项目公示信息（309-4034）

一、项目名称

煤层顶板岩层水深地转移封存防治水技术研究与工程示范

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该项目面向我国煤矿超大量矿井水低成本处置的重大需求，开发了煤层顶板岩层水深地转移封存防治水成套技术，建成了全球最大规模的矿井水深地封存示范工程。揭示了深部砂岩孔隙-微裂隙束缚封存机理，提出了基于孔隙-微裂隙束缚的深地流体封存理论，重新定义了深部地质封存相关的技术及机理研究思路；构建了涵盖封存层优选、建井完井、协同监测、溶质运移模拟、全生命周期环境风险防控及长效智能监测的“选址-施工-运行-监测-评估”全链条技术体系，研发了深地封存长效智能监测系统及关键装备，开发了矿井水深部封存数值模拟软件和深部地质封存智能控制系统。项目成果经中国煤炭学会鉴定达到国际领先水平，技术成功应用于大海则煤矿，累计封存矿井水超1000万m^3，建设成本节约超50%、运行成本降低70%、碳减排40%，经济社会效益和生态环境效益显著。

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

三、项目简介

本项目属于煤矿区生态环境治理应用领域。

我国煤炭资源丰富，但煤矿开采伴随大量矿井水产生，处理成本大，是当前绿色矿山建设中“液废”处置的“最后一公里”难题。传统处置方式存在投资高、产水率低、占地面积大等问题，亟需探索低成本、高效率的矿井水终端处置新路径。

本项目聚焦煤层顶板岩层水低成本处置的重大需求，首创采用流体深部地质封存技术，以深部稳定地层作为复杂流体终端处置空间，通过深井将矿井水注入远离生物圈的深部多孔砂岩地层，实现与浅部

具有供水意义的含水层的永久安全隔离。项目通过理论分析、地质建模、室内实验、现场监测和工程示范等手段，开展了系统性研究，主要创新成果如下：

1、构建了深地封存储层特征研究与三维地质模型。通过物探方法及钻探采样，开展实验室测试分析，分析岩层组分、孔隙率、含水率、含水层水质特性，构建深部地层数据集；结合储层特征、盖层适宜性、水文地质条件等方面对封存地层进行封存适宜性、安全性及封存潜力评价，构建了深地三维地质模型，并开发了“选层大师”层位优选软件，为封存层位优选提供了科学依据。

2、建成了全球最大规模的矿井水深地封存示范工程。建成7口封存井、1口监测井的示范井群，单井封存能力200m^3/h，井群年封存能力达1120万m^3，累计封存矿井水超1000万m^3，单井稳定运行最长时间超过16000小时。

3、构建了高精度多手段深地流体运移协同监测体系。采用广域电磁以及深地微地震等多种监测方法，研究开发高精度深地协同监测技术，开展针对深地储层的动态静态多手段协同监测，实现了-1800m~-2400m深地水驱前缘流体运移的精准动态监测，监测精度≤2m。

4、揭示了深地储层流场演化规律及溶质地球化学作用机理。利用PFLOTRAN软件构建了变密度变参数多组分反应性溶质运移模型，揭示了矿井水注入后的迁移演化规律及其对地下水环境的长期影响，研发了矿井水深部封存数值模拟软件和深部地质封存智能控制系统。

本项目申请专利17项（含美国专利1项），已授权8项；获软件著作权4项；发表论文6篇，制定技术标准2项。相关成果经中国煤炭学会鉴定，达到国际领先水平。技术成果成功应用于中煤陕西榆林能源化工有限公司大海则煤矿，相比传统处置工程建设成本节约超50%、直接运行成本降低70%、实现碳减排40%，取得了显著的经济社会效益和生态环境效益。

四、客观评价

本项目主要应用于煤矿区生态环境治理领域，对破解煤矿超大量矿井水低成本处置难题、保障煤矿安全生产和促进绿色矿山建设具有重要意义。依托企业自筹配套项目开展了系统性研究，相关成果由中国煤炭学会聘请专家进行了科技成果鉴定。

2026年4月3日，中国煤炭学会组织专家对本项目进行科技成果鉴定（中煤学会鉴字〔2026〕第009号），鉴定委员会一致认为：项目首创采用流体深部地质封存技术破解了煤矿矿井水处置难题，建成了迄今为止世界最大规模的煤矿矿井水深地封存示范工程，成果达到国际领先水平。

项目针对煤层顶板岩层水处置这一行业共性难题，首创采用流体深部地质封存技术，通过深井将矿井水注入远离生物圈的深部多孔砂岩地层，利用深层地质环境的封闭性及岩石孔隙束缚作用，实现与浅部具有供水意义的含水层的永久安全隔离。项目建成了7口封存井、1口监测井的示范井群，累计封存矿井水超1000万m^3，井群年封存能力达1120万m^3，单井稳定运行最长时间超过16000小时。项目构建了涵盖封存层优选、建井完井、协同监测、溶质运移模拟、全生命周期环境风险防控及长效智能监测的完整技术体系，形成了集封存地层适宜性评价、封存井建井完井工艺、深地多手段协同监测、流体运移数值模拟、关键离子迁移转化及长效监测系统于一体的深部地质封存技术方法体系，为煤矿矿井水大规模封存提供了范例，填补了国内煤矿顶板水井群深地封存工程示范空白。

项目开发了“选层大师”层位优选软件，构建了深地三维地质模型，可实现封存层位三维可视化分析与快速优选；研发了矿井水深部封存数值模拟软件及深部地质封存智能控制系统，突破了传统软件仅适配油气领域的局限，可动态模拟封存量、压力场及反应性溶质运移；构建了地下水三维立体监测系统，研发了深地流体运移高精度多手段协同监测技术，形成了动-静态高精度协同监测及数据多向校正技术与方法，构建了深部地质封存长效运营监测体系。项目提出的基于孔隙-微裂隙束缚的深地流体封存机理，重新定义了深部地质封存相关的技术及机理研究思路，研发的21项产品或技术服务构建了“选址-

施工-运行-监测-评估”全链条技术体系。

项目成果先后在《Journal of Hydrology》《Journal of Earth Science》《煤炭学报》《Processes》等国内外知名学术期刊发表论文 6 篇；申请专利 17 项（含美国专利 1 项），已授权 8 项；获软件著作权 4 项；制定技术标准 2 项，为深部地质封存技术的推广应用提供了科学依据和技术支撑。技术成果已在鄂尔多斯盆地大海则煤矿实现规模化应用，有效保障了煤矿安全生产，取得了显著的经济社会效益和生态环境效益。

五、应用情况

本项目技术成果已在中煤陕西榆林能源化工有限公司大海则煤矿成功应用。建成 7 口封存井、1 口监测井的示范井群，单口封存井封存能力达到 200m^3/h，井群年封存能力达到 1120 万 m^3，当前累计封存总量超过 1000 万 m^3，单井稳定运行最长时间超过 16000 小时，最短运行时间 4800 小时，平均运行时间 9600 小时。

相比同规模传统矿井水处置工程，建设成本节约超过 50%，直接运行成本降低 70%；不存在永久占地征地问题，人员投入大幅减少；通过节能、节电，实现碳减排 40%。项目通过以深部地质空间替代部分地表高风险处置环节，减少高矿化度废水地表长期存留及集中处置带来的生态压力，构建了“地下微震-浅层地下水质”监测体系，实现了矿井水的终端处置，避免了二次污染风险，经济社会效益和生态环境效益显著。

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	团体标准	煤矿矿井水深井灌注技术规范	中国	T/CCS 105-2025	2025.12.30	无	中国煤炭地质总局勘查研究总院、深圳能源资源综合开发有限公司、江苏远方动力科技有限公司、中煤地生态环境科技有限公司、中煤科工集团南京设计研究院有限公司、中建环能（山东）环境科技有限公司、北京中环智云生态环境科技有限公司、深地科技（鄂尔多斯）有限公司、北京中矿博能节能科技有限公司、神木市前渠生态环保有限公司、内蒙古久科康瑞环保科技有限公司、中煤（北京）环保股份有限公司、北京低碳清洁能源研究院、华能煤炭技术研究有限公司、中煤陕西榆林能源化工有限公司、中国矿业大学（北京）、中国地质大学（武汉）、内蒙古工业大	杜松、李祥、杨占、谢志清、宋思彤、车巧慧、张啸、陶盛、蒋喆、徐文君、苏志峰、施立虎、符红军、齐宽、孙伟、赵文祥、张超、吕伟、都小璐、宋世国、许万山、刘勇、李思序、李庭、杨振凯、熊日华、李小瑞、赵岳、顾雷雨、智宝岩、肖彬虎、张春晖、何绪文、张国华、刘建国

							学	
2	论文	Reservoir Characteristics and Regional Storage Potential Evaluation of Deep Well Injection and Storage of High-Salinity Water in Coal Mines in the Ordos Basin	中国	10.3390/pr13020579	2015.02.18	Processes	中国煤炭地质总局勘查研究总院 中国矿业大学（北京）	刘彦君，卜奕丹、杜松、车巧慧、范莹琳、丁晏、蒋喆、李祥
3	发明专利	一种深部地质封存井的钻井方法	中国	ZL202411080806.6	2024.10.18	7445279	中国煤炭地质总局勘查研究总院	张啸，杜松，李军，车巧慧，范莹琳，陶盛，党权，蒋喆，宋思彤，刘咏涵，丁晏
4	软件著作	深部地质封存智能控制系统 V1.0	中国	2025SR0907899	2025.05.30	软著登字第15564097 号	中国煤炭地质总局勘查研究总院	-
5	发明专利	一种用于矿井水深部地质封存的防泄漏井口装置	中国	ZL202510872797.2	2025.09.09	8232623	中国煤炭地质总局勘查研究总院	张啸，杜松，陶盛，张树辉，宋思彤
6	发明专利	用于矿井水深部地质封存的复合钻井设备及钻井方法	中国	ZL202510585055.1	2025.08.05	8138007	中国煤炭地质总局勘查研究总院	李祥，杜松，车巧慧，张啸，陶盛，范莹琳，蒋喆，张树辉，丁晏
7	发明专利	DRILLING METHOD FOR STORAGE WELL FOR LIQUID-GAS TWO-PHASE COMBINED	美国	US 12497838 B1	2025.12.16	US 12497838 B1	中国煤炭地质总局勘查研究总院	杜松、车巧慧、张德高、范莹琳、蒋喆、张啸、宋双、林永善、丁晏

		GEOLOGICAL STORAGE						
8	发明专利	一种深部地质封存与地热资源协同利用的钻井系统	中国	ZL202411027236.4	2024.10.11	7429706	中国煤炭地质总局勘查研究总院	车巧慧，杜松，谢志清，张啸，蒋喆，左卿伶，陶盛
9	论文	我国煤矿突水危险性分析研究现状及展望	中国	2025, 37(9): 37-41	2025-09	中国煤炭地质	中煤陕西能源化工集团有限公司 中煤陕西榆林能源化工有限公司 中国煤炭地质总局勘查研究总院 矿山透明地质与数字孪生技术国家矿山安监局重点实验室	肖彬虎，李和平，李大应，杜斌
10	论文	煤矸石资源化低碳利用：碳捕集与碳封存路径研究	中国	2025, 37 (12): 73-77	2025-12	中国煤炭地质	中煤陕西能源化工集团有限公司 中国煤炭地质总局勘查研究总院 矿山透明地质与数字孪生技术国家矿山安监局重点实验室	郭红波，白林，杜松，张啸，陶盛

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
李和平	1	煤炭管理部副经理	高级工程师	中煤陕西能源化工集团有限公司	中煤陕西能源化工集团有限公司	项目总负责人，全面主持项目立项、方案设计、工程示范建设与运行管理
杜松	2	所长	正高级工程师	中国煤炭地质总局勘查研究总院	中国煤炭地质总局勘查研究总院	项目整体运行及质量把控，负责技术体系构建与研发
郭红波	3	煤炭管理部主管	高级工程师	中煤陕西能源化工集团有限公司	中煤陕西能源化工集团有限公司	负责工程示范建设与现场实施
张啸	4	无	工程师	中国煤炭地质总局勘查研究总院	中国煤炭地质总局勘查研究总院	负责现场流量压力监测及监测系统建设
白林	5	煤炭管理部主管	高级工程师	中煤陕西能源化工集团有限公司	中煤陕西能源化工集团有限公司	负责工程实施与现场协调
车巧慧	6	无	高级工程师	中国煤炭地质总局勘查研究总院	中国煤炭地质总局勘查研究总院	负责溶质运移模拟与反应性迁移研究
肖彬虎	7	副总工程师	工程师	中煤陕西榆林能源化工有限公司	中煤陕西榆林能源化工有限公司	负责现场流量压力监测及运行管理

八、主要完成单位情况

1、中煤陕西能源化工集团有限公司

作为本项目的第一完成单位，中煤陕西能源化工集团有限公司全面组织实施项目立项、方案设计、示范工程建设与运行管理，为项目的顺利实施提供了优质的工作环境和场所，配备了经验丰富的工程管理和技术人员，提供配套经费支持，协调解决了项目执行过程中的各类问题，为项目成果的落地应用和示范推广提供了坚实的组织保障，确保示范工程的成功建设与稳定运行。

2.中国煤炭地质总局勘查研究总院

作为本项目的合作完成单位，中国煤炭地质总局勘查研究总院为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，主要负责深地封存储层特征研究、三维地质模型构建、高精度协同监测技术研发、数值模拟软件开发、溶质运移机理研究、全生命周期环境风险评价及技术标准编制等关键技术攻关任务，为项目的技术研发和成果凝练提供了核心支撑。

3.中煤陕西榆林能源化工有限公司

作为本项目的合作完成单位，中煤陕西榆林能源化工有限公司负责配套工程及研究项目的委托管理、现场施工协调、示范井群运行维护及推广应用工作，为项目的顺利实施提供了现场支持和工程保障。

九、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人通过共同立项、共同知识产权、论文合著、共同参与标准制定等方式开展合作。

1.第一完成人李和平/1与郭红波/3、白林/5、肖彬虎/7同属中煤陕西能源化工集团有限公司（含中煤陕西榆林能源化工有限公司），共同负责工程实施、示范工程建设与运行管理，第二完成人杜松/2与张啸/4、车巧慧/6同属中国煤炭地质总局勘查研究总院，在技术研发、监测体系建设、数值模拟、溶质运移模拟等方面紧密合作。

2. 第一完成人李和平/1与肖彬虎/7合作发表论文《我国煤矿突水危险性分析研究现状及展望》。