

陕西省煤炭学会
拟提名 2025 年度陕西省科学技术奖项目
公示内容

(自然科学奖 提名号 309-2001)

一、项目名称：

煤自燃多尺度特征形成演化机制

二、提名者及提名意见

提名单位： 陕西省煤炭学会

提名意见：

我国90%以上煤层为自燃或易自燃煤层，煤自燃风险早期预警的核心瓶颈在于煤自燃反应机制、热量积聚规律等基础理论不明。项目聚焦煤自燃多尺度特征形成演化关键科学问题，取得系统性理论突破：揭示持久性自由基诱发链式反应的核心机制，构建煤分子基团脱氢链热演变理论，阐明分子氧化非线性演化路径；建立介尺度颗粒聚团临界量化方法，创建温度场预测模型，揭示采空区温度-渗流场跨尺度耦合机制；提出多参数耦合阶段划分方法，建立高温热源迁移动力学模型，阐明热量微观累积到宏观跃升的临界规律。项目构建了以自由基机制为微观本质、介观-宏观耦合为纽带、多阶段热量积聚为特征的多尺度理论体系，为煤火灾害基础研究提供原创性理论支撑，具有重要科学价值。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件。**特提名为陕西省自然科学奖二等奖。**

三、项目简介

本项目属于“矿山安全”领域。

煤层火灾严重威胁矿井安全，其复杂性源于煤成分的多样性、自燃环境的多变性及高温火源的隐蔽性，致使基础理论研究面临瓶颈。项目聚焦煤自燃链式反应触发的自由基调控机制、介尺度颗粒聚团临界范围的跨尺度耦合规律等关键科学问题，开展系统性基础理论研究，构建了以持久性自由基诱发链式反应机理为微观本质、介观尺度与宏观煤堆尺度耦合模型为介观纽带、多阶段热量积聚临界条件及热源迁移规律为宏观特征的煤自燃多尺度理论体系。

主要科学发现有：

发现 1：提出了持久性自由基是煤自燃链式反应触发的诱因，构建了煤自燃触发、链反应传播模型，阐明了煤分子链式结构从吸氧到热解裂变的非线性演变进程，揭示了煤自燃基团脱氢链热演变机制。

发现 2：提出了煤体不同粒径下介尺度临界范围的量化识别方法，构建了介观尺度与宏观煤堆尺度的关联模型，揭示了煤自燃过程中温度场和渗流场的时空演化机制；建立了温度分布与判断指标的关联映射关系与温度预测模型，实现了煤自燃过程的精准预测与风险预警。

发现 3：提出了煤自燃阶段定量划分方法，阐明了各阶段的主要反应路径与结构响应特征，掌握了热量积聚的临界条件以及传热过程的主导因素，建立了煤火高温区域自燃蔓延过程自吸氧强度模型，揭示了煤自燃从局部热点向宏观火源迁移的热量积聚与传递机制。

本项目在煤自燃多尺度理论研究中取得原创性突破，相关成果于《煤炭学报》《Fuel》《Energy》等国内外权威期刊发表代表性论文 5 篇，出版学术专著 2 部，获国内外同行高度认可。

四、客观评价

本项目委托科学技术部西南信息中心查新中心对相关内容开展了国内外查新工作。其中，针对“煤自燃多尺度协同防控理论与技术”（报告编号：J20225001233319008）的查新结果表明，该项目通过量子化学、反应动力学和裂隙扩展预测，构建了涵盖微观-介观-宏观的多尺度理论体系，开发了协同防控技术，经检索分析，国内外未见与该查新项目技术特点完全相同的文献报道，研究成果具有显著创新性；针对“地下煤火高温区域移动的非线性机制及预测方法研究”（报告编号：J20235001273013622）的查新结果显示，该项目通过实验与理论模型研究了温度场与氧气浓度场的耦合作用，提出了量化判定指标，构建了智能预测方法，填补了国内外相关技术空白，为煤矿火灾预警和治理提供了科学依据。上述查新结果充分证实了本项目研究成果的创新性和先进性，为煤矿安全领域的技术突破提供了重要支撑。

五、代表性论文专著目录

序号	论文专著 名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时 间 (年 月 日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	知识 产权 是否 归国 内所 有
1	中变质程度煤自然发火特性研究	中国矿业 大学出版 社	赵婧昱	2019 年 174 页	2019 年 8 月 1 日	赵婧昱	赵婧昱	赵婧昱	是
2	煤田火灾防治理论与技术	中国矿业 大学出版 社	邓军, 文虎, 张辛亥, 陈 晓坤, 金永飞, 马 砺, 翟小伟, 肖旸	2014 年 405 页	2014 年 9 月 1 日	邓军	邓军	邓军, 文虎, 张辛亥, 陈晓坤, 金永飞, 马 砺, 翟小伟, 肖旸	是
3	Analysis of oxidation pathways for characteristic groups in coal spontaneous combustion	Energy	Zhang Yanni*, Shu Pan*, Deng Jun, Duan Zhengxiao, Li Lele, Zhang Lulu	2022 年 254 卷	2022 年 5 月 9 日	Zhang Yanni, Shu Pan	Zhang Yanni	Zhang Yanni, Shu Pan, Deng Jun, Duan Zhengxiao, Li Lele, Zhang Lulu	是

4	Assessing the effectiveness of a high-temperature-programmed experimental system for simulating the spontaneous combustion properties of bituminous coal through thermokinetic analysis of four oxidation stages	Energy	Zhao Jingyu*, Deng Jun, Wang Tao, Song Jiajia, Zhang Yanni, Shu Chi-Min*, Zeng Qiang	2019 年 169 卷 587-596 页	2019 年 2 月 15 日	Zhao Jingyu, Shu Chi-Min	Zhao Jingyu	Zhao Jingyu, Deng Jun, Wang Tao, Song Jiajia, Zhang Yanni, Shu Chi-Min, Zeng Qiang	是
5	Thermal properties of coal during low temperature oxidation using a grey correlation method	Fuel	Ren Shuaijing, Wang Caiping*, Xiao Yang*, Deng Jun, Tian Yuan, Song Jiajia, Cheng Xiaojiao, Sun Guofeng	2020 年 260 卷	2020 年 1 月 15 日	Wang Caiping, Xiao Yang	Ren Shuaijing	Ren Shuaijing, Wang Caiping, Xiao Yang, Deng Jun, Tian Yuan, Song Jiajia, Cheng Xiaojiao, Sun Guofeng	是
6	Comparative analysis of thermokinetic behavior and gaseous products between first and second coal spontaneous combustion	Fuel	XiaoYang, Ren Shuaijing, Deng Jun, Shu Chimin	2018 年 227 卷	2018 年 4 月 7 日	XiaoYang	XiaoYang	XiaoYang, Ren Shuaijing, Deng Jun, Shu Chimin	是
7	基于煤火发展演化的松散煤体自燃温度纵深蔓延特征	煤炭学报	赵婧昱,宋佳佳*,郭涛,张宇轩,邓军,张永利,张廷豪	2021 年 46 卷 1759-1767 页	2021 年 4 月 26 日	宋佳佳	赵婧昱	赵婧昱,宋佳佳,郭涛,张宇轩,邓军,张永利,张廷豪	是

六、主要完成人情况

姓名	排名	技术职称	工作单位
张嬾妮	1	教授	西安科技大学
赵婧昱	2	教授	西安科技大学
任帅京	3	副教授	西安科技大学
张铎	4	副教授	西安科技大学
肖旻	5	教授	西安科技大学

七、主要完成单位情况

西安科技大学

八、完成人合作关系说明

“煤自燃多尺度特征形成演化机制”项目研制过程中主要完成人共5人，张嬾妮、赵婧昱、任帅京、张铎、肖旻5人同为西安科技大学成员，合作期间在项目研制过程中取得了一系列共同的研究成果。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。现对完成人合作关系及参与并做出重要贡献说明如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作成果
1	论文合著	赵婧昱/2 张嬾妮/1	Assessing the effectiveness of a high-temperature-programmed experimental system for simulating the spontaneous combustion properties of bituminous coal through thermokinetic analysis of four oxidation stages
2	论文合著	任帅京/3 肖旻/5	Thermal properties of coal during low temperature oxidation using a grey correlation method
3	论文合著	肖旻/5 任帅京/3	Comparative analysis of thermokinetic behavior and gaseous products between first and second coal spontaneous combustion
4	项目合作	张嬾妮/1 张铎/4	浅埋近距离煤层工作面回风隅角低氧形成机理及防治技术研究

(技术发明奖 提名号 309-3001)

一、项目名称：

煤化工原料与附产固废组分解离-干法分质-定向转化利用关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该成果针对煤化工领域原料适配性差与固废处置难的双重瓶颈，以组分界面调控和过程强化机理为基础，创新性地构建了“原料端-固废端”全链条干法分质与资源化技术体系。项目通过开发“跨尺度解离-干法分质-定向转化”协同工艺，实现了富油煤镜质组与惰质组、煤气化灰渣中残碳与硅铝组分的高效分离富集及资源化利用，为煤基资源从“燃料型”向“原料型、高端化、多元化、低碳化”转型提供了系统性解决方案。项目创新性地将显微组分理论拓展至固废处理领域，创立了煤基资源“微观组分-宏观性能”关联模型，研发了全干法、低能耗的协同解离-分质装备。通过组分定向转化技术，使原料端产品附加值提升，固废端资源化率提高，取得了显著的经济、社会和环境效益。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省技术发明奖二等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术、化学工程与技术基础科学及应用领域。

煤炭作为我国主体能源，其清洁高效利用是实现“双碳”目标的关键路径。当前，煤化工行业面临原料端富油煤高效转化和固废端煤气化灰渣绿色处置两大核心挑战。传统湿法分选技术存在高水耗、高能耗、组分利用粗放等问题，难以满足煤炭资源精细化、低碳化利用需求。在此背景下，开发干法分质与组分资源化利用技术，实现煤基资源从“燃料型”向“原料型、高端化、多元化、低碳化”转型，对保障国家能源安全、促进煤化工产业升级意义重大。

本成果以组分分离理论和过程工程方法为核心，创新性构建“原料端-固废端”全链条技术体系。在原料端，针对西部富油煤惰质组含量高（35%-70%）、转化适应性差等问题，开发“跨尺度解离-干法分质-定向转化”技术。通过调控煤岩组分界面响应与能量传递，实现镜质组与惰质组高效分离与富集，为煤制油高效转化、超级电容炭等高值产品制备提供优质原料。在固废端，突破煤气化灰渣组分复杂、难以分离瓶颈，开创“跨尺度解离-干法分质-梯级利用”工艺。实现残碳、硅铝组分等的组分分离富集与资源化利用，可转化为电容炭、聚合氯化铝、地质聚合物等高附加值产品。通过组分定向转化，提升原料端产品附加值，提高固废端资源化率，推动煤炭利用从“污染排放”向“碳减排-资源化”转型。

本项目包含四项关键技术发明：

跨尺度解离技术：针对富油煤有机组分嵌布状态多样、煤气化灰渣有价值组分连生状态复杂问题，依据不同组分嵌布、硬度、脆度等宏观特性与微观物性差异，开创性研发宏观（有机质-无机质）-微观（显微组分、无机元素组分）耦合的跨尺度解离技术。优化粉碎作用力方式，揭示不同组分力学性质对施力方式的响应规律，形成基于界面响应的有价值组分跨尺度解离技术。

干法分质技术：基于跨尺度解离技术，研发干法分质技术，实现富油煤镜质组和惰质组、煤气化灰渣不同功能组分高效解离与定向富集。自主研发的组分分质系统强化组分耗散结构定向调控能力，构建“连续组分域的解聚”模型，为高效分质提供理论判据，且该干法分质方法可缓解西部缺水地区现状。

原料端高附加值转化利用技术：基于镜质组与惰质组的干法定向分离富集技术，构建基于组分特性的富油煤高值化利用技术框架。形成了富镜质组产品作为原料的煤制油技术及其高效转化调控机制；形成了富惰质组产品作为原料的超级电容器电极材料制备技术及其电化学性能调控机制，提升原料端资源利用附加值。

固废端高附加值转化利用技术：基于碳、硅、铝的干法定向分离富集技术，构建基于组分特性的气化灰渣高值化利用技术框架。开发

了富碳组分的能源回收与功能材料（电容炭材料）制备技术，富铝组分的聚合氯化铝等铝基产品制备技术，以及富硅组分的地质聚合物等硅基产品制备技术。该技术体系实现煤气化灰渣中多元素梯级回收与高值转化，提高资源化率。

四、客观评价

本成果的主要价值在于：针对我国西部煤炭资源特征及煤转化过程中固废处置难题，聚焦煤显微组分及气化灰渣组分分质纯化与资源化利用的关键问题，以实现富油煤、煤气化灰渣分选技术创新与煤系资源全链条减污降碳为目标，开发形成的技术体系将煤化工原料端（富油煤）及煤化工固废端（煤气化灰渣）“组分跨尺度解离-干法分质-高值转化”技术有机融合。不仅能有效释放煤显微组分分质利用潜力，实现不同显微组分分类转化利用，使下游工程更好发挥作用，缓解西部缺水地区资源矛盾；更通过构建“分选-转化-利用”闭环体系，破解气化灰渣堆存污染与资源浪费问题，推动煤炭全产业链绿色升级。

国内外科技查新显示，目前的显微组分分离与富集大多限于小规模试验样品制备，现有研究多依赖手选和密度梯度离心分离，处理量小且仅限实验室操作；浮选法虽有规模化潜力，但受限于显微组分表面性质差异不明、后续过滤烘干能耗高及环境污染等瓶颈。而在固废端，现有技术对煤转化产生的气化灰渣多以堆存或简单填埋为主，高附加值利用技术匮乏，且缺乏与煤分选环节协同联动的系统解决方案。基于煤岩解离与分选的干法技术及配套气化灰渣利用技术研究均处于起步阶段，特别是煤显微组分干法解离与灰渣特性关联利用的理论研究鲜有报道，国内尚无专门针对煤显微组分干法分选与气化灰渣资源化协同的技术与设备。

以成果的主要技术发明一为支撑形成的“西部富油煤显微组分的选择性解离技术”于 2021 年 10 月经中关村绿色矿山产业联盟组织鉴定（彭苏萍院士任鉴定委员会主任），认定达到国际领先水平；以技术发明二为支撑形成的“西部煤炭显微组分的干法分质纯化技术研究”于 2022 年 5 月经中国煤炭工业协会组织鉴定，认定达到国际领先水平；以技术发明三为支撑形成的“太西无烟煤的纯化及用于超级电容

器活性炭制备的技术开发”，于 2023 年 12 月经中国煤炭工业协会组织鉴定，认定达到国际先进水平；以技术发明四为支撑形成的“气化灰渣干法分质及其高附加值利用关键技术研究”，于 2023 年 12 月经中国煤炭工业协会组织鉴定（赵跃民院士任鉴定委员会主任），认定达到国际先进水平。

本创新成果曾在中国工程院“煤炭绿色低碳发展工程科技论坛”的大会报告中被王宏研究员及程宏志研究员引用，指出“西安科技大学关于煤岩显微组分分质加工及气化灰渣协同利用的研究成果，是解决我国西部富油煤从传统燃料向稀缺能源转化及固废减碳的关键技术支撑”，并肯定该技术体系对煤炭全产业链绿色发展的推动作用。在 2023 年度煤炭行业科技工作座谈会上，原煤炭工业部副部长、中国煤炭工业协会原会长、煤炭工业技术委员会主任王显政对该技术成果表示肯定，建议加快工业应用步伐，同时强调“应进一步从煤岩组成与固废特性联动的角度对全国煤炭进行分质归类，其以煤作‘原料’并关联固废利用的基础理论及关键技术研究，有望为煤炭行业低碳转型提供全新路径。”

六、主要知识产权证明目录（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	授权公告日	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种以自身物料为气流介质的复合型超细粉气流粉碎机	中国	CN108906289B	2023.05.23	5992497	西安科技大学	李振, 力涛, 田鑫, 马武阳
2	发明专利	一种梯级排料气流粉碎分级分选装置及方法	中国	CN110215981B	2024.03.19	6802678	西安科技大学	李振, 付艳红, 吴燕, 张怀青, 赵承乾, 赵凯, 吴思萍, 周安宁
3	发明专利	一种复合型超细粉气流粉碎机	中国	CN109045717B	2023.08.11	6225531	西安科技大学	李振, 力涛
4	发明专利	一种干湿两用搅拌球磨机	中国	CN104984790B	2018.05.01	2908148	西安科技大学	李振, 王进, 周安宁, 张怡, 付艳红
5	发明专利	一种螺旋式多产品旋流器	中国	CN110773309B	2024.06.21	7120210	西安科技大学	李振, 力涛
6	发明专利	一种煤炭自动浮沉试验设备	中国	CN113083488B	2022.09.09	5438988	西安科技大学	李振, 赵凯, 于伟, 杨超, 刘莉君, 张怀青
7	发明专利	一种煤气化渣的梯级资源化分质利用方法	中国	CN117548473B	2024.08.06	7260658	中国矿业大学(北京)	王卫东, 高影, 吕子奇, 涂亚楠, 张佳峰, 齐永心, 彭振恒, 卢鹏云
8	发明专利	一种掺N多孔碳/NiO复合材料及其制备方法	中国	CN104966625B	2017.07.28	2565824	西安科技大学	汪晓芹, 李侃社, 熊善新, 周安宁, 官铭, 褚佳, 吴

								伯华, 张永操植, 刘鸿翔, 刘静, 张润兰
9	发明专利	一种浮选尾煤排除矸石 及载体浮选回收可燃体 的联合方法	中国	CN112221698B	2022.07.26	5339059	神华神东煤炭集 团有限责任公司	许联航, 郭爱军, 陶亚东
1 0	发明专利	变径、变截距螺旋分选 机构	中国	CN109701727B	2021.07.30	4585280	中国神华能源股 份有限公司; 神 华神东煤炭集团 有限责任公司	宋文革, 郭爱军, 关丙火, 张佳彬, 赵环宇, 苏健

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
李振	1	副院长	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目总负责，跨尺度解离及干法分质关键技术研发
许联航	2	科研主管	教授级高工	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	组分解离与干法分质关键技术验证、优化与推广应用
汪晓芹	3	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	分质组分转化利用关键技术研发
张宁宁	4	院长助理	副教授	西安科技大学	西安科技大学	气化灰渣组分分质与转化利用关键技术开发
王卫东	5	副院长	教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	气化灰渣组分利用关键技术验证、优化与推广应用
关丙火	6	主管	高级工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	煤岩显微组分利用关键技术验证、优化与推广应用

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

西安科技大学作为项目核心技术研发与理论创新的牵头单位，立足矿山工程技术与化学工程与技术交叉领域，以煤岩组分理论和过程工程方法为支撑，主导构建了“跨尺度解离-干法分质-定向转化”全链条技术体系，突破了跨尺度解离、干法分质等核心技术瓶颈，为原料端与固废端的高效利用提供了关键理论与技术支撑。同时，通过组织成果鉴定、行业论坛推广等方式，推动技术理念与成果落地，为项目科技创新与应用推广奠定了核心基础。

2. 国能神东煤炭集团有限责任公司

国能神东煤炭集团聚焦原料端（富油煤）技术需求，提供西部典型富油煤资源与现场试验条件，支撑煤岩组分解离特性研究与技术参数优化，通过中试验证与工业化试验，推动“富油煤解离-干法分质-定向转化”技术从实验室走向产业应用。依托示范工程构建可复制的应用模式，借助行业影响力推广技术成果，为原料端技术的成熟化与规模化推广提供了重要支撑。

3. 中国矿业大学（北京）

中国矿业大学（北京）协助西安科技大学推进固废端（煤气化灰渣）技术落地，联合西安科技大学开展“气化灰渣解离-干法分质-梯级利用”技术的中试验证与工程化优化，共同攻克了灰渣高值转化的工程化瓶颈。积极进行应用案例推广，为固废端技术的产业化普及与市场转化提供了关键支撑。

八、完成人合作关系说明

合作方式	合作关系人及排名	合作时间	合作成果
共同立项/ 产业合作	李振/1, 许联航/2, 关丙火/6	2019.12	神东高惰质组煤岩的选择性解离特性研究
论文合著	李振/1, 汪晓芹/3	2024.03	Acid-alkali deep deashing and alkali activation of coal gasification fine slag for supercapacitive electrode application
论文合著	李振/1, 张宁宁/4	2024.04	Resources recovery from coal gasification residue by combined hydrocyclone and vibrating screen and characterization of separated products
论文合著	李振/1, 王卫东/5	2024.05	含钙镁煤基固废 CO ₂ 矿化封存及其产物性能研究进展

(技术发明奖 提名号 309-3002)

一、项目名称：

矿山功能性充填关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该成果以“煤”的减损化开采、“废”的功能化利用与“碳”的低碳化处置为目标，通过系统性地对陕北大型煤炭基地“煤-电-化-冶”固废进行基础特性测试分析，发明了镁-煤基固废协同改性方法与工艺，研发了全固废充填材料，并以此为基材添加自研添加剂，研制了具备速凝高强低渗、高碳化性能等功能的功能性充填材料；发明了多循环窄条带充填开采、“掘-充-留”一体化等新型煤矿采掘工法，开发了管输末端膏体—粉体混合速凝充填工艺；构建了采矿-充填-建库协同技术体系，发明了采空区 CO₂ 充填封存一体化方法与工艺。项目成果整体构建了基于功能性充填的矿区资源开发与减污降碳协同发展模式。研究成果已推广应用于陕北煤炭基地的镁冶炼厂、煤电/煤化工厂及充填矿井等，实现了镁-煤基固废矿井充填规模化处置与采空区充填功能化利用，具有很强的市场竞争力和极大推广应用价值，对于促进矿山的绿色可持续发展、助力我国煤炭开采领域“双碳”目标的实现，具有重要的理论和实践意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。**特提名为陕西省技术发明奖一等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

陕北采煤-煤电-煤化工及冶炼产业集群为我省乃至全国能源安全稳定供给和经济命脉保障起到了关键支撑作用。但是，能源化工产业排放的煤渣、镁渣、CO₂等巨量废渣、废气对区域环境及行业可持续发展构成了极大威胁。大型煤炭基地大宗煤基固废大规模资源化利用与处置事关我省生态安全与高质量发展，大宗煤基固废资源化利用与协同降碳处置研究具有重要的工程使用价值和生态环境效益。

本项目以中国科协 10 大工程技术难题项目“如何实现我国煤矿超大量三废（固、液、气）低成本地质封存及生态环境协同发展？”等为依托，秉承“变害为利”的理念，寻求矿山充填、固废处置、CO₂封存的协同，创新提出了“矿山功能性充填”技术构想，采用改

性方法与装置将大宗固废转变为充填材料，采用充填技术将采空区重构为具备储能、封碳功能的矿井空间，提高充填附带价值。项目围绕“固废改性功能性充填与采空区充填功能化利用”展开了系统研究。发明点如下：

发明点一：首创了冶炼镁渣外源离子源头改性与富氧热闷后端改性方法，发明了镁渣两级改性工业生产工艺及系统；发明了固废基盐碱激发煤基固废活性的方法，研发了改性镁-煤渣基胶凝材料；发明了系列充填外加剂，创建了全固废充填材料流动、力学、环境等性能调控技术。为煤炭充填减损开采与采空区功能性充填筑库提供了高性价比充填材料。

发明点二：发明了煤炭窄条带与综采高效充填开采减损控制技术。发明了多循环窄条带充填开采、“掘-充-留”一体化等新型煤矿采掘工法，阐明了充填开采矿压传递机制和顶板失稳机理；发明了ERT电阻率成像与光纤传感联合的充填材料管输实时可视化监测系统；发明了管输末端膏体—粉体混合速凝充填装置与工艺，开发了综采充填末端高浓度速凝调控技术。为压覆煤炭资源及边角煤资源的回收提供了安全高效充填开采工艺技术。

发明点三：发明了固废膏体/潮料矿化制备固碳充填材料方法与装置，前者膏体充填材料CO₂矿化速率提升35%，后者“碳锁”充填骨料单轴抗压强度达37 MPa；发明了煤矿区CO₂封存储库窄条带、综采间隔胶结充填构筑方法与工艺，发明了透明化密实接顶系统与充填体固结状态原位成像装置，保障了封存储库密封性和稳定性；发明了煤矿区CO₂封存高效充注工艺，开发了封存区温度、湿度、电阻率、pH（TWEP）实时环境监测系统。为CO₂封存提供了新路径。

本项目成果先后在煤炭学报、岩石力学与工程学报、Nature Communications、International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences及Journal of Cleaner Production等国内外著名学术期刊发表论文177篇，其中SCI论文126篇，EI论文36篇，出版专著8部，授权发明专利88项，授权软件著作权9部，制定国家标准1项、中国煤炭工业协会团体标准2项。成果得到了国内外同行的认可，解决了“煤的减损开采-废的功能化利用-碳的低碳化处置”的重大理论与技术难题，形成系列化实用理论与技术，为我国煤炭产业集群的绿色可持续发展做出了贡献，达到国际先进水平。成果已在陕北常兴煤矿、麻黄梁煤矿、东风金属镁冶炼厂等推广应用，经济社会效益显著。

四、客观评价

本项目依托中国科协 10 大工程技术难题项目、国家重点研发计划项目、国家自然科学基金项目等，在大型煤炭基地“煤-废-碳”协同发展方面取得了系统性和开创性的突破。

1. 成果鉴定情况

陕西省煤炭学会对“矿山功能性充填关键技术及应用”成果进行鉴定，鉴定结论如下：项目研究成果有重大技术创新及工业应用，整体达到国际领先水平。

2. 科技查新情况

经煤炭信息研究院检索，给出如下查新结论：经全面检索，在检索范围内，除本课题相关研究人员的研究成果外，国内外未见有与本课题查新点综合研究内容相同的有关矿山功能性充填关键技术研究及应用的文献报道。

五、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1.	国家发明专利	一种优化镁渣基胶凝材料及其制备方法	中国	ZL202111236853.1	2023.09.19	6336833	西安弗尔绿创矿业科技有限责任公司, 西安科技大学	刘浪, 郇超, 王美, 侯东壮, 张波, 朱梦博, 方治余, 杨潘, 阮仕山, 屈慧升, 孙伟吉
2.	国家发明专利	一种深井能源储备库系统及其构建方法	中国	ZL201810406624.1	2019.02.26	3266920	西安科技大学	刘浪, 张波, 张小艳, 邱华富, 景宏君, 王湃, 秦学斌, 陈柳, 王美, 王燕, 孙伟博, 辛杰, 方治余, 朱超
3.	国家发明专利	一种利用充填料封存井下回风巷 CO ₂ 的方法	中国	ZL202210879233.8	2022.07.25	5915961	中南大学	陈秋松;朱黎明;王道林;冯岩;张钦礼;齐冲冲;陶云波;袁宇航;高凌志
4.	国家发明专利	一种联合充填采矿中充填体的充填高度分析方法	中国	ZL202111316462.0	2023.09.08	6311009	西安科技大学;西安弗尔绿创矿业科技有限责任公司	刘浪;侯东壮;张波;王美;郇超;朱梦博;阮仕山;方治余;杨潘;屈慧升;孙伟吉
5.	国家发明专利	一种胶结充填体损伤评价方法	中国	ZL202111175850.1	2024.05.17	7009274	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心;江西理工大学	赵康;敖文强;严雅静;杨健;伍俊;陈潼;周昀
6.	国家发明专利	一种纤维增强充填体的破裂预测方法	中国	ZL202110909599.0	2023.03.24	5802416	江西理工大学, 生态环境部固体废物与化学品管理技术中心	赵康, 杨健, 严雅静, 于祥, 宋宇峰, 敖文强, 伍俊, 陈潼, 赖彦铭, 周昀, 何志伟, 赵康奇
7.	国家发明专利	一种 ECT 两相流基于宽度学习的流型识别方法	中国	ZL201911026269.6	2022.09.27	5479501	西安科技大学	秦学斌;纪晨晨;刘浪;王湃;王卓;张波;张小燕;王美;景宁波;赵玉娇;郇超
8.	国家发明专利	可稳定镁渣中 β -C ₂ S 的炼镁球团及炼镁方法	中国	ZL202111217944.0	2023.12.12	6555434	西安弗尔绿创矿业科技有限责任公司;西安科技大学	刘浪;张波;侯东壮;王美;郇超;朱梦博;杨潘;孙伟吉;方治余;阮仕山;屈慧升
9.	国家发明专利	一种评价矿业固废中有毒元素赋存形态及污染风险的方法	中国	ZL202210459344.3	2024.12.20	7611810	中南大学	齐冲冲;郑佳帅;柴立元;陈秋松;颜旭;梁彦杰;郭力

10.	标准	改性镁-煤基固废充填材料	中国	T/CNCA015-2022	2022.03.01	ICS 01,040.73	<p>西安科技大学，中煤科工生态环境科技有限公司，西安弗尔绿创矿业科技有限公司，生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，陕西榆林能源集团有限公司，榆林市自然资源和规划局，榆林市固体废物管理中心，榆林市榆神工业区能源科技发展有限公司，陕西国华锦界能源有限责任公司，榆林学院，榆林嘉益环保科技有限公司，神木市东风金属镁有限公司，榆林泰发祥矿业有限公司，榆林市榆阳区常兴煤矿，榆林蒙西水泥有限公司，府谷县金川鸿泰镁合金有限公司，飞翼股份有限公司，榆林大兴环保科技集团有限公司，西南科技大学，北京矿冶科技集团有限公司，中南大学，尧柏特种水泥集团有限公司，长安大学科技园有限公司，榆林矿业集团有限公司</p>	<p>刘浪，王双明，叶根飞，侯东壮，赵康，段智博，李安雄，王云康，王建友，韩科明，李强，邢鹏飞，聂晶磊，高过斌，赵子龙，宋英明，王正刚，徐龙华，温永平，张胜军，郇超，陈振林，张波，王美，朱梦博，黄士兵，郭利杰，赵玉娇，苏臣，杭彦龙，石玉峰，白明科，田向勤，何军，段怀军，冯岩，陈秋松，陈琦，方治余，阮仕山，杨潘，屈慧升，孙伟吉，雷鹏华，冯延兴</p>
-----	----	--------------	----	----------------	------------	------------------	---	---

六、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
刘浪	1	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	在项目中担任项目负责人，负责总体技术攻关，为本项目的第1完成人：发明了镁-煤基固废协同改性制备充填材料，发明了煤炭高效充填开采减损控制技术，发明了采空区功能性充填筑库CO ₂ 封存技术，对发明点1、2、3均具有原创贡献。 主持完成知识产权和标准规范1、2、4、8、10，参与完成知识产权和标准规范7。
朱梦博	2	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	担任项目主要完成人之一，发明了大宗冶炼镁渣功能化改性方法、装置及工艺，研发了功能性充填材料专用外加剂，研发了功能性充填CO ₂ 矿化封存技术，发明了充填料接顶状态实现全程实时监控系統，对发明点1、2、3研究成果均有重要贡献。 主持或参与完成知识产权和标准规范1、4、8、10。
陈秋松	3	无	教授	中南大学	中南大学	担任项目主要完成人之一，研发了功能性充填材料力学特性调控技术，制定了固废充填材料力学性能、流动性能测试相关技术标准，开发了井下回风巷CO ₂ 封存方法，对发明点2、3研究成果具有重要贡献。 主持或参与完成知识产权和标准规范3、9、10。
赵康	4	室主任	教授	生态环境部固体废物与化学品管理中心	生态环境部固体废物与化学品管理中心	担任项目主要完成人之一，研发了功能性充填材料环境特性调控技术，发明了充填材料损伤预测方法及力学性能调控方法，对发明点1和2研究成果具有重要贡献。 主持或参与完成知识产权和标准规范5、6、10。
齐冲冲	5	无	教授	中南大学	中南大学	担任项目主要完成人之一，研发了矿山固废有毒元素赋存形态及污染风险评价方法和采空区CO ₂ 封存方法，对发明点1、3研究成果具有重要贡献。 主持或参与完成知识产权和标准规范3、9。
王美	6	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	担任项目主要完成人之一，发明了镁-煤基固废协同改性制备充填材料，发明了采空区功能性充填筑库CO ₂ 封存技术。对发明点1、3研究成果具有重要贡献。 主持或参与完成知识产权和标准规范1、2、4、7、8、10。

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

作为本项目的依托单位，西安科技大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：1) 组织并完成了项目策划和实施工作；2) 为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所；3) 提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源；4) 为本项目提供配套经费支持；5) 串联了项目科研成果向实际工业应用转化落地。

2. 生态环境部固体废物与化学品管理技术中心

重点参与了本项目实施过程中矿井功能性充填工艺优化与设计，对功能性充填现场的充填质量与环境特性评估与调控提供了技术支持。

3. 中南大学

重点参与了本项目实施过程中功能性充填材料的研发，此外还参与了矿井采空区 CO₂ 充填封存研发工作。

八、完成人合作关系说明

“矿山功能性充填关键技术及应用”项目研发期间，项目完成人朱梦博、王美依托矿山功能性充填理论与技术团队（团队负责人为本项目第一完成人刘浪）开展了镁-煤基固废协同改性制备充填材料、煤炭高效充填开采减损控制技术、采空区功能性充填筑库CO₂封存技术等研发工作；陈秋松、赵康、齐冲冲合作参与项目的研究工作。完成人按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。现对完成人合作关系说明如下：

1. 第一完成人/1、朱梦博/2合作完成知识产权和标准规范1、4、8、10。
2. 第一完成人/1、陈秋松/3合作完成知识产权和标准规范10。
3. 第一完成人/1、赵康/4合作合作完成知识产权和标准规范10。
4. 第一完成人/1、王美/6合作完成知识产权和标准规范1、2、4、7、8、10。
5. 陈秋松/3、齐冲冲/5合作完成知识产权3、9。

(技术发明奖 提名号 309-3003)

一、项目名称：提高块煤产出率规模化开采方法与技术装备

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该项目成果属于煤炭清洁开采原创性成果，是发明人拥有自主知识产权的规模化提高块煤产出率的专利技术成果。本成果以陕北国家能化基地优质煤炭资源块煤产出率低、生产能耗高的现实问题为背景展开，在分析开采煤粒破碎机理基础上，采用煤体固液气耦合致裂技术，原创性通过煤炭开采改造和煤粒破碎网络化改性，为直接提高块煤产出率奠定了基础；通过“支、采、落、装、运、储”工艺创新，发明了综采工作面块煤开采方法与制造工艺；针对大流量、高堵点、多环节的生产复杂系统，创新性采用了柔性制造技术，开发出块煤专用采煤机和柔性防破碎块煤运转系统成套装备，攻克了国家煤化基地煤炭资源开采提高块煤率的难题，建立了我国煤炭资源高附加值多用途利用的生产创新模式。通过 18 套综采工作面多年以来的整体技术验证与应用推广，创造了显著的经济、环境和社会效益，实现了陕北煤炭清洁开采企业与社会环境总效益最大化的总目标，为我省洁净煤技术创造了新方法；同时，为实现国家能源化工基地煤炭开采的节能降耗、提质增效的总目标提供了专利技术支持。本成果达到国际领先水平。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件，特提名为陕西省技术发明一等奖。

三、项目简介

提高块煤产出率规模化开采方法与技术装备是陕西省科技重大专项、陕西省教育厅自然科学基金重点、新疆生产建设兵团重大科技专项、陕煤集团科技计划重点项目以及企业委托项目等共同资助下，针对煤炭绿色开采、清洁利用和转化重大战略需求的煤炭提质增效、节能降耗、绿色开采等瓶颈问题研究提高块煤率的专项成果。该技术为解决煤体硬度大(1.5~4.0)的中-厚煤层(2-8m)综合机械化矿井(45-1800万吨/a)开采中提高综采块煤率的难题提供了一套新方法。特别对国家级优质煤炭基地精准开采、大型综采装备效率提升、平衡

煤粒产品结构、节能降耗、提质增效以及满足社会与环境总效益最大化的矿井绿色开采适用。

主要技术原理与内容：是充分利用地应力条件以增加硬煤致裂裂缝数目，实现块煤破碎网络化改性，采用严格控制其致裂裂缝发展形态为主要特征的新型块煤网络化压裂工艺。该技术首先通过压裂和软化作用两条途径，以达到煤炭开采改造与块煤破碎网络化改性，进一步依靠矿山压力破煤区和支架的反复支撑对煤层不同部位的破碎作用，实现工作面煤层压裂块煤破碎裂隙网络化，为源头块煤生产创造条件；其次，选择块煤开采专用设备，实施“采、落、装、运、储”配套块煤开采工艺，开采不同裂化煤层，实现块煤粒级智能化调控的有效截割，实现源头上的块煤增产；最后，采用块煤限下率控制柔性技术与系统装备，产出符合要求的煤粒破碎块度，提高煤炭开采的全过程块煤产出率，实现矿井规模化块煤开采的目标。

在黄陵、神东、榆神、新庙、万利等矿区 18 套综采工作面进行工业试验与推广使用，确认了该技术成熟，工艺简单。**综合技术指标：**工作面块煤率达到 61.14~74.43%，提高了 24.64~39.3%；实施块煤采煤工艺，块煤率提高 4.6~78%，选用块煤采煤机，块煤率提高 7.2~11.3%，转储系统改造，块煤损失降低 10~13.37%，材料节支 8.9~40%，能耗降低 7.1~52.9%，成本降低 8.68~25.8 元/吨，煤尘浓度减低 30-90%，创造了清洁安全的工作环境；试验与推广应该过程中，近三年新增销售 22.1 亿元，经济社会环境效益显著。

四、客观评价

2024年3月15日，中国煤炭工业协会对“提高块煤产出率规模化开采方法与技术装备”项目成果进行鉴定，意见如下：

“建立了侏罗纪煤层破碎分级指标及分类体系、煤层水力致裂控制指标和预测模型；提出了煤层裂隙化块煤粒径控制理论与技术，建立了煤层水力裂隙化开采块煤粒级调控技术与工艺；开发了煤层压裂裂隙网络化控制技术，建立了煤层截割粒度的调控方法；研发了块煤高产出率规模化开采工艺和配套装备”。

鉴定委员会认为，项目成果达到国际领先水平。

五、应用情况

该技术从 2012 年至 2022 年在侏罗纪煤层五大矿区不同矿井开展了近 8 年研究实验与推广，取得系统成套技术和设备研发成果。研究成果在红石岩煤矿、安源煤矿、转龙湾煤矿、红草沟煤矿、东川煤矿、常家梁煤矿、柠条塔煤矿、谊丰煤矿、海湾煤矿、红岩煤矿、韩家湾、龙华等侏罗纪煤层典型条件下的 18 套综采工作面进行工业试验与推广使用，确认了该技术成熟，工艺简单、方法可靠。获得了显著的技术、经济、社会与环保效益。

六、主要知识产权

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	权利人	发明人	专利状态
国家发明	一种块煤开采方法	中国	201410178556.X	2015.11.18	西安科技大学	邓广哲	有效
国家发明	一种块煤开采用超前预裂方法	中国	201410178162.4	2016.5.25	西安科技大学	邓广哲	有效
国家发明	一种块煤开采用采煤机及煤层开采方法	中国	201410178559.3	2016.3.23	西安科技大学	邓广哲 沈汉兴	有效
国家发明	一种煤岩软化活性压裂装置与煤岩压裂施工工艺	中国	201710132135.7	2018.2.2	库尔勒金川矿业有限公司， 西安科技大学	朱 徽 邓广哲 贾光明 郑 锐	有效
实用新型	一种煤岩定向预裂装置	中国	201420645240.2	2015.3.11	西安科技大学	邓广哲	有效
实用新型	一种块煤开采用采煤机	中国	201420216193.X	2014.8.27	西安科技大学	邓广哲 沈汉兴 赵卫东	有效
实用新型	一种煤岩软化活性压裂装置	中国	201720216187.8	2017.10.13	西安科技大学 库尔勒金川矿业有限公司	邓广哲 朱 徽 贾光明 郑 锐	有效
实用新型	可提高块煤比例的综采设备	中国	202020164902.X	2020.10.30	兖矿集团有限公司	白麦营 安满林 刘付俊	有效
实用新型	一种块煤防破碎溜筒	中国	202021016360.8	2021.1.8	西安科技大学	邓广哲 张旭东 王建航 苗春阳	有效

专著	煤炭开采粒级控制 理论与应用	中国	ISBN:97870 30570925	2018.4	科学出版社	邓广哲 张少春	有效
----	-------------------	----	------------------------	--------	-------	------------	----

七、主要完成人情况

排名	姓名	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	邓广哲	教授、博导	博士	西安科技大学	担任项目总负责人，负责总体技术创新、设计，组织实施
2	安满林	研究员	硕士	兖矿能源集团股份股份有限公司	主要完成人之一，对创新点（2）和（3）做出了贡献
3	郑锐	讲师	博士	河北工程大学	主要完成人之一，对创新点（1）和（2）做出了贡献
4	李鹏博	高级工程师	硕士	陕西省煤炭科学研究所有限责任公司	主要完成人之一，对创新点（1）和（3）做出了贡献
5	刘辉	高级工程师	学士	陕西陕煤陕北矿业有限公司	主要完成人之一，对创新点（4）做出了贡献
6	乔重让	高级工程师	硕士	陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司	主要完成人之一，对创新点（4）做出了贡献

八、主要完成单位情况

主要完成单位：西安科技大学，陕西省煤炭科学研究所有限责任公司，陕西美泰新能科技发展有限公司

1.西安科技大学

作为本项目的依托单位，西安科技大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：项目总体组织、设计与策划，计划书与实施方案制定，完成了块煤开采方法推广应用工作；创建了块煤控制开采技术理论体系，研发了压裂技术、工艺和成套装备；研究了煤炭转载储运系统限下率的控制机理与方法，开发了块煤线下率控制技术和工艺装备，同时在整个项目实施过程中提供了人力、物力与科研资源。

2.陕西省煤炭科学研究所有限责任公司

作为本项目的项目主要完成单位，陕西省煤炭科学研究所为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：组织立项策划、实施和推广应用；研究了块煤专用采煤机设计参数、运行工况与块煤产出率之间的关系，开发了有利于提高块煤率、适合不同采高的块煤专用采煤机滚筒；提出综采面煤层爆破提高块煤率工艺方法。

3. 陕西美泰新能科技发展有限公司

作为本项目的项目主要完成单位，陕西美泰新能科技发展有限公司为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：组织、实施和推广应用提高块煤率技术；协助参加研究了大型矿井主运输系统转载点块煤限下率控制技术与方法；参与给出了适合陕北超大型矿主运系统转载点块煤止损的成套工艺；参与开发了榆神矿区类似浅埋硬厚煤层综采提高块煤率开采成套技术与方法。

九、完成人合作关系说明

1. 邓广哲/1、安满林/2 产业合作，完成了创新点 2、3。

2. 邓广哲/1、郑锐/3 专利合作，参与项目推广实施，完成了创新点 1、2。

3. 邓广哲/1、李鹏博/4 产业合作，完成了创新点 1、3。

4. 邓广哲/1、刘辉/5 完成合作立项，产业合作、完成创新点 4。
5. 邓广哲/1、乔重让/6 完成合作立项，产业合作、完成创新点 4。

(技术发明奖 提名号 309-3004)

一、项目名称

煤矿区含水层结构保护关键技术及应用

二、提名者及提名意见

1.提名者：陕西省煤炭学会

2.提名意见：本项目针对以我省为主的黄河中上游煤炭开发面临的水资源和生态环境双重压力，厘定了含水层结构定义，创建了以含水层结构保护为核心的水位-水量协同控制的保水采煤理论技术体系，构建了不同地质结构下导水裂隙带高度预测模型，发明了保水采煤地质条件分区方法及分层限高、充填、注浆等多种保水开采技术，解决了黄河中上游高强度煤炭开采过程中含水层结构保护的世界性难题。项目共授权发明专利 72 件，制定《保水采煤技术规范》等标准 9 项，登记软著 11 项。获第 50 届日内瓦国际发明展金奖 1 项。出版专著 7 部，发表论文 220 余篇。研究成果应用于陕北侏罗纪煤田、渭北石炭二叠纪煤田以及内蒙古、山西、宁夏等省区煤炭基地，在保证原煤产量持续增加的前提下，有效地保护了矿区地下水系统和生态环境，促进了包括我省在内的黄河中上游地区煤矿区持续健康发展，创造了特别显著的生态环境效益、经济效益。

提名该项目为 2025 年度陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

本项目以含水层结构保护为目标，以采场岩层控制和导水裂隙带抑制为手段，以多参数一体化监测为评价方式，研发了一整套适用于矿区规划、矿井设计、开采和受损含水层结构修复为核心的保水采煤技术，创建以煤矿区含水层生态功能性和隔水层渗流稳定性为原则、以含水层结构保护为目标的水位-水量协同控制保水采煤理论。构建了含水层结构采动裂隙探测与含水层结构扰动程度分区评价体系。发明了系列含水层结构保护的开采技术（保水采煤技术）。开发了含水层结构保护效果监测预警平台，建成陕西境内 3 个大型煤炭基地保水效果监测网。项目曾获日内瓦国际发明展金奖和 2 项中国煤炭工业协会技术发明一等奖、1 项绿色矿山技术发明一等奖。项目推广应用取得显著经济、社会效益。

四、客观评价

2018 年 12 月 15 日，中国煤炭工业协会对《保水采煤关键技术与工程应用》组织鉴定的结论总体达到国际领先水平。

2020 年 11 月 4 日中关村绿色矿山产业联盟对《西部煤矿区水资源与生态环境减损关键技术及应用》组织鉴定的结论是在高强度煤炭开采地下水减损技术方面达到国际领先水平。

2024 年 5 月 6 日，中国煤炭工业协会对《基于含水层保护的煤炭开采关键技术及工程应用》组织鉴定，鉴定结论是理论上具有重要创新，技术方法上获重要突破，总体达到国际领先水平。

鉴定前进行了查新，结论为未见与查新项目相同的报道。

五、应用情况及效益

本项目技术在陕西、内蒙古、山西、新疆等省区广泛应用，取得显著经济、社会效益。

六、主要知识产权目录

知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准发布)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
发明专利	一种潜水含水层水位水量协同控制的保水采煤方法	中国	ZL201611045182.X	2018.7.24	3009651	陕西省地质环境监测总站	范立民	有效专利
标准	保水采煤技术规范	中国	T/GRM 054-2022	2022.12.31	中关村绿色矿山产业联盟	中国矿业大学、陕西省煤田地质集团有限公司、陕西省地质环境监测总站(陕西省地质灾害中心)、中关村绿色矿山产业联盟、六盘水师范学院、中国矿业大学(北京)、西安荣岩地质勘探有限公司	范立民、武强、马立强、李涛、孙魁、蒋泽泉、冀瑞君、孙强、张吉雄、曾一凡、赵泓超、孙亚军、白如鸿、高颖、吴永辉、徐智敏、赵帅、吴浩、王朱亭、郑静、万晓波、李浩、梁玉森、王才进	有效标准
发明专利	一种煤炭开采生态潜水平扰程度评价方法	中国	ZL202410474986.X	2024.9.13	7366047	中国矿业大学	范立民、李涛、蒋泽泉、孙魁、华照来、马立强、冀瑞君、孙强、赵泓超、高颖	有效专利
发明专利	一种煤层顶板含水层保水采煤分区方法	中国	ZL202410475493.8	2024.9.13	7369918	中国矿业大学	范立民、李涛、华照来、蒋泽泉、马立强、雷亚军、冀瑞君、李增林、孙强、高颖、孙魁	有效专利

发明专利	一种煤层底板含水层保水采煤分类方法	中国	ZL202410475614.9	2024.10.22	7465423	中国矿业大学	范立民、李涛、马立强、蒋泽泉、冀瑞君，高颖、华照来、秦天天、赵瑞	有效专利
发明专利	一种薄砂层覆盖区真空预压修复采煤破坏的隔水土层方法	中国	ZL202210105244.0	2023.9.15	6322453	六盘水师范学院	李涛、蒋泽泉、范立民、高颖	有效专利
发明专利	一种风化基岩含水层保水采煤区的识别方法及采煤方法	中国	ZL202111242306.4	2023.6.23	6083900	六盘水师范学院	李涛、范立民、高颖、孙魁	有效专利
发明专利	绿色低碳保水采煤优选方法	中国	ZL202210472602.1	2024.11.15	7528179	中国矿业大学	马立强、许玉军、翟江涛、范立民、周楠	有效专利
发明专利	一种煤炭开采潜水位磁化控制方法	中国	ZL202110039297.2	2023.3.24	5813877	六盘水师范学院	李涛、高颖、马杰、廖敬龙，杨军伟、范立民	有效专利
发明专利	一种不改变覆岩水文地质条件的煤水双资源矿井开采方法	中国	ZL201811022572.4	2020.8.11	3930211	中国矿业大学(北京)、安徽省皖北煤电集团有限责任公司、滨州学院	武强、申建军、胡荣杰、刘守强	有效专利

七、完成单位和主要完成人

主要完成单位：陕西省煤田地质集团有限公司、中国矿业大学、陕西省地质环境监测总站（陕西省地质灾害中心）、中国矿业大学（北京）、六盘水师范学院、新疆工程学院。

主要完成人：范立民、武强、马立强、李涛、董卫峰、孙魁。

八、完成人合作关系说明

范立民、武强、马立强、李涛、孙魁等共同拥有《一种基于煤层分层开采的保水采煤方法》(ZL202411608473.X)、《一种用于地表水库下保水采煤的方法》(ZL202411401033.7)、《PHREATIC LEVEL MAGNETIZATION CONTROL METHOD FOR COAL MINING》(F/PT/PCT/O/2024/14145)等授权发明专利；共同制定《保水采煤技术规范》(T/GRM 054-2022)、《保水采煤术语》(T/GRM 078-2023)、《煤矿导水裂隙带探测技术规范》(T/GRM 056-2022)、《矿区烧变岩含水层保护技术规范》(T/GRM 107-2024)等4项团体标准；

范立民、武强共同承担产业化项目，共同拥有发明专利 4 件，共同制定 4 项“保水采煤”领域团体标准；

范立民、马立强共同承担陕西省公益性地质调查与科研项目，共同拥有 18 件发明专利，共同制定“保水采煤”领域团体标准 7 项，共同发表论文 10 余篇；

范立民、李涛共同承担公益性地质调查及科研项目、产业化项目，共同拥有发明专利 20 件，共同制定“保水采煤”领域标准 7 项，共同开发保水采煤领域软件 5 项，共同发表论文 20 余篇；

范立民、董卫峰共同承担产业化项目，共同开展高强度采煤导水裂隙带探测技术研究和技术推广，共同研发地下水监测软件和信息平台，共同建设地下水监测预警网；

范立民、孙魁共同承担陕西省自然科学基金研究-陕煤联合基金重点项目、公益性地质调查及科研项目，共同拥有发明专利 8 件，共同制定 9 项“保水采煤”领域标准（含陕西省地方标准 3 项），共同发表论文 13 篇，共同开发软件 4 项；

上述发明专利（均含海外专利）、标准、论文、专著均为本提名项目核心技术领域。

(科技进步奖 提名号 309-4001)

一、项目名称：

矿井热动力灾害防控关键技术研究

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

火灾与瓦斯等热动力灾害严重制约了煤矿安全生产。针对热动力灾害致灾机理、精准预测和智能控制等难题，项目开展了热动力灾害危险性预测、动态感知及智能决策、应急调控等关键技术研究。揭示了热动力灾害致灾机制与演化机理，构建了火灾与瓦斯耦合致灾危险性预测模型，提出了危险性预测方法，实现了热动力灾害风险的智能预测；研发了通风、火灾与瓦斯等多模态信息动态感知技术装备，提出了热动力灾害危险性分级预警方法，研制了危险性分级预警模型和安全态势分析模型，实现了安全态势的动态推演、孕灾预警和成因判别；开发了智能风门和柔性防爆密闭装备，基于“平战结合”的原则，开发了矿井热动力灾害智能协同防控系统平台，实现常态化远程调控和异常自主决策的应急联动控制。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖一等奖。**

三、项目简介

项目围绕动力灾害形成演化及致灾过程，开展了热动力灾害危险性预测、动态感知及分级预警、智能协同防控等关键技术研究，揭示了热动力灾害致灾机制与演化机理，研发了多元信息动态感知预警技术、应急防控装备和智能决策系统，构建了“风险态势预测-动态感知预警-智能协同防控”技术体系，实现了热动力灾害的高效防控。主要创新性成果如下：

1、矿井热动力灾害多场耦合致灾机理及危险性预测方法

研究采空区煤自燃及次生气体自促进“链-热”孕爆机制，构建“热-固-流-化”多场耦合模型，揭示了火灾与瓦斯爆炸耦合致灾机理；

研究火灾与瓦斯热动力灾害多灾源数据风险辨识方法，创建热动力灾害知识图谱库，建立了火灾与瓦斯多灾源风险隐患溯源生成式智能认知模型；研究火灾与瓦斯风险隐患多模态知识引导本源挖掘方法，确定了热动力灾害致灾特征参数和危险性量化指标，构建了火灾与瓦斯耦合致灾危险性预测模型，实现了热动力灾害风险的动态预测。

2、矿井热动力灾害动态感知与分级预警技术

研发矿用本安型全断面双向风速多参数无线传感器，实现了通风环境参数和风网运行状态的智能感知与故障诊断；发明矿井火灾与瓦斯多元信息无线智能传感器，实现了热动力灾害风险隐患的动态感知及早期预警；建立分级预警指标数据库，构建了时空耦合的危险性分析预警模型，实现了安全态势的动态推演、孕灾预警和成因判别。

3、矿井热动力灾害智能协同防控技术

研发实时远程优化调控的智能风门，发明了高强度阻燃囊壁材料和多气仓压力自主平衡式柔性防爆快速密闭装备；创新了地面远程解除风门闭锁技术，实现了灾变区域风门联动控制和远程局部反风；提出灾情交叉感知通信中断的自主联动决策方法，构建联动调控区域隔离、灾区快速密闭、高温点隔氧降温相结合的应急控制技术体系，保障了矿井通风系统的安全性和稳定性。

研究成果授权发明专利22项、实用新型专利15项，登记软件著作权5项，转化产品取得煤安认证21件，出版专著4部，发表学术论文62篇。相关项目技术成果达到国际领先水平，已推广应用到陕西、山东、山西、内蒙等主要煤炭基地的百余对矿井，创造经济效益约4.7亿元，技术成果在西科智安、南京迪泰克森等公司进行了产业化应用推广。

四、客观评价

项目研究成果形成了矿井热动力灾害防控成套技术及装备，在一通三防智能管控关键技术方面取得了创新性突破，提高了灾害危险性预测准确率、传感器监测精度和密闭隔离时效，增强了矿井安全管控水平，整体技术水平达到国际领先。

经中国煤炭工业协会组织专家组对“矿井通防灾害监测预警与智能管控技术研究”、“深井开采煤自燃预测及防控关键技术研究”等成果鉴定，认为项目技术成果达到国际领先水平。

五、应用情况

项目技术成果先后在陕西未来能源化工有限公司金鸡滩煤矿、山东能源集团西北矿业有限公司、新汶矿业集团有限责任公司、兖矿能源集团股份有限公司等单位的20余家煤矿得到推广应用，形成较好的市场影响力，并为矿井安全生产保障提供了技术支撑。

六、主要知识产权和标准规范等目录

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	基于声学法测量松散介质温度的实验装置及方法	中国	CN112197884B	2024.04.16	第 6914559 号	西安科技大学	邓军, 任帅京, 屈高阳, 王彩萍, 肖旻, 李青蔚, 王伟峰, 易欣, 张玉涛
2	发明专利	基于 TDLAS 痕量 CO 气体浓度的检测装置和方法	中国	CN107144549B	2023.04.14	第 5879104 号	西安科技大学, 西安捷锐消防科技有限责任公司	邓军, 王伟峰, 殷聪, 杜京义, 马砺, 张保龙, 陈炜乐
3	发明专利	一种矿用离子液体阻化剂制备装置及制备方法	中国	CN109317070B	2023.08.08	第 6212027 号	西安科技大学, 四川省煤炭产业集团有限责任公司	邓军, 吕慧菲, 李达江, 肖旻, 王彩萍, 蒋志刚
4	发明专利	煤自燃多组分指标气体激光光谱动态监测装置	中国	CN106872403B	2023.03.03	第 5763056 号	西安科技大学, 西安捷锐消防科技有限责任公司	王伟峰
5	发明专利	一种抗氧化剂作为防治煤自燃阻化剂的应用	中国	CN113323709B	2024.03.26	第 6830285 号	西安科技大学	王彩萍, 白祖锦, 乔显婷, 蒋志刚, 邓军, 康付如, 陈曦, 侯亚男
6	论文	采空区煤自燃高温点识别与探测技术研究及展望	中国	2024 年 49(02)卷 885-901 页	2024.02.15	煤炭学报	西安科技大学	邓军, 王津睿, 任帅京, 王彩萍, 屈高阳, 马砺
7	论文	瓦斯对煤低温氧化过程微观结构及热反应性的影响研究	中国	2023 年 51(01)卷 304-312 页	2023.03.14	煤炭科学技术	西安科技大学	邓军, 周佳敏, 白祖锦, 刘乐, 王彩萍
8	论文	Investigaton on high temperature point detecton of spontaneous combustion of loose coal based on optimal acoustic signal	其他	2024 年 185:卷 423-434 页	2024.03.06	Process Safety and Environmental Protection	西安科技大学	Deng Jun, Qu Gaoyan, Ren Shuaijing, Wang Caiping, Xiao Yang, Wang Jinrui, Sa Bo, Duan Xiadan, Yang Nannan, Zhao Xiaqi

9	论文	Gas-heat characteristics and oxidation kinetics of coal spontaneous combustion in heating and decaying processes	其他	2022 年 250 卷 123810 页	2022.07.01	Energy	西安科技大学	Wang CaiPing, Deng Yin, Xiao Yang, Deng Jun, Shu Chi-Min, Jiang Zhigang
10	专著	煤自燃多组分气体可调谐激光光谱高灵敏检测	中国	/	2020-12	中国矿业大学出版社	/	王伟峰, 邓军, 侯媛彬

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
邓 军	1	校 长	教 授	西安科技大学	西安科技大学	项目总负责人,总体技术攻关
王伟峰	2	无	教 授	西安科技大学	西安科技大学	热动力灾害防控技术研发
王彩萍	3	副院长	教 授	西安科技大学	西安科技大学	热动力灾害致灾机理研究
张照允	4	总工程师	正高级工程师	兖矿能源集团股份有限公司	兖矿能源集团股份有限公司	多元信息监测系统研究应用
王乃国	5	董事长	研究员	新汶矿业集团有限责任公司	新汶矿业集团有限责任公司	热动力灾害决策系统研究应用
马 砺	6	副处长	教 授	西安科技大学	西安科技大学	灾变风流控制系统装备研发
王海宾	7	总工程师	研究员	山东能源集团西北矿业有限公司	山东能源集团西北矿业有限公司	灾区动态感知系统应用研究
郭 英	8	副总工程师	研究员	兖矿能源集团股份有限公司	兖矿能源集团股份有限公司	灾区远程快速密闭技术应用研究
康付如	9	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	灾变信息动态监测设备研发
李申龙	10	总工程师	高级工程师	陕西未来能源化工有限公司	陕西未来能源化工有限公司	热动力灾害监测预警技术应用研究
魏高明	11	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	热动力灾害危险性预测方法研究
易 欣	12	系主任	教 授	西安科技大学	西安科技大学	热动力灾害管控系统平台研发
王 旭	13	总工程师	高级工程师	兖矿能源集团股份有限公司	兖矿能源集团股份有限公司	灾区远程快速密闭系统及装备应用研究
刘尚明	14	无	讲 师	西安科技大学	西安科技大学	灾情信息动态感知系统研发
郭睿智	15	无	讲 师	西安科技大学	西安科技大学	快速密闭隔离技术工业性试验

八、主要完成单位及创新推广贡献

1.西安科技大学

西安科技大学全面负责本项目研究方案的制定与组织实施,完成

了矿井热动力灾害应急控制关键技术研究，与陕西未来能源化工有限公司和兖矿能源集团股份有限公司等合作完成。

2. 兖矿能源集团股份有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，兖矿能源集团股份有限公司积极推动项目现场应用示范。

3. 山东能源集团西北矿业有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，山东能源集团西北矿业有限公司积极推动项目现场应用示范。

4. 新汶矿业集团有限责任公司

作为该项目的主要参与单位之一，新汶矿业集团有限责任公司积极推动项目现场应用示范。

5. 陕西未来能源化工有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，陕西未来能源化工有限公司积极推动项目现场应用示范。

6. 陕西西科智安信息科技有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，陕西西科智安信息科技有限公司通过技术研发、装备研制、系统研发及推广应用，开展项目现场应用示范。

九、完成人合作关系说明

项目实施期间，邓军、王伟峰、王彩萍、马砺、康付如、易欣、魏高明、刘尚明、郭睿智为西安科技大学主要完成人；张照允、郭英、王旭为兖矿能源集团股份有限公司主要完成人；王乃国为新汶矿业集团有限责任公司主要完成人；王海宾为山东能源集团西北矿业有限公司主要完成人；李申龙为陕西未来能源化工有限公司主要完成人。具体合作关系如下：

1、邓军/1、王伟峰/2、王彩萍/3 共同获得发明专利“基于声学法测量松散介质温度的实验装置及方法”。

2、邓军/1、王彩萍/3、马砺/6 共同合作发表论文“采空区煤自燃高温点识别与探测技术研究与展望”。

3、邓军/1、王彩萍/3、康付如/9 共同获得发明专利“一种抗氧化剂作为防治煤自燃阻化剂的应用”。

4、张照允/4、马砺/6、郭英/8、魏高明/11、刘尚明/14 共同合作完成“厚煤层超长综放面煤自燃防治关键技术研究”科研项目。

5、王伟峰/2、马砺/6、郭英/8、王旭/13、魏高明/11、刘尚明/14、郭睿智/15 共同合作完成“矿井大面积采空区气体运移规律及灾害防控关键技术研究”科研项目。

6、王伟峰/2、李申龙/10 共同合作完成“矿井一通三防智能管控关键技术研究”科研项目。

7、王伟峰/2、王乃国/5、马砺/6、易欣/12、刘尚明/14、郭睿智/15 共同合作完成“地面储煤堆煤自燃监测预警及防控技术研究”科研项目。

8、马砺/6、王海宾/7、魏高明/11、刘尚明/14、郭睿智/15 共同合作完成“基于原位在线监测系统的近距离多煤层自然发火防控关键技术研究”科研项目。

(科技进步奖 提名号 309-4002)

一、项目名称：

兰炭废水高值化提氨提氢技术与应用示范

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

在新能源创新开发、资源高效利用以及经济可持续发展的当代需求下，兰炭产业的资源梯级利用、技术创新提升以及产业转型升级已然成为榆林地区能源产业发展与经济社会进步的内在需求。“兰炭废水高值化提氨提氢技术与应用示范”项目结合兰炭产业链实际特点，以兰炭废水提氨、浓氨、固氨、氨裂解制氢及固态储氢全链条式废弃能源梯级回用与新能源开发为目标，开展兰炭废水提氨提氢技术与配套工艺研究项目，构建基于除油脱酸处理后兰炭废水提氨提氢关键技术体系与全链条式产业结构，为榆林市氢能产业链发展提供技术支撑。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科技进步奖二等奖。**

三、项目简介

榆林是国家兰炭产业的发源地，年产量 5000 万吨的兰炭产能持续推动着地区经济发展，但每年近亿吨高毒含酚氨废水的安全处理难题一直制约着兰炭产业技术升级与绿色发展。因此，兰炭废水的无害化处置与资源化利用已然成为该行业技术转型的重要瓶颈之一。随着国家“双碳”战略的提出，各行业加快调整优化产业结构、能源结构，推动煤炭消费尽早达峰，大力发展新能源，早日完成碳中和的技术基础沉淀。以废制废、变废为宝、资源化利用与新能源开发成为国家对兰炭生产等工业发展的基本政策，也成为榆林兰炭产业转型升级的新出路。本项目针对榆林市氢能产业链重大创新技术需求，结合兰炭产业链实际特点，以兰炭废水提氨、浓氨、固氨、氨裂解制氢及固态储

氢全链条式废弃能源梯级回用与新能源开发为目标，以科学瓶颈和材料创新为导向，通过原型观测、数值模拟、技术创新与装备研发等研究手段，开发多功能固氨储氢材料与装备，揭示金属氨基化合物固氨、脱氢反应动力学及微观界面作用机理，构建高效、经济、稳定的提氨、固氨关键技术与工业试验平台，形成基于除油脱酸处理后兰炭废水提氨制氢关键技术体系与全链条式产业结构，为榆林市氢能产业链发展提供技术支撑。

主要创新成果有：

创新点：通过本项目理论技术体系的研究和集成示范工程的开展，将有效提高兰炭废水处理可生化性和废氨资源高值化储能利用，为生产废水无害化处理、能特色产业链创新与区域经济可持续发展提供新动力。本项目针对榆林市兰炭废水无害化处置难、资源浪费严重等难题，实施废氨浓缩、纯化、固化、裂解制氢工艺与装备研发及全流程工业化装置中试试验。项目研究成果将促进企业在兰炭废水预处理与废氨资源化回收领域开拓创新，实现废氨固化储氢技术上的突破，达到“高效除废、变废为宝、资源化利用”的多重效益。项目成果推广应用后，预期每年为该地区回收费按资源 7.6 万吨，为企业每年节支近 2 亿元。

紧密围绕“兰炭废水高值化提氨提氢技术与应用示范”项目，两家单位协同攻关，取得了一系列重要成果：申请发明专利 11 项，其中授权且有效国家发明专利 6 项，发表高水平学术论文 10 篇，其中 SCI 收录 9 篇、其他收录 1 篇。在本项目的支持下培养博士、博士后 9 人，硕士 4 人。

四、客观评价

1 论文发表引用情况

本项目发表学术论文 10 篇，其中 SCI 收录 9 篇，其他收录 1 篇。相关成果发表于《Journal of Cleaner Production》、《Applied Physics

A-Materials Science & Processing》等环境工程领域期刊，受到专家学者充分肯定。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	知识产权是否归国内所有
1	煤制兰炭过程中挥发性有机污染物和臭氧协同处理机理	西安科技大学学报	张蕾、陈雅、贾阳、黄鹏程	西安科技大学	2024, 44(1), 135-143	2024.01	Zhang Lei	Zhang Lei	是
2	Research on the Mechanism of Synergistic Treatment of VOCs-O ₃ by Low Temperature Plasma Catalysis Technology	Plasma Chem Plasma Process	Zhang Lei, Zou Zhuorui, Lei Zhang, Jia Yang	西安科技大学	未显示	2023.8.13	Zhang Lei	Zhang Lei	是
3	Preparation of ZrO ₂ /γ-Al ₂ O ₃ albumen type catalyst and its catalytic performance for carbonyl sulfide hydrolysis	Applied Physics A-Materials Science & Processing	Lei Zhang, Ya Chen, Lei Zhang, Ruikang Song, Qi Wang, Chunjiang Liu, Yidan Mu	西安科技大学	2024, 130(3), 170.	2024.2.14	Zhang Lei	Zhang Lei	是
4	A study on the catalytic performance of the ZrO ₂ @c-Al ₂ O ₃ hollow sphere catalyst for COS hydrolysis	NEW JOURNAL OF CHEMISTRY	Lei Zhang, Hengliang Wang, Lei Zhang, Yang Jia, Qi Wang	西安科技大学	未显示	2023.12.29	Zhang Lei	Zhang Lei	是
5	Preparation of goethite/nickel foam catalyst and its application in xylene degradation	Journal of Cleaner Production	Zhang Lei, Shu Hao, Wang Yusu, Jia Yang	西安科技大学	未显示	2022.6.16	Zhang Lei	Zhang Lei	是

六、代表性知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种铁基杂化絮凝剂及其制备方法与应用	中国	ZL202211342836.0	2024.07.26	6979690	中国矿业大学（北京）	张春晖, 林智炜, 李学智, 章昭, 鲁文静, 王泽鹏, 乔雅君, 秦兆伟, 张滕卓
2	发明专利	一种废液处理装置及其废液处理方法	中国	ZL202210220118.X	2023.4. 7	5861021	中国矿业大学（北京）	唐佳伟, 张春晖, 全炳旭, 程开鹏, 林智伟, 苏佩东, 鲁文静, 焦亚楠, 张腾卓, 李学智
3	发明专利	炭材料石墨化用 Ni@硼类 COFs 催化剂的制备方法	中国	ZL202010611300.9	2023.6.23	6079994	西安科技大学	张蕾, 贾阳
4	发明专利	一种复合导电膜及其制备方法和应用	中国	ZL202210220088.2	2022.10.14	5509065	中国矿业大学（北京）	张春晖, 唐佳伟, 全炳旭, 刘宗, 章昭, 王新玲, 霍倩倩, 沈文龙, 李学智, 郭鑫蕾
5	发明专利	一种基于富油煤热解重质焦油为原料制备泡沫炭的方法	中国	ZL201911225567.8	2023.1.24	5712539	西安科技大学	张蕾, 石智军, 高浩, 贾阳, 王晓康, 况伟

六、主要完成人情况

姓名	排名	职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
张 蕾	1	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目负责人，负责项目总体方案设计与组织实施；
唐元晖	2	副教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	唐元晖作为本项目技术研发骨干，承担并完成了项目任务1和任务4的核心研发工作
宋瑞康	3	无	西安科技大学	西安科技大学	宋瑞康作为本项目的研发骨干，在本项目中承担了不同官能团改性A1-BDC材料的合成及其氨气吸附性能研究。
苏佩东	4	副教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	苏佩东在本项目中承担了兰炭废水提氨-浓氨工艺优化和重金属富集关键技术研究。
田 华	5	副教授	西安科技大学	西安科技大学	田华作为本项目研发骨干，在本项目中承担了双官能团改性A1-BDC材料的合成及其氨气吸附性能研究
章丽萍	6	副教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	章丽萍在本项目中主要参与完成兰炭废水提氨提氢工艺集成与示范研究
聂文杰	7	高级工程师	西安科技大学	西安科技大学	聂文杰作为本项目研发骨干，在本项目中承担了Ni基催化剂制备及高效制氢相关研究。
张春晖	8	教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	张春晖作为本项目技术研发骨干，承担兰炭废水多级高效提氨-浓氨与贵金属富集技术研发。
赵皓铖	9	无	西安科技大学	西安科技大学	赵皓铖作为主要研发人员，在本项目中承担了稀土金属掺杂Ni基催化剂制备及氨分解制氢性能研究。
张 柳	10	无	西安科技大学	西安科技大学	张柳作为主要研发人员，在本项目中承担了Ni基催化剂氨分解制氢微观机理研究。

七、主要完成单位情况

1.西安科技大学、中国矿业大学（北京）

项目承担单位西安科技大学是原来隶属原煤炭工业部仅有的2所5年制本科院校之一，主要围绕煤炭开采利用和煤矿安全等方向。合作单位为中国矿业大学（北京），在煤炭能源的勘探、开发、利用和生产相关的矿建、安全等领域形成了鲜明特色。

该项目结合榆林地区兰炭产业链实际特点，以兰炭废水提氨、浓氨、固氨、氨裂解制氢及固态储氢全链条式废弃能源梯级回用与新能源开发为目标，开展兰炭废水多级高效提氨-浓氨与重金属富集技术、金属氨基储氢配合物体系开发及固氨储氢性能优化研究，重点开发兰炭废水多级高效汽提回收废氨技术与金属氨基

储氢配合物材料合成 及催化制氢技术，构建基于除油脱酸处理后兰炭废水提氨制氢关键技术体系与提氨提氢工业示范装置，为榆林市氢能产业链发展提供技术支撑。目前拥有前期研究的科研条件和前期基础，已制备出可用于固 氨储氢的 MOFs 基材料，并且可依托中试实验平台的神木市 $2 \times 125\text{m}^3/\text{h}$ 兰炭酚氨废水集中处理工程已开工。兰炭废水提氨储氢技术的推广可改善区域经济结构，促进新兴产业就业，培养技术型社会人才。氨基固态储存氢能可作为清洁能源推广，实现氢能产业链创新进步的同时， $10\text{Nm}^3/\text{h}$ 的中试产能可为企业产生约 700 元/天的经济效益，深入推广有望为企业每年节支近2 亿元。

八、完成人合作关系说明

“兰炭废水高值化提氨提氢技术与应用示范”项目开展过程中主要完成人有张蕾、张春晖、唐元晖、宋瑞康等人。张春晖、唐元晖等 人为中国矿业大学（北京）成员，张蕾（项目负责人）、宋瑞康等人为西安科技大学成员。合作期间 2 个单位人员通过定期的学术交流、联合实验和技术攻关，充分发挥各自的优势，形成了强有力的科研协同效应，且在项目实施过程中取得了一系列重要研究成果。完成人和 完成单位将按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。

(科技进步奖 提名号 309-4004)

一、项目名称:

主采煤层综采面灾害预警智能地质保障系统关键技术研究及应用

二、提名者及提名意见

提名单位: 陕西省煤炭学会

提名意见:

“主采煤层综采面灾害预警智能地质保障系统关键技术研究及应用”项目研发了韩城矿区主采煤层综采面开采地质条件的精细探测技术,揭示了综采面煤厚变化、构造分布规律;构建了综采面地质信息数据处理技术体系,建立了关键评价指标与分级标准;集成了综采面实测数据、矿井物探数据、地质条件分区数据,建立了综采面开采地质条件预报可视化系统,实现了地质要素与隐蔽致灾因素的精准定位、识别、分区及预测,为地质灾害的快速预报提供了技术支撑。研究成果已在韩城矿区、蒲白矿区及彬长矿区多个矿井得到成功应用,取得了显著的社会和经济效益。

成果材料齐全、规范,无知识产权纠纷,人员排序无争议,符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖二等奖。**

三、项目简介

韩城矿区是陕西省重要煤炭生产基地之一,随着矿井煤层不断向中、深部延伸,相应的煤体结构、地质构造、瓦斯、水文等地质灾害情况均发生了较大变化,需要开展采掘面地质条件的精细探测与综合指标评价研究,建立可视化、数值化预报地质保障系统,为矿区安全高效生产提供地质依据。本项目系统分析总结韩城矿区主采煤层回采工作面开采地质条件,形成适合韩城矿区不同主采工作面的开采地质

条件保障精细探测技术，实现工作面地质预报技术集成与系统研发，为精细化评价预测工作面开采地质条件、优化开采方案与决策部署，以及防灾减灾和安全高效生产提供地质依据与技术保障。

主要创新成果有：

创新点 1：提出了回采工作面尺度瓦斯地质条件精细化分级评价指标与方法体系，构建了工作面瓦斯地质分级评价指标与标准体系，具体包括煤层基本特征、煤层构造特征、瓦斯涌出特征、瓦斯突出特征四个方面；确立了工作面瓦斯地质分级评价方法，具体包括评价参数体系建立、隶属函数与权重确定、多层次模糊数学评价模型构建、综合评价指数计算与地质成图、分级分区评价等流程。

创新点 2：从煤厚、构造、水文、瓦斯共四个方面构建防突减灾关键评价指标与分级标准，实现工作面的开采地质条件分区以及隐蔽构造、煤厚、瓦斯、水害等的三维成果展示。

创新点 3：构建了主采煤层回采面开采地质条件预报可视化地质技术体系，研制了回采工作面开采地质条件可视化预报系统，可实现各类地质要素与隐蔽致灾因素的精准定位、识别、分区及预测，构成透明矿山与智慧矿山的有机组成部分。

创新点 4：从煤炭精准开采和防治矿井灾害（矿井水与瓦斯）视角，深入系统地研究并创建了工作面开采地质条件精细探测技术与定量评价方法体系，为回采工作面地质工作顺应智慧矿山、透明矿山发展趋势提供了范例，为煤矿安全、高效生产提供了地质保障。

截止 2024 年 12 月，项目授权发明专利 2 项，实用新型专利 6 项，软著 4 项，出版专著 2 部，学术论文 17 篇，培养硕士研究生 9 名。

四、客观评价

1. 成果鉴定情况

中国煤炭工业协会技术鉴定意见：项目研发了韩城矿区主采煤层

综采面开采地质条件的精细探测技术，揭示了综采面煤厚变化、构造分布规律；构建了综采面地质信息数据处理技术体系，建立了煤层厚度、构造相对复杂程度、水害、瓦斯地质灾害危险性分析的关键评价指标与分级标准，实现了综采面开采地质条件综合分区与精准评价；集成了综采面实测数据、矿井物探数据、地质条件分区数据，建立了综采面开采地质条件预报可视化系统，实现了地质要素与隐蔽致灾因素的精准定位、识别、分区及预测，为地质灾害的快速预报提供了技术支撑。

中国煤炭工业协会技术鉴定结论：成果达到国际先进水平。

研究成果已在韩城矿区、蒲白矿区及彬长矿区多个矿井得到成功应用，取得了显著的社会和经济效益。

2. 科技查新情况

经“教育部科技查新工作站”检索，国内外查新表明，基于成果所涉及各创新点，目前在国内外所查文献中，除委托单位发表成果外，未见与该项目查新点研究内容完全相同的中文文献报道。

五、代表性知识产权和标准规范等目录（限10条）

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	其他	韩城矿区主采煤层主采工作面地质条件精细探测与综合评价	中国	978-7-116-12445-5	2020年12月01日	978-7-116-12445-5	西安科技大学, 陕西陕煤韩城矿业有限公司	孙学阳, 吴杰
2	论文	韩城矿区煤炭资源有利开采区块辨识的原理与方法	中国	2020, 48(11):232-240	2020年11月01日	煤炭科学技术	西安科技大学	孙学阳, 张齐, 夏玉成, 杜荣军, 郭晨
3	发明专利	一种煤矿工作面瓦斯地质危险性评价方法	中国	ZL201910759544.9	2023年10月13日	6392217	西安科技大学, 陕西陕煤韩城矿业有限公司	孙学阳, 郭晨, 王社荣, 杜荣军, 祁云望, 许珂, 付来运
4	发明专利	矿井未采区构造相对复杂程度的相对熵预测方法	中国	ZL201710599393.6	2020年11月13日	4091253	西安科技大学, 陕西陕煤韩城矿业有限公司	杜荣军, 夏玉成, 王社荣, 卫兆祥
5	实用新型专利	一种巷道顶板地质构造产状测量仪	中国	ZL201921818051.X	2020年04月21日	10347515	西安科技大学, 陕西陕煤韩城矿业有限公司	卢明皎, 王社荣, 孙学阳, 祁云望, 杜荣军, 罗寿涛, 郭晨, 同新立
6	实用新型专利	一种隧道逃生管道固定装置及逃生管道	中国	ZL201921790658.1	2020年07月14日	10987842	西安科技大学	孙学阳, 姜钰泉, 张齐, 卢明皎, 张磊
7	计算机软件著作权	基于 FISH 语言的采煤沉陷特征值等值线成图研究系统	中国	2022SR0695809	2022年04月01日	2022SR0695809	西安科技大学	孙学阳, 袁官思龙, 程正, 钟思弘, 张慧萱
8	论文	基于 FAHP-变异系数法的风化基岩含水层富水性评价	中国	2023, 54(08):143-149	2023年08月01日	煤矿安全	西安科技大学, 陕西南梁矿业有限公司	白阳, 牛超, 李钊, 项敏, 赵淑慧
9	论文	煤矿小褶皱构造地质雷达超前探测技术研究与应用	中国	2021, 39(4):168-171	2020年12月11日	山东煤炭科技	陕西陕煤韩城矿业有限公司, 中煤科工集团重庆研究院有限公司	罗寿涛, 仇念广, 祁云望
10	论文	复合破碎顶板巷道围岩注浆加固技术实践	中国	2023, 42(06):167-170	2022年11月04日	陕西煤炭	陕西陕煤韩城矿业有限公司	白伟

六、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
孙学阳	1	院长	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目负责人，负责项目总体方案设计与组织实施。
罗寿涛	2	副部长	工程师	陕西陕煤韩城矿业有限公司	陕西陕煤韩城矿业有限公司	项目立项、协调，参与方案论证。
杜荣军	3	/	讲师	西安科技大学	西安科技大学	煤层厚度分析、构造相对复杂程度分析。
韩德昊	4	/	/	西安科技大学	西安科技大学	理论与验证以及项目推广与应用； 矿井现场项目落实与施工协调。
牛超	5	系主任	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目理论研究、实施与应用； 涌(突)水危险性评价与涌水量预测。
白伟	6	/	工程师	陕西陕煤韩城矿业有限公司	陕西陕煤韩城矿业有限公司	项目理论研究、实施与应用； 矿井现场项目落实与施工协调。

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

作为本项目的依托单位，西安科技大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：1) 参与项目立项论证，制定项目研究方案，组织、协调和具体管理项目研究工作；2) 在项目研究、应用和推广过程中提供技术、设备、人员和服务条件，保证主要研究人员的精力投入，为项目的顺利实施提供了可靠的技术保障；(3) 研发了韩城矿区主采煤层综采面开采地质条件的精细探测技术；构建了综采面地质信息数据处理技术体系，建立了煤层厚度、构造相对复杂程度、水害、瓦斯地质灾害危险性分析的关键评价指标与分级标准；建立了综采面开采地质条件预报可视化系统；4) 负责主编项目研究报告，编制项目结题验收、成果鉴定和报奖材料，协助开展项目研究成果的推广应用工作，进行应用效果与效益评价。

2. 陕西陕煤韩城矿业有限公司

作为本项目的组织与实施单位，陕西陕煤韩城矿业有限公司负责项目现场调研、井下实验等具体实施工作，表现为：1) 提出了项目研究的总体目标，组建了项目领导小组，负责项目的立项工作，组织

协调和宏观管理项目研究工作；2) 提供生产过程中积累的地质资料以及前人针对研究区的专题研究成果等相关技术资料；3) 在项目研究过程中提供人员和服务条件，提供野外和矿井现场考查需要的交通和工作条件，协助完成技术资料收集和现场考查等工作，为项目的顺利实施提供了可靠的服务保障；4) 组织技术人员参与项目的研究工作，对本项目的科技创新提出了有价值的意见和建议；5) 负责研究报告审查以及项目成果在本单位的应用推广；6) 申请项目结题验收、成果鉴定和报奖等工作。

八、完成人合作关系说明

项目主要完成人共6人，其中孙学阳、杜荣军、韩德昊、牛超等4人为西安科技大学成员，罗寿涛、白伟等2人为陕西陕煤韩城矿业有限公司成员，项目执行过程中取得了一系列共同的研究成果。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。现对完成人合作关系及参与并做出重要贡献说明如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	共同立项	罗寿涛/4 白伟/13 孙学阳/15 杜荣军/17 牛超/21 韩德昊/22	2019年1月	2024年12月	主采煤层采掘面灾害预报地质可视化系统研究
2	论文合著	孙学阳/1 杜荣军/6	2019年1月	2024年12月	韩城矿区煤炭资源有利开采区块辨识的原理与方法
3	共同知识产权合作	孙学阳/1 杜荣军/4	2019年1月	2024年12月	一种煤矿工作面瓦斯地质危险性评价方法
4	共同知识产权合作	孙学阳/3 杜荣军/5 罗寿涛/6	2019年1月	2024年12月	一种巷道顶板地质构造产状测量仪
5	共同完成成果鉴定	孙学阳/2 罗寿涛/5 杜荣军/8 白伟/9 牛超/20 韩德昊/26	2019年1月	2024年12月	中国煤炭工业协会成果鉴定项目“韩城矿区综采工作面灾害预报地质保障系统研究与应用”

(科技进步奖 提名号 309-4005)

一、项目名称：

近距离煤层群开采覆岩运动破坏致灾机理及控制

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该成果以浅埋近距离煤层群开采覆岩控制与灾害防治为目标，对浅埋近距离煤层群开采过程中的覆岩破断特征以及裂隙带的发育规律进行系统研究，探寻浅埋近距离煤层群开采矿压显现规律与单一煤层开采不同的原因，确定覆岩裂隙发育高度，对于浅埋近距离煤层群开采过程中回采工作面的顶板稳定性控制以及安全开采具有极其重要的意义，解决了全行业的一个重大技术难题，为提升我国煤炭开采的技术水平做出了贡献。研究成果具有很强的市场竞争力和极大推广应用价值，对于促进科学采矿和区域经济发展具有重大意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科技进步奖二等奖。**

三、项目简介

本项目属于项目技术领域为煤矿开采，矿山压力工程领域。

随着陕北侏罗纪煤层开采规模不断扩大，许多矿井自初期投产以来所开采的浅部煤炭资源逐渐枯竭，不得不转向煤层群的下部开采。当煤层层间距离较大时，上部煤层开采后对下部煤层的开采影响程度较小，其矿压显现规律、开采方法几乎不受上部煤层开采的影响，与单一煤层开采情况基本相同。但是随着煤层层间距离的减小，浅埋煤层近距离开采之间的相互影响会逐渐增大，特别是当煤层的间距较近时，下部煤层开采会受到上部煤层采动的显著影响。浅埋近距离煤层上部开采空区，或者是上部煤层开采后残留区段煤柱在底板形成的集中压力，将会导致下煤层开采区域的顶板运动结构、应力环境及层间水体运移规律发生变化。实践表明，浅埋煤层群的重复下行开采引起的台阶下沉、裂隙群扩展、水体下渗紊乱等问题亟待破题。

为了解决上述“卡脖子”问题，本研究自2012年至2022年基于矿山压力及岩层控制理论、绿色开采和科学采矿学术思想，在国家自然科学基金（区域隔水关键层采动破坏的突水致灾机理与防治研究51474173；浅埋近距离房柱式采空区上下残采围岩结构及失稳机理研究51774229；浅埋煤层粘土层隔水性采动破坏及控制机理研究51204133；浅埋煤层高强度开采下黏土-基岩协同破坏突水机理研究52004200）、省部级基金项目（陕西省自然科学基金联合基金项目2019JLM-41、陕西省创新能力支撑计划项目2018TD-038），以及60余项企业合作创新项目支持下，总计历时10余年，形成了近距离煤层群开采覆岩运动破坏致灾机理及控制技术体系。目前煤层群开采岩层控制技术、水害智能化预警技术进行了现场工程实践，保障了高强度开采煤层群安全高效生产，填补了这一特殊问题的技术空白，解决了浅埋煤层群开采顶板灾害控制、突水灾害预测的岩层控制理论与技术难题，对解放我国近距离煤层群开采过程中岩层稳定性控制、水害防治及可持续开采具有极重要的意义。

为了较好的解决上述问题，本研究基于矿山压力及岩层控制理论、绿色开采和科学采矿学术思想，在国家自然科学基金、省部级基金和企业合作等系列项目支持下，历时10余年，形成了浅埋煤层群开采动压防治与水害治理关键理论技术体系，对浅埋近距离煤层群开采过程中回采工作面的顶板稳定性控制以及安全开采具有极其重要的意义。创新点如下：

（1）提出了适用于浅埋煤层群岩层控制的组合关键层理论。认识和总结了浅埋煤层群开采动压致灾的规律及机理，使20世纪50年代以来长期悬而未解的断裂带老顶层位问题在理论上得以解决，为动压、水害治理及防控提供了理论基础。

（2）揭示了煤层群开采扰动及水-力耦合作用下间隔岩层破坏机理。首创了国内流固耦合相似模拟准则并研发了非亲水性实验材料，构建了煤层群开采扰动及水-力耦合作用下间隔岩层涌突水预测模型，确定了间隔岩层协同破坏演化过程及特征。

（3）建立了基于隔水土层采动破坏突水的预测模型和智能预警

系统。基于有效应力原理的土体极限平衡条件提出了适用于陕北煤层群开采突水预测判别方法，并结合智能化防突水关键技术应用到煤层群开采矿井。

本成果发表专著《浅埋煤层长壁间隔式保水开采技术基础研究》1部，论文120余篇，被国内外相关专家学者正面引用2613篇次；相关学术成果受到矿业工程领域的相关专家学者的广泛关注。研究成果得到普遍应用，影响广泛。解决了煤炭行业的一个重大理论与技术难题，为提升我国煤炭开采技术水平做出了贡献；研究成果具有很强的市场竞争力和极大推广应用价值。研究成果在韩家湾矿井推广应用，通过建立浅埋煤层群重复采动灾害主动防控技术体系，显著的提高了工作面动压防治效果，提高了工作开采效益，相比之前被动防治方法，每年提高了原煤生产量，直接经济效益显著。

四、客观评价

本成果所依托的4项国家自然科学基金项目、1项陕西省科技厅联合基金项目，1项陕西省创新支撑计划项目、5项企业合作项目，均通过国家自然科学基金委员会及相关部门验收。

相关研究成果“浅埋近距离煤层群开采动压致灾机理”，揭示不同水平工作面不同上覆岩层结构的失稳导致事故的机理，认识和总结了浅埋煤层群开采动压致灾的规律及机理，为动压治理及防控提供了理论基础。发表论文8篇，他引236次。授权国家发明专利10余项。研究成果“典型煤柱采空区下避压机理及方法”，实现了煤柱采空区下避压及卸压，为解放大量优质煤炭资源提供了途径。发表论文5篇，他引295次，授权国家发明专利3项；研究成果“浅埋近距离煤层群两带发育高度随下行采动的演化规律”，解决了煤层群开采裂隙发育动态参数难以精准确定的难题。发表论文7篇，他引277次，授权国家发明专利3项。2022年2月24日，中国煤炭工业协会组织有关专家在西安对陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司、西安科技大学及陕西能源职业技术学院共同完成的“浅埋煤层群重复采动覆岩控制与灾害防治研究”项目进行了鉴定。鉴定委员会专家听取了项目第一完成人的汇报，经质询和讨论，认为项目技术可行性很高，对推动矿业工程

学科和我国煤炭行业科技进步具有重大作用，应用程度很高，经济、社会效益很大。鉴定委员会一致认为，创新点突出，符合鉴定要求，同意通过技术鉴定，项目成果总体达到了国际先进水平，并建议加强该技术成果的推广应用力度。2022年3月29日，国家自然科学基金委员会对“浅埋近距房柱式采空区上下残采围岩结构及失稳机理研究”项目进行了审核并通过结题。

五、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	浅埋近距房柱式采空区上行开采岩层稳定性分析方法	中国	ZL2018 11563283.5	2019.08.16	3493152	西安科技大学	张杰、刘清洲、陈诚、张建辰、孙遥、蔡维山、杨涛、王斌
2	发明专利	一种薄基岩浅埋煤层来压步距的计算方法	中国	ZL2019 11297754.7	2021.03.16	4298042	西安科技大学	张杰、刘清洲、杨森、杨涛、王斌
3	发明专利	一种软顶煤层无爆破切顶卸压沿空留巷方法	中国	ZL201711454855.1	2019.03.19	3298193	西安科技大学	张杰、杨涛、周府伟、赵劝
4	发明专利	一种智能化井下猴车运输装置	中国	ZL2019 11241684.3	2020.09.11	3981414	西安科技大学	张杰、何义峰、康小杰、李宏儒、白文勇、刘清洲、陈诚
5	发明专利	一种巷道底板卸压槽宽度的计算方法	中国	ZL201810334759.1	2019.04.05	3322537	西安科技大学	张杰、周府伟、龙晶晶、孙遥、蔡维山、刘清洲、赵劝、任延兵
6	发明专利	一种浅埋薄基岩沿空掘巷窄煤柱宽度的计算方法	中国	ZL201910649818.9	2020.07.31	3912831	西安科技大学	张杰、刘清洲、杨越
7	发明专利	一种物理相似模拟实验材料及其制备方法	中国	ZL201910555487.2	2021.12.21	4860230	西安科技大学	杨涛、闫医慧、张杰、蔡维山、蔡宝山
8	发明专利	一种地下水库坝体相似模拟实验材料及其配比的确	中国	ZL201911301585.X	2020.05.05	4911567	西安科技大学	杨涛、张杰、杨森、何义峰、李宏儒、康小杰、马海虎、马

		定方法						金银
9	发明专利	一种长壁覆岩协调沉降保水采煤方法	中国	ZL201410070413.7	2015.03.04	1598180	西安科技大学	张杰
10	发明专利	一种矿用地脚螺栓及该地脚螺栓的安装使用方法	中国	ZL202011587172.5	2021.05.14	5559016	西安科技大学	张杰、何义峰、甄泽、张小平、杨涛、高守世、李通

六、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
张杰	1	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目负责人，主要承担项目研究方案和研究路线的设计，组织实施课题研究的全过程。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的60%以上，主要贡献为： (1) 揭示了多煤层下关键层结构失稳特征及动载矿压机理； (2) 揭示了上下煤层开采扰动及水-力耦合作用下间隔岩层破坏机理； (3) 揭示了浅埋近距离煤层群两带发育高度随下行采动的演化规律。
杨建华	2	无	教授	陕西能源职业技术学院	陕西能源职业技术学院	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的60%以上，主要贡献为： (1) 通过实测和模拟研究浅埋近距离煤层群的空间组合关系，开采过程中顶、底板结构，揭示浅埋近距离煤层群开采过程中煤层岩裂隙发育、贯通、分布特征； (2) 研究在重复采动下覆岩裂隙时空演化规律，覆岩“三带”发育高度，掌握工作面开采后煤层顶板垮落带、导水裂缝带发育范围，揭示导水灾变机理，提出水害防治措施。
杨涛	3	系副主任	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导、实验及现场观测方案的制定。对创新点二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的50%以上，主要贡献为： (1) 分析并提出了煤层群顶板突水预测方法； (2) 构建了水-力耦合采动模型分析。
白玉军	4	董事长	高级工程师	陕西涌鑫矿业有限责任公司	陕西涌鑫矿业有限责任公司	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的50%以上，主要贡献为： (1) 现场探测实施方案的制定与实测； (2) 现场动压危险区数据的统计及分析。
周竹峰	5	总工	高级工程师	陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司	陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的60%以上，主要贡献为： (1) 现场探测实施方案的制定与实测； (2) 现场动压危险区数据的统计及分析。
王斌	6	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的40%以上，主要贡献为： (1) 现场探测实施方案的制定与实测； (2) 下行开采中涌水量的实测及统计分析。

刘辉	7	副总经理	高级工程师	陕西涌鑫矿业有限责任公司	陕西涌鑫矿业有限责任公司	项目主要参与人，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的50%以上，主要贡献为： (1) 实验室内进行了煤层群裂隙发育相似物理演化规律的研究； (2) 优化了采动卸压方法及预测参数分析。
雷鹏翔	8	生产科科长	高级工程师	陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司	陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司	项目主要参与人，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的40%以上，主要贡献为： (1) 理论统计分析动压防控监测数据； (2) 建立煤层高强开采动压机理模型，并用于现场案例计算。
薛忠新	9	总经理	高级工程师	陕西煤业化工集团孙家岔龙华矿业公司	陕西煤业化工集团孙家岔龙华矿业公司	项目主要参与人，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的40%以上，主要贡献为： (1) 分析浅埋煤层群开采工作面不同煤层开采覆岩裂隙发育高度的影响因素； (2) 研究主要含、隔水层的岩层组合力学性质、岩性组合特征，为覆岩破坏的理论分析和数值模拟提供参数。
王亚娟	10	无	副教授	陕西能源职业技术学院	陕西能源职业技术学院	项目主要参与人，主要承担项目部分理论推导、实验设计及现场观测方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献，投入工作量占本人工作量的40%以上，主要贡献为： (1) 现场探测实施方案的制定与实测； (2) 下行开采过程中现场涌水量的实测及统计分析。

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

西安科技大学为本项目的第一完成单位，先后投入24人，其中教授3人，副教授5人，讲师6人，研究生10人。项目成员在研究期间，密切配合，开展理论分析、实验室试验、数值模拟、物理模拟及现场工业性试验等相关研究内容，高效的完成了项目预期研究目标，取得了显著的成绩。表现为：1) 组织并完成了项目策划和实施工作；2) 为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所；3) 提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源；4) 为本项目提供配套经费支持。

2. 陕西能源职业技术学院

陕西能源职业技术学院为本项目的主要参与单位之一，先后投入

10人，其中教授2人，副教授3人，讲师5人。项目成员在研究期间，密切配合，开展实验室试验、数值模拟及现场工业性试验等相关研究内容，高效的完成了项目预期研究目标，取得了显著的成绩。

3.陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司

陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司为本项目的主要参与单位之一，先后投入技术人员 18 人，其中高级工程师 3 名，现场技术人员 15 人。项目成员在研究期间，密切配合，开展理论分析及现场工业性试验等相关研究内容，高效的完成了项目预期研究目标，取得了显著的成绩。

4.陕西涌鑫矿业有限责任公司

陕西涌鑫矿业有限责任公司为本项目的主要参与单位之一，先后投入技术人员 16 人，其中高级工程师 2 名，现场技术人员 14 人。项目成员在研究期间，密切配合，开展理论分析及现场工业性试验等相关研究内容，高效的完成了项目预期研究目标，取得了显著的成绩。

5.陕西煤业化工集团孙家岔龙华矿业有限公司

陕西煤业化工集团孙家岔龙华矿业有限公司为本项目的主要参与单位之一，先后投入技术人员 10 人，其中高级工程师 2 名，现场技术人员 8 人。项目成员在研究期间，密切配合，开展理论分析及现场工业性试验等相关研究内容，高效的完成了项目预期研究目标，取得了显著的成绩。

项目开展过程中，密切配合该项目主持单位，开展煤层开采煤柱群卸压关键技术以及顶板突水预测技术方面的研究工作。运用项目提出的煤层群下行开采层间岩层破坏判别方法，为合理选择开采方案和科学管理提供了保障；通过煤层群开采覆岩两带发育高度的准确分析与预测，为工作面布置、支护设计提供基础。通过在 3-1 煤层、4-2 煤层多个主采工作面开展工程实践验证，形成适用于陕西陕北矿区的浅埋煤层群重复采动岩层控制与灾害防治模式。

在项目开展过程中，密切配合该项目主持单位，运用项目提出的采动卸压方法，开展煤层采动覆岩位移及应力分布规律观测的理论及现场工业性试验，研究不同水平工作面上覆岩层结构的失稳导致事故

的机理，认识和总结浅埋煤层群开采动压致灾的规律及机理。为进一步完善浅埋近距离煤层群开采岩层控制理论与技术研究做出了重要贡献。

八、完成人合作关系说明

本项目是由西安科技大学联合陕西能源职业技术学院、陕西陕北矿业韩家湾煤炭有限公司、陕西涌鑫矿业有限责任公司以及陕西煤业化工集团孙家岔龙华矿业有限公司合作完成的。

项目实施期间，项目完成人张杰、杨建华、杨涛、白玉军、周竹峰、王斌、刘辉、雷鹏翔、薛忠新、王亚娟合作进行项目的研究工作，主要取得成果如下：

1. 张杰/1、杨涛/3、王斌/6合作发表知识产权2-5、2-12、2-19、3-1、3-2；
2. 张杰/1、王斌/6合作发表知识产权2-13；
3. 张杰/1、杨涛/3合作发表知识产权2-18、3-3、3-7、3-8、3-9、3-10；
4. 杨建华/2、周竹峰/5、雷鹏翔/8、王亚娟/10合作进行了浅埋近距离煤层群下4-2煤开采覆岩三带发育及水害防治研究1-1；
5. 张杰/1、杨涛/3、周竹峰/5、王斌/6、雷鹏翔/8合作进行了4-2煤层首采沿空留巷工作面矿压规律及覆岩发育观测研究1-2、1-7；
6. 张杰/1、杨涛/3、白玉军/4、王斌/6、刘辉/7合作进行了安山煤矿3-1煤开采覆岩裂隙发育规律研究1-10；
7. 张杰/1、杨涛/3、王斌/6、薛忠新/9合作进行了龙华煤矿煤层群开采“三带”发育规律研究1-11。

(科技进步奖 提名号 309-4006)

一、项目名称：

危险化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

由于危险化学品灾害事故发生机理复杂，事故难以防范且应急救援难度大、风险高，该项目紧密围绕危险化学品泄漏和爆炸及其次生衍生事故链中的关键科学问题，从危险化学品储罐泄漏-燃爆次生衍生事故链动态演化机制，储罐“泄漏-爆炸-火灾”事故链动态概率分析技术，危险化学品动态风险智能预测和多点泄漏定位技术，危险化学品泄漏-燃爆事故靶向抑爆技术和应急辅助决策系统四个方面开展了系统深入的基础研究，取得了一系列的创新成果，为提升我国危险化学品灾害事故防控水平做出了贡献，研究成果对于促进化工安全生产及区域经济发展具有重要意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。特提名为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目属于公共安全领域。在化工生产的各个工艺环节中，因人员操作失误，或是设备物料的不安全状态，造成可燃物质泄漏导致燃烧、爆炸事故或灾害链事故时有发生，严重威胁着厂区员工的生命安全，造成难以预计的经济损失和社会影响。本项目以“十三五”国家重点研发计划“项目子课题为依托，针对危险化学品泄漏和爆炸及其次生衍生事故链中的关键科学问题开展了基础研究，揭示了危险化学品储罐泄漏-燃爆次生衍生事故链动态演化机制，研发了相邻危险化学品储罐“泄漏-爆炸-火灾”事故链动态概率分析技术，研发了危险化学品动态风险智能预测和多点泄漏定位技术，开发了危险化学品泄漏-燃爆事故靶向抑爆技术和应急辅助决策系统，用于高效防范危险化

学品发生泄漏、爆炸及其次生衍生灾害等重特大事故的发生，保障园区安全生产，具有重要的科学研究价值和推广意义。创新点如下：

1、揭示了危险化学品储罐泄漏-燃爆次生衍生事故链动态演化机制。① 构建了基于气云特性的液化烃储罐泄漏诱发蒸气云爆炸事故链动态模拟演化方法；② 阐明了气云组成、风速风向、障碍物阻塞率等因素对不同种类液化烃储罐泄漏蒸气云爆炸事故后果的影响规律；③ 阐释了液化烃储罐双源泄漏耦合下蒸气云爆炸超压对邻近储罐的破坏作用；④ 得到了安全防护措施在液化烃储罐泄漏-燃爆事故最不利场景下作用规律。

2. 研发了相邻危险化学品储罐“泄漏-爆炸-火灾”事故链动态概率分析技术。① 运用动态贝叶斯理论建立了热辐射强度等效动态模型，提出了灭火条件下相邻危险化学品储罐“泄漏-爆炸-火灾”事故链动态概率分析方法，识别出导致罐区多米诺效应事故发生的关键事故链和关键储罐；② 构建了危险化学品储罐泄漏-燃爆事故风险概率预测模型，得到热源热辐射叠加效应和时序耦合效应共同作用下的储罐失效判据。

3、研发了危险化学品动态风险智能预测和多点泄漏定位技术。① 基于GIS技术建立了基于数据图层的危险化学品风险评估子系统；② 构建了危险化学品危险度评价层次结构模型，得到了综合风险指数和动态风险等级；③ 运用层次模糊综合评估法判断风险感知程度，提出了个体风险感知、群体风险感知和社会总风险感知的定量计算方法；④ 基于变分模态分解和相对熵算法构建了管道泄漏特征提取与识别模型，融合互相关时延定位原理，得到管道多点泄漏检测与定位方法。

4、开发了危险化学品泄漏-燃爆事故靶向抑爆技术和应急辅助决策系统。① 研制了“多元信息感知、超高速火焰探测与精准喷洒”的靶向抑爆技术；② 研发了集监测、预警、决策、执行于一体的靶向抑爆装备；③ 建立了危险化学品泄漏-燃爆事故后果计算的底层模型和突发事件下群体行为系统模型；④ 研发了快速生成突发事故后

果预测、最优救援/疏散路径规划、动态决策方案的危险化学品泄漏-燃爆事故应急辅助决策系统。

四、客观评价

本项目在化工领域危险化学品泄漏-燃爆多灾种耦合致灾机理与规律的研究方面取得了系统性和开创性的突破。依托“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0800102)课题开展系统理论研究,顺利通过中国 21 世纪议程管理中心成果验收。

相关研究成果经科学技术部西南信息中心查新中心(国家一级科技查新咨询单位)对项目内容进行查新,查新报告对本项目的创新性给予肯定。部分知名学者援引本项目研究成果,并给出了科学性、先进性和有效性的客观评价。

本项目成果发表国内外期刊学术论文 43 篇,其中 SCI 收录 31 篇(TOP 10 篇, JCR 1 区 13 篇、2 区 16 篇、3 区 2 篇)、EI 收录 7 篇、CSCD 收录 1 篇、核心期刊 3 篇,成果得到了国内外同行的认可;授权自主知识产权 37 项,其中国家发明专利 18 项,国家实用新型专利 10 项,软件著作权 9 项,形成系列化实用理论,为相关基础研究奠定了丰硕的成果,对促进化工安全生产及区域经济发展具有重要意义。

五、代表性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(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利有效状态
1.	发明专利	高温松散煤体诱导可燃易爆气体爆炸耦合测试装置及方法	中国	ZL201710434508.6	2023.02.24	第 5751414 号	西安科技大学	王秋红, 李海涛	有效
2.	发明专利	基于 PSO-VMD 算法的管道泄漏检测装置及检测方法	中国	ZL201910083494.7	2024.04.02	第 6859485 号	南京工业大学	蒋军成, 刁旭, 倪磊, 卞海涛, 池招招, 储成伟, 王志荣, 沈国栋	有效
3.	发明专利	一种可燃性气体输运管道安全防护装置	中国	ZL201811614310.7	2020.02.21	第 3703254 号	大连理工大学	高伟, 李贝, 薛庚洁, 魏延桐, 程雪芹, 毕明树	有效
4.	发明专利	一种压力储罐区火灾次生多米诺事故的动态预测方法	中国	ZL202310672231.6	2023.11.24	第 6515458 号	南京理工大学	张明广, 杨佳豪, 蒋军成, 刘梦晨, 潘文洁	有效
5.	发明专利	爆炸冲击波对人体损伤破坏的仿真评估方法	中国	ZL201610624082.6	2018.07.20	第 3004949 号	西安科技大学	王秋红, 邓军, 李海涛, 陈晓坤	有效
6.	发明专利	一种瓦斯管道输送智能监测预警喷粉抑爆系统	中国	ZL202311515214.8	2024.02.20	第 6725873 号	南京工业大学	刘怀岭, 刘作胜, 吴玲, 叶标, 陈轩, 侯琳, 张娟.	有效
7.	论文	Dynamic characteristics of methane explosion flame propagation in three types of pipe	中国	2023, 172, 1029-1047	2023.03.04	2023, 172, 1029-1047	西安科技大学	Qihong Wang, Songling Jin, Hu Wen, Zhenmin Luo, Chi-Min Shu, Wei Gao, Liwen Wang, Xiaoyu Lu	有效
8.	论文	Comparative study of	中国	2025, 381, 133317	2024.10.02	2025, 381, 133317	西安科技	Qihong Wang, Dong	有效

		flame propagation characteristics of methane explosion in pipeline with different venting structures at different ignition positions					大学	Zhao, Jun Deng, Zhenmin Luo, Guoqiang Dong, Leilei Zhu, Yunfan Xue	
9.	论文	Effect of separation distance on gas dispersion and vapor cloud explosion in a storage tank farm determined using computational fluid dynamics	中国	2020, 68, 104282	2020.09.10	2020, 68, 104282	西安科技大学	Qihong Wang, Yilin Sun, Chi-Min Shu, Juncheng Jiang, Mingguang Zhang, Qingfeng Wang, Xuefan Wang	有效
10.	科技成果	危险化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术	中国	9612025Y4916	2025.09.07	9612025Y4916	西安科技大学	王秋红、蒋军成、张明广、高伟、董国强、王清峰、李苏海涛、彭斌、刘作胜	有效

六、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
王秋红	1	工业安全技术研究所副所长	教授	西安科技大学	西安科技大学	主要完成人
蒋军成	2	校长	教授	南京工业大学	南京工业大学	主要完成人
张明广	3	应急管理学院副院长	教授	南京工业大学	南京工业大学	主要完成人
高伟	4	学科建设办公室主任	教授	大连理工大学	大连理工大学	主要完成人
董国强	5	安全总监	高级工程师	兵器工业卫生研究所	兵器工业卫生研究所	主要完成人
王清峰	6	陕西省中西医结合学会常务理事	主治医师	西安科技大学	西安科技大学	主要完成人
李立	7	董事长	工程师	陕西榆神能源开发建设集团有限公司	陕西榆神能源开发建设集团有限公司	主要完成人
苏海涛	8	项目总监	高级工程师	榆林科大高新能源研究院有限公司	榆林科大高新能源研究院有限公司	主要完成人
彭斌	9	在读博士	/	西安科技大学	西安科技大学	主要完成人
刘作胜	10	总经理	工程师	江苏钜熙矿用设备科技有限公司	江苏钜熙矿用设备科技有限公司	主要完成人

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

本项目的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：揭示了危险化学品储罐泄漏-燃爆次生衍生事故链动态演变机制；开发了危险化学品泄漏-燃爆事故靶向抑爆技术和应急辅助决策系统。

2. 南京工业大学

本项目的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：研发了相邻危险化学品储罐“泄漏-爆炸-火灾”事故链动态概率分析技术；研发了危险化学品动态风险感知预测和泄漏源多点检测与定位技术。

3. 大连理工大学

本项目的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：开发了危险化学品泄漏-燃爆事故靶向抑爆技术和应急辅助决策系统。

4. 兵器工业卫生研究所

本项目的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：揭示了危险化学品储罐泄漏-燃爆次生衍生事故链动态演变机制；

5. 陕西榆神能源开发建设集团有限公司

本项目的的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术的实施应用单位，提供风险防控数字化系统体系建设场景，推动相关技术和装备在智慧化工园区示范应用。

6. 榆林科大高新能源研究院有限公司

本项目的的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：危险化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术的推广转化单位。

7. 江苏钜熙矿用设备科技有限公司

本项目的的主要完成单位，对本项目科技创新的主要贡献是：危险化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术的推广转化单位。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人王秋红、蒋军成、张明广、高伟、董国强、王清峰、李立、苏海涛、彭斌、刘作胜合作参与项目的研究工作，在危险化学品泄漏-燃爆风险智能预测防控及应急处置关键技术上开展长期合作研究。主要取得成果如下：

1. 第一完成人/1、蒋军成/2合作发表代表性论文9、完成科技成果10。
2. 第一完成人/1、张明广/3合作发表代表性论文9、完成科技成果10。
3. 第一完成人/1、高伟/4合作发表代表性论文7、完成科技成果10。
4. 第一完成人/1、董国强/5合作发表代表性论文8、完成科技成果10。
5. 第一完成人/1、王清峰/6合作发表代表性论文9、完成科技成果10。
6. 彭斌/9目前正在项目负责人指导下攻读博士学位、完成科技成果10。
7. 李立/7、苏海涛/8、刘作胜/10开展应用推广工作、完成科技成果10。

(科技进步奖 提名号 309-4007)

一、项目名称：

煤矿井下人员多模态融合识别与定位关键技术研究及应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

煤矿井下人员识别与定位是矿山智能化建设的重要方向。项目研发了融合视觉与毫米波雷达井下人员多模态识别技术，克服了单一传感器局限，实现了高精度、高可靠性井下人员身份识别与行为监测；开发了多模态数据智能融合煤矿井下人员协同定位技术，实现了井下复杂环境中亚米级实时定位与动态轨迹高精度追踪；研制了“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端，实现了矿山人员信息多方位感知与分析，为智能矿山建设提供了高性能终端装备与多维度数据支撑。成果攻克了井下环境目标识别模糊、实时定位困难、多模态融合能力不足等关键技术瓶颈，具有很强的市场竞争力与推广应用价值，对促进智能矿山建设与经济发展具有重要意义。

经审查，成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖三等奖。**

三、项目简介

本成果属于矿山安全技术领域。

本项目针对煤矿井下作业环境复杂、人员识别与定位难度大等关键问题，以深度学习与多模态感知技术为核心，开展煤矿井下人员多模态识别与定位关键技术研究与应用，研究了多模态特征融合人员识别、多模态数据协同人员定位、“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端。项目攻克了井下环境中目标识别模糊、实时定位困难、多模态融合能力不足等关键技术瓶颈，为矿井少人化管理和作业安全提供了可靠保障。研究成果对促进智能矿山建设与经济发展具有重要意义。主要创新性成果如下：

1、研发了融合视觉与毫米波雷达井下人员多模态识别技术

提出了一种面向井下复杂环境结合深度学习的改进型低照度图像增强网络，提升了视觉清晰度与井下人员识别精度；构建了一种基于多模态感知数据时空特征融合的井下人员不安全行为监测算法，实现了对井下人员不安全行为的精准监测；开发了基于特征级融合的视觉与毫米波雷达生成式多分支井下人员身份识别技术，提高了井下人员身份识别精度与可靠性。

2、开发了多模态数据智能融合煤矿井下人员协同定位技术

研发了基于多源数据融合的巷道智能建模方法，解决了现有技术建模精度不足、数据孤立难以协同处理的问题；提出了基于自训练抑制模型的非视距误差动态补偿定位算法，降低了位置解算方法在非视距情况下的定位误差；开发了基于UWB/PDR/视觉多源融合的井下人员协同定位技术，实现了井下人员的亚米级实时定位。

3、研制了“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端

通过融合视频图像分析、毫米波雷达探测、惯性传感及超宽带（UWB）定位等多源感知数据，结合井下人员多模态识别技术与协同定位技术，采用模块化架构设计与多制式通信协议兼容方案，研制了面向智能矿山应用的“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端，实现了矿山人员信息多方位感知与分析，为智能矿山建设提供了高性能终端装备与多维度数据支撑。

本项目研究成果，在 *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*、*煤炭科学技术*、*煤矿安全*、*工矿自动化* 等国内外著名学术期刊发表代表性论文33篇，其中SCI、EI收录16篇，成果得到了国内外同行的认可；授权发明专利7项，实用新型专利7项，外观设计专利2项，获得软件著作权12项，培养研究生8名，取得了丰硕的研究成果，具有很强的市场竞争力与推广应用价值。

四、客观评价

本项目依托陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目“综采面异常状态的智能视频检测技术及辅助决策系统应用‘科学家+工程师’队伍（2022KXJ-38）”和天地科技股份有限公司科技创新创

业资金专项项目“矿井空间位置服务系统关键技术研究（2018-TD-ZD005）”，对煤矿井下多模态特征融合人员识别、多模态数据协同人员定位、“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端等方面的研究取得了系统性和开放性的突破，分别经陕西省科技厅和天地科技股份有限公司批准通过验收。

本项目研究成果已在陕西金源招贤矿业有限公司、陕西永陇能源开发建设有限责任公司等多个煤矿现场进行了工程实践，有效突破了井下环境中目标识别模糊、实时定位困难、多模态融合能力不足等关键技术瓶颈，为矿井少人化管理和作业安全提供了可靠保障。2年工程实践累计销售额可达6400万元，新增利润达960万元。通过智能识别与定位终端的部署，有效减少因人员违规进入高危区域或走失导致的事故，年均事故损失下降超过25%，每年可节省安全成本与应急救援费用约320万元。同时，终端具备自学习与智能调优能力，大幅降低了人工巡查与运维成本，年均节省人力与维护开支约480万元。说明本项目在煤矿智能化安全管理领域具有重要意义，不仅推动了井下人员识别与定位核心技术的发展，还在保障生命安全、提升管理效率、推动产业升级等方面产生了显著的经济与社会综合效益。

该项目在IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems、煤炭科学技术、煤矿安全、工矿自动化等国内外著名学术期刊发表代表性论文33篇，授权发明专利7项、实用新型专利7项、外观设计专利2项，获得软件著作权12项，培养研究生8名。查新表明：除本项目委托单位所属文献外，国内外未见相同文献报道。

2025年7月23日，中国煤炭工业协会聘请师文林、孟国营、毛善君等专家对本项目进行科技成果鉴定。鉴定委员会专家认为项目技术可行性很高，对推动我国煤炭行业科技进步具有重大作用，应用程度很高，经济、社会效益很大。鉴定委员会专家一致同意通过科技成果鉴定，技术成果达到了国际先进水平。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	Fatigue state recognition system for miners based on a multimodal feature extraction and fusion framework	IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems	Hongguang Pan, Shiyu Tong, Xuqiang Wei, Bingyang Teng	西安科技大学	2025 年 17 卷 410-420 页	2024-09-16	Hongguang Pan	Hongguang Pan	潘红光, 童著庚, 魏绪强, 滕冰洋	25	25	是
2	Hybrid dilated multilayer faster RCNN for object detection	Visual Computer	Fangfang Xin, Huipeng Zhang, Hongguang Pan	西安科技大学	2023 年 40 卷 393-406 页	2023-03-24	Fangfang Xin	Fangfang Xin	辛芳芳, 张会鹏, 潘红光	17	19	是
3	基于 UWB 与 PDR 的井下人员融合定位方法	工矿自动化	贾宇涛, 李冠华, 潘红光, 陈海舰, 魏绪强, 白俊明	国能神东煤炭集团有限责任公司	2024 年 50 卷 96-102 页	2024-07-10	潘红光	贾宇涛	贾宇涛, 李冠华, 潘红光, 陈海舰, 魏绪强, 白俊明	0	3	是
4	改进 YOLOv5s 和 DeepSORT 的井下人员检测及跟踪算法	煤炭科学与技术	邵小强, 李鑫, 杨涛, 杨永德, 刘士博, 原译文	西安科技大学	2023 年 51 卷 291-301 页	2023-02-22	李鑫	邵小强	邵小强, 李鑫, 杨涛, 杨永德, 刘士博, 原译文	0	28	是
5	一种低功耗综采工作面人员定位系统设计	煤矿安全	陈贤, 周澍	天地(常州)自动化股份有限公司	2023 年 54 卷 218-221 页	2023-11-20	陈贤	陈贤	陈贤, 周澍	0	4	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	基于步长估计的井下人员定位方法、计算机设备及其介质	中国	CN119146977B	2025.02.07	7708818	天地(常州)自动化股份有限公司, 中煤科工集团常州研究院有限公司, 西安科技大学	潘红光, 周澍, 陈海舰, 李利, 郭强, 景宁波, 魏绪强
2	发明专利	一种 UWB 定位系统的分布式时隙划分方法	中国	CN114845379B	2024.08.06	7267182	天地(常州)自动化股份有限公司, 中煤科工集团常州研究院有限公司	陈康, 包建军, 周澍, 陈贤, 王伟
3	发明专利	多参考节点 UWB 高效测距方法、装置及系统	中国	CN112188391B	2022.09.02	5423356	天地(常州)自动化股份有限公司, 中煤科工集团常州研究院有限公司	陈康, 徐寿泉, 金业勇, 王伟, 叶国庆, 罗克, 包建军, 赵宇, 宋兴家, 王军, 周澍, 储楠, 张立峰, 陈贤, 孙旭峰, 杨旭峰
4	发明专利	基于双频无线通信技术的移动读卡终端、通信方法及装置	中国	CN112188390B	2024.06.11	7093200	天地(常州)自动化股份有限公司, 中煤科工集团常州研究院有限公司	王伟, 王海波, 陈康, 金业勇, 陈贤, 罗克, 王维, 杜志刚, 周澍, 储楠, 徐寿泉, 叶国庆, 王军, 张立峰, 包建军, 赵宇, 宋兴家
5	实用新型专利	矿用便携式定位收发装置	中国	CN216162876U	2022.04.01	16138813	天地(常州)自动化股份有限公司, 中煤科工集团常州研究院有限公司	包建军, 王伟, 金业勇, 陈贤, 陈康, 徐铭, 罗克, 王维, 储楠, 杜志刚, 王军, 周澍, 周立峰, 杨旭峰, 李伟, 季利佳

六、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
潘红光	1	副院长	副教授	西安科技大学	西安科技大学	总体设计，协调项目进度
李利	2	副主任	讲师	西安科技大学	西安科技大学	软件设计
吴波	3	技术总监	正高级工程师	陕西山利科技发展有限责任公司	陕西山利科技发展有限责任公司	工业试验
陈海舰	4	院长	副高级	天地(常州)自动化股份有限公司	天地(常州)自动化股份有限公司	硬件总体设计
辛芳芳	5	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	软件设计
邵小强	6	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	软件总体设计，文件编制
周澍	7	副主任	中级	天地(常州)自动化股份有限公司	天地(常州)自动化股份有限公司	系统测试

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

西安科技大学全面负责本项目研究方案的制定与组织实施，完成了多模态数据智能融合煤矿井下人员协同定位技术研究，与天地（常州）自动化股份有限公司、陕西山利科技发展有限责任公司合作完成，表现为：1）构建了基于多模态感知数据时空特征融合的井下人员不安全行为监测算法；2）开发了基于特征级融合的视觉与毫米波雷达生成式多分支井下人员身份识别技术；3）研制了“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端，并将其应用于多家煤矿企业。

2. 天地（常州）自动化股份有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，天地（常州）自动化股份有限公司积极推动项目现场应用示范。表现为：1）以陕西金源招贤矿业为现场示范地点，验证系统在多模态感知、多源异构数据融合、人-机-环智能识别定位等方面的高稳定性与高可靠性；2）研制“通信-识别-定位”一体化多制式智能融合终端装备，实现井下人员状态与位置的实时多制式监测；3）推广多模态融合识别与定位关键技术煤矿的应用，保障了项目成果的现场实施与推广应用。

3. 陕西山利科技发展有限责任公司

作为该项目的主要参与单位之一，陕西山利科技发展有限责任公

司积极推动项目立项、组织、实施。表现为：1) 负责国内外相关技术方案调研、研究内容的资料整理与报告编写、现场监测数据分析与总结；2) 协助西安科技大学进行融合视觉与毫米波雷达井下人员多模态识别技术研究，实现了对井下人员不安全行为的精准监测和人员身份识别；3) 协助应用单位开展了工业性试验，并积极推动该技术向全行业相似条件矿井推广。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，潘红光、李利、辛芳芳、邵小强为西安科技大学主要完成人；陈海舰、周澍为天地（常州）自动化股份有限公司主要完成人；吴波为陕西山利科技发展有限责任公司主要完成人，主要取得成果如下：

1. 潘红光/1、李利/2、陈海舰/4、周澍/7合作完成专利1。
2. 潘红光/1、李利/2、吴波/3、陈海舰/4、辛芳芳/5、邵小强/6、周澍/7共同完成“煤矿井下人员多模态融合识别与定位关键技术研究及应用”成果鉴定。
3. 潘红光/1、辛芳芳/5合作发表论文2。
4. 潘红光/1、陈海舰/4合作发表论文3。
5. 潘红光/1、吴波/3合作共同完成《综采面异常状态的智能视频检测技术及辅助决策系统应用“科学家+工程师“队伍》科研项目。
6. 陈海舰/4、周澍/7合作共同完成《矿井空间位置服务系统关键技术研究》科研项目。

(科技进步奖 提名号 309-4008)

一、项目名称

西部深埋冲击地压煤矿巷道围岩破坏规律及其安全高效施工关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

随着我国西部煤矿开采深度普遍超过600米，高地应力与强冲击地压诱发巷道围岩大变形、支护体系高频失效等问题日益突出，严重制约安全高效开采。针对深埋冲击地压煤矿巷道“变形显著、底臃严重、支护失效、反复返修”的行业瓶颈，揭示巷道围岩冲击地压动力破坏规律，创新安全高效施工关键技术，是破解灾害防控困局的核心路径。本项目通过“多尺度试验-理论建模-智能设计-工程应用”全链条研究，建立了考虑裂隙演化规律的损伤本构模型，揭示了动静载耦合作用下巷道围岩分区化破坏机理；提出了“强卸强支、协同控制”支护理论，开发了基于松动圈演化规律的自然平衡拱支护设计软件；构建了实现坚硬顶板定向破裂垮落全过程动态模拟的数值仿真平台，优化了聚能爆破定向切顶与水力压裂卸压技术。成果经中国煤炭工业协会组织专家鉴定认为达到了国际先进水平。

本项目研究成果成功在焦坪矿区玉华煤矿、柴家沟煤矿、下石节煤矿及陈家山煤矿等煤矿工作面进行了工程实践，通过高效精准的支护与主动卸压技术，显著降低了冲击地压等动力灾害的发生风险，有效控制了深部煤矿巷道围岩大变形，使用期间大量缩减了因支护参数不合理导致的二次维修工程，减轻了工人劳动强度，提高了生产效率，累计产生经济效益值共计数亿元。该成果对深部巷道围岩变形控制具有重要的理论意义和工程应用价值，社会和经济效益显著。

经审查，成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。**特提名项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

随着煤炭资源开发深度的加大，深埋煤矿矿压显现规律复杂，巷道围岩稳定问题突出。针对当前强矿压治理技术手段不足的现状，亟须揭示巷道围岩破坏机理，突破安全高效施工技术瓶颈，为西部深埋冲击地压煤矿的可持续发展提供支撑。

本项目历经多年攻关和实践，针对焦坪矿区深埋巷道受高地应力、强冲击地压威胁导致的围岩大变形、支护失效率高等技术难题，融合理论研究、室内试验、数值仿真模拟、工程实践检验等全链条研究体系，系统性解决了深部强矿压诱发的围岩失稳难题。主要创新点如下：

1、围岩损伤机理创新：开展了水-热-力多场耦合作用下煤岩体的宏-细-微多尺度试验，揭示了动静载耦合作用下裂隙煤岩损伤演化规律；建立了考虑围压效应和裂隙倾角的破坏模式判据，阐明了围岩松动圈动态演化机制。

2、协同支护理论突破：提出了“强卸强支，协同控制”的围岩支护理念，构建了复杂条件下深部煤矿巷道围岩支护设计理论体系；开发了支护参数优化设计软件，实现了锚杆（索）长度、间距参数的动态优化。

3、顶板控制技术革新：编译了聚能爆破数值流形方法计算机程序，实现了坚硬顶板断续损伤-破裂-垮落全过程仿真模拟；构建了聚能爆破-水力压裂的双级卸压施工体系，揭示了深部冲击地压煤矿巷道坚硬顶板定向破裂力学机制。

成果为西部深埋冲击地压煤矿巷道灾害防控与高效安全施工提供了坚实的理论支撑与可行的技术范式。相关技术体系在实践中辐射应用于西部多个矿井，提升了煤矿巷道的稳定性和开采效率，降低了冲击地压风险，经济效益与社会效益显著。

成果共发表论文55篇，其中SCI检索论文12篇、EI检索论文19篇，授权发明专利3项，实用新型专利5项。培养博士研究生2名，硕士研究生3名。

成果被煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任

主任委员的中国煤炭工业协会鉴定为国际先进水平。

四、客观评价

本项目立足陕西省煤炭能源安全战略需求，针对焦坪矿区深部煤矿围岩动力灾害问题，通过“多尺度试验-理论建模-智能设计-工程应用”全链条研究，建立了考虑裂隙演化规律的损伤本构模型，揭示了动静载耦合作用下巷道围岩分区化破坏机理；提出了“强卸强支、协同控制”支护理论，开发了基于松动圈演化规律的自然平衡拱支护设计软件；构建了实现坚硬顶板定向破裂垮落全过程动态模拟的数值仿真平台，优化了聚能爆破定向切顶与水力压裂卸压技术。与国内外同类技术对比，总体达到了国际先进水平。

1、鉴定评价

中国煤炭工业协会组织专家对某项目进行了科技成果鉴定。鉴定委员会由煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任主任委员。经综合评价，委员会认定该项目整体达到国际先进水平。

2、查新结论

由陕西省科学技术情报研究院对成果进行了科技查新，查新结果为研究内容除查新委托项目组成员发表的文献及申请的专利外，在国内外所检其他文献中未见报道。

3、行业认可

本项目研发的“强卸强支，协同控制围岩支护理念”“支护参数优化设计软件”及“聚能爆破-数值流形耦合仿真平台”等多项创新成果，已在玉华煤矿、柴家沟煤矿、下石节煤矿与陈家山煤矿成功应用，并获得高度认可。实际应用表明，这些技术有效抑制了深部煤矿巷道围岩变形，大幅减少了二次维修频次，不仅降低了工人劳动强度，还显著提升了生产效率。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	Numerical simulation of flow field characteristics and pollutant transport under different ventilation modes	Environmental Fluid Mechanics	Chang XK; Chai JR; Chen XZ; Bian MH	西安科技大学	2024,24:1369-1386.	2024 年 07 月 17 日	Chang XK	Chen XZ	Chang XK; Chai JR; Chen XZ; Bian MH	2	2	是
2	Numerical Simulation of Tunnel Ventilation Considering the Air Leakage Mechanism of a Ventilation Duct	Applied Sciences	Chang XK; Chai JR; Ren JX; Yang R	西安科技大学	2024,14(12):5252.	2024 年 06 月 17 日	Chang XK	Chang XK	Chang XK; Chai JR; Ren JX; Yang R	0	0	是

3	Triaxial creep behavior of red sandstone in freeze-thaw environments	Geofluids	Song YJ; Che YX; Zhang LT; Ren JX; Chen SJ; Hu ML	西安科技大学	2020,2020:641377.	2020年 12月29日	Zhang LT	Song YJ	Song YJ; Che YX; Zhang LT; Ren JX; Chen SJ; Hu ML	15	15	是
4	低温环境下红砂岩蠕变特性及其模型	煤炭学报	宋勇军;张磊涛;任建喜;陈佳星;车永新;杨慧敏;毕冉	西安科技大学	2020,45(8):2795-2803.	2019年 07月29日	张磊涛	宋勇军	宋勇军; 张磊涛; 任建喜; 陈佳星; 车永新;杨慧敏;毕冉	/	29	是
5	基于核磁共振技术的弱胶结砂岩干湿循环损伤特性研究	岩石力学与工程学报	宋勇军;张磊涛;任建喜;陈佳星;车永新;杨慧敏;毕冉	西安科技大学	2019,38(04):825-831.	2019年 01月31日	张磊涛	宋勇军	宋勇军; 张磊涛; 任建喜; 陈佳星; 车永新;杨慧敏;毕冉	/	95	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	计算机软件著作权	锚杆(索)支护设计及自动绘图软件 V1.0	中国	2021SR1258941	2021年 06月30日	08771587	陕西陕煤铜川矿业 有限公司;西安科技大学	范智海;李瑞;闫天平;常晓珂; 张磊涛;史姝杰;姚梦媛
2	实用新型专利	一种支护 U 型卡闭锁装置	中国	CN 211623881 U	2020年 10月02日	11602636	陕西陕煤铜川矿业有 限公司	郝明明;刘猛;赵玉桃;袁增云; 范智海
3	实用新型专利	锚索液压张紧泵	中国	CN 211342971 U	2020年 08月25日	11315901	陕西陕煤铜川矿业有 限公司	刘水利;王新堂;范智海;赵玉 桃;邵建;刘猛;郝明明;王盼盼
4	实用新型专利	一种煤矿用锚索连接装置	中国	CN 215108971 U	2021年 12月10日	15081013	陕西陕煤铜川矿业有 限公司	刘水利;路根奎;岳东;霍小泉; 贾龚杰;李宁;郝元;袁增云;范 智海
5	实用新型专利	一种液压往复钻式钻孔 轨迹检测仪推送装置	中国	CN 214944116 U	2021年 11月30日	14936538	陕西陕煤铜川矿业有 限公司	刘水利;路根奎;岳东;霍小泉; 赵青;侯正利;左炳;袁增云;范 智海

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
范智海	1	无	高级工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司	陕西陕煤铜川矿业有限公司	项目负责、方案设计、审查
李瑞	2	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	技术负责、方案设计、审查
闫天平	3	部长	高级工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司	陕西陕煤铜川矿业有限公司	现场试验设计、审查
常晓珂	4	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	室内试验、数值模拟
张磊涛	5	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	数值模拟、现场实施
史姝杰	6	无	馆员	西安科技大学	西安科技大学	理论分析、数值模拟
姚梦媛	7	无	助理工程师	中煤西安设计工程有限责任公司	中煤西安设计工程有限责任公司	理论分析、现场试验设计

八、主要完成单位情况

1、西安科技大学

作为“西部深埋冲击地压煤矿巷道围岩破坏规律及其安全高效施工关键技术”项目的第一完成单位，负责研究和应用全过程，确保项目组织、策划和实施的顺利完成，制定项目研究总体方案，技术路线，研究内容和方案等，具体贡献如下：

(1) 主导构建焦坪矿区深部煤矿巷道损伤演化研究框架，通过动静载试验结合细观表征技术，系统解析高地应力及冲击地压环境下围岩分区破裂化规律；建立基于能量耗散阈值的围岩动力损伤本构模型，量化裂隙扩展临界判据，为冲击地压灾害防控支护设计提供理论基础。

(2) 提出“强卸强支，协同控制”的围岩支护理念，建立复杂条件下深部煤矿巷道围岩支护设计理论，得到锚杆（索）长度的三维数字钻孔技术确定方法，实现支护设计软件开发与工程参数优化。

(3) 基于拓扑流形理论编译 NMM 数值程序，重构坚硬顶板聚能爆破下的定向破裂→裂隙贯通→岩体垮落全过程，构建了基于聚能爆破-水力压裂的施工体系，保障高效卸压施工的安全性和有效性。

2、陕西陕煤铜川矿业有限公司

作为项目的主要完成单位，协助项目组织、策划和实施的顺利完成，提供配套机械设备，保证科研资金投入等，具体贡献如下：

(1) 完成下焦坪矿区深部煤矿巷道围岩变形有效防治现场检验工作，协助构建深部煤矿巷道围岩支护高效施工成套工艺体系，实现冲击地压等动力灾害发生率显著下降和巷道返修频次大幅减少，从根本上保障了作业安全及施工效率。

(2) 协助攻关揭示坚硬顶板定向破裂力学机制，创新应用基于聚能爆破-水力压裂的卸压施工体系，显著降低了冲击地压风险，建立围岩稳定性量化评价体系，编制操作性强的企业支护设计标准。

3、中煤西安设计工程有限责任公司

作为项目的主要完成单位，协助项目组织、策划和实施的顺利完成，具体贡献如下：

协助建立了深埋冲击地压煤矿巷道围岩支护设计理论，通过强卸强支保证巷道安全，制定锚杆（索）支护参数三维数字钻孔技术确定方法，提升设计效率与精准性，促进焦坪矿区深部巷道动力灾害孕灾机理及围岩控制技术水平的提高。

九、完成人合作关系说明

该成果由西安科技大学、陕西陕煤铜川矿业有限公司、中煤西安设计工程有限责任公司合作完成，项目完成人均属于同一团队。西安科技大学该项目的总负责和牵头单位，负责项目的整体规划及组织各方参与单位开展项目实施，并进行理论分析、模拟技术和实验分析等方面的合作研究。陕西陕煤铜川矿业有限公司、中煤西安设计工程有限责任公司主要负责项目的工业现场试验及实施。

完成人李瑞、常晓珂、张磊涛、史姝杰属于西安科技大学；范智海、闫天平属于陕西陕煤铜川矿业有限公司；姚梦媛属于中煤西安设计工程有限责任公司。项目完成单位从形式上组成产学研合作联盟。

范智海是项目负责人，李瑞是技术负责人，二人共同致力于西部深埋冲击地压煤矿巷道围岩破坏规律及其安全高效施工关键技术研究，全面负责研究内容、研究方法、技术路线制定和实施。

(科技进步奖 提名号 309-4009)

一、项目名称：

浅埋煤层群开采岩层控制理论与关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

我国西部神府东胜煤田探明储量和产量约占全国1/3，主要赋存浅埋近距离煤层群，是世界七大煤田之一，拥有2个亿吨级现代化矿区，是我国最重要的能源基地。浅埋煤层安全高效绿色开采，对我国能源建设和经济发展具有重要意义。该成果以亿吨级矿区浅埋煤层群安全高效绿色开采岩层控制为目标，提出了浅埋煤层群科学分类方法，建立了浅埋煤层群顶板结构理论；丰富和发展了煤层群保水开采岩层控制理论与技术，揭示了煤柱群结构效应，构建了煤层群井下减压和地表减损耦合控制的科学开采模式；阐明了不同类型过煤柱开采强矿压机理，给出了强矿压发生临界条件及位置判别方法，提出了强矿压防控技术；揭示了煤层群下煤层工作面过沟谷崩梁开采顶板来压机理，给出了科学防控技术。项目研究解决了亿吨级矿区的重大技术难题，为提升我国神府大煤田的煤炭安全高效绿色开采的技术水平做出了贡献。研究成果具有很强的市场竞争力和极大推广应用价值，对于促进科学采矿和区域经济发展具有重大意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖一等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

神东和神南矿区是我国重要的亿吨级特大型现代化煤炭基地，主要开采浅埋近距离煤层，煤层埋藏浅、层数多、距离近、层厚大是煤层赋存的典型特征。近年来，全面进入下部主采煤层开采。下煤层工作面叠合采空区开采、过煤柱开采和过崩梁沟谷开采期间，压架和停产事故频发，重复采动地表损毁严重，制约着大煤田安全高效绿色生产。研究成果来源于国家自然科学基金项目（51674190、52074211），陕煤联合基金项目（2019JLP-08），陕西省科学基金面上和青年项目（2022JM-300、2019JQ-798），企业联合项目 10 余项，自 2017 年至 2024 年，针对浅埋煤层群开采岩层控制理论与关键技术开展了系统研究与工程验证，项目主要创新成果如下：

（1）提出了浅埋煤层群科学分类方法，建立了浅埋煤层群顶板结构理论。基于间隔层关键层数和间采比，提出了近距离煤层群分类：①无关键层极近距离煤层；②单关键层近距离煤层；③双关键层近距离煤层。分别建立了无关键层斜柱条岩梁-砌体梁活化结构模型、单关键层台阶岩梁-活化结构模型和双关键层下台阶岩梁-上砌体梁结构模型，给出了支架阻力计算方法，为浅埋煤层群岩层控制奠定基础。

（2）丰富和发展了保水开采岩层控制理论与技术，揭示了煤柱群结构效应，构建了煤层群井下减压和地表减损耦合控制的科学开采模式。提出了以采动裂隙控制为核心，隔采比为指标的保水开采岩层控制理论，丰富和发展了煤层群保水开采岩层控制方法。浅埋近距离

煤层开采煤柱引起覆岩非均匀沉降，导致覆岩应力集中和地表裂缝集中发育，提出了煤柱群应力场、位移场、裂隙场三场耦合控制方法，建立了应力场和裂隙场耦合控制判据。下煤柱处于减压区内，避免集中应力叠加；上煤柱处于下煤层顶板压实区，减轻地表裂缝发育。确定可控制原理：可通过煤柱布局，实现减小煤柱集中应力、减轻地表裂缝的耦合控制。

(3) 阐明了不同类型过煤柱开采强矿压机理，给出了强矿压发生临界条件及位置判别方法，提出了强矿压防控技术。揭示了浅埋近距离煤层过煤柱开采强矿压规律与特征，建立了不同类型过煤柱开采的“煤柱-层间关键层”结构模型，揭示了过煤柱开采的强矿压机理；建立了上覆煤柱及层间“扇形跷板”模型，研发了定向长钻孔分段水力压裂弱化层间硬岩技术。确定了适合神东公司不同类型工作面过煤柱开采的强矿压控制技术与优化治理对策，形成了过煤柱开采采场与巷道强矿压治理关键技术与装备，得到现场工业性试验验证。

(4) 揭示了煤层群下煤层工作面过沟谷崩梁开采顶板来压机理，给出了科学防控技术。掌握了近距离煤层群工作面过沟谷、崩梁异形地表开采的矿压显现特征，过异形地表来压分区特性和地表起伏具有显著关系；以浅埋煤层群顶板结构理论为基础，结合沟谷、崩梁地表对覆岩关键层结构及顶板受载变化的影响，构建了异形地表开采期间的浅埋煤层群顶板结构模型，揭示了工作面过异形地表覆岩结构运动、支承压力和支架载荷特征，给出了工作面支架载荷合理计算公式。

研究成果荣获陕西省自然科学优秀学术论文一等奖，全国煤矿支

护技术创新成果一等奖，省级优秀博士学位论文 1 篇，《煤炭学报》60 年百篇最具影响力学术论文；发表学术论文 100 余篇，其中 SCI/EI 检索 50 余篇；授权发明专利 13 项，实用新型专利 12 项，培养博士 6 人，硕士 13 人，制定神东公司企业标准 1 项。经中国安全生产协会鉴定达到国际领先水平。近两年，项目研究成果在榆家梁煤矿、哈拉沟煤矿、张家峁煤矿等 10 个煤矿进行了推广应用，累计新增利润 20.37 亿元，取得巨大社会和经济效益。

五、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种极近距离煤层采空区下工作面支架载荷确定方法及装置	中国	ZL201610740427.4	2019.3.19	第 3297755 号	西安科技大学	黄庆享 曹健 贺雁鹏
2	发明专利	一种浅埋近距离煤层群顶板周期来压支护阻力确定方法	中国	ZL201810521574.1	2019.9.27	第 3540595 号	西安科技大学	黄庆享 黄克军
3	发明专利	一种浅埋煤层群工作面最佳煤柱错距的设计方法	中国	ZL201610125614.1	2019.2.16.	第 3267444 号	西安科技大学	黄庆享 杜君武
4	发明专利	一种浅埋煤层群层间双关键层结构支架载荷的确定方法	中国	ZL201710627993.9	2020.10.02	第 4015652 号	西安科技大学	黄庆享 曹健
5	发明专利	浅埋近距房柱式采空区下相邻工作面相向安全开采方法	中国	ZL202110594365.1	2024.1.26	第 6654525 号	西安科技大学	黄庆享 杜君武 王林涛 曹健

6	发明专利	一种煤矿大采高工作面支架额定承受载荷确定方法及装置	中国	ZL201610310922.1	2018.12.14	第 3182678 号	西安科技大学	黄庆享 周金龙
7	发明专利	一种矿山物理相似模型围岩运动数字智能素描分析方法及系统	中国	ZL202110413437.8	2023.4.7	第 5848619 号	西安科技大学	黄庆享 贺雁鹏
8	发明专利	一种浅埋薄基岩煤层开采初次来压支护阻力的确定方法	中国	ZL201710627944.5	2019.7.16	第 3455790 号	西安科技大学	黄庆享 曹 健
9	发明专利	一种浅埋单关键层采场覆岩结构的网格状钻场实测方法	中国	ZL202010205081.4	2021.7.13	第 4547213 号	西安科技大学	黄庆享 贺雁鹏 李 军 刘建浩
10	发明专利	一种具有初撑力的采煤工作面物理相似模拟支架	中国	ZL201710627991.X	2019.9.10	第 3521582 号	西安科技大学	黄庆享 曹 健 贺雁鹏

六、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
黄庆享	1	学报主编	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目负责人，负责项目总体方案设计与组织实施。
贺雁鹏	2	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	负责现场调查分析、物理模拟实验、数值计算和理论分析内容。
杜君武	3	实验中心主任	工程师	西安科技大学	西安科技大学	负责物理模拟实验、理论分析和工程验证内容。
罗文	4	副总经理	教授级高工	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	项目方案设计，项目组织与协调。
曹健	5	副主任	副教授	内蒙古科技大学	西安科技大学	项目物理模拟及理论分析
周海丰	6	总工程师	教授级高工	国能神东煤炭集团大柳塔煤矿	国能神东煤炭集团大柳塔煤矿	项目理论研究、实施与应用；矿井现场项目落实与施工协调。
陈杰	7	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目理论分析及方案设计
高彬	8	副总经理	高级工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	项目相关创新点的方案设计，项目组织与协调。
罗利卜	9	矿长	高级工程师	内蒙古神东天隆集团股份有限公司大海则煤矿	内蒙古神东天隆集团股份有限公司大海则煤矿	项目组织与协调，工程验证。
陈苏社	10	采掘工艺研发部部长	教授级高工	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	项目相关创新点的方案设计，项目组织与协调。
王生彪	11	总工程师	高级工程师	国能神东煤炭哈拉沟煤矿	国能神东煤炭哈拉沟煤矿	项目理论研究、实施与应用；矿井现场项目落实与施工协调。
蔚保宁	12	总工程师	高级工程师	西安弗尔绿创矿业科技有限责任公司	西安弗尔绿创矿业科技有限责任公司	项目相关创新点的方案设计，项目组织与协调。
黄克军	13	副主任	正高级工程师	河南理工大学郑州高等研究院	西安科技大学	项目理论研究、实施与应用；矿井现场项目落实与施工协调。
韦业豪	14	无	博士研究生	西安科技大学	西安科技大学	负责物理模拟和数值模拟分析相关工作。
刘建浩	15	无	高级工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	项目现场实测与施工协调

七、主要完成单位情况

1.西安科技大学

作为本项目的依托单位，西安科技大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，表现为：1) 组织并完成了项目所有创新内容；2) 为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所；3) 提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源；4) 为本项目提供成果出版、成果鉴定等方面的支持。

2.中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司

作为本项目的组织与实施单位之一，中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司负责项目煤层群开采、过煤柱开采现场调研、井下实验等具体实施工作，为本项目实施和应用做出重要贡献。共同完成了浅埋煤层群过煤柱开采强矿压机理及控制技术创新内容。

3.陕煤集团神木张家峁矿业有限公司

作为本项目的组织与实施单位之一，陕煤集团神木张家峁矿业有限公司负责项目现场调研、井下实验等具体实施工作，为本项目实施和应用做出重要贡献。共同完成了浅埋煤层群过峁梁区开采来压机理和支架载荷确定的创新内容。

4.内蒙古神东天隆集团股份有限公司大海则煤矿

作为本项目的组织与实施单位之一，内蒙古神东天隆集团股份有限公司大海则煤矿，为本项目实施和应用做出重要贡献。共同完成了浅埋近距离煤层群分类及其顶板结构模型的创新内容。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人贺雁鹏、杜君武、曹健、周海丰、蔚保宁、黄克军、韦业豪由主持人黄庆享教授指导攻读博士学位；王生彪由主持人黄庆享教授指导攻读工程硕士学位；罗文、高彬、陈苏社、陈杰、罗利卜、刘建浩合作参与项目的研究工作，项目执行过程中取得了一系列共同的研究成果。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。

现对完成人合作关系及参与并做出重要贡献说明如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	共同完成科技成果鉴定	罗文/1 黄庆享/2 陈苏社/5 贺雁鹏/9 王生彪/18 周海丰/19 韦业豪/23	2023年2月	2024年12月	神东矿区采煤工作面过上覆煤柱强矿压治理技术研究
2	论文合著	黄庆享/1 杜君武/2	2017年1月	2024年12月	《浅埋煤层群覆岩运动与减损开采研究》，科学出版社
3	论文合著	黄庆享/1 曹健/2 高彬/3 刘健浩/5	2017年1月	2020年11月	基于三场演化规律的浅埋近距离煤层减损开采研究
4	论文合著	黄庆享/1 杜君武/2 陈杰/3 贺雁鹏/4	2017年1月	2021年1月	Coupling control on pillar stress concentration and surface cracks in shallow multi-seam mining
5	论文合著	黄庆享/1 贺雁鹏/2 罗利卜/3 曹健/4	2019年1月	2020年9月	浅埋极近距离煤层采空区垮落顶板活化结构及支架阻力研究
6	论文合著	蔚保宁/1 黄庆享/2	2017年9月	2024年12月	浅埋煤层综采面覆岩破坏规律的钻探实测研究

(科技进步奖 提名号 309-4010)

一、项目名称：

浅埋超大采高综采面覆岩破断机理多源耦合分析与安全施工关键技术

二、提名者及提名意见：

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

本成果聚焦陕北矿区复杂水文地质条件下特厚煤层超大采高智能工作面安全施工中的关键科学问题，依托张家峁煤矿 8m 超大采高 2203、2204 智能综采面，按照“理论研究→室内宏细观试验→数值仿真→顶、底板地质灾害发生机理分析→顶、底板地质灾害防治→多源实时监测系统构建→成套设备研制→工程检验”技术路线开展了研究工作。主要创新性工作是：（1）构建了煤岩宏细观破坏机理研究试验平台，得到了煤岩动力损伤破坏宏细观破坏机理。采用创新性机构对顶板进行有效控制，实现采支协同中的护帮板动态调控策略与移架工艺优化。（2）针对顶底板不良地质灾害，提出了综合处置技术，构建了灾害处置效果检验技术，提出底板混凝土置换处置技术。（3）成功研发了适合复杂水文地质条件下浅埋特厚煤层超大采高工作面的采煤机、刮板机、液压支架等成套装备。融合“高频 GNSS 实时监测+时序 InSAR+无人机倾斜遥感测量+有限元~离散元耦合的 FDEM 数值仿真模拟”，建立了适用于复杂水文地质条件浅埋特厚煤层的开采沉陷自动化监测技术。

本成果对解决我国陕北矿区复杂水文地质条件下浅埋煤层超大采高工作面安全施工具有重要的理论与实践意义。对“千万吨级智能工作面”安全建设，保障我国煤炭稳产稳供做出巨大贡献。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。特提名为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

习总书记指出，能源保障和安全事关国计民生，是须臾不可忽视的“国之大者”。持续增强能源安全保障能力，发挥化石能源兜底保障作用，是我国的重大战略之一。煤炭目前在我国能源供给体系中占比超过 50%，在能源结构中占据主导地位。建设“千万吨级智能工作面”是提高煤炭产能的重要手段，开展复杂条件下超大采高智能工作面安全施工关键技术问题研究具有重要的理论和实践价值。

陕北矿区是我国 14 个大型煤炭基地之一，产量大，煤质优。超大采高一次采全高的煤炭开采技术极大地提高了浅埋厚煤层开采的煤炭资源回采率，是浅埋煤层“千万吨级智能工作面”的重要开采方式。复杂水文地质条件下浅埋特厚煤层实现超大采高工作面综采技术主要面临三大技术问题：第一，超大采高工作面极易引起片帮问题，影响安全生产，亟需研究片帮发生机理及其科学合理的防控措施，适合复杂水文地质条件下浅埋特厚煤层超大采高工作面的主要包括采煤机、刮板机、液压支架等的成套装备亟需研制；第二、部分浅埋煤层顶板存在火烧区、风化区、缺失区、顶板涌水量大等不良水文地质现象，严重影响超大采高工作面安全回采，对于出现顶板缺失及风化区域、底板软弱的超大采高工作面来说，液压支架自身高度大，受力条件复杂易倾斜，亟需研究超大采高工作面综合不良地质灾害处置技术及液压支架扶正、移架关键技术；第三，陕北浅埋薄基岩特厚煤层地区属于生态严重脆弱区，采空区上方的地表沉降呈台阶式切落裂缝破坏，遇到雨水侵蚀冲刷后，裂缝变宽甚至发展为塌陷坑破坏，极易对地面人畜造成伤害，也易诱发采煤工作面溃水溃沙，破坏生态环境，亟需研究地表开采沉陷特性多源智能自动化监测技术。

本成果聚焦陕北矿区复杂水文地质条件下特厚煤层超大采高工作面安全施工中的关键科学问题，依托张家峁煤矿 8m 超大采高 2203、2204 智能综采面，按照“理论研究→室内宏细观试验→数值仿真→顶、底板地质灾害发生机理分析→顶、底板地质灾害防治→多源实时监测系统构建→成套设备研制→工程检验”技术路线开展研究工作。

本成果完成了煤岩宏细观动力损伤破坏机理及超大采高工作面煤壁片帮机理研究，8m 超大采高综采面顶板界面风化异常、底板软

弱、支架倾倒等灾害发生机理分析、治理方案制定与现场治理工作，煤壁片帮灾害治理工作，综采面覆岩结构演化、地表开采沉陷特性、矿压显现规律“井上+井下”多源耦合智能监测分析。主要创新性工作是：

(1) 构建了煤岩宏细观破坏机理研究试验平台，开展煤岩动力损伤破坏宏细观破坏机理研究。采用三轴压缩实验、核磁共振测试、声发射监测及 SHPB 动力测试等手段，得到了煤岩宏细观动力损伤破坏规律。采用“双层伸缩梁+三级护帮”机构对顶板进行了有效控制，对超高煤壁进行了主动防护，实现了采支协同中的护帮板动态调控策略与移架工艺优化。

(2) 聚焦浅埋煤层智能综采面存在的顶、底板不良地质灾害，采用“应力-渗流”耦合理论开展顶、底板破坏机理研究，创新性提出了“顶板缺失区采用钻孔灌注桩替换技术、顶板强风化区采用 MJS 高压旋喷注浆改性技术、顶板弱风化区采用钻孔高压劈裂注浆技术”的综合不良地质灾害处置技术，成功构建了“地面钻孔检验+地面孔间地震 CT 探测技术”的不良地质灾害处置效果检验技术，提出的底板混凝土置换处置技术实现了底板硬化，对于顶板涌水量大的区域提出了“疏水+注浆”控制技术，避免了底板遇水软化灾害的发生，顶板再生和底板硬化为工作面顶、底板地质异常区域安全施工提供了重要技术支撑。

(3) 成功研发了适应复杂水文地质条件下浅埋特厚煤层超大采高工作面的主要由采煤机、刮板机、液压支架等组成的成套开采装备。提出“围岩松动圈数字成像+顶板离层+支护系统受力+围岩变形+顶板破断特性微震监测”的井下矿压多源耦合监测理论。融合“高频 GNSS 实时监测+时序 InSAR+无人机倾斜遥感测量+有限元~离散元耦合的 FDEM 数值仿真模拟”，建立了适用于复杂水文地质条件浅埋特厚煤层的开采沉陷自动化监测系统。实现了地表自动监测系统多维度、多元化、共享化新突破，实现了井下矿压规律与井上开采沉陷规律预测预报的智能联动。

本成果对解决我国陕北矿区复杂水文地质条件下浅埋薄基岩煤

层超大采高工作面安全施工难题具有重要的实际意义，为我国煤炭绿色安全高效开采提供了技术支撑，为“千万吨级智能工作面”安全建设及我国煤炭稳产稳供做出了巨大贡献。

本成果成功应用于浅埋大采高条件下的张家峁煤矿、红柳林煤矿、柠条塔煤矿等煤矿，创造经济效益约 19.056 亿元。并为大柳塔煤矿、鑫源煤矿、红庆河煤矿、上湾煤矿、小保当煤矿等十余家煤矿的超大采高智能综采面提供成功工程案例。成果已授权发明专利 15 项，发表 SCI、EI 检索高水平论文 31 篇，培养博士生 2 人、硕士生 5 人。

项目成果被以煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任主任委员的中国煤炭工业协会鉴定委员会评价为国际领先水平。

四、客观评价

(1) 本成果“浅埋超大采高综采面覆岩破断机理多源耦合分析与安全施工关键技术”应用于张家峁煤矿 2203 超大采高综采面，有效保证了 2203 智能综采面的安全生产；并且应用于了 2204 智能综采面，对顶板界面风化异常体灾害进行治理，包括底板软弱等不良水文地质灾害。解决了超大采高工作面液压支架移架工艺优化等技术问题。有效保证了张家峁煤矿超大采高 2203、2204 工作面的安全绿色回采，取得了良好的社会效益和经济效益。

在 2203 工作面顺槽掘进和工作面回采过程中，研究了顺槽围岩破坏规律、超大采高首采面矿压规律及超大采高首采面地表裂缝及岩移规律，并结合已有的大采高综采工作面矿压显现规律和支护参数，完成了顺槽支护设计优化，评价了大采高支架适应性，掌握了浅埋煤层大采高矿压-地面移动协同变形规律，对确保张家峁煤矿超大采高首采面安全开采具有重要意义。本成果使 2204 工作面顶板完整性得到加固，为工作面回采创造条件。同时充填和加固了顶板揭露界面风化异常体前方及周边顶板基岩，彻底消除了工作面漏顶和压架隐患，为 2204 工作面安全通过煤层顶板风化以及整个工作面开采提供了安全保障。

本成果可在陕北浅埋复杂水文地质条件下进行推广和应用，对 2

205、2206、2207、2208、2209、2210 等工作面的安全开采具有极其重要的借鉴价值。

(2) 成果“浅埋超大采高综采面覆岩破断机理多源耦合分析与安全施工关键技术”在红柳林煤矿得以成功应用，在 25212 综采工作面顺槽掘进和工作面回采过程中，应用了成果中的片帮机理及主要形式、防控措施，采用了地表开采沉陷自动化监测技术，实现了井下矿压规律与井上开采沉陷规律预测预报的联动，保证了 25212 综采工作面的快速安全回采，效果良好。

(3) 在柠条塔煤矿 S1233 工作面本成果得以成功应用，在 S1233 工作面顺槽掘进和工作面回采过程中，应用了成果中的片帮机理及主要形式、防控措施，采用了地表开采沉陷自动化监测技术，实现了井下矿压规律与井上开采沉陷规律预测预报的联动，保证了 S1233 综放工作面的快速安全回采。

(4) 2023 年 7 月，陕西陕煤曹家滩矿业有限公司借鉴本成果，完成了 10m 超大采高智能综采工作面成套装备研制，并进行了世界首套 10m 超大采高智能综采工作面成套装备联合试运转，填补了国内外浅埋地区特厚煤层一次采全高的技术空白。

(5) 本成果为大柳塔煤矿、鑫源煤矿、红庆河煤矿、上湾煤矿、小保当煤矿等十余家煤矿的超大采高智能综采面提供实际工程经验参考。

五、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	论文	Fracture Evolution and Failure Characteristics of Sandstone under Freeze-Thaw Cycling by Computed Tomography	中国	2021, 294: 106370.	2021 年 12 月 05 日	Engineering Geology	Xi'an University of Science and Technology	Yongjun Song, Hao Tan, Huimin Yang, Shaojie Chen, Yongxin Che, Jiaxing Chen
2	发明专利	液压支架中铰接千斤顶缸径确定方法、装置、设备和介质	中国	CN118709447B	2024 年 11 月 19 日	ZL20241117962 4.4	天地科技股份有限公司; 陕煤集团神木张家峁业有限公司; 陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	徐亚军; 胡俭; 谭震; 李世军; 毛小娃; 庞晓亮; 李提建; 范生军; 党文佳; 刘建浩
3	论文	Study on the energy evolution mechanism of coal and rock with impact tendency under different strain rates	中国	2023,13(1):13773.	2023 年 08 月 23 日	scientific reports	Xi'an University of Science and Technology	Kun Zhang, Yichen Zhang, Sen Zhang, Jianxi Ren, Liang Zhang, Renjie Zhang, Yuanquan Cui
4	论文	Energy evolution and strain localization in fractured sandstone under freeze-thaw cycling and uniaxial loading-unloading	中国	2024, 177: 105746.	2024 年 05 月 06 日	International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	Xi'an University of Science and Technology	Hao Tan, Yongjun Song, Huimin Yang, Yongxin Che

5	论文	Study on the Damage Characteristics and Internal Variable Modeling of Single-Fracture Sandstone under the Coupling Effect of Freeze-Thaw and Fatigue Load	中国	2024, 14(1): 403.	2024年01月01日	Applied Sciences	Xi'an University of Science and Technology	Zhang Kun, Chang Pengbo, Ren Jianxi, Liu Zheng, Wang Ke.
6	发明专利	模拟井下冲击地压三维动态加载装置及冲击地压预测方法	中国	CN116838317B	2024年05月07日	ZL20231079786 1.6	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司；西安科技大学；陕西陕煤铜川矿业有限公司	胡俭；任建喜；王珂；岳东；冯上鑫；霍小泉
7	发明专利	一种煤炭开采用监控设备	中国	CN119011984B	2024年12月24日	ZL20241148881 2.5	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	胡俭；党文佳；毛小娃；田亮；操康波；张文宣；王航；王丰；李永军；彭涛；解云龙；朱聿顺；雷杰

8	论文	大采高智能化开采煤壁全过程精准控制技术研究	中国	2019,47(10):131-135	2019年10月15日	煤炭科学技术	天地科技股份有限公司; 煤炭科学研究总院; 陕西陕煤黄陵矿业有限公司; 国家应急管理部煤矿智能化开采技术创新中心	刘俊峰; 唐恩贤; 许永祥; 张玉良
9	实用新型专利	一种适用于岩石三维加载过程中的围压保持装置	中国	CN220136875U	2023年12月05日	ZL202321696066.X	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司; 西安科技大学; 陕西陕煤铜川矿业有限公司	胡俭; 张琨; 岳东; 任建喜; 袁增云; 王珂
10	论文	基于微震监测的浅埋8m超大采高综采面末采阶段矿压显现规律研究	中国	2024,43(09):1-5	2024.09	煤炭技术	西安科技大学; 陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	焦金照; 任建喜; 张琨; 胡俭; 范生军

六、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
胡俭	1	总工程师	高级工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	项目总负责
张琨	2	系副主任	高级工程师	西安科技大学	西安科技大学	技术总负责
宋勇军	3	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	地面岩移监测系统方案设计；灾害发生机理分析
刘俊峰	4	主任工程师	研究员	天地科技股份有限公司	天地科技股份有限公司	工作面成套装备选型配套；综采液壓支架设计
范生军	5	副总工程师	高级工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	井下监测系统方案设计与实施
杨帆	6	副总工程师	高级工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	地面岩移监测系统现场实施；灾害治理方案制定
刘朝科	7	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	井下矿压规律与井上地表沉降协同分析；室内试验设计与实施
毛小娃	8	高级主管	工程师	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	陕煤集团神木张家峁矿业有限公司	灾害治理现场实施；现场微震和矿压系统监测研究

七、主要完成单位情况

1.西安科技大学

负责总负责与协调，制定项目研究总体方案，技术路线，研究内容和方案，对创新内容一、二、三有贡献。

2.陕煤集团神木张家峁矿业有限公司

负责为项目提供经费支持，负责为项目创造良好的环境，提供设备，保证科研资金投入等，对创新内容二、三有贡献。

3.天地科技股份有限公司

负责为项目提供技术支持，工作面成套装备选型配套、液壓支架及综采装备设计研发，对创新内容一、三有贡献。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，所有项目完成人共同合作参与项目的研究工作，主要取得成果如下：

1. 胡俭/1、张琨/2 合作完成专利 9。
2. 胡俭/1、张琨/2、宋勇军/3、刘俊峰/4，范生军/5，杨帆/6，刘朝科/7，毛小娃/8 共同完成了“浅埋超大采高综采面覆岩破断机理多源耦合分析与安全施工关键技术”的成果鉴定。
3. 胡俭/1、毛小娃/8 合作完成专利 7。
4. 胡俭/1、范生军/5、毛小娃/8 合作完成专利 2。
5. 胡俭/1、张琨/2、范生军/5 合作完成论文 10。

(科技进步奖 提名号 309-4011)

一、项目名称

深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

深埋孤岛工作面开采面临支承压力叠加与高应力集中导致的高冲击地压风险，而特厚顶板则进一步加剧了矿压显现烈度，推高了冲击地压风险。因此，如何实现特厚顶板精准破断从而有效控制冲击地压风险，是确保深埋孤岛工作面安全和高效生产的关键技术难题。本项目创新性提出了双孔聚能爆破定向破断顶板卸压的技术路径，采取理论研究、室内试验、数值流形仿真（NMM）与工程检验相结合的方法，建立了特厚顶板双孔聚能爆破力学模型，实现了聚能方向坚硬顶板定向破断和垮落全过程仿真，形成了精准切顶爆破卸压技术体系，研发了现场多源实时监测系统，验证了上述技术体系的有效性。经中国煤炭工业协会组织专家鉴定认为“项目成果理论有突破，技术有创新，工程有应用，对深埋孤岛工作面特厚顶板精准切顶爆破卸压技术进步做出了创新性贡献，总体达到国际先进水平”。

项目成果成功应用于建新煤矿、玉华煤矿、下石节煤矿、柴家沟煤矿、陈家山煤矿等煤矿，使用期间有效的控制了采空区巷道围岩变形，大量缩减了巷道二次维修次数，减轻了工人劳动强度，提高了生产效率，合计产生经济效益7.05亿元。该成果对深部巷道围岩变形控制有重要的理论意义和工程应用价值，社会和经济效益显著。

经审查，成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。**特提名项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

深埋特厚顶板孤岛工作面矿压显现规律复杂，动采压力反复影响工作面两巷，亟需突破工作面精准切顶爆破卸压的技术瓶颈。掌握复杂条件下孤岛工作面矿压显现规律，研发孤岛工作面强矿压合理卸压方案，减少顶板破断释放的动能，对矿井生产盘区持续安全生产至关重要。

本项目历经多年技术攻关和现场实践，以陕西及西部矿山复杂条件下孤岛工作面冲击地压灾害的预测防控为目标，通过理论研究、室内试验、NMM仿真模拟、多源实时监测与工程实践检验等手段，采用工作面走向和倾向爆破卸压创新技术路径，有效解决强矿压显现导致的高冲击地压风险问题，

主要创新成果如下：

1、突破了聚能爆破卸压和顶板垮塌全过程模拟困境，基于拓扑流形和微分流形理论，编译了NMM爆破裂纹扩展模拟程序，实现了坚硬顶板断续损伤破裂垮落全过程精细模拟，揭示了切顶爆破过程中特厚顶板强矿压显现规律与损伤破断机理。

2、基于聚能爆破理论和断裂力学理论，建立了双孔聚能爆破力学模型，揭示了特厚顶板岩体定向破裂力学机制，掌握了围岩体松散破碎带应力传递路径和缓冲效应，构建了深埋特厚顶板孤岛工作面精准切顶爆破卸压参数设计理论，建立了定向爆破条件下孤岛工作面矿压减控理论。

3、基于定向聚能爆破卸压理论构建了深埋特厚顶板孤岛工作面卸压技术体系，提出了松动圈演化、锚杆（索）受力、微震等多源手段融合的矿压显现规律和卸压效果监测系统，检验了定向聚能爆破卸压理论与技术的合理性和有效性。

上述成果对深埋孤岛工作面的矿压灾害防控提供了理论基础和技术支撑，对特厚顶板煤层开采矿压控制也有直接的借鉴意义，具有显著的技术辐射效应和良好的社会效益。

成果共发表论文26篇，其中SCI检索8篇、EI检索3篇，授权发明专利9项，实用新型专利17项，培养博士研究生1名，硕士研究生2名。

成果被煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任

主任委员的中国煤炭工业协会鉴定为国际先进水平。

四、客观评价

本成果建立了双孔聚能爆破力学模型，分析了聚能方向裂纹定向断裂扩展机制；基于拓扑流形和微分流形理论，研究得到了切缝角度对卸压效果的影响规律；形成了工作面架间爆破卸压、工作面走向和倾向爆破卸压技术参数体系；提出了深埋孤岛工作面特厚顶板定向切顶爆破卸压参数设计方法，实现了特厚顶板损伤破裂垮落全过程计算机仿真模拟；构建了深埋孤岛工作面特厚顶板定向爆破卸压实施效果监测技术体系，并对爆破卸压效果进行了有效地监测验证。与国内外同类技术对比，总体达到了国际先进水平。

1、鉴定评价

2024年3月15日，中国煤炭工业协会组织专家对深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用项目进行了科技成果鉴定，以煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任主任委员的鉴定委员会评价为国际先进水平。

2、查新结论

由陕西省科学技术情报研究院对深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用成果进行了科技查新，查新结果为研究内容除查新委托项目组成员发表的文献及申请的专利外，在国内外所检其他文献中未见报道。

3、行业认可

本项目的“顶板精准切顶爆破卸压技术”、“特厚顶板损伤破裂垮落全过程计算机仿真模拟”等成果受到了铜川矿区和焦坪矿区等各煤矿的广泛认可。

在玉华煤矿、下石节煤矿、柴家沟煤矿、陈家山煤矿、建庄煤矿等孤岛工作面及强矿压工作面进行了推广应用，使用期间有效的控制了采空区巷道围岩变形，大量缩减了巷道二次维修次数，减轻了工人劳动强度，提高了生产效率，合计产生经济效益 7.05 亿元。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	Higher order plate theory for buckling analysis of plates based on exact solution	Steel and Composite Structures	Ran Bi; Jun Gao; Seyedmahmoodreza Allahyari	Xi'an University of Science and Technology	2021, 40(3): 000-009	2021.05	Jun Gao	Ran Bi	Ran Bi; Jun Gao	6	6	是
2	A hybrid 'FE-Meshless' QUAD4 with continuous nodal stress using radial-polynomial basis functions	Engineering Analysis with Boundary Elements	Yongtao Yang; Ran Bi; Hong Zheng	Chang'an University	2015, 53(5): 73-85	2015.05	Yongtao Yang	Ran Bi	Yang Yongtao; Ran Bi; Zheng Hong	9	9	是
3	Hermitian numerical manifold method for large deflection of irregular Föppl-von Kármán plates	Engineering Analysis with Boundary Elements	Hongwei Guo; Xitailang Cao; Zenglong Liang; Shan Lin; Hong Zheng; Hao Cui	Beijing University of Technology	2023, 153:25-38	2023.05	Shan Lin	Hongwei Guo	Hongwei Guo; Xitailang Cao; Zenglong Liang; Shan Lin; Hong Zheng; Hao Cui	14	14	是

4	孤岛面顺槽顶板走向爆破效果微震监测技术研究	煤炭技术	任建喜; 易归; 贾龚杰; 赵青; 陈首佳	西安科技大学	2022, 41(05): 77-81	2022.05	任建喜	任建喜	任建喜; 易归; 贾龚杰; 赵青; 陈首佳	0	3	是
5	A Working Face Rock Pressure Forecasting Model Based on Attention-BiLSTM	International Conference on Industrial Application of Artificial Intelligence	Pengtao Jia; Chengyixiong Xu; Fengjing Guo	陕煤铜川矿业有限公司	2022, 32(03): 58-66	2022.03	Pengtao Jia	Pengtao Jia	Pengtao Jia; Chengyixiong Xu; Fengjing Guo	0	5	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种煤矿智能应用的统一发布、部署、升级的方法	中国	CN113377387A	2021.09.10	7016455	中煤能源研究院有限责任公司; 中煤西安设计工程有限责任公司	刘清宝; 郇喆; 汪海涛; 张光磊; 谈婵娜; 张阳; 王星; 董振良; 董洛兵; 杜俊逸; 张珊; 任亚楠
2	实用新型专利	一种防治煤矿冲击地压预警装置	中国	CN217421280U	2022.09.13	17413121	陕西陕煤铜川矿业有限责任公司下石节煤矿	刘彪; 李鹏; 刘军
3	发明专利	瓦斯抽采钻孔封孔装置及方法	中国	CN113187537B	2021.05.31	5975730	陕西陕煤铜川矿业有限责任公司	刘水利; 路根奎; 岳东; 霍小泉; 侯正利; 贾龚杰; 张超峰 袁增云; 范智海
4	实用新型专利	一种矩形巷道防冲吸能液压支架	中国	CN207879357U	2018.09.18	7862819	西安科技大学	任建喜; 曹西太郎; 张琨; 宋勇军
5	实用新型专利	一种降低锚杆索预应力损失装置	中国	CN219176366U	2023.06.13	19155863	徐州胤新矿业科技有限公司; 陕西建新煤化有限责任公司; 陕西煤业集团黄陵建庄矿业有限责任公司; 中国矿业大学	顾鹏翔; 王斌; 周舟; 侯力; 许飞; 马壮; 李慧; 王秋雨; 白小明; 石昆; 杨眉; 孙刘永; 季明

六、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
毕冉	1	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目负责、总体方案设计
郭风景	2	副总经理	高级工程师	陕西陕煤蒲白矿业有限公司	陕西陕煤蒲白矿业有限公司	技术负责、技术方案审查
张光磊	3	无	正高级工程师	中煤西安设计工程有限责任公司	中煤西安设计工程有限责任公司	室内试验及理论研究
刘彪	4	总工程师	工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司	陕西陕煤铜川矿业有限公司	现场试验实施方案优化
李慧	5	副总经理	工程师	陕西陕煤蒲白矿业有限公司	陕西陕煤蒲白矿业有限公司	现场实施及组织管理
曹西太郎	6	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	理论分析及数值仿真
贾龚杰	7	业务主管	高级工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司	陕西陕煤铜川矿业有限公司	现场实施和应用推广

七、主要完成单位情况

1、西安科技大学

作为“深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用”项目的第一完成单位，负责研究和应用全过程，确保项目组织、策划和实施的顺利完成，制定项目研究总体方案，技术路线，研究内容和方案等，具体贡献如下：

(1) 制定了理论研究总体方案与煤岩的动力损伤破坏规律室内试验方案，采用宏、细观相结合的方法，完成了建新煤矿孤岛工作面煤岩物理力学测试，得到了动静荷载耦合作用下深部弱冲击矿井巷道围岩分区化破坏机理，建立巷道围岩动力损伤本构模型，为裂纹扩展提供了判据，为后续建立试验提供了理论保障。

(2) 建立了弱冲击条件下孤岛工作面矿压减控理论，通过双向点状聚能张拉力学模型，得到了坚硬顶板定向破裂力学机制，完成了孤岛工作面精准切顶爆破卸压的爆破参数设计。编译了切顶爆破卸压的数值流形方法程序，并基于仿真模拟完成了深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压的爆破方案设计。

(3) 研究了松动圈演化、微震、矿压显现等监测手段在深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压的应用，构建了深埋高瓦

斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压效果实时监测体系。

2、陕西陕煤蒲白矿业有限公司

作为“深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用”项目的主要完成单位，确保项目组织、策划和实施的顺利完成，保证科研资金投入等，具体贡献如下：

(1) 提出了深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压的爆破参数设计理论，协同建立了双向点状聚能张拉力学模型，构建了深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压参数设计理论。

(2) 提高了黄陵矿区深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面孕灾机理及围岩控制技术研究水平，为矿区煤矿安全开采提供了技术保障。

(3) 在建新煤矿按照 4206 孤岛工作面切顶卸压爆破试验方案进行了现场爆破卸压试验，试验完成后发现切顶卸压爆破试验方案可以有效控制采区巷道围岩变形，显著降低工作面巷道反修次数，保障工作面的安全生产及工人人身安全，为安全绿色开采提供技术保障。

3、中煤西安设计工程有限责任公司

作为“深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用”项目的主要完成单位，为确保项目的顺利实施和应用，协助建立了弱冲击条件下孤岛工作面矿压减控理论，协助完成了孤岛工作面精准切顶爆破卸压的爆破参数设计。

4、陕西陕煤铜川矿业有限公司

作为“深埋孤岛工作面特厚顶板定向聚能爆破卸压关键技术与应用”项目的主要完成单位，为确保项目的顺利实施，提供了人力资源与基础应用的工作环境与场所等，具体贡献如下：

(1) 协调顶板精准切顶爆破卸压技术应用在玉华煤矿、下石节煤矿、柴家沟煤矿、陈家山煤矿等相似煤矿的孤岛工作面和非孤岛工作面安全开采的现场应用。

(2) 协助构建了深埋高瓦斯特厚煤层孤岛工作面精准切顶爆破卸压效果实时监测体系，完成了精准爆破卸压前后工作面围岩稳定性监测评估，实现了孤岛工作面安全信息化管理。

八、完成人合作关系说明

该项目由西安科技大学、陕西陕煤蒲白矿业有限公司、中煤西安设计工程有限责任公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司共同合作完成，西安科技大学为项目的总负责和牵头单位，进行理论分析、试验研究，提供技术服务和咨询。陕西陕煤蒲白矿业有限公司负责项目总体规划和协调，积极组织项目的实施。陕西陕煤铜川矿业有限公司负责项目的应用，积极组织项目技术成果的推广工作。中煤西安设计工程有限责任公司负责项目爆破参数设计工作。

项目完成人：毕冉、曹西太郎属于西安科技大学；郭风景、李慧属于陕西陕煤蒲白矿业有限公司；张光磊属于中煤西安设计工程有限责任公司；刘彪、贾龚杰属于陕西陕煤铜川矿业有限公司；项目完成单位从形式上组成产学研合作联盟。合作项目所取得的成果被煤炭行业放顶煤开采工程研究中心主任王家臣教授担任主任委员的鉴定委员会评价为国际先进水平。

(科技进步奖 提名号 309-4015)

一、项目名称：

煤矿井下无轨胶轮车智能安全保障关键技术及装备产业化

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该项目针对在煤矿井下无轨胶轮车运输中存在主动安全与防护差、运输效率不足、运输安全性低，以及电动无轨胶轮车充电效率低、充电安全风险不可控等痛点问题，研发了井下巷道高精三维建图与实时定位技术，突破了巷道模型动态更新、车辆厘米级实时定位等核心技术难题；突破了车辆装载智能识别和超视距主动避撞等关键技术，完善了感知、控制和驾驶主动安全控制技术体系；研发了复杂受限环境下数据可靠通信与协同管控技术，形成了井下无轨胶轮车智能安全保障系列化产品；创新设计了多枪式防爆新能源车智能充电装置和防爆车载永磁发电机等产品，保障了煤矿井下无轨胶轮车安全供电技术保障。研发的WL、WC等系列煤矿井下无轨胶轮车智能保障系统及装备已实现规模化生产，并在内蒙、陕西、宁夏、山西、新疆、山东等国内主要产煤区得到广泛应用，近年来项目转化成果销售额已达34.12亿元，取得了显著的经济和社会效益。

该项目技术创新突出，系统性解决了煤矿井下无轨胶轮车安全的核心难题，对我国煤矿井下无轨胶轮车运输安全和矿山装备智能化升级具有重大推动作用。项目成果技术成熟度高，应用前景广阔，推广价值重大。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖二等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

立项时我国煤矿井下辅助运输正面临“本质化安全、主动化预防、绿色化生产、智能化协同”的技术变革需求，该项目针对我国煤矿井

下无轨胶轮车运输面临车辆主动安全可靠不足、矿井复杂环境安全感知难、多源风险协同管控难、井下电动无轨胶轮车续航短等关键技术瓶颈，依托产学研联合攻关科研项目，联合多家科研单位与行业龙头企业，突破煤矿井下无轨胶轮车智能安全防护与智能辅助驾驶安全运输、井下环境智能感知与定位、低带宽高可靠通信与协同决策、煤矿井下无轨胶轮车智能安全充电与供电安全等核心技术难题。依托该项目理论成果和关键核心技术，研发井下智能安全型防爆无轨胶轮车系列产品，涵盖人员运输车、物料车、特种作业车等类型；在国家能源集团、中煤能源集团、陕煤集团等大型煤炭企业成功应用累计部署 607 台，覆盖井下巷道全场景运输需求；2018-2024 年，项目转化成果共销售 6020 台具有智能安全型无轨胶轮车，销售额 34.12 亿元，新增利润 43687 万元，新增税金 24597 万元。配套硬件产品与软件系统销售额 15595.1 万元；降低安全事故率 $>20\%$ ，运输效率提升 $>25\%$ ，年均节省运维成本超千万元。项目成果产业化应用解决了井下无轨胶轮车高效安全运输关键技术难题，有效保障了矿工生命安全，推动矿井运输从“被动应对”向“主动防控”跨越，为煤矿井下辅助运输安全与智能化建设提供核心支撑。项目取得的创新成果包括：

(1) 研发了井下巷道高精度三维建图与实时安全定位技术，破解了无 GPS、强粉尘弱光环境动态建图与定位等难题，实现 10Hz 级三维地图更新和厘米级实时定位，物理实体三维建模精度误差 $\leq 5\text{cm}$ ，实时安全定位延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，大幅提升井下人员车辆定位精准性和安全时效性。全新构建了“多源传感融合+路标增强”三维巷道建模架构，结合动态点云管理策略，攻克井下巷道弱纹理特征缺失与长距离定位累积误差难题；首创“动态粉尘过滤+自适应光照补偿”强干扰场景建模技术，突破粉尘遮蔽环境建模瓶颈；研制激光-惯性紧耦合定位算法，为无轨胶轮车智能控制与安全协同提供精准可靠的环境感知基础。

(2) 研发了煤矿井下无轨胶轮车智能安全辅助驾驶控制技术，攻克了井下复杂环境下无轨胶轮车感知盲区多、车辆人员碰撞高发、自主装载难控制等技术难题，实现了无轨胶轮车智能安全辅助驾驶中

障碍物与路面风险检出率超过 98%，自主装载准确率超过 97%，碰撞事故率降低 95%，显著提升了煤矿井下无轨胶轮车智能安全辅助驾驶安全保障能力。开发了一种具有自动驾驶功能的矿用防爆电动无轨胶轮车，并创新提出了“激光雷达+毫米波雷达+红外摄像头”全方位环境感知体系，实现低光照环境下障碍目标快速精准识别；突破了基于图像识别的车体装载状态识别关键技术，保障了井下无轨胶轮车无人运输全过程的安全闭环控制。

(3) 研发了煤矿井下复杂环境集群车辆高效通信与协同管控技术，突破井下低带宽、高干扰、多目标并行瓶颈和车辆协同管控难题，使数据通信带宽需求降低 40%，运输系统效率总体提升 20%，作业装备利用率提升 $\geq 10\%$ ，显著提升了无轨胶轮车智能安全运行效率。创新研发了海量异构数据分层压缩与动态码率调整机制，提升数据并行处理效率和可靠性；研发多源信息融合决策与人车路协同智能调度技术，融合数据安全治理与智能应用敏捷部署，实现“感知-决策-执行”全链路智能运输解决方案，支撑高效协同安全运输管控。

(4) 研发了煤矿井下无轨胶轮车智能安全充电与供电安全技术，突破了煤矿井下电动无轨胶轮车续航短、井下充电效率低、井下充电安全风险不可控以及柴油无轨胶轮车智能控制系统功耗大，车载电源系统供电不足等技术难题，实现了充电效率提高 100%以上，充电安全风险可控以及柴油无轨胶轮车智能控制系统安全供电，保障了煤矿井下无轨胶轮车安全充电与供电安全。创新设计了多枪式防爆新能源车智能充电装置，解决了井下电动无轨胶轮车并行充电的难题，提高了电动无轨胶轮车充电效率；创新设计了煤矿井下锂电充电硐室安全监控系统，并提出了煤矿防爆锂电池车辆动力电源充电安全技术要求，解决了煤矿井下电动无轨胶轮车充电安全问题；创新设计了矿用隔爆型车载永磁发电机并进行产品标准化，根据柴油无轨胶轮车电气负载状态实时动态调整发电机的输出功率，并与车载锂电备用电源互为配合，极大提升了井下柴油无轨胶轮车供电安全性。

项目成果获国家发明专利 22 项、其他知识产权 24 项，编制国家、

行业标准 8 项，发表学术论文 52 篇，其中 SCI 检索 28。项目研究中编制了《矿用隔爆型车用永磁发电机》（NB/T11136-2023）、《煤矿防爆锂电池车辆动力电源充电安全技术要求》（T/CCS025-2023）等行业和团体标准 8 项，对指导行业开展无轨胶轮车安全充电与安全供电、保障井下运输安全、稳定、高效运行具有重要作用。研发的《无轨胶轮车防碰撞预警系统》（2024SR1267001）、《无轨胶轮车智能调度管理系统》（2024SR1266995）等系统平台在陕西、内蒙、山西等矿山安全监管平台推广应用，有效推动了矿井从“被动人控”向“主动智控”转型。研究成果对构建井下智能运输安全标准、降低矿山安全事故率、提高煤炭行业智能化水平具有重大推动作用，其社会效益显著。

四、客观评价

本项目依托国家重点研发项目、中煤能源研究院科技项目，已于 2023 年顺利通过验收。经中国煤炭工业协会组织专进行成果鉴定，项目原创性成果达到国际领先水平。

本项目成果应用于全国 10 余家大型煤矿企业，推动矿山从“人控”到“智控”的转型升级，国内知名媒体报道了创新技术与研发团队，给予认可和高度赞赏。

五、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种基于图像识别的车体装载状态识别装置及方法	中国	ZL201910482570.1	2022 年 09 月 09 日	5443063	西安建筑科技大学	阮顺领, 卢才武, 顾清华, 景莹, 聂兴信, 冯治东
2	发明专利	煤矿数据分布式分发方法、系统、设备及可读存储介质	中国	ZL202110713723.6	2024 年 03 月 01 日	6754586	中煤能源研究院有限责任公司	郑忠友, 邴喆, 汪海涛, 张光磊, 谈婍娜, 张阳, 王星, 董振良, 董洛兵, 段明东, 谷中, 秦一帆
3	发明专利	一种井下无轨胶轮车运输管理方法、系统、设备及介质	中国	ZL202410835918.1	2024 年 11 月 22 日	7545889	西安重装智慧矿山工程技术有限公司	贾龙,任跃武,王康,许海强,孙瑀彤,巨鹏博,石成虎,李思雯
4	发明专利	多枪式防爆新能源车智能充电装置	中国	ZL201810839944.6	2024 年 11 月 22 日	7545889	常州科研试制中心有限公司	钱军, 应洋, 许雷, 史发慧, 桑涛, 陈斐, 陶鹏飞
5	实用新型	一种具有自动驾驶功能的矿用防爆电动无轨胶轮车	中国	ZL202021572964.0	2021 年 1 月 15 日	12347653	常州科研试制中心有限公司	王保瑞, 姜汉军, 方文杰, 严忠波, 桑涛, 汪庆海
6	发明专利	渐进式编码的边缘智能图像传输方法、系统、设备及介质	中国	ZL202210170892.4	2023 年 9 月 19 日	6339522	中煤能源研究院有限责任公司	邴喆, 汪海涛, 李超, 张光磊, 谈婍娜, 张阳, 王星, 董洛兵, 张珊, 任亚楠, 王毅, 张佳佳
7	标准	矿用隔爆型车用永磁发电机	中国	NB/T 11136-2023	2023 年	国家能源局	常州科研试制中心有限公司	李燕、孔令刚、张红奎、杨帆、钱军等
8	标准	煤矿防爆锂电池车辆动力电源充电安全技术要求	中国	T/CCS 025-2023	2023 年	中国煤炭学会	常州科研试制中心有限公司	张勇,赵英,高文才,高振亮,钱军等
9	软著	无轨胶轮车防撞预警系统	中国	2024SR1 267001	2024 年 08 月 29 日	13670874	中煤能源研究院有限责任公司	/
10	软著	基于激光雷达和 IMU 惯性导航组合的无人驾驶同步建图与定位系统 V1.0	中国	2024SR0 043846	2022 年 10 月 22 日	12447719	西安建筑科技大学	/

六、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
阮顺领	1	系主任	教授	西安建筑科技大学	西安建筑科技大学	对创新点 1, 2, 3, 4 做出实际性贡献。负责项目总体方案、技术路线的制定以及无轨胶轮车安全智能化设计系列产品开发实施方案制定；参与制定具体的实施计划，协调各参加单位的研究内容、进度，汇总研究成果，项目技术把关和项目推广应用。
郑忠友	2	副总经理	正高工	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	对创新点 4 做出实质性贡献。负责项目总体方案、技术路线的制定，以及智能控制系统集成平台的方案制定。
贾龙	3	副总经理	高工	西安重装智慧矿山工程技术有限公司	西安重装智慧矿山工程技术有限公司	对创新点 4 做出实质性贡献，负责煤矿井下辅助运输车辆安全避障系统及管控平台的研究和开发。
姜汉军	4	董事长	高工	常州科研试制中心有限公司	常州科研试制中心有限公司	对创新点 1 做出实质性贡献。负责项目无轨胶轮车防爆系列产品开发及装备产业化的总体实施方案制定。参与制定矿用防爆柴油机无轨胶轮车检修与改造安全要求标准。协调各参加单位的研究内容、进度，汇总研究成果，项目技术把关和项目推广应用。
晏学功	5	党委副书记、总经理	教授 高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	对创新点 3、4 做出实质性贡献。负责无轨胶轮车开发设计及产业化应用的总体实施方案制定。参与制定具体的实施计划，协调各参加单位的研究内容、进度，汇总研究成果，项目技术把关和项目推广应用。
钱军	6	副院长	高工	常州科研试制中心有限公司	常州科研试制中心有限公司	对创新点 1 做出实质性贡献。负责防爆新能源无轨胶轮车锂电力电源及其充电的智能安全保障技术。
李超	7	所长	正高工 工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	对创新点 3、4 做出实质性贡献，负责。
李赵磊	8	总经理	高工	西安重装智慧矿山工程技术有限公司	西安重装智慧矿山工程技术有限公司	对创新点 2 做出实质性贡献，负责煤矿井下辅助运输车辆安全避障系统及管控平台的技术研究及应用推广。
刘战清	9	副总经理	高工	西安重装伟肯电气有限责任公司	西安重装伟肯电气有限责任公司	对创新点 3 和 4 做出实质性贡献，指导开发防爆型变频驱动系统，实现碰撞预警到制动响应全链路控制；提出“永磁驱动+边缘智能”融合架构，将风电领域成熟的多源融合故障预警算法移植至井下场景，解决胶轮车电机过热、振动异常等隐患识别难题。

许建平	10	无	高工	陕西建设机械股份有限公司	陕西建设机械股份有限公司	对创新点 2 和 4 做出实质性贡献,将塔机群控技术移植至井下场景,主导开发“动态路径规划-多车协同避撞”算法,解决单行道会车冲突;建立智能装备生产线,改造传统工程机械产线,实现胶轮车智能控制模块批量化生产。
-----	----	---	----	--------------	--------------	--

七、主要完成单位情况

1.中煤能源研究院有限责任公司

中煤能源研究院有限责任公司全面负责本项目研究方案的制定与组织实施，提出了多模态井下实时感知体系方法及关键技术，确定了车辆行进安全态势智能检测与主动防碰撞控制项目；构建了低带宽自适应海量数据高速通信技术及系列产品，并行推送至多智能应用；参与无轨胶轮车研发过程中关键技术攻关及市场推广；获得发明专利5项，实用新型专利及软件著作权8项。

2.西安建筑科技大学

西安建筑科技大学作为主要完成单位之一，与中煤能源研究院有限责任公司开展深度合作，负责制定项目整体研发计划；负责研究智能控制系统集成平台；提出了井下无轨胶轮车行进间系统智能辅助控制技术；参与无轨胶轮车研发过程中关键技术攻关及市场推广；获得发明专利17项，实用新型专利及软件著作权11项。

3.常州科研试制中心有限公司

常州科研试制中心有限公司作为主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展技术攻关，参与制定1项团体标准；获得发明专利2项，软件著作权5项。

4.陕西建设机械股份有限公司

陕西建设机械股份有限公司作为主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展技术攻关，参与制定项目整体研发计划；负责研究无轨胶轮车在可视范围安全防碰撞预警关键技术；参与无轨胶轮车研发过程中关键技术攻关及市场推广；获得发明专利1项，实用新型专利及软件著作权2项。

5.西安重装智慧矿山工程技术有限公司

陕西安重装智慧矿山工程技术有限公司作为主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展技术攻关，采用AI识别系统、大数据分析算法、UWB精准定位系统、无线mesh通信、建立物资集装化编码体系等先进技术，部署综合联动预警管控系统，实现矿井人员生命实时监测和预警、矿用无轨胶轮车车载智能驾驶及智慧管

控系统的深度融合，“边”+“云”数据融通、业务联动，落实一张图、一个屏的全场景管控系统，可有效降低无轨胶轮车行车过程中的安全事故，保障人员安全；提高了销售额和利润，通过项目实施，我们优化了产品结构，加强了市场营销，而提高了产品的市场竞争力，提高了公司的行业地位，加速了科技成果转化应用；获得发明专利2项，实用新型专利4项。

6.西安重装伟肯电气有限责任公司

西安重装伟肯电气有限责任公司作为主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展技术攻关，开发防爆型智能变频驱动系统，实现胶轮车启停/爬坡工况精准控制，响应速度 ≤ 0.1 秒，保障复杂巷道动态避障需求；设计防爆级联动控制模块，无缝对接UWB定位、红外感应等子系统，实现碰撞预警到制动响应的全链路闭环；提供本质安全型电气解决方案，保障瓦斯环境下设备零火花风险。

7.中煤西安设计工程有限责任公司

中煤西安设计工程有限责任公司主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展技术攻关，构建“路段流量控制-分级预警-装置联动”防撞体系，并推广至无轨胶轮车产品应用；提出动态风险分级与多车协同调度机制，负责无轨胶轮车信号灯智能调控与车流协同控制产品应用；参与无轨胶轮车研发过程中关键技术攻关及市场推广；获得发明专利3项，实用新型专利及软件著作权5项。

八、完成人合作关系说明

1. 项目完成人在项目启动阶段即建立共同立项《井下无轨胶轮车智能安全协同关键技术与应用》，协作开展行业痛点调研与技术需求分析，协同论证项目研发的必要性与可行性，共同确定研究方向、核心目标及整体技术路线。

2. 完成人团队分工配合，分别从技术研发、应用场景适配、资源统筹等维度，共同撰写立项申报材料、完善方案细节，经多轮协同研讨达成共识，最终联合推动项目成功立项并启动实施。

(科技进步奖 提名号 309-4016)

一、项目名称：

黄河几字弯矿区采动水资源保护协同煤基固废高效处理关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该成果以黄河几字弯生态脆弱矿区采动水资源保护协同煤基固废高效处理为目标，基于多尺度驱动下采动覆岩导水裂隙扩展的全过程研究，构建了矿区“判-分-保-集”保水采煤体系；通过三维物理模拟、现场实测，揭示了生态保水下覆岩充填空间结构演化及矸石浆体扩散机制，研发了省内首台矿用破碎制浆智能充填装备作业线；最终提出了采动水资源保护协同煤基固废高效处理的生产模式，形成了全流程动态预警及分区调控技术，解决了全行业的一个重大技术难题，经济社会效益显著。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技科技进步奖提名条件。**特提名为陕西省科学技术进步奖二等奖。**

三、项目简介

本项目属于矿山工程技术基础科学及应用领域。

陕西属于黄河流域中游地区，现阶段作为我国西部能源枢纽基地，煤炭资源丰富。大力解决采动水资源保护协调煤基固废处理的难题是实现黄河几字弯生态脆弱矿区绿色低碳转型、促进生态文明建设高质量发展的重大举措。陕西及黄河几字弯矿区开采强度大、水资源短缺、地表生态环境脆弱等条件独特，采动环境损伤的问题尤为突出。现有理论与技术难以适用，必须创新与变革，集成矿山采动水资源保护协调煤基固废高效处理关键技术，促进黄河几字弯矿区煤炭生产与环境保护协调发展。

以中国中煤重点科技项目等为依托，聚焦陕西及黄河几字弯生态

脆弱矿区采动环境损伤，以先生态保水，后固废处理的原则，通过采动裂隙全过程刻画、三维物理模拟、关键设备研发和分区技术调控等，在采动水资源保护与煤基固废高效处理的理论与方法、技术与装备方面取得了重大突破，并实现了工业化应用。主要创新点如下：

1、首创矿区“裂隙解析-隔水层分治-充填协同智控”的全过程保水采煤方法，形成了黄河几字弯生态脆弱矿区煤炭开采与水资源保护协同发展新范式。

2、发明了考虑采动水资源保护条件下的原位充填固废高效处理方法，研发了“破-搅-充”矸石浆体充填控制技术及其关键设备。

3、集成创新了黄河几字弯生态脆弱矿区“保处联动”多源信息融合的预测调控技术，为我国黄河几字弯生态环境保护与高质量发展持续进步作出了贡献。

项目原创性成果达到国际领先水平，具有很强的市场竞争力和极大推广应用价值，形成系列化实用理论与技术，解决了煤炭行业的一个重大理论与技术难题。在国内外期刊发表论文45篇，授权国内外专利31件，软件著作权3件，出版学术专著2部，培养中国煤炭工业协会科技创新领军先进个人1人，全国煤炭青年科技奖1人，陕西省青年科技新星1人。成果已在陕西和内蒙等矿区推广应用，经济社会效益显著。

四、客观评价

本项目依托中国中煤重点科技项目项目开展系统研究，项目共有4个课题，并于2023年顺利通过中国中煤集团有限公司的成果验收。项目原创性成果达到国际领先水平，中国工程院王国法院士、王双明院士等专家学者给予了积极评价。

由陕西省科学技术情报研究院对成果进行了科技查新，查新结果为研究内容除查新委托项目组成员发表的文献及申请的专利外，在国内外所检其他文献中未见报道。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	他引次数	知识产权是否归国内所有
1	采空区煤矸石浆体充填技术研究进展与展望	煤炭科学技术	朱磊; 古文哲; 宋天奇; 潘浩; 刘治成; 张鹏; 何志伟	中煤能源研究院有限责任公司	2023, 51(02): 143-154.	2023.02	宋天奇	朱磊	59	是
2	The application of short-wall block back fill mining to preserve surface water resources in northwest China	Journal of Cleaner Production	Zhang Yun; Cao Shenggen; Zhang Nan; Zhao Changzheng	西安科技大学	2020, 261: 121232	2020.07	张云	张云	84	是
3	煤矿固体废弃物流态化浆体充填技术	煤炭科学技术	古文哲; 朱磊; 刘治成; 宋天奇; 潘浩; 张新福; 秋丰岐; 赵萌焯; 黄剑斌	中煤能源研究院有限责任公司	2021, 49(03): 83-91	2021.03	古文哲	古文哲	40	是
4	Control of Water-Flowing Fracture Development with Solid Backfill Mining: Designing a Backfill Body Compression Ratio for Water Resources Protection	Mine Water and the Environment	Zhang Yun; Cao Shenggen	西安科技大学	2021, 40(04): 877-890	2021.12	张云	张云	14	是
5	煤矸石浆体充填理论与工程实践	应急管理出版社	朱磊; 古文哲; 徐凯	中煤能源研究院有限责任公司	/	2023.04	/	朱磊	/	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种采煤工作面矸石浆体管道协同充填方法	中国	ZL202010239424.9	2021.06.15	4484558	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 潘浩; 古文哲; 张新福; 李娟; 刘治成; 秋丰岐; 徐凯; 宋天奇; 孙俊彦
2	发明专利	一种煤柱上方一孔多开式地面注浆充填方法	中国	ZL201911102220.4	2020.10.27	4051960	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 古文哲; 潘浩; 宋天奇; 刘治成; 张新福; 秋丰岐; 徐凯; 李超; 孙俊彦; 李娟
3	发明专利	一种煤矿井下矸石就地分选原位注浆充填方法	中国	ZL20201134893.0	2022.12.20	5652942	中煤能源研究院有限责任公司	申斌学; 朱磊; 潘浩; 刘成勇; 张新福; 刘治成; 古文哲; 徐凯; 吴玉意; 李娟; 秋丰岐; 宋天奇; 程海星; 刘文涛; 黄剑斌; 赵萌焯; 袁超峰; 孙俊彦
4	发明专利	一种邻位注浆充填钻孔参数的确定方法	中国	ZL202010239411.1	2023.02.28	5756780	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 宋天奇; 张新福; 古文哲; 刘治成; 潘浩; 秋丰岐; 徐凯; 李娟
5	发明专利	基于最小临界覆岩保护层厚度下的最优充实率设计方法	中国	ZL202210220170.5	2023.02.21	5745268	西安科技大学	张云; 刘永孜; 来兴平; 张雷铭; 万培烽; 张楠; 单鹏飞; 涂宇航; 吴龙泉
6	发明专利	矿区含水层下特厚煤层充填开采及工作面参数确定方法	中国	ZL202210034346.8	2023.02.21	5746400	西安科技大学	张云; 刘永孜; 来兴平; 杨彦斌; 高健铭; 张雷铭; 单鹏飞; 张楠; 万培烽
7	发明专利	基于双目视觉的井下抛矸固体充填充实率动态测量方法	中国	ZL202311494641.2	2024.06.28	7144583	西安科技大学, 西安交通大学	张云; 童亮; 伏映鹏; 来兴平; 杨彦斌; 闫保旭; 张楠; 刘永孜; 何伟; 白立丞; 张龙; 叶昊
8	发明专利	一种井上破碎井下制浆系统及使用方法	中国	ZL202111227982.4	2023.03.14	5786180	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 潘浩; 古文哲; 张新福; 徐凯; 李娟; 刘治成; 宋天奇; 秋丰岐; 赵萌焯; 王翰秋; 袁超峰

9	发明专利	一种煤矿井下矸石破碎缓存系统及使用方法	中国	ZL202210313117.X	2024.07.02	7160946	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 袁超峰; 刘清宝; 徐凯; 古文哲; 刘治成; 宋天奇; 刘成勇; 程海星; 张新福; 潘浩; 赵萌焜; 秋丰岐; 李超; 李娟; 孙俊彦
10	发明专利	一种带有缓存装置的井下矸石粉运输系统及使用方法	中国	ZL202110984589.3	2024.01.26	6654371	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊; 潘浩; 刘治成; 古文哲; 张新福; 宋天奇; 徐凯; 李娟; 秋丰岐; 赵萌焜

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
朱磊	1	总经理	正高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	朱磊为项目第一完成人,牵头本项目整体攻关,提出黄河几字弯生态脆弱矿区“保处联动”的生产模式,揭示了基于生态保水下的采动覆岩充填空间结构演化力学行为,提出开发“点-面-体”综合监测模式。
张云	2	系副主任	副教授	西安科技大学	西安科技大学	张云为主要参与人,揭示了多尺度因素耦合驱动下覆岩导水裂隙扩展机理,构建了矿区“判-分-保-集”保水采煤体系,提出矸石体积可视预测协同充实率控制方法,协助研发了省内首台矿用破碎制浆智能充填装备。
古文哲	3	副所长	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	古文哲为主要参与人,总结出采动覆岩由低位到高位“横-纵”空隙结构形态演化特征,主导研发了省内首台矿用破碎制浆智能充填装备,提出充填固废处理分区调控技术。
刘成勇	4	所长	正高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	刘成勇提出并定义了浆体充填的空间关键层理论,给出影响矸石浆体充填空间分布的关键岩层判别方法,提出不同区域浆体充填体积的量化指标及分区充填控制准则。
宋天奇	5	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	宋天奇长期驻扎现场,收集现场数据,提出了全流程多源信息融合的动态预警技术,量化了4个子流程的预警指标。
赵萌焯	6	无	高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	赵萌焯长期驻扎现场,阐述了导致覆岩裂隙扩展的多尺度诱因、裂隙信息传递和覆岩结构畸变致损机制。
秦喜文	7	无	正高级工程师	中煤西安设计工程有限责任公司	中煤西安设计工程有限责任公司	秦喜文揭示了煤基固废高效精准利用协同采动水资源保护机制,获取了“生态保水-固废利用”与采矿参数的关系。
刘永孜	8	无	无	西安科技大学	西安科技大学	刘永孜探究了采动隔水层失稳与水资源运移的耦合关系,揭示了“隔水层稳定-矸石充填材料体积-临界充实率”三者间的关系。
潘浩	9	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	潘浩长期驻扎现场,协助研发了采动水资源保护条件下的原位充填固废高效精准处理方法,提出了3种充填模式。
秋丰岐	10	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	秋丰岐剖析不同矸石浆体在覆岩裂隙的扩散过程,获取矸石浆体固液两相流输送速度、沿程阻力梯度与覆岩层位的关系。

八、主要完成单位情况

1.中煤能源研究院有限责任公司

中煤能源研究院有限责任公司全面负责本项目研究方案的制定与组织实施，完成了黄河几字弯生态脆弱矿区采动水资源保护协调煤基固废高效处理关键技术研究，揭示了基于生态保水下的采动覆岩充填空间结构演化力学行为，发明了考虑采动水资源保护条件下的原位充填固废高效精准处理方法，研发了“破-搅-充”矸石浆体充填控制技术及其关键设备，集成创新了黄河几字弯生态脆弱矿区“保处联动”多源信息融合的预测调控技术，提出了全流程多源信息融合的动态预警技术。

2.西安科技大学

西安科技大学作为主要完成单位之一，与中煤能源研究院有限责任公司开展深度合作，揭示了多尺度因素耦合驱动下覆岩导水裂隙扩展机理，提出了4种隔水层类型，构建了矿区“判-分-保-集”保水采煤体系，提出了“多维耦合-智能预测-精准控制”的矸石体积可视协同充实率控制方法，协助中煤能源研究院有限责任公司研发了省内首台矿用破碎制浆智能充填装备。

3.中煤西安设计工程有限责任公司

中煤西安设计工程有限责任公司作为主要完成单位之一，协助中煤能源研究院有限责任公司开展现场技术攻关，揭示了煤基固废高效精准利用协同采动水资源保护机制，获取了“生态保水-固废利用”与采矿参数的关系，与中煤能源研究院有限责任公司共同提出了黄河几字弯生态脆弱矿区“保处联动”的生产模式。

九、完成人合作关系说明

“黄河几字弯生态脆弱矿区采动水资源保护协同煤基固废高效处理关键技术”项目研制过程中主要完成人共 10 人，朱磊、古文哲、刘成勇、宋天奇、赵萌焱、潘浩、秋丰岐为中煤能源研究院有限责任公司成员，张云、刘永孜为西安科技大学成员，秦喜文为中煤西安设计工程有限责任公司成员，合作期间 3 个单位在项目研制过程中取得了一系列共同的研究成果。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排

名，各完成人和完成单位一致同意其排名。现对完成人合作关系及参与并做出重要贡献说明如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	朱磊/1; 古文哲/3; 宋天奇/5; 潘浩/9;秋丰岐/10	2020.03.30	2021.06.15	一种采煤工作面矸石浆体管道协同充填方法	必备附件 1-1 发明专利授权： ZL202010239424.9
2	共同成果鉴定	张云/2; 古文哲/3; 宋天奇/5; 刘永孜/8; 潘浩 9;	2021.06.01	2023.12.31	西部矿区短壁块段式采煤水资源运移通道阻控机理及保水关键技术	其他附件 2-15、 2-16、2-17 科技成果鉴定证书
3	共同成果鉴定	朱磊/1; 刘成勇/4; 秦喜文/7;	2020.01.01	2023.12.31	矸石井下就地处置协同胶结充填开采关键技术研究	其他附件 2-12、 2-13、2-14 科技成果鉴定证书
4	共同知识产权	朱磊/1; 古文哲/3; 刘成勇/4; 宋天奇/5; 赵萌焯/6; 潘浩/9; 秋丰岐/10	2020.10.21	2022.12.20	一种煤矿井下矸石就地分选原位注浆充填方法	其他附件 2-3、2-4 发明专利授权： ZL202011134893.0
5	共同知识产权	张云/2; 刘永孜/8	2022.03.08	2023.02.21	基于最小临界覆岩保护层厚度下的最优充实率设计方法	必备附件 1-3 发明专利授权： ZL202210220170.5

(科技进步奖 提名号 309-4017)

一、项目名称：

“双碳”目标下矿区多能互补近零碳供能技术及应用

二、提名单位及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：该项目围绕煤炭行业“双碳”战略转型重大需求，基于煤矿能源资源禀赋和用能特征，创新性地提出了以清洁能源为主体的煤矿高效低碳供能系统方案，首次深度融合太阳能、风能、煤矿伴生余热等多种清洁能源，构建了煤矿多元能源互联互通互动网络拓扑结构，有效解决了可再生能源作为煤矿主要供能方式存在的源荷失配难题，创新建立了基于多维度能效评价指标体系的多能互补系统优化配置模型与评价方法，自主开发了集方案设计、容量规划、设备选型、综合评价等功能于一体的煤矿多能互补近零碳供能系统规划设计平台，经中国煤炭工业协会专家鉴定达到“国际先进”水平。项目成果在大海则煤矿、可可盖煤矿、母杜柴登煤矿、冶坪煤矿等多个工程中成功应用，为零碳煤矿的建设探索了可行路径，具有重要的示范引领作用和广阔的应用前景。

经审查，该项目符合陕西省科学技术进步奖评奖条件，技术创新性突出，应用效果显著，社会经济效益明显，**同意提名该项目申报陕西省科学技术进步奖三等奖。**

三、项目简介

本项目属于煤矿节能降碳及资源综合利用技术领域。

在“双碳”战略背景下，我国煤炭产业面临绿色低碳转型的重大挑战。作为全球最大煤炭生产国，我国2024年煤炭产量占全球总量的52.60%，是实现“双碳”目标的关键领域。随着煤炭产能向西部转移，矿区与风光资源富集区高度重叠，为发展多能互补供能系统提供了天然优势。然而，传统燃煤供热方式面临政策性淘汰的风险，煤矿供能系统存在热负荷与热源规模不匹配、系统运行能效低下等突出问题，亟需创新性的清洁供能解决方案。

遵循国家“双碳”发展战略和中国中煤“产炭不排碳”发展理念，项目团队深入研究了煤矿能源需求特征和可再生能源分布规律，构建了以风能、太阳能、煤矿伴生余热为主体的多能互补热电协同近零碳供能系统。通过建立全年8760小时能流时序模拟模型，形成了经济性、能效性、环保性、安全可靠的多维度评价体系，自主开发了集方案设计、容量规划、数值模拟、设备选型、综合评价等功能于一体的规划设计平台，实现了煤矿供能系统的热电协同、供需平衡和清洁低碳，为煤炭行业绿色转型提供了系统化技术解决方案。主要创新点如下：

创新点1：基于煤矿电热冷等能源负荷需求及矿区太阳能、风能和伴生资源时空分布特征规律，提出以清洁能源为主体的多元能源互联互通互动热电协同近零碳供能系统。

创新点2：通过对煤矿源侧能源资源潜力挖掘、储能侧热电消纳灵活配置、负荷侧多尺度周期热电协同，形成多维度评价指标体系下的能流时序匹配容量规划方法。

创新点3：提出了主动调控的煤矿供能源荷协同优化策略，自主开发了一套适用于煤矿集方案设计、容量规划、数值模拟、设备选型、综合评价等功能的多能互补近零碳系统规划设计平台。

项目研究过程中取得了丰硕的知识产权成果。已授权软件著作权3项，申请并受理专利14项，其中发明专利8项，已授权发明专利1项，实用新型专利6项。项目团队发表核心及以上论文9篇，其中SCI检索1篇，EI检索2篇，核心论文6篇，参编专著1部，为技术的推广应用提供了理论支撑。

四、客观评价

本项目是中国中煤能源集团有限公司D1级重点科研项目，项目编号20221CY011，于2024年5月顺利通过中国中煤能源集团有限公司的成果验收，绩效等级被评为“优秀”。2025年4月由中国煤炭工业协会组织专家对本项目进行了科技成果鉴定，鉴定委员会认为本项目研究成果达到“国际先进”水平，建议进一步加强研究成果在典型煤矿的推广应用。

五、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	他引次数	知识产权是否归国内所有
1	Quantitative sustainability assessment and sensitivity analysis for a solar-driven combined heating and power system integrated with organic Rankine cycle and ground source heat pump	Applied Thermal Engineering	武进; 李瑞华; 向轶; 王帅; 王龙飞; 李庆	中煤能源研究院有限责任公司	2023,220:3561-3579	2023.05	李瑞华	武进	25	是
2	西部地区矿井多能互补热电协同供能系统配置优化研究	煤炭学报	王龙飞; 王帅; 李庆; 李瑞华; 武进; 向轶; 邴喆	中煤能源研究院有限责任公司	2025,50(5):2739-2751	2024.04	王帅	王龙飞	1	是
3	“双碳”目标下西部地区煤矿多能互补供能研究	中国煤炭	王龙飞; 王帅; 李庆; 李瑞华; 向轶; 武进; 邴喆	中煤能源研究院有限责任公司	2023,49(10):36-42	2023.05	王帅	王龙飞	8	是

六、代表性知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种矿区多能互补清洁供热系统及其使用方法	中国	ZL202210343963.6	2024年04月02日	6858790	中煤能源研究院有限责任公司	李瑞华; 董宝光; 李超; 王东军; 武进; 王帅; 王龙飞; 李庆; 赵泽盟; 李智锋; 史元腾
2	实用新型专利	矿井回风余热回收系统	中国	ZL202222505446.2	2022年12月20日	18073937	中煤能源研究院有限责任公司	王龙飞; 朱磊; 董宝光; 王帅; 李庆; 李瑞华; 武进; 李智锋; 李超; 刘成勇
3	实用新型专利	一种基于跨季节蓄热的矿井多能互补清洁供热系统	中国	ZL202221992414.3	2022年11月29日	17919887	中煤能源研究院有限责任公司	李瑞华; 武进; 王龙飞; 董宝光; 王东军; 王帅; 李庆; 向轶
4	实用新型专利	一种基于动力型分离式热管的矿井降温除湿系统	中国	ZL202221932996.6	2022年11月29日	17895190	中煤西安设计工程有限责任公司	张瑞瑛; 苏伟; 杨亮; 冯绪; 刘琪
5	实用新型专利	快速装配的地热能同轴套管换热器及组合换热单元	中国	ZL202221886018.2	2022年11月29日	17906632	中煤西安设计工程有限责任公司	刘琪; 苏伟; 冯绪; 杨亮; 张瑞瑛
6	实用新型专利	矿井深部热能提取及防火系统	中国	ZL202321335765.1	2023年11月17日	20014875	中煤西安设计工程有限责任公司	张瑞瑛; 苏伟; 杨亮; 冯绪; 刘琪; 宋立平; 徐小强; 徐光焰; 李延朋; 董鸿鹏; 袁傲博; 祝彩霞
7	计算机软件著作权	矿区多能互补综合能源系统	中国	2023SR1429655	2023年09月01日	12016828	中煤能源研究院有限责任公司	王龙飞

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
王帅	1	清洁利用研究所副所长	高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	作为项目第一负责人，全面主持了“双碳”目标下矿区多能互补近零碳供能技术的研究工作。牵头制定了项目总体技术路线，主导构建了矿山多能互补热电协同近零碳供能系统理论框架。
邴喆	2	清洁利用研究所所长	高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	负责项目理论研究的学术总结和成果凝练工作，在矿山多能互补供能系统理论体系构建中发挥重要作用。参与了多元能源互联互通互动网络拓扑结构的理论研究，重点开展了源荷失配问题的理论分析。
王龙飞	3	无	高级工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	主要负责全年能流时序模拟的容量规划配置方法研究，构建了储能侧热电消纳灵活配置、负荷侧多尺度周期热电负荷协同的优化模型。牵头开发了矿山多能互补热电协同供能系统规划设计平台，实现了 8760 小时逐时模拟分析功能。
苏伟	4	智能矿山二院副院长	正高级工程师	中煤西安设计工程有限责任公司	中煤西安设计工程有限责任公司	作为中煤西安设计工程有限责任公司技术负责人，主导了项目成果的工程化设计和推广应用。负责将理论研究成果转化为工程设计方案，成功将技术成果应用于大海则煤矿等多个示范工程。
李瑞华	5	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	专门负责矿山多能互补系统的热力学机理研究，重点开展了太阳能驱动的热电联供系统可持续性评估工作。
李庆	6	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	重点参与了矿井回风热泵、空压机余热利用等清洁能源技术的集成研究，在煤矿源荷储能源互补技术方面做出重要贡献。参与了多维度评价指标体系的建立，协助完成了供需线性决策、规划求解等关键算法开发。
武进	7	无	工程师	中煤能源研究院有限责任公司	中煤能源研究院有限责任公司	参与了西部地区矿井用能需求调研和数据收集工作，为项目提供了大量工程实践数据。协助完成了多个示范工程的实施方案编制和现场技术服务。

八、主要完成单位情况

1.中煤能源研究院有限责任公司

中煤能源研究院有限责任公司全面负责本项目的理论研究和技术创新，完成了“双碳”目标下矿区多能互补近零碳供能关键技术的系统性研究。该单位深入分析了煤矿能源需求特征和可再生能源资源分布规律，构建了涵盖太阳能、风能、矿区伴生能源等清洁能源为主体的多能互补热电协同结构模型，创新性地提出了全年能流时序模拟的容量规划配置方法，建立了经济性、能效性、环保性、安全可靠性的多维度评价指标体系。该单位自主开发了矿区多能互补热电协同供能系统规划设计平台，获得了计算机软件著作权，授权了多项矿山供能专利，并发表了多篇矿山供能相关论文，形成了完整的理论体系，为项目技术成果的工程化应用提供了坚实的理论基础和技术支撑。

2.中煤西安设计工程有限责任公司

中煤西安设计工程有限责任公司作为主要完成单位之一，承担了项目理论成果向工程实践转化的关键任务。该单位深度参与了西部地区矿井用电、用热等能源需求调研，收集整理了大量第一手工程数据，为理论研究提供了重要支撑。基于与中煤能源研究院的紧密合作，围绕矿井供能需求，研发了多项专利技术，同时成功将项目技术成果应用于大海则煤矿、母杜柴登煤矿、冶坪煤矿、可可盖煤矿等多个示范工程，编制了详细的工程实施方案和可行性研究报告，实现了煤矿多能互补近零碳供能技术的规模化推广应用，为项目成果的产业化发展作出了重要贡献。

九、完成人合作关系说明

《“双碳”目标下矿区多能互补近零碳供能技术及应用》项目主要完成人共7人，其中王帅、邴喆、王龙飞、李瑞华、李庆、武进为中煤能源研究院有限责任公司员工，苏伟为中煤西安设计工程有限责任公司员工，合作期间两个单位在项目研制过程中取得了一系列共同的研究成果。完成人和完成单位按照实际贡献大小依次排名，各完成人和完成单位一致同意其排名。现对完成人合作关系及做出重要贡献说明如下：

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同成果鉴定	王帅/1; 邴喆/2; 王龙飞/3; 苏伟/4; 李瑞华/5; 李庆/6; 武进/7	2022.7.20	2024.7.09	面向西部矿区的多能互补综合能源系统优化配置与建模仿真研究	科技成果鉴定证书
2	共同知识产权	王帅/1; 李瑞华/5; 王龙飞/3; 李庆/6	2022.03.30	2024.04.02	一种矿区多能互补清洁供热系统及使用方法	发明专利 ZL20221034396 3.6
3	共同知识产权	王龙飞/3; 王帅/1; 李庆/6; 李瑞华/5; 武进/7	2022.09.20	2022.12.20	矿井回风余热回收系统	实用新型专利 ZL20222250544 6.2
4	共同知识产权	李瑞华/5; 武进/7; 王龙飞/3; 王帅/1; 李庆/6	2022.07.29	2022.11.29	一种基于跨季节蓄热的矿井多能互补清洁供热系统	实用新型专利 ZL20222199241 4.3
5	共同研究成果	王龙飞/3; 王帅/1; 李庆/6; 李瑞华/5; 武进/7; 邴喆/2	2023.10.25	2024.04.25	西部地区矿井多能互补热电协同供能系统配置优化研究	煤炭学报论文
6	共同研究成果	武进/7; 李瑞华/5; 王帅/1; 王龙飞/3; 李庆/6; 武进/7	2022.11.10	2023.05.10	Quantitative sustainability assessment and sensitivity analysis for a solar-driven combined heating and power system	Applied Thermal Engineering 论文
7	共同研究成果	王龙飞/3; 王帅/1; 李庆/6; 李瑞华/5; 武进/7; 邴喆/2	2022.12.02	2023.05.02	“双碳”目标下西部地区煤矿多能互补供能研究	中国煤炭论文

（科技进步奖 提名号 309-4018）

一、项目名称：

黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形机理及其控制技术

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该项目将试验研究、理论分析、数值模拟及现场试验相结合，对黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形机理及其控制技术进行系统研究，取得以下成果：

1.揭示了施工降水引起的黄土地层水力梯度与浸润线变化规律，提出了黄土失水收缩变形诱发的沉降计算方法，给出了黄土地区暗挖车站施工降水方案设计参数确定方法。

2.揭示了洞桩法暗挖车站黄土地层变形规律和宏观损伤破坏机理，提出了黄土地区暗挖车站边桩的力学计算模型和计算方法，形成了暗挖车站竖井、导洞、边桩、中柱、扣拱等工序关键施工技术。

3.构建了融合钻孔窥视、分层沉降、无人机遥感、自动测绘、INSAR遥感测量等技术的“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系，建立了黄土地层暗挖车站围岩变形监测数据智能反馈机制与控制成套技术。

项目成果在西安地铁广济街站、新植物园站等工程成功应用，经济、社会及环境效益显著。

项目提供的鉴定资料齐全，符合技术鉴定要求。项目完成了预定的研究内容和目标，同意通过鉴定。成果达到国际领先水平。

成果材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。**特提名为陕西省科技进步奖三等奖。**

三、项目简介

本项目属于土木工程建筑业中“地下工程”领域。

随着我国城镇化进程的加速推进，地铁作为大运量、高效率、准点运行的现代化交通方式，对于城市的可持续发展具有不可替代的重要意义。地铁车站作为地铁系统的核心枢纽，常选址于路口区域。该区域路面交通流量庞大，周边建筑密集，这种日趋复杂的建设环境使地铁车站的建设方法不断地创新和发展。洞桩法暗挖车站因对周边环境的影响相对较小，不存在交通疏散问题等优势，在特定复杂环境下往往能发挥不可替代的作用，目前国内地铁建设的大环境下扮演越来越重要的角色。

西安作为西部经济发展的中心，正在大力建设城市地下轨道交通，地铁六号线广济街站是西安修建地铁以来第一个全暗挖车站（洞桩法），后续又在新植物园站、景曜门站、丰禾路站、曲江池西站及何家营站等采用暗挖法施工。然而，目前复杂环境下黄土地区暗挖车站施工并未形成较为成熟的理论体系，对黄土地层洞桩法暗挖车站施工安全和变形控制的研究相对较少，更是缺少指导暗挖车站施工相关的规范与标准。一旦洞桩法施工引起地层变形过大，容易造成建（构）筑物倾斜或沉陷，导致道路沉降而影响地面交通，同时洞桩法暗挖车站结构断面变化多，工序转换和施工受力相对复杂，黄土的复杂特性又进一步增加洞桩法施工难度和风险。因此，为减小洞桩法暗挖车站施工对周围环境的影响，保障黄土地区洞桩法暗挖车站的施工安全，亟需开展复杂环境下黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形机理及其控制技术的研究。

本项目综合采用室内试验、理论分析、数值模拟、现场监测等相结合的手段开展研究。首先，根据地下水渗流理论和土体固结变形理论，揭示了施工降水引起的黄土地层水力梯度与浸润线变化规律，给

出了黄土地区暗挖车站施工降水方案设计参数确定方法；利用室内力学性能试验和核磁共振细观试验，揭示了洞桩法暗挖车站黄土地层变形规律和宏细观损伤破坏机理；采用弹性地基梁理论，构建了黄土地区洞桩法暗挖车站边桩力学计算模型，给出了洞桩法暗挖车站边桩结构内力计算公式和边桩设计参数，形成了黄土地层暗挖车站竖井、导洞、边桩、中柱、扣拱等关键施工技术；基于钻孔窥视、分层沉降、无人机遥感、自动测绘、INSAR遥感测量等技术，构建了“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系，建立了黄土地层暗挖车站围岩变形监测数据智能反馈机制与控制成套技术。研究成果对揭示黄土地层洞桩法施工的变形破坏机理、控制洞桩法暗挖车站的围岩变形、保障整个暗挖车站的施工安全具有重要的理论意义和工程应用价值。

四、客观评价

该成果本身是城市地下空间工程建设领域的一个突破，体现了多学科融合，促进了城市轨道交通行业的发展。采用洞桩法在黄土地区复杂环境下修建地铁车站已成为无法避免的工程问题，本项目通过对黄土地层洞桩法暗挖车站安全施工和变形控制的系统研究，在洞桩法暗挖车站围岩变形机理、关键施工技术及变形智能监测等方面获得了系列理论技术创新成果。项目攻克了“黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形控制”的技术难题，提出了黄土地区暗挖车站施工降水方案设计参数确定方法，揭示了洞桩法暗挖车站黄土地层变形规律及宏细观损伤破坏机理，形成了黄土地层洞桩法暗挖车站关键施工技术，建立了黄土地层暗挖车站围岩变形监测数据智能反馈机制与控制成套技术。该系列理论技术创新成果丰富了地铁暗挖车站施工技术与方法，指导了多个黄土地区洞桩法暗挖车站的快速施工，保障了整个暗挖车站的施工安全和地面交通的正常运行，经济和社会效益显著。

在西安地铁新植物园站、广济街站及曲江池西站等工程中，应用

了项目的科研成果，实现了黄土地层洞桩法暗挖车站“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测，编制了陕西省工程建设地方标准《城市轨道交通暗挖车站施工技术规程》，指导了黄土地区城市轨道交通暗挖施工，有效保证了洞桩法暗挖车站的施工安全，并减少了返工现象和施工浪费，在施工质量控制、现场文明施工及加快施工进度等方面取得了良好的应用效果，节省开支约**1.64**亿元，创造了良好的经济效益。

地铁暗挖车站围岩变形控制技术成功应用，有效控制了洞桩法暗挖车站施工期间的地层变形，减小了施工对周围环境的影响，保障了地面交通的正常运行，使得暗挖车站施工期间处于安全稳定状态，避免了工程事故的发生，促进了社会的和谐发展。本项目符合城市轨道交通绿色施工、节约成本、提高质量、加快进度、保证安全的要求，社会效益十分显著。

伴随着城市地铁将迎来发展建设新高潮，洞桩法施工地铁车站逐步开始在西部黄土地区推广使用，社会需求量将越来越大。因此，本项目研究成果有很好的普遍性和适用性，不仅可为黄土地层地铁暗挖车站的安全施工和变形控制提供技术支撑，而且对整个西北地区复杂环境下黄土地层的暗挖车站，都会起到很好的技术辐射效应，具有良好的推广应用前景。

项目发表论文**17**篇，编制陕西省工程建设标准**1**部，授权发明专利**4**项，实用新型专利**3**项，培养硕士研究生**4**人。查新结果表明：国内外未见与本项目创新点相同的文献报道成果。项目成果被机械工业勘察设计研究院有限公司郑建国中国工程勘察大师担任主任委员的鉴定委员会评价为国际领先水平。

本成果为黄土地层地铁暗挖车站的安全施工提供了坚强技术保障，促进了黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形破坏机理和围岩控制技术水平的提高，有力推动了黄土地区城市轨道交通施工技术

的科技进步。伴随着城市地铁迎来发展建设的新高潮，洞桩法施工地铁车站将逐步开始在西部黄土地区推广使用，本项目成果社会需求量将越来越大，不仅可为西安地铁暗挖车站的安全施工和变形控制提供技术支撑，而且对整个西北地区复杂环境下暗挖车站具有很好的技术辐射效应，推广应用前景广阔。

主要应用单位情况如下表：

序号	应用单位	应用的技术	应用起止时间	应用对象、规模及效益	单位联系人/电话
1	中建三局集团有限公司	“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系	2019.10-2023.12	西安地铁八号线工程施工总承包1标段项目，节约开支约5100万元	张洋 /18700917412
2	中铁十六局集团有限公司	黄土地区暗挖车站施工降水方案设计参数确定方法	2023.10-2024.06	西安地铁六号线二期工程TJSG-16标项目，节约开支约4500万元	刘成 /13165795805
3	中建五局集团有限公司	城市轨道交通暗挖车站施工技术规程	2019.10-2023.12	西安地铁八号线工程施工总承包1标段项目一部分，节约开支约4800万元	朱鹏飞 /18629638374
4	中铁二十一局集团有限公司	城市轨道交通暗挖车站施工技术规程	2022.01-2024.04	西安地铁六号线二期工程TJSG-21标项目，节约开支约2000万元	杨勇 /18609205633

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	地铁车站洞桩法双向开挖群洞力学效应研究	城市轨道交通研究	王招兵;叱干向明;张洋;任建喜;张亮;张琨;王蔓	中建三局集团有限公司	2025, 28(03): 51-57	2023	王招兵	王蔓	王招兵;叱干向明;张洋;任建喜;张亮;张琨;王蔓	-	0	是
2	Numerical Simulation Analysis on Construction Process of Pile Method Pilot Tunnel of a Subway Station in Xi ' an	2022 8th International Conference on Hydraulic and Civil Engineering: Deep Space Intelligent Development and Utilization Forum	Zhao-Bin Wang; Jian-Xi Ren; Xiang-Ming Chi-Gan; Liang Zhang; Yang Zhang	中建三局集团有限公司	2022	2022	Zhao-Bin Wang	Zhao-Bin Wang	Zhao-Bin Wang; Jian-Xi Ren; Xiang-Ming Chi-Gan; Liang Zhang; Yang Zhang	-	0	是
3	Simulation analysis and construction optimization measures of underground excavation method in subway station in Loess geological region	Conference: 8th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation	Kun Guo; Yang Zhang, Hualong Li; Qinxiong Zhang	中建三局集团有限公司	2023	2023	Kun Guo	Kun Guo	Kun Guo; Yang Zhang, Hualong Li; Qinxiong Zhang	-	0	是
4	Stress characteristics of side pile of undercut station in New Botanical Garden Station	Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Seismic Resistance, Monitoring and Detection	Yang Zhang, Lu Zhang, Wen Wang, Ruixue Wang, Lei Zhang, Jianxi Ren	中建三局集团有限公司	2023	2023	Yang Zhang	Yang Zhang	Yang Zhang, Lu Zhang, Wen Wang, Ruixue Wang, Lei Zhang, Jianxi Ren	-	0	是
5	Experimental Study on Moisture Migration of Unsaturated Loess during the Freezing Process	Advances in Civil Engineering	Hui Zhang, Tiehang Wang, Enlong Liu, and Mengling Hu	西安科技大学	2020	2020	Mengling Hu	Mengling Hu	Hui Zhang, Tiehang Wang, Enlong Liu, and Mengling Hu	-	0	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	标准规范	城市轨道交通暗挖车站施工技术规程	中国	DB61_T 5055-2023	2023-5-18	J16947-202 3	中建三局集团西北有限公司、西安科技大学、陕西省建工集团股份有限公司	卢华勇;王招兵;骆发江;任建喜;张华;李华龙;李强;施文鑫;钱辉斌;张亮;何小华;黄奎;等
2	发明专利	洞室狭小空间钻孔灌注桩成孔装备及其作业方法	中国	CN116733369B	2024-04-26	6947102	中建三局集团有限公司	叱干向明;李强;张洋;钮洪亮;王招兵;黄奎;李华龙;赵正飞;张勤雄;慕冬冬
3	发明专利	一种预制装配式竖井内支撑结构	中国	CN111927464B	2023-01-31	5718774	中建三局集团有限公司	李强;骆发江;李鹏;李华龙;黎建宁;叱干向明;贾增博;张蕾;党成;徐照波;张洋;张陇平;王文;代子洲;李艳
4	发明专利	地下施工过程中地下水位及地层变形可视化实时监测方法	中国	CN114382458B	2023-06-27	6090804	中建三局集团有限公司、西安科技大学	李华龙;任建喜;王招兵;张琨;黄奎;张亮;黎建宁;叱干向明;李强;张洋;徐照波

5	发明专利	穿心分体式随钻出土装置 和灌注桩成孔设备	中国	CN 116752920 B	2024-11-12	7517723	中建三局集团有限公司	张洋;叱干向明;李强;钮洪亮;张 九龙;王招兵;黄奎;李华龙 徐照波;赵正飞;张勤雄;慕冬冬
---	------	-------------------------	----	----------------	------------	---------	------------	--

六、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
李华龙	1	基础设施分公司总工程师	教授级高工	中建三局集团有限公司	中建三局集团西北有限公司	课题负责人,负责项目研究和应用全过程
胡梦玲	2	系副主任	副教授	西安科技大学	西安科技大学	研究方案设计和理论分析
黄奎	3	基础设施分公司党委书记、总经理	高级工程师	中建三局集团有限公司	中建三局集团有限公司	技术指导和现场监测
张亮	4	无	讲师	西安科技大学	西安科技大学	室内试验和理论分析
李强	5	项目经理	高级工程师	中建三局集团有限公司	中建三局集团有限公司	现场试验和数据监测
张忍杰	6	无	硕士生	西安科技大学	西安科技大学	室内试验和数值模拟
张洋	7	项目总工	高级工程师	中建三局集团有限公司	中建三局集团有限公司	数值模拟和数据处理

七、主要完成单位情况

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西安科技大学	<p>作为项目的第一完成单位,负责研究和应用全过程,确保项目组织、策划和实施的顺利完成,制定项目研究总体方案,技术路线,研究内容和实施方案等,具体贡献如下:(1)制定了黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形机理及其控制技术研究总体方案,根据非饱和土固结变形理论,揭示了施工降水引起的黄土地层水力梯度与浸润线变化规律,给出了黄土地区暗挖车站施工降水方案设计参数确定方法;(2)利用室内力学性能试验和核磁共振细观试验,揭示了洞桩法暗挖车站黄土地层变形规律和损伤破坏机理,基于弹性地基梁理论和随机介质理论,建立了黄土地区洞桩法暗挖车站边桩力学计算模型和多导洞施工地表沉降预测模型,给出了洞桩法暗挖车站关键工序的成套施工技术;(3)基于钻孔窥视、分层沉降、无人机遥感、自动测绘、INSAR 遥感测量等技术,构建了“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系,建立了黄土地层暗挖车站围岩变形监测数据智能反馈机制与控制成套技术,有效控制了洞桩法暗挖车站施工期间的地层变形,保障了地面交通的正常运行,实现了黄土地层洞桩法暗挖车站的安全快速施工。</p>
2	中建三局集团西北有限公司	<p>作为项目的合作完成单位,负责研究和应用全过程,确保项目组织、策划和实施的顺利完成,营造良好的现场检验环境,提供配套机械设备,具体贡献如下:(1)编制了城市轨道交通暗挖车站施工技术规程,研发了一种洞室狭小空间钻孔灌注桩成孔装备及其作业方法,有效解决了狭小空间环境下钻孔灌注桩机械成孔施工难题,缩短了洞桩法暗挖车站的施工工期。(2)提出了一种洞桩法车站施工过程中地下水位变化及地层变形三维数字钻孔可视化实时监测方法,实现了暗挖车站围岩变形和地下水位变化的完整、连续、实时监测,形成了洞桩法暗挖车站竖井、导洞、边桩、中柱、扣拱等关键施工技术。(3)协同构建了黄土地层洞桩法暗挖车站“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系,完成了洞桩法暗挖车站围岩变形及车站结构受力现场监测和分析工作,验证并完善了黄土地层洞桩法暗挖车站“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系,</p>

		促进了城市暗挖车站围岩变形控制技术水平的提高。
3	中建三局集团有限公司	作为项目的合作完成单位，负责研究和应用全过程，确保项目组织、策划和实施的顺利完成，保证科研资金投入等，具体贡献如下：（1）研发了一种预制装配式竖井内支撑结构体系和洞室狭小空间钻孔灌注桩成孔装备及其作业方法，有效解决了狭小空间环境下钻孔灌注桩机械成孔施工难题，缩短了黄土地层洞桩法暗挖车站的施工工期。（2）提出了一种洞桩法车站施工过程中地下水位变化及地层变形三维数字钻孔可视化实时监测方法，实现了暗挖车站围岩变形和地下水位变化的完整、连续、实时监测，形成了洞桩法暗挖车站竖井、导洞、边桩、中柱、扣拱等关键施工技术。（3）协同构建了黄土地层洞桩法暗挖车站“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系，完成了洞桩法暗挖车站围岩变形及车站结构受力现场监测和分析工作，验证并完善了黄土地层洞桩法暗挖车站“洞内+地层+地面”围岩变形智能监测体系，促进了城市暗挖车站围岩变形控制技术水平的提高。

八、完成人合作关系说明

该项目由西安科技大学、中建三局集团西北有限公司、中建三局集团有限公司合作完成。西安科技大学作为项目的总负责和牵头单位，负责项目研究和应用全过程，确保项目组织、策划和实施的顺利完成，并进行室内试验、理论分析和数值模拟等方面的研究；中建三局集团西北有限公司是项目的参与单位，主要负责项目现场监测和现场试验；中建三局集团有限公司为项目的参与单位，负责项目的整体规划，组织各方参与单位开展项目实施，保证科研资金投入，并负责现场监测和现场试验，且中建三局集团西北有限公司是中建三局集团有限公司的子公司。

完成人中李华龙属于中建三局集团西北有限公司；胡梦玲、张亮、张忍杰属于西安科技大学；黄奎、李强、张洋属于中建三局集团有限公司。项目完成单位从形式上组成产学研合作联盟。

本项目是由李华龙作为第一完成人与胡梦玲（2），黄奎（3），张亮（4），李强（5），张忍杰（6），张洋（7）等人共同完成。项目主要完成人均从城市轨道交通暗挖车站围岩变形控制技术领域研究工作，多年来一直保持深度合作。李华龙是项目负责人，胡梦玲是项目技术负责人，自2016年以来二人共同致力于黄土地区地铁洞桩法暗挖车站围岩变形机理及其控制技术的研究，全面负责研究内容、研究方法、技术路线制定和实施。共同合作完成项目立项和实施、撰写论著、申请专利、

申报奖项等工作，该报奖项目是课题组全体成员长期深度合作科研成果的高度融合和聚焦总结。

（科技进步奖 提名号 309-4019）

一、项目名称

面向煤矿井下安全主动防控的视频语义分析关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省煤炭学会

提名意见：

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，材料齐全，并按照要求对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。

项目面向煤炭井下安全的迫切需求，依托西安电子科技大学智能感知与图像理解教育部重点实验室，联合西安重装伟肯电气有限责任公司、西安科技大学、中煤科工集团信息技术有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司等单位共同开展研发，针对煤炭井下区域完全无自然光、设备照明覆盖范围小、亮度低和均匀性差导致的视频图像质量低等问题，在视频图像质量增强、图像融合技术、异常目标识别跟踪等方面取得了突破，形成以视频图像分析与处理技术为核心的井下隔爆兼本安型图像采集设备、井下边缘视频处理设备、便携式风险隐患防控智能终端、智能化视频管控平台等系列化产品，实现了井下视频监控系统核心设备的国产化。项目已在全国多个煤矿企业实现推广应用，取得了显著的经济和社会效益。根据《陕西省科学技术厅关于做好 2025 年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照陕西省科学技术进步奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省科学技术三等奖。

三、项目简介

煤炭是我国能源安全的重要基石，其井下生产活动始终面临着水、火、瓦斯、顶板、煤尘等灾害的严重威胁。传统的安全管理模式高度依赖人工巡检、监控员盯屏和事后分析，存在实时性差、易疲劳疏忽、预警能力弱等固有缺陷。海量的井下视频监控数据未能转化为有效的安全信息，形成了“看不清、辩不明、响应慢”的困境。

本项目旨在突破这一瓶颈，紧密围绕国家关于“推动煤矿智能化建设、保障矿山安全生产”的战略需求，开展面向煤矿井下安全主动防控的视频语义分析关键技术研究。其核心意义在于：将计算机视觉与人工智能技术深度融合煤矿安全生产体系，实现对井下“人-机-物-环”关键要素的智能感知、精准识别与风险研判，推动安全管理从“被动响应”向“主动预警”的根本性变革，对有效预防和减少煤矿安全事故、保障矿工生命安全、提升煤矿智能化水平具有重大的社会和经济价值。

四、客观评价

项目经过十余年系统研究形成了具有自主知识产权的煤矿井下安全主动防控的智能化视频识别关键技术，提升了煤炭井下作业的安全性。

1. 科技成果查新

项目成果于 2024 年 3 月 28 日进行了国内外科技查新，针对煤矿井下作业环境的特殊性，提出了井下安全保障的智能化视频监控技术体系，完善了煤矿安全监控系统通用技术要求相关标准；针对煤矿井下复杂环境，发明了低质图像增强、多模态图像融合及图像重建方法；针对煤矿井下多设备多任务多工序、作业空间受限的特点，发明了井下“人-机-环”视频智能识别方法，攻克了井下安全隐患精准识别技术。以上述关键技术为查新点，通过国内外 29 个文献数据库进行检索并对比，得出结论：除项目组成员发表的前期研究成果外，未见到与该项目查新点内容相同的中外文文献报道，证明了本项目的创新性。

2. 科技成果鉴定

2023 年 6 月 29 日陕西省煤炭学会组织专家对项目“基于 AI 视觉识别的煤矿井下安全监控技术及应用”进行科技成果鉴定。专家组一致认为，项目研究方法科学，技术路线合理，达到

了预期目标。同时该项目解决了煤矿井下低光照、高粉尘、水雾等恶劣条件下的视频图像清晰化重构等问题；实现了井下视觉感知、多目标的检测、识别与煤矿智能视频安全监测及安全管理。项目成果在多家煤矿企业得到成功应用，系统运行稳定可靠，取得了显著的经济和社会效益。经过评审，专家组认定该项目达到国际先进水平，建议进一步推广应用。

五、应用情况

依托该项目理论研究成果和关键核心技术，形成了国内外先进水平和自主知识产权的新技术与新系统，研发的四个系列 55 款产品及系统均已实现规模化生产与销售。此项目成果已应用于鄂尔多斯市转龙湾煤炭有限公司，兖矿能源集团股份有限公司，兖煤菏泽能化有限公司等企业，提升了煤矿井下作业的安全，经济社会效益显著。部分典型应用单位如下表：

号	单位名称	应用技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人及电话
	陕西涌鑫矿业有限责任公司安山矿	项目整体技术	煤矿井下网络通信系统/5套 矿用高可靠 5G 专网系统/5套	2021年至今	雷鹏 13772729803
	陕煤铜川矿业有限公司陈家山煤矿	项目整体技术	人员违章监测预警系统/4套 矿用高可靠 5G 专网系统/1套	2021年至今	史永 13992943688
	陕煤铜川矿业有限公司玉华煤矿	项目整体技术	矿用辅助运输视频监管系统/1套 人员违章监测预警系统/2套	2021年至今	刁振 15129579356
	陕煤神木红柳林矿业有限公司	项目整体技术	设备运行管理系统/1套 智能视频监测系统/4套	2021年至今	杨春平 13992269768
	陕煤黄陵矿业有限公司一号矿	项目整体技术	智能视频监测系统/4套 煤矿“电子封条”系统/1套	2021年至今	孙飞 18700113239

六、主要知识产权和标准规范等目录

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
----	--------	----------	--------	-----	------	------	-----	-----

11	发明专利	一种井下行人安全监管系统	中国	ZL202110160885.1	2023年2月14日	第5738474号	西安重伟电气有限公司	李弘, 向东, 张成林, 靳军, 邢军, 刘宁, 高函
22	发明专利	一种井下输电图像增强方法	中国	ZL201910905542.6	2023年02月24日	第5749958号	西安科技大学	杜京, 郝乐, 杨若楠, 陈航, 武董, 李刚, 晓鹏, 陈乃, 健杰, 闫爱, 军王, 程佳, 陈康
33	发明专利	基于深度学习任务的联合多目标跟踪方法	中国	ZL202210107826.2	2024年11月26日	第7553779号	西安电子科技大学	郭雨, 薇范, 林玉, 高宇, 鹏杜, 佳勃
44	发明专利	一种皮带接带处的检测及方法	中国	ZL202010449072.X	2021年06月8日	第4474759号	西安科技大学	杜京, 郝乐, 史志, 陈瑞, 宇董, 航刚, 张后, 斌刘, 赞超

55	发明专利	一种用于井下计视钻杆的统计方法	中国	ZL202010448311.X	2023年04月07日	第5854991号	西安科技大学	杜京义, 郝乐, 刘战清, 杜瑾, 崔丽军, 陈史志, 陈宇, 董航, 张刚, 张后斌, 刘赞超
66	标准	煤矿智能视频监控通用技术规范	中国	ICS 73.100.99 D 98	2021年12月21日	T/CCS 021—2021	西重安装有限公司	
77	发明专利	基于多态分析的多煤分选系统	中国	ZL202111531791.7	2023年10月17日	第6402869号	中科集信技术有限公司	王海军, 陶伟忠, 胡小刚, 张泽江, 张博, 张勇, 李永博
88	发明专利	一种轻量化煤矸检测目标方法	中国	ZL202110557484.X	2023年6月23日	第6076367号	西安科技大学	杜京义, 史志, 郝乐, 陈宇, 陈航, 张瑞, 张兴, 杨宁, 池浩宇
99	发明专利	一种用于煤矿精确	中国	ZL201910186673.3	2022年12月27日	第5666701号	西安科技大学	杜京义, 郝乐, 靳

		监测人员进出的方法						军, 王西超, 刘亚, 郑武平, 杨若楠, 汶武, 陈宇航, 胡伟杰, 井萌
110	论文	Fuzzy Sparse Autoencoder Framework for Single Image Per Person Face Recognition	中国	IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS	2018年8月	48.8 (2018): 2402-2415	西安电子科技大学	郭雨薇, 焦李成, 王爽, 王硕, 刘芳

七、主要完成人情况

主要完成人包括：郭雨薇、杜京义、刘宁、张向东、陶伟忠、刘立平、高瑞

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

主要完成单位：西安电子科技大学、西安重装伟肯电气有限责任公司、西安科技大学、中煤科工集团信息技术有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司

九、完成人合作关系说明

郭雨薇、杜京义、刘宁、刘立平、张向东、陶伟忠、高瑞共同参与陕煤科研项目“煤矿井下人员规范操作智能化视频监控系统”的研发工作。

刘宁、张向东共同申请发明专利《一种井下人员行为安全监督管理系统》。

(科技进步奖 提名号 309-4020)

一、项目名称

亿吨矿区高强采动多维卸压协同防控关键技术及工程应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

随着煤矿开采强度与深度的不断增加，坚硬顶板、强矿压、冲击地压及临空巷道大变形等灾害问题日益突出，严重制约煤矿安全高效生产。神东矿区作为产能超 2 亿吨的特大型煤炭生产基地，煤层厚度大，顶板普遍赋存厚硬岩层，且随着机械化和智能化的发展，工作面回采速度变快，致使采空区空间大，顶板悬顶面积大，矿压显现剧烈，动力灾害频发。本项目针对高强采动强矿压条件下煤炭资源开发面临的动力灾害问题，阐明了高强采动工作面全域动压灾害引发机制，创建了高强采动条件下多维卸压协同防控理论，揭示了切顶碎胀与断顶卸压围岩协同控制机理，发明了多维卸压协同防控技术装备与工艺体系，实现了对高强采动强矿压的有效控制，降低了动力灾害风险，为亿吨矿区煤炭安全高效开采提供了坚实的技术保障。

项目成果在中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司进行了成功应用，获得了显著的经济和社会效益，具有广阔的推广应用前景。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。

同意提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

神东矿区作为产能超 2 亿吨的特大型煤炭生产基地，煤层厚度大，顶板普遍赋存厚硬岩层，且随着机械化和智能化的发展，工作面回采速度变快，致使采空区空间大，顶板悬顶面积大，矿压显现剧烈，动力灾

害频发，现有强矿压防控理论及技术难以完全满足高强开采需求。针对这一问题，本项目以神东矿区为研究对象，阐明了高强采动强矿压灾害引发机制，创建了多维卸压协同防控理论，揭示多维卸压协同控制机理，研发了与之配套的防控技术装备与工艺体系。项目取得的创新点如下：

(1) 明确了高强采动工作面全域动压灾害引发机制，提出了高强采动工作面“低位-临空-高位”多维卸压补偿理论，揭示了切顶碎胀与断顶卸压协同作用下高强采动工作面围岩控制机理。

(2) 提出了高强采动多维卸压协同防控关键技术，实现了采场动力灾害源头治理与全域防控；研发了卸压防控多层次监测与灾害智能预警系统，明确了三维裂隙场精准展布特征，实现了矿山压力灾害智能预警。

(3) 研发了多维卸压协同防控智能成套装备系统，创建了“低位-临空-高位”多维卸压一体化工艺体系，实现了高强采动条件下的安全开采目标。

项目研究成果在布尔台煤矿、大柳塔煤矿、补连塔煤矿、保德煤矿、哈拉沟煤矿、上湾煤矿等典型高强采动强矿压矿井中成功应用，大幅降低了采场巷道围岩应力，实现了低压安全开采，解决了高强采动强矿压矿井悬顶面积大、围岩大变形及冲击动力灾害等难题，取得了灾害控制、资源节约、环境保护的安全高效开采重大成就，具有显著的经济社会效益和广阔的推广应用前景。

四、客观评价

2025年5月17日，中国煤炭工业协会在神东国际交流中心组织专家对中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司和中煤科工西安研究院（集团）有限公司共同完成的“临空高应力巷道控向断顶源头卸压护巷技术与装备研究”项目进行科技成果鉴定。与会专家听取了项目汇报，审查了相关资料，经质询、讨论，形成如下鉴定意见：项目鉴定资料齐全，符合鉴定要求。项目成果已在神东布尔台煤矿、石圪台煤矿、榆家梁煤矿和保德煤矿等多个矿井成功应用，经济和社会效益显著。同意通过鉴定，项目成果达到国际领先水平。

五、应用情况

神东矿区煤层厚度大，顶板普遍赋存厚硬岩层，且随着机械化和智能化的发展，工作面回采速度变快，致使采空区空间大，顶板悬顶面积大，矿压显现剧烈，动力灾害频发。针对这一问题，本项目以神东矿区为研究对象，阐明了高强采动强矿压灾害引发机制，创建了多维卸压协同防控理论，揭示多维卸压协同控制机理，研发了与之配套的防控技术装备与工艺体系。

项目研究成果已在布尔台煤矿、大柳塔煤矿、补连塔煤矿、宝德煤矿、哈拉沟煤矿、上湾煤矿等典型高强采动强矿压矿井中成功应用，大幅降低了采场巷道围岩应力，实现了低压安全开采，解决了高强采动强矿压矿井悬顶面积大、围岩大变形及冲击动力灾害等难题，取得了灾害控制、资源节约、环境保护的安全高效开采重大成就，具有显著的经济社会效益和广阔的推广应用前景。

六、主要知识产权和标准规范等目录

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	论文	多煤层采动层间覆岩破断规律及稳定性控制研究	中国	DOI:10.13827/j.cnki.ky.ky.2024.08.017.	2024.08.01	矿业研究与开发	国能神东煤炭集团有限责任公司布尔台煤矿; 国能神东煤炭集团有限责任公司; 中煤科工开采研究院有限公司; 重庆大学资源与安全学院	张传玖; 李宣良; 贾士耀; 杨正义; 郭坤勇; 许乐
2	发明专利	一种智能无限级分段水力压裂系统	中国	ZL202110654589.7	2023.04.07	证书号第5846594号	中煤科工集团西安研究院有限公司	郑凯歌; 张俭; 李延军; 陈冬冬; 陈志胜; 李彬刚; 戴楠; 杨欢; 赵继展; 张静非
3	发明专利	一种坚硬顶板冲击地压分段控向压裂治理方法	中国	ZL202010108802.X	2021.11.09	证书号第4779399号	中煤科工集团西安研究院有限公司	郑凯歌; 张俭; 李延军; 赵继展; 陈志胜; 李彬刚; 戴楠; 陈冬冬
4	发明专利	坚硬顶板梳状长钻孔分段压裂巷道变形源头治理方法	中国	ZL202010108800.0	2021.06.22	证书号第4502946号	中煤科工集团西安研究院有限公司	郑凯歌; 李延军; 赵继展; 陈志胜; 李彬刚; 张俭; 陈冬冬; 戴楠
5	发明专利	一种角度可控定向射孔及切缝一体化装置及应用方法	中国	ZL202210065155.8	2024.02.27	证书号第6748109号	中煤科工集团西安研究院有限公司	王泽阳; 郑凯歌; 戴楠; 刘昌益; 杨欢; 李延军; 王豪杰; 李彬刚; 陈志胜; 杨森; 王林涛; 方秦

								月
6	发明专利	一种机械式非爆破网面钻胀切顶卸压方法	中国	ZL202310294858.2	2024.01.19	证书号第6629097号	中国矿业大学（北京）	高玉兵；付强；张星星；杨晓杰；何满潮
7	发明专利	基于剪切试验的锚杆处理方法、装置及电子设备	中国	ZL202410272341.8	2024.05.28	证书号第7043995号	中国矿业大学（北京）；北京国锚工程技术研究院有限公司	杨军；何肖辉；王科学；孙志成；郝清硕；李喆；董美强；边文辉；方毅
8	发明专利	巷道支护等级确定方法、装置、电子设备及存储介质	中国	ZL202311463761.6	2024.01.26	证书号第6650880号	中国矿业大学（北京）；北京国锚工程技术研究院有限公司	杨军；翟兆玺；吴宇飞；郝清硕；孙志成；王科学
9	发明专利	一种煤矿采空区地表沉降监测装置	中国	ZL202011301488.3	2022.06.28	证书号第5270487号	河南理工大学	王文；任建东；吴立云；芦晓伟；龚爽；王浩；代杨；吴怡恒；李东印；袁瑞甫；王伸
10	发明专利	井地联合的煤层坚硬顶板分段水力压裂用综合监测方法	中国	ZL201911142880.5	2019.11.20	证书号第5831400号	神华神东煤炭集团有限公司；中煤科工集团西安研究院有限公司	杨俊哲；程建远；罗文；郑凯歌；王振荣；李延军；高亮；戴楠；高振宇；赵继展；张俭；庞乃勇；康健；杨茂林；江球

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
张传玖	1	院长	高级工程师	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	项目总负责
杨军	2	无	教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	技术总负责
郑凯歌	3	副所长	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	高强采动多维卸压协同防控关键技术及成套装备研究
付强	4	无	无	清华大学	中国矿业大学（北京）	高强采动工作面多维卸压补偿理论研究
赵莹	5	无	无	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	高强采动工作面立体分析体系构建
任建东	6	无	讲师	河南理工大学	河南理工大学	卸压防控多层次监测与灾害预警研究
杨森	7	无	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	多维卸压协同防控智能成套装备系统研究
王文	8	实验中心主任	教授	河南理工大学	河南理工大学	卸压防控多层次监测与灾害预警研究
高玉兵	9	深地院副院长	副教授	中国矿业大学（北京）	中国矿业大学（北京）	切顶碎胀与断顶卸压围岩协同控制机理研究
王巍	10	主管	高级工程师	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	制定方案/方案审查

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

1. 中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司

项目总负责与协调，制定项目研究总体方案，为项目提供经费支持，负责为项目创造良好的环境，以及方案的实施应用和效果评估。

2. 中国矿业大学（北京）

重点负责高强采动工作面立体分析体系构建，对高强采动工作面全域动压灾害引发机制进行研究；针对高强采动工作面全域动压灾害，提出创新性补偿理论；对切顶碎胀与断顶卸压协同作用下高强采动工作面围岩控制机理进行深入研究。

3. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司

重点围绕创新性多维卸压协同防控技术开展研究；在施工方式上，开展三维立体连续性岩层裂缝研究，实现局部被动治理到全域多维主动调控的转变与高强采动工作面动力灾害源头防控；开展低位顶板定向切缝、临空超前定向断顶、高位岩层分段压力、多层次监测与灾害智能预警平台搭建等多维卸压一体化工艺体系研究。

4. 河南理工大学

负责对三维裂隙场展布特征进行研究，构建卸压防控多层次监测与灾害智能预警系统：基于矿山三维地质空间，分析采场上覆岩层运动与支承压力规律，构建随工作面推进实时更新的三维动态数字孪生采场系统，实现覆岩运动与支承压力迁移过程可视化，精准展示三维裂隙场分布特征，并集成多源监测数据的自动采集与分析。

九、完成人合作关系说明

该项目十位完成人长期合作，共同承担完成。

1. 第一完成人张传玖与第二完成人杨军、第三完成人郑凯歌、第四完成人付强、第五完成人赵莹、第六完成人任建东、第七完成人杨森、第八完成人王文、第九完成人高玉兵、第十完成人王巍共同完成“亿吨矿区高强采动多维卸压协同防控关键技术及工程应用”科技项目。

2. 第二完成人杨军，为该项目技术总负责人，组织本项目技术人员进行相关技术分配研究工作。重点负责高强采动工作面立体分析体系及高强采动工作面全域动压灾害引发机制及控制机理研究，对本项目创新点一研究过程中的技术工作进行指导、监督。

3. 第三完成人郑凯歌，对创新点二和三中的研究进行分配协调工作：组织开展围绕创新性多维卸压协同防控技术及智能成套装备系统研究。开展三维立体连续性岩层裂缝研究，实现局部被动治理到全域多维主动调控的转变与高强采动工作面动力灾害源头防控；基于“低位-临空-高位”多维卸压协同控制理论，发明了多维卸压协同防控智

能成套装备系统。对创新点二和三有突出贡献。

4.第四完成人付强，主要对创新点一的研究进行分配协调工作，重点负责高强采动工作面多维卸压补偿理论研究。

5.第五完成人赵莹，应用数值模拟分析、相似材料物理模型试验及岩石力学解析等方法，开展立体分析体系构建工作，对高强采动采场临空巷道动压灾害发生机制进行深入研究。对创新点一有突出贡献。

6.第六完成人任建东，负责开展卸压防控多层次监测与灾害预警研究。提出双源驱动煤矿动力灾害智能预警架构，结合物理驱动与数据驱动，实现动力灾害潜势的实时动态判定与时空精准定位。对创新点二有突出贡献。

7.第七完成人杨森，负责高强采场动力灾害源头治理与全域防控研究；开展多维卸压协同防控智能成套装备系统研究：研究实现孔位精准识别、钻具姿态精确感知及无线电磁随钻智能检测的跨皮带型自动化切缝钻机及聚能切缝装置，参与发明长钻孔裸眼分段压裂成套装备，及智能定向造缝断顶成套装备。对创新点二和三有突出贡献。

8.第八完成人王文，负责卸压防控与灾害预警研究。分析采场上覆岩层运动与支承压力分布规律，开发随采煤推进实时更新的三维动态数字孪生采场系统；提出物理与数据双源驱动的动力灾害智能预警架构，实现灾害潜势的实时判定与精准定位，对创新点二有重要贡献。

9.第九完成人高玉兵，负责创新点一中高强采动工作面多维卸压补偿理论，开展高强采动工作面多维卸压协同控制理论及切顶碎胀与断顶卸压围岩协同控制机理研究工作。

10.第十完成人王巍，中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司主管，负责本项目全方位方案审查及质量监督检查工作。

第一完成人张传玖为中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司院长，作为项目负责人带领杨军、付强、郑凯歌等全体完成人共同完成本项目的研究和推广工作。其中第一完成人张传玖与王巍等同属一个单位，长期共同进行科研攻关，共同拥有专利、论文等成果。第二完成人杨军与付强、赵莹、高玉兵同属一个课题组，在杨军教授的领导下完成理论及机理部分的科学研究工作，共同拥有专利、论文

等成果。第三完成人郑凯歌与杨森同属一个单位，共同完成多维卸压装备及工艺等方面科研工作，共同拥有专利、论文等成果。第六完成人任建东与王文同属一个课题组，共同完成压裂效果及矿压监测预警系统的科学研究工作，共同拥有专利、论文等成果。

(科技进步奖 提名号 309-4022)

一、项目名称：

采动覆岩三场时滞联动机制与主动补偿精准抽采关键技术及应用

二、提名者及提名意见：

陕西省煤炭学会提名：该项目聚焦采动覆岩卸压瓦斯运移规律不明、抽采效率低及灾害防控被动的行业核心痛点，针对卸压边界时空演化特征不清、采动裂隙描述与定位精度不足、瓦斯富集点位识别失准、抽采参数被动调控等四大技术难题，在国家重大专项等课题的支持下开展了系统性研究，成果显著：一是明确覆岩卸压空间双维度特征，建立卸压边界动态模型，揭示其“时滞-扩展”演化机制；二是创建采动裂隙精细描述方法与不同阶段时变模型，研发动态定位技术，攻克裂隙分布描述难题；三是推演覆岩卸压瓦斯运移模型，提出三场三级映射机制与靶向定位技术，解决瓦斯富集识别失准问题；四是构建瓦斯浓度预测与主动补偿调控模型，形成闭环式技术体系，实现瓦斯抽采调控从被动到主动的转型。成果已获授权发明专利7项、实用新型专利1项、软件著作权1项，发表论文29篇，理论与技术创新性强。在陕西4个矿区应用，显著提升瓦斯抽采效率、降低灾害风险，经济与安全效益显著。项目推动“产学研用”协同，为煤炭行业安全高效开采提供关键支撑，整体技术水平先进，符合相关提名要求，同意提名。

三、项目简介：

裂隙带长钻孔卸压瓦斯抽采技术虽是应对瓦斯超限的重要手段。但传统技术多聚焦于被动适配覆岩变化，难以有效应对采动过程中覆岩应力场、裂隙场、瓦斯场的动态耦合效应，导致抽采效率不稳定、靶向性不足等问题，亟需突破“被动响应”局限，构建具备主动补偿能力的精准抽采体系。对此，在国家级项目支持下，经过科技攻关形成了采动覆岩三场时滞联动机制与主动补偿精准抽采关键技术，并取得了如下主要创新成果：

(1) 构建卸压边界时滞扩展与覆岩采动响应动态演化模型，推导非对称附加载荷等解析表达式，明确覆岩卸压空间分布与程度，为判断卸压瓦斯运移范围提供理论支撑。

(2) 建立采动覆岩裂隙精细量化方法，揭示裂隙动态演化规律并刻画其时空轨迹，主动补偿裂隙通道闭塞区，为瓦斯抽采时空调控提供技术支撑。

(3) 推演覆岩卸压瓦斯运移时滞模型，确定瓦斯运移特性并攻克富集点位

识别失准瓶颈,动态预测富集区轨迹以补偿抽采盲区,为精准抽采提供技术支撑。

(4) 建立 SSA-XGBoost 瓦斯浓度预测模型与主动补偿调控模型,实现抽采参数动态调控,形成闭环式技术体系,推动瓦斯抽采从被动响应转向主动补偿。

项目共授权发明专利 7 项,实用新型专利 1 项,计算机软著 1 项,发表论文 29 篇。研究成果在陕西的 4 个矿区进行了应用,矿井瓦斯灾害风险显著降低,验证了三场映射下主动补偿精准抽采关键技术正确性。

四、客观评价:

中国职业安全健康协会组织业内专家对项目主要完成单位韩城市枣庄实业有限公司、太原理工大学、重庆大学共同完成的采动覆岩三场联动机制及卸压瓦斯靶向抽采关键技术进行了科学技术成果评价,评价结果达到国际先进水平。项目依托“十三五”国家科技重大专项顺利实施,完成了预定任务目标,项目成果均高质量通过验收。科技部组织的综合绩效评价结论为“优秀”,表明该项目在目标实现度、技术创新性和成果推广应用等方面均取得了突出成效。教育部科技查新工作站(L02)对本项目成果进行了查新。结论认为,在国内外公开发表的文献中,未见与“采动覆岩三场联动机制及卸压瓦斯靶向抽采关键技术”等查新点相同的研究成果,本项目具有明确的新颖性与创新性。

五、应用情况:

本项目研究成果在陕西的 4 对矿井得到了广泛的推广和应用。应用矿井工作面的卸压瓦斯抽采纯量显著提升,工作面推进速度显著提高,上隅角最大瓦斯浓度也得到了有效控制。星火煤矿应用工作面的上隅角最大瓦斯浓度稳定降至 0.3% 以下,抽采钻孔数量较传统方案减少 15%,工作面日推进速度由 1.8~2.2m/d 提高至 2.8~3.2m/d; 兴隆煤矿 3302 工作面上隅角瓦斯浓度降低至 0.16%,瓦斯抽采总量提升约 46%,抽采浓度提高 1.6 倍以上; 桑北煤矿 11308 工作面瓦斯抽采纯量最高提高了 123%。在提高瓦斯抽采效果的同时大大降低了抽采的工程量和经济成本,有效地保证了井下采掘工作面瓦斯治理工作的高效性与精准性。

六、知识产权目录:

知识产权类别	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
授权发明专利	一种被保护层保护范围测定方法	中国	ZL202011476085.2	2022年08月26日	5406216	重庆大学, 新疆焦煤(集团)有限责任公司	梁运培, 孔繁杰, 陈建杰, 张碧川, 黄旭超, 陈亮, 王军, 邹全乐
授权发明专利	一种多参数煤芯无损聚类多重映射分组方法	中国	ZL201911269076.3	2023年10月10日	6388258	重庆大学	邹全乐, 张碧川, 刘涵, 宋遥, 张天诚, 苏二磊, 王智民, 陈子涵, 吴斐
授权发明专利	一种突出煤层关键开采参数快速优选方法	中国	ZL202010546093.3	2024年02月27日	6747886	重庆大学	邹全乐, 张碧川, 甯彦皓, 陈子涵, 苏二磊, 冉启灿, 谭旭静, 文沛然, 吴斐
授权发明专利	一种碎软煤层水力压裂护孔系统及方法	中国	ZL202210314158.0	2024年11月19日	7533993	韩城市枣庄实业有限公司, 重庆大学	孙小岩, 邹全乐, 桑培淼, 马腾飞, 李宁, 刘涵, 皮伟, 孔繁杰
授权发明专利	一种复杂地质构造下煤岩三维应变场可视化系统及方法	中国	ZL202010546108.6	2024年04月05日	6864379	重庆大学	刘浩, 刘涵, 邹全乐, 冉启灿, 王睿智, 张碧川, 王智民, 陈子涵, 吴斐
授权发明专利	一种煤与瓦斯突出危险性评判方法	中国	ZL202011474905.4	2022年12月27日	5668751	重庆大学, 新疆焦煤(集团)有限责任公司	梁运培, 邹全乐, 张碧川, 王智民, 陈建杰, 孔繁杰,

知识产权类别	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
							王军, 王志辉
授权发明专利	一种煤与煤层气耦合协调开发装置及方法	中国	ZL202110190579.2	2022年09月16日	5459345	重庆大学	邹全乐, 陈子涵, 文沛然, 许文杰, 张碧川, 刘涵, 张天诚, 甯彦皓
计算机软件著作权	一种煤矿井下交叉点辅助设计的CAD设计系统 V1.0	中国	2023SR0480802	2023年02月10日	11067973	赵林, 张碧川	/
论文	Damage and hardening evolution characteristics of sandstone under multilevel creep-fatigue loading	中国	(2024)10:43	2024年02月08日	Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources	太原理工大学, 重庆大学	张碧川, 梁运培, 邹全乐, 甯彦皓, 孔繁杰
论文	Mechanical properties and energy evolution characteristics of borehole-containing specimens under disturbances of cyclic incremental stress with different lower limits	中国	(2023)254187-4200	2023年06月27日	Journal of materials research and technology	中国矿业大学(北京), 重庆大学, 韩城枣庄实业有限公司	孙小岩, 陈子涵, 邹全乐

七、主要完成人情况

序号	姓名	工作单位	所学专业	技术职称	对本项目创造性贡献
1	孙小岩	韩城市枣庄实业有限公司	矿业工程	高级工程师	主要对创新点一、二、三、四作出创造性贡献。依托煤矿现场工作面，组织开展覆岩沉降、应力分布等实测数据采集工作。主导“三维空间共有通路靶向优选定位技术”现场落地，优化抽采钻孔布置参数，解决瓦斯富集点位识别失准问题。参与 SSA-XGBoost 瓦斯浓度预测模型现场调试，推动闭环式主动补偿调控技术应用。
2	张碧川	太原理工大学	矿业工程	讲师	主要对创新点一、二、三作出创造性贡献。独立推导采动覆岩非对称附加载荷及垮落岩体载荷解析表达式，建立覆岩卸压边界时空动态演化模型，揭示卸压边界“马鞍形”分布与非对称演化规律。构建“矩形梯台”结构采动裂隙点位迭代计算模型，量化裂隙频数、角度等关键参数，形成裂隙精细描述方法。阐明“卸压应力场-裂隙渗流场-浓度富集场”三级映射机制，参与建立采空区瓦斯时滞演化模型，为靶向定位技术提供理论基础。
3	赵林	青海煤炭地质勘察院	采矿工程	高级工程师	主要对创新点一、三作出创造性贡献。牵头开展项目区域地质勘查，系统分析煤层倾角、覆岩岩性等地质参数对覆岩应力演化的影响，明确倾角导致的覆岩非对称应力分布特征，为卸压空间范围界定提供地质依据。结合地质特点，评估“卸压驱动-裂隙导通-瓦斯运移”模型在复杂地质构造区的适配性，提出靶向定位技术参数调整方案，保障技术在煤矿的适用性。
4	刘莹	重庆大学	安全科学与工程	/	主要对创新点二、三作出创造性贡献。参与优化“矩形梯台”结构采动裂隙点位迭代计算模型。开展裂隙渗流场与瓦斯浓度场耦合关系研究，对比不同卸压范围下的渗流数据，辅助阐明“卸压应力场-裂隙渗流场-浓度富集场”三级映射机制。
5	桑培淼	韩城市枣庄实业有限公司	矿业工程	高级工程师	主要对创新点三、四作出创造性贡献。组织开展采动裂隙观测，记录不同推进距离下裂隙发育特征，为裂隙时变模型验证与动态定位技术优化提供支撑。参与采空区瓦斯运移三阶段特征现场验证，优化靶向定位技术钻孔轨迹。负责抽采参数实时评估模块现场运行，反馈系统运行数据，撰写现场应用报告。
6	吕飞翔	重庆大学	安全工程	/	主要对创新点四作出创造性贡献。主导 SSA-XGBoost 瓦斯浓度预测模型算法开发，通过融合覆岩“三场”联动机制数据，提升模型动态预测能力。
7	刘浩	重庆大学	工程力学	高级实验师	主要对创新点一、三作出创造性贡献。参与时滞演化模型构建，分析裂隙渗流场与瓦斯浓度场的耦合关系。参与多目标优化函数体系构建，负责安全约束条件量化分析，提升抽采系统运行安全性。

八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	单位名称	通讯地址/ 邮政编码	单位性质	对本项目的科技创新和应用推广情况的贡献
1	韩城市枣庄实业有限公司	陕西省韩城市桑树坪镇 /715407	民营企业	作为项目现场实践与技术应用核心单位，聚焦煤矿瓦斯抽采与灾害防控实际需求，为科技创新提供真实工况支撑与成果转化场景。依托旗下煤矿开采工作面，系统采集覆岩沉降、应力分布、瓦斯浓度等现场实测数据，为精准界定覆岩卸压空间“分布范围-卸压程度”双维度特征、建立采动裂隙时滞扩展模型提供数据支撑，保障理论推导与现场实际的一致性。将“三维空间共有通路靶向优选定位技术”“闭环式主动补偿调控技术”等成果落地应用，优化抽采钻孔布置参数、调试自适应调控系统，解决现场瓦斯富集点位识别失准、抽采效率低等问题。同时，反馈现场适配性问题，实现瓦斯抽采从被动响应到主动补偿的转型。
2	太原理工大学	山西省太原市新矿院路 18号 /030024	高等院校	作为项目理论创新与核心技术研发主力单位，聚焦采动覆岩响应、裂隙演化及瓦斯运移关键科学问题，开展系统性研究。推导采动覆岩非对称附加荷载及垮落岩体荷载解析表达式，建立覆岩卸压边界时空动态演化模型；推演“卸压驱动—裂隙导通—瓦斯运移”时滞演化模型，阐明“卸压应力场-裂隙渗流场-浓度富集场”三级映射机制，为项目提供核心理论支撑。建立“迭代模型推导+裂隙参数量化”的裂隙精细描述方法，研发采动裂隙时空分布动态定位技术。通过实验验证理论模型有效性，为项目科技创新奠定坚实基础。
3	青海煤炭地质勘查院	青海省西宁市城西区海晏路77号 /810003	行政机关或其他事业单位	作为项目地质条件分析与技术适配性研究支撑单位，围绕复杂采动条件下瓦斯抽采需求，开展地质背景与卸压瓦斯运移关联性研究。对项目涉及区域的地质构造、煤层赋存特征、覆岩岩性分布等进行系统勘查，明确倾角、岩性等地质因素对覆岩非对称应力演化、裂隙发育的影响规律，为推导非对称卸压边界演化机制提供地质参数依据。结合青海及周边地区煤矿地质特点，评估项目研发技术在不同地质条件下的适配性，提出针对性调整建议，保障技术在多地质场景下的适用性。同时，参与技术推广工作，向青海地区煤矿企业介绍项目成果，推动区域内瓦斯抽采技术升级，助力灾害超前防控与瓦斯资源高效利用。
4	重庆大学	重庆市沙坪坝区沙正街 174号 /400044	高等院校	作为项目智能算法研发与多学科融合支撑单位，聚焦瓦斯浓度预测与智能调控关键技术，提供数据驱动与算法优化支持。在模型构建层面，提出“机理驱动—数据驱动”的灰箱耦合理论框架，优化 SSA-XGBoost 的耦合机制，提升瓦斯浓度预测模型的精度与稳定性，实现多指标实时预测。在调控体系研发环节，参与构建多目标优化函数体系，将抽采效率最大化与上隅角瓦斯超限风险最小化目标量化，研发自适应调控算法，实现抽采负压、流量等参数的动态优化。此外，开展实验验证工作，通过模拟不同采动条件下的瓦斯运移与抽采过程，验证智能调控模型的有效性，提升瓦斯抽采的智能化水平。

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系如下：论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作

论文合著：

完成人孙小岩、张碧川共同完成并发表论文：Hu, Yulin; Zou, Quanle ; Sun Xiaoyan; Zhang, Bichuan, et al. Gas drainage optimization via fracture network characterization in coal mining, DOI10.1063/5.0273550.

完成人孙小岩、刘浩共同完成并发表论文：Sun Xiaoyan; Ran Qican; Liu Hao, et al. Characteristics of stress-displacement-fracture multi-field evolution around gas extraction borehole, DOI10.3390/en16062896.

完成人张碧川、刘浩共同完成并发表论文：Ran Qican; Liang Yunpei; Zou Quanle; Hong Yang; Zhang Bichuan; Liu Hao, et al. Experimental investigation on mechanical characteristics of red sandstone under graded cyclic loading and its inspirations for stability of overlying strata, DOI10.1007/s40948-023-00555-x.

共同知识产权：

完成人张碧川、刘浩共同合作研发了一种复杂地质构造下煤岩三维应变场可视化系统及方法，并授权发明专利一项（ZL202010546108.6）。

完成人张碧川、赵林共同开发了一种煤矿井下交叉点辅助设计的 CAD 设计系统 V1.0，并获批软件著作权一项（2023SR0480802）。

共同立项：

完成人孙小岩、张碧川、刘莹、桑培淼、吕飞翔共同完成《采动覆岩三场联动机制及卸压瓦斯靶向抽采关键技术》，并获得中国职业安全健康协会鉴定证书。

完成单位合作关系如下：

完成人孙小岩、桑培淼所在单位韩城市枣庄实业有限公司，完成人张碧川所在单位太原理工大学，完成人刘莹、吕飞翔、刘浩所属单位重庆大学共同完成采动覆岩三场联动机制及卸压瓦斯靶向抽采关键技术，并进行了科学技术成果鉴定评价。

完成人孙小岩所属单位韩城市枣庄实业有限公司与完成人刘莹、吕飞翔、刘浩所属单位重庆大学完成项目《采动卸压三场量化及区域靶向优选瓦斯精准抽采技术研究及应用》。

完成人孙小岩所属单位韩城市枣庄实业有限公司与完成人刘莹、吕飞翔、刘浩所属单位重庆大学共同研发了一种碎软煤层水力压裂护孔系统及方法，并授权发明专利一项（ZL202210314158.0）。

完成人张碧川所属单位太原理工大学与完成人刘莹、吕飞翔、刘浩所属单位重庆大学共同发表论文：Damage and hardening evolution characteristics of

sandstone under multilevel creep-fatigue loading, DOI10.1007/s40948-024-00751-3.

完成人张碧川所属单位太原理工大学与完成人赵林所在单位青海煤炭地质勘查院共同获批软件著作权一种煤矿井下交叉点辅助设计的CAD设计系统V1.0（2023SR0480802）。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	论文合著	孙小岩（R1）、张碧川（R2）	2023	2024	Gas drainage optimization via fracture network characterization in coal mining
2	论文合著	孙小岩（R1）、刘浩（R7）	2022	2023	Characteristics of stress-displacement-fracture multi-field evolution around gas extraction borehole
3	论文合著	张碧川（R2）、刘浩（R7）	2022	2023	Experimental investigation on mechanical characteristics of red sandstone under graded cyclic loading and its inspirations for stability of overlying strata
4	共同知识 产权	张碧川（R2）、刘浩（R7）	2024	2024	一种复杂地质构造下煤岩三维应变场可视化系统及方法
5	共同知识 产权	张碧川（R2）、赵林（R3）	2023	2023	一种煤矿井下交叉点辅助设计的CAD设计系统V1.0
6	共同立项	孙小岩（R1）、张碧川（R2）、刘莹（R4）、桑培淼（R5）、吕飞翔（R6）	2023	2024	采动覆岩三场联动机制及卸压瓦斯靶向抽采关键技术

(科技进步奖 提名号 309-4023)

项目名称	西北亿吨级矿区水资源保护与智能管控关键理论及技术研发示范
提名者	陕西省煤炭学会
提名意见	<p>该提名成果在西北矿区能源与水资源协同治理领域取得了具有显著创新性、先进性和广泛应用价值的系统性突破。核心创新点包括：1) 以水文地化与水稳定同位素示踪相结合的矿区地下水-地表水耦合机制研究，首次建立西北矿区地下水环境影响评价技术体系，为矿区水资源保护与治理提供科学、可操作的评估框架；2) 构建基于人工智能的矿井水高效处置与精准管控体系，开发井上井下一体化处置技术，形成信息化数据驱动的水资源管理新模式；3) 将 BIM、VR、物联网与污水处理运维深度融合，研发矿井水利用可视化监测系统及智慧监测平台，实现水资源高效处置与动态管控，构建矿井水高效灌溉与循环利用的分层分质技术体系，显著提升水资源利用效率与灌溉水质安全，形成“节水-净水-再利用”一体化解决方案。这些成果在布尔台、锦界等 7 座矿区实现推广应用，物联网数据自动化报表提升管理效率 80%，显著降低运行成本与环境风险，带来直接经济效益约 2.2 亿元/年，旱地转水地、产出提升、经济林增收等均显示出明显的社会与生态效益。项目获得授权专利 3 件，发表学术论文 4 篇，专著 1 件，软件著作权 2 件，培养硕士博士研究生 26 人。具有良好的知识产权积累与人才培养价值。综合来看，该成果在创新性、先进性及应用效果方面达到领先水平，对提升行业技术水平、推动矿井水保护、治理与综合利用的标准化、规范化进程具有重要示范和引领作用。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。</p>

项目简介

2015年《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》提出要全面促进资源节约循环高效使用，2019年习近平总书记将“黄河流域生态保护与高质量发展”确定为国家战略目标，地处该区域的陕北更是我国能源安全战略保障基地。作为中国最大的煤炭基地，神东矿区的大规模、高强度开采已对矿区生态环境和水源系统造成了严重影响。一方面矿区水资源非常短缺，而另一方面大量的矿井水却没有得到净化处理而流失。因此，对矿井水进行资源化利用是缓解水资源供需矛盾、解决缺水地区水资源紧缺、改善矿区生态环境的有效途径，如何寻求合理而可靠的技术，对矿区水资源形成有效的保护以及合理的循环利用，是矿区急待解决的重大难题，对神东矿区乃至国内大部分矿区的生存和发展都具有重要意义。

针对当前神东矿区水资源保护与利用中存在的降水-土壤水-地下水-地表水转化机制不清晰、矿井水预处理环节自动化与智能化程度亟需提高、水资源综合利用系统性不强等主要问题，通过理论研究、遥感监测、野外观察、测试分析、模拟研究和现场试验等方法，开展了如下工作：

一是开展了高强度开采对矿区水环境影响评价研究。通过水稳定同位素示踪和优先流原位实验等方法探索了采空区与非采空区土壤水运移异同，建立了矿区地下水流数值模型，形成了西北矿区地下水环境影响评价技术体系，为煤炭资源开发、水资源高效利用及生态恢复提供理论指导。

二是构建了基于人工智能的矿井水高效处置与精准管控技术体系。创新了基于自动化低成本的井下-井上矿井水一体化高效处置技术，基于反向传播神经网络的矿井水水质评价模型，提出了基于树型原子模型的信息系统数据建模方法，研发了BIM、VR、物联网技术与污水处理运维流程相结合的矿井水利用可视化监测系统，集成研发了矿井水智能监测平台，实现了矿井水高效处置与精准管控。

三是构建了物联网环境下矿井水高效灌溉与循环利用技术体系。创新了井上-井下一体化循环利用技术及水资源分级分质利用技术，建立了基于层次结构的矿井水节水灌溉技术评价模型，构建了基于关键绩效指标(KPI)的矿井水循环利用评价技术体系，实现了矿井水节水灌溉技术性能模糊综合评价和矿井水的循环利用状况的评估。

项目系统践行了水资源保护与利用理念与模式，基磷灰石吸附除氟工艺达到了2.5万吨/天，井下沉淀过滤系统和地面预处理矿井水10700m³/天，“三水”转化技术等水处理创新技术已于布尔台、锦界等7矿推广应用，矿井水总利用量约74240m³/天，基于物联网采集数据自动生成管理报表使得整编工作量降低了80%，管理报表编制用时由24小时降低为4小时。

项目获得授权专利3件，发表学术论文4篇，专著1件，软件著作权2件，培

养硕士博士研究生 26 人。

项目建设和“人类生态文明发展教育园”、“习近平生态文明思想教育园”、“生态文化长廊”、“生态文化体验区”、“神东生态文化区”等生态文明实践教育基地，培训相关技术人员 300 余人次，研究成果推动了神东矿区矿井水保护-综合利用等工作，显著提升社会-经济-自然复合生态系统弹性和生态安全屏障质量，促进生态系统物质能量的良性循环与永续利用。目前项目已广泛应用，矿区节水、净水带来投资节省约 2.2 亿元/年，旱地变水地、产出增收约 0.4 亿元/年，经济林实现产品增收约 1.52 亿元/年，经济效益显著，并可为全国煤炭行业矿井水保护、治理、综合利用提供示范与指导，生态环境与社会效益显著。

经济效益

近 3 年，示范区内取得直接经济效益 12.46 亿元，主要来源于矿井水资源化（灌溉）利用节约水费、节约水资源税、旱地变水地增加产出共 12.26 亿元，矿井水智能管理系统节约用人费用 0.2 亿元。

社会效益

①示范效益：陕北大柳塔煤矿、保德煤矿、榆家梁煤矿、锦界煤矿入选国家绿色矿山名录；②产业效益：项目带动了矿区及周边生态灌溉系统升级，实现了神东矿区灌溉季不浪费水，非灌溉季有水可灌，灌溉用水定额小于 0.3 吨水每平方米每年，年灌溉面积 170 平方千米；③育人效益：培养 26 名博士、硕士研究生。

客观评价

本研究成果围绕西北超大型矿区水资源保护与地下水环境影响评价、矿井水高效处置与精准管控、矿井水高效灌溉与循环利用等关键问题，开展了系统性的理论研究、技术研发与工程示范，取得了多项创新性突破，形成了具有自主知识产权的技术体系，并在实际应用中取得了显著的经济、社会和环境效益。项目开展以来，相关研究成果授权专利 3 件，发表学术论文 4 篇，专著 1 件，软件著作权 2 件，培养硕士博士研究生 26 人。

1、科技成果鉴定及查新情况

项目构建了“水资源保护—高效处置—智能管控—循环利用”一体化的技术体系，重点突破了三方面关键技术：

(1) 在高强度开采对水环境影响机理方面，揭示了采动条件下土壤水—地下水转化规律，建立了神东矿区地下水环境影响评价理论体系，为水资源保护提供了科学依据。

(2) 在矿井水高效处置与精准管控方面，研发了基于模糊 PID 的自动投药技术、基于深度学习和时间序列的水质预测模型（SSA）、基于树型原子模型的数据建模方法，以及 BIM+VR+物联网的矿井水智慧化管理平台，实现了矿井水处理的智能化、精准化和可视化。

(3) 在矿井水高效灌溉与循环利用方面，创新了“三水转化”模式，构建了基于 BP 神经网络的水质评价模型和层次分析法与关键绩效指标（KPI）相结合的循环利用评价体系，实现了矿井水的分级分质利用和生态灌溉的精准决策。

经教育部科技查新工作站检索鉴定（报告编号：202536000L010029），除本项目组成员已发表文献外，国内外未见与“西北亿吨级矿区水资源保护与智能管控关键理论及技术”相同的文献报道，项目整体技术达到“国际领先水平”。（其他附件 2-8、2-9、2-10）

2、专家鉴定结论

2025 年 5 月 17 日，中国煤炭学会组织专家组对国家能源集团有限公司神东煤炭分公司、中国矿业大学（北京）、防灾科技学院等单位共同完成的西北超大型矿区水资源保护与智能监测关键技术研究及示范进行了科技成果鉴定。专家组一致认为，项目鉴定资料齐全，符合技术鉴定要求，已在神东矿区推广应用，经济社会环境效益显著，同意通过鉴定，成果达到“国际领先水平”。（其他附件 2-11、2-12、2-13）

3、曾获奖励情况

1. 神东哈拉沟生态示范基地于 2020 年 3 月获国家水利部授予“国家水土保持生态文明工程”。（其他附件 2-14）

2.哈拉沟生态示范基地于 2022 年获“全国煤炭行业红色教育基地”等。（其他附件 2-15）

4、与国内外相关技术的综合比较

通过文献对比，可得出以下比较结果：

（1）水资源保护与地下水环境影响评价方面

国内外同类研究多侧重于单一水文要素的监测或静态评价，对高强度开采条件下“降水-土壤水-地下水”的联动转化机制缺乏系统揭示，难以实现精准预测与调控。本项目通过同位素示踪、原位监测与数值模拟相结合，揭示了采动破坏区土壤水运移规律与包气带水分响应机制，构建了融合地质条件与开采扰动的矿区地下水环境影响动态评价理论体系，实现了对水资源影响的定量预测与保护措施的精准确定。

（2）矿井水高效处置与智能管控方面

国内外现有矿井水处理系统普遍存在自动化程度低、药耗偏高、依赖人工经验、水质预测滞后等问题。本项目研发了基于模糊 PID 控制的自动加药系统，实现了加药量的精准动态控制；创新性地构建了基于注意力机制的 Seq2Seq 水质预测模型（SSA），有效解决了矿井水水质数据的非线性与周期性预测难题，预测精度显著提升；此外，搭建了基于微服务架构和树型原子模型的一体化智慧水务平台，集成 BIM、VR 及物联网技术，实现了矿井水处理全流程的可视化监控与智能决策，在系统集成度与智能化水平上取得重要突破。

（3）矿井水综合利用与生态灌溉方面

国内外在矿井水回用方面虽有一定实践，但普遍存在系统协同性不强、分质分级利用效率低、生态灌溉缺乏针对性评价与指导等问题。本项目创新提出了“井下-井上”全方位水循环利用模式与水资源分级分质利用技术；研发了基于 BP 神经网络的矿井水水质评价方法，构建了涵盖技术水平、经济成本、生态效益等多维度的节水灌溉技术综合评价指标体系及层次结构评价模型；并最终建立了基于关键绩效指标（KPI）的矿井水循环利用整体评价体系，为半干旱矿区矿井水资源化高效利用与生态灌溉提供了系统性的解决方案和决策支持。

应用情况表

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	陕西德合园林工程有限公司	矿井水分区灌溉技术	在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗布尔台采煤沉陷区开展修复区灌溉，年节约费用约 1800 万元	2022 年 -2024 年	李帆帆 13096930032
2	陕西德合园林工程有限公司	矿井水生态灌溉植物移栽技术	在布尔台区域开展植被栽植示范，植被覆盖度提升 43.93%	2022 年 -2024 年	李帆帆 13096930032
3	克劳沃（北京）生态科技有限公司	矿井水分区灌溉技术	在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗布尔台采煤沉陷区开展修复区灌溉，年节约费用约 2800 万元	2022 年 -2024 年	张旭 010-64950375
4	榆林市荣盛园林绿化工程有限公司	矿井水分区灌溉技术	在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗布尔台采煤沉陷区开展修复区灌溉，年节约费用约 2100 万元	2022 年 -2024 年	黄飞飞 0912-6087597
5	国能神东煤炭布尔台煤矿	矿井水循环利用智慧管理技术	在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗布尔台区域完成了布尔台污水处理厂 1 期、除盐车间及除氟车间的监测数据采集与可视化展示工作，实现了矿井水的智慧化管控，每年可节约成本 600 万元	2022 年 -2024 年	朱振刚 0912-8279875

6	国能神东煤炭集团布尔台煤矿	矿井水结晶除盐技术	对布尔台煤矿矿井水进行处理与资源化利用, 年节省约 438 万元	2022 年 -2024 年	朱振刚 0912-8279875
7	鄂尔多斯市圣圆乌兰木伦实业有限责任公司	生态灌溉技术集成应用	在布尔台沉陷区种植经济树种 65 万株, 灌草 6.66 平方千米, 年节约税费约 1095 万元	2022 年 -2024 年	杨旭 0477-8930008
8	太原市青青绿草园林绿化工程有限公司	生态灌溉技术集成应用	在布尔台沉陷区种植经济树种 65 万株, 灌草 6.66 平方千米, 年节约税费约 1095 万元	2022 年 -2024 年	田雅琼 0351-4885033
9	国能神东煤炭集团补连塔煤矿	矿井水综合利用技术	对上湾矿、乌兰木伦矿、补连塔矿井水进行深度处理与综合利用, 年节约费用约 1.35 亿元	2022 年 -2024 年	许山成 0912-8279875
10	国能神东煤炭乌兰木伦煤矿	矿井水综合利用技术	对上湾矿、乌兰木伦矿、补连塔矿井水进行深度处理与综合利用, 年节约费用约 4300 万元	2022 年 -2024 年	许山成 0912-8279875

主要知识产权和标准规范等目录

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	论文	煤矿综采工作面高级智能化建设探索与工程实践	中国	10.19880/j.cnki.ccm.2023.S2.001	2023年11月30日	中国煤炭	国能神东煤炭集团有限责任公司	白正平, 赵云飞
2	论文	神东矿区矿井水质一体化监测指标研究	中国	10.13448/j.cnki.jalre.2023.259	2024年03月25日	现代矿业	国能神东煤炭集团有限责任公司, 北京市生态环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心	程洋, 王义, 张俊娥, 程洋, 董婧, 伍娟丽
3	其他	神东矿区生态保护技术与实践	中国	978-7-122-43363-3	2023年07月01日	化学工业出版社	-	王义, 于妍, 张凯
4	实用新型专利	灌溉设备	中国	ZL202223209736.9	2023年06月13日	证书号第19152857号	国能神东煤炭集团有限责任公司, 中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	高云飞, 王义, 郭洋楠, 潘金, 杨利平, 杨扬
5	论文	神东矿区资源环境治理对策研究及其具体实践	中国	10.19880/j.cnki.ccm.2023.S1.002	2023年07月25日	中国煤炭	国能神东煤炭集团有限责任公司	刘海平, 王义
6	发明专利	用于黄土区的柳杆锚固护坡方法	中国	ZL201110375512.2	2022年01月27日	证书号第1560412号	中国神华能源股份有限公司神东煤炭	王义, 李强, 郭洋楠

							分公司	
7	论文	2000-2017年神东矿区植被NDVI时空动态	中国	10.13869/j.cnki.rswc.2021.01.020	2020年12月21日	水土保持研究	黄河水利委员会黄河上中游管理局, 国能神东煤炭集团有限责任公司	徐佳, 王略, 王义, 岳本江, 王丽云, 曹雪峰
8	实用新型专利	一种地基加固夯实装置	中国	ZL202020192477.5	2020年10月30日	证书号第11811498号	陕西天地地质有限责任公司	李小刚, 蒲露露, 姬哲, 张艺
9	计算机软件著作权	水质预警系统V1.0	中国	2023SR1129010	2023年09月21日	软著登字第11716183号	国能神东煤炭集团有限责任公司	-
10	计算机软件著作权	水资源应用负荷系统V1.0	中国	2023SR1114582	2023年09月20日	软著登字第11701755号	国能神东煤炭集团有限责任公司	-

主要完成人情况表

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
白正平	1	公司副总经理	高级工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	技术集成与项目设计
王义	2	公司总经理助理、生态环境中心党支部书记兼主任	正高级工程师	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	技术集成与项目设计
李小刚	3	技术管理部主任工程师	高级工程师	陕西天地地质有限责任公司	陕西天地地质有限责任公司	矿区地下水环境监测研究
刘亮平	4	副总工程师	工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	矿井水提标治理及其应用研究
程洋	5	科长	高级工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	水资源保护与智能管理技术研究
雷鸣哲	6	科长	工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	矿井水智慧监测与管控研究
李莉	7	科员	工程师	国能神东煤炭集团有限责任公司	国能神东煤炭集团有限责任公司	矿井水水质评价模型构建

主要完成单位及创新推广贡献

主要完成单位	创新推广贡献
中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司在本项目中发挥了关键的创新驱动与示范带动作用，聚焦矿井水高浊、高盐等复杂水质的高效处理，研发并应用了矿井水处理集成装置，将预处理、脱盐、消毒与循环利用等功能模块整合于一套系统中，实现现场快速部署、自动化管理与高可靠性运行，推动区域内外的标准化建设与技术推广。通过在矿区开展示范工程，验证新工艺与集成装置的经济性、环保效益与可操作性，并推动科技成果向产业转化与扩展应用，提升矿井水资源利用效率，降低新鲜水源需求，带动行业技术升级与区域水资源治理水平的提升，形成了创新驱动、标准引领与示范推广相结合的综合贡献。
国能神东煤炭集团有限责任公司	中国能源神东煤炭集团有限责任公司在本项目主要负责聚焦矿井水资源保护、治理、智慧管理及示范应用，以战略引领、技术落地、示范推广和产业协同为路径，提出“水资源保护、治理、智慧管理与示范应用”四位一体的总体设计与实施框架，推动以同位素示踪、地下水数值模拟和地表-地下耦合分析为基础的水源保护与资源转化机制解析的落地应用，推广深度学习、时间序列分析与模糊控制相结合的水质预测、自动投药与运行优化等关键技术，建立微服务架构的智慧水务平台并实现与 BIM/VR、物联网、大数据等信息化手段的深度融合，推动分区化节水灌溉与地下水循环利用工程化实施，形成示范工程与可复制的标准体系，通过示范-评估-推广的闭环机制提升区域水资源的抗风险能力与可持续发展水平，同时通过企业资源、资金与政策对接推动技术转化与扩展应用，促进同类型矿区及干旱缺水地区的推广与应用。
陕西天地地质有限责任公司	陕西天地地质有限责任公司在本项目中发挥了专业化、全流程的技术支撑作用，聚焦矿区开采活动与矿井水生态灌溉对环境影响的研究与综合治理，围绕资源利用、生态保护与水资源管理实现了系统化的协同进展，具体贡献包括：建立水文模型并评估不同开采强度下的水资源变化趋势与潜在风险；设计并优化生态灌溉方案，合理配置水源、水量与灌溉时序，确保生态功能与生产需求双赢，同时开展环境影响评估(EIA)与监测体系建设；开展水资源与生态耦合的数值实验，开发低成本监测与智能化管理方案，实现对灌溉水源质量与环境响应的实时监控，形成治理-示范一体化路径，在示范区验证新工艺与治理措施的经济性、环境效益与可操作性，推动在相似矿区的推广与扩展。

完成人合作关系说明

围绕西北矿区水资源保护与智能管控的重大需求与水资源供需矛盾，依托“布尔台区域矿井水循环利用智慧系统研究与示范（GJNY-20-44）”、“污废水粪大肠菌群监测技术研究（20201600019）”等项目，白正平、王义、李小刚、刘亮平、程洋、雷鸣哲、李莉等人长期合作攻关，共同完成了“西北亿吨级矿区水资源保护与智能管控关键理论及技术研发示范”项目成果。项目完成人通过共同完成项目、共同知识产权、论文合著、技术示范与推广等方式开展了广泛合作。

（1）共同完成项目：白正平、王义、程洋、雷鸣哲、李莉等共同完成了“布尔台区域矿井水循环利用智慧系统研究与示范”、“污废水粪大肠菌群监测技术研究”等企业重点科研项目，系统开展了地下水环境影响评价、矿井水智能处置与循环利用等技术研发与工程示范。

（2）共同知识产权：项目团队共同开发“水质预警系统 V1.0”、“水资源应用负荷系统 V1.0”两套软件著作权。

（3）论文合著：程洋、王义等共同发表“神东矿区矿井水质一体化监测指标研究”论文。

（4）技术示范与推广：项目完成人共同推动研究成果在布尔台、锦界等 7 个矿区的推广应用，实现矿井水智慧化管理与生态灌溉技术落地，显著提升水资源利用效率与生态效益。

（5）产业合作与标准化建设：依托所在单位，白正平，王义，李小刚，刘亮平，程洋，雷哲鸣，李莉等人共同推动了神东矿区矿井水保护-综合利用等工作，促进了西北亿吨级矿区水资源保护与智能管控关键理论及技术研发示范成果在多家单位及煤矿落地并取得了显著的经济效益。陕北大柳塔煤矿、保德煤矿、榆家梁煤矿、锦界煤矿等多个矿区入选国家级/省级绿色矿山名录，形成全国范围内的示范效应。

(科技进步奖 提名号 309-4025)

项目名称	中深层地热能集群式“取热不取水”开发与高效利用关键技术				
提名者	陕西省煤炭学会				
提名意见	项目符合低碳发展的战略方针，授权国家专利 26 项，发表科技论文 34 篇，1 项国家标准、4 项行业标准、2 项地方标准。同意提名陕西省科学技术进步奖二等奖。				
项目简介	<p>项目开展了中深层地热能集群式“取热不取水”开发与高效利用技术攻关。完成了中深层地热能井下换热技术不同井型（同轴套管井和 U 型对接井）热提取能力与岩土体温度分布规律研究，首次提出同轴套管井群井布置与造斜设计方法、U 型对接井最优井距设计方法，建立了集群式开发的理论和技术体系；首次研发千瓦级大容量低成本、高稳定性全钒液流电池电解液并对电堆结构设计优化，形成全钒液流电池成套技术提升集群式系统性能，系统节能率在 20%以上；提出中深层地热耦合相变储热系统匹配设计方法，系统能效提升 6.8%，储热系统的平均运行费用可降低 39.8%；将“储热+储电”技术与中深层地热能集群式开发利用耦合，结合人工智能进行智慧管控优化集群式系统运行阶段，系统能效提升达 23%以上；建立了系统全生命周期经济性评价模型，提出降低成本的最优参数和方法；制定了中深层地热能开发利用领域系列标准，包括国内外首个《中深层地热地埋管供热系统应用技术规程》，为技术推广和规模化应用提供理论和技术支撑。</p>				
主要完成单位及创新推广贡献					
排名	单位名称		主要创新推广贡献		
1	陕西省煤田地质集团有限公司		中深层地热能集群式“取热不取水”开发与高效利用关键技术的一整套系统的技术、方法		
2	西安交通大学		建立地热钻井与地层换热解析模型、可变尺寸控制体全尺度模型等；研发一键化设计平台推广应用		
3	陕西中煤新能源有限公司		原位换热强度测试仪研发、中深层地热能供暖国家级、省级示范项目建设和技术规模化推广应用		
4	西北大学		研制大容量全钒液流电池系统和相关测试平台		
5	陕西师范大学		提出智能化控制策略优化方法，实现地源热泵系统节能高效运行		
6	陕西投资集团		示范应用与推广		
主要完成人情况					
排名	姓名	工作单位	行政职务	技术职称	对本项目贡献
1	张育平	陕西省煤田地质集团有限公司	副总工程师、首席专家、重点实验室主任	正高级工程师	项目负责人

2	王洋浩	西安交通大学	节能研究中心主任	教授	中深层地热能供能机制研究
3	刘俊	陕西省煤田地质集团有限公司	地热能工程研究中心副主任	高级工程师	集群式系统设计与性能分析
4	周聪	陕西中煤新能源有限公司	副总经理、总工程师	高级工程师	集群式系统集成与推广应用
5	张斯佳	陕西师范大学	无	讲师	系统调控策略分析
6	张廷会	陕西省煤田地质集团有限公司	重点实验室副主任	正高级工程师	标准制定与推广
7	蔡皖龙	西安交通大学	无	助理教授	管群模型建立与性能分析
8	赵炜	西北大学	无	副教授	液流电池设计与性能分析
9	贾国圣	西安交通大学	无	助理教授	系统经济性评价与环保分析
10	孙明	陕西投资集团	科技管理部业务主管	高级工程师	项目推广应用
11	杨兴科	陕西省煤田地质集团有限公司	科技管理部主任	正高级工程师	项目推广应用
12	韩元红	陕西省煤田地质集团有限公司	地热工程研究中心副主任	高级工程师	井型对比分析
13	刘博洋	陕西中煤新能源有限公司	技术部部长	高级工程师	系统性能测试分析
14	薛宇泽	陕西省煤田地质集团有限公司	无	高级工程师	装备研发
主要知识产权和标准规范等目录		发明专利： [1] 张育平,刘俊,陶鹏飞,周聪,刘博洋.一种中深层井下换热器的热响应数据降维分析方法及系统.发明专利，专利号：ZL202411183240.X，授权公告日：2024年11月12日。 [2] 王洋浩,姜静华,张育平,刘俊,蔡皖龙.一种中深层同轴套管式换热器管群布置方法.发明专利，专利号：ZL202110076113.X，授权公告日：2022年10月28日。 [3] 王洋浩,王泽源,姜静华,李奕臻,蔡皖龙,刘俊.一种基于需求响应的中深层地热能耦合储能装置供热系统.发明专利，专利号：ZL202111374513.5，授权公告日：2023年05月23日。 [4] 周聪,高洁,张锋,孙金泽,张育平,刘博洋.一种地热能源开发钻井地面平台.发明专利，专利号：ZL202311490651.9，授权公告日：2024年02月02日。 [5] 周聪,张育平,刘俊,张英琛,刘博洋,丘泽涵.一种用于水源热泵系统的过滤装置.发明专利，专利号：ZL202310890324.6，授权公告日：2023年10月10日。 [6] 周聪,张育平,刘博洋,刘俊,张英琛,丘泽涵.一种用于水源热泵的洗井装置.发明专利，专利号：ZL202310890324.6，授权公告日：2023年07月20日。 [7] 陶鹏飞,宋晗,周敏.抽灌式地热水开发利用地面供热工程的高效供热系统.发			

明专利, 专利号: ZL201911313987.1, 授权公告日: 2022 年 01 月 28 日》

[8] 陶鹏飞, 孙金泽, 张锋, 高洁, 张育平, 周聪. 一种地热能发电用地热钻探装置. 发明专利, 专利号: ZL202311140626.8, 授权公告日: 2023 年 11 月 17 日.

[9] 金立文, 贾国圣, 崔鑫, 马真迪, 夏振华, 王嘉伟. 一种深层对接地埋换热器性能预测的半解析方法. 发明专利, 专利号: ZL202010408303.2, 授权公告日: 2021 年 03 月 23 日.

[10] 金立文, 贾国圣, 蔡志强, 赵民, 孟祥兆, 张联英, 崔鑫. 一种针对中深层地热井井间距的计算方法. 发明专利, 专利号: ZL201910090650.2, 授权公告日: 2020 年 10 月 27 日.

[11] 金立文, 夏振华, 张育平, 贾国圣, 马真迪, 王嘉伟, 薛宇泽, 张联英. 地热系统环境影响的评估方法、系统、设备及存储介质. 发明专利, 专利号: ZL202110780181.4, 授权公告日: 2023 年 09 月 26 日.

[12] 赵炜, 陈黎, 税子怡, 韩莹莹, 陈曦. PVA/Li+/PEO 互穿网状结构复合凝胶电解质的制备方法. 发明专利, 专利号: ZL202010534933.4, 授权公告日: 2022 年 09 年 23 日

实用新型专利:

[1] 张育平, 张斯佳. 全过程节能智能控制中深层地热无干扰供暖系统. 实用新型专利, 专利号: ZL202020419262.2, 授权公告四: 2020 年 11 月 17 日.

[2] 张育平. 中深层地热能取热不取水模式供暖系统. 实用新型专利, 专利号: ZL201922093905.9, 授权公告号: 2020 年 08 月 04 日.

[3] 张育平, 张斯佳, 周聪, 薛宇泽. 地埋孔岩土热物性测试仪. 实用新型专利, 专利号: ZL202120520072.4, 授权公告日: 2021 年 11 月 30 日.

[4] 刘俊, 张育平, 张廷会, 周聪, 刘博洋. 非供暖季储热同轴套管井与太阳能集热器耦合供热系统. 实用新型专利, 专利号: ZL202320739441.8, 授权公告日: 2023 年 11 月 14 日.

[5] 刘俊, 张育平, 陶鹏飞. 一种用于办公建筑的中深层地热能相变蓄热供热系统. 实用新型专利, 专利号: ZL202221794493.7, 授权公告日: 2023 年 01 月 10 日.

[6] 刘俊, 张育平, 周聪, 刘博洋. 一种可调节工况的中深层地热井换热能力测试系统. 实用新型专利, 专利号: 2022 2 1671612.X, 授权公告日: 2023 年 01 月 10 日.

[7] 张天安, 王一凡, 周聪, 刘博洋, 孙金泽, 张英琛, 屈红豆, 邱泽涵. 一种专用于中深层地热井地温监测的光纤保护器. 实用新型专利, 专利号: ZL202123036938.3, 授权公告日: 2022 年 04 月 15 日.

[8] 张英琛, 周聪, 刘博洋, 荀迎九, 孙金泽. 一种大口径中深层同心管换热井身结构. 实用新型专利, 专利号: ZL202120671742.2, 授权公告日: 2022 年 03 月 18 日.

[9] 周聪, 张英琛, 刘博洋, 高洁, 荀迎九. 一种地热井的井身结构. 实用新型专利, 专利号: ZL202120671694.7, 授权公告日: 2022 年 02 月 22 日.

[10] 张英琛, 周聪, 刘博洋, 屈红豆, 孙金泽, 邱泽涵, 王一凡. 一种地热利用系统. 实用新型专利, 专利号: ZL202121299542.5; 授权公告日: 2021 年 12 月 31 日.

[11] 刘博洋, 孙金泽, 张锋, 荀迎九, 周聪. 一种中深层大孔径同心型换热结构. 实用新型专利, 专利号: ZL202120198864.4, 授权公告日: 2021 年 01 月 25 日.

[12] 薛宇泽, 肖踞辉, 韩元红. 一种热井井下测温探头限位扶正装置. 实用新型专

	<p>利, 专利号: ZL202221082741.5, 授权公告日: 2022 年 09 月 06 日.</p> <p>[13] 薛宇泽, 韩元红, 刘俊.一种地热同轴套管换热器内管定位装置. 实用新型专利, 专利号: ZL202223359737.1</p> <p>[14] 薛宇泽, 陶鹏飞, 张育平, 张廷会, 韩元红, 杨文博, 张玉贵.一种地热井全井段温度测量及实时观测装置. 实用新型专利, 专利号: ZL201921617467.5, 授权公告日: 2020 年 07 月 17 日</p> <p>标准规范:</p> <p>[1] 陕西省标准《中深层地热地埋管供热系统应用技术规程》(DBJ16/T 166-2020), 陕西省住房和城乡建设厅, 2020.03.23</p> <p>[2] 陕西省地方标准《中深层地热能井下换热开发利用术语》(DB61/T 1808-2024), 陕西省市场监督管理局, 2024.05.03</p> <p>[3] 国家标准《装配式能源站》(GB/T 41740-2022), 全国冷冻空调设备标准化技术委员会, 2023.05.01</p> <p>[4] 能源行业标准《地热井钻前工程和设备安装技术规程》(NB/T 10704-2021), 国家能源局, 2021.11.16</p> <p>[5] 能源行业标准《地热井固井技术规范》(NB/T 10706-2021), 国家能源局, 2021.11.16.</p> <p>[6] 能源行业标准《地热井钻完井工程验收规范》(NB/T 10709-2021), 国家能源局, 2021.11.16.</p> <p>[7] 能源行业标准《水热型地热尾水回灌技术规程》(NB/T 11158-2023), 国家能源局, 2023.02.06.</p>
其他科技成果 目录	<p>[1] 张育平, 周聪, 王泮浩等著, 中深层地热钻井换热供暖关键技术[M], 北京: 科学出版社, 2020.</p> <p>[2] 张育平等著, 大型地埋管群高效可持续利用关键技术及应用[M], 北京: 科学出版社, 2024</p> <p>[3] Zhang YP, Yang X, Liu J, et al. Long-Term Investigation of a Borehole Heat Exchanger (BHE) Array with the Influence of Same Inlet Temperature (SIT) and Same Heat Load (SHL) Boundaries [J]. Advances in Civil Engineering, 2023, 3232062 (SCI)</p> <p>[4] Zhang YP, Huang SP, Meng XZ, Jia GS, Yang F, Zhou C. Geothermal characteristics of two deep U-shaped downhole heat exchangers in the Weihe Basin, China[J]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 463 (2020) 012156. (EI)</p> <p>[5] Zhang YP, Jia GS, Ma ZD, Xia ZH, Cao Y, Jin LW. Effects of aquifers on soil temperature distribution around deep buried heat exchanger[J]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 463 (2020) 012134. (EI)</p> <p>[6] Liu J ,Zhang Y ,Wang Z , et al.Medium Rock-Soil Temperature Distribution Characteristics at Different Time Scales and New Layout Forms in the Application of Medium-Deep Borehole Heat Exchangers[J].Energies,2023,16(19): (SCI)</p> <p>[7] Liu J ,Zhang Y ,Zhang S, et al.Heat transfer and rock-soil temperature distribution characteristics in whole life cycle for different structure sizes of medium-deep U-shaped butted well[J].Case Studies in Thermal Engineering,2024,60104705-104705. (SCI)</p> <p>[8] Liu J, Wang FH, Gao Y, Zhang YP, Cai WL, Wang M, Wang ZH. Influencing factors analysis and operation optimization for the long-term performance of medium-deep borehole heat exchanger coupled ground source heat pump system[J]. Energy &</p>

- Buildings, 2020, 226 :110385. (SCI)
- [9] Liu J, Wang FH, Cai WL, Wang ZH, Li C. Numerical investigation on the effects of geological parameters and layered subsurface on the thermal performance of medium-deep borehole heat exchanger[J]. Renewable Energy,2020,149: 384-399. (SCI)
- [10] Wang ZY, Wang FH, Bai MM, et al. Multi-faceted performance analysis and optimization of a hybrid deep borehole heat exchanger heating system with latent heat thermal energy storage [J]. Energy Conversion and Management, 2024, 315, 118732.
- [11] Wang ZY, Wang FH, Liu J, et al. Energy analysis and performance assessment of a hybrid deep borehole heat exchanger heating system with direct heating and coupled heat pump approaches [J]. Energy Conversion and Management 276 (2023) 116484.
- [12] Jia GS, Ma ZD, Zhang YP, Zhao M, Meng XZ, Zhang LY, Jin LW. Series-parallel resistance method based thermal conductivity model for rock-soil with low or high porosity[J]. Geothermics, 2020, 84: 101742. (SCI)
- [13] Jia GS, Ma ZD, Xia ZH,Wang JW.,Zhang YP,Jin LW. Investigation of the horizontally- butted borehole heat exchanger based on a semi-analytical method considering groundwater seepage and geothermal gradient[J]. Renewable Energy,2021,171. (SCI)
- [14] Jia GS, Ma ZD, Xia ZH, Zhang YP, Xue YZ, Chai JC, Jin LW. A finite-volume method for full-scale simulations of coaxial borehole heat exchangers with different structural parameters, geological and operating conditions[J]. Renewable Energy,2022,182. (SCI)
- [15] Xia ZH, Jia GS, Ma ZD, Wang JW, Zhang YP, Jin LW. Analysis of economy, thermal efficiency and environmental impact of geothermal heating system based on life cycle assessments[J]. Applied Energy, 2021, 303: 117671.(SCI)
- [16] Ma ZD, Jia GS, Cui X, Xia ZH, Zhang YP, Jin LW. Analysis on variations of ground temperature field and thermal radius caused by ground heat exchanger crossing an aquifer layer[J]. Applied Energy, 2020, 276: 115453. (SCI)
- [17] Chen CF, Cai WL, Naumov Dmitri, Tue Kun, Zhou HW, Zhang YP, Kolditza Olaf, Shao HB. Numerical investigation on the capacity and efficiency of a deep enhanced U-tube borehole heat exchanger system for building heating[J]. Renewable Energy. 2020. (SCI)
- [18] Zhou Cong, Li Yizhen, Wang Fenghao,et al. A Review of the Performance Improvement Methods of Phase Change Materials: Application for the Heat Pump Heating System[J]. Energies, 2023,16,2627. (SCI)
- [19] Cai Wanlong, Wang Fenghao, Chen Chaofan, Chen Shuang, Liu Jun, Ren Zhanli, Shao Haibing. Long-term performance evaluation for deep borehole heat exchanger array under different soil thermal properties and system layouts[J]. Energy, 2022, 241:122937. (SCI)
- [20] Cai Wanlong, Wang Fenghao, Chen Shuang, Chen Chaofan, Liu Jun, et al. Analysis of heat extraction performance and long-term sustainability for multiple deep borehole heat exchanger array:A project-based study[J]. Applied Energy, 2021,289:116590.
- [21] 张育平,李百曦,刘俊,等.地埋管群冷热负荷对岩土体温度及热泵效率的影响[J/OL].北京工业大学学报,2025,(06):1-9.

	<p>[22] 张育平,张斯佳,马真迪,等.中深层地热井地温影响规律及预测方法[J].西安科技大学学报,2024,44(01):114-122.</p> <p>[23] 张育平,杨潇,刘俊,等.地源热泵系统能效提升途径[J].油气藏评价与开发,2023,13(06):726-740.</p> <p>[24] 张育平,刘俊,王泮浩,等.中深层地热能套管井取热影响因素分析[J].西安科技大学学报,2022,42(05):918.</p> <p>[25] 张育平,刘俊,王泮浩,等.中深层U型对接井取热能力影响因素显著性分析[J].可再生能源,2022,40(11):1473-1480.</p> <p>[26] 张育平,王兴,薛宇泽,等.关中盆地中深层地热能开发“保水取热”供暖关键技术[J].区域供热,2020,(04):122-128.</p> <p>[27] 王泮浩,蔡皖龙,王铭,高远,刘俊,王志华,徐晗.地热能供热技术研究现状及展望[J].制冷学报,2021,42(01):14-22.</p> <p>[28] 刘俊,王泮浩,张育平,蔡皖龙,陶鹏飞.中深层套管式换热器沿程传热与设计参数研究[J].工程热物理学报,2022,43(10):2770-2781.</p> <p>[29] 刘俊,张育平,王泮浩,等.中深层套管式换热器可持续供热性能及优化设计研究[J].地球学报,2023,44(01):230-238.</p> <p>[30] 刘博洋,刘俊,张育平,等.中深层同轴套管井取热损失分析与内管保温影响研究[J].区域供热,2023,(05):1-9.</p> <p>[31] 杨雄,姜静华,王泮浩,等.中深层地埋管地热供热系统长期取热性能评价与经济性分析[J].暖通空调,2023,53(07):160-165+16.</p> <p>[32] 姜静华,高远,张育平,王铭,傅永泉,蔡皖龙,刘洪涛,王泮浩.中深层套管式地埋管换热器取热性能研究及经济性分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(06):851-859.</p> <p>[33] 蔡皖龙,刘俊,王泮浩,王志华.深层地埋管换热器换热性能模拟及稳定性研究[J].太阳能学报,2020,41(02):158-164.</p> <p>[34] 赵安军,张宇,张育平,等.基于群智能的集中供暖系统水力管网控制策略优化[J].控制与决策,2023,38(09):2461-2469.</p>
应用情况	技术方法分别在陕西建工集团股份有限公司、陕西中煤新能源有限公司、渭南市产投新能源有限公司、陕西省煤田地质研究院有限公司、陕西铜川世纪庄园有限公司、陕西大唐高科机电科技有限公司等企业进行推广应用，累计产生经济总额 14.24 亿元。
完成人合作关系说明	完成人来自 6 家不同的单位，合作关系为分工合作，合作共赢，成果共享的合作关系。
客观评价	2025年5月4日，中国煤炭工业协会组织院士专家，在西安对本项目进行了科技成果鉴定。经专家组评定，研究成果达到了国际领先水平。

(科技进步奖 提名号 309-4026)

一、项目名称

低渗煤层超临界 CO₂ 致裂增透高效抽采关键技术研究与应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

煤炭是我国能源生产的压舱石，高瓦斯矿井产量占比超过 1/3，其产量和灾害治理直接关系到全国煤炭的稳定供应。高瓦斯矿井中低渗透率煤层的抽采半径小、抽采能力低、抽采达标时间长，适用于低渗煤层的增透、封孔、检测技术体系不完善，使得高瓦斯矿井的低渗煤层瓦斯治理问题尤为突出，严重威胁煤矿的安全高效生产。因此，西安科技大学联合陕西煤业股份有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿、西安乔木科技技术有限公司等单位，通过低渗煤层超临界 CO₂ 致裂增透高效抽采关键技术研究与应用，阐明了煤岩体蠕变渗透特性及渗流失稳基础理论，为高瓦斯矿井低渗煤层的瓦斯抽采与透气性改造提供了理论依据；提出了低渗煤层超临界 CO₂ 致裂机理与增透技术，为高瓦斯矿井低渗煤层的透气性改造提供了高效方法；研发了新型液态缓凝封孔材料，提出了抽采系统“孔-管-泵”三级漏气检测技术，研发了瓦斯抽采系统管控平台，上述研究解决了高瓦斯矿井低渗煤层的高效抽采难题，对于促进矿井瓦斯的高效抽采，助力瓦斯治理的“双碳”目标的实现，具有重要的理论和实践意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。特提名为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目属于煤矿安全领域，针对高瓦斯矿井低渗煤层增透、封孔、瓦斯抽采提浓的现实难题，开展了煤岩体蠕变渗透特性及渗流失稳基础理论、低渗煤层超临界 CO₂ 致裂机理与增透技术、液态缓凝封孔材料研发、抽采系统三级检测及管控系统平台研发等相关理论与技术研究。研究成果来源于国家自然科学基金项目（51774234、51874234）和多企业联合项目 10 余项，自 2013 年至 2023 年，针对低渗煤层超临界 CO₂ 致裂增透高效抽采关键技术开展了系统研究与应用验证。

针对高瓦斯矿井低渗煤层增透及抽采钻孔提浓难题，本项目综合运用理论分析、实验室实验、现场工业性试验相结合的研究方法，对高瓦斯矿井低渗煤层超临界 CO₂ 致裂增透高效抽采关键技术开展了系统性研究。阐明了煤岩体蠕变渗透特性及渗流失稳基础理论，自主研发三轴渗流试验系统，研究了不同应力状态孔周煤体裂隙演化及其与渗透特性的关系，构建了孔周煤体裂隙-渗流耦合动力学模型，提出了基于临界压力梯度与渗流参数的稳定性判据，为高瓦斯矿井低渗煤层的瓦斯防治与透气性改造提供了理论依据。针对高瓦斯矿井低渗煤层的力学特性，提出了低渗煤层超临界 CO₂ 致裂机理与增透技术，分析了应力波-围岩应力-瓦斯压力耦合作用的 CO₂ 相变致裂影响范围，阐明了爆生气体协同应力波促进低渗煤体裂纹扩展机制，为高瓦斯矿井低渗煤层的透气性改造提供了理论依据和技术方法。研发了新型液

态缓凝封孔材料，提出了抽采钻孔封孔段密封效果检测方法，形成了配套的检测装置。自主研发了多级漏气测试物理相似模拟试验平台，结合抽采钻孔内部多参数多测点实时监测装置，形成了钻孔级、管道级漏气实时在线监测技术，基于泵站的超声监测特征与模糊评价方法，形成了泵站级漏气定位检测技术，最终研发了抽采系统“孔-管-泵”三级漏气检测技术与管控平台，经过典型高瓦斯矿井低渗煤层矿井的灾害治理现场应用，效果表明该项技术能够有效解决高瓦斯矿井低渗煤层高效抽采难题，为矿井的安全高效生产做出了积极贡献。

四、客观评价

1、项目验收情况

本成果所依托的国家自然科学基金项目、省部级项目及多项企业委托项目均通过验收。

2、论文发表引用情况

本成果累计发表论文 70 余篇，其中 40 多篇被 SCI、EI、CSCD 检索，学术成果受到矿业安全工程领域相关专家学者的广泛关注。

3、知识产权及人才培养情况

项目成果授权发明专利、实用新型专利及软件著作权等 30 余项；培养一批博硕士及现场技术人员。

4、应用效益和经济社会价值

研究成果已在陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿、陕西陕煤黄陵矿业有限公司、贵州黔西新田等煤矿推广应用。现场应用表明：该技术实现对低渗煤层钻孔致裂过程的精准控制与实时监测，钻孔检

测效率提高了 20 倍以上，检测精度提高了 1 个数量级，并实现了每 12 小时 1 次全工作面检测，取得良好的经济和社会效益。项目在中国煤炭工业协会科技成果鉴定中，鉴定为国际先进水平。

五、代表性论文专著目录（限 5 条）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	加载速率影响下含雁行裂纹 - 钻孔煤体变形破坏特征研究	岩石力学与工程学报	潘红宇, 冯高远, 纪翔, 等	西安科技大学	2024, 43(3): 573-586	2024-01-22	纪翔	潘红宇	潘红宇, 冯高远, 纪翔, 李佳航, 季冰, 张天军	5	9	是
2	Gray characteristics analysis of strain field of coal and rock bodies around boreholes during progressive damage based on digital image	Rock Mechanics and Rock Engineering	Ji Xiang, Zhang Tianjun, Ji Bing	西安科技大学	2023, 56(8): 5607-5620	2023-05-05	张天军、潘红宇	纪翔	纪翔, 张天军, 季冰, 张磊, 庞明坤, 潘红宇, 纪丙楠	28	30	是

六、代表性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	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	发明专利	一种区域瓦斯抽采达标评价可视化系统及方法	中国	CN113159586B	2024-05-31	7057989	西安科技大学	潘红宇, 秦斌峰, 张天军, 张磊, 宋爽, 庞明坤, 郭毅, 张志祥, 张硕
2	发明专利	一种液态缓凝封孔材料及其制备方法	中国	CN114478982B	2023-06-09	6038101	西安科技大学	潘红宇, 杜冠祎, 王军燕, 张天军, 宋爽, 王康, 贺绥男, 张磊
3	发明专利	矿井瓦斯抽采系统综合管理可视化平台	中国	CN113833513B	2023-05-16	5975034	西安科技大学	潘红宇, 季冰, 张天军, 张磊, 纪翔, 秦斌峰, 张志祥, 贺绥男, 武晋宇, 王昊天, 刘荣涛
4	发明专利	矿井瓦斯抽采系统可视化实时监测评价系统及方法	中国	CN113153417A	2021-05-14	6663425	西安科技大学	潘红宇, 贺绥男, 张天军, 宋爽, 张磊, 王康, 张秀锋, 张志祥, 张硕
5	发明专利	瓦斯抽采全系统三级漏气评价系统及评价方法	中国	CN113137221B	2021-04-22	6814566	西安科技大学	张天军, 纪翔, 潘红宇, 张磊, 秦斌峰, 张志祥, 张硕, 贺绥男, 宋爽
6	发明专利	一种井下瓦斯采钻孔封孔质量超声检测系统及检测方法	中国	CN110985106B	2021-04-20	4374796	西安科技大学	张天军, 张硕, 郭毅, 景晨, 刘楠, 张秀锋, 王小军, 李洋, 秦斌峰, 张志祥
7	发明专利	煤矿瓦斯抽采钻孔漏气位置检测实验室模拟系统及方法	中国	CN106057061B	2018-07-17	3003265	西安科技大学	张天军, 宋爽, 李树刚, 张超, 包若羽, 王乾, 张磊, 尚宏波, 魏文伟, 董晓刚, 石涛
8	发明专利	钻孔瓦斯抽采实验室模拟方法及封孔材料密封性测试方法	中国	CN107542486B	2018-07-03	2983412	西安科技大学	张天军, 蒋兴科, 包若羽, 张磊, 宋爽, 陈佳伟, 葛迪, 周敖, 赵云红, 范亚飞

六、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
潘红宇	1	\	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目总负责人，负责研究方案与技术路线的制定，统筹组织研究工作的全流程实施。对创新点一、二、三的研究中做出了创造性的贡献。
张磊	2	\	讲师	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要负责实施项目现场试验与数据采集工作，开展数值模拟分析与验证工作，对创新点一、二、三中做出了重要贡献。
包若羽	3	\	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要承担项目部分理论推导与实验室试验工作，负责现场试验方案的制定。对创新点一、二、三做出了创造性的贡献。
肖鹏	4	副院长	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要负责项目部分理论推导与试验设计工作，对创新点一、二、三做出了创造性的贡献。
王宁	5	主任师	高级工程师	陕西煤业股份有限公司	陕西煤业股份有限公司	项目主要参与者，负责现场试验方案的制定与现场试验实施，对创新点二、三做出了较大贡献。
赵玉桃	6	总工程师	高级工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿	陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿	项目主要参与者，负责协助矿方负责人组织实施现场试验工作，协调现场设备运行，对创新点二、三的研究作出了重要贡献。
张天军	7	\	教授	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要负责优化项目试验方案，组织整理现场试验数据，并开展分析工作，对创新点二的研究做出了重要贡献。
宋爽	8	系副主任	副教授	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，负责项目智能检测系统及相关软件的开发与调试，对创新点三做出了创造性的贡献。
纪翔	9	\	讲师	西安科技大学	西安科技大学	项目主要参与者，主要负责现场试验的具体执行，在创新点二的研究中做出了创造性的贡献。
李明义	10	通风部长	高级工程师	陕西陕煤铜川矿业有限公司	陕西陕煤铜川矿业有限公司	项目主要参与者，主要负责现场试验实施的部分工作，对创新点三做出了重要贡献。

七、主要完成单位情况

1. 西安科技大学

西安科技大学全面负责本项目研究方案的制定与组织实施，完成了低渗煤层超临界 CO₂ 致裂增透高效抽采关键技术研究，与陕西煤业股份有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司、陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿与西安乔木科技技术有限公司合作完成。

2. 陕西煤业股份有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，陕西煤业股份有限公司负责为项目提供

经费支持，统筹项目的实施与协调，保障人员、设备及资金投入。

3. 陕西陕煤铜川矿业有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，陕西陕煤铜川矿业有限公司负责参与项目实施，配合项目的组织与推进，提供必要的技术与现场支持。

4. 陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿

作为该项目的主要参与单位之一，陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿负责参与项目现场实施方案的规划与设计，为项目研究与应用提供了必要的场地和条件支持。

5. 西安乔木科技技术有限公司

作为该项目的主要参与单位之一，西安乔木科技技术有限公司负责为项目提供技术服务支持。

八、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人潘红宇，张磊，包若羽，肖鹏，张天军，宋爽，纪翔为西安科技大学主要完成人；王宁为陕西煤业股份有限公司主要完成人；赵玉桃为陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿主要完成人；李明义为陕西陕煤铜川矿业有限公司主要完成人。具体合作关系如下：

1. 潘红宇/1、张磊/2、张天军/7、纪翔/9合作发表论文“Gray characteristics analysis of strain field of coal and rock bodies around boreholes during progressive damage based on digital image”、“Investigation of the crack evolution characteristics of coal and rock bodies around boreholes during progressive damage based on stress threshold values”、“含水含孔试样破坏的波速及功率谱密度特征”。

2. 潘红宇/1、张天军/7、纪翔/9合作发表论文“加载速率影响下含雁行裂纹 - 钻孔煤体变形破坏特征研究”

3. 潘红宇/1、张磊/2、张天军/7、宋爽/8合作获得发明专利“一种区域瓦斯抽采达标评价可视化系统及方法”、“一种液态缓凝封孔材料及其制备方法”、“矿井瓦斯抽采系统可视化实时监测评价系统及方法”。

4. 潘红宇/1、张磊/2、张天军/7、纪翔/9合作完成专利“矿井瓦斯抽采系统综合管理可视化平台”。

5. 潘红宇/1、张磊/2、张天军/7、宋爽/8、纪翔/9合作完成专利“瓦斯抽采全系统三级漏气评价系统及评价方法”。

6. 张磊/2、包若羽/3、张天军/7、宋爽/8合作获得发明专利“煤矿瓦斯抽采钻孔漏气位置检测实验室模拟系统及方法”、“钻孔瓦斯抽采实验室模拟方法及封孔材料密封性测试方法”。

7. 潘红宇/1、王宁/5、赵玉桃/6、张天军/7、李明义/10合作完成“瓦斯抽采系统‘孔-管-泵’三级漏气检测及定位技术”科研项目。

8. 潘红宇/1、肖鹏/4合作发表论文“我国煤矿覆岩采动裂隙带卸压瓦斯抽采技术研究进展”。

(科技进步奖 提名号 309-4027)

一、项目名称

中国北方浅埋煤层火区“空天地深”一体化防治关键技术及应用示范

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

本项目以陕西、内蒙、宁夏、新疆等中国北方主要煤炭产地为研究区，以埋藏深度在 150m 以前的煤层为主要研究对象，针对煤田火区识别定位方面、风险等级评级方面和灭火工程智能监管等三方面存在的技术局限性，围绕“识别-评价-治理”三大核心环节开展研究，解决灭火识别、治理资源优化配置和灭火工程智能监管等技术瓶颈。

项目成果丰硕，发表论文 59 篇（SCI 论文 15 篇）；授权发明专利 14 项，获软著 3 项，出版专著 2 部。在陕西、宁夏、内蒙、新疆等省区 11 个单位实现规模化应用，2022-2025 年直接经济效益超 40 亿元。

2025 年经陕西省测绘地理信息学会组织国内知名院士、专家鉴定为：该项目成果总体达到国际先进水平，其中浅埋煤层火区灭火工程智能监管方面处于国际领先水平。

成果资料齐全、规范、无知识产权纠纷，人员排序争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。特提名为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

我国煤火已被列为全球五大持续生态灾难之一，尤其是在陕西、

内蒙、宁夏、新疆、山西等国家能源基地煤层自燃严重，已造成 42 亿吨煤炭损失，受威胁资源量高达 477 亿吨，每年释放有害气体高达 105.69 万吨，对国家能源安全、生态保护及“双碳战略”带来巨大挑战。

目前煤火防治技术还存在一定的局限性，尤其浅埋煤层（埋深 < 150m）因老窑采空区复杂、地面塌陷区及地裂缝易贯穿等因素造成煤火分布不规律、动态演化快等特点，为煤火防治带来巨大挑战。本项目充分耦合煤火发生机理与“空天地深”一体化探测路径，围绕“识别-评价-治理”核心环节，系统开展“空天地深”一体化煤火防治关键技术研究及应用示范，在取得一项理论创新的基础上突破了三项技术瓶颈：

1) 提出了“同源-多象-多像”煤火识别与防治的研究范式。

基于煤火“同源-多象”的基本特征和“象-像传递”的异常响应规律，提出协同分析多源影像异常信息以实现“多像识源”目标的研究范式，为煤火“空天地深”多维协同探测与感知防治提供理论依据。

2) 提出了煤火“空天地深”协同感知体系与精准定位技术方法，实现了火区多场数据相互验证和快速精准识别。

基于遥感、物探、钻探、测温及测气等手段，建立了“像元-形变-温度-物理-化学”多场时空耦合模型，通过像场融合反演、多场相互验证，快速识别及定位浅埋煤层火区及影响范围。

3) 研发了煤火区多维度动态风险评价模型，实现了火区风险等级的科学动态评价与治理资源优化配置。

融合地表形变、温度、植被指数和地质数据构建了多层次“风险指数-治理优先级”矩阵，建立了多维度动态评价技术体系，实现了煤火区风险动态评价和治理资源优化配置。

4) 构建了煤火“空天地深”一体化智能监管和决策体系，实现了煤火治理工程进度与治理效果高效全面的监管。

建立了基于多源遥感数据的灭火施工现场特征智能识别模型和地下煤火燃空区三维反演模型，实现了对灭火工程进度和治理效果智能监管，可进行“日”级响应的适时监测。

项目成果丰硕，发表论文 59 篇（SCI 论文 15 篇）；授权发明专利 14 项，获软著 3 项，出版专著 2 部。在陕西、宁夏、内蒙、新疆等省区 11 个单位实现规模化应用，2022-2025 年直接经济效益超 40 亿元；其中在陕西榆林市神府煤田完成了 60 个浅埋煤层火区治理项目，保护煤炭资源 3859 万吨，恢复耕地 2.08 万亩、草地 2.61 万亩、林地 0.99 万亩，预计减少有害气体排放量 9493 万吨，产生间接经济效益 231.5 亿元。

四、客观评价

（1）技术鉴定

以中国工程院院士王家耀为主任委员及陕西测绘地理信息局副局长王占宏等 5 人为委员的科技成果鉴定委员会对本项目进行科技鉴定，一致认为：“该成果总体达到国际先进水平，其中在浅埋煤层火区灭火工程智能监管方面处于国际领先水平。”

（2）国内外学术评价

1) 项目组在《武汉大学学报（信息科学版）》发表的学术论文《煤田隐蔽火源多源遥感探测研究》，引用量达到 19 次，下载数量达到 747 次。

2) 项目组在《自然资源遥感》发表的学术论文《基于 DS-InSAR 的乌达煤田火区长时序地表形变监测与分析》，引用量达到 19 次，下载数量达到 726 次。

3) 项目组在《煤炭工程》发表的学术论文《基于无人机热红外遥感的新疆宝安煤矿火区探测》，引用量达到 20 次，下载数量达到 983 次。

4) 项目组学术论文《煤田隐蔽火源多源遥感探测研究》，被西安科技大学校长、著名煤火防治专家邓军教授在《煤炭学报》发表的论文引用并正面评价。

5) 项目组提出的“象像映射-源象传递-多像识源”的多源遥感煤火识别研究范式被榆林市采煤沉陷区煤层火烧区隐患风险大核查项目(经费 2160 万)选为标准方法，特邀项目团队前往指导、项目论证。

6) 项目组在《International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation》发表的论文，首创了融合开采沉陷特征的 InSAR 三维形变获取方法，该论文被评为高被引论文。

7) 项目组在《金属矿山》发表的学术论文《基于 D-InSAR 技术和灰色 Verhulst

模型的矿区形变监测》，被评为 2017 年度 F5000 中国精品科技期刊顶尖学术论文。

(3) 查新结论

本项目完成的主要创新点委托具备一级科技查新资质的陕西省科学技术信息研究院进行查新，查新结论为：综合分析比较可以看出：在国内外公开发表的中外文文献中，与本项目查新点完全相同的未见报道。

(4) 社会评价

1) 近三年来，本研究成果支撑榆林市自然资源和规划局完成榆林市“明盘”整治项目的治理设计、监管等工作，彻底解决了榆林市历史遗留废弃矿山采煤沉陷区火烧区治理难题，陕西省省委、榆林市市

委主要领导现场调研时给出了高度评价。

2)项目成果支撑项目团队成员入选 2024 年陕西省三秦英才特殊支持计划创新创业团队（团队负责人李聪聪），在陕西省科技厅官方网站报道团队在煤火防治方面的成果。

五、应用情况

截止 2025 年 6 月，本项目研究成果被广泛应用于我们北方浅埋煤层火区防治领域，主要涉及地区为：新疆、宁夏、陕西、内蒙等地区；项目成果应用的领域为：火烧隐患区地质环境综合治理项目、火烧区应急排险治理项目生态修复方案编制、火区勘查、应急排险治理及回填复垦生态修复工程技术监审、火区补充勘查及调查数据管理系统建设技术开发、火区安全与生态治理项目自动化及通信工程等。主要应用的单位包括管理部门，煤火防治业主企业，勘查设计技术单位，矿山企业，灭火工程施工企业等，主要应用情况详述如下：

(1)项目提出的煤火“空天地深”协同感知体系与精准定位技术方法，解决了传统单一手段探测煤火的周期长、难以精准定位的技术难题，在陕西、新疆等地浅埋煤层综合识别中得到广发应用，使煤火勘查周期缩短 50%，识别精度大幅度提升；

(2)项目研发形成了煤火区多维度动态风险评价模型，实现了火区风险等级的科学动态评价与治理资源的优化配置，解决了区域性煤火防治资源配置不均匀，防治效果不佳的难题，首创性的在陕西榆林神府煤田上层采煤沉陷区治理规划中应用，提升防治资源优化水平；

(3)项目构建的煤火“空天地深”一体化智能监管体系，解决了灭火工程监管时效性差的技术瓶颈，在陕西、宁夏、内蒙、新疆等地的煤火治理工程中应用，使施工效率提升 2 倍左右，煤火复燃率降低 85%。

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
10	发明专利	一种基于地物影像的结构相似源匹配方法	中国	CN109685837B	2024年03月22日	6815476	中国矿业大学	郝明, 金梦超

七、主要完成人情况

(1) 姓名：张富荣，排名：1，行政职务：副所长，技术职称：高级工程师，工作单位：中煤航测遥感集团有限公司，对本项目技术创造性贡献：项目负责人，负责项目总体研究思路设计，研究区选取，研究方法和技术思路编制。投入工作量占本人工作量的80%，负责相关技术方案研究制定，并牵头组织实施，取得了成果成效和技术创新，并将研究成果在陕西、宁夏、新疆等地进行了推广。

(2) 姓名：赵峰，排名：2，行政职务：无，技术职称：副教授，工作单位：中国矿业大学，对本项目技术创造性贡献：项目技术负责，全流程质量技术把关及协调，负责火源动态修正模型研究、多源卫星遥感地下燃空区位置反演等关键技术难点攻关及技术报告核心内容的撰写，确保专业性和准确性。

(3) 姓名：李聪聪，排名：3，行政职务：公司首席专家，技术职称：正高级高工，工作单位：中煤航测遥感集团有限公司，对本项目技术创造性贡献：负责项目的组织实施、协调策划，技术把关。负责煤火多维动态风险评价及治理资源优化配置关键技术攻坚及核心内容的撰写，审核技术成果。

八、主要完成单位及创新推广贡献

(1) 中煤航测遥感集团有限公司

作为成果牵头单位，主导完成本科研工作，并负责推广应用。提出了煤田火区识别与定位、煤田火区风险等级评价和煤田火区工程智

能监管等三方面存在的技术局限，并针对性的进行了关键技术研究；主要包括：构建了应力场-磁场-热场动态反演模型，结合地质统计学动态修正火源深度与范围，解决浅埋煤层火区漏风通道复杂导致的定位偏差问题；研发了煤火多维度动态风险评价模型，实现火区治理资源优化配置，包括煤火风险指数矩阵构建、煤火风险评价因子数据获取与处理及煤火风险动态评价；构建了煤火“空天地深”一体化智能监管体系，实现煤火治理工程高效监管，包括灭火工程全周期遥感样本及监测模型构建与训练，通过智能识别灭火工程现场火区烟雾、扬尘、开挖工作面、回填工作面等特征，智能监管施工进度及治理效果，建立了地下燃空区三维温度场及其形态时空演化模型，灭火工全周期程智能监管平台研发。

推广应用方面，我单位牵头将本项目研究成果在陕西、内蒙、宁夏、新疆等地的采煤沉陷区及煤田火区探测和治理领域进行了全面的推广应用，其中在陕西榆林地区历史遗留废弃矿山采煤沉陷区及火烧区治理项目中分别从煤火探测与识别、煤火风险等级评价和灭火工程智能监管等方面进行了全面推广应用，彻底解决了该区的火烧区治理难题，在2022-2025年产生综合经济效益共计超过40亿元。

（2）中国矿业大学

中国矿业大学为中煤航测遥感集团在本项目有关多源卫星遥感煤火协同智能识别与监测、无人机热红外遥感煤火地表温度场高精度建模与异常提取、协同深部探测数据的火源位置精准定位反演与温度场构建等方面的技术支撑单位。在项目多源卫星遥感煤火协同智能识别与监测方面，共同提出了提出“象像映射-源象传递-多像识源”煤火识别与防治的研究范式，研发多种协同热红外、雷达、光学等多源卫星遥观测及人工智能模型的广域煤火智能探测与监测技术。在无人

机热红外遥感煤火地表温度场高精度建模与异常提取方面，共同提出了一种无人机热红外遥感煤火区地表温度观测精度系统评估方法，提出了一种适用于热红外无人机地表温度日变换模型的构建方法，实现地表温度反演误差 $<1.5^{\circ}\text{C}$ ；基于局部方差及香农熵等指标对无人机煤火区热异常最优观测尺度进行了研究，找到了“煤火区热异常最优观测尺度”。在协同深部探测数据的火源位置精准定位反演方面，顾及不同钻孔测温数据的分布特点，共同提出一种基于3D经验贝叶斯克里金插值的钻孔测温数据重建地下火源方法，解决了难以对地下煤火在三维空间演化状态及规律进行定量研究的问题。

(3) 中铁第一勘察设计院集团有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司为中煤航测遥感集团有限公司在本项目有关煤火防治关键技术合作研发及推广应用单位。本项目中中铁第一勘察设计院集团有限公司与中煤航测遥感集团有限公司针对榆林地区历史遗留废弃矿山的采煤沉陷区煤火探测周期长、治理效果差、火区易复燃等技术难题，提出了适应于该区煤火的基于多源遥感、无人机热红外、钻孔测温测气、地表形变等多源数据耦合模型，实现各技术手段相互验证，提供煤火探测效率。

在技术推广应用期，中铁第一勘察设计院集团有限公司在陕北“明盘”整治项目中开展“天-空-地-深”一体化防治关键技术推广应用，并收集本项目研发的关键技术在各项目的推广应用的原始资料，对各项关键技术应用效果根据项目实际情况进行及时反馈并提出改进意见和建议。今后将配合中煤航测遥感集团有限公司在榆林地区历史遗留废弃矿山的采煤沉陷区治理中进一步推广应用煤火识别、风险评价、智能监管等关键技术

九、完成单位合作关系说明

中煤航测遥感集团有限公司、中国矿业大学和中铁第一勘察设计院集团有限公司合作完成了《中国北方浅埋煤层火区“空天地深”一体化防治关键技术及应用示范》项目。中煤航测遥感集团有限公司合作者排名第一，中国矿业大学合作者排名第二，中铁第一勘察设计院集团有限公司合作者排名第三，特此说明。