项目公示信息（309-）

（技术发明奖一等奖）

一、项目名称

富油煤钻井式原位热解开采油气关键技术及工程验证

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

我国原油和天然气对外依存度2025年分别超过70%和40%，立足国内增加油气供给已成为国家能源安全重大需求。陕西省煤田地质集团、西安科技大学等单位组建跨学科产学研团队，研究提出“富油煤是煤基油气资源”的新理念，查明陕西省富油煤中潜在油资源量达144.5亿吨。在此基础上，团队创建了富油煤原位热解生产油气理论，研发出钻井式原位热解开采油气技术，实现煤田采油从“0到1”的原创性突破。主要发明点：（1）发明了富油煤原位热解加热技术及装备；（2）发明了原位热解温度、压力、热解油气动态监测与调控技术；（3）研发了富油煤原位热解选区评价技术，创建了“注热-调控-产物分离”原位热解工程系统，实施了世界首例工程验证，成功产出第一桶富油煤原位热解油。研究成果对增加国内油气供给、推动煤炭产业绿色低碳转型发展具有行业引领作用，意义重大。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

面对我国“缺油、少气、相对富煤”的能源资源禀赋和复杂的国际地缘政治环境，立足国内增加油气供给已成为国家能源安全重大需求。富油煤是煤中焦油产率达到工业要求、通过中低温热解可以获取油气的特殊煤炭资源。据中国工程院报告，陕蒙新甘宁五省区富油煤资源总量约5000亿吨，估算潜在油气量分别

达到500亿吨和75万亿立方米，对立足国内保障国家油气供给潜力巨大。然而，富油煤的油气资源属性长期未被充分认识和利用，地面利用面临采掘-转化工序流程长、地表环境制约大等问题，规模化利用始终受限。创新富油煤开发方式依赖于对富油煤油气资源属性的充分认识。富油煤原位热解是将热量直接注入煤层，使潜在油气组分通过分子裂解产出游离油气的变革性技术，具有开采扰动小、地面污染少、绿色低碳的特点，有望通过井群科学部署实现规模化开发。但该技术面临三大关键难题：适宜原位开发地质条件不明、原位加热技术路径不清、开发工艺与工程技术体系空白。在中国工程院及陕西省、企业科研项目支持下，项目组开展了基础理论、关键技术到工程应用的系统研究，实现富油煤原位热解生产油气技术从“0到1”的原创性突破。主要发明点如下：

（1）发明了富油煤原位热解加热技术与装备。发明了以对流加热为主、氧化生热为辅的复合加热技术体系。揭示了煤层传导加热的固有局限，研发出载热气体对流换热-煤层致裂增渗强化传热技术，对流增渗效果提升30至200倍；发明了富油煤层热解全过程的多阶段弱氧化增热方法，实现了煤层整体温度提升约50℃，大幅降低系统能耗；研制出井口高温密封、井筒耐高温固井、长效封隔保温及螺旋式双壳体井下载热气体对流加热装备，形成了适配井下复杂工况的注热装备体系，实现了注热压力、流速与目标温度的精准适配。

（2）发明了富油煤原位热解过程监测与调控技术。发明了富油煤静态识别—温压动态监测—油气产出调控与采收的全链条监测调控技术。研发出基于富油煤“高电阻、高核磁强度、低密度、低声速”测井响应模式的富油性精细判识技术，精度达90.5%；发明了井上井下立体监测与地球物理反演一体化方法，实现温度场、压力场等多参数监测；发明了煤层气驱阻水工艺，提出了煤层调控温度、压力等关键工艺参数，形成了井筒沿程温压调控工艺；首创“前期扩腔、后期驱油”分阶段注气调控方法，配合闷压调控工艺，有效提升了热解空间范围和油气产出效率。

（3）发明了富油煤钻井式原位热解工程技术，成功实施了全球首例富油煤钻井式原位热解开采油气工程验证。研发了原位热解选区评价技术，选定了工程验证区域；创建了“注热-调控-产物分离”原位热解工程系统，自主研发了地下

流体利用地层内热压势能自驱式抽采装置及方法，形成了富油煤原位热解油气高效采收成套技术与装备，打通了从热解地质选区到工程实施全链条工程路径，成功提取全球第一桶富油煤原位热解油。

本项目开辟了国内油气供给新途径，获 2025 年中国煤炭工业科学技术特等奖，2023 和 2025 年陕西省煤炭科学技术一等奖。团队获批陕西省“三秦学者”创新团队、自然资源部高层次科技创新人才工程创新团队、中国煤炭工业协会创新团队，获陕西省最高科学技术奖 1 人，国家级人才 1 人、省部级人才 8 人次、厅局级人才 4 人次，获正高级职称 4 人、副高级职称 4 人，培养博士后 6 人、研究生 42 人。发表高水平科技论文 82 篇，其中 SCI 收录 42 篇、EI 收录 17 篇，出版首部富油煤领域专著；授权各类专利 68 项，其中发明专利 44 项、实用新型专利 24 项，牵头制定富油煤原位热解领域团体标准 3 项。

四、客观评价

本项目成果成功实现了从理论创新、技术突破到工程化应用的全方位跨越，构建了“基础理论—核心技术及装备—工艺研发—工程验证”全链条完整研发体系。

（1）行业学会鉴定评价

2025 年 3 月 31 日，中国煤炭工业协会组织中国工程院赵文智、康红普等 7 位院士对“富油煤原位热解生产油气关键技术”项目成果的鉴定意见如下：①首次提出富油煤油气资源属性，揭示了富油煤油气组分结构特征及地质富集机理，建立了富油煤原位热解选区综合评价技术体系；②揭示了富油煤原位热解油气产出机理，确定了对流加热方式及可控冲击致裂煤层增渗方法，构建了热解多场耦合数值模拟，为富油煤原位热解开发提供了理论方法基础；③建立了“煤层致裂增渗-井中氮气加热-稳产温度场调控”的富油煤原位热解开采工艺技术及关键参数，开发了载热流体“先大后小”的变流量注入控制技术；④开展了国际首个富油煤原位热解生产油气工程试验，掌握了富油煤原位热解“排水-产油-产气”三阶段工艺，并成功产出全球“第一桶”原位热解轻质煤焦油。鉴定委员会一致认为，该项目契合国家立足国内增加油气供给的战略需求，意义重大，社会效益显

著，潜力巨大，成果总体达到国际领先水平。

2025 年 9 月，中国石油和化工自动化应用协会组织专家对“富油煤地质富集关键理论与资源评价技术”鉴定：该成果计算获得了陕西省富油煤资源量为 1500 亿吨，并先后在陕西省煤田地质集团有限公司、陕西省一九四煤田地质有限公司等单位应用，经济和社会效益显著。鉴定委员会认为，该成果整体技术达到了国际先进水平，其中富油煤焦油产率预测方法处于国际领先水平。

（2）主管部门评价

2024 年，陕西省主要领导对“榆林富油煤原位热解开采试验有关情况的报告”做出批示：煤炭地下裂解开采是原创性技术的突破，望选准研究方法，取得更多创新成果，请省发改委、科技厅、自然资源厅给予积极支持。2022 年，陕西省自然资源厅、科技厅分别就九三学社陕西省委员会提出的《关于推进我省富油煤资源高质量开发利用的建议》（第 61 号）进行答复，陕西省煤田地质集团等单位查明我省富油煤赋存规律对合理布局低阶煤分质利用产业、有效提升油气供应能力和推进碳达峰、碳中和具有重要意义。2023 年，新疆科技厅主要领导在听取王双明院士专题工作报告后指出，要把富油煤资源作为国家战略资源，加强资源和技术的战略储备。自 2023 年起，国家发展改革委等部委将富油煤分质分级利用、保护性开采相关表述相继列入《关于加强煤炭清洁高效利用的意见》《新型能源体系建设“十五五”规划》《煤炭工业发展“十五五”规划》等政策文件。

（3）主要科研奖励

项目第一完成人王双明院士获 2024 年度陕西省最高科学技术奖，项目成果荣获 2023、2025 年度陕西省煤炭科学一等奖、2025 年度中国煤炭工业协会科学技术奖特等奖。

（4）学术评价

中国工程院邹才能、赵文智、葛世荣 3 位院士团队对项目提出的煤基油气资源学术理念和富油煤原位热解技术路径充分肯定，评价原文为：①“2021 年，王双明院士提出’富油煤就是煤基油气资源’的学术思想”；②王双明等提出了

富油煤绿色低碳开发技术，包括地面热解、井工热解和钻孔热解；③王双明等提出富油煤具有油气资源属性，梯级利用和原位热解是富油煤绿色低碳开发的重要途径。中国工程院孙友宏院士团队正面肯定了双壳体井下加热器设计对提升原位加热效率的积极作用，评价原文为：In practical engineering, selecting a surface or downhole heater is crucial for optimizing in-situ heating efficiency。

（5）主流媒体报道

2024 年 1 月 15 日至 16 日，人民网、新华网、中国日报、科技日报、中国能源报、陕西日报等十余家主流权威媒体先后报道了陕西榆林成功提取全球第一桶富油煤地下原位热解煤油的新闻。2024 年 2 月 24 日央视一套晚间《新闻联播》对项目成果进行报道。项目成果还被评为 2024 年中国煤炭科技十大新闻。

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	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种井下电加热器	中国	ZL202111051671.7	2025 年 2 月 11 日	7719137	陕西省煤田地质集团有限公司	王振东;杨甫;付德亮;段中会;马丽;田涛
2	发明专利	一种富油煤热解实时监测的装置和方法	中国	ZL202111141435.4	2022 年 11 月 1 日	5554415	西安科技大学	王双明;孙强;薛圣泽;师庆民;陈应涛;李得路
3	发明专利	一种密封件、地下流体自驱式抽采装置及其抽采方法	中国	ZL202310743205.8	2025 年 7 月 18 日	8084350	陕西省煤田地质集团有限公司	王振东;杨甫;马丽;付德亮;段中会
4	发明专利	一种半焦缓慢氧化加热富油煤的原位热解系统及方法	中国	ZL202411864939.2	2025 年 10 月 24 日	8392364	陕西省煤田地质集团有限公司;西安交通大学	杨甫;陈美静;王长安;王振东;袁天霖;马丽;车得福
5	发明专利	一种富油煤地下原位转化综合利用方法	中国	ZL202211003450.7	2025 年 05 月 30 日	7970336	陕西省煤田地质集团有限公司、西`安交通大学	杨甫;王振东;段中会;付德亮;马丽
6	发明专利	一种富油煤原位热解及 CO_2 地质封存一体化的方法	中国	ZL202110943836.5	2023 年 6 月 2 日	6023294	西安科技大学;陕西煤业化工技术研究院有限责任公司	王双明;崔世东;王绪正;师庆民;王生全;孙强
7	发明专利	一种防卡孔的振动增透装置及其振动增透防卡孔方法	中国	ZL201910296119.0	2021 年 5 月 18 日	4427000	西安科技大学	师庆民;王双明;薛姣;孙强;郭晨;鲍园;王晓康
8	发明专利	一种富油煤热解时的电阻率及介电常数测试装置及方法	中国	ZL202310235865.5	2024 年 12 月 31 日	7639978	陕西省煤田地质集团有限公司;西安科技大学	杨甫;姜鹏飞;段中会;马丽
9	发明专利	一种富油煤地下原位转化及经济性评价方法	中国	ZL202211001538.5	2023 年 11 月 21 日	6502972	陕西省煤田地质集团有限公司	王振东;杨甫;段中会;付德亮;马丽
10	发明专利	一种富油煤地下直接热解提油系统	中国	ZL202210785034.0	2023 年 6 月 13 日	6048591	陕西省煤田地质集团有限公司、西安交通大学	段中会;陈美静;王长安;马丽;侯育杰;杨甫;赵林;王振东;车得福

六、主要完成人情况

排名	姓名	工作及完成单位	职务	职称	主要贡献
1	王双明	西安科技大学	省重点实验室主任	教授	原位热解技术提出与统筹设计
2	杨甫	陕西天地地质有限责任公司/陕西省煤田地质集团有限公司	总工程师	正高级工程师	发明了原位热解的加热技术，研发了原位热解工程体系
3	师庆民	西安科技大学	研究院副院长	教授	发明了富油煤原位热解地质评价技术
4	段中会	陕西省煤田地质集团有限公司	原总工程师	正高级工程师	发明了原位热解油气产出调控技术
5	王振东	陕西省煤田地质集团有限公司	无	高级工程师	研发了原位加热装置
6	马丽	陕西省煤田地质集团有限公司	无	正高级工程师	资源评价及监测

七、完成单位情况

陕西省煤田地质集团有限公司对发明点 1、2、3 做出主要贡献。发明了富油煤原位热解的关键加热技术与装备，原创了原位热解工程体系下热解油气产出调控方法，发明了富油煤钻井式原位热解地质-工程技术体系，成功实施了全球首个工程验证。为先导试验项目提供全部资金支持，成功实施世界首例原位热解先导试验，验证了富油煤原位热解技术的工程可行性，为立足国内拓宽油气供给渠道开辟了新途径。（附件 1-1-1、附件 1-1-3、附件 2-2-5、附件 2-2-8、附件 2-2-9、附件 2-2-28）

西安科技大学对发明点 1、2 做出主要贡献。提出了富油煤是煤基油气资源新理念和原位人工煤化作用催熟产油气新思路，参与研发了研发出富油煤原位对流加热-强化传热技术；发明了富油煤原位热解静态-动态地质条件监测技术。（附件 1-1-2、附件 2-2-4、附件 2-2-21）

陕西省一八五煤田地质有限公司对发明点 3 做出主要贡献。参与发明了涵盖“地面注气—地下热解—地面分离—立体监测”模块化流程的原位热解油气生产工程系统，为先导试验工程提供了地面和地下支持。同时，参与现场试验运维，为成功提取全球首桶富油煤原位热解油做出贡献。（附件 2-2-8、附件 2-2-9、附件 2-2-28）

八、完成人合作关系说明

项目实施过程中主要完成人共 6 人，王双明、师庆民为西安科技大学成员，杨甫、段中会、王振东、马丽为陕西省煤田地质集团有限公司成员，合作期间各单位在项目实施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/排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	专利	王双明/1	2020.1	2024.1	一种富油煤热解实时监测的装置和方法	附件 1-1-2
2	专利	杨甫/2	2020.1	2025.6	一种半焦缓慢氧化加热富油煤的原位热解系统及方法	附件 2-2-1
3	专利	师庆民/3	2021.3	2024.1	一种防卡孔的振动增透装置及其振动增透防卡孔方法	附件 2-2-4
4	专利	段中会/4	2020.1	2024.1	一种富油煤地下直接热解提油系统	附件 2-2-7
5	专利	王振东/5	2021.7	2025.12	一种井下电加热器	附件 1-1-1
6	专利	马丽/6	2020.1	2025.12	一种密封件、地下流体自驱式抽采装置及其抽采方法	附件 1-1-3