

## 项目公示信息

一、项目名称：近奥灰-弱隔水煤系复合底板水害综合防治关键技术

### 二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅

提名意见：

矿井水害问题制约着我国煤炭高产高效开发，涉煤储量占全国近四分之一，煤系底板突水威胁最为突出。煤系底板较厚隔水层带压开采防治技术成效凸显，弱隔水煤系复合底板承压开采鲜有报道，尤其是近奥灰-弱隔水煤系复合底板水害综合防治因煤层相隔奥灰近，多层复合结构底板隔水层性弱、奥灰富水性强、潜在威胁大，属世界性难题。为解决该难题，由西安科技大学联合陕煤集团澄合矿业有限公司，通过多年产学研联合攻关，提出了近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳致灾理论，促进和推动了煤炭带压开采基础理论的发展，填补了相关规程规定的空白，确保了底板实际数据采集效率，保障了矿井安全生产，延长了矿井服务年限，解决了人员就业岗位，实现了煤炭绿色安全高效承压开采。

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

本项目属于特殊开采领域，主要应用于煤矿开采。

矿井突水制约着我国煤炭高产高效开发，全国受水害威胁储量占27.5%，煤系底部灰岩水害问题最为突出。距奥灰较远煤层水害防治技术成效凸显，煤系复合底板承压开采鲜有报道，尤其是近奥灰-弱隔水煤系复合底板水害综合防治因煤层距奥灰近，隔水层内存在多层灰岩裂隙含水层，一旦导通奥灰强含水层，突水强度高，极易淹面淹井，属世界性难题。本项目针对近奥灰-弱隔水煤系复合底板面临的水害防治技术难题，由西安科技大学联合陕煤集团澄合矿业有限公司，经多年产学研联合攻关，提出了“近奥灰-弱隔水”煤系复

合底板失稳致灾理论，揭示了底板双重耦合力学破坏机制，研发了新型底板预埋超声波探头包裹体及其配套测试技术，精准监测底板岩层变形，创建了底板破坏深度双因素（采宽+采深）和多因素（采宽+采深+采高）新预测模型，开发了底板注浆加固水害防治技术及工艺，攻克了“近奥灰-弱隔水”煤系复合底板注浆加固全段隔水层保障安全回采难题，实现了煤炭安全高效带压开采。

（1）揭示了底板“覆压+承压”耦合力学作用机制，阐明了近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳致灾机理，发展了底板水害综合防治理论。针对煤系复合底板结构易受双重应力失稳破坏，建立了底板采动破坏受力分析模型和固支矩形梁结构力学模型，揭示了底板应力分布规律和破坏深度演化特征，得到了等效水压力对隔水层顶部塑性解析解及承压水导升规律，提出了底板稳定性判别准则，从理论角度阐明了近奥灰-弱隔水复合结构底板失稳致灾机理，推动了矿井防治水理论发展。

（2）研发了实时、精准监测底板变形规律的新型预埋结构超声波探头包裹体及其测试技术。针对现有底板采动变形监测技术的不足，研制了预埋结构超声波探头包裹体（简称包裹体），制作简单，耦合水体介质稳定，给精准监测奠定设备保障；研发了安装工艺和定深定位测试技术，精度高、安装快捷方便，可实现采前和采后连续监测，为实时精准监测底板变形规律和超前预测预报提供了技术保障，解决了超声探测无法实时精准监测的定深定位难题。

（3）创建了近奥灰-弱隔水煤系复合底板破坏深度双因素和多因素新预测模型，揭示了采宽、采深、采高多条件下底板采动破坏深度变化规律。该模型基于现场实测数据，利用非线性回归分析数值模拟反演数据创建了双（多）因素新预测模型，经全国20余个相近采面实测结果分析和验证，新预测模型准确度高、误差小，应用价值大，解决了现有规范规程预测数值离散性大、实用性差等难题。

（4）开发了近奥灰-弱隔水煤系复合底板加固技术，攻克了以浆换水、封充裂隙的全段隔水加固带压开采工艺。该工艺实质是应

用物探探查底板裂隙灰岩潜在突水通道，运用模拟技术反演分析灰岩加固前、后底板稳定性，通过对煤系底板隔水层内灰岩含水层注浆加固，增厚复合底板有效隔水层、封闭岩溶裂隙通道、增强底板防突能力，最终实现全段隔水层阻隔奥灰突水，破解了底板水患治理的技术瓶颈。

该技术经多年产学研联合攻关，在渭北矿区等多家矿井进行了科学应用，并通过与陕西省煤田地质集团有限公司、陕西省煤田物探测绘有限公司、陕西省一九四煤田地质有限公司等多家单位合作，已在数十个回采工作面推广应用，无底板突水事故，取得了良好的社会和经济效益，维护了矿山和谐稳定，实现了煤炭安全高效开采重大技术突破，围绕该技术获得国家专利21项（其中发明专利12项），学术专著1部，软件著作权4项，学术论文32篇（SCI、EI收录12篇），研究成果达到了国际领先水平，具有良好的推广应用前景。

#### 四、客观评价

##### 1.近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳致灾机理

建立了底板采动破坏受力分析模型和固支矩形梁结构力学模型，揭示了底板岩体应力分布状态和破坏深度演化特征，得到了等效水压力对弱隔水层顶部塑性解析解及承压水导升规律，提出了近奥灰-弱隔水煤系复合底板稳定性判别准则，破解了近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳致灾难题，推动了底板防治水理论发展。

经国内外科技查新，国内同类机理中，一般应用于较厚隔水层，未见系统性针对近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳破坏的研究成果，而本项目成果不仅适用于厚隔水层、薄隔水层和超薄隔水层加固，还适用于太灰、寒武、奥陶系灰岩注浆盖章及治理工程。国外未见同类成果。

##### 2.新型预埋结构超声波探头包裹体及其测试技术

首创内层无机类材料、外层包水不跑水球囊控水装置的预埋结构超声波探头包裹体（简称包裹体），开发了超声波探头耦合介质锁水技术，代替了传统超声测试方法，无需因底板扰动反复透孔，

降低了材料损耗及工时费，测试不受底板岩性和塌孔影响，提高了监测效率，安装方便、精度高，可实现采前、采中和采后不间断监测。不仅可以监测底板采动破坏深度，还可用于监测底板变形，对底板突水前兆预测起到提前预警作用。

经国内外科技查新，国内外均未见同类成果。

### 3.新型底板破坏深度双因素和多因素预测模型

创建了新型“采宽-采深”、“采宽-采深-采高”煤系复合底板采动破坏深度预测模型，代替了现有规范规程给出的预测公式，新模型预测精度高度、误差小、实用性强，满足工程实际需要。

经国内外科技查新，国内同类预测公式，预测结果误差大、实用性差，难满足生产需求。国外未见同类成果。

### 4.近奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固技术

超前采面物探勘探，明确治理目标层位，模拟反演加固层位治理效果，平行施工注浆钻孔，以浆换水、封充裂隙的全段阻隔水弱隔水煤系复合底板加固技术。注浆治理不影响生产，浆液充填体与隔水岩层凝结成统一阻隔水体，降低甚至消除目标层位含水层富水性，提高复合底板整体强度，加固后工作面涌水量可降至30%以下，实现安全回采。

经国内外科技查新，国内外目前煤系复合底板治理主要为短壁开采或奥灰峰峰组顶部加固两种方式。短壁开采资源回收率低、通风条件差，难满足矿井安全高效生产要求；而奥灰峰峰组顶部加固技术，设备价格高，投资成本大，短期难回收成本。

国内外针对近奥灰-弱隔水煤系复合底板加固技术，未见明确采用物探勘探、模拟反演和注浆加固弱隔水底板中含富水岩层的注浆治理技术。

鉴定结论：

中国煤炭工业协会对该项目进行了鉴定，鉴定委员会听取了课题组汇报，审阅了相关资料，经质询、讨论，一致认为该项目研究方法科学，技术路线合理，社会效益显著，在钻孔预埋超声波探头包裹体测试技术等方面达到国际领先水平。

建议进一步加强该技术成果的推广应用。

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  | 渭北煤田承压水体上采煤底板破坏突水机理与应用研究 | 中国矿业大学出版社 | 李昂                      | 西安科技大学 | -               | 2015.09 | 李昂   | 李昂   | 李昂                 | -        |       | 是           |
| 2  | 渭北煤田多因素影响下底板扰动破坏深度研究     | 煤炭工程      | 李昂，牟谦，刘朝阳，靳德武，王峰，丁学松，马丽 | 西安科技大学 | 2020 年 52 卷 5 期 | 2020.05 | 李昂   | 李昂   | 李昂，牟谦，刘朝阳，靳德武，王峰，丁 | -        |       | 是           |

|   |                                                                                                                                       |                   |                                                                                             |        |                    |         |    |    |                                                             |  |  |   |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------|---------|----|----|-------------------------------------------------------------|--|--|---|
|   |                                                                                                                                       |                   |                                                                                             |        |                    |         |    |    | 学松，马<br>丽                                                   |  |  |   |
| 3 | 深部煤岩层复合<br>结构底板破坏机<br>制及应用研究                                                                                                          | 岩石力学<br>与工程学<br>报 | 李昂，纪丙楠，牟<br>谦，王满，于振子，<br>邓五先，李宏跃，韩<br>泰然，郭壮                                                 | 西安科技大学 | 2022 年 41 卷 3<br>期 | 2022.03 | 李昂 | 李昂 | 李昂，纪<br>丙楠，牟<br>谦，王<br>满，于振<br>子，邓五<br>先，李宏<br>跃，韩泰<br>然，郭壮 |  |  | 是 |
| 4 | Research on a<br>Numerical<br>Simulation and<br>Prediction Model<br>of Floor Mining<br>Failure Depth in<br>the Chenghe<br>Mining Area | Geofluids         | Ang Li , Qian Mu ,<br><br>Wenzhong Zhang ,<br><br>Chaoyang Liu , Feng<br><br>Wang , Lin Mou | 西安科技大学 | 2020 年             |         | 李昂 | 李昂 | 李昂，牟<br>谦，张文<br>忠，刘朝<br>阳，王                                 |  |  | 是 |

|   |                                                                                                   |                                    |                                                                         |        |                 |        |    |    |                            |  |  |   |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------|--------|----|----|----------------------------|--|--|---|
|   |                                                                                                   |                                    |                                                                         |        |                 |        |    |    | 峰，牟林                       |  |  |   |
| 5 | Failure mechanism of the high pressure water in the Weibei on the top of the seams floor aquifers | Journal of Mines, Metals and Fuels | LI A , MA Q , LI K; Li M.; Yan W.; Liang L.; Lei C.; Qian M.; Jianbo C. | 西安科技大学 | 2019 年 67 卷 5 期 | 2019.1 | 李昂 | 李昂 | 李昂，马强，康荔马丽，吴燕，李亮，程磊，牟谦，陈建博 |  |  | 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 | 带压开采工作面底板三向应力求解采动破坏深度计 | 中国     | 2020SR1247677 | 2020 年 8 月 18 日 | 软著登字第 6126373 号 | 西安科技大学      | 李昂，王伟东，高喆森，吕璐娜 |

|   |      |                       |    |                     |                 |             |                                               |                                                                        |
|---|------|-----------------------|----|---------------------|-----------------|-------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|   |      | 算软件 V1.0              |    |                     |                 |             |                                               |                                                                        |
| 2 | 发明专利 | 一种沿空掘巷窄煤柱的加固方法        | 中国 | ZL 2016 1 0536888.X | 2018 年 8 月 3 日  | 第 3020534 号 | 西安科技大学                                        | 李昂                                                                     |
| 3 | 发明专利 | 一种基于双层结构底板滑移破坏深度的计算方法 | 中国 | ZL 2021 1 0630988.X | 2023 年 2 月 24 日 | 第 5748367 号 | 西安科技大学; 陕西昂西智慧矿业科技有限公司                        | 李昂; 高帅; 牟谦; 杨宇轩; 李远谋; 丁学松; 周永根; 纪丙楠; 翟彦妮; 吕伟; 张壮; 王伟东                  |
| 4 | 发明专利 | 一种基于三层结构底板滑移破坏深度的计算方法 | 中国 | ZL 2021 1 0630972.9 | 2023 年 3 月 28 日 | 第 5822030 号 | 西安科技大学; 陕西昂西智慧矿业科技有限公司                        | 李昂; 周永根; 牟谦; 杨宇轩; 李远谋; 丁学松; 纪丙楠; 高帅; 翟彦妮; 张壮; 王伟东; 吕伟                  |
| 5 | 发明专利 | 一种相似模拟实验模型及其铺设方法      | 中国 | ZL 2021 1 0627274.3 | 2023 年 3 月 28 日 | 第 5824434 号 | 西安科技大学; 中煤科工集团西安研究院有限公司; 陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司 | 李昂; 王毅; 周永根; 樊刚; 马强; 马政和; 刘洋; 崔岩波; 丁学松; 纪丙楠; 杨宇轩; 高帅; 李远谋; 张壮; 吕伟; 王伟东 |

|    |      |                                   |    |                        |                  |             |                                                               |                                                                                       |
|----|------|-----------------------------------|----|------------------------|------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | 发明专利 | 一种底板隔水岩层稳定性<br>计算方法               | 中国 | ZL 2021 1<br>0626701.6 | 2023 年 5 月 26 日  | 第 6002235 号 | 西安科技大学; 陕西省煤田<br>地质有限公司; 陕西陕煤澄<br>合矿业有限公司; 陕西昂西<br>智慧矿业科技有限公司 | 李昂; 段中会; 李远谋; 刘<br>朝阳; 马丽; 王峰; 杨增平;<br>杨宇轩; 丁学松; 纪丙楠;<br>周永根; 高帅; 吕伟; 张壮;<br>王伟东; 翟彦妮 |
| 7  | 发明专利 | 一种监测无煤柱沿空留巷<br>底板裂隙发育的探测系统<br>及方法 | 中国 | ZL 2016 1<br>0784252.7 | 2019 年 4 月 9 日   | 第 3328099 号 | 西安科技大学                                                        | 李昂                                                                                    |
| 8  | 发明专利 | 巷道围岩体多点离层量监<br>测与测量装置及安装和测<br>量方法 | 中国 | ZL 2013 1<br>0614482.5 | 2016 年 6 月 15 日  | 第 2112821 号 | 西安科技大学                                                        | 李昂                                                                                    |
| 9  | 发明专利 | 一种用于监测底板围岩裂<br>隙的钻孔锚固结构及其施<br>工方法 | 中国 | ZL 2016 1<br>0784254.6 | 2019 年 4 月 9 日   | 第 3326489 号 | 西安科技大学                                                        | 李昂                                                                                    |
| 10 | 发明专利 | 一种 U 型通风一次掘进留<br>设双巷的支护方法         | 中国 | ZL 2016 1<br>0459175.8 | 2017 年 12 月 19 日 | 第 2742573 号 | 西安科技大学                                                        | 李昂; 马强; 李亮                                                                            |

## 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                                                                       |
|-----|----|-------|--------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 李昂  | 1  | 所长    | 副教授    | 西安科技大学               | 西安科技大学               | 项目总策划，进行了底板加固水害防治项目总体设计。                                                     |
| 刘朝阳 | 2  | 总工程师  | 正高级工程师 | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 查询落实澄合矿区相关矿井5号煤层及底板地层赋存情况；同时主持开展澄合矿区的注浆方案设计、现场实施工作，对注浆效果评价提出了工作思路和途径。        |
| 王峰  | 3  | 部长    | 副高级工程师 | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 参与董家河5号煤层底板破坏模型构建，建立了渭北煤田薄隔水层底板稳定力学模型；参与董家河矿22507工作面注浆方案的设计及现场实施，对注浆效果进行了评价。 |
| 马政和 | 4  | 总工    | 副高级工程师 | 陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司 | 陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司 | 负责项目方案设计，现场技术指导，提出了底板加固加固设计方案，研究成果总结。                                        |
| 赵磊  | 5  | 主任    | 工程师    | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 陕西陕煤澄合矿业有限公司         | 组织项目实施，参与本项目钻孔施工和注浆加固底板改造方案设计及优化，使K2段灰岩含水层成为有效隔水层，实现了工作面安全带压开采。              |
| 黄刚  | 6  | 防治水副总 | 工程师    | 陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司 | 陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司 | 现场试验指导、实施、数据采集等工作，并基于实测数据建立了新型预测模型，分析和验证新模型的准确度和误差值。                         |
| 高喆森 | 7  | 项目负责人 | 无      | 西安科技大学               | 西安科技大学               | 本项目负责现场岩样采集及岩石物理力学性质和渗透性室内试验及数据分析。                                           |
| 王伟东 | 8  | 项目负责人 | 无      | 西安科技大学               | 西安科技大学               | 参与完成了澄合矿区研究工作面的物探工作，为力学建模、地质模型建立提供了基础材料和地层含水性分析，为科技推广做出较大贡献。                 |

|     |   |       |   |        |        |                                   |
|-----|---|-------|---|--------|--------|-----------------------------------|
| 吕璐娜 | 9 | 项目负责人 | 无 | 西安科技大学 | 西安科技大学 | 负责开展了近奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固室内数值模拟试验研究。 |
|-----|---|-------|---|--------|--------|-----------------------------------|

## 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，负责近奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固水害防治关键技术项目总体技术方案的制定和关键技术攻关，负责室内试验和数值模拟试验研究；开发了近奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固水害防治技术，揭示了灰岩含水层加固前(后)底板变形破坏规律、渗流特征、应力分布和矿压显现规律；揭示了底板“覆压+承压”耦合力学机制，提出了近奥灰弱隔水煤系复合多层结构底板稳定性判别准则，阐明了近奥灰-弱隔水煤系复合底板失稳致灾机理；研发了实时、精准监测底板变形规律的新型预埋结构超声波探头包裹体及其测试技术，解决了底板采动变形监测难题。

### 2.陕西陕煤澄合矿业有限公司

参与完成了近奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固水害防治关键技术项目总体规划和设计，进行了应用研究及现场工业性试验，共同建立了底板注浆加固带压开采工艺施工作业线。经过多年产学研联合攻关，在澄合煤业多个工作面科学应用该技术，节省了大量的排水费用等；随后该技术成果在渭北矿区推广应用，消除了接续采面底板水害隐患，无突水事故，实现了煤系复合底板工作面安全高效开采。

### 3.陕西陕煤澄合矿业有限公司董家河煤矿分公司

负责澄合煤业近奥灰-弱隔水煤系复合底板物探勘探技术实施以及奥灰强含水层及其上的石炭系灰岩含水层的赋存及富水性特征识别，探明了底板灰岩潜在突水通道；共同构建了近奥灰-弱隔水煤系复合底板破坏深度双因素和多因素预测模型，诠释了采宽、采深、采高多种组合下底板采动破坏深度变化规律，与其他合作单位共同建立了以浆换水、封充裂隙的全段隔水加固新工艺；参与研发了近

奥灰-弱隔水煤系复合底板注浆加固工艺及现场实施，并对澄合煤业底板加固可行性进行了评价。

## 八、完成人合作关系说明

项目实施期间，项目完成人高喆森、王伟东、吕璐娜由主持人李昂副教授指导攻读学士、硕士学位；刘朝阳、王峰、马政和、赵磊、黄刚合作参与项目的研究工作，主要取得成果如下：

1. 第一完成人/1、刘朝阳/2合作发表代表性论文2、4和代表性知识产权6。
2. 第一完成人/1、王峰/3合作发表代表性论文2、4和代表性知识产权6。
3. 第一完成人/1、马政和/4合作代表性知识产权5。
4. 第一完成人/1、王伟东/8合作代表性知识产权1、3、4、5、6。
5. 第一完成人/1、高喆森/7合作代表性知识产权1。
6. 第一完成人/1、吕璐娜/9合作代表性知识产权1。
7. 第一完成人/1、黄刚/6 曾在项目负责人指导下攻读学士学位。
8. 高喆森/7、王伟东/8、吕璐娜/9 目前正在项目负责人指导下攻读硕士学位。