$ ，满足动态决策时效需求。(2) 构建基站空闲时间模型，定时时间准确率达到 92%。(3) 构建流量预测与网络优化协同节能决策机制，基站年均能

耗下降率大于 20%；无因节能操作导致的网络性能降级。（4）
搭建节能管控平台，系统响应界面的呈现时间应小于 3 分钟，并
选取 100 个运营商的 5G 基站进行应用示范建设，开展实证。

方向 47：面向驾驶安全的脑机接口 技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）设备与系统研发：主要包括脑活动相关电生理信号柔性可穿戴式采集模块、车载条件下弱信号放大与干扰消除技术、信号实时传输与处理模块，以及实时监测与干预系统研发；（2）方法与模型研究：结合机器学习(含深度学习)等技术，开展基于多模态信号的驾驶员疲劳状态和驾驶行为识别算法研究并构建模型，开展个性化差异与模型泛化研究；（3）干预策略研究：开展与疲劳状态相关脑电特征标准化模型研究、实时反馈与干预手段研究，开展疲劳驾驶干预策略评估；（4）应用示范：针对不同场景，开展基于脑机接口的驾驶行为安全监测与实时干预规模性应用示范；（5）标准研究：开展基于脑电的疲劳驾驶认定标准研究，初步制定标准草案。

二、核心技术指标

（1）研制脑电采集设备 1 套（单通道或双通道，可穿戴，重量 $\leq 300\text{g}$ ；采样率 $\geq 500\text{Hz}$ ；噪声电平 $\leq 5\mu\text{V}$ ；共模抑制比 $\geq 80\text{dB}$ ）；（2）构建基于多模态信号的疲劳状态和驾驶行为识别模型并研发监测系统 1 套，识别准确率 $\geq 90\%$ ；（3）实现驾驶

员异常状态实时反馈和多种干预策略；（4）开展不少于 2 种作业场景下规模性应用示范，驾驶员数量 ≥ 300 人，累计监测时长 ≥ 2 万小时；（5）制定融合脑机接口技术的疲劳驾驶认定标准草案 1 项，申请发明专利或软著 2-4 项。

方向 48：全地形无人车技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

研制 1 款具备工程实用性、水陆双态高机动性、并能在无卫星信号环境下实现高精度定位的工程样车。围绕工程样车的研制与验证，展开以下三方面研究：（1）可变构形车身工程设计与模态切换控制技术：研究适用于重载条件下的车身可变构形机械结构，形成全地形适应性自动切换结构方案；（2）高功率密度动力传动与两栖推进系统集成技术：研究基于现有成熟部件的混合动力系统匹配与优化方法；形成高效、耐用的轮桨复合推进机构；（3）面向工程应用的自主导航与定位技术：聚焦于 GPS 拒止环境下的连续作业需求，提升路径规划的稳定性与精度，研究融合惯性导航、激光雷达与视觉信息的组合导航算法，形成抗干扰能力强、计算效率高的嵌入式控制系统。

二、核心技术指标

（1）机动性指标：陆地平坦路面最大行驶速度 $\geq 25\text{km/h}$ ；静水水面最大航速 ≥ 5 节；（2）承载与通过性指标：最大载荷能力 $\geq 500\text{kg}$ ；最大爬坡坡度 $\geq 20^\circ$ ；垂直越障高度 $\geq 200\text{mm}$ ；（3）自主导航指标：在无卫星导航信号环境下，动态定位精度优于 0.5 米（RMS）；（4）续航指标：满载条件下，陆地连续作业时间 ≥ 4 小时，或水上连续作业时间 ≥ 2 小时；（5）环境适应性指标：适应 -10°C 至 45°C 环境温度。

方向 49：机器人用高性能自消隙渐开线少齿差减速器技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 自消隙渐开线少齿差减速器的结构设计及性能分析。设计基于机构动力学的自适应预压力自消隙行星齿轮结构；揭示少齿差传动中多齿啮合载荷分配机制；提出高重合度少齿差传动设计方法；完成自消隙渐开线少齿差减速器集成设计和性能分析。(2) 高性能渐开线少齿差减速器关键零件用高强及超高强钢组织控制技术。研究材料微观组织构成与零件失效形式关联机理；开发关键零件生产的高强及超高强钢组织控制技术；优化热处理工艺，提高材料韧塑性。

(3) 高性能渐开线少齿差减速器关键零件的加工装配工艺研究及应用示范。制定减速器关键零件的加工工艺；构建关键零件几何精度检测体系；开发专用装配工艺；试验验证产品寿命及精度等指标；完成产品应用示范。

二、核心技术指标

(1) 渐开线少齿差减速器齿轮设计开发软件 1 套；不少于 2 种型号的仿真分析模型；(2) 形成齿轮用高强钢 4340 和超高强钢 300M 近 Ms 点等温热处理工艺；高强钢：抗拉强度 $> 1300\text{MPa}$ 、

延伸率 $> 7\%$, 冲击功 $A_{KV} > 35J$; 超高强钢: 抗拉强度 $> 1700MPa$, 延伸率 $> 7\%$, 冲击功 $A_{KV} > 13J$; (3) 减速器齿隙 $\leq 1arcmin$, 回差 $\leq 1arcmin$, 采用加速寿命试验方法当量额定寿命 $\geq 8000h$; (4) 制定标准不低于 2 项; (5) 实施期间进行产品试制及生产, 减速器应用示范不少于 60 台。

方向 50：常压下铝锂合金母材制备 关键技术攻关

一、主要研究内容

1. 真空热还原制备中间合金技术。研究采用中间合金，替代铝锂合金母材熔炼时金属锂的直接添加，通过改变锂元素的引入方式，实现从源头上提升铝锂合金成分均匀性与工艺稳定性；开展真空热还原法制备中间合金技术攻关，实现高锂含量中间合金制备。

2. 常压下铝锂合金母材的熔炼制备研究。重点研究基于上述中间合金，在常压环境下进行铝锂合金母材熔炼的工艺，系统探究熔炼温度、时间、辅料配比等关键参数对母材显微组织、锂元素实收率、成分偏析程度的影响规律，构建“制备参数—显微组织—合金质量”三者间的内在关联模型，攻关常压环境下铝锂合金母材的熔炼制备技术。

二、核心技术指标

达到在铝锂合金母材合金化环节锂元素收率 $\geq 90\%$ ，锂元素偏析度控制在 $\pm 0.01\%$ ，合格率 $\geq 70\%$ 。项目采用半连续铸造工艺生产变形铝锂合金母材锭，根据客户需求设计模具。拟生产尺寸为 $\phi(40 \sim 130) \text{ mm} \times (1000 \sim 3500) \text{ mm}$ ，其他指标满足 YS/T67-2018《变形铝及铝合金圆铸锭》。

方向 51：高性能铜镍硅合金箔材加工 关键技术研发

一、主要研究内容

1. 研究析出相多尺度调控技术。采用多级时序热处理工艺，通过研究并精确控制多级时效的温度与保温时间，实现对 δ -Ni₂Si 强化相尺寸、分布与体积分数的跨尺度控制。

2. 研究合金箔材精密轧制技术。通过探究轧制速度、张力、油膜厚度、道次分配、轧辊辊系等关键参数，研究轧制过程中箔材织构动态演化规律，揭示其与力学性能、工艺参数的内在关联性，实现高精度、高性能合金箔材的稳定轧制。

3. 研究铜合金箔材多功能表面改性技术。通过研究粗化、固化溶液配方、温度、电流密度、极距等关键核心参数构建微米级粗糙结构，在铜箔表面构建纳米尺度连续、致密的金属或合金金属层，增强合金箔抗剥离性能、高温抗氧化及耐蚀性能。

二、核心技术指标

厚度 $\leq 25\ \mu\text{m}$ ；宽度 580mm；抗拉强度 $\geq 700\text{MPa}$ ；导电率 $\geq 42\% \text{IACS}$ ；伸长率 $\geq 1\%$ ；表面粗糙度 R_z 控制在 $0.8 \sim 2.0\ \mu\text{m}$ ；剥离强度 $\geq 0.8\text{N/mm}$ ；达因值 ≥ 42 ；双 85 测试可实现 240h 无氧化变色。

方向 52：高强高（Cu-Ni-Sn-Si-P）细晶 铜合金带材研究开发项目

一、主要研究内容

1. 成分设计与细晶组织调控。研究 Cu、Ni、Sn、Si、P 等元素的复合强化机制与交互作用规律，建立成分-工艺-组织-性能的定量关系模型。研究高效晶粒细化剂选择及其引入方式，实现铸态晶粒的微米级细化。

2. 高纯净度熔体精炼技术。开发复合精炼剂与电磁搅拌协同动态精炼工艺，控制熔体氧含量 $\leq 5\text{ppm}$ 、氢含量 $\leq 0.5\text{ppm}$ ，确保合金成分偏差控制在 $\pm 0.05\%$ 以内，为后续加工提供高品质铸锭。

3. 热轧在线固溶与组织均匀化控制技术。在 $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 条件下均匀化加热，结合多道次热轧工艺，研究轧制力、压下率与终轧温度的耦合关系，在线固溶处理，确保强化元素充分固溶，为后续形变热处理提供理想的初始细晶组织。

4. 形变热处理细晶组织精确控制技术。研究预冷轧变形量（20%~60%）与多级时效工艺（ $350 \sim 500^{\circ}\text{C}/2 \sim 8\text{h}$ ）对再结晶行为与析出相演变的影响，建立形变-热处理工艺窗口，实现晶粒度 $\leq 8\mu\text{m}$ 的稳定控制。

5. 高精度板形控制技术。通过有限元模拟优化轧制工艺，结合高精度板形辊、喷射梁冷却与拉弯矫直技术，综合控制带材平

直度与残余应力，确保厚度偏差 $\pm 0.005\text{mm}$ 、平整度 $\leq 0.5\%$ 的高精度板形质量。

二、核心技术指标

铜合金带材规格： $0.08-1.0 \times 420\text{mm}$ ；弹硬状态、表面光滑、纹路一致；抗拉强度达到 $520 \sim 630\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 545\text{MPa}$ ，硬度： $160 \sim 195\text{HV}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ；导电率 $\geq 38\%\text{IACS}$ ， 90° 折弯 $R/T=0$ ，晶粒度 $\leq 8\mu\text{m}$ ；应力松弛率 $150^\circ\text{C} \times 1000\text{h}$ ： $\leq 15\%$ 。

方向 53：高强韧铸造铝合金研发及其在大型包装装备中的示范应用

一、主要研究内容

1. 新型高强韧铸造铝合金成分优化设计与强韧性调控。探明合金成分及铸造工艺参数对凝固组织、结晶相及偏析等的影响规律，阐明合金元素对合金时效行为和合金强韧化的影响机制，揭示热处理工艺对合金强韧化的影响机制。

2. 新型高强韧铸造铝合金中试关键技术。开展中试关键技术研究，开发高强韧铸造铝合金热处理规范；综合合金成分设计及热处理工艺规程，制定中小批量生产工艺规范。

3. 新型高强韧铸造铝合金典型样件及包装箱整体综合性能评估。基于合金成分优化设计及热处理工艺研究，开展新型高强韧铸造铝合金样件试制，并按照工艺实况整体拼装；开展相应的强韧性、焊接性及气密性等性能评估。

二、核心技术指标

（1）铸锭质量指标：杂质总含量 $\leq 1.0\%$ ，单一杂质含量 $\leq 0.15\%$ ，微合金元素总量 $\leq 0.6\%$ ，晶粒尺寸 $\leq 50\mu\text{m}$ ，熔炼后氢含量 $\leq 0.15\text{mL}/100\text{g}$ ；（2）样件力学性能指标：铸态铝合金抗拉强度 $\geq 280\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 180\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 6\%$ ；热处理状态抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 250\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ；焊接系数 $\geq$

0.85; (3) 样件尺寸指标: 铸件最大尺寸 810mm*880mm*总厚度 42mm, 最薄壁厚 4.5mm; (4) 包装箱气密性及量产指标: 在 10kPa $\pm$ 0.5kPa 的初始压差下, 静置 10 天, 压强下降不超过 0.5kPa (5%), 包装箱年产 3000 套以上。

方向 54：不锈钢/低碳钢复合板制备技术研发与应用

一、主要研究内容

1. 不锈钢/低碳钢复合板生产工艺攻关。攻关不锈钢与碳钢直接焊接封装高效制坯工艺、非对称轧制异钢种均匀加热工艺、复合坯界面高强度结合等关键核心技术，实现不锈钢/低碳钢复合板的高效、稳定规模化生产与供应。

2. 不锈钢/低碳钢复合板服役性能评估与优化。与钢材生产企业联合开发厚度 5mm 不锈钢/低碳钢复合板，研究其在铁路货运环境下的磨损性能、耐蚀性能，建立材料性能随服役时间、环境变化的演变模型。

3. 不锈钢/低碳钢复合板应用技术攻关。攻关开卷矫平无分层剥离、折弯及模具压弯无裂纹、焊接接头疲劳强度不低于母材强度等技术，提升在铁路货车制造中的适用性与可靠性。

4. 新一代铁路漏斗车样机研制。以不锈钢/低碳钢复合板应用为核心，对既有 70t 级铁路漏斗车进行技术性能提升，研制新一代铁路漏斗车。

二、核心技术指标

不锈钢/低碳钢复合板材料全厚度屈服强度 $\geq 450\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 550\text{MPa}$ ，剪切强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，结合率 $\geq 98\%$ ；非对称复合

坯直接轧制成功率 $\geq 95\%$ ，界面结合强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，复合板厚度精度控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ ；开卷、校平过程中分层发生率控制在 1%以下，折弯和模具压弯裂纹发生率降低至 5%以下；完成 TE4003C5 材料焊接接头在铁路货车许用应力下的疲劳性能测试（ $\geq 2 \times 10^6$ 次），焊接接头强度不低于母材强度；不锈钢覆层厚度不低于 0.5mm，车辆制备材料成本相较不锈钢降低 30%。

方向 55：输氢管网特种球阀抗氢蚀材料及高可靠性关键技术攻关与应用示范

一、主要研究内容

1. 输氢球阀用材失效机理及表面处理。针对氢脆、磨损、应力耦合失效，构建碳钢、双相不锈钢等材料的氢环境适用性评价体系；研发抗氢渗透耐磨损协同的梯度涂层，解决抗氢蚀材料技术难题。

2. 颗粒冲蚀损伤研究与预测。分析氢气中固体颗粒对密封副的冲蚀机理，获取流场特征与颗粒冲蚀能量分布，明确颗粒参数对冲刷速率的影响，为密封设计提供依据。

3. 密封副结构优化与补偿。研究氢环境下材料力学性能退化规律，优化密封副可靠性补偿结构，为阀体设计与寿命量化提供支撑。

二、核心技术指标

氢脆敏感性符合 GB/T 34542.3-2018 标准，采用圆片压力试验（DPT）测定的氢脆敏感度系数 ≤ 1.0 ，材料的断裂韧度及疲劳裂纹扩展速率按照 GB/T 34542.2-2018 标准，断裂韧度值不小于 $70\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ ，疲劳裂纹扩展速率， $\Delta K=25\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ 时， da/dN 小于 0.00506；球体、阀座密封面涂层/镀层硬度不低于 HV500-700，涂层/镀层厚度大于等于 $300\mu\text{m}$ ；预测区域与实验区域冲蚀深度

排序前 80%区域的 $\text{IoU} \geq 0.3$ ，或修正后的 $R^2 \geq 0.6$ ，取更优的指标作为验收依据；阀门密封性能满足 GB/T 13927-2022 中 A 级的要求，阀门寿命试验符合 API 6D 附录 F 中规定的要求。

方向 56：高性能高碳刹车盘组织调控与数字化铸造关键技术研究及工程应用

一、主要研究内容

1. 高性能高碳刹车盘材料成分设计。研究主要合金元素 C、Si、Mn、Cu、Mo 等对石墨析出行为、共晶组织转变及珠光体稳定性的影响规律，以此优化元素配比获得目标微观组织。

2. 高碳刹车盘孕育处理调控石墨形态。研究孕育处理工艺对石墨形态及占比的影响规律，揭示孕育过程中石墨形核与生长动力学机制，阐明复合孕育剂在高碳铁液中的反应行为及其对 A 型石墨核心形成的诱导作用，实现 A 型石墨比例可控（占比 $\geq 70\%$ ）且分布均匀的制备技术突破。

3. 高碳刹车盘铸造工艺与浇注系统设计。开展基于数值模拟的铸造工艺与浇注系统优化研究，研究铸造工艺参数及浇注系统结构对熔体流动与凝固行为的影响，通过优化铸造工艺和结构设计实现高碳刹车盘平稳充型与均匀凝固。

二、核心技术指标

石墨长度级别 A3-A5，A 型石墨占比 $\geq 70\%$ 。珠光体含量 $\geq 90\%$ 。抗拉强度 $\geq 170\text{MPa}$ ，楔压强度 $\geq 130\text{MPa}$ 摩擦面硬度 $\geq 180\text{HB}$ ，制动面和安装面硬度差 $\leq 15\text{HB}$ ；高碳刹车盘通过 X 射线无损检测，要求内部无缩松，气孔，夹渣等缺陷；高碳刹车盘厚度差(DTV)

要求周向等厚 $<0.006\text{ mm}$ 、径向等厚 $<0.05\text{ mm}$ ，DTV 增长量 $\leq 0.01\text{ mm}$ ；制动面跳动值应小于 0.02 mm ；制动力矩波动率（BTV）应小于 20%；台架实验中，高碳刹车盘满足 250 个循环（500 次制动）无穿透裂纹，且不得有任何形式的周向裂纹，安装区域不允许出现裂纹。

四、预期经济与社会效益

方向 57：高纯净高碳铬铁冶炼关键技术 研发及产业化

一、主要研究内容

1. 熔剂球团冶金性能与反应动力学研究。研究白云石等熔剂添加量对球团性能的影响，通过微观观察分析矿相衍变与元素分布迁移，揭示铬铁矿熔剂性球团固结机理。

2. 多源信息融合的铬铁冶炼智能配料系统研发。基于大数据与机器学习，整合原料参数，多目标优化配料比例，实时输出配比方案并反馈调整，提升原料利用率与工艺稳定性。

3. 多物理场耦合模拟及与还原反应的关联机制研究。耦合传热流场子系统建立数值模型，结合热力学与模拟数据，探究温流场对铬铁氧化物还原效率的作用机制。

4. 冶炼渣系多组分协同热力学调控与耦合计算。用 FactSage 建立渣系模型，单多变量分析，探究渣系热力学行为，揭示成分交互对渣系流动性、铬还原能力的影响。

5. 数据驱动的矿热炉电极智能控制与节能优化。多传感器采数据，机器学习建模调电极参数，优化供电曲线，建电耗-参数模型，实现智能调控与电耗反馈控制。

二、核心技术指标

球团抗压强度 $>1000\text{N/个}$ ，还原度 $>65\%$ ；金属 Cr 回收率 $\geq$

91%；洁净度控制： $[P] \leq 0.02\%$ 、 $[S] \leq 0.03\%$ ；冶炼能耗 $\leq 3150\text{kWh/t}$ ；多源传感数据实时采集完整性 $\geq 95\%$ ，电极深度预测误差 $\leq \pm 8\text{mm}$ ，功率曲线预测偏差 $\leq \pm 3\%$ ；电极闭环响应时间 $\leq 3\text{s}$ ，极心圆功率密度波动率 $\leq \pm 5\%$ ，电弧稳定运行占比 $\geq 95\%$ 。

方向 58：氢燃料电池超薄无涂层不锈钢 双极板关键技术研发

一、主要研究内容

1. 研究高耐蚀、高强度、高延展性不锈钢成分设计，形成高洁净无涂层双极板用不锈钢基材控制工艺开发高平直度超薄不锈钢带材成形工艺与控形控性技术；

2. 研究难变形无涂层不锈钢极板辊压复合成形机理，研制微细流道专用辊压复合成形模具，开发无涂层不锈钢极板辊压复合成形工艺与缺陷调控技术；

3. 开发基于功能特征-工艺约束的双极板精确建构设计制造一体化技术，建立耦合精度与均匀性的形成质量调控评价技术，研制无涂层不锈钢双极板产品并完成测试验证。

二、核心技术指标

1. 开发无涂层双极板不锈钢基材，厚度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，延伸率 $\geq 25\%$ ，抗拉强度 $\geq 450\text{Mpa}$ ，表面绝对平直度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，表面粗糙度 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ ，盐雾腐蚀 $\geq 240\text{h}$ 后表面无锈蚀；

2. 开发无涂层双极板，微细流道深度 $\geq 0.25\text{mm}$ ，流道周期 $\leq 1.4\text{mm}$ ，流道侧壁倾角 $\leq 25^\circ$ ，活性区占比 $\geq 56\%$ ，耐腐蚀性 $\leq 0.7\ \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

方向 59：高效维生素 D 合成紫外 LED 便携面光源光疗设备研发与应用

一、主要研究内容

1. 窄带紫外 LED 高效面光源技术。研究紫外 LED 峰值波长、半波宽、噪声波长等参数，分析测算紫外 LED 有效光谱、去噪方案与合成效率的关系，提出面光源有效光谱作用于人体皮肤维生素 D 合成效率的计算方法。

2. 新型耐紫外材料叠层均匀出光技术。研究聚四氟乙烯、环状嵌段共聚物、石英玻璃等材料特性，实现高强度、高耐久、高均匀性出光面板设计。通过光学模拟，设计光源阵列，辅以耐紫外镜面反光材料，实现光室内部的光场均匀漫反射。

3. 紫外 LED 低剂量面光源调控技术。研究优化硬件电路最小功耗、优化软件功耗逻辑，实现最小功耗热管理。研究温度采集冗余设计，实现温度自检分析。设计光衰动态补偿、驱动参数动态调整和闭环监听方案，实现紫外 LED 单灯独立恒流驱动方式的稳定可靠运行。

二、核心技术指标

面光源峰值波长为 $297\text{nm} \pm 3\text{nm}$ ；紫外辐照平均强度为 $8 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \pm 10\%$ ，不均匀度应不大于 $\pm 10\%$ ，不稳定性应不大于 $\pm 5\%$ ；面光源有效光谱维生素 D 合成效率应不小于 90%；运行温度超过

41℃报警并停止光疗；静电放电抗扰度防护满足接触放电防护 $\pm 6\text{kV}$ 、空气放电防护 $\pm 8\text{kV}$ ，辐射发射满足 30MHz ~ 230MHz 低于 40db uV/m、230MHz ~ 1GHz 低于 47db uV/m，工频磁场抗扰度要求在试验频率 50Hz、试验等级 3A/m 时工作正常；有效使用寿命为 5 年，衰减后的光功率不低于初始 80%；

方向 60：400kg 大公斤级蓝宝石单晶生长 关键技术攻关和应用示范

一、研究背景及意义

蓝宝石单晶是 LED 衬底、Mini/Micro-LED 显示、高端军工等领域的关键基础材料，全球 LED 衬底市场中蓝宝石占比超 90%。当前，400kg 级以上低位错高质量蓝宝石单晶生长技术是国内新型显示、高端军工原材料自主可控的“卡脖子”瓶颈，传统 50~200kg 级技术已无法满足产业降本增效与高端需求。

山西省重点布局半导体产业链，培育了山西鼎芯（填补国内 8-12 英寸大公斤级衬底空白）、日昌晶、源瀚等领军企业，具备产业基础优势。本项目紧密围绕国家“四个面向”战略需求，突破大公斤级高品质蓝宝石制备瓶颈，可打破国外高端产品垄断，提升我国半导体材料自主可控能力，同时助力山西省构建“煤-电-高纯铝-蓝宝石-半导体器件”全产业链，推动转型发展。

二、主要研究内容

1. 基于泡生法的大公斤级蓝宝石单晶 C 向生长工艺。开发 C 向生长导向的分段式泡生工艺，配置侧部-底部双发热体并实施协同控温，研究通过动态调节手段精准控制固液界面形态，优化热场局部参数，调控大公斤级蓝宝石单晶生长过程的稳定性与连续性。

2. 混合气氛与晶体生长过程的协同调控工艺。基于气氛-熔体体系热动力学原理，设计 Ar/CO/CO₂ 混合气氛方案，开展与长晶过程的协同调控工艺研究，优化气氛组分配比及动态补给方式，抑制热场材料碳挥发与原料分解，减少熔体杂质引入。

3. 大公斤级蓝宝石单晶生长-原位退火协同工艺。开发生长-原位退火协同工艺，在大单晶生长收尾阶段，分析通过精准调控炉内温场分布，构建生长过程与退火处理的无缝衔接模式，研究单晶内部应力调节路径，优化单晶结构完整性相关参数。

三、核心技术指标

实现 400kg 大公斤级蓝宝石晶体生长制备，晶锭底径 $\geq 500\text{mm}$ ，高度 $\geq 570\text{mm}$ ，纯度 $\geq 99.999\%$ ，晶体位错密度 $\leq 900/\text{cm}^2$ ，XRD 摇摆曲线半峰宽 $\leq 30\text{arcsec}$ ，400 ~ 800nm 波段透过率 $\geq 80\%$ ，弱吸收 $\leq 50\text{ppm}/\text{cm}@1064\text{nm}$ ，介电常数区间 [7-8]@1575MHz，晶体产出良率 $\geq 90\%$ ，晶体生长能耗 $\leq 100\text{kWh}/\text{kg}$ 。

四、预期经济与社会效益

项目达产后预计新增年产值 2000 万元，实现高端蓝宝石衬底国产化替代，降低下游 Mini/Micro-LED、军工等产业成本，提升我国高端蓝宝石材料全球市场竞争力。带动山西省半导体材料产业集群发展，培养高端科技人才并创造就业岗位；

五、建议人及建议单位

建议人：肖燕青

建议单位：山西鼎芯晶体材料有限公司

方向 61：高性能低碳环保玻璃纤维 研发与应用

一、主要研究内容

1. 关键组分配比优化。深入研究硅、铝、钙、玻纤废丝等关键组分的配比对玻璃纤维力学强度、化学稳定性、耐热性等的影响规律。系统分析硅、铝含量与玻璃纤维的硬度、柔韧性和耐温性能的内在关系。

2. 固废组合协同效应研究。建立固废添加比例、基础组分与玻璃纤维性能关系的预测模型，攻克废丝与煤矸石不同组合在玻璃纤维配方中的协同效应难题，探索最佳的固废组合方案。

3. 短切纤维工艺优化。研究短切纤维“形态精准控制—干燥能效提升—性能协同优化”之间的关系，结合多尺度数值模拟技术，对工艺参数进行优化，实现高性能短切纤维的高效率、低能耗和精准可控制备。

4. 复合材料性能提升。研究短切纤维长度分布、表面状态、分散均匀性与复合材料性能之间的关系，明确浸润剂与复合材料中关键组分的相互作用机制，突破玻纤增强聚酰胺材料界面强化，实现复合材料的高强高韧。

二、核心技术指标

技术指标：玻璃纤维浸胶纱拉伸强度 ≥ 3000 MPa，纤维直径

10 ~ 17 μm , 直径偏差 $\leq 3 \mu\text{m}$; 玻纤增强热塑性复合材料的拉伸强度 $\geq 200\text{MPa}$, 弯曲强度 $\geq 300\text{MPa}$, 冲击强度 $\geq 13\text{KJ/m}^2$; 煅烧高岭土年利用量约 4000 吨左右; 玻璃纤维废丝使用掺入比例 $> 5\%$ 。

方向 62：喷射超高性能混凝土成套技术 研发及工程示范

一、主要研究内容

1. 多尺度材料设计与施工性能协同机制。探究胶凝材料体系、减水剂、速凝剂和流变剂对 S-UHPC 水化与强度影响机理。建立材料组成、钢纤维、速凝剂和流变剂与可泵性、可喷性、流变性等工作性能的关系。

2. 界面粘结与失效机理。研究界面剂引入、以及界面剂选择、界面糙化等因素对 S-UHPC-既有混凝土界面的粘结性能的影响；建立 S-UHPC-既有混凝土界面塑性极限模型。

3. S-UHPC 材料-工艺-装备动态耦合成套技术。开发或优化现有喷射及工作面修整设备，合理调控喷射工艺（压力/角度/距离），形成材料-工艺-装备动态耦合成套技术。

二、核心技术指标

S-UHPC 弹性模量 $\geq 40\text{GPa}$ ，28d 抗压强度 $\geq 120\text{MPa}$ ，28d 抗拉强度 $\geq 7\text{MPa}$ ；氯离子扩散系数 $\leq 0.20 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ ，抗硫酸盐等级不低于 KS150，28d 总收缩 $\leq 600\mu\epsilon$ ，冻融循环 300 次无质量和强度损失；界面粘结强度：非结构作用型： $\geq 0.8\text{MPa}$ ，结构作用型： $\geq 2.0\text{MPa}$ ；最大水平泵送距离 $\geq 50\text{m}$ ，最大竖直泵送距离

≥ 20m, 喷射效率: 3 ~ 4 m³/h, 回弹率 ≤ 3%。额定工况下连续稳定工作时间 ≥ 4h; 泵送系统使用寿命 ≥ 500h; 可在温度-10℃ ~ 40℃、湿度 ≤ 90%环境下稳定运行。

方向 63：面向高舒适生物防护服的纳米纤维膜 宏量可控制备技术及应用研究

一、主要研究内容

1. 纳米纤维膜结构设计及“过滤-透湿-透气”协同机制研究。研究纳米纤维膜的多层结构设计及各层材料选择对防护性和舒适性的影响；开发纳米纤维功能化原位改性技术，研究功能性粒子在有机纤维中的分散性和界面相容性对纳米纤维膜成膜性、力学强度等性能的影响规律。

2. 多层纳米纤维膜宏量制备技术研究。开展无针头静电纺丝宏量化制备技术攻关，解决多层膜的层间兼容性和各层纤维均匀性问题，实现多层膜的功能需求（过滤、透湿、透气、抗菌、导热）；开发无胶黏剂电场诱导复合技术，解决膜质量稳定性问题，实现米级多层纳米纤维功能复合膜的制备。

3. 生物防护服成型工艺-性能协同验证。采用宏量制备的米级尺寸多层纳米纤维膜为主材，研究成型方式、加工工艺对防护服防护性能和舒适性能的影响，实现生物防护服的一体化成型。

二、核心技术指标

纳米纤维膜的有效幅宽 $\geq 1.5\text{m}$ （GB/T 4666-2009），过滤效率 $\geq 99\%$ （YY 0469-2011），透湿率 $\geq 8000\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ （GB/T

12704.2-2009)，透气量 $\geq 10\text{mm/s}$ （GB/T 5453-1997），抗静水压 $\geq 5\text{kPa}$ （GB/T 4744-2013），杀菌率 $\geq 95\%$ （GB/T 20944.3-2008），单位克重 $\leq 180\text{g/m}^2$ （GB/T 24218.1-2009）。

方向 64：基于全封闭微流控技术的无菌快速检测系统开发

一、主要研究内容

针对目前生物药质量控制及放行检测缺乏无菌快速检测方法的行业痛点，利用“封闭式设计+多模态传感”融合技术，通过全封闭微流控芯片与多重实时荧光定量核酸扩增检测（RT-qPCR）联用，开发全封闭、自动化、一体化的无菌快速检测系统。开展无菌检测多重 RT-qPCR 方法研究，包括核酸纯化、引物探针设计、反应条件优化等；开展无菌检测多重 RT-qPCR 方法微流控系统集成研究，包括芯片设计、全流程无菌控制系统性验证及性能评估；开展无菌快速检测系统在生物药企质检的适用性验证工作。

二、核心技术指标

完成无菌检测多重 RT-qPCR 方法研究，覆盖度超 6 万种（亚种）细菌、5 千种（亚种）真菌，检测灵敏度 <100 CFU，专属性实现与常见的工程细胞基因组、支原体无交叉，细菌与真菌无交叉，细胞基质无干扰；完成无菌检测多重 RT-qPCR 方法微流控系统集成研究，检测时长 <1 小时，仪器生成数据完全符合 21 CFR Part 11 法规要求及 GMP 管理规范；建立无菌快检系统及芯片生产工艺及质量标准；联合中检院等官方机构在至少 5 家生物药企业完成无菌快速检测方法的验证；获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 65：下肢功能障碍患者康复助行机器人研发及应用示范

一、主要研究内容

针对失能老人和肢体残疾人群康复和助行需求，采用运动传感控制技术、表面肌电信号采集技术、中频电肌电刺激控制释放技术、步态评估技术等研发一款针对肢残患者辅助康复和助行机器人，申请国家二类医疗器械注册证。开展外骨骼机器人结构模型设计、人体运动传感系统、表面肌电信号的动作识别系统、步态训练系统、控制系统等外骨骼机器人功能性研究；开展外骨骼机器人安全性研究及外骨骼机器人临床测试研究；开展脑卒中偏瘫患者康复训练的临床应用研究。

二、核心技术指标

完成下肢功能障碍患者康复助行机器人研发，获得国家二类医疗器械注册证。下肢康复外骨骼具备不少于 6 个主动关节，总重量不超过 20kg，单关节助力扭矩达到 $120\text{N} \cdot \text{m}$ ；实现 3 种运动模式（助力模式、主动康复模式和防摔保护模式）、4 种人机交互信息；人体运动意图识别系统对 3 种运动模式进行及时预判，参数识别准确率 $\geq 98\%$ ，识别延时 $< 60\text{ms}$ ；临床测试 ≥ 300 例，治疗周期相比传统疗法缩短 10% 以上；产品在 6 家以上三甲医院或者康养中心示范应用；获得发明专利 ≥ 1 项、软件著作权 ≥ 2 项。

方向 66：多模态深度融合的低场强 MRI 图像智能升级系统开发与应用示范

一、主要研究内容

针对低场强 MRI 临床图像质量欠佳的问题，开发多模态深度融合的低场强 MRI 图像智能升级系统，申请国家二类医疗器械注册证。主要开展基于生成对抗网络（GAN）的图像增强模型的研究；开展多阶段训练策略研究；开展多模态特征提取与融合算法研究；开展智能升级系统研发与应用。

二、核心技术指标

完成多模态深度融合的低场强 MRI 图像智能升级系统研发，获批国家二类医疗器械注册证。图像信噪比提升 $\geq 30\%$ ，分辨率提高 $\geq 20\%$ ，5 分制主观评分提升 ≥ 2 个等级；模型与算法处理准确率 $\geq 90\%$ ，重复运行标准差 $\leq 5\%$ ，单张图像处理时间 ≤ 5 秒；多模态特征召回率 $\geq 85\%$ ，关键信息完整度提升 $\geq 30\%$ ；支持 ≥ 3 种主流格式（DICOM、NIfTI 等），兼容基层医院 PACS/HIS 系统，稳定性达 98%；产品在 5 家以上医疗机构完成不少于 500 例临床验证，诊断符合率提升 $\geq 20\%$ 。获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 67：治疗儿童心衰的改良型新药的研发

一、主要研究内容

针对儿童心衰缺乏有效治疗药物的问题，研发沙库巴曲缬沙坦钠干混悬剂，申请国家化学药 2.2 类新药临床试验批件。开展药物溶出研究，主要包括原料药溶解度研究、药物溶出处方变量研究、药物溶出工艺变量研究等；开展产品稳定性研究，主要包括原辅料相容性研究、影响药物稳定性的处方变量研究、影响药物稳定性的工艺变量研究、包材筛选及包装产品稳定性研究等；开展药物非临床研究，重点是自研制剂与原研制剂的 PK 一致性研究。

二、核心技术指标

完成沙库巴曲缬沙坦钠干混悬剂临床前研究，获得国家化学药 2.2 类新药临床试验批件。制剂生产工艺稳定可控，产品质量符合标准要求，含量 95.0%-105.0%，杂质 900-04 $\leq$ 0.3%，未知单杂 $\leq$ 0.2%，总杂 $\leq$ 0.5%，抑菌剂含量 80.0%-120.0%，水分不超过 3.0%，pH 值 4.5-5.5，沉降体积比 $\geq$ 0.90；自研制剂与原研制剂的 PK 一致性结果（C_{max}、AUC_{0-t}、AUC_{0-∞}）可支撑开展人体 PK 研究；产品稳定性能够支持货架期不低于 24 个月，加水配液后稳定性能够支持在 14 天内溶液稳定；获得国家发明专利 $\geq$ 1 项。

方向 68：头颈部肿瘤放疗用多模态适配型 口腔支架产品的研发及应用

一、要研究内容

针对头颈部肿瘤放疗过程中缺乏高精度、高舒适性成品口腔支架和高效率定制性支架的问题，研发多模态适配型口腔支架，申请国家二类医疗器械注册证。建立口腔解剖数据库并开展模型研究；开展口腔支架材料的筛选与性能研究，主要包括拉伸强度、压缩强度、疲劳测试等机械性能和热性能、耐腐蚀性、孔隙率等理化性能表征研究；开展口腔支架生物安全性研究，主要包括细胞毒性、植入反应、致热原性等内容；开展口腔支架抗辐射性能研究。

二、核心技术指标

完成多模态适配型口腔支架产品研发，兼具个性化与批量化优势，支持推舌、压舌、颊黏膜防护三模式切换，获得国家二类医疗器械注册证，并在 3-5 家三甲医院开展示范应用。拉伸强度 $\geq 25\text{MPa}$ （辐照后 $\geq 20\text{MPa}$ ），压缩强度 $\geq 80\text{MPa}$ ，疲劳测试在 50N 载荷下 ≥ 105 次循环无断裂；生物相容性通过 ISO 10993 全项认证（含遗传毒性阴性报告）；经 50kGy 辐照后，抗辐射性能中拉伸强度下降 $\leq 15\%$ 、表面形貌 Ra 变化 $< 10\%$ 、辐射后浸提液细胞存活率 $\geq 70\%$ （L929 细胞）；获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 69：用于毛发增量的重组 XVII 型人源化胶原蛋白产品研发

一、主要研究内容

基于重组 XVII 型人源化胶原蛋白关键技术，研发可用于毛发增长的重组 XVII 型人源化胶原蛋白冻干纤维，申请国家三类医疗器械注册证。开展生产工艺研究，主要包括人体 XVII 型胶原蛋白特定序列筛选与蛋白表达、小试和中试工艺研究、质量标准建立；开展作用机制研究，通过细胞模型发现毛发增长调控基因，通过动物模型验证 rhCol XVII 对斑秃动物毛发生长作用；开展生物安全性评价，确定 rhColXVII 的生物安全性；开展临床试验研究，审批与注册临床试验伦理，招募受试者开展临床安全性及有效性评价。

二、核心技术指标

完成用于毛发增量的重组 XVII 型人源化胶原蛋白冻干纤维研发，获得国家三类医疗器械注册证。新型重组人源化胶原蛋白氨基酸序列 100%人源化，纯度 $\geq 95\%$ ，无菌、低内毒素，具三螺旋结构，CD 谱图在 180-340nm 范围的圆二色远近紫外吸收；重组人源化胶原蛋白产品生物相容性可满足三类医疗器械注册证书申报要求；重组人源化胶原蛋白治疗脱发、毛囊萎缩的临床应用安全，有效率 $\geq 50\%$ ；获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 70：基于光生物调控技术的干性老年性黄斑变性治疗仪的研制

一、主要研究内容

针对干性老年性黄斑变性治疗设备在病灶实时定位与精准光照方面的技术瓶颈，开发基于光生物调控技术的国产干性老年黄斑变性智能治疗仪，申请国家二类医疗器械注册证。开展黄斑病灶智能化实时追踪与精确定位技术研究；开展光生物调控专用高均匀性面型光源研究；开展靶向精准光能递送机制与调控系统研究；开展光生物调控智能治疗系统一体化集成系统研究。

二、核心技术指标

完成基于光生物调控技术的干性老年性黄斑变性治疗设备研发，获得国家创新二类医疗器械注册证。光源实现 590nm、660 nm、850 nm 三波长组合；光照模式实现基于机器视觉+AI 定位的病灶实时跟踪，动态调整光照区域；面型光源设计 $\geq 85\%$ 均匀性，靶向照射精度 $\leq 100\ \mu\text{m}$ ，实现动态成像投送；光功率密度在 $5 - 65\text{mW}/\text{cm}^2$ 范围可调；支持脉冲调制与占空比优化，匹配个性化治疗需求。获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 71：绿色酶法制备头孢羟氨苄 关键技术开发及产业化

一、主要研究内容

针对化学合成头孢羟氨苄工艺路线冗长、能耗高及三废排放多等问题，开发酶法制备头孢羟氨苄技术并实现产业化，提交头孢羟氨苄酶法制备工艺变更资料，申请国家原料药登记号。开展以 D-对羟基苯甘氨酸甲酯作为酰基供体固定化青霉素酰化酶催化制备头孢羟氨苄的工艺研究；采用在线结晶过程分析技术，开展药品微观尺度晶型工艺控制研究；开展结晶母液中有效成分 7-ADCA 与 D-对羟基苯甘氨酸回收工艺的开发，制定可行工业化路线和车间改造方案。

二、核心技术指标

完成酶法制备头孢羟氨苄技术研究，提交酶法制备工艺变更资料，获得国家药品监督管理局药品审评中心（CDE）原料药登记号。酶催化温度在 $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 即可完成反应，产品水分稳定在 4~5%，含量稳定 $> 99\%$ ；配套建成回收生产线和专属装置，7-ADCA 与 D-对羟基苯甘氨酸回收率达到 83% 以上。获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 72：硝酸甘油喷雾剂的开发

一、主要研究内容

通过处方、工艺、质量标准、药物有效性和安全性研究，提交硝酸甘油喷雾剂上市许可申请，获得化药 4 类首仿新药证书，实现工业化规模生产。主要开展处方筛选与优化、生产工艺研究和验证、质量标准研究、包材相容性研究、安全性试验及临床研究。

二、核心技术指标

完成硝酸甘油喷雾剂首仿药物开发工作，申请并获得商业化生产批件，实现工业化规模生产。完成产品处方工艺研究及工艺参数验证，技术指标不得低于与参比制剂，有关物质杂质 A、B、C 均不得超过硝酸甘油标示量的 0.5%，其他单个杂质不得超过硝酸甘油标示量的 1.0%，杂质总量不得超过硝酸甘油标示量的 3.0%；每喷平均重量应为 40.8 ~ 55.2mg ($48.0 \pm 15\%$)，每喷含硝酸甘油应为 0.32 ~ 0.48mg；制剂含硝酸甘油应为标示量的 0.79% ~ 0.87% (g/g)。建立原料药及内控质量标准，达到药典标准；产品的溶出曲线和稳定性考察结果与参比制剂一致；产品与参比制剂生物等效。

方向 73：名老中医临床经验方的医疗机构 特色制剂开发

一、主要研究内容

遴选省内中医医院临床应用 5 年以上且疗效确切的名老中医特色经验方，开展医疗机构中药制剂转化研发，申报 6 种医疗机构中药新制剂。开展中药材的质量标准、饮片炮制工艺及饮片标准研究；开展制剂工艺优化研究及 3 批以上样品中试生产验证；开展制剂质量标准及稳定性研究，建立样品质量控制体系；每种经验方收集临床病历，总结并凝练治法治则；按照医疗机构制剂审批要求，提交完整的制剂注册或备案资料。

二、核心技术指标

完成一批名老中医特色经验方的转化研究，获得至少 6 个医疗机构制剂批准文号。遴选不少于 6 首名老中医特色经验方，系统完成处方制备工艺、中试生产、质量标准及稳定性等研究，明确制剂工艺参数，建立制剂质量标准，形成 6 个医疗机构制剂注册或备案资料；每个制剂品种收集 100 例以上的临床诊疗病历，系统分析总结临床应用情况，形成临床疗效分析报告；获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 74：常见过敏原检测试剂盒的开发

一、主要研究内容

针对过敏诊断产品的临床和市场需求，开发 5 种以上常见过敏原检测试剂盒。开展过敏原抗原制备与优化研究，采用基因工程技术制备多种过敏原重组蛋白，对纯化抗原进行稳定性研究；开展试剂盒核心组分研究，包括磁微粒偶联方法开发，发光体系构建，优化发光底物浓度等；开展试剂盒性能验证与优化研究，包括精密度验证等；开展临床验证研究，收集过敏患者血清样本，与进口同类产品进行对比检测。

二、核心技术指标

完成一批常见过敏原检测试剂盒研发，获批至少 5 个国家二类医疗器械注册证。试剂盒检测灵敏度 $\leq 0.1 \text{ IU/mL}$ ，检测范围为 $0.1\text{--}100 \text{ IU/mL}$ ，批内/批间精密度 $\text{CV} \leq 10\%$ ，准确性与进口试剂盒检测符合率 $\geq 95\%$ ，检测时间 $\leq 45 \text{ min}$ ，特异性实现与常见交叉过敏原无交叉反应， $2\text{--}8^\circ\text{C}$ 效期 ≥ 12 个月；获得国家发明专利 ≥ 1 项。

方向 75：智能病理取材机器人的研发

一、主要研究内容

针对人工病理取材效率低、质量不稳定及对医师有伤害等问题，研制临床适配型全流程智能病理取材机器人，申报国家二类医疗器械注册证。构建“高效型小标本自动病理取材系统”，在确保标本安全、不丢失的情况下高效完成取材；突破“多模态识别-柔性夹持-无损切割”三大核心技术瓶颈，实现大标本从编码追溯、多模态智能识别、靶向定位夹持、柔性无损切割到包埋盒封装的全流程自动化。

二、核心技术指标

完成临床适配型全流程智能病理取材机器人的研发，实现从OID编码、识别、定位、切割、包埋、封装等病理取材全流程自动操作，获批国家二类医疗注册器械证。柔性夹持系统力控精度达 $\pm 0.1\text{N}$ 、机械臂重复定位精度达 $\pm 0.05\text{mm}$ ；多模态影像融合误差 $\leq 0.5\text{mm}$ 、热损伤 $\leq 50\mu\text{m}$ ；处理样本尺寸在 $1\text{mm}-5\text{cm}$ 之间、组织边界识别准确率 $\geq 95\%$ 、组织损伤率 $\leq 1\%$ ；单活检标本自动定位-切割-封装处理时间 $\leq 10\text{min}$ ；获得国家发明专利 ≥ 1 项、软件著作权 ≥ 2 项。

方向 76：交叉双旋翼无人直升机轻量化与自主控制关键技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

（1）铝镁合金轻量化技术。优化高性能铝镁合金成分与成型工艺，实现整机减重 $\geq 5\%$ ，并通过结构优化设计将减重效益转化为载重性能提升，实现载重能力提升 5% ；（2）多模态传感融合与自主导航避障技术。研发高精度环境感知与快速响应控制系统，增强飞行器在山区、矿区、城市应急等复杂地形与气象条件下稳定运行能力；（3）应用推广与标准体系建设。在完成起飞重量 600kg 级交叉双旋翼无人直升机验证的基础上，形成轻量化与智能控制两套可推广技术方案，在山西省不少于3个地市开展山区物流运输、矿区安全巡检、消防救援、乡村振兴等场景的示范应用，率先在垂直起降旋翼飞行器等低空领域推广，助力企业降本增效与自主能力提升。同步建立覆盖轻量化设计、材料工艺、智能控制等环节的团体标准体系，促进技术成果在低空经济领域的产业化推广。

二、核心技术指标

（1）轻量化性能指标：整机结构减重 $\geq 5\%$ ，载重能力提升 $\geq 5\%$ ；（2）感知与控制性能指标：环境感知精度 $\leq 5\text{cm}$ ，系统响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，可同时处理 ≥ 3 个动态障碍物，自主避障反应

时间 $\leq 50\text{ms}$ ；（3）示范应用指标：在山西省不少于3个地市，开展山区物流运输、矿区安全巡检、消防救援、低空旅游观光、乡村振兴等至少5类典型场景的示范应用；（4）标准建设指标：主导或参与制定5项团体标准，包括《无人直升机轻量化铝镁合金结构设计指南》《无人直升机轻量化材料选用规范》《无人直升机轻量化构件制造工艺规范》《无人机多模态传感融合系统技术要求》《交叉双旋翼无人机自主飞行控制规范》。

方向 77：面向大型客机应用满足过冷大水滴及冰晶防护要求的迎角传感器技术研究

一、主要研究内容

（1）迎角传感器气动设计技术研究。针对大型客机迎角传感器气动性能需求，开展迎角传感器风标气动设计、阻尼设计、角度传感器设计等，通过风洞试验验证，确保迎角传感器气动性能满足大型客机需求。（2）迎角传感器防除冰设计技术研究。

针对大型客机迎角传感器防除冰性能需求，开展迎角传感器风标加热器设计、法兰加热器设计，开展防除冰性能验证，性能满足大型客机需求。（3）迎角传感器适航性设计技术研究。针对大型客机迎角传感器取证需求，编制合格审定基础，形成合格审定计划，完成符合性验证工作。

二、核心技术指标

（1）功能性能指标。迎角传感器输出 2 路迎角信号；迎角传感器迎角测量范围： -100° -100° ；迎角传感器迎角测量精度： $\pm 0.25^{\circ}$ （ 0° $-\pm 45^{\circ}$ ）， $\pm 0.5^{\circ}$ （ $\pm 45^{\circ}$ $-\pm 100^{\circ}$ ）；迎角传感器阻尼及时间常数应符合 MIL-T-25627C 中的阻尼和时间常数要求；（2）环境试验指标。迎角传感器环境试验满足 RTCA/D0-160G《机载设备环境条件和试验程序》相关要求。（3）

防除冰验证。迎角传感器防除冰性能满足参照 FAA/EASA25 部规章中降雨、除冰、过冷水间歇性最大值、过冷水循环、冰晶、混合相态等相关验证要求。

方向 78：闪电高能信号对飞行器毁伤评估及防护措施的技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

(1) 构建高能放电实验平台。研制放电装置及配套设施，输出 1-5MV、上升沿 30ns 的电脉冲，模拟闪电先导过程，再现其产生高能电子/光子和强微波的物理环境。(2) 研究高能信号的产生与传播特性。测量高能伽玛射线的能谱与空间分布，测量微波的强度，掌握其在金属腔体中的传播规律。(3) 评估飞行器舱内损伤效应。通过法拉第笼模拟飞行器舱体，实测内部关键位置耦合的微波量值，评估高能粒子与微波对机载电子器件的损伤阈值。(4) 开发针对性防护措施。基于对高能信号耦合路径的理解，研究针对飞行器典型电磁端口的防护设计方法，为工程防护提供实验依据。

二、核心技术指标

(1) 放电装置运行指标：峰值电压 3-5MV、上升沿 30ns、峰值电流 200kA，以精确模拟闪电先导的放电条件。(2) 高能信号观测指标：在模拟飞行器的金属腔内，明确探测到能量不低于 10MeV 的光子信号，直接验证装置复现高能辐射的能力。(3) 屏蔽效能评估指标：定量评估典型飞行器蒙皮结构对高能光子的

屏蔽效能，要求实测衰减系数与理论模拟值的偏差在 $\pm 15\%$ 以内。

(4) 端口防护验证指标：实测封闭舱内的微波强度，采用复合材料吸收掉 40% 的微波能量。

方向 79：山西小米优质成因解析及利用

一、主要研究内容

以晋谷 21 号、长农 47 号等我省主要栽种的谷子品种为主要试验材料，在不同地点、不同土壤和不同海拔条件下，进行品质相关性状分析，并结合转录组和代谢组进行联合分析，解析山西小米优质成因。通过开展品种、土壤、海拔差异的多组学分析，品质关键候选基因的功能验证等研究，创制骨干优异种质，选育优质谷子新品种。

二、核心技术指标

明确基因网络、土壤微生物构成与优质小米之间的关联关系，明确核心基因，解析海拔高度在武乡小米优质形成中的作用。挖掘小米优质关键基因 3~5 个，对 1~2 个关键基因进行功能验证。明确优质武乡小米核心种植区 1~2 个。筛选优异种质 2~3 份。申请发明/实用新型专利 2~4 项。

方向 80：运城盐湖野生大豆种质资源利用及耐盐碱大豆新品种选育

一、主要研究内容

针对运城盐湖野生大豆资源开展收集工作，运用田间鉴定与分子生物技术相结合的方式，对所收集的野生大豆资源在耐盐性、品质等特性方面展开综合分析鉴定。同时利用运城盐湖野生大豆资源作为亲本开展杂交育种工作，通过回交选育、分子标记辅助育种、田间鉴定等方法创制一批耐盐碱等性状优异的大豆种质材料。利用选育的大豆高代稳定品系在运城盐碱地进行耐逆性、产量等鉴定；筛选耐盐碱大豆新品系参加区域试验，选育大豆新品种。对筛选的耐盐碱大豆品种及新品系进行示范种植；制定盐碱地大豆高产、高效栽培技术。

二、核心技术指标

参加区域试验品系 3~4 个，审定大豆新品种 1~2 个；创制耐盐碱地大豆种质资源 3~5 份，在山西运城盐碱地建立示范田 300~500 亩，示范亩产达到 180~200kg。

方向 81：旱作高品质南瓜育种及高效种植 关键技术与示范

一、主要研究内容

广泛征集南瓜种质资源并进行耐旱性及品质的鉴定与评价；应用远缘杂交、回交、倍性育种等技术创制耐旱、富含糖分、淀粉、果胶等成分的优质新材料，并利用高通量分子技术进行评价；依据南瓜遗传规律，应用杂交优势育种技术，聚合优异基因，配制南瓜组合，多点试验，利用基因表达水平法与形态指标及品质分析相结合，鉴定组合的耐旱性及品质，选育适合我省旱作的优质南瓜新品种；研究与品种相配套的旱作高效栽培技术；在忻州及大同等地旱作南瓜生产基地建立示范点，幅射推广耐旱品种的种植面积，提高旱作区南瓜种植效益；制定和完善南瓜杂交制种技术规程，建设良种良繁基地。

二、核心技术指标

搜集鉴定南瓜种质资源 200 份，鉴选优质耐旱种质材料 15 份以上，创制耐二级干旱且淀粉含量大于 6.5%、总糖含量达 6% 以上优异资源 5~6 份；鉴选挖掘与耐旱、粉糯、甜味、皮色、肉色等相关功能基因 5~10 个；申请或授权发明专利 1~2 项；配制优良杂交组合 20 个以上，育成耐二级干旱且淀粉含量大于 6.5%、总糖含量达 6% 以上，口感细腻粉糯、甜度高，旱作产量

达 1500 公斤以上的品种 2~3 个；研发旱作高效标准化栽培模式 1 套，出苗率达 85%以上，亩节约用工 1.5 个；制定南瓜制种高产栽培模式 1 项；建设新品种旱作示范基地 3000 亩。

方向 82：山楂种质创新及功能产品研发

一、主要研究内容

山楂种质资源的收集、保存与鉴定评价，对鲜食、药用、观赏等不同用途的山楂进行分类，通过杂交育种等实现种质创新及新品种选育。开展优良山楂新品种和优系的区域示范，建设优质高效标准化示范园，促进山楂现代化优质高效栽培技术推广应用。开展土肥水管理技术集约化、无人机等病虫害综合防控、树体改造技术等优质高效栽培技术集成示范。研究山楂采后生理调控、防腐保鲜、营养活性成分定向保持关键技术，研发高附加值产品。

二、核心技术指标

收集山西野生山楂种质资源 ≥ 8 份，评价山西主栽山楂品种及野生资源 ≥ 20 份，选育山楂新品种1~2个。形成山楂集约化配套栽培管理技术、病虫害防控技术1~2个。研发山楂贮藏技术1~2个，申报技术规程或成果评价1项，保障山楂产区贮藏经济效益。开发或提升山楂产后加工工艺2~3个，申报国家发明专利1~2个，开发深加工新产品2~3个。

方向 83：耕地质量大数据与智能决策系统构建

一、主要研究内容

收集山西省土壤质量相关历史数据和大规模遥感数据，包括土壤理化性质、养分含量、污染状况及土壤类型分布等信息，并结合覆盖全省范围的多源、多时相遥感数据（如高光谱、多光谱及雷达数据等），构建一个高精度、多尺度、全要素的山西省耕地质量大数据平台。在此基础上，进一步研发集成多种智能模型的耕地质量智能决策系统。综合考虑政府层面的宏观决策需求与农户实际生产中的具体问题，提供面向不同层级用户的耕地质量综合评估报告与精准优化方案。支持全省耕地质量的实时动态监测、空间格局可视化分析及长时序演变趋势预测，为耕地保护与农业可持续发展提供科学依据。

二、核心技术指标

建立山西省级耕地质量大数据平台 1 个，整合土壤属性、环境气候、农业生产、遥感监测及土地利用等数据种类 ≥ 5 类，数据记录 ≥ 1000 万条。提出耕地质量智能评价模型 2~3 个，模型精度 $\geq 85\%$ 。构建耕地质量智能决策系统 1 套，包括宏观尺度耕地质量“一张图”、空间格局分析、演变趋势预测、重大项目模

拟，与微观尺度地块肥力诊断、精准施肥/灌溉处方生成、作物适宜性推荐等功能。建成核心示范面积 500 亩，推广示范面积累计 ≥ 5 万亩，实现示范区化肥、农药投入减少 5%以上，作物产量平均提高 10%以上，每亩节本增收 100 元以上。

方向 84：抗生素消减耦合重金属阻控的 绿色功能有机肥创制与应用

一、主要研究内容

开展生物炭/铁基材料调控好氧堆肥技术研究，解析其对畜禽粪污中抗生素及其抗性基因的作用机制，创制绿色功能有机肥。探究功能有机肥对土壤中抗生素降解及抗性基因丰度的演变规律，明确其对重金属的调控机制，及对土壤肥力及微生物群落演变的影响作用。系统集成功能有机肥制备与土壤环境调控技术，针对不同作物，开展区域性、规模化推广应用，构建“研发-示范-推广”一体化应用体系。

二、核心技术指标

开发制备畜禽粪污耦合生物炭、铁基材料的绿色功能有机肥技术 1~2 套，研发新型有机肥 1~2 个，新型有机肥中典型抗生素消减率达 80%以上，抗性基因丰度降低 50%以上。新型有机肥施用后，示范区土壤典型重金属钝化率提高 20%以上，肥力提升 20%以上，亩产提高 10%~15%。制定技术规程或地方标准 1~2 项，申请发明/实用新型专利 2~4 项。

方向 85：改善果蔬风味的蛋白源活性小分子 有机肥创制与产业化应用

一、主要研究内容

以动物毛发、内脏等高蛋白废弃物为基础原料，研制开发“精准酶解+膜分离”工艺，构建复合酶解体系并进行配方优化，建立以氨基酸和多肽为核心的活性小分子有机肥提取工艺。根据果蔬营养特征，添加和复配不同微量元素和抗絮凝剂，建立“原料预处理-酶解-分离-复配”全流程产业化生产工艺和流程。在全省建立苹果、葡萄、番茄、草莓等试验示范基地，开展盆栽与田间对比试验，研究小分子有机肥对果蔬光合效率、糖酸代谢关键酶活性、风味物质的形成与影响，明确小分子有机肥改善果蔬风味的机理。集成“叶面喷施+根际滴灌”配套施用技术规程，在全省特优果蔬产区规模化应用。

二、核心技术指标

建立蛋白源小分子有机肥生产线 1 条，实现多肽含量占蛋白质物质 $\geq 80\%$ ，分子量聚焦于 2~9 肽的易吸收区间，生物活性提高 $\geq 50\%$ 。开发苹果、葡萄、番茄、草莓等专属小分子有机肥产品配方 4~5 个，在全省建立试验示范基地 200~300 亩，可溶性糖等风味物质含量提升 15~20%，果蔬商品性提升 $\geq 20\%$ 。

方向 86：促生抗逆合成微生物制剂研创与产业化应用

一、主要研究内容

通过高通量和宏基因组测序分析山西特优杂豆（红芸豆、绿豆和黑豆）根际土壤微生物群落结构特征与功能基因分布规律，基于采样策略与时空动态分析构建杂豆-微生物组的互作网络模型。利用高通量分离培养技术建成特优杂豆细菌种质资源库，靶向筛选促生抗逆核心功能菌株，通过共培养和多组学分析揭示其互作增效机制，构建高效合成菌群，采用 ^{15}N 同位素稀释法验证其促生固氮效果。以枝条为原料制备铁负载生物炭作为新型微生物载体，研发高效负载合成菌群的生物炭基合成菌剂。通过盆栽及大田试验，明确该合成菌剂对杂豆的促生抗逆效果与机制。开展制剂配方优化、产品稳定性评价等产业化研究，为实现该菌剂的大规模应用提供坚实的技术支撑。

二、核心技术指标

分离、筛选并保藏根际微生物菌株不少于 1000 株，建成山西省特优杂豆微生物种质资源库。构建精简型合成菌群(SynCom) 3~5 个，研发专用微生物制剂 3~5 个，其有效活菌数 $\geq 2 \times 10^8$ CFU/g。在 1~2 个典型县域开展应用示范，杂豆平均增产 5%~10%。

方向 87：特色主粮作物膜肥一体化减污增效研究与示范

一、主要研究内容

针对山西省不同地域玉米和马铃薯，开展智慧精准施肥系统配套的全生物降解功能地膜对比试验示范研究，筛选出有效使用寿命 60~90 天以上、稳定达到同期 PE 地膜产量水平的同一配方全生物降解功能地膜。配套全生物降解功能地膜，开展无人机等智慧精准施肥系统下的玉米、马铃薯减肥增效试验示范研究，总结两种作物不同生育期的生长养分需求规律，实现全生物降解功能地膜覆盖条件下的智慧精准施肥系统减污增效目标。

二、核心技术指标

不同地区玉米、马铃薯覆盖厚度 0.01mm、0.008mm 全生物降解功能地膜的有效使用寿命分别稳定达到 90 天和 60 天，水蒸气透过量 $\leq 300\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ 。全生物降解功能地膜玉米、马铃薯产量稳定达到同期 PE 地膜水平前提下，收获期进入降解诱导期，完全降解周期 1~2 年。智慧施肥系统比常规施肥实现节肥量 10% 以上、提高玉米、马铃薯产量 10% 以上。建立千亩示范基地 1~2 个，示范面积 5000 亩。授权发明专利 1~2 项或获批地方标准 1~2 项。

方向 88：胡麻富硒增效高值化生产关键技术集成及高光谱反演

一、主要研究内容

筛选出丰产宜机收胡麻品种，机收籽粒损失率应小于 5%，籽粒含杂率应小于 3%，籽粒破碎率应小于 2%，防缠绕合格率应不低于 95%。适量范围内，胡麻籽粒产量随硒肥浓度增加而增加。凝练出胡麻现蕾期、花期和灌浆期，叶面喷施适量硒肥，籽粒产量增加品质提升和胡麻包衣种植，产量增加的种植技术。利用高光谱反演模型，明确叶面喷硒胡麻抗逆性、提高产量增加机理。

二、核心技术指标

筛选丰产宜机收胡麻品种 2~3 个，建立胡麻增效增产关键技术 2~3 项，胡麻的体内富硒含量提升 15%。建立胡麻种植核心示范区 1~2 个，单个示范面积不低于 100 亩，示范面积不低于 2000 亩。制定标准 1~2 项，申请或授权发明/实用新型专利 2~3 项。

方向 89：特优农业辣椒新品种选育及全产业链关键技术研发与应用

一、主要研究内容

围绕辣椒全产业链，构建“育种—育苗—栽培—加工”全链条标准化生产体系。依托山西省特有品种资源选育优质抗病新品种。研究本土化基质配方和生物菌肥，用以替代进口基质和化肥型育苗肥，创制“全替代”育苗专用生物有机肥。研发高效缓解连作障碍的微生物有机肥，集成轻简化栽培技术。研究开发辣椒精深加工产品。

二、核心技术指标

选育适合山西省栽培的优质抗病辣椒新品种 2~3 个、研发辣椒育苗专用生物菌肥 1~2 种、研发高效缓解连作障碍的微生物有机肥 1~2 种、集成标准化生产技术 2~3 项、研发辣椒深加工产品 3~5 个，构建 1 套辣椒全产业链生产体系，建立示范基地 1~2 个，推广 5 万亩以上。

方向 90：山西特色农产品智慧酿造食养醋品 创制关键技术研究及开发

一、主要研究内容

基于菌种库资源制备强化曲，利用大数据和物联网技术优化传统酿造工艺，建立智能化生产参数库，研究食醋固态发酵关键监测指标、设备集成与调控发酵技术，集成实时监测与智能固态发酵控制系统。解析山西食醋中物质基础尤其是活性成分，通过体外/体内实验验证其调节肠道菌群、降脂、降血糖等健康功效和机制。同时，开展活性成分群解析及细胞与动物实验验证。针对特定人群（消化系统尚在发育期的儿童、肠道健康需要强化的中老年人群及三高人群）设计差异化配方，采用低温减压蒸馏等技术，结合风味调控技术开发低糖、高活性成分的新型醋产品。

二、核心技术指标

建立食醋高质化、标准化生产数据模型，完善智慧生产控制系统 1 套，形成双固态发酵食醋标准化新技术 1 套。完成食醋物质基础解析及活性成分功效验证，形成关键成分数据库 1 份。创制具有特定健康属性的食养新醋品 3~5 个。制定技术规程或地方标准 1~2 项，申请发明/实用新型专利 2~4 项。

方向 91：沙棘资源高值化利用关键技术及产业链协同创新示范

一、主要研究内容

创建沙棘果、籽油高效节能萃取、有害物脱除与品质稳定化工艺技术。聚焦沙棘果汁、沙棘油和沙棘果渣精深加工，分析沙棘黄酮、不饱和脂肪酸等功能成分，针对活性成分靶向提取及稳定性提升技术，开发功能性产品。建立沙棘精深加工产品的高值化、多样化利用和产业化技术和示范体系。

二、核心技术指标

形成沙棘果、籽油高效节能萃取、有害物质脱除与品质稳定化技术方案。开发沙棘功能饮品、沙棘油、果渣膳食纤维等健康食品 2~3 种。构建沙棘加工全过程质量控制技术方案 1 套。技术服务 1~2 个企业，建立沙棘精深加工产品的产业化技术合作示范。申请发明/实用新型专利 1~2 项。

方向 92：山西特色干果核桃优良资源功能 产品开发与应用

一、主要研究内容

系统收集以传统绵核桃为主的优良种质，检测次生代谢产物及矿质营养元素等功能性成分特征，构建包含农艺性状与功能成分的种质资源数据库。优选高油酸核桃、绵核桃等种质为原料，开发低温冷榨核桃油工艺，优化压榨温度与时间参数，重点提升 α -亚麻酸保留率，开发核桃精油固体胶囊产品、核桃多酚休闲食品及核桃粕制备小分子核桃肽。建设示范基地，配套建设小型功能产品加工车间，形成标准化生产规程，联合地方企业开展品牌推广，制定功能产品质量标准。

二、核心技术指标

收集特色干果核桃优良资源 80 份，筛选高油酸（ $\geq 35\%$ ）、高核桃多酚（ $\geq 8\text{mg/g}$ ）种质 5~6 份。研发冷榨核桃油、精油胶囊、多酚休闲食品以及核桃肽等加工工艺 4~5 项，形成终端产品 6~8 个；核桃油 α -亚麻酸保留率 $\geq 93\%$ ，核桃肽得率 $\geq 8\%$ 、生物利用率 $\geq 85\%$ 。建立示范基地 2~3 个，每个示范基地带动农户 ≥ 50 户，核桃亩均功能原料利用率提升至 80%以上。形成山西特色干果核桃优良资源功能产品开发技术标准 2~3 项，申请发明专利 2~3 项。

方向 93：猪伪狂犬病病毒新型基因缺失活疫苗及其 gE 和 gB 抗体诊断试剂盒的研制

一、主要研究内容

利用 CRISPR/Cas9 技术鉴定病毒新毒力基因。构建 PRV 变异株 gE、gI、TK 和新毒力基因缺失疫苗，评价该疫苗的免疫保护效果。建立生产用细胞种子批和疫苗毒种子批，完成生产工艺研究资料。完成产品质量研究资料，包括安全性、效力、免疫期、稳定性等评估。完成产品中间试制和符合实验：包括 PRV 基因缺失疫苗中试，实验室制品安全性检验，和缺失疫苗的检验。完成 gE 和 gB 抗体检测试剂盒的研制与临床评估。

二、核心技术指标

构建 PRV 变异毒株四基因或五基因缺失活疫苗，病毒效价不低于 10^8 PFU/毫升。PRV 新型基因缺失活疫苗诱导中和抗体的效价不低于 Bartha-K61 或其它遗传背景的活或灭活疫苗。能抵抗国内流行的变异毒株，保护效力不低于现有上市疫苗，且免疫持续期不低于 6 个月。研制出 PRV gE 阻断或竞争抗体 ELISA 检测试剂盒 1 种。研制出 PRV gB 阻断抗体或竞争 ELISA 试剂盒 1 种。申请发明专利 2~3 项。

方向 94：丘陵山区小杂粮智能精准播种机 关键技术研发与示范

一、主要研究内容

丘陵山区复杂地形的播种路径规划与导航技术研发。研发适应于不同小杂粮作物的模块化精准排种单元，开发播种参数智能调节的播种控制系统，重点突破小杂粮播量精控、粒距、行距和播深自适应调节等关键技术。设计融合多源传感器的数据采集与处理系统，开展播种全过程关键作业状态感知研究。构建小杂粮作物播种作业智能决策平台，研究播种参数优化调控、故障预警与作业异常识别方法。构建适配不同地块类型与作物种类的小杂粮精准播种作业技术模式并进行作业示范。

二、核心技术指标

1. 适应不同小杂粮作物的精准化条播、穴播和精播，适播作物种类数 ≥ 6 种。

2. 作业效率： ≥ 3 亩/h，适应坡度 $\geq 15^\circ$ 的边界不规则丘陵山区地块，播种作业路径覆盖率 $\geq 95\%$ ，重复覆盖率 $\leq 5\%$ ，导航路径跟踪误差 $\leq 5\text{cm}$ ，具备地形自适应能力。

3. 作业质量：行距调节范围 $20 \sim 40\text{cm}$ ，播量稳定性变异系数 $\leq 1\%$ ，粒距控制精度 $\geq 98\%$ ，播深控制精度 $\geq 95\%$ 。

4. 典型丘陵山区试验示范基地建设 ≥ 3 个，累计示范作业面积 ≥ 300 亩，技术培训累计500人次。

方向 95：双孢菇智能化采收机器人 技术攻关和应用示范

一、主要研究内容

基于双孢菇等食用菌在层架式菇房中的栽培环境与生产需求，开展适应狭小空间的机器人结构与运动机构研究，开发移动平台或导轨式行走机构及多自由度机械臂，通过力学仿真与运动学分析优化臂长和关节布局，实现快速、精准、全覆盖的采摘作业，并采用模块化设计以增强扩展性和维护性。研究多目标采摘路径规划与运动控制关键技术，开发多臂协同分配与视觉伺服修正控制方法。研制柔性采摘末端执行器，重点突破真空吸盘、仿生夹爪等无损抓取与力控策略，开发快速切根与自动收集输送装置，形成“采摘—切根—分选”的一体化流水线作业。研制智能化蘑菇采摘机器人原型机，开展实验室模拟与菇棚中试验证，建立采摘效率、成功率、损伤率、切根合格率等性能评价体系，完成工厂化生产环境的长期运行测试。

二、核心技术指标

研制 1 台双孢菇智能化采收机器人，驱动方式为电驱动，续航时间 $\geq 5\text{h}$ ，识别精度 $\geq 95\%$ ，采摘成功率 $\geq 92\%$ ，切根成功率 $\geq 95\%$ ，单菇采摘切根时间 $\leq 10\text{s}$ ，分选正确率 $\geq 95\%$ ，通过电动升降台，实现采摘机器人在不同层的苗床进行作业。

方向 96：“特”“优”珍稀食用菌金耳工厂化栽培关键技术研究

一、主要研究内容

收集金耳种质资源，优化我省本土种源，筛选农艺性状优良、高产、适宜工厂化栽培或加工的优良金耳品种。研究金耳生长营养因子作用机理，探索适合金耳工厂化栽培生长的栽培基料；研究金耳生长环境因子调控对原基形成的影响，优化金耳工厂化栽培环控参数。研制金耳液体发酵培养基配方和优化培养参数，研究金耳液体种与固体种对出菇、产量、品质的影响。研究引入适合金耳自动化、智能化机械设备设施，优化工厂化生产工艺，建立标准体系。利用品质分析和代谢组学技术，研究不同品种金耳的营养物质、风味物质以及活性物质的组成，解析不同品种金耳的物质成分。对金耳多糖进行高效提取和结构解析。研究金耳多糖免疫调节作用及分子调控机制。

二、核心技术指标

筛选金耳优良品种 1~2 个，金耳最佳营养基料组配 1 个。金耳菌种培育有效率 $\geq 85\%$ ，金耳生物转化率 $\geq 60\%$ 。开发金耳多糖绿色提取技术 1~2 套，加工产品 2~3 个。制定技术规程或地方标准 1~2 项，申请发明/实用新型专利 1~2 项。

方向 97：晋谷虫草菌——基于小米基质的虫草菌发酵关键技术及高值功能食品创制

一、主要研究内容

确定虫草菌发酵小米的发酵关键技术，明确其生产工艺各环节的关键技术参数，并完成中试放大生产。系统检验虫草菌发酵小米的耐药性与产毒能力，完成虫草菌发酵小米的安全性评价。采用液质联用技术探明虫草菌发酵小米的主要成分构成及功效成分，完成虫草菌发酵小米的质量标准研究及稳定性研究，明确其保存方法及保质期。通过体内外实验探究虫草菌发酵小米的生物学功能及其相关的作用机制，申报国家新食品原料。

二、核心技术指标

创制一种功能性的虫草菌发酵小米新产品，建立虫草菌发酵小米的生产工艺流程 1 套。完成 3 批次及以上的虫草菌发酵小米的中试生产，形成具有相关资质的第三方评价微生物耐药性试验报告、产毒能力研究报告、安全性评价报告。完成虫草菌发酵小米的质量标准研究并制定相质量标准 1 套。申请/授权发明专利 4~6 项。

方向 98：基因-药剂-装备三元耦合智慧 防冻减灾体系建设与示范

一、主要研究内容

用多组学技术挖掘山西主栽作物（苹果、小麦）抗寒关键基因，通过基因编辑（CRISPR/Cas9）和分子标记辅助选择创制抗寒新种质。研究防冻剂激活作物系统抗性（抗氧化酶系统、渗透调节）和形成物理保护膜的双效机制，开发植物源/微生物源防冻新产品。针对复杂地形环境下的防冻需求，研发基于多源数据融合（气象、土壤、作物）的智能决策算法，开发自走式防霜机、无人喷雾系统等精准作业装备。集成抗寒品种、绿色防冻剂和智能装备，建立“智慧感知-智能决策-精准作业”智慧防冻模式，开展大规模示范应用。

二、核心技术指标

筛选获得抗寒关键基因/分子标记 2~3 个，创制抗寒新种质/新品系 1~2 份；创制绿色防冻剂新产品 1~2 种，防冻效率 $\geq 85\%$ ；研制智能防冻装备 2~3 套，作业效率 ≥ 50 亩/小时；建立三位一体技术模式 1~2 套，推广 2 万亩左右。示范区减少产量损失 15~20%，减少劳动力成本 30%，化学药剂投入量降低 20%。制定技术标准/规程 1~2 项；申请/授权发明专利 4~6 项，软件著作权 2~3 项。