

附件：

2023 年度山西省重点研发计划 (智能化领域) 重点支持方向信息

1.膜式水冷壁管屏对称单元群焊智能化系统开发与应用示范

研究内容：开发膜式壁专机激光视觉焊缝识别系统，能够适用于膜式壁角焊缝平焊及仰焊的在线纠偏并实现闭环反馈，开发膜式壁角焊缝外观智能检测系统；分析膜式水冷壁管屏焊缝形状的影响因素，建立管屏单元焊缝形状的人工智能预测模型，进行膜式水冷壁管屏 GMAW 自动焊接工艺参数优化和实验验证；基于固有应变法进行全尺寸 16 极膜式水冷壁管屏单元 GMAW 群焊焊接应力与变形预测，研究应力状态对铬钼钢、镍基合金等接头使役再热裂纹敏感性；建成 16 极膜式水冷壁管屏对称单元群焊智能化示范平台，进行圆筒形水冷壁试制。

技术指标：膜式壁群焊识别系统空间轨迹准确率为 100%，轨迹检测与分类的整体处理时间不超过 65ms，焊速达 600mm/min。高速焊时，焊缝三维位置和姿态估计误差分别在 0.25mm 和 1.8° 以内，膜式壁直线焊缝纠偏精度小于 0.1mm；膜式水冷壁角焊缝焊缝定位精度 Z 向<0.2mm，X、Y 向<0.15mm，2m 单道焊缝检测时间<100s，显示焊缝三维

形貌，焊缝宽度检测精度 $<0.2\text{mm}$ ，焊缝高度检测精度 $<0.15\text{mm}$ ，可检测咬边、余高、表面气孔、焊瘤等焊接缺陷；进行圆筒形水冷壁试制，长度不小于 10m 。

2.多功能结构一体化超复合材料连续纤维增材制造设备设计与制造

研究内容：研究用于实现连续纤维电磁超复合材料制造的增材制造设备，满足适用于亚波长结构构建的多材质、高精度连续纤维增材制造工艺需求，达到更加灵活多变的不规则亚波长结构制造，实现不同电磁功能特性的连续纤维对于复杂电磁结构的构建，实现纤维电磁超复合材料电磁防护功能部件的低成本、快速化制造能力。

技术指标：连续纤维增材制造工艺装置运动精度 0.05mm ，制造精度 0.5mm ，成型尺寸： $1000\text{mm}\times 1000\text{mm}$ 。典型打印超复合材料产品反射率： $2\text{-}18\text{GHz}<-10\text{dB}$ ； $18\text{-}40\text{GHz}<-15\text{dB}$ ；电磁屏蔽效能： $14\text{kHz}\sim 150\text{kHz}>20\text{dB}$ ； $150\text{kHz}\sim 30\text{MHz}>40\text{dB}$ ； $30\text{MHz}\sim 18\text{GHz}>60\text{dB}$ ； $18\text{GHz}\sim 40\text{GHz}>40\text{dB}$ ；材料密度： $<1.7\text{g/cm}^3$ 。

3.海工脐带缆用超级双相钢精密无缝管材高效制备关键技术与装备研制

研究内容：结合精密无缝管的制管工艺和盘管现状，建立海工脐带缆用盘管高效制备理论，研究直管生产线与卷取生产线智能衔接技术；开展海工脐带缆用精密无缝管关键技术研究，研究轧拔结合工艺、热处理和材料特性的关系模型；

建立工艺数据库，开发盘管卷管机自动排线系统；开展多品种、多规格精密无缝管试制与服役行为研究，构建典型产品宏-微观形态、机械性能与服役行为的关联特性；开展精密无缝管的累积塑性变形工况分析，研究累积塑性变形对疲劳寿命和极限强度的影响。

技术指标：构建可以实现盘管高效制备的多工序联合加工方法，与传统加工方式相比，生产效率提高 20%；创建盘管生产工艺数据库 1 个，搭建模拟工况平台 1 个，研发出典型产品 3 种以上，屈服强度 $\geq 600\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 850\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 20\%$ ，硬度 $\leq \text{HRC}32$ ；研制出卷取力 ≥ 20 吨、卷取速度 $\geq 20\text{m/min}$ 、单盘长度 $\geq 200\text{m}$ 的无缝盘管示范生产线，研发典型规格行星旋轧样机 1 台，产品合格率 95%以上。

4.航空发动机用钛基叶片大尺度表面缺陷激光精密修复技术

研究内容：研究受损叶片型面模型重构与表面缺陷定位技术，确定受损叶片表面缺陷高精度识别及预处理工艺策略；研究受损叶片局部缺陷激光精密修复路径规划与轨迹优化技术，实现激光精密修复轨迹优化与修复参数的协调控制；研究受损叶片激光精密修复过程中修复层熔池凝固行为和微观组织演变规律；研究受损叶片激光精密修复件高温服役行为，实现受损叶片原位快速、精确稳定高质量长寿命激光精密修复。

技术指标：受损叶片激光精密修复层经 X 射线探伤检测

等级达到 I 级；修复层硬度分布最小值达到原始叶片硬度平均值的 80%；修复件蠕变性能达到母材的 80%；修复件低周疲劳寿命达到母材的 50%。

5.难变形金属管/型材高效挤压成形理论与装备结构优化关键技术

研究内容：研究钛合金、高温合金和不锈钢等难变形合金材料特性，金属变形过程力学特征与金属流动行为，构建与金属材料塑性特性匹配的管/型材挤压成形理论与控制模型；构建难变形合金挤压成形工艺制度，构建典型产品工艺数据库，优化关键设备结构形式及稳定运行控制方式，实现装备高效能运行；开展典型规格产品服役行为研究，构建航空航天、核电等高端领域用材评价体系与靶向机制；探索 5 种以上典型规格产品的生产诀窍，形成典型产品绿色化、智能化生产技术，并推广运用。

技术指标：构建难变形金属挤压成形理论与控制模型并在合作企业挤压机上应用，挤压速度控制精度 $\pm 5\%$ ，挤压筒温度控制精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；完成挤压工艺数据库、工模具设计平台搭建，产品开发周期缩短 50%；完成 5 种以上典型规格产品的研制，材质包括钛合金、高温合金和不锈钢，变形抗力 $\geq 200\text{MPa}$ ；管材直径 50-250mm，壁厚最小 5mm；大截面“U”、“L”、“Y”、“H”形型材断面积达到： 1500mm^2 - 5000mm^2 。

6.数字孪生驱动的大型矿山装备预测性维护平台关键技术研究

研究内容：面向矿山装备预测性维护需求，集成 3D 可视化模型、损伤演化模型、多学科联合仿真模型，创建多层次的整机数字孪生模型，研究虚-实空间精准映射及交互协同方法，实现整机故障状态的模拟仿真、监测及诊断；研究变工况下多源故障耦合机制及竞争失效过程中系统服役性能退化行为，构建新型数据融合驱动的高品质服役状态监测融合指标体系，实现服役性能退化的全面监测；构建集成信息融合的深度智能解耦诊断模型，研究模型优化方法及可解释性；建立维护-备件订购联合决策多目标优化模型，制定最优维修策略；开发矿山装备服役状态监测、诊断、维护管理服务平台。

技术指标：开发 1 套数字孪生驱动的矿山装备预测性维护管理服务平台；数字孪生模型与物理设备状态同步更新、近实时联动，时间延迟 $<2s$ ，模型精度 $\geq 90\%$ ；覆盖 40 种以上性能监测指标，其中融合指标 ≥ 10 种；故障预警误报率 $\leq 10\%$ ，典型故障诊断准确率 $\geq 95\%$ ；创建产品运维知识库，涵盖典型故障案例 ≥ 50 个，典型维护案例 ≥ 50 个；开展应用示范 1 项，示范周期 ≥ 6 个月，测点数目 ≥ 50 个，设备维护管理成本降低 30%。

7.双机械手铝合金大型框架类复杂构件低应力增材制造技术产业化攻关

研究内容：面向大型架体类复杂构件品种多、批量小和研制速度快等需求，开展大型架体类复杂构件低应力增材技

术产业化攻关，攻克大型架体类复杂构件低应力增材工艺设计与开发；建立及评估大型架体类复杂增材构件残余应力检测方法；研发大型架体类增材构件内部残余应力梯度无损检测技术与设备；建立大型架体类复杂构件低应力增材技术产业化示范线，实现技术产业化应用。

技术指标：原材料利用率>90%，产品质量达到Ⅱ级焊缝水平；大型框架类复杂构件轮廓尺寸 $\geq 3000\text{mm}$ ；残余应力分布最大值<40%屈服强度；双机械手增材铝合金材料抗拉强度提升 $\geq 20\%$ ；缩短首件产品交付周期，周期缩短 $\geq 50\%$ ；建立低应力增材工艺技术规范 1 套、增材构件应力检测规范体系 1 套；建立双机械手铝合金大型框架类复杂增材构件生产线 1 条。

8. 钛合金水下运载平台的先进焊接与质量控制

研究内容：开发出针对超大厚度（60~100mm）钛合金耐压壳体的激光-CMT 复合焊和窄间隙激光填丝焊工艺，研究焊接过程中的熔滴过渡行为，分析激光-（电弧）-焊丝的耦合作用机制，阐明典型焊接缺陷的产生机理，建立不同板厚接头力学性能与工艺参数的关系；研究焊接接头的残余应力大小及分布特征，构建大型钛合金框架结构的焊接变形控制系统，开发出与之相匹配的局部大气退火技术；探索服役工况下钛合金焊接结构的冲刷腐蚀特性和应力腐蚀敏感性，揭示典型部件的失效机理及其特征组织，建立相应的服役寿命模型，能够依据设计寿命要求逆向导出焊接质量控制的关

键点。

技术指标：钛合金焊接接头抗拉强度 $R_m \geq 895\text{MPa}$ ，屈服强度 $R_{p0.2} \geq 830\text{MPa}$ ，断裂延伸率 $A_{50\text{mm}} \geq 10\%$ ；退火后焊接接头的残余应力 $\leq 100\text{MPa}$ ；服役寿命模型的预测精度 $\geq 90\%$ ；实现激光-CMT 复合焊和激光窄间隙填丝焊在钛合金水下运载平台建造中的工程应用。

9. 轧机减速机关键运行参数的智能化多模在线监测技术

研究内容：针对线棒、板带、管材轧机减速机运行参数的全生命周期监测需求，研究在线磨屑与振动模块化级联化一体化电磁感应检测方法、设备故障的油液与振动多模参数数字化表征技术、故障部位的磁振解耦精确定位技术、设备部件中多点物理参数的数据驱动物理特性精准映射数字孪生技术、模块化探测器边缘计算数据的智能融合技术，研制轧机减速机磨屑与振动的电磁感应检测传感器系统，实现轧机减速机运行油液磨屑与振动故障参数的模块化级联化一体化虚实融合在线监测。

技术指标：减速机运行故障分析模型 ≥ 3 类；振动与磨屑故障表征参数不少于 10 类；齿轮磨屑检测范围 $100\ \mu\text{m}$ - $600\ \mu\text{m}$ （检出率 $\geq 80\%$ ）；振动频响范围 $0\text{-}5\text{kHz}$ ；故障部件定位模型 ≥ 10 种；减速机故障检出准确率 $\geq 80\%$ ；传感器边缘计算能力 $\geq 1\text{kTOPS}$ ；典型轧机减速机虚实融合数字孪生 ≥ 3 类；远程虚实转化时间 $\leq 2\text{s}$ ；虚实故障对应模型 ≥ 10 类；虚实故障模型匹配度 $\geq 80\%$ ；检测节点接入数 ≥ 1000

个；虚实融合数字孪生应用分辨率 2880*1600，帧率 60 帧，码率 40M(80M 带宽,50%编码),端到端非网络时延 $\leq 70\text{ms}$ ；支持 SteamVR。

10.基于视觉识别的智能煤矸石分拣多并联机器人系统研究与应用

研究内容：开发煤矸石智能分拣多并联机器人系统，以实现煤矸石快速分拣；研究基于机器视觉和深度学习算法的煤矸石图像识别技术，根据视觉获得煤矸石位姿信息；研究并联机器人的抓取轨迹规划算法，实现机器人的有效避障和快速抓取；开发煤矸石分拣多并联机器人的数字孪生系统，实现数字模型与物理样机的同步映射，包括系统本体结构、视觉系统、机器人构件的受力和机器人运动状态分析。

技术指标：并联机器人样机自由度为 3+1，工作空间 $\Phi 650\text{mm} \times 225\text{mm}$ ，额定负载 5kg，节拍 150 次/min，定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ，最大加速度 100m/s^2 ；整机系统的煤矸石抓取率达到 90%以上，识别率达到 95%以上；研发数字孪生系统一套，数字孪生虚实交互同步率 95%以上；形成煤矸石智能分拣应用示范 1 项，应用示范系统运行周期 ≥ 3 个月。

11.煤机关键部件超高速激光熔覆耐磨耐蚀一体化关键制造技术

研究内容：开发超高速激光熔覆热源模型，基于移动热源法研究轴类零件外圆、内孔熔覆残余应力与变形；开发细长轴类零件的变形控制工艺；开发超高速激光熔敷涂层厚度

均匀性控制方法；研究超高速激光熔敷工艺对铜基、铁基涂层组织演变、致密度、耐磨及耐蚀性的影响，分析涂层与基体界面结合性能、稀释率和元素分布，建立液压支架轴类关键部件的超高速激光熔覆生产工艺包；建成大规格轴类零件超高速激光熔覆智能加工示范平台，试制大规格液压支架立柱和千斤顶等关键部件；以液压支架立柱活柱熔敷为例，进行传统激光熔敷与超高速激光熔敷方法的技术经济可行性研究。

技术指标：工艺包涂层材质包含铜基合金和铁基 JG-3/5/11；铁基熔覆层指标：厚度 0.4~0.5mm、表面粗糙度 Ra0.4、硬度 $\geq$ HRC42，中性盐雾试验不低于 5000h，保护评级不低于 9 级，耐磨损性能按 JB/T7705-1995 标准湿沙橡胶轮磨损试验失重 $\leq$ 0.45g/3000 转；铜基熔覆层指标：熔覆层厚度 0.6~1.0mm、Ra0.4、断裂延伸率 $\geq$ 30%、抗拉强度 $\geq$ 400N/mm²、硬度 HB=220~280、中性盐雾试验不低于 1000h，保护评级不低于 8 级，磨损试验失重 $\leq$ 1.4g/3000 转；实现伸缩千斤顶、护帮千斤顶活塞杆等细长轴零件（ ϕ 60~105mm，长度 700~2200mm）的高精度熔覆加工，直线度控制在 0.5mm 以内。

12.特厚煤层绿色连采连充技术及高效连续运输系统研发

研究内容：研究连采连充支巷断面参数及采充循环对围岩稳定性的影响，研究支巷开采工艺，研究锚杆支护参数，

形成一套适应浅埋深、特厚煤层连采连充的高效连续采煤工艺。研究无源自张紧储带技术，研究重载-水平-同步伸缩技术，研究电缆储放及自动张紧技术，开发自移伸缩式转载机。研究适应连采连充的高效连续运输系统装备配套形式及成套装备智能控制技术。

技术指标：特厚煤层高效连续采充工艺 1 套，连采连充区域资源设计回收率不低于 80%；自移伸缩式转载机 1 台，整机长度不大于 13m，有效运输距离 25m，运量 1000t/h，张紧响应时间不大于 0.5s；形成连采连充示范工作面 1 个，满足支巷 100m 连续运输，年出煤量不低于 60 万吨，具有远程集控、遥控和本机控制三级控制。

13. 矿井热动力灾害“探防一体智能化”协同应急关键技术研究与应用

研究内容：开展矿井热动力灾害预警参数临界值与判识区间智能化决策关键技术、矿井极性气体光谱特征吸收峰自适应智能化提取与定量分析技术、采空区自燃火灾与瓦斯灾害智能化实时光谱探测预警技术研究，建立预警参数临界值与判识区间的智能化动态决策数据库，研究矿井热动力灾害“探测-智能决策-协同联动”的智能化处置机制，建立矿井热动力灾害“探防一体智能化”协同应急管控平台。

技术指标：提出不少于 2 种可用于确定临界值与判识区间的煤自燃预警参数；找出促进和抑制瓦斯燃烧的反应动力学基元反应各 1 组；阻燃抑爆剂的阻化率不小于 65%，阻化

寿命不少于 260min；确定不少于 10 种矿井极性气体的特征吸收峰计算区间，相关性系数不小于 0.91；建立预警参数临界值与判识区间的智能化动态决策数据库 1 个；形成矿井热动力灾害“探防一体智能化”协同应急管控平台 1 个，能够在 6min 内探测到灾害隐患，3min 内将指令传至防控装备，5min 内启动灾害隐患防治作业，直至灾害得到有效控制。

14.民机防除冰智能一体化结构设计和制造

研究内容：针对加热组件内嵌在高性能复合材料中形成防除冰功能化结构的特点，制备可靠的满足服役环境条件要求的一体化智能结构，并对加热组件的热功率密度进行精准控制并优化一体化制造工艺。探究电加热循环下的性能稳定性，评估结构适用性；进行权衡分析和结构选材，形成耐高低温热循环的一体化复合材料结构制造工艺。开展电热防除冰复合材料一体化结构静力和损伤容限性能测试，验证功能结构对结构力学性能的影响，分析功能结构的损伤容限性能。

技术指标：确定加热元件和结构制造工艺参数和流程，整个结构加热面内温度差异不大于 5°C，升温速率大于 3°C/s；建立防除冰智能结构的制备和性能评估方法；一体化结构加热元件与复合材料的层间强度大于 10MPa，允许缺陷的面积不得大于 20mm²；集成的缩比缝翼结构长度不小于 600mm。

15.钛合金高压管路设计制造技术研究

研究内容：研究飞机钛合金高压管路及球形接头的设计、工艺以及试验验证方法，形成钛合金管路及球形接头的设计、制造及试验验证能力；参考 AS1895 标准的要求，研究飞机和发动机高温高压导管连接组件的设计、工艺和试验验证方法，建立高温高压导管连接接头组件的研制能力；建立转速传感器的设计仿真能力，建立转速传感器工艺技术能力体系，研制满足航空发动机设计要求的多余度转速传感器。

技术指标：钛合金高压管路及球形接头主要技术指标：正常工作温度 $140\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、最大温度 180°C ，工作介质压力始终为 $400\pm 50\text{kPa}$ （表压），最高压力为 600kPa （表压）；球形接头角度补偿量 5° 。高温高压导管连接组件主要技术指标为工作温度 $-55^{\circ}\text{C}\sim 650^{\circ}\text{C}$ ；工作压力 4.69MPa ；通径 $\Phi 76.2\text{mm}$ ；泄漏量不大于 $0.011D$ （L/min）（D 为导管外径，mm）。转速传感器主要技术指标为测试余度达到 3 余度；测量转速范围（0~15000）rpm、介电强度：在施加 500V 交流电（50Hz~60Hz）下，至少持续 60s，电流的泄漏量小于 1mA；绝缘电阻：在常温，相对湿度 $\leq 80\%$ 状态下，用 100V 兆欧表测量的绝缘电阻不小于 $100\text{M}\Omega$ ；全温范围内不小于 $50\text{M}\Omega$ 。

16. 轨道交通高速列车车轴表面喷钼技术开发与示范

研究内容：研究车轴喷涂前处理工艺对喷涂后涂层与基体结合强度的影响规律，确定最佳的喷涂前处理工艺；研究

火焰喷钼过程中能量密度、喷涂距离、送丝速度等工艺参数对涂层厚度、孔隙率、结合强度、显微硬度等的影响规律，获取最优的车轴喷钼工艺规程；基于车轴实际服役工况，设计一套专门用于测试车轴表面涂层结合力的夹具，并对不同特性的喷钼涂层进行附着力考核和验证。

技术指标：车轴修复直径大于 130mm；涂层厚度不小于 500um；抗拉结合强度不小于 30 MPa；粘结剪切强度的平均值应大于 40 MPa，单值不小于 30 MPa；轮座、齿轮座全尺寸疲劳强度不小于 99MPa；涂层硬度不小于 350HV。

17.基于表面改性的车轴高性能冷滚压技术研究及应用

研究内容：以解决车轴复杂结构表面滚压过程滚压力波动、滚压后表面质量及尺寸精度不满足要求等问题为目的，研究滚压力精准控制与滚压轨迹柔性控制技术。开展冷滚压加工相关材料学、力学科学研究，掌握冷滚压表面层微观组织、晶体特征演化机制及其与残余应力作用机制，构建冷滚压加工表面完整性与疲劳行为的映射关系，建立考虑表面层特征的疲劳寿命预测模型，形成车轴数控冷滚压表面完整性评价标准体系和工艺规范，实现研究成果在批量生产的推广应用。

技术指标：1.数控滚压设备技术指标：滚压力在 50kN 范围内可精准调节，控制精度 $\leq \pm 0.3\%$ FSO；滚压力可实现在线标定，实时显示并具备存储功能；车轴产品尺寸精度：直径尺寸公差 $\leq 0.025\text{mm}$ 、长度尺寸公差 $\leq 0.3\text{mm}$ 。2.EA4T

或 DZ2 车轴滚压后表面性能技术指标：不同测点残余应力为压应力，最大差值 $\leq 40\text{N/mm}^2$ ；b.表面粗糙度 MRR Ra0.4。3. 采用择优的 DZ2 车轴滚压工艺参数加工的小试样，疲劳极限 $RFL \geq 368\text{Mpa}$ ， $RFE \geq 226\text{Mpa}$ ；4.应用优化后的滚压工艺加工的 EA4T 或 DZ2 车轴产品，全尺寸疲劳极限： $F1 \geq 252\text{Mpa}$ 。

18.基于数字孪生的大型轴类零件楔横轧高效能装备-工艺-产品协同调控技术

研究内容：研究轧制变形路径与金属流动行为、组织性能、塑性损伤之间内在联系；开发成形过程关键参数动态监测技术，构建生产过程产品质量诊断与择优调控模型；基于数据挖掘和数字孪生技术，采用中试和工业试验相结合的方法，建立大型轴类楔横轧机数字孪生模型、设备状态-工艺参数-产品质量关系模型，开发变载荷条件下楔横轧机非线性动态响应与机电耦合协同控制技术，为直径 $\Phi 180\text{mm}$ 、长度 2200mm 以上大型轴类零件高效制备提供成形依据。

技术指标：实现直径 $\Phi 180\text{mm}$ 、长度 2200mm 以上大型轴类零件制备；开发楔横轧过程产品质量诊断模型且模型精度 $\geq 90\%$ ；构建 1 个楔横轧机数字孪生运维平台；平台系统一次连续工作时间不低于 8760 小时（一年），平均无故障时间 $MTBF \geq 4000$ 小时；客户端接收数字模型请求的平均时长 $\leq 50\text{ms}$ 。

19.车轨云协同的智慧铁路交通安全监测系统

研究内容：研究机车振动加速度新型车载式传感技术；开展感知信号的新型高速解调方法研究，实现车载式传感系统和分布式传感系统的云数据融合处理，研制出车轨云协同的智慧铁路交通安全监测系统。开发新型车载式线路检查仪，能共享机车安全信息综合监测装置(TAX)或列控设备动态监测系统(DMS)资源，实时上传列车振动病害信息；开发新型相位调控分布式光纤振动传感系统，实现海量传感数据的 FPGA 与 GPU 协同采集与处理。

技术指标：分布式振动监测距离 $\geq 40\text{km}$ 、定位精度 $\pm 10\text{m}$ 、系统响应时间 $\leq 1\text{s}$ 、信号频响范围 20Hz-500Hz、车载式加速度传感器测量精度 0.1m/s^2 、车载式加速度传感器量程 19.6m/s^2 、数据库类型 MySQL。在不少于 2 类机车、动车组的 TAX 或 DMS 接口上安装车载式线路检查仪，不少于 2km 线路上铺设分布式传感系统，开展智慧铁路交通安全监测工程示范。

20.车铲协同智能装载系统研制

研究内容：针对露天矿山矿用自卸车（车）和电铲（铲）装载作业，研究作业过程中车铲定位定姿和信息交互技术，实时精准获取车铲位姿信息；研究作业区域环境感知与三维重现，制定装车策略，引导车铲协同；研究车斗内物料识别与分布，智能规划铲斗卸载位置，实现装车物料分布均匀、不偏载、小冲击；研究智能装载的最优装载轨迹规划方法，实现大惯量、高精度多机构协同的柔性控制，确保高效、安

全装载作业。

技术指标：研制出 1 套车铲协同智能装载系统并形成示范应用，10s 内完成车铲对位、多机构协同回转控制、开斗卸载等装载作业，装车效率优于传统人工装车方式；车铲定位定姿和感知精度优于 20 cm；位姿信息交互刷新频率大于 30 Hz。

21.复杂产品三维 CT 实时成像及缺陷智能识别

研究内容：围绕先进制造对复杂产品内部缺陷高效检测的重大需求，构建数据驱动和知识驱动耦合的产品内部结构三维 CT 成像模型，研究超稀疏视角的快速 CT 重建算法；构建基于三维 CT 影像的产品内部空间结构表征模型，研究复杂产品内部缺陷快速智能识别方法，实现复杂产品在线三维可视化的智能检测；在典型场景进行应用验证。

技术指标：搭建适用于高密装配器件等复杂产品内部缺陷检测的 X 射线成像系统 1 套，具有全角度 CT 扫描、以及单视角、双视角等超稀疏视角扫描成像功能，单视角/双视角三维重构速率 $\leq 0.5s$ ，重建精度 $\geq 95\%$ ；研发复杂产品内部缺陷的 CT 影像自动识别系统 1 套，缺陷识别准确性 $\geq 95\%$ ，自动识别速率 $\leq 100ms/件$ 。

22.冷轧镀锌钢板表面质量智能视觉检测技术

研究内容：针对镀锌钢板生产线运行速度快、环境光照复杂、机械振动频繁等干扰因素，研究光照均匀性调控、图像振动复原等方法，构建高速视觉成像系统；研究小样本数

据条件下多类型板材缺陷在线快速、精准识别方法；围绕镀锌钢板产线，研制高速镀锌钢板表面质量智能检测系统样机，实现镀锌钢板高速运行下板材质量的实时、准确检测。

技术指标：针对板材厚度 0.2mm~25mm、板材宽度 900mm~1850mm、运行最大速度在 400m/min 的镀锌板材，构建高速镀锌钢板表面质量智能检测系统样机，一次性识别漏镀、擦伤、辊印等镀锌板材表面缺陷不少于 20 种，检测精度优于 0.2mm*0.2mm，实时在线检测速度每帧<100ms，缺陷分类准确度不低于 95%。

23.面向平行驾驶应用的新一代智能化人机交互技术

研究内容：研究平行驾驶高层人机交互策略，建立人机共驾模式下多维度驾驶权限接管机制；构建语音、眼动控制、手势等多模态智能化人机交互通道，实现面向场景驱动的交互通道智能切换；研制面向平行驾驶应用的新一代智能化人机交互系统，基于远程驾驶舱产品，选取典型特种作业场景进行应用验证。

技术指标：交互策略包括激活、干预、接管和最小风险策略等，具备驾驶权切换功能。交互指令包含策略级、任务级、动作级指令 3 类，指令总数 ≥ 50 条。交互控制通道包括语音、眼动控制、手势、自然语言理解等 4 种以上交互控制通道以及不少于 3 种交互反馈通道。噪声环境 $\geq 120\text{dB}$ 、语音质量 $\geq 15\text{dB}$ 时，语音关键词识别率 $\geq 93\%$ ；手势识别支持静态手势、动态手势识别；眼动控制精度误差 ≤ 0.5 度；自

然语言理解正确率 $\geq 93\%$ ，召回率 $\geq 99\%$ 。支持人机交互模式智能切换，交互意图综合识别率 $\geq 99\%$ 。

24. 基于多模态信息融合的中医传承智能化系统构建研究

研究内容：开展名老中医临床四诊数据采集与特征提取研究，获取临床望、闻、问、切产生的图像、声音、信号、文字、数字等多模态信息；建立特征提取模型，训练多模态融合的信息模型，比较不同融合数据和融合算法的中医辨证预测准确率，生成不同疾病的名老中医个性化辅助诊疗模型；开发中医传承智能化系统，实现真实病患的证候预测、辅助诊断等功能，并应用于山西省内的国家级、省级、市县级名老中医传承工作室。

技术指标：开发中医传承智能化系统 1 套；构建多模态融合信息模型 1 套，实现中医四诊多模态信息的智能化采集与融合分析；遴选 2-3 家名老中医传承工作室进行示范研究，采集临床病例（医案）1000 份以上；名老中医个性化诊疗模型的预测准确率 85% 以上。

25. 大跨度气承式膜结构形变的智能感控技术研究

研究内容：研究大跨度气承式膜结构的形变规律，构建气承式膜结构形变几何表征理论模型；研究大跨度气承式膜结构变形形态感知技术，建立气承式膜结构传感数据融合模型；研究大跨度气承式膜结构形变控制技术，变形纠正原理及方法，保证大跨度气承式膜结构的安全；研究大跨度气承

式膜结构形变条件下的整体控制策略，构建考虑大时滞因素的可用于工业现场的控制模型，开发大跨度气承式膜结构的形变智能控制系统。

技术指标：针对工业现场实际工况，研制大跨度气承式膜结构形变智能感控系统；形变识别误差 $\leq 80\text{cm}$ ；系统的控制响应时间 $\leq 1\text{s}$ ；系统具备自学习能力，学习模型 AUC 不低于 90%；能保证现场项目的水平位移不超过气膜跨度的 1/30，竖直位移不超过气膜膜顶高度的 1/10；现场实测的系统无故障运行时间 $\geq 3000\text{h}$ 。