

2017 年度国家科学技术进步奖推荐项目 公示材料

一、项目名称

煤与瓦斯突出区域防控理论及新技术

二、推荐单位意见

我国是世界上煤与瓦斯突出重大灾害最严重的国家之一。针对煤与瓦斯突出的区域防控理论不完善、区域突出危险性预测预警手段缺乏、预抽煤层瓦斯的区域防控效率低等难题，中煤科工集团重庆研究院有限公司、重庆大学、重庆松藻煤电有限责任公司、中国平煤神马能源化工集团有限责任公司等单位产、学、研联合攻关，研究开发了“煤与瓦斯突出区域防控理论及新技术”，取得以下创新性成果：1、确定了矿井煤与瓦斯突出的力学作用机理，建立了突出危险性预测预警、措施有效性评判指标及准则；2、发明了煤层瓦斯含量井下直接快速测定技术及装备，实现了120m孔深区域煤层瓦斯含量快速测定，误差小于7%；3、提出了软煤微缝网循环延展塑性固化的软煤水力压裂机理，研发了中低压水力压裂工艺和装备，实现了单孔80~100m区域的卸压与增渗，瓦斯抽采效果大幅度提高；4、发明了全过程监测、多元信息融合的突出预警方法，构建了信息自动采集和模块化预警系统，预警准确率达到85%以上。

该项成果为我国防突技术体系由局部防控为主向区域防控为主的转变奠定了基础，支撑了相关法规的制修订，在全国各煤炭主产区推广应用，为煤矿瓦斯事故大幅下降做出了重大贡献。

该项成果获省部级一等奖5项、国家专利优秀奖1项；授权发明专利27项、软件著作权12项；专著1部、SCI及EI检索论文21篇。

推荐该项目为国家科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介

瓦斯是煤矿第一杀手，煤与瓦斯突出（以下简称突出）和瓦斯爆炸是瓦斯事故的两种主要形式，其中我国突出事故死亡人数约占煤矿瓦斯事故的 35-45%。发达国家通常暂缓开发突出矿井。随着开采深度和开采强度的增加，我国突出矿井数近十年增加了 5 倍，达 1218 对，防治突出是难以绕越的坎。突出的区域防控是指在采掘前对待采煤层区域通过危险性预测、消除危险性工程措施等手段，避免采掘生产直接面对突出事故的威胁，已广泛应用的开采卸压保护层、先抽瓦斯后采煤等措施是区域防控的主要途径。但 60% 以上突出煤层不具备开采卸压保护层条件或应用以上技术成本很高，为此必须研发新的区域防控技术。

该项目在 6 个国家项目支持下，历经 10 年，从研究突出机理出发，建立了突出力学模型，形成了用于区域突出危险性预测、卸压增渗提高抽采瓦斯效果、突出危险性监测预警等区域防控新技术，取得如下重大创新成果：

1、针对突出机理不清、预测预警指标及判识准则缺乏理论指导的难题，提出了煤与瓦斯突出的力学作用机制，建立了诱发突出的定量化能量分析方法，确定了诱发突出的主因及突出危险性判识准则，实现了突出机理由定性向定量化的突破，有效指导了区域防控技术的研发。

2、针对预测区域突出危险性核心指标瓦斯含量“测不准、测不深、测不快”的难题，发明了煤层瓦斯含量井下直接快速测定技术及装备，实现了 120m 孔深大范围区域煤层瓦斯含量测定，测定时间<8h，误差<7%，达到国际领先水平。

3、针对水力压裂不适用于软煤的普遍认识以及软煤缺乏有效卸压增渗技术手段的难题，突破水力压裂脆性致裂的局限，提出了软煤微缝网循环延展塑性固化的致裂机理，并研发了中低压水力压裂工艺和装备，实现了单孔 80~100m 区域卸压与增渗，透气性系数提高 10~26 倍，瓦斯抽采效果平均提高 3 倍以上，达到国际先进水平。

4、针对引发突出因素众多、控制环节复杂，单一手段难以准确、及时、全面发现隐患的难题，发明了全过程监测的突出预警方法，创建了多元信息融合的预警指标体系和逐级判识模型，研发了信息自动采集硬件和模块化预警系统，实现了隐患在线监测、智能判识和应急联动控制，预警总准确率 85% 以上，达到国际领先水平。

成果获省部级一等奖 5 项、国家专利优秀奖 1 项；制定国家标准 1 项、行业强制性标准 3 项；授权发明专利 27 项、软件著作权 12 项；专著 1 部、SCI 及 EI 检索论文 21 篇；注册商标 2 项，重庆市名优产品 1 项。

成果为我国向区域“四位一体”为主的防突技术体系重大转变奠定了基础，有效支撑了《煤矿安全规程》（2016）、《防治煤与瓦斯突出规定》和《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》等政策法规的制修订，为瓦斯事故大幅下降做出了重大贡献。

四、客观评价

1、项目成果验收意见

①973 计划项目“预防煤矿瓦斯动力灾害的基础研究”(2005CB221500),以贾承造院士为组长的专家组验收意见:建立了瓦斯突出力学模型,为突出预测和防治技术的改进和创新、相关法规和标准的修改奠定了重要的理论基础。

②国家自然科学基金重点项目“煤与瓦斯突出机理及探测预防基础研究”(50534080),以国务院安全生产专家卢鉴章教授为组长的验收意见:建立了“煤与瓦斯突出的力学演化机制”理论;建立了损失量补偿模型,开发了瓦斯含量直接测定装置,形成了瓦斯含量预测煤与瓦斯突出危险性的理论、方法及指标体系。总体评价 A。

③国家“十二五”科技支撑计划课题“深部矿井煤与瓦斯突出防治关键技术及示范”(2012BAK04B01),由鲜学福院士等组成的专家组验收意见:研制了基于正压反循环方法的煤层瓦斯含量深孔快速取样装置,取样深度达到 123m,时间小于 2min;建立了基于动态信息的逐次逼近区域突出危险性预警判识模型、瓦斯抽采工程缺陷与达标状态分析模型、应力集中系数预测模型、瓦斯涌出动态特征指标等模型;构建了基于两个“四位一体”的监测预警技术及系统,建成了 4 个监测预警技术示范工程,预警准确率达到 87.6%。

2、成果鉴定结论

①2010 年中国煤炭学会对“煤与瓦斯突出综合预警技术及系统”技术鉴定认为:成果建立了突出预警指标体系和模型;形成了基于多因素、多指标监测的综合动态预警方法;开发了组件式突出综合预警系统;实现了突出灾害的在线监测、超前预警、辅助决策及联动控制,达到国际领先水平。以彭苏萍院士为组长的专家组对“单一低透煤层煤与瓦斯突出防治关键技术研究及应用”项目鉴定认为:煤与瓦斯突出综合预警系统实现了两个“四位一体”防突全过程监测和突出隐患的多层次、多角度自动判识与预警。

②以袁亮院士、彭苏萍院士等人组成的专家组对“寺河煤矿西井区煤与瓦斯突出区域综合防治技术研究”项目鉴定认为:煤层瓦斯含量直接测定为区域防突措施效果检验提供了技术手段,定点取样深度突破 120m,成果达国际领先水平。

③以彭苏萍院士为组长的专家组对“井下松软低透煤层水力压裂增透工艺及配套装备研究”鉴定认为:建立了松软煤层韧性起裂扩展数学模型,构建了松软低透煤层水力压裂压力、流量及时间相互匹配现场施工工艺技术,压裂后抽瓦斯钻孔工程量缩减 1/3 以上,抽采纯量提升 2-10 倍,达到国际先进水平。

3、获得的科技奖励

“煤矿井下瓦斯含量直接测定方法”、“煤与瓦斯突出综合预警技术及系统”、“井下松软低透煤层水力压裂增透工艺及配套装备研究”分别获的 2009、2011、2016 年中国煤炭工业科学技术一等奖;“正负压联合栓流定点取样装置”获 2015

年中国煤炭工业专利一等奖和 2016 年中国专利优秀奖；“煤与瓦斯突出综合预警技术及系统”获 2012 年重庆市技术发明二等奖；“基于瓦斯涌出动态特征指标的突出预警技术研究及应用”获 2015 年中国职业安全健康协会科学技术一等奖。

4、成果查新情况

①2010 年“煤与瓦斯突出综合预警技术”查新结论：实时综合预警技术、软硬件系统结构、综合预警平台等，国内外未见文献报道；②2012 年“煤层瓦斯含量快速直接测定技术及装备”查新结论：基于粒度的瓦斯损失量推算模型，正负压联合栓流取样工艺等，国内外未见文献报道；③2014 年“井下松软低透煤层水力压裂增透工艺及配套装备研究”查新结论：松软煤体裂纹韧性起裂计算模型构建、水力压裂施工原则等，国内外未见文献报道。

5、测试、检验结论

该项目 12 项相关软件通过了软件评测中心测试；开发的压裂泵组、数据采集设备等通过了国家煤矿防尘通风安全产品质量监督检验中心的性能检测。

6、学术专著、期刊评价

“煤与瓦斯突出过程的力学作用机理”入选 2014 年度中国精品科技期刊顶尖学术论文；吕秀江在其博士论文中评述：胡千庭团队系统研究了突出的力学演化机制、突出发生的力学条件等科学问题，取得丰富研究成果。申宝宏等在“中国煤炭科学技术新进展”中评述：瓦斯含量快速测定技术解决了松软煤层取不到样或取样时间过长、损失量估算误差大的难题，实现了 120m 长钻孔定点取样，8h 内快速测定瓦斯含量，测定误差 $<7\%$ 。李伍成、徐玉胜等人在多篇论文认为：经实际应用和验证，突出预警系统达到了实用化，实现智能、多参量实时预警。

7、成果应用单位评价

国务院国资委网站报道：阳煤集团新景矿预警系统成功应用，集团召开了现场会进行全局推广；潞安集团 2012 年发文：全局所有高瓦斯突出矿井必须建立预警系统或子系统；淮南矿业集团 2014 年由集团常务副总经理、总工程师组织的专题会议纪要：会议认为水力压裂技术是目前最安全、最经济、最便捷的瓦斯治理措施，是集团公司瓦斯治理的第三次技术革命，要大力推广。毕节市政府（2014）3 号文：煤矿集团公司必须配齐煤层瓦斯含量测定仪器仪表，特别是 DGC。

8、行业法规采用

依托成果，国家安监总局制修订了《煤矿安全规程》（2016 年版）突出防治篇章、《防治煤与瓦斯突出规定》，建立了以区域防控为重点的新防突技术体系，并将煤层瓦斯压力和瓦斯含量规定为突出危险性区域预测指标。国家安监总局、发改委等四部委 2011 年颁布的《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》将上述指标规定为瓦斯抽采达标评价重要指标，推荐指标临界值分别为 0.74MPa 和 $8\text{m}^3/\text{t}$ 。

9、其它

2011 年全国两会期间成果参加了科技部组织的“十一五”重大科技成果展；2015 年国家安监总局将本成果纳入首批“煤矿安全生产先进适用技术推广目录”。

五、推广应用情况

整体技术已在重庆松藻、山西阳煤和晋煤、河南平煤和能化、贵州水城等 20 多对矿井推广应用，单项技术应用的矿井：监测预警技术 217 对、瓦斯含量快速测定技术 700 余对、水力压裂技术 28 对，剔除应用单项技术重叠矿井，合计 800 余对。成果持有单位以该项目成果为依托开展了云南平庆、新疆焦煤等 15 项工程总包项目的服务，开展技术咨询项目 652 项。

松藻煤电公司 2009 年开始推广瓦斯含量快速测定技术、2010 年开始推广突出预警系统、2012 年开始推广水力压裂技术、2013 年整体技术在全局各矿全面应用。2011 年以来，全集团没有发生过突出伤亡事故，2013 年以来，瓦斯抽采成本显著降低。平煤集团 2010 年全面推广瓦斯含量快速测定技术，到 2014 年在十矿、十三矿等矿应用了突出预警系统，2014 年以来，应用矿井均未发生过突出伤亡事故。

六、主要知识产权证明目录

| 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 | 发明专利有效状态 |
|--------|----------------------|--------|------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|----------|
| 发明专利 | 煤层可解吸瓦斯含量的直接快速测定方法 | 中国 | ZL200610095077.7 | 2010-5-12 | 619743 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、文光才、邹银辉、赵旭生等 | 有效 |
| 发明专利 | 煤与瓦斯突出综合预警系统及预警方法 | 中国 | ZL200910103819.X | 2011-9-28 | 847629 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、赵旭生、康建宁、刘程等 | 有效 |
| 发明专利 | 煤与瓦斯突出模拟实验方法 | 中国 | ZL201310526272.0 | 2015-7-15 | 1722527 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、文光才、陈金华、王波等 | 有效 |
| 专著 | 煤与瓦斯突出的力学作用机理 | 中国 | / | 2013-1 | 9787030362612 | 科学出版社 | 胡千庭、文光才 | / |
| 发明专利 | 正负压联合栓流定点取样装置 | 中国 | ZL201210291852.1 | 2014-8-13 | 1398045 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、文光才、隆清明、王艺树等 | 有效 |
| 发明专利 | 煤与瓦斯突出动力效应模拟实验装置 | 中国 | ZL201410260247.7 | 2015-9-23 | 1797992 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、文光才、孙东玲、龚小兵等 | 有效 |
| 发明专利 | 突出煤层区域综合防突方法 | 中国 | ZL201110297012.1 | 2014-12-24 | 1549687 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、文光才、杜子健、孙东玲等 | 有效 |
| 发明专利 | 区域防突效果检验方法 | 中国 | ZL201110297611.3 | 2013-6-12 | 1216434 | 中煤科工集团重庆研究院 | 胡千庭、文光才、杜子健、孙东玲等 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于瓦斯涌出特征的突出危险性预警方法 | 中国 | ZL201310104178.X | 2015-2-15 | 1594271 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | 胡千庭、邹云龙、文光才、赵旭生等 | 有效 |
| 软件著作权 | 煤与瓦斯突出综合预警系统 | 中国 | 2009SR015876 | 2009-4 | 0142875 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | --- | 有效 |
| 软件著作权 | 瓦斯地质分析系统 | 中国 | 2008SR32832 | 2008-12 | 120011 | 中煤科工集团重庆研究院有限公司 | --- | 有效 |

七、主要完成人情况

1. 胡千庭，煤与瓦斯突出区域防控理论及新技术成果总负责人，提出研究方向、整体思路、总体方案。建立了煤与瓦斯突出的力学作用机理，提出了煤层瓦斯含量直接测定方法、煤与瓦斯突出预警体系，构建了软煤水力压裂中低压致裂新思路。牵头制修订了相关的法规、标准，促进了整体成果的全面推广应用。

2. 赵旭生，负责煤与瓦斯突出预警技术研究，提出了突出监测预警指标体系与判识模型，设计了组件式预警系统模块化结构，制定了预警系统中的瓦斯地质分析系统、监测数据分析系统、防突动态管理系统等功能结构。

3. 文光才，负责了煤与瓦斯突出模拟实验方法与装置的研究，构建了瓦斯抽采达标评判指标及准则，负责瓦斯含量直接测定装备的研制，提出了瓦斯含量直接测定工艺流程及残存量计算方法，提出了正循环钻进反循环取样的思路。作为主要起草人，制订了《煤矿瓦斯抽采基本指标》。

4. 陈久福，负责松藻矿区煤与瓦斯突出预警技术及瓦斯含量直接测定技术的现场试验与示范，优化了突出危险性区域预测及措施效果检验钻孔的布置方式。提出了软煤水力压裂的工艺流程，推进了软煤水力压裂技术在松藻矿区乃至重庆能投集团的推广应用。

5. 杨建国，负责煤与瓦斯突出机理、瓦斯含量直接测定、突出监测预警在平顶山矿区的现场试验与示范，统计分析煤与瓦斯突出事故的表现特征，对突出发生的力学条件进行验证。

6. 邹银辉，瓦斯含量直接测定技术及装备主研人员。建立了基于粒度的瓦斯损失量补偿模型，设计开发了 DGC 型瓦斯含量直接测定装备、压风引射及风和水雾联动取样装置。

7. 张庆华，负责预警方法及指标在不同矿区的适用性研究；负责预警指标体系完善、模型验证与修正、预警数据获取方法优化及移动式数据采集仪的研制。瓦斯含量直接测定技术现场试验与完善。

8. 隆清明，负责正负压栓流联合定点取样工艺及装备研究。设计开发了正压喷射螺旋取样钻头、钻杆、水尾及孔口多级引射取样装置，并进行了现场试验。

9. 林府进，构建了软煤水力压裂适用性的地质评价方法，提出了软煤水力压裂压力、流量及时间相互匹配的压裂工艺，负责软煤水力压裂的现场推广应用。

10. 武文宾，构建了软煤水力压裂微缝网循环延塑性固化致裂机理，提出了压裂效果评价准则，负责中低压水力压裂设备的开发、性能测定与现场试验。

11. 李明建，负责监测预警系统数据库的构建、软件结构设计与代码编制，开发了地质测量子系统、预警平台、数据采集接口、预警信息发布等软件。

12. 韩文骥，设计并开发了防突动态管理子系统和预警网站，参与预警平台

与模型设计，负责预警系统的现场试验与推广应用等。

13. 张睿，负责正负压栓流定点取样装置流场数值模拟、实验室测试及现场试验。

14. 王布川，开发了柔性带压多次封孔技术及装置，负责水力压裂技术的现场试验与推广。

15. 陈德敏，负责水力压裂泵组控制系统及流量调节装置的研发。

八、主要完成单位及创新推广贡献

中煤科工集团重庆研究院有限公司：作为该项目的牵头单位，提出整体技术思路，协调重庆大学、重庆松藻煤电有限责任公司及中国平煤神马能源化工集团有限责任公司开展关键技术和推广应用。主要创新贡献如下：①主持 973 项目、“十一五”“十二五”国家科技支撑项目及国家科技重大专项项目的研究；②负责煤与瓦斯突出力学作用机理的研究，建立了区域预测预警指标及判识准则的确定方法，实现了突出机理由定性向量化的突破，有效指导了区域防控技术的研发；③发明了煤层瓦斯含量井下直接快速测定技术及装备，解决了瓦斯含量“测不准、测不深、测不快”的难题；④提出了软煤塑性致裂机理，研发了中低压水力压裂工艺及装备，实现了单孔 80-100m 区域的卸压与增渗，突破了水力压裂脆性致裂的局限；⑤负责煤与瓦斯突出监测预警技术的研究，开发了全过程监测、多元信息融合、智能化判识的突出预警系统；⑥作为主要起草单位，负责制修订了相关的法规、标准；⑦负责整体技术的试验研究及成果推广应用。

重庆大学：作为主要参与单位，协助牵头单位完成关键技术的研究工作。主要创新性贡献如下：①973 项目与国家自然科学基金重点项目的主要参与单位，负责煤与瓦斯突出机理研究中的气固多场耦合机制、煤与瓦斯突出模拟实验等研究，提出了固气耦合力学模型；②“十二五”国家科技重大专项的主要参与单位，主要负责软煤水力压裂的理论研究及在松藻矿区的现场试验研究工作；③参与相关法规的制修订工作；④参与项目整体技术成果的推广应用。

重庆松藻煤电有限责任公司：作为主要参与单位，协助牵头单位完成关键技术的研究及现场推广工作。主要创新性贡献如下：①“十一五”、“十二五”国家科技重大专项的主要参与单位，提出了软煤水力压裂的工艺流程，推进了软煤水力压裂技术在松藻矿区乃至重庆能投集团的推广应用；②负责松藻矿区煤与瓦斯突出预警技术及瓦斯含量直接测定技术的现场试验与示范，优化了突出危险性区域预测及措施效果检验钻孔的布置方式；③参与项目整体技术成果的推广应用。

中国平煤神马能源化工集团有限责任公司：作为主要参与单位，协助牵头单位完成关键技术的研究及现场推广工作。主要创新性贡献如下：①“十二五”国家科技支撑课题的主要参与单位，负责瓦斯含量直接测定、突出监测预警在

平顶山矿区的现场试验与示范；②973 项目的主要参与单位，负责统计分析煤与瓦斯突出事故的表现特征，对突出发生的力学条件进行验证；③参与项目技术成果的推广应用。

九、完成人合作关系说明

1、共同完成项目

自 2005 年至 2015 年，完成人员相继在不同科研课题中合作进行该项目不同内容的研究：

(1) 胡千庭、文光才、赵旭生、邹银辉、隆清明、张庆华合作承担国家重点基础研究 973 计划“预防煤矿瓦斯动力灾害的基础研究”(编号 2005CB221500，时间：2005.7-2010.11)。

(2) 胡千庭、文光才合作承担国家自然科学基金重点项目“煤与瓦斯突出机理及探测预防基础研究”(编号：50534080，时间：2006.01-2010.06)。

(3) 胡千庭、文光才、赵旭生、张庆华、李明建、韩文骥合作承担国家“十一五”科技支撑计划课题“煤矿重大灾害综合监测预警关键技术”(编号：2006BAK03B02，时间：2006.11-2010.12)。

(4) 胡千庭、赵旭生、张庆华、隆清明、杨建国、林府进、李明建、韩文骥、张睿合作承担国家“十二五”科技支撑计划课题“深部矿井煤与瓦斯突出防治关键技术及示范”(编号：2012BAK04B01，时间：2011.1-2015.12)。

(5) 胡千庭、文光才、赵旭生、隆清明、陈久福、林府进、武文宾、王布川、陈德敏合作承担“十一五”、“十二五”国家科技重大专项项目“煤矿区煤层气高效抽采、集输技术与装备研制”(编号：2008ZX05041、2011ZX05041，时间：2008.1-2015.12)。

2、共同获奖

胡千庭、文光才、邹银辉、张庆华、赵旭生、隆清明共同获奖项目“煤矿井下瓦斯含量直接测定方法”；胡千庭、赵旭生、文光才、李明建、韩文骥、张庆华共同获奖项目“煤与瓦斯突出综合预警技术及系统”；胡千庭、文光才、赵旭生、林府进、武文宾、王布川、陈德敏共同获奖项目“井下松软低透煤层水力压裂增透工艺及配套装备研究”；胡千庭、文光才、隆清明、张睿共同获奖项目“正负压联合栓流定点取样装置”。

3、共同授权专利

胡千庭、赵旭生、文光才、隆清明在突出区域防控理论方面获“煤与瓦斯突出模拟实验方法”等授权发明专利 8 项；胡千庭、赵旭生、文光才、邹银辉、隆清明、张庆华在煤层瓦斯含量直接测定技术方面获“煤层可解吸瓦斯含量的直接快速测定方法”等授权发明专利 7 项；胡千庭、赵旭生、文光才、张庆华、隆清明、李明建、韩文骥在监测预警方面获“煤与瓦斯突出综合预警系统及预警方法”等授权发明专利 12 项。