（科技进步奖 提名号309-4030）

一、项目名称

黄陵矿区薄及极薄煤层无人化开采关键技术与工程示范

二、提名单位及提名意见

㈠提名单位

陕西省煤炭学会。

㈡提名意见

该成果以薄及极薄煤层智能无人高效开采为目标，对薄及极薄煤层液压支架与围岩刚度耦合及群组协同支护理论进行系统研究，创新提出大落差巷面衔接与等煤厚连续开采工艺，研制支护高度大工作阻力液压支架、机面高度675 mm的矮机身高功率密度采煤机和低槽帮无变线槽刮板输送机，构建以多模式采煤工艺模型为核心的无人化开采成套技术体系，形成“面内无人操作、面外人工干预”的无人化生产模式。成套装备在0.78～1.30 m煤层条件下实现稳定运行，工作面作业人员由6人减少至面内无人操作、2人定期巡检，具备100万t/a生产能力，实现了薄及极薄煤层由有人跟机自动化向常态无人智能化生产的跨越。项目成果取得了显著的经济和社会效益显著，对推动煤炭行业科技进步与薄煤层资源高效开采经济发展具有重要意义和示范引领作用。

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一等奖。

三、项目简介

薄及极薄煤层是我国煤炭资源的重要组成部分。按行业标准，井工煤矿煤层厚度小于1.3 m为薄煤层、小于0.8 m为极薄煤层，我国薄煤层可采储量约占煤炭总可采储量的20%，但年产量仅占全国煤炭总产量的10%左右，资源赋存与开发利用程度长期不匹配。尤其是1.0 m以下薄及极薄煤层资源煤质优良、工业利用价值高，却因作业空间极度受限，长期面临“支护能力与结构尺寸难兼顾、截割运输能力与设备配套难统筹、智能控制能力与复杂现场环境难适应”三重矛盾。传统技术多以装备缩型、记忆截割、跟机自动化和远程干预为主，难以在极低采高条件下同时实现少割矸、高可靠、高效率和常态无人作业。突破1.0 m以下薄及极薄煤层安全高效无人化开采，对提高资源回收率、延长矿井服务年限、减少人员进入低矮危险空间以及推动煤矿智能化向更复杂工况延伸具有重要意义。

依托陕西煤业化工集团有限责任公司2023年度公司级科技项目，黄陵矿业集团有限责任公司、陕西双龙煤业开发有限责任公司、天地科技股份有限公司和陕西通为数字科技有限公司开展联合攻关。项目以“无人化开采”为总目标，不是对既有装备进行简单缩小，而是围绕极低采高条件下“如何安全支、如何连续采、用什么装备采、如何实现无人采”四个相互衔接的问题，形成了“支护理论—开采工艺—成套装备—无人化成套技术”的递进式技术路线。

项目首先构建薄及极薄煤层液压支架与围岩刚度耦合及群组协同支护理论，建立支护强度估算公式、群组载荷分布和超前支护自适应调控方法，为薄煤层工

作面支护参数设计提供理论支撑；在此基础上，创立大落差巷面衔接与等煤厚连续开采工艺，通过刮板输送机反曲线下卧、机头机尾动力部下卧巷道及刮板输送机无变线槽布置，解决端头自动截割、少割矸和连续推进难题，使“被迫容忍装备割矸”转变为“装备服从煤厚精准开采”。依据理论参数和工艺边界，研制了支护高度大工作阻力液压支架、机面高度 675 mm 的矮机身高功率密度采煤机和低槽帮无变线槽刮板输送机，形成极低采高紧凑型高可靠综采成套装备。

在上述理论、工艺和装备基础上，项目进一步构建以多模式采煤工艺模型为核心的无人化开采成套技术体系，融合多源信息感知、5G 漏缆与光纤冗余通信、采煤机自适应截割、液压支架自动跟机移架、刮板输送机高效运输、设备远程集中管控，实现采煤、支护、运输装备由单机自动运行向工作面整体自主协同转变，形成“面内无人操作、面外人工干预”的无人化生产模式。成套装备在 0.78～1.30 m 煤层条件下实现稳定运行，工作面作业人员由 6 人减少至面内无人操作、2 人定期巡检，具备 100 万 t/a 生产能力，实现了薄及极薄煤层由有人跟机自动化向常态无人智能化生产的跨越。

项目形成 29 项代表性成果，包括 12 项授权发明专利、4 项计算机软件著作权和 13 篇论文。项目成果经中国煤炭工业协会组织鉴定达到国际领先水平，被评价为我国首个投入使用的薄及极薄煤层高效智能开采成套装备，入选 2024 年度全国煤矿智能化重大进展，并获 2025 年度中国煤炭工业科学技术奖一等奖、2026 年度陕西省煤炭科学技术奖一等奖。项目成果自 2024 年 1 月起在省内外多矿井持续应用，截至 2026 年 7 月底累计实现销售额 56.2 亿元、新增利润 19.5 亿元。项目提高了薄及极薄煤层资源开发利用水平，降低了低矮工作面人员劳动强度和现场作业风险，形成了可复制、可推广的无人化开采技术路径，为我国同类矿井薄及极薄煤层安全、高效、智能开采提供了工程示范。

四、客观评价

1.科技成果鉴定评价。2025 年 3 月 20 日，以中国煤炭学会副理事长、中国煤炭工业协会科技发展部副主任张建明为组长的专家组对“黄陵矿区薄及极薄煤层无人化开采关键技术与工程示范”项目进行了现场考察和验收，并于 2025 年 4 月 22 日在北京对项目成果进行了会议鉴定。以中国煤炭工业协会副会长刘峰为组长的鉴定委员会认为：项目形成 0.78～1.30m 薄煤层三机配套方案，研制大中心距“宽顶梁、窄底座”液压支架、矮机身高功率密度采煤机和低槽帮无过渡槽刮板输送机，构建采用 AI 视频、5G 漏缆的“无人作业+远程干预”生产管控模式，在陕西双龙煤业应用并具备 100 万 t/a 能力；鉴定结论为“研究成果达到国际领先水平”，建议进一步推广应用。获得 2024 年度全国煤矿智能化重大进展荣誉证书，被评价为“我国首个投入使用的薄及极薄煤层高效智能开采成套装备”。中国煤炭工业协会与中国煤炭报联合评选为 2025 年煤炭科技十大新闻，位列其中第四。

2.科技查新评价。冶金工业信息标准研究院作为国家一级科技查新咨询单位，于 2025 年 3 月 12 日完成报告编号 2025YJZX-353 的科技查新。查新围绕极薄煤

层狭窄空间支架、成套装备、工况监测及无人化协同控制 4 个查新点，检索国内外文献和专利，共筛选与项目相关文献 33 篇。查新报告在逐项比较后指出，除项目组公开的相关成果外，未见其他与本项目 4 项查新点技术内容相同的报道。

3.国内外技术参数比较。项目鉴定与技术对比材料显示：国内代表性极薄煤层支架中心距约 1.50m、工作阻力低于 5000kN、常规最低高度大于 1.0m，本项目为 0.60m、1.75m 和 5500kN;国内代表性薄煤层采煤机机面高度约 680～890mm，本项目为 675mm、总装机功率 560kW；刮板输送机采用低槽帮、扁平链、销排侧挂反装和机头机尾下沉无过渡槽结构，在 0.78～1.30m 采高下成套运行。国外目前没有同类的成套装备。

表 1 技术指标对比

技术对象	项目鉴定资料中的国内外代表性技术	本项目技术参数与结构
极薄煤层液压支架	国内代表性支架中心距约 1.50m、工作阻力低于 5000kN、常规最低高度大于 1.0m；国外缺少同采高工程应用资料。	最低高度 0.60m、中心距 1.75m、工作阻力 5500kN；宽顶梁窄底座、水平双油缸抬底、多耳板连接。
薄煤层采煤机	国内代表性机型机面高度约 680mm、适用采高 0.90～1.10m；国外代表性机型机面高度约 890mm。	机面高度 675mm、总功率 560kW、适用采高 0.6～1.4m，项目示范采高 0.78～1.30m。
刮板输送机	常规机型采用较高槽帮、销排正装及过渡槽，端头空间占用较大。	低槽帮、扁平链、销排侧挂反装、机头机尾下沉、无过渡槽，运输能力 500t/h。
开采控制模式	现有薄煤层多采用记忆截割、跟机自动化和远程干预，1m 以下成套化常态运行资料有限。	0.78～1.30m 采高下实现面内无人操作、面外人工干预，具备 100 万 t/a 能力。

4.工业性试验与现场评价。研究报告和工业性试验资料记载，成套装备在双龙煤业完成工业性试验。稳定生产期间，单日最高回采进尺 9.8m、最高日产原煤 3560t，常态割煤 10～13 刀、最高 14 刀，具备 100 万 t/a 生产能力。

5.知识产权、论文评价。项目形成 29 项代表性成果，包括 13 篇论文、12 项授权发明专利和 4 项计算机软件著作权，覆盖成套装备、设备选型、支架抬底、采煤机故障诊断、集中管控和规划截割等方向。

6.经济价值评价。应用单位盖章证明显示，截至 2026 年 7 月底，在省内外已形成稳定工程示范场景 10 个。2024 年 1 月至 2026 年 7 月累计实现销售额 56.2 亿元、新增利润 19.5 亿元。

五、应用情况

本项目形成的薄及极薄煤层无人化开采技术成果已在陕西双龙煤业开发有限责任公司、陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿、陕西瑞能煤业有限责任公司、甘肃灵台邵寨煤业有限公司、延安市车村煤矿一号井和贵州天健能源经营管理有限公司金沙县沙土镇熊家湾煤矿开展实际生产应用。项目成果在薄煤层综采工作面持续稳定运行，连续应用时间均已满 2 年。实际应用涉及低采高采煤装备、液压支护装备、刮板输送装备、工作面装备协同控制及智能开采等内容，并分别在薄煤层资源高效开采、降低割矸、降低职工劳动强度、提高设备利用率和改善生产组织方式等方面取得实际应用效果。目前，六家应用单位应用项目成果以来累计生产原煤约 705 万吨，项目技术已形成由典型工作面应用向多矿井持续生产应

用拓展的工程应用格局。

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	陕西双龙煤业开发有限责任公司	项目研发的成套装备及智能化协同控制等技术	109、110 综采工作面，设计年生产能力 100 万吨以上；累计生产原煤 109 万吨	2024 年 1 月至 2026 年 7 月底	冯子涵 18717507058
2	陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿	项目薄煤层开采技术成果及智能开采系统	薄煤层综采工作面；累计生产原煤约 196 万吨	2024 年 5 月至 2026 年 7 月底	王绪强 18291149356
3	陕西瑞能煤业有限责任公司	薄煤层设备配套、尺寸协调和高效开采技术及配套装备	薄煤层综采工作面；累计生产原煤约 82 万吨	2024 年 6 月至 2026 年 7 月底	贺煜 18392397212
4	甘肃灵台邵寨煤业有限公司	薄煤层设备配套技术及尺寸协调	薄煤层综采工作面；累计生产原煤约 156 万吨	2024 年 5 月至 2026 年 6 月底	庞晓亮 18811155301
5	延安市车村煤矿一号井	薄煤层设备配套技术及智能化系统	薄煤层综采工作面；累计生产原煤约 121 万吨	2024 年 5 月至 2026 年 7 月底	方旭 15991110530
6	贵州天健能源经营管理有限公司金沙县沙土镇熊家湾煤	薄煤层设备配套、尺寸协调和高效开采技术及配套装备	薄煤层综采工作面；累计生产原煤约 41 万吨	2024 年 6 月至 2026 年 7 月底	王先成 15855408889

六、主要知识产权和标准目录

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
1	发明专利	一种薄煤层采煤系统	中国	ZL202411920691.7	2025-04-01	第 7841510 号	中煤科工开采研究院有限公司；陕西陕煤黄陵矿业有限公司；陕西双龙煤业开发有限责任公司；天地科技股份有限公司
2	发明专利	一种薄煤层无人化工作面智能开采控制方法	中国	ZL202411920696.X	2025-04-08	第 7861279 号	中煤科工开采研究院有限公司；陕西陕煤黄陵矿业有限公司；陕西双龙煤业开发有限责任公司；天地科技股份有限公司
3	发明专利	一种薄煤层矿用电机外壳密封性检测装置	中国	ZL202510464621.3	2025-10-21	第 8384207 号	陕西通为数字科技有限公司；陕西陕煤黄陵矿业有限公司；陕西双龙煤业开发有限责任公司；河北新四达电机股份有限公司
4	发明专利	一种吸能防冲功能顶梁装置的设计方法	中国	ZL202211337864.3	2025-8-19	第 8177664 号	中煤科工开采研究院有限公司；煤炭科学技术研究院有限公司
5	发明专利	一种吸能防冲抗冲击伸缩立柱及其抗冲击方法	中国	ZL201910431997.9	2021-6-22	第 4498734 号	天地科技股份有限公司；中国煤炭科工集团有限公司
6	论文	Intelligent Fault Diagnosis for Nonlinear Uncertain Industrial Processes Based on Simplified Interval Kernel Global-Local Feature Embedding	美国	/	2024-02	IEEE SENSORS JOURNAL 第 24 卷，第 4 期，15	李宁；丁华；孙晓春；刘平泽；浦国树

7	论文	Intelligent Fault Diagnosis of Rolling earing Based on the Depth Feature Fusion Network	美国	/	2024-07	IEEE Access 10.1109/access.2024.3422234	冯子涵；丁华；李宁；浦国树；宫文博
8	论文	基于简化区间核全局-局部特征融合的采煤机智能故障诊断	中国	DOI:10.13225/j.cnki.jccs.2023.1252	2024-11	《煤炭学报》2024,49(11):4655-4670	李宁；丁华；孙晓春；刘泽平；浦国树
9	论文	薄煤层液压支架抬底机构对比分析与选型	中国	DOI:10.13436/j.mkjx.202509034	2025-09	《煤矿机械》2025,46(9):139-141	张强；刘德健；任广燕；范鹏虎
10	软件著作	薄煤层工作面智能集中管控系统	中国	2025SR1254014	2025-07	软著登字第15910212号	陕西通为数字科技有限公司；陕西陕煤黄陵矿业有限公司；陕西双龙煤业开发有限责任公司

七、主要完成人情况

姓名	排名	职务	职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
王鹏飞	1	董事长	正高级工程师	黄陵矿业集团有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目总体负责人，对项目技术方案开发、总体方案制定和项目实施全面负责。对本项目的第1、4项科技创新具有创造性贡献。提出薄及极薄煤层无人化开采成套设备总体研究思路和技术方案，组织矮机身高功率密度采煤机、大阻力液压支架的研制攻关，主持无人化开采智能协同控制体系构建，为薄及极薄煤层无人化开采奠定了基础。
张　强	2	经理	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人，参与了项目研究目标和总体思路的确定。对项目第2创新点作出了重要贡献。提出了宽顶梁-窄底座、高可靠液压支架研究思路，参与完成了液压支架关键承载部件结构优化，为支架在薄煤层复杂地质条件下的稳定应用提供了重要支撑，全面负责井下工业性试验，项目各项研究指标顺利达成。支撑材料：其他附件2-7-1、2-7-2、2-7-3。
徐亚军	3	所长	研究员	中国煤炭科工集团	黄陵矿业集团有限责任公司	为本项目的主要完成人，对项目第1、第2项创新点作出了重要贡献，参与研发了高可靠性、大工作阻力液压支架，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。在项目研发过程中，负责完成液压支架结构设计优化、协助项目负责人推动技术成果的集成验证与推广应用。支撑材料：其他附件2-2、2-3。
浦国树	4	总工程师	研究员	陕西通为数字科技有限公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人之一。对项目第3、4创新点作出了重要贡献，研发了搭载矮机身、高功率密度截割传动部的采煤机，该机机面高度为675mm，通过采用中压变频传动技术缩短了机身长度，更适配薄及极薄煤层的开采作业，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。支撑材料：其他附件2-4-1、2-4-2、2-5-1、2-5-2、2-5-3。
雷宏彬	5	副经理	高级工程师	黄陵矿业集团有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	本人为该项目主要完成人，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第4创新点作出重要贡献，参与研发了“无人作业+远程干预”工作面生产管控模式，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。支撑材料：其他附件1-1、2-1-1、2-1-2、2-1-3、2-1-4、2-1-5。
冯子涵	6	副总工程师	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	本人为项目主要完成人，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第3、4创新点作出重要贡献，同时负责项目研究报告的编制及现场工业性试验工作。参与研发了薄煤层无人化智能开采控制方法、薄煤层采煤系统以及“无人作业+远程干预”工作面生产管控模式，完成了薄煤层采煤机优化工作，为项目的主要科技创新提供了重要

						支撑。支撑材料：必备附件 1-1、1-2、1-3。
张孝斌	7	副经理	高级工程师	黄陵矿业集团有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人。对项目的第 3 创新点作出了重要贡献。参与研发了高可靠性、高功率密度采煤机和低槽帮刮板输送机，对项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。支撑材料：必备附件 1-3。
任广燕	8	副经理	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人。对项目的第 2、4 创新点作出了重要贡献。参与研发了高可靠性、大工作阻力液压支架及智能化开采系统，对项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。支撑材料：必备附件 1-2、其他附件 2-7-1、2-7-2、2-7-3。
尚英智	9	副经理	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人。对项目的第 1、2 创新点作出了重要贡献。参与研发了高可靠性、大工作阻力液压支架及高功率密度采煤机，对项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。支撑材料：其他附件 1-1、2-1-1、2-1-2、2-1-3、2-1-4、2-1-5。
刘大伟	10	副总工程师	工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	项目的主要完成人。对项目的第 4 创新点作出了重要贡献。参与研发薄及极薄煤层智能无人开采系统，参与井下工作面开采设备的配套调试、开采工艺参数优化等现场工作，对项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。支撑材料：必备附件 1-2。
王孟	11	副经理	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目完成人之一，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第 2、3 创新点作出重要贡献，参与提出了薄煤层高可靠性液压支架、水平卧式双抬底机构等研究方向，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。支撑材料：其他附件 1-1。
仲照海	12	原经理	高级工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目完成人之一，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第 3 创新点作出重要贡献，参与提出了矮机身、高功率密度采煤机的研发思路，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。参与完成针对性优化调整，保障了采煤机在薄煤层开采工作面的稳定运行，为项目成果的应用奠定了扎实基础。支撑材料：其他附件 1-1。
秦蒙	13	经理	/	陕西通为数字科技有限公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目完成人之一，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第 4 创新点作出重要贡献，参与提出了薄及极薄煤层智能化高效开采系统研发思路，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。支撑材料：其他附件 1-1。
范鹏虎	14	/	助理工程师	陕西双龙煤业开发有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目完成人之一，参与确定了项目的研究目标与总体思路，对项目第 3、4 创新点作出重要贡献，参与提出了高可靠性薄煤层采煤机、低槽帮刮板输送机以及薄及极薄煤层智能化高效开采系统研发思路，并辅助完成了现场工业性试验，为项目的主要科技创新提供了重要支撑。支撑材料：必备附件 1-2、1-3。
彭国锋	15	/	高级工程师	陕西煤业化工集团有限责任公司	黄陵矿业集团有限责任公司	该项目主要完成人，参与项目技术路线研制。对本项目的第 2 项科技创新具有创造性贡献。参与大阻力液压支架的研制攻关，为薄及极薄煤层无人化开采高可靠性支护奠定了基础。证明材料：其他附件 1-1。

八、主要完成单位

完成单位	排名	对本项目贡献
黄陵矿业集团有限责任公司	1	黄陵矿业集团有限责任公司作为本项目的牵头单位，负责确定了项目的研究目标和总体思路，制定了项目的实施方案和技术路线，并成功完成项目设备配套方案的会审，组织了项目理论系统和体系技术的研究，统筹多家单位通过技术研发、创新实验、数值模拟和工业性试验等手段联合完成黄陵矿区薄及极薄煤层无人化开采关键技术与工程示范项目研究和应用，突破了薄及极薄煤层开采的安全和高效难题，并依托本项目研究成果获得多项国家发明专利、取得多项软件著作、发表多篇高水平学术论文，对本项目的主要科技创新起到了关键的支撑作用。
陕西双龙煤业开发有限责任公司	2	陕西双龙煤业开发有限责任公司作为本项目主要参与单位，参与确定了本项目的研究目标和总体思路，参与评定了本项目的主要研究方案和技术路线，参与组织了项目系统理论和体系技术的研究。主要负责整体技术路线制定、设备配套选型、地面联合试运转试验和井下工业性试验等关键任务，完成项目工业试验期间所有既定目标，对相关试验进行收集、整理和分析，确保项目后期研究成果先进可靠，对本项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。

天地科技股份有限公司	3	天地科技股份有限公司是本项目主要参与单位，参与创新研发薄煤层无人化智能开采控制方法和薄煤层采煤系统；主持研发1.75m大中心距、“宽顶梁、窄底座”、水平卧式双油缸抬底机构、多耳板组连接结构、整体式高强度液压支架；主持创新支架主阀布置方式，优化系统布置，保证薄煤层空间；参与构建“无人作业+远程干预”工作面生产管控模式；参与AI视频、5G漏缆等技术对工作面设备与环境实时监测技术研究，对本项目主要科技创新成果成功落地实施起到了重要的支撑作用。
陕西通为数字科技有限公司	4	陕西通为数字科技有限公司作为本项目主要参与单位，参与确定了本项目的研究目标和总体思路，参与评定了本项目的主要研究方案和技术路线，参与了项目系统理论和体系技术的研究。主要负责采煤机、刮板输送机等设备选型设计以及智能化系统配置等，完成项目既定研究内容，对相关试验进行收集、整理和分析，并负责项目研究报告的编制等工作，对本项目主要科技创新起到了重要的支撑作用。

九、完成人合作关系说明

1.合作单位合作关系：“黄陵矿区薄及极薄煤层无人化开采关键技术与工程示范”是黄陵矿业集团有限责任公司、陕西双龙煤业开发有限责任公司、天地科技股份有限公司和陕西通为数字科技有限公司联合开展科研项目，项目依托黄陵矿业集团有限责任公司组织，陕西双龙煤业开发有限责任公司作为项目实施单位，天地科技股份有限公司和陕西通为数字科技有限公司负责相关科研部分研究。

2.完成人合作关系：项目由第一完成人王鹏飞主持完成，张强、徐亚军和浦国树分别作为完成单位的具体负责人，牵头完成了总体技术方案的制定、技术研发及项目实施，雷宏彬、冯子涵、张孝斌、任广燕、尚英智、刘大伟、王孟、仲照海、秦蒙、范鹏虎、彭国锋作为项目重要参与人员，负责项目各创新点及关键技术的研发。

3.合作方式：多数完成人依据研究方向共同合作取得5项发明专利，获得4件软件著作权，发表6篇论文，部分完成人主要合作方式为产业合作，详见完成人合作关系情况汇总表。

4.合作者排名：合作者排名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。

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	证明材料
1	发明专利	王鹏飞 冯子涵	2023年1月	2024年12月	一种薄煤层采煤系统	必备附件1-1
2	发明专利	任广燕 冯子涵 刘大伟	2023年1月	2024年12月	一种薄煤层无人化工作面智能开采控制方法	必备附件1-2
3	发明专利	张孝斌 冯子涵 范鹏虎	2023年1月	2024年12月	一种薄煤层矿用电机外壳密封性检测装置	必备附件1-3
4	论文	张　强 任广燕	2023年1月	2024年12月	薄煤层液压支架抬底机构对比分析与选型	其他附件2-7-1其他附件2-7-2其他附件2-7-3
5	论文	冯子涵 浦国树	2023年1月	2024年12月	Intelligent Fault Diagnosis of Rolling earing Based on the Depth Feature Fusion Network	其他附件2-5-1其他附件2-5-2其他附件2-5-3
6	产业合作	徐亚军 雷宏彬 王　孟 彭国锋 尚英智 秦　蒙 仲照海	2023年1月	2024年12月	科技鉴定成果	其他附件2-1-1其他附件2-1-2其他附件2-1-3其他附件2-1-4其他附件2-1-5