

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

基于采掘机震源的采掘工作面实时动态探测技术与装备

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省科学技术厅

提名意见：对采掘工作面内部隐蔽致灾地质因素随采实时、动态监测，是煤矿企业几十年梦寐以求希望解决的难题，也是煤炭行业科技工作者奋斗多年的目标。提名的“基于采掘机震源的采掘工作面实时动态探测技术与装备”项目，创新提出了将采煤机/掘进机振动信号替代井下炸药震源的奇思构想，既有避免炸药安全隐患、降低施工强度的现实意义，同时采煤机/掘进机的连续振动具有叠加（上万次）探测反复验证、精准查明隐蔽致灾地质体的先天优势。项目组历时 10 多年，攻克了采煤机/掘进机震源高精度脉冲化、低信噪比数据自适应成像、采集数据实时传输自动处理和成像等难题，随采与随掘地震监测两项技术均被中国煤炭工业协会鉴定为国际领先水平。项目成果已经在十多个矿井、数十个工作面进行了推广应用，取得了显著的探测效果。经过多年知识产权布局，该发明成果已申报专利 24 项，授权 20 项，形成的专利池已覆盖该发明成果在采集、处理、成像仪器和工艺等各环节。颁布行业标准 2 项。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

该项目属于矿山安全技术领域，主要用于煤矿智能化探测，服务于煤炭安全、高效、绿色开采。

随着煤矿安全高效集约化生产模式的推广和无人化、智能化开采时代的到来，煤矿采掘工作面要求超前查明影响回采/掘进的小构造、隐蔽致灾地质因素以及实现工作面地质透明化的需求日趋强烈。为此西安院对随采随掘地震监测技术开展了先导性研究，随采随掘地震动态探测技术以采煤机/掘进机切割煤壁产生的振动信号作为震源信号，通过在回采/掘进工作面两顺槽和孔内布设地震传感器实时接收信号，克服了传统矿井地震勘探中炸药震源应用受限的弊端，施工过程不再影响煤矿正常的生产活动；利用随采随掘地震数据实时处理和动态成像技术，实现对煤矿井下回采/掘进工作面前方一定区域或者工作面内部煤层中断层、陷落柱、煤层变薄区等静态地质条件精细监测，同时随采地震监测还可以解决回采工作面顶板破碎带、应力集中区、突出危险区等动态灾变条件的随采随探和监测预警。项目取得以下重大创新性成果：

1. 研发了三维可视化随采随掘地震数值模拟平台。

1) 采煤机/掘进机震源数值模拟技术。对采煤机/掘进机截割方式及滚筒的受力情况进行分析，进而以震源力函数的形式，将不同时间不同位置的荷载分布

作为震源在波动方程进行加载,通过高阶交错网格有限差分法对波动方程进行求解,模拟采煤机/掘进机切割时振动引起产生的随采随掘地震信号。最终,对正演随采随掘地震数据进行波场分析、处理,从而掌握了采煤机/掘进机震源的波传播机理。

2) 随采随掘地震采煤机/掘进机震源格林函数重构方法。根据采煤机/掘进机震源函数特点,研发出在时空连续情况下震源函数的时空解耦方法;通过理论推导利用远场信号重构采煤机/掘进机震源格林函数,实现了近场震源信号缺失时随采随掘地震时空双域脉冲化,并对采煤机/掘进机进行实时定位,解决了随采随掘地震利用全波场勘探的技术瓶颈。

2. 开发了首台套随采地震在线采集传输、实时自动处理系统。

1) 井下无 GPS 信号下的高精度同步采集和随采随掘数据的实时自动处理技术。针对随采随掘地震探测的实时性要求,通过对改进 IEEE1588 同步协议,增加地面定时对主钟授时、主钟自动优选和多系统分组同步等机制,实现了井下无 GPS 信号下的高精度同步采集;研制出了井下采集传输设备、地面采集控制软件和数据实时自动处理系统,具有高效采集、在线传输、自动处理、无人值守、成果可视化和构造数字化等优点。

2) 研发出分布式、在线随采随掘地震监测系统,能够通过网络总线串联若干台采集站将来自采煤机/掘进机的震动信号通过采集站进行实时放大、滤波、模数转换,然后将数据通过工业以太网传送至中心站。采集站可根据需要改变分站数量,从而实现系统扩容。分布式的格局使得震动传感器到采集分站的模拟信号电缆最短,可将噪声、串扰、衰减等因素的影响降到最低。

3) 基于 MFC 开发框架,分别开发出随采随掘地震监测数据采集软件和处理软件:采集软件实现了随采随掘地震数据安全、高效和实时采集存储的功能,具有运行稳定、操作便捷、便于维护和无人值守等优点;处理软件采用分层、多任务架构,实现了集数据管理、数据展示、数据处理和成果展示于一体,满足了随采随掘地震数据实时、连续及大数据量的需求。

3. 创新研发了基于随采随掘地震数据的实时处理、动态成像技术

1) 随采随掘地震数据的自动清洗技术。利用数据之间的互相关时差、能量、频散等特征,实现了采煤机/掘进机截割、停机、空转三种状态的自适应识别。

2) 随采地震随机噪声和单频噪声的自适应压制技术。基于互相关的方法,一次性压制所有道集的强单频能量,相比逐道压制噪声的方法,运行效率更高,人为干预影响更小;通过得出的高信噪比互相关随采随掘地震记录,为后期成像处理提供了更高质量的基础数据,提高成像精度。

3) 动态反演及高精度构造成像技术。对随采随掘地震采集获取的有效信号,利用地震波 CT 图像重构技术,对采掘工作面内部进行了成像,来探明工作面内的地质构造,并实现了成像结果的动态更新。利用上一周期成像的结果作为初始模型,结合当前周期随采随掘地震数据成像对初始模型不断优化,动态更新,最终实现了更新周期为一个工作面采煤机/掘进机割一刀煤时间(约为 2~3h)的动

态成像，实现监测工作面内的地质构造的异常变化。

4) 低信噪比地震信号的时频域直接拾取初至技术。首先对低信噪比信号开展时频正变换；然后在时频域进行噪声自适应衰减；最后，根据地震信号在时频域的系数叠加响应和时间域具有相同波形表征的特点，直接在时频域利用基于统计学的方法开展初至拾取。该技术具有运行速度快、人工干预少的自适应特点，通过获取的低信噪比数据的准确初至位置，将提升采集质量欠佳区域的后续被动源震源定位、速度分析以及层析成像等地震处理结果的准确性。

四、客观评价

(1) 2022年4月14日,中国煤炭工业协会在北京组织专家对中煤科工集团西安研究院有限公司完成的“基于采煤机震动的随采探测技术与装备”项目成果进行了鉴定。与会专家听取了项目汇报，审查了相关资料，经质询、讨论，形成以下鉴定意见：

1. 研发了采煤机连续震源的弹性波数值模拟技术，提出随采地震观测的优化方案，为随采地震高精度动态探测奠定了基础。

2. 提出了无近场震源信号的采煤机震源波场高精度重构技术，有效实现了无近场震源信号时随采地震波场的“脉冲化”处理，降低了数据采集的施工难度和对生产的影响。

3. 研发出随采地震数据处理关键技术，实现了随采地震低信噪比数据的自适应、高精度动态成像，提高了随采地震探测精度和准确率。

4. 研发出随采地震数据在线采集、实时传输、自动处理系统，实现了对采煤工作面前方地质构造和动态应力变化的实时动态探测。

鉴定委员会认为该成果达到国际领先水平，同意通过鉴定。

(2) 2021年11月，中煤科工集团西安研究院有限公司委托国家科委科技信息司认定的教育部科技查新工作站（Z08）对项目成果进行了科技查新，查新结论认为：在国内外公开发表的中外文文献中，除本查新项目课题组成员发表的论文和申请的专利以外，与本项目查新点完全相同的未见报道。

(3) 2025年4月23日，中国煤炭工业协会组织专家对中煤科工西安研究院(集团)有限公司完成的“掘进工作面随掘地震探测技术与装备”项目进行了科技成果鉴定。与会专家听取了项目汇报，审阅了相关资料，经讨论、质询，形成如下鉴定意见：

1.研发出三维可视化随掘地震数值模拟系统，研究了纵轴式、横轴式掘进机震源波场传播机理及响应特征，为观测系统布设、采集参数设置、处理技术研发等提供了理论依据。

2.研发出随掘地震数据实时、自适应处理成像关键技术，提高了掘进机震源激发的有效波场的提取精度，实现了反射波低信噪比数据时空双域的高精度构造成像。

3.开发出随掘地震数据分布式采集传输装备和自动处理系统软件，实现了随掘地震数据的高精度同步采集、实时连续传输及大数据量的自动处理。

研究成果在山西、陕西、内蒙、安徽、新疆、山东和河南等大型煤炭基地进行了推广应用，取得了显著技术应用效果。同意通过鉴定。项目成果达到了国际领先水平。建议加大研究成果的推广应用。

(4) 2016年3月，国家科技重大专项“煤与煤层气地质条件精细探查技术与装备”项目办组织专家对《煤矿井下工作面超前探测技术与装备》进行验收。验收组认为，项目研究了采煤机切割煤时产生的振动信号特征，以此作为连续震源进行波场传播分析和三维地震数值模拟。研究了随采数据针对性的处理方法，将随采地震数据处理纳入槽波数据处理的范围。根据分析处理技术和解释方法，编写算法程序，包括数据的输入输出、预处理、可视化、数据分析模块、处理流程模块、解释模块及人机交互等，界面友好、性能稳定，应用效果很好，具有很好的推广价值。

(5) 项目成果被主流媒体宣传报道14篇，被选为中国煤科2021年度大事，“首台、首套、首次”频现，创新引领作用凸显，并被推送到集团公司官方平台。同时被国家矿山安全监察局门户网站、IntelMining智能矿业、智能煤矿、中国煤炭报、绿色能源世界、淮河能源集团等公众号多次进行了跟踪报道，产生了良好的社会影响。

五、应用情况

项目成果应用于煤矿井下工作面回采/掘进时对工作面前方的静态地质构造和动态应力变化进行实时动态超前监测。研究成果有助于对回采/掘进前方可能存在的隐伏构造和应力异常进行精确探查，确保煤矿安全高效生产，同时可以为回采/掘进工作面地质透明化模型动态更新提供实时监测数据，推进煤矿智能化建设，推动煤炭行业技术进步。本项目成果属于新研发技术，已成为煤矿智能化建设中地质保障领域的关键技术，预计未来几年随着煤矿智能化程度的深入，随采随掘地震监测技术将会得到大规模推广应用，助力煤矿智能化建设，为安全高效生产提供更好的保障。

基于采掘机震源的采掘工作面实时动态探测技术已在陕西小保当一号煤矿、蒲白建庄煤矿、内蒙唐家会煤矿等十多个煤矿、数十个工作面进行了应用，具有探测距离远（最远提前400米探测，且得到准确性验证）和精度高（1米以上断层探测精度达到90%）的优点，取得了较好的应用效果。该成果累计新增产值约12.9亿元，新增利税4.7亿元。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	随采随掘地震监测技术与装备	应用于数十个煤矿	2021年1月至今	刘柏根 /029-81778018

2	化兴能源 有限责任公司	采煤工作面随采 地震监测技术与 装备	唐 家 会 煤 矿 61304 工作面,新 增产量 97.85 万 吨	2021 年 1 月至今	孔 皖 军 /1513490 8728
3	化兴能源 有限责任公司	掘进工作面随掘 地震监测技术与 装备	唐 家 会 煤 矿 61208、61302 工 作面, 新增产量 84.5 万吨	2022 年 1 月至今	王 宏 伟 /1566149 0727
4	蒙泰不连 沟煤业有 限责任公 司	采煤工作面随采 地震监测技术与 装备	不 连 沟 煤 矿 F6223 工作面,新 增产量 101.67 万 吨	2023 年 1 月至今	兰 天 龙 /1384837 0109
5	国能新疆 屯宝矿业 有限责任 公司	掘进工作面随掘 地震监测技术与 装备	屯宝煤矿掘进工 作面, 新增产量 97.8 万吨	2023 年 5 月至今	陈 永 科 /1899988 3842
6	小保当矿 业有限公司	采煤工作面随采 地震监测技术与 装备	小保当一号煤矿 112204、112208 等工作面探测, 新增产量 50.16 万吨	2022 年 1 月至今	马 越 /1829126 7920
7	淮南矿业 (集团) 有限责任 公司	随采地震监测技 术与装备	张集煤矿工作面 探测, 新增产量 10.5 万吨	2022 年 1 月至今	王 康 健 /1395546 9155
8	华能煤炭 技术研究 有限公司	掘进工作面随掘 地震监测技术与 装备	砚北煤矿掘进工 作面探测, 新增 产量 60.3 万吨	2025 年 1 月至今	万 小 龙 /1569333 6256
9	山西晋煤 集团技术 研究院有 限公司	掘进工作面随掘 地震监测技术与 装备	赵庄二矿掘进工 作面探测, 新增 产量 67.8 万吨	2024 年 1 月至今	高 林 /1393569 8725
10	淮北矿业 股份有限 公司	掘进工作面随掘 地震监测技术与 装备	袁店一井煤矿、 朱仙庄煤矿掘进 工作面探测, 新 增产量 89.7 万吨	2024 年 1 月至今	张 飞 龙 /1785509 3259

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种回采工作面随采地震采煤机震源函数重构方法及装置	中国	ZL202011157476.8	2024-01-19	6628237	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;金丹;崔伟雄;王云宏;豆旭谦;聂爱兰;张鹏;李刚
2	发明专利	一种基于行波分离的随掘地震数据脉冲化方法	中国	ZL 20230370500.3	2025-08-26	8195141	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;金丹;程建远;崔伟雄;王云宏;覃思;刘柏根;聂爱兰
3	发明专利	一种随掘地震数据采集同步时差提取与校正方法	中国	ZL2023111672444	2026-04-07	8846967	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;金丹;豆旭谦;程建远;王坤;关奇;董蕊静;余俊辉;肖文杰
4	发明专利	一种用于窄带信号的时频双域正则化稀疏反褶积方法及装置	中国	ZL202110945575.0	2023-11-03	6456958	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	金丹;王保利;王云宏;豆旭谦;覃思;代晨昱;裴跟弟;张庆庆
5	发明专利	一种矿井掘进工作面自供电分布式地震监测系统和方法	中国	ZL 201910847822.6	2022-03-08	4977990	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	崔伟雄;燕斌;张庆庆;赵朋朋;王云宏;王保利
6	发明专利	一种基于视频监控图像的采煤工作面地质编录方法	中国	ZL202111550767.8	2025-06-20	8013254	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	崔伟雄;王云宏;王保利;刘文明;朱梦博;鲁晶津;闫文超;

								丛琳
7	标准	煤矿掘进巷道随掘地震探测技术	中国	NB 20210142	2024-12-25	NB 20210142	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;程建远;覃思;王云宏;金丹;崔伟雄;段建华;宋孝忠;张庆庆;王季;王江宏;刘海东;陈超;陈建;程久龙;张平松;张哲
8	标准	回采工作面随采地震探测技术	中国	NB/T 11529-2024	2023-12-13	NB/T 11529-2024	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;王云宏;覃思;程建远;金丹;崔伟雄;段建华;程久龙;张平松
9	论文	The research and implementation of velocity analysis methods for reverse time migration angle-gather	中国	19 卷第 4 期	2022-12	APPLIED GEOPHYSICS	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利;高静怀
10	论文	The Effectiveness and Application of the Gradient Sparse Regularization-Based Deconvolution Method	中国	19 卷	2022 年	IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	金丹;王保利;豆旭谦;王树威;智敏

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
王保利	1	物探分院副院长	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目总负责人，对创新成果 1、2、3 均有重要贡献，具体包括：负责具体组织实施；主持了基于采煤机/掘进机震动的随采随掘探测技术的研发，并开发了配套软件；主持了采煤机/掘进机震源数值模拟及波场高精度重构技术的研发，解决了随采随掘地震数据高精度脉冲化问题；主持了低信噪比数据自适应、高精度成像关键技术及随采随掘探测数据采集设备的研制，研发出了随采随掘地震在线采集传输、实时自动处理系统。
程建远	2	院总工	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 有重要贡献，具体贡献包括：对高精度成像存在的技术难题提出了研究思路；在随采随掘地震在线采集传输、实时自动处理系统中，提出了一种随采随掘地震专用探测方法，通过利用孔中接收对工作面进行逐次细分探测方法。
王云宏	3	科创院副院长	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 有重要贡献，具体贡献包括：主持了随采随掘探测技术与装备在不同地质条件矿区的试验及推广应用；在随采随掘地震在线采集传输、实时自动处理系统中，对数据传输网络平台进行了设计及搭建。
金 丹	4		副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，具体贡献包括：模拟了采煤机/掘进机切割时振动引起产生的随采随掘地震信号，对采煤机/掘进机震源进行了数值模拟；提出了随采随掘

						地震随机噪声和单频噪声的自适应压制技术，取得较好的应用效果。
崔伟雄	5	所长	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：针对随采随掘地震监测装备的特点，利用数据库和文件系统的优点，设计了井下采集传输设备及地面采集控制软件的数据结构。
李 刚	6	物探分院院长	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。
关 奇	7	副所长	助理工程师	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。
张庆庆	8		副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：在随采随掘探测数据采集设备研制中，设计了数据存储结构及数据管理模式，并研发了相关程序模块。
王 坤	9		中级工程师	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。
许明瑞	10		助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献 (限 600 字)
中煤科工西安研究院(集团)有限公司	1	对创新成果 1、2、3 均有重要贡献, 具体包括: (1) 总体负责基于采煤机/掘进机震动的随采随掘探测技术与装备研制, 制定总体技术方案, 负责项目组织和成果推广; (2) 负责基于 GPU 平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件开发, 获得了 GPU 三维三分量弹性波正演模拟软件等软件著作权; (3) 负责随采随掘探测数据的关键处理技术及配套软件, 获得了相关专利及软件著作权; (4) 研发出随采随掘地震数据处理系统及随采随掘地震数据处理国产化软件, 获得了相关软件著作权及专利; (5) 负责随采随掘探测数据采集设备的研制, 取得了探测装置的 MA 认证、试验、生产及产品推广; (6) 拓展了基于采煤机/掘进机震动的随采随掘探测技术的应用范围; (7) 负责项目成果的工业性试验和推广服务。

九、完成人合作关系说明

该项目成果由中煤科工西安研究院(集团)有限公司完成。

王保利为成果第 1 完成人, 自 2015 年开始至今, 作为总负责人主持项目立项和整体研究工作, 负责项目的验收与鉴定工作, 主要完成人在项目中的合作关系如下:

1. 王保利、程建远、王云宏、金丹、崔伟雄、李刚、关奇、张庆庆、王坤、许明瑞共同完成科学成果鉴定项目《基于采煤机震动的随采随掘探测技术与装备》、《掘进工作面随掘地震探测技术与装备》的研究工作, 对创新成果 1、2、3 作出了重要贡献。

2. 王保利、程建远、王云宏、金丹、崔伟雄、张庆庆共同发布能源行业标准《煤矿掘进巷道随掘地震探测技术》, 对创新成果 2 作出了重要贡献。

3. 王保利、王云宏、程建远、金丹、崔伟雄共同发布能源行业标准《回采工作面随采地震探测技术》, 对创新成果 2 作出了重要贡献。

4. 王保利、金丹、崔伟雄、王云宏、李刚共同获授权发明专利《一种回采工作面随采地震采煤机震源函数重构方法及装置》, 对创新成果 1 作出了重要贡献; 王保利、金丹、程建远、崔伟雄、王云宏共同获授权发明专利《一种基于行波分

离的随掘地震数据脉冲化方法》，对创新成果 2 作出了重要贡献；王保利、金丹、程建远、王坤、关奇共同获授权发明专利《一种随掘地震数据采集同步时差提取与校正方法》，对创新成果 2 作出了重要贡献；金丹、王保利、王云宏、张庆庆共同获授权发明专利《一种用于窄带信号的时频双域正则化稀疏反褶积方法及装置》，对创新成果 3 作出了重要贡献；崔伟雄、张庆庆、王云宏、王保利《一种矿井掘进工作面自供电分布式地震监测系统及方法》，对创新成果 2 作出了重要贡献；崔伟雄、王云宏、王保利《一种基于视频监控图像的采煤工作面地质编录方法》，对创新成果 3 作出了重要贡献。

4.王保利完成论文《The research and implementation of velocity analysis methods for reverse time migration angle-gather》，对创新成果 1 作出了重要贡献。金丹、王保利完成论文《The Effectiveness and Application of the Gradient Sparse Regularization-Based Deconvolution Method》，对创新成果 2 作出了重要贡献。