附件1

2025年度陕西省关键核心技术攻关指南

（增材制造）

**1.微米级金属激光粉末床熔融增材制造技术与装备开发**

**研究内容**：研制2-15μm的微细金属粉末为原料的微米级金属激光粉末床熔融设备，突破微细粉末高堆积密度铺平的技术难题，揭示微细激光光斑-粉末/熔池/金属蒸气交互作用机理，查清微米尺度下金属粉末-工艺-缺陷-性能耦合作用机理；开发典型金属材料微米级激光粉末床熔融成形工艺；解决微细结构热变形及缺陷控制、内流道表面粗糙度控制及残留粉末清除等技术难题，实现典型金属材料零部件5μm-100 mm的跨尺度制造。

**考核指标**：1）研制微米级金属激光粉末床熔融设备1台，打印幅面不小于150 mm × 150 mm，打印层厚5-15μm ，可实现50μm特征结构成形；2）成形件致密度> 99%；3）尺寸精度达到± 5μm / 100mm，表面粗糙度Ra ≤ 2.5μm ；4）形成典型金属材料（如不锈钢、铝合金、钛合金）微米级激光粉末床熔融成形工艺不少于2套。

**2.大尺寸复杂结构高温合金高精度高性能增材制造技术**

**研究内容**：面向空天动力领域对大尺寸复杂结构高性能高温合金构件现实需求，开展高精度高性能激光增材制造技术研究，实现构件缺陷及变形抑制、成形尺寸稳定性与微观组织的一体化调控。重点探索基于激光增材原位工艺调控与热处理等优化组合工艺的高性能、低缺陷、低应力应变激光增材制造理论与方法；结合超精加工后处理切削工艺原理，明晰增材制造工艺对大尺寸复杂构件超精加工特性及变形规律的影响机制；建立物理-数据混合驱动的微观组织-缺陷变形一体化预测模型，突破增材制造大尺寸高温合金组织均匀性与尺寸稳定性控制技术，完成大型复杂结构高温合金典型样件试制。

**考核指标**：1）室温性能：屈服强度不低于900MPa、抗拉强度不低于1200MPa，高温性能：850℃屈服强度不低于700MPa、抗拉强度不低于800MPa;2）超精加工尺寸精度及相关形位公差精度达到0.005mm;3）静置3个月，尺寸及相关形位公差精度变形量不超过0.005mm;4）建立高温合金大尺寸复杂构件高精度高性能增材制造技术工艺规范，完成复杂叶片异形构件等不小于1件典型样件制备，尺寸不小于500mm，加工区域尺寸不小于100mm。

**3.智能复合增材再制造装备与工艺开发**

**研究内容**：研制智能复合增材再制造装备，开展在线机器视觉检测、智能建模与增材路径规划、智能材料与工艺匹配等核心技术研究。突破缺损模型快速测量、数字模型重构、成形策略智能优选及路径自动规划等技术难题；开发适用于增材再制造的集约化复合材料体系，开展异质材料、金属与非金属复合材料以及丝、粉异构材料体系研究，建立不同材质、不同工况、不同结构的机电产品再制造材料工艺库，实现修复材料的自适应精准匹配；开发智能在线再制造产品检测与评价方法，开展智能增材再制造零件的无损检测与服役寿命预测方法研究，建立其性能考核、评价标准；在能源、化工、冶金、 航空航天等领域开展不少于3 类应用场景的智能复合增材再制造应用示范。

**考核指标**：1）智能再制造装备缺损模型的自动测量精度优于0.1mm，测量算法准确率≥90%；分层切片与路径自动规划算法准确率≥80%；2）复合增材再制造装备沉积效率≥400cm3/h，再制造成形尺寸精度优于0.2mm；3）形成智能化复合增材制造材料体系，零件修复后抗拉强度不低于基材的90%，疲劳性能不低于基材的70%；4）在能源、化工、冶金、航空航天等领域开展不少于3项应用示范。

**4.生物活性化聚醚醚酮颌面植入物3D打印与临床应用**

**研究内容**：研制聚醚醚酮（PEEK）复合材料组分在线连续可控的3D打印装备；建立PEEK的复合材料生物活性化方法及其3D打印工艺，研究生物活性化PEEK多孔颌面植入物的材料成分和微结构对骨组织和软组织整合过程的影响规律；建立生物活性化PEEK复合材料的安全有效性评价体系，为临床应用和产业转化提供技术基础和监管规范支撑。

**考核指标**：1）PEEK基复合材料增材制造装备成形尺寸≥200×200×200mm，可成形PEEK基复合材料含量在0-40wt%连续可调；2）PEEK基复合材料3D打印制件通过生物相容性测试；3）生物活性化PEEK支架与骨组织的剪切结合强度≥2MPa，与软组织的结合力≥5N；4）提交第III类医疗器械注册申请1件。

**5.短纤维/连续纤维复合材料一体化设计与3D打印技术**

**研究内容**：开展高性能聚合物基短纤维和连续纤维高含量多用途复合材料共混机理及3D打印专用丝材制备研究；设计满足典型部件用多功能复合材料结构，开展胞元及部件的性能仿真技术研究；研制大尺寸短纤维/连续纤维功能复合材料结构热塑性3D打印设备，开展多喷头短纤维/连续纤维复合材料一体化3D打印工艺优化研究。

**考核指标**：1）开发满足航空航天典型应用场景要求（如无人机）的轻质多功能一体化设计方法，设计满足力/热/电磁多种功能胞元结构≥3种；2）研制满足高性能聚合物基（聚醚醚酮、高温尼龙等）短纤维/连续纤维复合材料3D打印丝材不少于2种，其中最大功能复合材料添加含量质量比≥20wt%；3）开发大尺寸短纤维/连续纤维功能复合材料结构热塑性3D打印设备1台，打印幅面≥1米×1米，打印喷头同时兼容短纤维和连续纤维复合材料3D打印。

**6.难焊高温合金复杂构件电子束粉末床熔融增材制造关键技术**

**研究内容**：研究预热温度、熔化电流、扫描速度等工艺参数对难焊高温合金开裂行为、致密度、缺陷分布的影响规律，建立电子束作用下的热-力-流耦合模型和调控方法，构建无裂纹致密化难焊高温合金复杂构件成形技术路线和工艺窗口。研究不同工艺及扫描策略对微观组织和力学性能的影响，探究不同熔池尺寸、冷却速度、温度梯度下晶粒生长和组织演变机理，建立高性能难焊高温合金增材制造形性一体化控制技术。开展粉床电子束增材制造难焊高温合金热等静压及热处理后处理工艺研究，支撑航空航天用难焊高温合金复杂构件增材制造技术的进步。

**考核指标**：1）实现1种以上难焊高温合金无裂纹电子束粉末床熔融增材制造，致密度≥99.5%；2）经热处理后，室温/高温综合力学性能不低于同类合金的锻件性能90%；3）制备的部件级构件尺寸直径≥300mm，高度≥400mm，成形精度不低于±0.5mm/100mm。

**7.复杂结构功能陶瓷的多材料多喷头增材制造装备与工艺**

**研究内容**：研究陶瓷材料组分对浆料流变性、打印稳定性、制件功能性的影响规律；研制结构功能陶瓷多材料多喷头3D打印装备，探究功能陶瓷3D打印多喷头均匀分流装置与传送系统，构筑多喷头打印缺陷检测与3D打印闭环控制技术；研究多喷头3D打印工艺对功能陶瓷构件结构参数的精准调控方法，实现材料-结构-工艺-性能的可控制造；开展不少于1种应用验证。

**考核指标**：1）复杂结构功能陶瓷多材料多喷头3D打印装备≥1台；2）装备成形尺寸≥0.6 m×0.6 m×0.2 m，喷头数量≥8 个，成形精度≤±0.3 mm，成形速度≥120 mm/s，多喷头分流量波动值≤3 cm3/秒;3）制件孔隙率在5-50%可调控，压缩强度≥20MPa；4）面向功能陶瓷催化剂、热防护系统等领域开展应用验证不少于1项。

**8.高活性软组织支架精准3D打印与临床应用**

**研究内容**：开展软组织支架柔性结构设计及构建方法研究；研发在可降解支架中复合活性成分的技术，获得具有促进功能性组织再生能力的高活性软组织支架；研究高活性软组织支架的结构特性、降解行为与组织再生之间的匹配规律；研究3D打印功能性血管及仿生装置，评估高活性软组织支架在临床中的安全及有效性，为相关产品的监管与准入提供科学依据。

**考核指标**：1）高活性软组织支架可修复缺损区域≥30×30×30 mm3，最小特征尺寸≤600μm；3D打印功能性血管及仿生装置，特征为具有超声下及/或透视下可显影特征；2）建立软组织支架材料与工艺规范，完成相关生物学检验评价；3）完成活性软组织支架的动物≥20例；4）完成临床试验病例数≥5例；

5）获得II类以上医疗器械注册证1-2项。

**9.大型金属构件定向能量沉积在线质量监测与低成本制造技术**

**研究内容**：针对大型复杂结构件的高效、高质量增材制造需求，开展大型金属构件定向能量沉积在线质量监测与低成本制造技术研究。开发面向大型金属构件定向能量沉积的在线质量监控系统，实时监测打印过程中的熔池状态、送丝速度、电流、电压等关键参数；通过定量分析监测数据，智能识别各类成形缺陷，诊断工艺参数，建立负反馈机制，实时调控定向能量沉积过程的工艺参数，保证增材制造过程的工艺稳定性；研究大尺寸零件定向能量沉积增材制造的路径规划与工艺参数对成形精度与成形效率的影响规律，优化沉积路径规划与工艺参数，提高成形精度，减小后续加工余量，提高材料利用率。

**考核指标**：1）最大成形效率≥12 kg/h；2）成形构件尺寸≥3600 mm，致密度≥99.99%，气孔尺寸≤1.0 mm，且不超过1/4壁厚；3）综合材料利用率≥70%；4）实现不少于2种材料典型零件的制造及应用示范。

**10.大尺寸扩散焊固相增材制造装备研制与应用**

**研究内容**：面向核能、航空动力等领域超长超大尺寸关键功能/承力件的真空扩散焊固相增材制造需求，通过装备制造与焊接工艺的协同迭代优化，设计开发大尺寸高性能固相增材制造装备；突破大吨位大热场复杂环境下的热力载荷精确调控技术；开发扩散焊技术下同异种金属的连接工艺，以增强界面冶金结合质量与强度，实现无缺陷接头制备；完成面向核能领域换热器、航空领域双金属转子等部件的样件制备。

**考核指标**：1）扩散焊固相增材制造装备有效工作区尺寸：3500×1000×800 mm（长×宽×高）；2）装备最大压力不小于2000吨，压力控制精度优于0.5%；3）装备最高温度不小于1300℃，温度均匀性优于±5℃，温度控制精度优于±1℃；4）完成不少于1种典型场景的样件制备，扩散焊固相增材件内部无裂纹，界面焊合率>98%。

**11.基于多工艺融合的复合材料加筋壁板高效增材制造技术**

**研究内容**：开展基于复合材料3D打印与自动铺丝工艺融合的增材制造工艺与装备研究，获得高性能加筋壁板制造新工艺方法；研究基于3D打印及自动铺丝双工艺的壁板结构强度匹配设计方法，获得壁板与加强筋不同制造工艺下结构强度协同作用与机理，以及结构强度一体化设计新方法；研究界面强度匹配的热固性复合材料打印配方与打印工艺，以及打印路径规划算法，掌握轻量化及高性能加筋壁板一体化制造新技术。

**考核指标**：1)开发满足复合材料3D打印与自动铺丝工艺融合的路径规划专用软件1套；2)开发多工艺融合增材制造设备，设备单方向最大成型尺寸不小于3m，打印速度≥1000mm/分钟，成形精度优于±2.5mm/1000mm，可实现最小曲率半径≤5mm；3)制备2m级多工艺复合材料3D打印加筋壁板，较同尺寸的传统加筋板结构承载能力提升10%以上。

**12.组织芯片多细胞微纳生物3D打印技术与装备**

**研究内容**：研制面向组织芯片的多细胞微纳生物3D打印装备，开展微尺度生物材料/细胞精确沉积的高精度生物3D打印技术研究，获得活性组织仿生结构的可控制造体系；研究生物3D打印可控微结构对组织结构与功能重建的调控规律，形成微纳生物3D打印活性组织功能化的制造技术；开展微纳生物3D打印活性组织用于药物筛选的应用探索，为药物验证提供技术支撑。

**考核指标**：1）研制组织芯片多细胞微纳生物3D打印原理样机1台；2）支持2种以上生物材料的协同复合打印；3）聚合物纤维打印精度≤10μm，水凝胶材料打印精度≤60μm ；4）水凝胶打印喷头及接收基底温度可控范围5-40℃，打印范围≥100 mm×100mm×20mm，打印机腔体洁净度达10000级。

**13.连续碳纤维增强陶瓷基复合材料的增材制造技术**

**研究内容**：针对连续碳纤维与陶瓷基体间的热物理匹配与强韧化需求，进行界面调控、基体组分及热膨胀匹配研究，解决应力集中和开裂问题；研究组分对陶瓷基体浆料流变行为、稳定性的影响规律，明确基体组分对陶瓷材料微观组织结构的影响机制，发展适用于增材制造的高粘稠、高固相含量陶瓷基体浆料；突破高体积比连续纤维引入和铺放技术，实现高纤维体积比陶瓷基复合材料预制件的增材制造制备；开展增材制造陶瓷基复合材料的致密化工艺研究，实现高致密、低合金残留的纳米陶瓷基体制备；全面测试和评价增材制造碳纤维增强陶瓷基复合材料的力学和热物理性能，并进行典型构件制备和验证。

**考核指标**：1）陶瓷浆料固相含量≥60 vol%，粘度≤15 Pa·s，浆料72 h沉降率≤5%；2）成型尺寸100mm×100mm×50mm，成型速度1.5mm/s，纤维体积分数≥15 vol%；3）陶瓷基复合材料孔隙率≤5%，相对致密度≥95%；4）室温弯曲强度≥400 MPa，断裂韧性≥15 MPa·m1/2；5）高温（1500℃）弯曲强度≥300 MPa，断裂韧性≥12 MPa·m1/2。

**14.复合材料增材制造在线监控检测与工艺控制技术**

**研究内容**：深入探索并优化复合增材制造过程中的缺陷在线监测信号处理方法，为缺陷识别与控制提供坚实基础；研究并建立高效的数据融合策略，整合多源监测信息，进而建立精准的缺陷识别模型；利用多传感器融合技术，实现对复合增材制造过程中缺陷的实时在线识别与精确分类，提升监测系统的智能化与准确性；构建面向复合材料增材制造的实时反馈控制系统，通过自适应调整制造工艺参数，确保制造过程的稳定与优化；针对高温热塑性特种复合材料在增材制造过程中易出现的收缩变形问题，深入研究并提出有效的温度梯度控制策略，提升产品的尺寸精度与整体性能。

**考核指标**：1）多传感器融合扫描检测技术识别缺陷小于等于0.5 mm；2）缺陷检测准确率大于90%；3）扫描检测速度≥1000 mm/min；4）高温特种复合材料的打印功率在线可调和增材制造工艺参数的在线实时反馈控制功能。

**15.精密金属直写增材制造技术与装备开发**

**研究内容**：针对微小精密金属构件的低能耗、低成本、低变形的增材制造需求，开发金属直写焦耳热精密增材制造装备与技术研究；探究金属热丝直写增材制造过程中机械力/电磁力及表面张力/热场耦合作用机制及界面熔合机理；研究金属热丝直写增材制造工艺参数对成形件表面质量与机械性能的影响机理以及对金属组织演变的作用机制。研究适用于钛合金、铝合金、不锈钢等材料的精密金属直写增材制造工艺，实现不同金属材料精细零件的精确成形制造。

**考核指标**：1）设备成形尺寸≥600×600×600 mm，装备重复精度≤0.1mm；2）打印尺寸误差≤0.5 mm/100 mm，表面粗糙度Ra≤15 μm；3）打印件力学性能≥锻件性能的99%。

**16.增材制造复杂金属构件表面光整与清洁技术**

**研究内容**：研究零件表面与内流道表面浮粉与半烧结粉末的作用机理与清除机制，开发基于复合能场的增材制造复杂金属构件表面清洁工艺。基于化学、磨粒流和水基两相流三重或双重复合工艺技术，揭示多能场、多工艺复合作用下内流道表面材料去除机理，构建复合工艺光整加工高保真数值建模方法与多能场工艺参数协同优化方法，突破光整加工过程多源监控信息融合与工艺智能调控关键技术，开发复杂结构金属零部件内流道与表面光整与清洁装备，开展有效性评价，实现增材制造异形复杂零部件的表面高效率光整与清洗。

**考核指标**：1）研制增材制造复杂金属构件表面光整清洁装备1套；2）实现如钛合金、高温合金和铝合金等典型材质零件的复合光整工艺、动态监测及自适应调控；3）复杂结构金属构件表面光整与清洁后，表面粗糙度Ra≤1.6μm，尺寸误差≤0.05mm；4）建立增材制造复杂金属构件表面光整、清洁质量评价标准1套。

**17.增材制造医用球形金属粉末循环利用技术研究**

**研究内容**：针对钴铬合金、钽、锆合金等医用球形粉末增材制造循环利用次数少、构件制造成本高的难题，系统研究循环利用次数对粉末化学成分、流动性、松装密度等的影响规律，分析循环利用次数对增材制造过程稳定性和增材制造构件理化性能的作用机制，建立粉末循环利用方法和准则，突破粉末循环利用氧增量、流动性、松装密度等关键控制技术，为高化学活性、价格高昂等医用金属植入物的低成本增材制造奠定技术基础。

**考核指标**：1)钴铬合金、钽、锆合金等球形粉末循环利用次数≥10次;2)循环利用10次后粉末化学成分、粒度分布、松装密度、流动性等性能指标仍能满足相关国家标准;3)采用循环粉末制备的植入物满足临床使用要求。

**18.增材制造用高熔点合金球形粉末制备技术**

**研究内容**：围绕新一代高超声速飞行器关重构件增材制造对高熔点（熔点≥2000℃）合金球形金属粉末的迫切需求，开展铌合金、钽合金等高熔点合金粉末制备技术研究，突破粉末氧含量、球形度、流动性、松装密度协同控制等关键技术，建立增材制造用高熔点合金球形粉末制备工艺规范，研究废粉和返回料的回收利用技术，支撑高熔点合金复杂构件增材制造技术的进步。

**考核指标**：1）粉末球形率不低于90%；2）粉末氧含量不高于150ppm；3）粉末流动性不高于20s/50g，松装密度不低于母材密度的50%，空心粉率不高于1%；4）150微米以下球形粉末收率≥0%，53μm以下粉末收率≥30%。

**19.钢铁工业大宗固废基混凝土增材制造关键技术与装备**

**研究内容**：利用钢渣、铁尾矿等钢铁工业大宗固废，研制适用于层积工艺的增材制造混凝土材料，构建固废基增材制造混凝土材料性能调控策略与工艺匹配技术；开发混凝土增材制造的条带测控系统，建立质量智能监测、评价体系；开发应用场景，研究工程结构异形曲面增材制造设计与建造方法；研发模块化、可拓展的工程结构增材制造装备，开展示范应用。

**考核指标**：1）开发钢铁工业固废基增材制造混凝土材料2组，固废在材料中利用率≥30%，抗压强度≥50MPa，抗折强度≥7MPa，强度折减率＜10%；2）打印条宽控制误差＜10%；可拓展混凝土增材制造装备，重复定位精度±2mm，有效打印范围≥15m×7m×4m；3）开发应用场景≥2项，开展应用示范≥1项，编制技术标准1项。

**20.有色金属增材制造蓝光半导体激光器研发与应用**

**研究内容**：针对有色金属激光增材制造的需求，研究半导体激光器载流子注入动力学、模式调控及热应力对激光性能的影响机制，开展工业级蓝光激光器的新型外延结构设计、外延生长、器件工艺、失效机理及可靠性研究，突破芯片制备封装、光谱合束、增益调控、大能量关断、系统集成等关键技术，研制有色金属增材制造用高稳定、高功率、高光束质量的工业级蓝光半导体激光器。

**考核指标**：1）蓝光激光器单管芯片：功率≥10 W@50μm条宽，中心波长400 nm-500nm，工作寿命≥1万小时@5W；2）蓝光激光器光纤合模组：输出功率≥2000 W，中心波长400 nm-500 nm，8 小时工作功率稳定性≤5%，工作寿命≥1万小时。