

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

基于电法冲击波的煤/岩层预裂技术与应用

二、提名者及提名意见

提名者：吴坚，西安交通大学电气工程学院，教授，电气工程专业

提名意见：

该项目面向煤矿坚硬煤岩层安全、高效、绿色破岩需求，开展了电法冲击波煤岩预裂理论、关键技术、成套装备与工程应用研究。项目以脉冲功率驱动金属导体电爆炸产生可控冲击波为核心，揭示了电能—金属导体内能—冲击波能量转换规律及重复冲击下煤岩裂纹萌生、扩展与贯通机制，建立了冲击能级、作用次数、作业点间距和钻孔间距等参数协同设计方法；研制百千焦级可控冲击波成套装备及安全能量传输技术，形成“单点多波、多孔联动、全段均衡”的坚硬煤岩预裂工艺，实现了机理、参数、装备与工程应用的系统集成创新。项目成果已在柠条塔煤矿完成现场试验和工程验证，实现坚硬煤岩有效预裂及相邻钻孔裂隙贯通。该技术具有能量可调、过程可控、安全绿色、重复作业和适应性强等优势，可推广至顶底板定向预裂、岩巷掘进、夹矸及侵入岩破除、扩帮和起底等场景。项目通过产学研协同攻关，形成了具有自主知识产权的理论方法、关键装备和工程工艺，为煤矿破岩向电能驱动、精准可控、绿色低碳转型提供了新路径，具有显著的工程应用和行业示范价值。提名该项目申报陕西省科学技术进步奖二等奖。

提名者：刘浪，西安科技大学能源学院，教授，采矿工程专业

提名意见：

该项目面向煤矿坚硬煤/岩层安全、绿色、高效预裂需求，提出电能驱动金属导体电爆炸产生可控冲击波的绿色预裂技术，形成“冲击波高效产生—煤岩渐进致裂—百千焦级成套装备—井下预裂工艺”的完整技术链。项目阐明高储能金属导体电爆炸能量转换机理，建立电参数、负载结构与冲击波输出的匹配调控方法；揭示重复冲击下煤岩“先致裂、后扩展、再贯通”的渐进破坏规律，提出“单点多波、多孔联动、全段均衡”的定向预裂方法；研制 100 kJ 矿用脉冲功率驱动及安全输能成套装备，并在柠条塔煤矿完成规模化工程验证。成果经鉴定达到国际领先水平，查新显示除项目组成果外未见与查新点完全相同的公开报道。工程应用表明，技术可减少火工品使用风险，前期准备时间缩短 60%，综合作业效率提高 35% 以上，具有显著安全、经济和社会效益。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目面向榆林等西部矿区巨厚坚硬顶板及坚硬煤岩层安全、高效、绿色预裂的重大工程需求。我国坚硬顶板矿区约占煤矿总量的 1/3，顶板完整、强度高、悬顶尺度大，易造成强矿压显现、巷道变形破坏和采掘衔接困难；顶板切缝、夹矸及侵入岩破除等作业长期主要依赖火工品爆破、水力压裂等技术。火工品爆破能量难以精准调控，且受到储运、审批和安全管理限制；水力压裂受岩性、原位应力、天然裂隙及水敏性影响较大，在坚硬致密岩层中存在高压设备布设复杂、定向控制能力不足等问题。针对上述难题，本项目以脉冲功率驱动金属导体电爆炸产生可控冲击波为核心，围绕“强冲击波高效产生—重复冲击渐进致裂—百千焦能量安全传输—井下精准预裂—规模化工程应用”开展系统研究，形成了从基础机理、参数设计、装备研制到现场工艺应用的完整技术体系，取得以下主要创新成果：

1、建立百千焦级金属导体电爆炸强冲击波高效产生与能量匹配调控技术。系统研究金属导体在脉冲大电流作用下由焦耳加热、熔化、汽化、击穿至等离子体快速膨胀的动态过程，辨识不同相变阶段的压力响应，提出“汽化冲击波—击穿冲击波追赶叠加”的强冲击波形成机制；建立“储能—回路—负载质量—尺度—构型—沉积能量—冲击波”多参数协同匹配关系，形成质量匹配放电与结构调控增能方法。100 kJ、0.8 g 条件下，1.6 mm 锯齿丝和矩形丝沉积能量分别达到 40.09 kJ 和 38.18 kJ，显著高于 2.0 mm 直丝的 20.45 kJ。自主构建 3×40 kJ 固体开关和 150 kJ 气体开关脉冲功率试验平台，为百千焦级强冲击波稳定产生及参数优化奠定基础。

2、揭示重复冲击波作用下煤岩“先致裂—后扩展—再贯通”的渐进破坏规律，建立不同强度煤岩的能级—次数—空间参数协同设计方法。基于应力波传播、波阻抗反射透射和动态断裂理论，结合数值模拟、高强水泥、砂岩、花岗岩物模及围压岩体试验，阐明冲击波在自由面、天然裂隙及介质不连续界面处诱发拉伸—剪切复合破坏、多裂纹协同扩展与重复加载累积损伤机制，创新提出“单点多波、多孔联动、全段均衡”的定向预裂理念。通过 13.5~100 kJ 多能级试验建立冲击能级、负载匹配、单点冲击次数与 30~120 MPa 煤岩强度之间的对应关系；120 MPa 花岗岩模型在 100 kJ 重复冲击下形成明显贯通破坏，约 123 MPa 实体花岗岩围压试验形成轴向约 1.6~2.5 m 裂纹，为复杂应力环境下精准预裂提供了定量依据。

3、研发百千焦级矿用可控冲击波成套装备与精准切顶工艺。研制 100 kJ 级脉冲功率驱动源、气体火花开关、电容储能保护回路、大电流同轴传输系统、孔内能量转换器及封孔注水等成套装置，形成“脉冲源—同轴传输—孔内换能”的分体式装备架构，实现百千安级脉冲电流低损耗安全传输和孔内金属丝/管重复电爆炸。建立“钻孔设计—充水耦合—由深至浅分点冲击—窥视/注水检验—参数动态优化”的标准化作业流程，明确 100 kJ 级储能、单点多次冲击、约 1.5~2 m 冲击点间距以及钻孔间距等关键工艺参数，实现冲击能量、岩层强度和空间布孔的

协同匹配。

项目成果在陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司开展了多轮先导性试验和规模化工程应用，并通过钻孔窥视、注水连通及顶煤破碎特征对预裂效果进行综合评价。现场试验表明，相邻钻孔裂隙可实现有效沟通；与传统工艺相比，前期准备时间缩短 60%，综合作业效率提高 35%以上，单孔作业能耗可低至约 0.8 kWh，且不使用炸药、无爆破有害气体，可与正常生产组织灵活衔接。成果形成 6 项授权专利和 5 篇相关论文，经科技查新未见与本项目核心技术完全相同的国内外公开文献，经中国煤炭工业协会组织专家鉴定达到国际领先水平。相关技术还可拓展至煤层顶底板定向预裂、岩巷掘进、夹矸及侵入岩破除、扩帮和起底等坚硬煤岩作业场景，为煤矿破岩由传统火工品向电能驱动、精准可控和绿色低碳方向转型提供了新的技术路径，具有显著的工程应用价值和行业示范意义。

四、客观评价

1. 科技成果鉴定评价

2026 年 6 月 24 日，中国煤炭学会组织有关专家对“基于电法冲击波的煤/岩层预裂技术研究与应用”进行鉴定。鉴定意见认为：项目阐明了高储能下金属导体电爆炸能量转换机理，揭示冲击波强度与电参数、金属导体结构及储能的匹配调控机制，提出百千焦可控冲击波产生方法；揭示重复冲击波作用下煤/岩层“先致裂、后扩展、再贯通”的渐进破坏规律，形成预裂卸压技术体系；建立井下成套工艺，明确能量与岩层强度匹配及关键作业参数，实现冲击波能量高效耦合与安全传输。鉴定结论为“成果达到国际领先水平”。

2. 项目验收评价

2024 年 9 月 29 日，陕西煤业股份有限公司综合绩效评价委员会对项目（编号：2020SMHKJ-C-18）进行验收。专家组认为，项目完成百千焦脉冲功率驱动源研制，形成曲折丝、金属管、变径金属管等多种金属导体负载，通过物模试验确定不同强度岩层的参数匹配关系，并在柠条塔煤矿开展工业试验，实现孔间距 1 m 裂缝贯通及单点 3~5 次冲击条件下高强岩体有效致裂；项目资料齐全、经费使用合理，同意通过验收。

3. 科技查新评价

教育部科技查新工作站（Z08）于 2026 年 5 月 18 日完成本项目科技查新。查新报告对国内外相关电爆震、电脉冲和等离子体放电致裂技术进行检索比较后指出，公开文献中虽存在利用电相关技术产生冲击波进行煤岩致裂或增渗的研究，但未涉及本项目提出的“利用金属丝电爆炸产生可控冲击波并用于煤矿煤/岩层预裂”的方法；除项目组自身成果外，与本项目查新点完全相同的公开报道未见。

4. 技术指标对比

项目技术综合比较材料显示，本项目形成 100 kJ 百千焦级脉冲功率驱动、曲折丝/金属管/变径金属管等可适配负载结构，可实现冲击强度、冲击次数和作用间距可控，单点可重复冲击 3~5 次；实验室连续冲击 5 次可致裂抗压强度 120 MPa 的未风化花岗岩，并完成煤矿顶板定向预裂现场验证。上述指标体现出相较

传统火工品和现有液电/解堵型冲击技术在可控重复加载、高强煤岩致裂、安全性及多场景适配方面的综合优势。

五、应用情况

本项目按照“机理研究—装备研制—工艺优化—现场验证”的技术路线推进，自 2021 年起依托陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司开展现场试验。前期在矿井典型煤岩结合部布置试验钻孔，采用电能驱动金属导体电爆炸方式实施多次可控冲击，并通过钻孔窥视和注水测试评价裂隙发育与孔间沟通情况。结果表明，冲击位置周围裂纹显著扩展，0.6 m 外钻孔沟通明显，1.2 m 外仍可观察到影响，为工程参数确定提供了依据。

在此基础上，项目组持续优化脉冲功率驱动源、金属负载结构、同轴输能系统、孔内能量转换器、钻孔布置、单点作用次数及施工流程，并在两个综放工作面开展规模化预裂示范。工程观测表明，试验区钻孔裂隙明显发育，大块率降低，验证了可控冲击波对坚硬煤岩体的有效弱化和定向预裂能力。

成果已形成从高储能电爆炸机理、冲击波输出调控、煤岩致裂参数匹配、百千焦级成套装备到井下作业工艺的完整技术链，可进一步推广至顶底板定向预裂、切顶卸压、岩巷辅助掘进、夹矸/侵入岩破除、巷道扩帮及起底等场景。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	基于可控冲击波法的煤矿井下作业装备研发	应用于煤矿工作面，新销售额 51500 万元，新增利润 33775 万元，新增税收 11761 万元，节约时间 60%，单孔作业能耗降低至 0.8 度电。	2023.1-2025.12	宋涛

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种气体火花开关、金属丝电爆炸回路及其控制方法	中国	ZL 2021 1 0942722.9	2024 年 3 月 5 日	6760644	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	刘思民；张永民；闫敬旺；迟宝锁；卢勇；王建文；陈菲；闫世平
2	发明专利	一种用于金属丝电爆炸的负载装置及其组装方法	中国	ZL 2021 1 0942718.2	2025 年 4 月 22 日	7889024	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	张永民；刘辉；赵有志；闫敬旺；郭晓飞；迟宝锁；王宏科；李孝利
3	论文	Effects of wire size on electrical and shock-wave characteristics in underwater electrical explosions of aluminum wires	美国	31, 073502 (2024)	2024 年 7 月 1 日	Physics of Plasmas	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	张少杰；陈万胜；卢勇；张永民；王双明；邱爱慈；马亮；高亮；陈菲
4	论文	Underwater electrical wire explosions under different	美国	31, 043505 (2024)	2024 年 4 月 3 日	Physics of Plasmas	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿	张少杰；陈万胜；卢勇；张永民；王双

		discharge types: An experimental study with high initial energy storage					业有限公司	明; 邱爱慈; 马亮; 高亮; 陈菲
5	论文	Physical Simulation Experiment on the Rock Breaking Efficiency of Pulse Type Controllable Shock Wave	美国	2024, 9, 51554-51569	2024 年 12 月 17 日	ACS Omega	西安交通大学; 陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	王树斌; 张硕; 马亮; 赵有志; 高亮; 曹宇翔; 谢鹏杰
6	论文	Shock wave generated by composite energetic material driven by electrical non-penetrating wire explosion plasma	美国	95, 093504 (2024)	2024 年 9 月 3 日	Review of Scientific Instruments	西安交通大学	孟杨; 靳文勇; 张珂; 丁卫东; 张永民
7	论文	The optical diagnosis of electrical wire explosion under a microsecond current pulse	美国	93, 094706 (2022)	2022 年 9 月 13 日	Review of Scientific Instruments	西安交通大学	孟杨; 唐梦媛; 薛浩睿; 丁卫东; 张永民; 王亚楠
8	论文	空气中并联金属丝阵列电爆炸等离子体自辐射特性	中国	第 49 卷 第 6 期: 2671-2681	2023 年 6 月 30 日	高电压技术	西安交通大学; 北京航空航天大学	孟杨; 申赛康; 王亚楠; 丁卫东; 张永民; 闫家启

9	实用新型专利	一种气体火花开关、金属丝电爆炸回路	中国	ZL 2021 2 1934773.9	2022 年 3 月 8 日	15963977	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	张永民；谭震；刘思民；李孝利；卢勇；闫世平
10	实用新型专利	一种用于电容储能的金属丝电爆炸的低端回路电路	中国	ZL 2021 2 1927554.8	2022 年 4 月 19 日	16337329	西安交通大学；陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	张永民；迟宝锁；刘思民；张战波；卢勇；曹宇翔

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
张永民	1	无	研究员	西安交通大学	西安交通大学	主要承担总体实施方案与技术路线制定。主要贡献为：（1）组织百千焦级金属导体电爆炸冲击波产生与能量匹配研究，推动储能—回路—负载协同优化；（2）参与不同强度煤岩重复冲击致裂参数设计及现场方案论证；（3）推动脉冲源、气体火花开关、保护回路和负载装置等关键技术形成。为本项目 6 项专利发明人之一。
孟杨	2	无	助理研究员	西安交通大学	西安交通大学	项目主要参与人，主要协助现场总体方案制定。主要贡献为：（1）参与实验室研究成果向现场预裂工艺参数转化，协助冲击能级、单点作用次数、冲击点间距及钻孔间距等参数论证；（2）参与现场试验方案设计、实施及效果分析，支撑“单点多波、多孔联动、全段均衡”预裂工艺的工程验证。
高亮	3	部长	高级工程师	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	项目主要参与人，主要承担现场示范工程建设。主要贡献为：（1）参与规模化试验区布置及现场施工组织；

						(2) 参与钻孔施工、冲击作业、裂隙观测等数据采集评价；(3) 推动规模化示范和现场工艺优化，验证了成套技术的安全性、可靠性与工程适用性。
高永军	4	副总工程师	高级工程师	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	主要协助现场总体方案制定。主要贡献为：(1) 结合矿井地质及生产条件参与预裂区域、钻孔布置和施工组织方案论证；(2) 参与现场工况参数优化、试验协调及效果评价，支撑可控冲击波技术在巨厚坚硬顶板条件下的工程验证与规模化应用。
曹宇翔	5	副部长	高级工程师	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	主要协助现场总体方案制定。主要贡献为：(1) 参与百千焦脉冲功率系统低端回路及安全放电技术研究，支撑高能脉冲电流稳定传输；(2) 参与现场实施方案论证与工艺优化。为本项目“用于电容储能的金属丝电爆炸低端回路电路”专利发明人之一。
宋涛	6	副部长	高级工程师	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	参与项目组织协调、现场试验对接及鉴定材料汇总等工作
王守印	7	高级业务主管	高级工程师	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	主要协助现场总体方案
卢勇	8	无	助理研究员	西安交通大学	西安交通大学	项目主要参与者，主要协助现场总体方案制定。主要贡献为：(1) 参与气体火花开关、电容储能保护回路、低

						端回路等百千焦脉冲功率关键单元研究；（2）参与现场冲击参数与工艺方案论证及实施，支撑装备与现场工况匹配。为本项目气体火花开关、保护回路及低端回路等 4 项专利发明人之一。
张硕	9	无	高级工程师	西安交通大学	西安交通大学	项目主要参与人，主要承担项目实施。主要贡献为：（1）参与可控冲击波现场试验实施及工艺参数优化；（2）参与设备运行、孔内冲击作业与现场数据整理分析；（3）支撑先导试验与规模化示范衔接，推动成套技术在巨厚坚硬顶板预裂中的工程验证。
赵有志	10	无	高级工程师	西安交通大学	西安交通大学	主要承担项目实施及负载装置相关技术研究。主要贡献为：（1）参与金属丝电爆炸负载装置及组装方法研发，支撑负载快速更换与能量匹配；（2）参与项目现场实施与装备应用。为本项目“金属丝电爆炸负载装置及其组装方法”等 2 项专利发明人之一。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献 (限 600 字)
西安交通大学	1	(1) 作为项目第一完成单位和核心技术研发单位，负责总体技术路线、实施方案及关键技术攻关，围绕脉冲功率驱动金属导体电爆炸可控冲击波开展基础理论和实验研究，阐明高储能条件下电能—金属导体内能—冲击波能量转换规律及强冲击波形成机制。 (2) 系统开展重复冲击煤岩致裂物理试验、数值模拟和围压岩体试验，揭示煤岩“先致裂—后扩展—再贯通”的渐进破坏规律，建立冲击能级、作用次数、作业点间距和钻孔间距等参数协同设计方法。 (3) 开展百千焦级脉冲功率驱动、气体火花开关、储能保护回路、大电流同轴输能和孔内能量转换等关键技术研究，形成多项专利和论文成果，为井下可控冲击波稳定作业提供技术基础。 (4) 参与柠条塔煤矿现场试验方案设计、参数优化和效果分析，推动实验室研究成果向井下预裂工艺转化，支撑“单点多波、多孔联动、全段均衡”技术模式的工程验证。 (5) 组织项目成果总结、科技查新、鉴定及知识产权布局，为项目成果达到国际领先水平和后续推广应用提供技术支撑。
陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司	2	(1) 作为项目主要工程应用单位，结合柠条塔煤矿巨厚坚硬顶板及坚硬煤岩层赋存条件和生产需求，提出顶板预裂、切顶卸压等现场技术需求，提供矿井地质参数和生产边界条件，为试验场景选择及工程方案设计提供依据。 (2) 为现场试验和工程验证提供矿井条件、作业空间、生产组织及安全保障，协调完成试验区域选择、钻孔施工、设备运输安装、安全措施落实和相关作业条件准备。 (3) 深度参与多轮先导试验和规模化示范，配合开展冲击作业、钻孔窥视、注水连通及煤岩破碎特征等数据采集与评价，验证相邻钻孔裂隙沟通和高强煤岩有效预裂效果。 (4) 结合现场工况参与钻孔间距、作业点间距、单点冲击次数等关键参数优化和施工流程完善，推动技术在相关综放工作面持续应用，验证其安全性、可靠性和工程适用性。 (5) 参与应用效果统计、技术总结和推广示范，形成现场应用证明，验证前期准备时间缩短 60%、

		综合作业效率提高 35%以上等工程效果，为成果复制推广提供工程样板。
--	--	------------------------------------

九、完成人合作关系说明

本项目由西安交通大学与陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司合作完成。各完成人具体合作关系如下：

项目第一完成人张永民、第二完成人孟杨、第三完成人高亮、第四完成人高永军、第五完成人曹宇翔、第六完成人宋涛、第七完成人王守印、第八完成人卢勇、第九完成人张硕、第十完成人赵有志共同完成了《基于电法冲击波的煤/岩层预裂技术研究与应用》的科技成果鉴定。（附件：科技成果鉴定证书）