

2016 年度国家技术发明奖推荐项目

公示材料

一、项目名称：煤矿综掘工作面泡沫高效除尘技术与装备

二、推荐单位意见：

该项目聚焦我国煤矿粉尘防治的重大需求，从泡沫高效除尘思路、原理和方法上着手，攻克了泡沫除尘中存在的技术难题，研创了综掘工作面泡沫高效除尘成套技术与装备。其原创性成果有：发明了射流气化吸液及低阻发泡方法与装置，实现了除尘泡沫的高效制备；发明了环形承压泡沫的喷射技术与装置，实现了泡沫高效率、低成本降尘；发明了与泡沫技术联用的控风除尘系统，实现了综掘面高浓度尘源的综合治理。该项目发明成果属国内外首创；技术独特，创造性突出，达到同类技术领先水平。

该项目获中国煤炭工业协会科学技术奖一等奖 1 项、中国职业安全健康协会科学技术奖一等奖 1 项、国家安全监管总局安全生产科技成果奖一等奖 1 项；拥有授权专利 45 项，其中国家发明专利 25 项；出版专著 2 部，发表学术论文 87 篇，其中被 SCI、EI 检索收录 55 篇。项目成果已在山西、山东、陕西、安徽、宁夏、贵州等煤炭主产区的 93 个国有重点煤矿获成功应用，取得了显著的经济、社会和环境效益。该项目为高效治理煤矿综掘面粉尘灾害、有效预防尘肺病和煤尘爆炸提供了原创的技术与装备，并可用于非煤矿山、地下工程建设等行业的尘害治理，发展前景和推动煤炭等相关行业科技进步作用巨大。

对照国家科学技术奖授奖条件，推荐该项目为国家技术发明奖。

三、项目简介

本项目属煤矿安全领域。粉尘防治是煤矿职业安全健康工作的重中之重。我国煤矿每年因尘肺病死亡人数已超过各类事故死亡人数总和；煤尘爆炸是煤矿中伤亡最惨重的事故类型。预防因粉尘导致的尘肺病和煤尘爆炸是坚持“以人为本、安全发展”理念和贯彻《职业病防治法》、《矿山安全法》的重大需求。综掘工作面是煤矿粉尘防治的重点与难点。掘进工作面空间小、通风困难，粉尘中游离 SiO_2 含量高，煤矿 85% 以上的尘肺病患者是在掘进作业环境中造成的，掘进面也是发生煤尘爆炸次数最多的地点。近年来，随着综掘技术的迅猛发展，掘进强度不断增大，产尘量也急剧上升，综掘面粉尘防治难度进一步加大。国内外在综掘面现主要采用水喷雾、除尘风机等除尘技术，但水雾捕尘能力弱、恶化作业环境，传统除尘风机收尘能力和处理风量有限，造成降尘效率低、粉尘浓度居高不下。本项目针对综掘面粉尘高效防治的重大需求和现有技术的不足，研究了泡沫除尘技术，经过十年的努力，取得如下原创性成果：

1、发明了射流汽化吸液及低阻高效发泡方法与装置。首次提出以压力水射流汽化相变产生的稳定压力差吸入发泡剂的方法，实现了低比例小流量发泡剂的稳定添加；提出螺旋网低阻高效发泡方法，既保证了高效产泡，又降低了发泡过程阻力损失，提高了泡沫射流出口的压力；该装置无需定量添加泵，提高了泡沫制备的安全可靠性和适用性。本发明发泡剂添加量 0.7ml/s - 1.4ml/s 、耗水量 $0.5\text{m}^3/\text{h}$ - $1.0\text{m}^3/\text{h}$ 、发泡倍数 30-50 倍，实现了综掘面除尘泡沫的高效制备。

2、发明了环形承压泡沫的喷射技术与装置。创制了一种聚合物增强型降尘发泡剂，利用水溶性高聚物与含氧亲水基团型表面活性剂的氢键吸附效应，提高了泡沫液膜的强度和承压性能，避免了泡沫在较高压力喷射条件下的破裂损失。首创弧扇形泡沫喷嘴及可调式安装支架，该喷嘴采用大通径渐变流道降低喷射阻力，再利用外导流体与扩展段的共同作用，形成了封闭综掘机截割尘源的环形泡沫喷射流型，可调式支架能根据现场情况调整泡沫喷射方向与角度。本发明实现了环状承压泡沫对尘源的动态全包裹及综掘机截齿上的覆盖堆积，泡沫破裂损失量少，发泡剂使用浓度 0.3%-0.5%，除尘效率达 85%-92%，解决了除尘泡沫利用率低及使用成本高的难题。

3、发明了与泡沫技术联用的控风除尘系统。该系统中的三向旋流风幕发生器采用三向分风方式，形成隔断巷道全断面的控尘风幕，为泡沫降尘和除尘风机高效收尘创造了有利条件。该系统中的三级旋流除尘风机利用三级旋流器的离心力作用，提高净化大流量含尘空气的能力。本发明可将粉尘控制在迎头区域，处理风量可达 $600\text{m}^3/\text{min}$ ，综合除尘效率 $>98\%$ ，解决了泡沫与控风除尘装

置高效联用的难题，实现了综掘面高浓度尘源的综合治理。

本项目获国家授权专利 45 项（发明 25 项）；出版专著 2 部，发表论文 87 篇（SCI、EI 收录 55 篇），获中国煤炭工业协会科学技术一等奖、中国职业安全健康协会科学技术一等奖、国家安全生产科技成果一等奖各 1 项。项目成果经有关院士和专家鉴定，达到国际领先水平；已在 93 个国有重点煤矿获成功应用，取得了显著的社会和经济效益，推动了煤炭行业安全科技进步，并在非煤矿山等行业的尘害治理中也有广阔的应用前景。

四、客观评价

1、鉴定意见

1) 2011 年 3 月 20 日, 中国煤炭工业协会组织矿山安全领域有关院士和专家在北京对本项目课题《高效泡沫降尘关键技术及装备》进行了鉴定, 鉴定委员会一致认为: “该项目研发了一套由发泡剂添加器、发泡器、泡沫专用喷头等部件组成的高效泡沫降尘系统, 为矿井粉尘防治提供了一种新的手段”; “发明了一种适应矿井降尘用的高可靠性发泡器, 该发泡器无运动部件和易于堵塞的发泡网, 提高了其运行的稳定性和可靠性”, “研发了覆盖面广和射程远的泡沫喷射专用喷头, 为泡沫对产尘点的有效包裹和提高降尘率起到了重要作用”; “成果达到了国际领先水平, 具有重要的推广价值和广阔的应用前景”。

2) 2011 年 12 月 26 日, 中国煤炭工业协会委托山东省煤炭工业局组织有关矿山安全专家在山东泰安对《大断面全硬岩综掘工作面高效除尘技术的研究与实践》项目进行了鉴定, 鉴定委员会一致认为: “该项目研发了旋流风幕封闭除尘系统”, “建立了大断面全硬岩综掘工作面高效除尘技术体系”; “成果达到了国际领先水平”。2013 年 10 月 29 日, 中国煤炭工业协会组织专家在青岛对《煤矿综掘面及锚喷作业区控除尘技术及装备》项目进行了技术鉴定, 鉴定委员会一致认为: “揭示了煤巷及岩巷综掘工作面长压短抽通风条件下风流场及气载粉尘流场的运移规律, 研发开发出轻质附壁风筒、除尘风机等组成的旋流风幕封闭式控除尘系统”; “在综掘面及锚喷作业区控除尘方面达到了国际领先水平。”

2、检测报告

2015 年 2 月 12 日, 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所完成了对本项目发泡剂的检测 (受理编号 2014KF2609), 检测报告结论为: “该受试物 (发泡剂) 属于实际无毒级”、“刺激强度为无刺激性”。

3、重要科技奖励

1) 煤矿综掘工作面泡沫高效除尘技术, 中国煤炭工业协会科学技术奖, 一等奖, 2015 年。

2) 煤矿巷道综掘与锚喷作业区域控除尘技术与装备, 国家安全监管总局第六届安全生产科技成果奖, 一等奖, 2015 年。

3) 高效泡沫降尘关键技术及装备, 中国职业安全健康协会科学技术奖一等奖, 2013 年;

4、同行专家评价

1) 2014 年 7 月, 王德明教授团队著写的《矿尘学》专著获 2014 年度国家

科学技术著作出版基金立项资助；同年 11 月，中国煤炭工业协会会长、中国煤矿尘肺病防治基金会理事长王显政同志在给《矿尘学》所作序言中评价道：“该书……，对具有原创性的泡沫抑尘技术进行了深入阐述，对提高我国矿尘灾害防治水平、推动煤矿安全科技进步具有重要的学术价值和应用价值”。

2) 2015 年 9 月，王德明教授应邀在澳大利亚国际通风会议（澳大利亚·悉尼）上向国际同行作了题为“Technology of Dust Suppression by Foam for Fully Mechanised Heading Face”的学术报告，得到良好的国际评价。

5、应用单位评价意见

1) 淮北矿业朱仙庄煤矿的评价意见：“该项目泡沫降尘技术及配套控风除尘装备高效防治了综掘面粉尘灾害，总粉尘和呼吸性粉尘平均降尘效率分别达到 98.2%和 96.7%，总粉尘和呼吸性粉尘平均浓度成功控制在 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，突破性地解决了大断面全岩综掘面高浓度粉尘防治的难题，有力保障了矿工的安全与健康，产生了巨大的经济和社会效益。”

2) 枣庄矿业集团付村煤业有限公司对本发明的评价意见：“应用结果表明，掘进机司机处全尘和呼尘的平均降尘效率分别达到 97.5%和 94.7%，呼尘浓度由 $120\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $6.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、较原先喷雾技术提高 30 个百分点以上，而耗水量降低 60%~80%，极大地改善了作业环境和劳动卫生条件，保证了矿井的安全、高效生产，为矿井粉尘防治指明了方向，产生了巨大的社会效益。”

五、推广应用情况

本项目成果面向我国煤矿综掘工作面粉尘灾害防治的迫切需求而发明，具有很强的适用性，已在淮北、枣庄、西山、淮南、菏泽、霍州、宝鸡、兖州、长治、榆林、宁煤、铜川、淮南、朔州、水城等矿区的 93 个国有重点煤矿获成功应用，应用矿井未发生一起煤尘爆炸事故、掘进工人中未新增一例尘肺病患者，保障了矿井的安全生产和接尘矿工的身心健康。

本项目成果提升了我国煤矿粉尘防治技术水平；还可以用于非煤矿山和地下工程掘进、水泥等行业的尘害治理，发展与应用前景广阔。

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	一种风动射流式比例发泡装置	中国	ZL 201210376347.7	2014-03-12	第 1362318 号	中国矿业大学	王德明, 陆新晓, 王和堂, 胡方坤	有效
发明专利	用于降尘的弧扇喷嘴	中国	ZL 201210389706.2	2015-03-04	第 1599524 号	中国矿业大学	王德明, 韩方伟, 汤笑飞, 王和堂, 张义坤, 陆新晓, 曹凯	有效
发明专利	一种综掘面空气幕封闭除尘系统	中国	ZL 200910256090.X	2011-08-24	第 827899 号	山东科技大学	程卫民, 周刚, 聂文, 陈连军, 王刚	有效
发明专利	一种用于降尘的复合型发泡剂及其制备方法	中国	ZL 201310338904.0	2015-04-15	第 1636186 号	中国矿业大学, 徐州安云矿业科技有限公司	王德明, 王和堂, 张祎, 徐超航, 王咏一, 何飞, 朱小龙	有效
发明专利	一种矿用多孔螺旋式泡沫发生装置	中国	ZL 201410056367.5	2015-09-02	第 1775360 号	中国矿业大学, 徐州安云矿业科技有限公司	王德明, 陆新晓, 刘建安, 沈威, 曹凯, 何飞	有效
发明专利	一种用于矿井综掘面粉尘防治的可调式喷射支架	中国	ZL 201210105170.7	2014-01-15	第 1337430 号	中国矿业大学	王德明, 韩方伟, 张义坤, 胡方坤, 任万兴, 王和堂	有效
发明专利	矿用喷雾旋流除尘风机	中国	ZL 201110140008.4	2013-03-13	第 1148030 号	山东科技大学	程卫民, 周刚, 聂文, 陈连军, 亓玉栋, 于岩斌, 杨俊磊, 崔向飞, 王刚, 吴立荣, 张睿	有效

发明专利	煤矿降尘用自吸空气式旋流发泡装置	中国	ZL 201310054532.9	2015-01-21	第 1569799 号	中国矿业大学	王德明, 王和堂, 王庆国, 贾志强, 仲晓星	有效
发明专利	一种负压式矿用泡沫降尘装置	中国	ZL 201110150881.1	2013-12-25	第 1328655 号	中国矿业大学	王德明, 王和堂, 陆新晓, 任万兴, 高庆丛, 郭新安, 张义坤	有效
发明专利	一种综掘工作面降、隔、除一体化防尘方法	中国	ZL 201110452280.6	2014-07-16	第 1442708 号	中国矿业大学	王德明, 王和堂, 陈贵, 张义坤, 何 飞, 任万兴, 韩方伟, 陆新晓, 张祎	有效

七、主要完成人情况

王德明，排名第 1，煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室主任，教授。工作单位：中国矿业大学，完成单位：中国矿业大学。项目总负责人，主持制定了项目技术路线和研究方案，对主要技术发明点 1、2、3 均有创造性贡献：主持发明了射流汽化吸液及旋流发泡方法与装置、弧扇形泡沫喷头及可调式喷射支架、综掘工作面降、隔、除一体化防尘方法和一种高效环保的复合型发泡剂。证明材料：八项主要发明专利的第一发明人（主要知识产权证明目录 1-2、4-6、8-10）。

程卫民，排名第 2，科研处处长，教授。工作单位：山东科技大学，完成单位：山东科技大学。项目主研人员，参与制定了项目技术路线和研究方案，对发明点 3 有创造性贡献：主持发明了与泡沫降尘配套的综掘面控风除尘系统。证明材料：两项主要发明专利的第一发明人（主要知识产权证明目录 3、7）。

王和堂，排名第 3，讲师。工作单位：中国矿业大学，完成单位：中国矿业大学。项目主研人员，参与制定了项目技术路线和研究方案，对主要技术发明点 1、2、3 均有创造性贡献：参与发明了射流汽化吸液及低阻发泡方法与装置、弧扇形泡沫喷头及可调式喷射支架、综掘工作面降、隔、除一体化防尘方法和一种高效环保的复合型发泡剂。证明材料：七项主要发明专利的共同发明人【主要知识产权证明目录 1（排名第三）、2（排名第四）、4（排名第二）、6（排名第六）、8-10（排名第二）】。

何 飞，排名第 4，总经理，工程师。工作单位：徐州安云矿业科技有限公司，完成单位：徐州安云矿业科技有限公司、中国矿业大学。项目主研人员，对主要技术发明点 1、2、3 有创造性贡献：参与发明了射流汽化吸液及低阻发泡装置、综掘工作面降、隔、除一体化防尘方法和一种高效环保的复合型发泡剂。证明材料：三项主要发明专利的共同发明人【主要知识产权证明目录 4-5（排名第六）、10（排名第五）】。

周 刚，排名第 5，副教授。工作单位：山东科技大学，完成单位：山东科技大学。项目主研人员，对发明点 3 有创造性贡献：参与发明了与泡沫降尘配套的综掘面控风除尘系统。证明材料：两项主要发明专利的第二发明人（主要知识产权证明目录 3、7）。

张 祎，排名第 6，副总经理，工程师。工作单位：徐州安云矿业科技有限

公司，完成单位：徐州安云矿业科技有限公司、中国矿业大学。项目参研人员，对主要技术发明点 2 和 3 有创造性贡献：参与发明了一种高效环保的复合型发泡剂和综掘工作面降、隔、除一体化防尘方法。证明材料：两项主要发明专利的共同发明人【主要知识产权证明目录 4（排名第三）、10（排名第九）】。

完成人合作关系说明

本项目由中国矿业大学王德明教授任组长、山东科技大学程卫民教授任副组长的联合项目组合作完成。项目组成员中，王和堂现为中国矿业大学教师，于 2008 年进入王德明教授团队读研攻博，2014 年留校任教，一直从事本项目核心技术的研究工作；何飞、张祎于 2009 年进入王德明教授团队读研，分别以矿用降尘泡沫制备技术和绿色环保发泡剂材料为主要研究方向，后于 2012 年加入科技型企业-徐州安云矿业科技有限公司，继续从事上述研究，并具体承担了本项目成果转化和推广应用的相关工作；王德明、王和堂、何飞、张祎合作共同获得多项发明专利。周刚现为山东科技大学教师，于 2009 年博士毕业，导师为程卫民教授，同年留校任教；自 2011 年进入中国矿业大学矿业工程博士后流动站，导师为王德明教授，在综掘面控风除尘方面进行合作研究，完成的博士后研究报告为《大断面全硬岩综掘工作面高效除尘技术的研究与实践》；王德明、程卫民、周刚合作共同发表多篇学术论文；程卫民、周刚合作获得多项发明专利。

项目组在王德明教授的领导下，精诚合作、扎实开展了联合攻关研究，在煤矿综掘工作面泡沫除尘技术与装备的研究上取得了系列原创性成果；上述主要完成人作为前六完成人共同获得 2015 年度中国煤炭工业协会科学技术一等奖。