2027 年国际科技合作需求

目录

课题一：矿用无线传感器自供电关键技术研究 2

课题二：工作面无线通信与组网技术 5

课题三：煤岩体地质力学数字表征与智能分类 8

课题四：暗光场景下的物料主动感知与自适应抓取技术 13

课题五：钻孔煤岩界面地质感知自移动机器人 15

课题六：时频域电磁波收发天线优化仿真设计 17

课题七：智能回采煤岩界面多模态感知系统与关键技术 19

课题八：地质模型与采掘钻装备孪生互馈 21

课题九：固废高值化资源化利用 23

课题十：5G/6G 无线通信与组网技术 26

课题十一：煤矿井下恶劣环境粉尘精准监测及矿工热害个体防护降温关键技术合作研发 29

课题十二：面向煤矿井下多组分高危混合气体的类脑智能传感与忆阻器在线监测技术 31

课题十三：面向煤田火高危混合气体的类脑智能连续监测成套设备研发 34

课题一：矿用无线传感器自供电关键技术研究

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内）

☐ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

提示：比如结合行业趋势、项目要求或自身技术发展瓶颈说明，已开展的相关工作、存在的主要难点与挑战等。

随着煤矿智能化建设的深入推进，为了减少井下布线工作量，井下无线传感器网络部署规模快速增长，涵盖矿压监测、瓦斯监测、粉尘监测、设备状态监测等多个系统。然而，受矿用本质安全型设备安标认证对电池容量和类型的严格限制，现有矿用无线传感器普遍采用小容量本安电池供电，实际使用周期仅为 3—6 个月，远不能满足井下设备全生命周期（通常 3—5 年）的监测需求。

技术瓶颈与主要挑战

（1）安标限制下电池容量受限。矿用本安型设备对电池的容量、类型、短路电流等有严格规定，通常仅允许使用小容量锂亚硫酰氯电池或锂

锰电池，无法通过增大电池容量来延长续航。

（2）井下更换电池成本高、风险大。无线传感器通常安装在采煤机、刮板输送机、液压支架等移动或分散设备上，更换电池需停产作业，部分位置人员难以到达，且频繁开盖操作可能影响设备的隔爆和本安性能。

（3）现有能量收集技术适应性不足。矿井环境中光照能量几乎不可用，温差能量受安装位置限制（需靠近主要产热部位），振动能量虽总量大、适应性较强，但现有压电或电磁式能量收集器在低频、宽频、变工况条件下的转换效率仍偏低，尚不能实现可靠的自供电运行。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

（1）安标合规与低功耗协同设计

本安型自供电系统架构设计：研究满足安标标准的自供电系统架构，明确能量收集模块、储能单元与传感器负载之间的本安匹配条件，确保整体通过安标认证。

超低功耗传感器节点设计：研究传感器节点的间歇采样、自适应休眠、事件驱动唤醒等低功耗运行策略，将平均功耗控制在毫瓦级以下，与能量收集模块的功率输出能力相匹配。

储能单元优化：研究适用于井下自供电系统的超级电容与微型锂电池混合储能方案，兼顾瞬时功率输出与长期能量储备需求。

（2）能量收集技术

①宽频高效振动能量收集器件设计：针对采煤机、刮板输送机等设备振动的低频（10—200Hz）、宽频、变幅值特点，研究压电式、电磁式、摩

擦电式及复合式能量收集器的结构优化与频带拓展方法。

②温差发电模块的集成与适配：针对井下设备产热部位温差稳定的特点，研究柔性热电发电模块的贴装工艺与热管理方案，解决曲面安装和长期可靠性问题。

③电磁感应取能技术：针对井下电缆和电机周围电磁场，研究电流互感器式非接触取能方案，实现从电缆屏蔽层环流或母线电流中获取电能。

④多源能量协同管理与功率合成：研究多源能量收集模块的阻抗匹配、功率合成与智能切换策略，实现能量利用效率最大化。

2.预期成果或技术指标。

（1）振动能量收集模块输出功率密度≥1 mW/cm^3 ;

（2）温差发电模块输出功率≥5mW;

（3）电磁取能模块输出功率≥10mW;

（4）示范节点连续无电池运行时间≥12 个月。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☑ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题二：工作面无线通信与组网技术

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

提示：比如结合行业趋势、项目要求或自身技术发展瓶颈说明，已开展的相关工作、存在的主要难点与挑战等。

工作面环境复杂，目前工作面无线通信方式为 wifi/4G/5G，无线通信稳定性不足，工作面无线通信存在以下难点：

1.信号覆盖难度大：工作面大型采掘设备密集遮挡，无线信号衰减极快，掘进面、设备后方等区域易形成通信盲区，常规无线通信难以实现全域连续覆盖。

2.电磁干扰严重：工作面掘进机、采煤机等大功率设备运行时会产生强电磁干扰，易造成通信卡顿、数据丢包，大幅降低传输稳定性。

3.环境适配要求严苛：工作面粉尘大、湿度高、振动强，且存在瓦斯

等易燃易爆气体，普通通信设备需满足防爆、IP67 以上高等级防护标准，硬件设计门槛高。

4.动态适配性不足：随着采煤作业持续推进，工作面位置不断前移，固定部署的通信节点需要频繁调整，传统网络架构难以快速适配动态变化的作业场景。

5.高可靠传输要求高：远程采煤机控制、安全闭锁等关键业务对低时延、零丢包要求极高，普通无线传输方案难以同时满足大带宽、低时延、高可靠性的多重指标。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

采煤工作面无线通信需要解决的核心问题可归纳为以下 5 项：

（1）复杂信道适配问题：解决工作面狭长巷道、设备遮挡带来的信号强衰减、多径效应问题，实现全域无盲区连续覆盖。

（2）强电磁干扰抑制问题：破解井下大功率采掘设备产生的非高斯脉冲干扰，保障数据传输低丢包、高稳定。

（3）本质安全合规问题：让通信设备满足煤矿井下防爆、防尘、防潮的严苛标准，符合煤安认证要求。

（4）高并发业务承载问题：支撑工作面数百个传感器、控制终端、摄像设备同时接入，保障多业务并行传输不卡顿。

（5）动态场景适配问题：适配采煤工作面持续前移的动态作业场景，实现终端无缝漫游、灾变下应急通信不中断。

2.预期成果或技术指标。

形成一套适配工作面的无线通信组网部署方案，可直接支撑远程采煤机操控、4K 高清视频回传、人员精准定位等智能化开采业务落地。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题三：煤岩体地质力学数字表征与智能分类

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

随着煤矿开采深度与开采强度持续提升，复杂条件下煤岩体围岩结构数字表征、智能分类、采动应力评估已经成为制约煤矿智能化支护设计与矿压科学管控的关键瓶颈。本项目“煤岩体地质力学数字表征与智能分类——阶段 I”，已完成地面版可控冲击震源样机研制、煤矿现场声波测井试验，具备围岩探测装备数据采集、现场实测数据集积累等基础条件。项目在物探装备、岩石力学知识储备和测试硬件方面已有较好研发基础，但本单位内部 AI 研发力量有限，亟需借助在人工智能领域具备技术优势的合作方协同攻关。

第一，煤矿现场属于强噪声工业场景，项目产出多源异构数据包含地震物探波形、声波测井曲线、围岩视觉图像、矿压时序监测、钻孔地质文

本等多模态数据，数据格式差异大、噪声干扰强、存在大量数据缺失、样本分布不均衡问题。传统数据处理手段难以实现多模态地质力学数据高效清洗、特征对齐、缺损数据智能补全。面向地震波形、钻孔图像的高维特征自动提取算法工程实现难度较大，制约煤矿地质力学多源异构数据库的数据质量。

第二，构建煤矿地质力学多源异构大模型存在技术难点。需要将岩石力学物理先验知识与深度学习进行深度融合，采用物理信息神经网络（PINN）、Transformer/图神经网络 GNN 框架，既要保障模型预测精度，又要保证模型具备地质力学物理解释性，避免纯数据驱动模型“黑箱”问题。目前内部在多模态融合大模型架构设计、物理约束嵌入深度学习网络的工程实现上经验不足。

第三，大模型的泛化与工程适配难度高。不同矿井地质条件差异巨大，如何开发高效迁移学习、增量在线更新算法，使训练完成的地质力学大模型适配不同矿区、不同工作面地质条件，降低新矿井场景下的标注样本依赖。同时针对围岩智能分级、围岩结构图像语义分割、裂隙软弱夹层智能识别任务，需要完成模型超参数优化、鲁棒性验证，保障模型井下工程现场可用。

第四，面向井下端侧部署的轻量化 AI 推理技术存在缺口。项目获取的机器视觉围岩识别、震源探测解译模型，原始模型参数量大，难以直接部署在煤矿井下边缘设备。需开展模型剪枝、量化压缩，在保证识别精度前提下实现端侧快速推理，支撑工作面围岩结构实时智能表征。

以上人工智能相关技术瓶颈，针对多源异构数据库质量、千万级参数

地质力学大模型的构建工作开展仍有局限。仅依靠项目组现有力量攻关，算法迭代周期长、工程化落地难度大。希望借助合作方在人工智能、深度学习、多模态大模型、迁移学习、端侧 AI 部署方面的技术优势，协同开展算法研究，加快本项目关键技术目标实现，为深部煤矿围岩智能分类、支护智能决策提供算法支撑，助力煤矿智能化开采。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

本项目硬件探测装备、煤岩力学试验、地质数据采集工作已具备基础，本次合作聚焦人工智能算法层面攻关，主要解决以下核心问题：

（1）煤矿工业多源异构地质力学数据智能预处理技术研发。针对可控冲击震源地震波形、声波测井曲线、围岩机器视觉图像、矿压时序监测、钻孔地质记录等多模态原始数据，开发面向煤矿强噪声场景的数据清洗、异常剔除、缺损样本智能补全、跨模态特征对齐算法；解决井下实测数据噪声大、样本不均衡、模态差异大的痛点，为地质力学数据库提供高质量标准化数据集。

（2）融合岩石力学物理先验的多模态大模型架构研发。基于 Transformer、图神经网络(GNN)搭建多模态数据融合基础框架，开展物理信息神经网络（PINN）嵌入深度学习网络的算法实现，把煤岩体力学本构、强度准则等物理约束融入模型训练过程，解决纯数据驱动模型物理解释性差、预测结果违背地质力学规律的黑箱问题，支撑千万级参数煤矿地质力学大模型搭建。

（3）大模型迁移学习与增量在线更新算法开发。研究跨矿区地质条

件下的迁移学习策略，降低新矿井场景对标注样本的依赖。开发增量学习算法，支持现场新增监测数据输入后模型在线迭代更新，解决不同矿井地质条件差异大、煤矿环境动态演化带来的模型泛化能力不足问题。同时完成围岩结构语义分割、裂隙与软弱夹层智能识别、围岩智能分级相关模型调优、超参数寻优与鲁棒性验证。

（4）AI 模型轻量化与井下端侧推理适配优化。对训练完成的图像识别、地质力学预测大模型开展剪枝、量化压缩，在控制精度损失前提下完成模型轻量化改造，适配煤矿井下边缘计算设备，实现工作面围岩结构、地质参数的井下实时推理表征。

2.预期成果或技术指标。

（1）研发煤矿多源异构地质力学数据智能预处理算法工具包，支持地震波形、测井曲线、图像、时序监测多类原始数据自动化处理，输出标准化数据，可直接接入项目多源异构数据库。

（2）完成可嵌入岩石力学物理约束的多模态大模型基础算法框架，支撑项目千万级参数煤矿地质力学大模型构建。模型具备围岩智能分类、地质力学结果外推预测能力，预测输出符合煤岩体地质力学基本规律，具备物理解释性。

（3）形成适配煤矿复杂地质场景的迁移学习、增量学习算法模块，可适配不同矿区地质条件，支持新增现场监测数据实现模型在线迭代更新，无需对全部样本重新训练。完成围岩结构语义分割、围岩智能分类模型调优与鲁棒性验证。

（4）完成面向井下边缘设备的 AI 模型轻量化改造，实现围岩识别与

地质预测模型的井下端侧推理，满足煤矿现场实时表征的工程应用需求。

（5）交付算法源代码、技术研究报告，配合项目组完成模型试验验证；协助产出 SCI/EI 学术论文、软件著作权，匹配项目整体研究目标与成果产出要求。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题四：暗光场景下的物料主动感知与自适应抓取技术

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3–5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

提示：比如结合行业趋势、项目要求或自身技术发展瓶颈说明，已开展的相关工作、存在的主要难点与挑战等。

井下光照条件差、粉尘水雾重、空间狭窄，物料刚柔混杂（锚杆、网片、管件、电缆、散料），且堆放无固定规则。现有可见光视觉在暗光下失效、抓取策略难以自适应，是井下上下料、材料取放、备件抓取、散料清运等作业“机器换人”的共性瓶颈。当前已具备机器视觉、三维点云语义分割、三维重建等相关技术，缺乏井下暗光场景下目标主动探索感知与机械臂自适应抓取相关能力。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

2.预期成果或技术指标。

解决的问题包括：（1）主动感知机理：融合多模态传感器，实现暗光等复杂环境下的小范围目标自主探索感知与特定目标的 6D 位姿估计;（2）自适应抓取方法：针对刚柔混杂且无序堆放的物料，研究机器人控制算法实现弱传感条件下的自适应抓取；预期形成机器人自适应物流抓取系统一套，针对掘进场景下锚杆、钻杆、锚固剂等物料的抓取成功率大于 90%以上。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题五：钻孔煤岩界面地质感知自移动机器人

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☐ 较急（1-2 年内） ☑ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

提示：比如结合行业趋势、项目要求或自身技术发展瓶颈说明，已开展的相关工作、存在的主要难点与挑战等。

煤矿透明地质与智能开采需要更精细地识别煤层顶底板界面、夹矸及局部异常，现有钻孔多依赖一次性孔内探测，连续高分辨率信息不足。钻孔存在孔径小、孔壁不规则、积水煤泥和局部塌孔等情况，常规探头在通过性、定位精度和安全回收方面受限。孔中雷达研究已证明沿煤层钻孔可探测煤岩界面，但孔径、巷道和金属支护会产生干扰，因此需要将自主移动平台与多源地质感知深度融合。

三、需求内容

1.攻关小直径钻孔内自适应行走/锚定与自主回收机构，使机器人可在变径、弯曲、湿滑和局部障碍条件下稳定往返。集成孔内视觉、声学/超声、电磁或电阻率等多模态传感器，研究煤岩界面、夹矸和异常体的融

合识别方法。突破无 GPS 条件下的里程—姿态联合定位、通信供能和运动控制，实现感知结果与钻孔轨迹的精确空间配准。

2.形成钻孔煤岩界面地质感知自移动机器人原理样机及配套控制软件，并完成实验孔和煤矿现场验证。实现自主往返、状态监测、故障保护、安全回收及连续地质信息采集，形成煤岩界面识别与孔轨迹配准算法。输出可用于透明地质模型更新的界面位置和异常信息，沉淀结构设计、传感器集成、控制算法及现场试验方法。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题六：时频域电磁波收发天线优化仿真设计

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☐ 较急（1-2 年内） ☑ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

煤矿井下时频域电磁探测对收发天线的宽频响应、瞬态特性和抗干扰能力要求高，天线性能直接影响早期信号质量、分辨率和有效探测距离。现有线圈/天线受尺寸、带宽和品质因数约束，关断后的残余响应、振铃以及幅相失真会掩盖弱异常信号，井下金属支护和复杂介质还会改变场分布与耦合关系。香港城市大学在宽带、可重构/超表面天线和多目标优化方面具有相关研究积累，适合联合开展复杂约束下的高性能电磁收发天线设计。

三、需求内容

1.建立面向井下时域与频域电磁探测的一体化全波/电路协同仿真模型，系统分析天线几何、材料、屏蔽、匹配网络、收发间距及金属环境的影响。重点优化发射端场强、关断时间和低振铃特性，以及接收端灵敏度、带宽、噪声和动态范围，提升早期时窗有效信号获取能力。研究多目标优

化与机器学习辅助优化方法，在体积、功耗、带宽、效率、方向性和时域保真度之间实现协同设计，并建立仿真—样机—标定闭环。

2.形成时频域电磁收发天线参数化仿真与优化设计平台，给出关键结构、匹配及屏蔽方案。完成高性能收发天线样机和实验室标定，获得频率响应、瞬态响应、灵敏度及抗干扰等性能曲线，并形成天线响应补偿与校准算法。沉淀可复用的设计规则、优化算法和试验评价方法，为不同井下探测场景的系列化天线开发提供基础。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题七：智能回采煤岩界面多模态感知系统与关键技术

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

智能回采要求采煤机实时识别煤、岩、夹矸及顶底板界面，为滚筒调高、牵引速度和截割参数自适应控制提供依据。井下粉尘、低照度、喷雾和强振动使单一视觉或单一载荷信号稳定性不足，不同煤层和设备之间还存在明显域差异。已有研究表明，图像与激光点云、振动与电流以及主动红外等多模态方法能够提升识别效果，但现场连续实时识别、跨矿泛化和与控制系统闭环联动仍需突破。

三、需求内容

1.研究适应强粉尘、低照度和喷雾环境的多模态感知方案，融合可见光/红外、激光点云、振动、电流和声学等信息，实现煤岩类别及界面的联合识别。构建覆盖不同煤质、围岩、截割状态和设备工况的数据集，研

究小样本、迁移学习与域适应方法，提升跨矿井和跨工作面的泛化能力。突破多源时空同步、在线融合和轻量化实时推理技术，并将识别结果与采煤机位姿、滚筒高度和牵引控制参数进行关联。

2.形成智能回采煤岩界面多模态感知原型系统，包括传感器组合、数据采集、识别算法和可视化软件。建立具有代表性的煤岩多模态数据集和评价体系，实现煤岩类别、界面位置和置信度的实时输出，并支持模型快速迁移更新。形成与采煤机控制系统对接的数据接口和应用方案，为自动调高、智能截割和少人化回采提供感知支撑。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题八：地质模型与采掘钻装备孪生互馈

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年）☐长期储备

二、需求产生背景/应用场景

煤矿采掘与钻探过程中，地质模型多由前期勘探数据构建，而随钻、位姿、载荷和在线感知数据未能及时反哺模型，导致模型与现场状态逐渐偏离。另一方面，地质信息仍多停留在可视化和辅助查询层面，尚未充分转化为装备路径规划、参数优化和风险预警的实时依据。数字孪生强调物理—虚拟双向同步与闭环反馈，但煤矿场景仍存在多源数据异构、时空基准不统一、模型实时更新和不确定性表达等瓶颈。

三、需求内容

1.建立地质体、采掘装备和钻探装备统一的时空坐标与语义模型，打通钻进参数、轨迹、物探、位姿、截割载荷及设备状态等多源数据。研究融合地质规律、物理模型和数据驱动算法的动态更新方法，将随钻/随采新信息实时同化到三维地质模型，并量化模型不确定性。研究地质模型向装备侧的反向服务机制，形成路径规划、截割/钻进参数优化、异常预警

和控制策略推荐，并在数字空间进行预测、仿真和闭环校正。

2.形成地质模型—采掘钻装备孪生互馈总体架构、数据标准和原型平台，实现多源数据实时接入、装备状态映射和地质模型动态更新。完成典型采掘或钻探场景的虚实同步，并形成模型更新、数据同化、设备行为预测和闭环优化等核心算法模块。通过现场或半实物验证，形成可复制的技术路线和接口化方案，为透明地质与智能装备协同控制提供基础。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☐ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题九：固废高值化资源化利用

一、需求紧急程度

☑ 紧急（半年内需落地） ☐ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年）

☑ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

我国煤基固废处置正面临从“消纳负担”向“资源增值”转变的关键节点。煤矸石堆存量已超 70 亿吨，传统建材化消纳路径随着建筑需求趋缓而空间收窄，倒逼利用方向向高值化、功能化转型。其中，生态化利用具有特殊战略意义——煤矸石富含硅、铝、铁、钙等组分，具备改良土壤结构、补充矿质养分的物质基础，可实现固废就地消纳与生态提质双向增益。

但干旱矿区的特殊生境构成了突出瓶颈。这类区域极端贫瘠、干旱少雨、土壤结构劣质，多重胁迫叠加形成复合型障碍。现有煤基固废改良技术多关注单一指标提升，缺乏以障碍因子识别为前提的目标导向型改性策略，实验室中表现良好的方案在现场往往因干旱胁迫而失效。

研究表明，丛枝菌根真菌与功能细菌组合接种可显著提升根际养分含

量与植物抗逆性；乌海能源等实践也证明，煤矸石经微生物转化后可支撑干旱矿区“少浇水甚至不浇水”的可持续修复。这意味着煤基固废不再仅是填充材料或化学改良剂，而是可作为微生物载体、水分调控介质和矿质养分缓释源，嵌入植物-微生物-土壤协同网络，要求改性技术从“释放养分”升级为“调控水分-缓释养分-支撑微生物-促进根系”的多功能集成设计。

因此，亟需建立“障碍诊断-材料定制-生物匹配-系统协同”的煤基固废提质改土协同生态重建的高值化资源化利用技术。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

（1）研究煤矸石、粉煤灰、气化渣等典型煤基固废的碳质组分、矿物组成与孔隙结构特征，识别不同组分在养分供给、水分/盐分调节、结构改良及生物活性等方面的作用机制。研究关键组分在干旱、盐碱土壤中的活化、释放与转化规律，建立组分赋存形态、释放特征与土壤功能响应的关联关系，辨识主导功能组分及适宜作用区间。

（2）采用热活化、微生物分解等手段，开发煤基固废碳组分与养分元素活化及表面官能团调控技术，形成高孔隙生物炭及高活性腐植酸类基础材料。开展有机、无机功能材料配用及功能微生物附着处理，形成改土培肥专用材料；基于保水功能强化与叶片气孔调节，形成根际保水和叶片蒸腾抑制类抗旱材料，建立材料组分与植物抗旱效应的构效关系。

（3）建立覆盖“固废收集-预处理-材料制备-工程应用”全链条的碳足迹核算方法，量化煤基固废基改土抗旱材料替代传统土壤改良剂、保水

剂及化肥的碳减排效益。构建煤基固废资源化利用的碳汇增益评估模型，开展不同利用路径（改土培肥、抗旱保水、生态修复等）的差异化碳减排潜力分析，建立行业级碳足迹数据库，为煤基固废低碳利用技术优选和政策制定提供量化依据。

2.预期成果或技术指标。

（1）改土抗旱材料制备中煤基固废掺量≥70%，

（2）与矿区周边土壤相比，修复后土壤有机质含量提升>35%，

（3）形成煤基固废协同利用配方设计方法 1 套。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☑ 共建实验室 / 合作基地

☑ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题十：5G/6G 无线通信与组网技术

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年）

☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

目前 5G 通信技术在煤矿井下已能够支撑高清视频回传、语音调度、设备控制、人员定位等业务，但受井下巷道狭长、弯道多、金属设备密集、遮挡严重及多径反射明显等复杂环境影响，无线信号在远距离、拐弯及非视距场景下衰减较快，连续覆盖和链路稳定性不足；同时，随着高清视频、巡检机器人、车辆终端等业务大量接入，上行带宽和并发承载压力不断增大，移动终端在多基站间切换过程中还可能出现时延、丢包和业务中断。此外，5G 基站功耗较高，与煤矿井下本安防爆、电源带载能力受限之间存在矛盾，较短的单站覆盖距离也会带来基站、光缆和供电设施数量增加，进一步提升建设和维护成本。因此，如何实现更远距离覆盖、更稳定链路、更高上行带宽、更低功耗以及更平滑的移动切换，仍是 5G 在煤矿井下规模化应用需要重点解决的问题。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

（1）井下复杂空间导致无线覆盖稳定性不足

煤矿巷道狭长、弯道多、岔道多，且存在大型机电设备、金属支护、车辆等遮挡，容易产生反射、绕射、多径和非视距传播。5G 高频段在拐弯、遮挡后的衰减尤其明显，往往出现“直巷覆盖较好、弯巷和工作面覆盖快速恶化”的情况，导致基站部署密度增加。

（2）远距离覆盖与高带宽之间存在矛盾

井下既希望减少基站数量、提高单站覆盖距离，又需要同时承载高清视频、设备数据和控制业务。随着通信距离增加，调制编码等级降低，有效带宽随之下降，因此“远距离、高带宽、低时延”三者难以同时兼顾。

（3）高功耗设备与煤矿本安防爆要求矛盾突出

5G 基站中的射频功放、基带处理、交换模块等功耗明显高于传统矿用无线设备，而井下本安电源允许的输出功率、储能和瞬态能量受到严格限制。如何进行多路本安供电、电源域拆分、分时启动、动态功率管理以及射频功率优化，是 5G 基站井下化的重要技术难点。

（4）多系统、多制式并存带来融合通信困难

煤矿井下通常同时存在 5G、4G、WiFi、UWB、调度通信、广播、人员定位和工业以太网等系统。不同系统之间号码体系、身份认证、位置数据、音视频能力和调度接口不统一，容易形成新的“通信孤岛”。如何实现井下 5G 与 WiFi、UWB、调度电话、视频监控等系统融合通信。

（5）建设和维护成本较高

井下单站覆盖距离不足，就需要增加基站数量，同时增加光缆、电源、防爆设备和维护点。对于掘进工作面等不断前移的区域，网络还需要频繁延伸和调整。因此，需要解决减少有线回传、提高单站覆盖范围、实现快速部署。

2.预期成果或技术指标。

验证 5G/6G 无线通信与组网技术在煤矿井下适用性，并研发相关样机支撑。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☐ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题十一：煤矿井下恶劣环境粉尘精准监测及矿工热害个体防护降温关键技术合作研发

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年） ☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

煤矿井下采掘工作面存在高粉尘、高湿、高温等恶劣工况。现有粉尘监测设备易受积尘、湿度干扰，传感器漂移大、误报率偏高，难以实现长期稳定在线监测；井下热害问题突出，现缺少有效降温方式或依靠大型制冷设备，能耗高，缺少轻量化、可应用于矿工个体防护的降温技术手段。

我方已部署常规粉尘、温度监测设备，但在高粉尘复杂环境下传感抗干扰及环境适用性技术、矿工个体无源降温防护材料方面存在技术短板。

拟对接香港高校相关前沿技术成果，针对煤矿井下特殊工况开展适应性改造，应用于井下工作面粉尘在线监测、矿工个体热防护，提升井下粉尘监测可靠性与高温作业人员热舒适水平。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

1）井下高恶劣环境粉尘稳定监测技术：借鉴香港理工大学抗高粉尘光谱感知、忆阻器类脑信号处理技术，开展井下粉尘监测终端联合研究。解决井下高粉尘、高湿环境下传感器信号漂移、积尘干扰、误报警问题；研究抗粉尘光学传感结构、信号干扰抵消算法，实现井下粉尘稳定在线检测。

2）矿工个体无源降温防护技术开发：引入香港大学被动辐射制冷超构材料相关技术，针对矿井密闭工况开展材料改性适配研究；研发适合矿工穿戴的柔性降温防护面料、降温防护马甲原型，实现无源被动降温，缓解井下高温作业热害；同步研究辐射制冷材料在井下局部作业硐室的适配应用方案。

2.预期成果或技术指标。

1)研制井下抗干扰粉尘监测原型终端，可适应井下 200- 800mg/m^3 高粉尘、高湿环境，有效抑制积尘、湿度带来的信号漂移，可对接煤矿现有监控通讯系统，具备现场试点条件；

2)完成矿工无源个体降温防护面料及防护马甲原型样品，适配井下作业穿戴要求，实现个体有效降温；输出井下工况下辐射制冷材料改性研究报告；

3)形成全套技术研究报告，输出原型样机/样品，完成实验室性能测试，具备后续开展矿用本安防爆改造及井下试验的基础。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☑ 人才交流 / 培训

课题十二：面向煤矿井下多组分高危混合气体的类脑智能传感与忆阻器在线监测技术

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年）

☐ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

煤矿井下环境属于典型的恶劣工业现场与极高危爆炸性场所，采掘工作面、回风巷、采空区等区域常年存在高温（25℃~40℃）、高湿（70%～95%RH）、高浓度煤尘（200～800mg/m³）及多组分爆炸性气体（CH_4、CO、CO_2、O_2等）共存等极端条件。传统基于电化学原理的矿用气体传感器存在三大痛点：一是多气体交叉敏感严重，CO 极易受 H_2等还原性气体干扰导致误报警；二是温湿度漂移导致零点基准不稳、误报频发，需频繁停工校准；三是传感器智能化水平低，难以实现自动校准与实时反馈。

当前我院已自主研发 KJ3093 煤矿瓦斯巡检系统，采用激光甲烷、红外 CO_2等光学检测技术解决了部分精度问题，但在“多组分混合气体一键式精准识别”“高湿积尘干扰下的长期稳定性”“毫秒级并行响应”等方面仍

有技术瓶颈。亟需引入香港高校在新型微纳传感与忆阻器类脑计算领域的前沿成果， 突破传统传感器环境适应性差、选择性弱、智能化程度低的共性难题。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

（1）多组分气体高选择性同步识别问题： 当前传感器对井下 CO、CH_4、CO_2、O_2混合气体交叉干扰严重，需开发基于梯度纳米薄膜阵列的差异化感应像素技术，使四类气体输出互不重叠的特征电信号，彻底解决传统传感器误报频发的痛点。“WO_3/ZnO/CuO/TiO_2梯度纳米薄膜+忆阻器类脑运算”技术路线，四通道信号可完全分离。

（2）井下复杂环境自适应抗干扰问题： 高湿、积尘、温漂导致传感器精度衰减严重，需开发忆阻器双层运算阵列，第一层同步过滤粉尘、湿度干扰信号，第二层自动区分气体种类与浓度。设备需满足连续三个月不间断工作检测精度下降≤2.2%，无需停产拆机校准。

（3）毫秒级响应与低功耗本安设计问题： 煤矿安全规程要求突发气体涌出秒级预警，当前传感器 T_{90}响应时间过长。需开发光电忆阻器传感模组，响应时间≤2ms，整机静态平均功耗≤10mW，符合 GB3836.4 Ex ia I Ma 本安最高等级要求。

2.预期成果或技术指标。

光电忆阻器传感器模块需针对井下主要灾害性气体及环境安全指标进行选择性监测，核心检测对象及基础技术参数如下表所示：

气体组分	监测目的	量程范围	检测误差

甲烷 (CH_4)	防爆安全、防瓦斯突出监测，通风管道瓦斯抽采监测	常规安全监测： 0.00%～4.00% vol 高浓度管道抽放： 0.00%～100.0% vol	测量范围：0.00%～1.00% ，±0.05% 测量范围：1.00%～100% ，真值的 ±5%
一氧化碳 (CO)	煤炭自燃早期火灾预测预报，井下有害气体安全限值监控	0～1000 ppm	测量范围：0～100，±4ppm； 测量范围：＞100～500，真值的±5%； 测量范围：＞500～1000，真值的±6%。
氧气 (O_2)	防止工作人员缺氧窒息，确保安全作业环境	0.0%～25.0% vol	±0.5% vol
二氧化碳 (CO_2)	环境通风状况评估，采空区及封闭区涌出监控	0.00%～5.00% vol	测量范围 0. 00～0. 50% vol,±0. 10% vol； 测量范围 0. 50～5. 00% vol,±(0. 05+真值的5%)。
硫化氢 (H_2S)	剧毒气体，防止人员急性吸入性中毒	0～100 ppm	测量范围：0～100ppm，绝对误差±5ppm； 测量范围：≥100～200ppm，真值的±5%。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☐ 共建实验室 / 合作基地

☑ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____

课题十三：面向煤田火高危混合气体的类脑智能连续监测成套设备研发

一、需求紧急程度

☐ 紧急（半年内需落地） ☑ 较急（1-2 年内） ☐ 一般（3－5 年）☑ 长期储备

二、需求产生背景/应用场景

煤田火区治理已成为国内外的研究热点和亟待解决的重大难题。煤田火属于无控制地不充分燃烧，会释放出大量的有毒有害气体，包括二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳以及强致癌物，同时还会产生巨量的二氧化碳和甲烷等温室气体，加剧全球气候变化。传统气体监测技术存在传感器长期稳定性差及温湿度环境适应性不足、监测系统的响应延迟较大，难以满足生态环境监测需求，基于此，课题组研发了激光气体在线监测系统，构建了煤田火灾害气体监测技术，建立了基于多源数据融合的监测预警平台。

近年来，忆阻器类脑计算技术在气体传感领域取得突破性进展。以多组分梯度纳米薄膜传感芯片实现“感知”，以忆阻器类脑运算单元实现“认知”，在硬件层面完成感知-存储-计算的融合，有望从根本上解决传统气体监测技术误报频发、响应滞后的行业痛点。

三、需求内容

1.需要解决的核心问题或需要研究/调研的主要内容等。

（1）研究小型化、低功耗、本安型多组分气体感知微系统，实现在高湿、高尘环境下的稳定采样与多通道响应，为混合气体识别提供可靠原始信号，实现二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳和甲烷等多组分同步监测。

（2）研究面向煤田火燃烧气体产物监测的边缘智能计算方法，实现多气体分类、浓度反演、异常识别、误报抑制和自适应校准。重点解决混合气体信号分离、环境干扰剔除和预警阈值动态调整问题。

（3）研究高温、高粉尘、低气压等因素对监测信号的影响规律，建立补偿与自修正机制，延长设备免维护周期，提升连续运行可靠性。

2.预期成果或技术指标。

（1）监测组分 包含 CH_4 、SO_2、CO、CO_2 、O_2 、NO_X 等，不少于 6 种，可扩展其他灾害气体；

（2）混合气体条件下通道干扰误差≤±5% FS；

（3）环境适应：温度 0－50℃，湿度 0－98%RH，防护等级 IP54 及以上。

四、期望合作方式

☐ 技术咨询　　☑ 联合研发　　☑ 委托开发

☐ 技术引进 / 许可

☑ 共建实验室 / 合作基地

☑ 人才交流 / 培训

☐ 其他：_____