**项目公示信息（科学技术进步奖）**

**一、项目名称**

高台阶抛掷爆破精准设计与剥离系统优化方法及应用

**二、提名者及提名意见**

提名单位：陕西省煤炭学会

**三、项目简介**

本项目属于煤炭资源安全开发领域。

抛掷爆破是一种效率高、效益优的剥离方式，在我国露天煤矿的应用实践较晚，从行业角度看尚处在初期的探索阶段。当前在抛掷爆破理论及其应用方面积累了大量经验，但抛掷爆破用于露天煤矿剥离的技术体系尚不够完整，高台阶抛掷爆破机理研究与参数设计方法有待于进一步完善。

本项目针对抛掷爆破工艺参数设计不合理会导致抛掷爆破效果差、拉斗铲作业效率低等一系列问题开展了理论与关键技术研究，研究成果为实现露天矿抛掷爆破设计向系统性、智能化方向发展提供了重要指导价值。主要技术内容如下：

（1）揭示了台阶深孔抛掷爆破机理

揭示了岩体抛掷爆破过程中各阶段应力波和爆生气体的力学行为，探索了冲击波和爆生气体用于破碎和引起岩石抛掷的能量分布规律，揭示了台阶深孔抛掷爆破岩体破坏与抛掷运动机理，掌握了抛掷爆破效果对抛掷爆破多参数响应规律，为抛掷爆破精准设计提供了科学依据。

（2）提出了抛掷爆破精准设计方法

探索了抛掷爆破设计参数与效果间的影响关系及特征，基于岩石抛掷外弹道理论及炸药能量分布规律，推导出了抛掷距离与炮孔倾角及炸药单耗的关系式，并以相邻两炮孔爆炸应力波作用范围为依据，提出了基于岩体强度特点的孔距计算公式，为抛掷爆破孔网参数设计提供了科学方法。

（3）构建了抛掷爆破智能设计系统

提出了基于加权聚类分析的爆破参数智能设计方法,开发了爆破参数数字化设计系统，揭示了爆破效果与多因素之间的关系，构建了基于未确知测度-直觉模糊集方法的爆破效果评价模型，开发了基于广义非线性系统理论的抛掷爆破爆堆形态模拟预测系统，实现了爆破参数设计、爆破效果预测与评价及参数反馈优化的抛掷爆破智能爆破设计。

（4）提出了抛掷爆破剥离工艺系统优化方法

以高陡台阶抛掷爆破剥离技术与后续拉斗铲剥离工艺系统耦合作用为目标，结合抛掷爆破爆堆形态的影响特征，运用数学规划方法分别针对高陡台阶高度、采掘带宽度、工作线长度等关键开采参数进行研究，系统提出了抛掷爆破剥离台阶的规划模型，并进一步探索了单斗卡车工艺条件下抛掷爆破剥离技术的应用模式，为优化抛掷爆破剥离系统及普适性技术推广提供了科学方法。

依托项目研究成果发表国内外期刊学术论文23篇，其中SCI/EI收录10篇；自主知识产权10项，其中国家发明专利4项，软件著作权6项。

**四、推广应用情况**

该技术从2016至2020年在全亚洲最大实际生产能力露天煤矿神华准格尔能源有限责任公司得到充分应用和推广，使黑岱沟露天矿抛掷爆破炸药单耗平均降低0.05kg/m3，有效抛掷率提高5%，年均节省爆破生产成本2800万元，另一方面实现了抛掷爆破剥离系统参数的综合优化，保障了矿山生产能力目标的实现，同时大幅度提高了工艺系统效率。该技术补充和完善了露天煤矿抛掷爆破剥离工艺的理论基础，在智能爆破设计软件研发方面填补了该领域依靠国外软件的技术空白，为我国露天煤矿工艺系统优化和发展奠定了坚实基础，积极探索了单斗卡车工艺系统与抛掷爆破剥离技术的普适性应用模式，对近水平大型露天煤矿采用抛掷爆破剥离技术及工艺系统具有广阔的应用前景及推广价值。

**五、主要知识产权证明目录（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 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 专利有效状态 |
| 1 | 发明专利 | 一种露天煤矿单斗卡车工艺条件下抛掷爆破方法 | 中国 | ZL201710949772.3 | 20190125 | 3231306 | 西安科技大学 | 马力，肖双双，王红胜，孙健东，丁自伟 | 有效 |
| 2 | 发明专利 | 一种露天矿台阶爆破布孔方法 | 中国 | ZL201710456624.8 | 20180724 | 3011003 | 西安科技大学 | 肖双双，马力 | 有效 |
| 3 | 发明专利 | 一种抛掷爆破智能施工方法 | 中国 | ZL201710456625.2 | 20180814 | 3032523 | 西安科技大学 | 肖双双，马力 | 有效 |
| 4 | 发明专利 | 露天煤矿的开采方法 | 中国 | ZL201611183026.X | 20161220 | 3170403 | 中国神华能源股份有限公司  神华准格尔能源有限责任公司  中国矿业大学 | 马力，张宝卫，马占一，周永利，罗怀廷，肖双双，彭洪阁 | 有效 |
| 5 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破智能设计系统V1.0 | 中国 | 2010SR046478 | 2010-09-06 | 0234751 | 李克民，狐为民，任占营 | 李克民，狐为民，任占营 | 有效 |
| 6 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破标准设计方案处理系统V1.0 | 中国 | 2014SR054818 | 2014-05-06 | 0724062 | 神华准格尔能源有限责任公司 | 张勇，宋日，周永利 | 有效 |
| 7 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破效果预测系统V1.0 | 中国 | 2014SR054020 | 2014-05-05 | 0723264 | 神华准格尔能源有限责任公司 | 张勇，宋日，周永利 | 有效 |
| 8 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破设计文档自动输出系统V1.0 | 中国 | 2014SR055117 | 2014-05-06 | 0724361 | 神华准格尔能源有限责任公司 | 宋日，张勇，周永利 | 有效 |
| 9 | 计算机软件著作权 | 露天矿三维图像处理系统V1.0 | 中国 | 2010SR046947 | 2010-09-07 | 0235220 | 李克民，任占营，狐为民 | 李克民，任占营，狐为民 | 有效 |
| 10 | 计算机软件著作权 | 露天矿地质信息处理系统V1.0 | 中国 | 2010SR046949 | 2010-09-07 | 0235222 | 李克民，任占营，狐为民 | 李克民，任占营，狐为民 | 有效 |

**六、主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职务 | 工作单位 | 主要学术和技术创造性贡献 |
| 马 力 | 1 | 无 | 副教授 | 西安科技大学 | 技术研发和实施的总策划，进行了抛掷爆破剥离系统优化理论与技术研发项目总体设计。 |
| 肖双双 | 2 | 无 | 副教授 | 西安科技大学 | 参与抛掷爆破台阶参数优化以及抛掷爆破参数智能设计的研究。 |
| 张 勇 | 3 | 总经理 | 教授级高级工程师 | 国能准能集团有限责任公司 | 承担整个项目研究过程中的协调工作，提出了台阶爆破效果预测-评价-参数优化的反馈调节整体思路。 |
| 丁小华 | 4 | 无 | 副教授 | 中国矿业大学 | 作为项目主要参与者，负责项目爆破数字化系统开发，爆破机理研究等工作。 |
| 周永利 | 5 | 科长 | 高级工程师 | 国能准能集团有限责任公司 | 负责项目总体规划与研究方案制定，参与开发露天台阶爆破设计系统。 |
| 张宝卫 | 6 | 矿长 | 高级工程师 | 国能准能集团有限责任公司 | 现场技术指导，使得本技术在黑岱沟煤矿得以顺利推广。 |
| 李克民 | 7 | 无 | 教授 | 中国矿业大学 | 深入研究了露天矿台阶抛掷爆破理论与效果机理，为项目的顺利实施提供基础保障。 |
| 许晨 | 8 | 科长 | 工程师 | 国能准能集团有限责任公司 | 作为黑岱沟煤矿抛掷爆破技术实施现场的主要负责人，积极组织各部门编写施工方案，并组织协调解决施工中可能遇到的困难，及时反馈该技术落实情况。 |
| 张建国 | 9 | 无 | 硕士研究生 | 西安科技大学 | 参与构建了爆破效果综合评价模型以及项目研究报告的编写。 |

**七、完成人合作关系说明**

项目实施期间，项目主持人马力副教授指导张建国、刘晨东、罗强攻读硕士学位；项目完成人马力、肖双双、丁小华、李克民长期合作进行本项目的研究工作，张勇、张宝卫、周永利、许晨合作进行项目的技术推广与应用，主要取得成果如下：

1. 马力/1、肖双双/2合作提出了露天矿台阶爆破布孔方法、抛掷爆破智能施工方法以及基于聚类分析的抛掷爆破参数智能设计方法。（附录3.1~3.3）

2. 马力/1、肖双双/2、丁小华/4合作提出抛掷爆破台阶参数目标优化模型求解方法。（附录1.8~1.10）

3. 马力/1、丁小华/4、李克民/7合作完成深孔台阶抛掷爆破岩石破碎及抛掷机理的研究工作。（附录1.1、1.2）

4、张勇/3、周永利/5共同参与了爆破智能设计软件及爆破设计系统功能化模块的研发。（附录2.1~2.2）

5.马力/1、张宝卫/6、李克民/7、许晨/8合作完成抛掷爆破技术与间断剥离工艺间的相互匹配关系和作业程序方面的研究。（附录1.11）

6、丁小华/4、李克民/7共同研究建立了基于广义非线性理论的抛掷爆破爆堆形态预测模型。（附录1.4）

7. 马力/1、肖双双/2、李克民/7共同合作构建露天煤矿抛掷爆破效果预测模型。（附录1.3）

8. 马力/1、肖双双/2、李克民/7、许晨/8、张建国/9共同参与构建露天煤矿抛掷爆破效果综合评价模型。（附录1.6）

9、马力/1、肖双双/2、周永利/5、张宝卫/6共同合作申报了国家发明专利《露天煤矿的开采方法》。（附录3.4）

**八、主要完成单位情况**

1. 西安科技大学

本项目的主要的负责单位和研究单位，西安科技大学提出整体技术思路，全面负责本项目研究方案的制定与组织实施，完成了露天煤矿抛掷爆破剥离系统优化理论与技术研究，同时在整个项目实施过程中提供了人力、物力及其它重要科研资源。

2. 国能准能集团有限责任公司

作为本项目的项目主要完成单位，负责项目研究方案的实施与改进。项目成果在应用过程中，不断针对具体问题进行反馈，促进了系统功能的改进与完善，对项目成果的推广应用做出了重要贡献。公司所属矿山在应用本项目研究成果后，取得了显著的技术与经济效益。(原名为神华准格尔能源有限责任公司)

3. 中国矿业大学

作为本项目的主要研究单位，并承担其中抛掷爆破设计软件的研发以及露天矿爆破效果影响机理的研究，组织了抛掷爆破关键技术攻关，建立露天矿爆破效果预测模型和爆破效果评价模型。

合作关系证明目录

附录1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称 | 刊名 | 作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间 | 通讯作者 | 第一作者 | 国内作者 | 知识产权是否归国内所有 |
| 1 | Blast-Casting Mechanism and Parameter Optimization of a  Benched Deep-Hole in an Opencast Coal Mine | Shock and Vibration | Li Ma, Xingping Lai, Jianguo Zhang, et al | https://doi.org/10.1155/2020/1396483 | 2020 | Li Ma | Li Ma | Li Ma，Xingping Lai Jianguo， Zhang et al | 是 |
| 2 | 深孔台阶抛掷爆破岩石破碎及抛掷机理 | 中国科技论文 | 马力，丁小华，孙建东等 | 2017年12卷21期48-51页 | 2017 | 马力 | 马力 | 马力，丁小华，孙建东等 | 是 |
| 3 | 露天煤矿抛掷爆破有效抛掷率预测 | 金属矿山 | 刘干，李克民，肖双双，马力 | 2014年4期65-69页 | 2014 | 李克民 | 刘干 | 刘干，李克民，肖双双，马力 | 是 |
| 4 | 基于非线性理论的抛掷爆破爆堆形态预测 | 中国矿业大学学报 | 丁小华，李克民，狐为民，任占营 | 2014年41卷5期50-60页 | 2014 | 丁小华 | 丁小华 | 丁小华，李克民，狐为民，任占营 | 是 |
| 5 | 黑岱沟露天矿抛掷爆破效果的模糊综合评价 | 金属矿山 | 马 力，李克民，丁小华等 | 2011年40卷9期50-60页 | 2011 | 马力 | 马力 | 马 力，李克民，丁小华等 | 是 |
| 6 | Comprehensive Evaluation of Blast Casting Results Based on  Unascertained Measurement and Intuitionistic Fuzzy Set | Shock and Vibration | Li Ma, Jianguo Zhang, Chen Xu, et al | https://doi.org/10.1155/2021/8864618 | 2021 | Jianguo Zhang | Li Ma | Li Ma， Jianguo Zhang， Chen Xu et al | 是 |
| 7 | 基于加权聚类分析的抛掷爆破参数智能设计方法 | 中国科技论文 | 杨晴，肖双双，马力 | 2018年21卷13期113-117页 | 2018 | 肖双双 | 杨晴 | 杨晴，肖双双马力 | 是 |
| 8 | 基于多目标规划的抛掷爆破台阶参数优化 | 煤炭学报 | 肖双双，马力，丁小华 | 2018年43卷9期2422-2431页 | 2018 | 肖双双 | 肖双双 | 肖双双 | 是 |
| 9 | 抛掷爆破－拉斗铲倒堆工艺台阶采掘带宽度优化 | 煤炭学报 | 马力，李克民，孙建东等 | 2017年42卷11期2867-2874. | 2018 | 马力 | 马力 | 马力，李克民，孙建东等 | 是 |
| 10 | 基于产量目标的露天煤矿倒堆台阶高度优化研究 | 中国煤炭 | 马力，吕粲，李克民等 | 2014年3期56-59页 | 2014 | 马力 | 马力 | 马力，吕粲，李克民等 | 是 |
| 11 | 抛掷爆破技术与间断工艺匹配研究与实践 | 煤炭技术 | 张宝卫，马力，许晨，李克民 | 2017年36卷5期14-17页 | 2017 | 马力 | 张宝卫 | 张宝卫，马力，许晨，李克民 | 是 |

附录2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 专利有效状态 |
| 1 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破标准设计方案处理系统V1.0 | 中国 | 2014SR054818 | 2014-05-06 | 0724062 | 神华准格尔能源有限责任公司 | 张勇，宋日，周永利 | 有效 |
| 2 | 计算机软件著作权 | 露天矿台阶深孔爆破效果预测系统V1.0 | 中国 | 2014SR054020 | 2014-05-05 | 0723264 | 神华准格尔能源有限责任公司 | 张勇，宋日，周永利 | 有效 |

附录3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 专利有效状态 |
| 1 | 发明专利 | 一种露天煤矿单斗卡车工艺条件下抛掷爆破方法 | 中国 | ZL201710949772.3 | 20190125 | 3231306 | 西安科技大学 | 马力，肖双双，王红胜，孙健东，丁自伟 | 有效 |
| 2 | 发明专利 | 一种露天矿台阶爆破布孔方法 | 中国 | ZL201710456624.8 | 20180724 | 3011003 | 西安科技大学 | 肖双双，马力 | 有效 |
| 3 | 发明专利 | 一种抛掷爆破智能施工方法 | 中国 | ZL201710456625.2 | 20180814 | 3032523 | 西安科技大学 | 肖双双，马力 | 有效 |
| 4 | 发明专利 | 露天煤矿的开采方法 | 中国 | ZL201611183026.X | 20161220 | 3170403 | 中国神华能源股份有限公司  神华准格尔能源有限责任公司  中国矿业大学 | 马力，张宝卫，马占一，周永利，罗怀廷，肖双双，彭洪阁 | 有效 |