

2019 年国家科技进步奖拟提名项目公示

一、项目名称

安全高效现场混装智能化爆破关键技术与应用

二、提名者及提名意见

1. 提名者

中国爆破行业协会

2. 提名意见

现场混装爆破是集炸药混制、装药、爆破于一体的新技术，相对人工装药爆破具有安全、高效、环保等优点，“九五”期间被列为国家级科技成果重点推广计划，成为工程爆破行业技术发展的主攻方向。中国葛洲坝集团易普力股份有限公司、保利新联爆破工程集团有限公司、武汉理工大学三家单位以国家科技支撑计划为牵引，依托三峡工程、新疆准东煤矿等重大工程和大型矿山，以产学研方式开展了十余年联合攻关，形成了现场混装爆破智能化装备与智能设计方法，突破了复杂地质条件下现场混装爆破技术应用瓶颈，整体成果达到国际领先水平。

上述系列成果，形成了一套具有自主知识产权的现场混装智能爆破技术体系，并先后在国内外 120 余项重点工程、大型矿山和“一带一路”国际项目中推广应用，取得了显著的经济、社会效益。

该项目符合《中国爆破行业中长期科学和技术发展规划（2016~2025 年）》中“大力推进新一代信息技术与我国爆破行业的融合发展，推进爆破行业数字化和智能化”的发展目标要求，研究成果有力地推动了我国爆破行业科技进步，获得了国内外工程爆破界的广泛赞誉。根据《国家科学技术奖励》及其实施细则的相关规定，该项目符合国家科技进步奖的推荐条件。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

现场混装爆破是集炸药混制、装药、爆破于一体的新技术，相对人工装药爆破具有安全、高效、环保等优点，“九五”期间被列为国家级科技成果重点推广计划，成为工程爆破行业技术发展的主攻方向。早期现场混装爆破尚处于半机械、半自动化阶段，且我国地域辽阔、气候多样、地质多变，受其装备工艺局限性、设计方法科学性、应用体系完整性等核心技术难题的制约，导致仅在我国少数几座大型矿山获得较好应用，亟待提升其自动化、信息化、智能化水平。

项目组以国家科技支撑计划为牵引，依托三峡工程、新疆准东煤矿等重大工程和大型矿山，以产学研方式开展了十余年联合攻关，形成了现场混装爆破智能化装备与智能设计方法，突破了复杂地质条件下现场混装爆破技术应用瓶颈，整体成果达到国际领先水平，主要创新成果如下：

(1) 填补了现场混装爆破智能化装备的空白。研发了具有智能控制功能的现场混装爆破专用乳胶基质配送装备及工艺，发明了精准采样、闭环控制的全自动现场混药控制方法及装置，开发了系列智能化装药设备，创建了现场混装炸药车动态信息监控及爆区无人化智能监控系统，实现了现场混装爆破柔性化作业，爆破作业效率提高 45%以上，开创了集远程配送、现场混装、安全监控的智能化爆破新模式。

(2) 首创了现场混装爆破的智能化设计体系。建立了现场混装炸药配方与岩石破坏效果随机优

化匹配模型，研发了集原始数据智能筛查、爆破参数定量设计、钻孔参数自动生成、起爆顺序自适应确定于一体的爆破智能化设计系统，提出了基于张拉-压剪破坏的爆破块度多维度分析和爆破振动全时程预测方法，建立了基于大数据挖掘技术的爆破效果量化评价体系，实现了现场混装爆破的全过程智能化设计，炮孔利用率提高 15%以上，炸药能量利用率提高 20%以上。

(3) 突破了在复杂地质条件下应用的技术瓶颈。揭示了混装乳化炸药与水、岩屑混合模式及失效机理，提出了喀斯特地貌下多因素、多尺度协同增强的定位阻隔装药方法，研发了基于隔离抑制方法的高温防自爆现场混装乳化炸药，突破性地将炸药起始分解温度从 100℃左右提高至 251.3℃，发明了集测温、隔温、控温于一体的火区现场混装爆破施工方法。

研究成果在阳江核电站、平朔东露天煤矿、龙洞堡机场、西藏巨龙铜矿、新疆别斯库都克煤矿、利比里亚 NL 金矿、巴基斯坦 Karot 水电站、科威特基础设施建设等 120 余项国内外重点工程、大型矿山和“一带一路”国际项目中推广应用，累计使用混装炸药 110 余万吨，产生经济效益逾 120 亿元，税收逾 7 亿元。

依托项目研究，获省部级科技进步一等奖 4 项；参编国家标准 2 项，主参编省部级标准 10 项；形成省部级工法 7 项；获发明专利 25 项、软件著作权 11 项；论文 61 篇，其中 SCI/EI 23 篇；著作 1 部；培养全国有突出贡献爆破专家 2 名、中国爆破行业高技能人才 5 名，硕、博士 32 名。为现场混装爆破推广应用提供了范例和指导，显著地推动了我国爆破行业的科学技术进步。

四、客观评价

1. 科技鉴定评价

(1) 2015 年 12 月 18 日，中国工程爆破协会组织汪旭光院士等专家在北京主持召开了“现场混装爆破智能化关键技术研究与应用”科技成果鉴定会，专家组认为：“研发了具有温度智能调节功能的现场混装爆破专用乳胶基质配送车，在我国首次实现了乳胶基质远程配送”、“发明了全自动现场混药控制方法与装置，开发了系列智能化装药设备，显著提高了工艺稳定性与装药寻孔控制精度”、“研发了爆区无人智能监控系统，实现了现场混装爆破预装药，爆破作业效率显著提高”、“建立了张拉-压剪破坏的爆破块度分析模型、Volterra 泛函级数的爆破振动预测模型，实现了现场混装智能化爆破，使爆破块度分析精度、炸药单耗设计精度、炮孔利用率、铲装效率显著提高”、“针对喀斯特地貌、高温火区、硫化矿带等特殊地质条件，首次提出了多因素、多尺度协同增强的定位阻隔装药方法；发明了集混药、装药、测温、隔温、控温于一体的现场混装爆破智能化施工方法，突破了在复杂地质条件下应用的技术瓶颈，拓展了现场混装爆破应用范围”。鉴定结论：**成果整体达到国际领先水平**（中爆协鉴字[2015]第 38 号）。

(2) 2015 年 4 月 20 日，中国工程爆破协会组织汪旭光院士等专家在重庆对项目“安全高效现场混装爆破关键技术”进行科技成果鉴定，专家组认为：“建立了现场混装炸药与岩性匹配全孔深能量分布模型”、“提出的岩性、风化程度、炸药性能、施工条件、爆破效果等多因素炸药单耗计算新方法，提高了爆破参数设计的精确度；创建的现场混装一体化施工工艺，实现了爆破作业方式的转型升级”、“在混装设备及炸药配制、施工工艺技术、信息化技术等方面取得了系列创新成果”。鉴定结论：**研究成果达到国际领先水平**（中爆协鉴字[2015]第 04 号）。

(3) 2016 年 5 月 6 日，贵州省科技厅在贵阳组织汪旭光院士、王泽山院士、姜德生院士等专家对“精确延时爆破关键技术及应用”项目进行了科技成果鉴定，专家组认为：“提出了基于最大瞬时输入能量、滞回耗能的精确延时爆破振动安全判据和非线性预测方法，实现了爆破振动效应的全时程检测和有效控制”。鉴定结论：填补了国内外精确延时爆破关键技术的多项空白，**具有国际领先水平**（黔科鉴字[2016]第 010 号）。

(4) 2014年4月12日,中国工程爆破协会和贵州省科技厅组织冯叔瑜院士、汪旭光院士、徐更光院士等专家在北京对“裂隙岩体混装炸药爆破关键技术及工程应用”项目进行了科技成果鉴定,专家组认为:“研发了现场混装炸药爆炸性能测试系统,揭示了混装乳化炸药与水、岩屑混合模式及失效机理,提出了改善混装炸药爆炸破岩效果的技术措施,形成了完备的现场混装炸药爆炸性能检测与破岩能力提升的方法体系”。鉴定结论:填补了裂隙岩体混装炸药爆破技术的多项空白,达到了国际先进水平(鉴字[2014]第04号)。

(5) 2016年3月19日,中国爆破行业协会组织汪旭光院士等专家在重庆召开了“露天煤矿火区爆破安全关键技术研究与应用”科技成果鉴定会,专家组认为:“研发了露天煤矿火区炮孔温度实时监测与报警系统,实现了全过程温度的监控”、“研发了露天煤矿火区高温炮孔隔热控温材料与装置,提高了爆破装药的安全性”。鉴定意见:达到国际领先水平(中国爆协鉴字[2016]第019号)。

(6) 2018年8月2日,中国爆破行业协会组织谢先启院士等专家在北京召开了“台阶爆破设计系统软件开发及工程应用”科技成果评价会,专家组认为:“提出了炮孔平面布置和起爆顺序设计方法”、“提出了爆堆表面块度尺寸分布算法”、“开发了爆破效果综合评估模块”。评价意见:推动了爆破行业的数字化、信息化发展,具有国际先进水平(中国爆协(评价)字[2018]第0052号)。

2. 技术检测报告

(1) 2012年,中国软件评测中心对“工业炸药现场混装车动态监控信息系统”的功能、性能等方面进行了产品测评,得出:“通过对混装车运行状态的识别能够分为调试状态和生产状态”、“可与装药控制系统同时启动和运行”、“同时会有声光报警、故障显示”、“生产数据计量误差不大于2%”。

(2) 2013年,国家安全生产淮北民用爆破器材检验检测中心对“硫化矿防自爆混装乳化基质”检验(编号:2013-WQT-028)得出:“产品升温速率为零时起始分解温度为 251.3°C ,活化能为 $1.130\times 10^5\text{J/mol}$, 120°C 时反应速率常数为 $3.0\times 10^{-5}/\text{min}$ ”。

3. 学术论文

依托本项目在《爆炸与冲击》、《振动与冲击》、《煤炭学报》、《爆破》、《International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences》、《International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting》等国内外权威期刊和学术会议上发表论文60余篇。

4. 国家及行业标准

参编国家标准2项,主参编省部级标准10项,相关成果已被国家标准《爆破安全规程》(GB6722-2014)、行业标准《水电水利工程爆破施工技术规范》(DL/T 5153-2013)和《爆破手册》等采用。

5. 科技奖励

- (1) 裂隙岩体混装炸药爆破关键技术及工程应用,贵州省科技进步一等奖,2014;
- (2) 现场混装乳化炸药在不同爆破作业中的研究与应用,中国工程爆破科学技术进步一等奖,2014;
- (3) 露天煤矿火区爆破安全关键技术研究与应用,中国爆破行业科学技术进步一等奖,2016;
- (4) 台阶爆破设计系统软件开发及工程应用,中国爆破行业科学技术进步一等奖,2018;
- (5) 精确延时爆破关键技术及工程应用,贵州省科技进步二等奖,2016。

五、应用情况

本项目整体技术产业化应用已经超过三年,以安全高效理念发展自主创新的适合我国爆破特点

的现场混装爆破智能化关键技术，创造了良好的经济、社会和环保效益。近十余年来该成果在阳江核电站、平朔东露天煤矿、龙洞堡机场、西藏巨龙铜矿、新疆别斯库都克煤矿、利比里亚 NL 金矿、巴基斯坦 Karot 水电站、科威特基础设施建设等 120 余项国内外重点工程、大型矿山和“一带一路”国际项目中推广应用，累计使用混装炸药 110 余万吨，产生经济效益逾 120 亿元，税收逾 7 亿元。为现场混装爆破推广应用提供了范例和指导，显著地推动了我国爆破行业的科学技术进步。

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	现场混装炸药车监控装置及监控方法	中国	ZL201110155615.8	20130313	1152323	葛洲坝易普力股份有限公司	李宏兵;孟德红;仲峰;周桂松;杜华善;魏碧波	有效
发明专利	确定台阶爆破炸药单耗的方法	中国	ZL201010601065.3	20130102	1115290	葛洲坝易普力股份有限公司	周桂松	有效
发明专利	适用于高温炮孔装药的隔温被筒及高温爆破装药的方法	中国	ZL201410797439.1	20170201	2367357	葛洲坝易普力股份有限公司	郝亚飞;周桂松;李晓虎;朱宽;曹进军;杜华善	有效
发明专利	现场混装炸药车工艺控制及动态监控方法	中国	ZL201410379779.2	20171003	2646610	葛洲坝易普力股份有限公司	仲峰;黎勇;李名江	有效
发明专利	多适应型的炮孔排水方法及装置	中国	ZL201510113856.4	20160511	2066311	武汉大学	叶海旺;万涛	有效
发明专利	现场混装炸药与岩体波阻抗匹配测试方法及其系统	中国	ZL201610435785.4	20171121	2709308	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	郝亚飞;曹进军;朱宽;李晓虎;崔道鑫;陈红刚;黄显杭;马阔源;郑栋	有效
发明专利	露天爆破数据分析管理系统和方法	中国	ZL201410503119.0	20170714	2553626	葛洲坝易普力股份有限公司	周桂松;郝亚飞;崔道鑫;李晓虎	有效
发明专利	不规则 RPR、RP 和 PR 型机械臂连杆坐标系统的运动学性能分析方法	中国	ZL201510738889.8	20170308	2406565	葛洲坝易普力股份有限公司	黎勇;安振伟;张小勇;陈曦;周宇;周桂松;陈小平;周厚贵;徐志强	有效

发明专利	一种多功能现场混装炸药车	中国	ZL201310007706.6	20141210	1534885	葛洲坝易普力股份有限公司	李宏兵;杜华善;苗涛;魏碧波;仲峰;李明松;万红彬;刘咏竹;游绍忠;朱根华	有效
软件著作权	露天深孔爆破设计优化软件V1.0	中国	2017SR704896	20171219	2290180	贵州新联爆破工程集团有限公司	贵州新联爆破工程集团有限公司	有效

七、主要完成人情况表

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
周桂松	1	总工程师	教授级高工	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	项目总负责人，对创新性成果 1、2、3 作出了创造性贡献
赵明生	2	总工程师	研究员	保利新联爆破工程集团有限公司	保利新联爆破工程集团有限公司	项目技术负责人，对创新性成果 2、3 作出了重要贡献
李宏兵	3	专家委员会主任	教授级高工	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	项目推广应用负责人，对创新性成果 1、3 作出了创造性贡献
池恩安	4	首席技术专家	研究员	保利新联爆破工程集团有限公司	保利新联爆破工程集团有限公司	对创新性成果 2、3 作出了重要贡献
叶海旺	5	系主任	副教授	武汉理工大学	武汉理工大学	对创新性成果 2、3 作出了重要贡献
胡浩川	6	常务副总经理	研究员	保利新联爆破工程集团有限公司	保利新联爆破工程集团有限公司	对创新性成果 3 作出了重要贡献
余红兵	7	技术中心副主任	高级工程师	保利新联爆破工程集团有限公司	保利新联爆破工程集团有限公司	对创新性成果 2、3 作出了重要贡献
仲峰	8	科技信息部主任	教授级高工	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	对创新性成果 1 作出了重要贡献
郝亚飞	9	技术中心主任	高级工程师	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	对创新性成果 2、3 作出了重要贡献
冷振东	10	技术中心主任助理	工程师	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	中国葛洲坝集团易普力股份有限公司	对创新性成果 2 作出了重要贡献

八、主要完成单位及创新推广贡献

1. 中国葛洲坝集团易普力股份有限公司：是该成果的主持完成单位，全面负责技术成果的研发、示范和推广应用。创新性成果 1、2、3 的主要完成单位。对创新性成果 1，创新性成果 2 第 1、2 条，

创新性成果 3 第 3、4 条有主要贡献。研发了具有温度智能调节功能的现场混装爆破专用乳胶基质配送装备及工艺，发明了精准采样、闭环控制的全自动现场混药控制方法及装置，开发了系列智能化装药设备，创建了现场混装炸药车动态信息监控及爆区无人化智能监控系统，实现了现场混装爆破柔性化作业，开创了集远程配送、现场混装、安全监控的智能化爆破新模式。建立了现场混装炸药配方与岩石破坏效果随机优化匹配模型，提出了基于张拉-压剪破坏的爆堆块度多维度分析方法。研发了基于隔离抑制方法的高温防自爆现场混装乳化炸药，发明了集测温、隔温、控温于一体的火区现场混装爆破施工方法，突破了现场混装爆破在复杂地质条件下的应用瓶颈。

2. 保利新联爆破工程集团有限公司：是创新性成果 2、3 的主要完成单位。对创新性成果 2 第 3、4 条和创新性成果 3 第 2、3 条有主要贡献。建立了现场作业数据智能筛选系统，提出了基于炮孔利用率最大化的最优孔网参数计算方法，实现了炮孔自适应布置和爆区起爆顺序的全自动设计，形成了集原始数据智能筛查、爆破参数定量设计、钻孔参数自动生成、起爆顺序自适应确定于一体的爆破智能设计系统；建立了基于 Volterra 泛函级数的爆破振动非线性模型，提出了振动效应时域波形叠加预测方法；开发了集技术合理性、经济可行性、安全可靠于一体的综合评价可视化模块；揭示了现场装药过程中的多因素影响的随动规律及拒爆机理；提出了集声波测试、孔内摄像与地质雷达检测于一体的喀斯特地貌岩体多维度探测方法。

3. 武汉理工大学：是创新性成果 2、3 中理论机理研究的主要完成单位。是项目技术路线制定、理论研究、技术集成和工程试验方面的主要贡献者之一，对创新性成果 2 第 1、2 条和创新性成果 3 第 1 条有主要贡献。实现了混装炸药配方动态调整与岩石特征多样性的智能匹配，满足了矿山与水电等工程现场混装爆破对级配、块度粒径的精确控制的需求；提出了振动效应时域波形叠加预测方法，揭示了爆破振动时频域特性；揭示了现场装药过程中装药直径、药柱连续性、起爆敏感度受炸药稠度、装药速度、管口输药距离、岩屑湿度、孔内水位等多因素影响的随动规律及拒爆机理，为保证现场混装炸药稳定爆轰与预防拒爆提供了理论依据。

九、完成人合作关系说明

中国葛洲坝集团易普力股份有限公司、保利新联爆破工程集团有限公司、武汉理工大学分工合作、优势互补、联合攻关安全高效现场混装智能化爆破关键技术，3 家单位各完成人的具体合作关系情况如下：

1. 中国葛洲坝集团易普力股份有限公司（周桂松 1，李宏兵 3，仲峰 8，郝亚飞 9，冷振东 10）与保利新联爆破工程集团有限公司（赵明生 2，胡浩川 6，余红兵 7）、武汉理工大学（叶海旺 5）联合攻关形成了“现场混装爆破智能化关键技术研究与应用”科技成果，2015 年 12 月 3 家单位共同提交中国爆破行业协会进行技术鉴定，专家鉴定意见该成果达到国际领先水平。在创新性成果 1、2、3 中，中国葛洲坝集团易普力股份有限公司、保利新联爆破工程集团有限公司与武汉理工大学有明确合作。

2. 保利新联爆破工程集团有限公司（赵明生 2，池恩安 4）与武汉理工大学（叶海旺 5）等合作开展了贵州省科技计划项目“炸药混装车爆破关键技术研究”（黔科合 SY[2010]3065）等科研课题，合作完成了多项论文、专利等成果，形成的科技成果“裂隙岩体混装炸药爆破关键技术及工程应用”获 2014 年贵州省科技进步一等奖。在创新性成果 2、3 中，保利新联爆破工程集团有限公司与武汉理工大学有明确合作。

3. 中国葛洲坝集团易普力股份有限公司（周桂松 1，郝亚飞 9，冷振东 10）与保利新联爆破工程集团有限公司（赵明生 2，胡浩川 6，余红兵 7）、武汉理工大学（叶海旺 5）等单位联合攻关，形成了科技成果“台阶爆破设计系统软件开发及工程应用”，发表了《混装乳化炸药不同孔径水孔装药试验研究》等系列论文，获得了 2018 年中国爆破行业协会科技进步一等奖。在创新性成果 1、3 中，中国葛洲坝集团易普力股份有限公司与保利新联爆破工程集团有限公司有明确合作；在创新性成果 2、3 中，保利新联爆破工程集团有限公司与武汉理工大学有明确合作。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果
1	共同完成成果鉴定	周桂松(1)，赵明生(2)，李宏兵(3)，叶海旺(5)，胡浩川(6)，仲峰(8)，郝亚飞(9)，余红兵(7)，冷振东(10)	2007~2015	科技成果鉴定《现场混装爆破智能化关键技术研究与应用》
2	共同申报行业科技奖励	周桂松(1)，赵明生(2)，胡浩川(6)，余红兵(7)，郝亚飞(8)	2012~2018	中国爆破行业科技进步一等奖《台阶爆破设计系统软件开发及工程应用》
3	共同申报省级科技奖励	赵明生(2)，池恩安(4)，叶海旺(5)	2010~2017	贵州省科技进步一等奖《裂隙岩体混装炸药爆破关键技术及工程应用》
4	共同完成省级科技计划项目	池恩安(4)，叶海旺(5)，胡浩川(6)	2009~2011	贵州省科技计划项目“炸药混装车爆破关键技术研究”（黔科合SY[2010]3065）
5	论文合著	周桂松(1)，赵明生(2)，胡浩川(6)，冷振东(10)	2016~2018	《工程爆破》24 卷第 6 期：《基于非理想爆轰的炸药-岩石相互作用过程》
6	论文合著	赵明生(2)，叶海旺(5)，冷振东(10)	2016~2018	《矿冶工程》38 卷第 6 期：《爆破振动特征的临空面数量效应研究》
7	论文合著	周桂松(1)，赵明生(2)，叶海旺(5)，胡浩川(6)，余红兵(7)	2012~2018	《爆破》35 卷第 4 期：《混装乳化炸药不同孔径水孔装药试验研究》
8	论文合著	赵明生(2)，叶海旺(5)	2009~2011	《爆破》28 卷第 4 期：《混装乳化炸药水孔装药数值模拟及试验研究》
9	共同参与制订行业标准	赵明生(2)，冷振东(10)	2017~2018	中国爆破行业协会团体标准：《岩石材料半圆盘弯曲试样动态弯曲强度测试方法（T/CSEB0002-2018）》