

# 2022 年度山东省科技进步奖提名公示内容

## 1. 项目名称

断裂带下深部缓倾斜破碎矿体安全高效开采成套关键技术

## 2. 提名者及提名意见、提名等级

提名者：陈玉民（应用研究员，山东黄金集团有限公司，董事长（退休），采矿工程）

提名意见：

该项目针对新城金矿断裂带下深部缓倾斜破碎矿体开采面临的一系列复杂工程问题，开展了三维原岩应力场测定、深部岩体质量分级和深部矿岩扰动失稳机理等系统研究。并通过实验室试验、理论分析、数值模拟、数值计算、相似模型和现场监测等手段开展研究。

项目针对深部破碎矿体开采提出金属矿床采场交替上升无房柱连续开采方法和应力拱连续开采上向水平分层充填采矿法进行开采，实现该类矿体的安全高效低贫损开采。在深部采场充填难题上提出立式砂仓“底部平面流态化”局部水力匀质造浆充填模式，变革传统的风水联动全砂仓造浆模式，保障砂仓高浓度平稳下砂；同时开发出用于尾矿充填过程的一键化智能精准制备充填系统，对充填系统进行智能化赋能，实现待充填采场“一键充填”有力的保障深部采场回采安全。在微震监测上首次发现和反演获得微震信号 P 波初至系统误差提出联合 P 波初至系统误差和数据场理论的微震事件精准定位方法，研发出了微震信号自适应降噪-辨识-初至拾取-震源定位的全自动软件，构建了适用于竖井及周边采场的地压灾害微震多指标预警系统，实现了矿柱大变形、悬顶垮落等地压灾害的预测预警，为竖井、采场灾害预警及风险防控提供技术保障。

整体来说，该项目科技创新内容较多，创新点方面符合当前矿业学科点发展前景，研究出了新的理论与方法，推动了地下矿山开采技术的发展，另一方面对现场生产的指导具有重大意义，降低企业生产成本，提高了企业的经济效益，推动企业创新文化的进步，加强了现场工作人员创新能力，对企业发展有极大的意义，通过将理论与实践紧密联系起来，做到了将成果写在了祖国的大地上。

提名该项目为 2022 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

## 3. 项目简介

我国地下黄金矿山浅部资源随着经年累月开采已濒临枯竭，亟需深部矿床资源补充。与迫切的资源需求程度相比，我国在涉及深部矿产资源开采领域的岩石力学、采矿方法、

充填工艺及高地压灾害预警等方面的理论及技术储备严重不足。以山东黄金矿业股份有限公司新城金矿为例，作为我国机械化程度最高的地下单体黄金矿山之一，进入深井开采后，新城金矿面临高应力下矿岩扰动失稳机理不明，深部断裂构造致使矿体破碎，充填料浆输送距离过长，地压灾害频发难以预警等难题，严重制约着企业的发展。为解决以上技术难题，在国家自然科学基金及多项校企合作项目的支持下，新城金矿与东北大学、中南大学、重庆大学联合攻关，形成了断裂带下深部缓倾斜破碎矿体安全高效开采成套关键技术，主要科技创新点如下：

1、精确测量了深部矿区三维原岩应力场分布，构建了深部裂隙岩体强度评价体系，提出了高应力下节理岩体失稳破坏机制，通过系统研究确定了深部岩体质量等级，揭示了深部矿岩扰动失稳机理，开发了控制岩爆灾害发生的动静组合概念模型，为选择合理采矿方法与支护方式提供了有力的理论支撑。

2、提出了“踏步式”上向水平分层充填采矿法和应力拱连续开采上向水平分层充填采矿法相结合的分区开采模式，解决了二步采场开采难题，实现了破碎矿体安全高效回采，发明了一种现场监测与数值模拟相结合的矿山灾害预测预警方法，实现时空上的超前预测，开发了涨壳端锚中空注浆锚索支护方式和深部复杂开采环境下的锚索注浆台车，有效解决了深部区域巷道支护难题。

3、提出了基于砂仓内部造浆机理研究的匀质造浆解决技术，发明了高浓度放砂、自动化控制的井下采空区的充填系统和立式砂仓造浆系统装置，解决了深部采场充填料浆输送距离长、充填倍线高、输送阻力大等技术难题，实现了砂仓高浓度平稳放砂，提升了尾矿充填系统的处理能力和生产效率，充填平均质量浓度达 72%，为深部缓倾斜破碎矿床安全高效开采提供了技术支持。

4、提出了联合 P 波初至系统误差和数据场理论的微震事件精准定位方法，研发了综合微震信号自适应降噪-辨识-初至拾取-震源定位于一体的全自动软件，微震事件平均定位误差由传统的大于 40m 降至 28m，构建了适用于竖井及周边采场的地压灾害微震多指标预警系统，成功预警矿柱大变形、悬顶垮落等地压灾害，有力保障了主竖井的稳定性和周边采场的安全。

本项目已获得的代表性知识产权情况如下：已授权代表性发明专利 12 项，代表性实用新型专利 4 项，出版软件著作 1 项；发表代表性高水平 SCI 论文 6 篇，EI 论文 1 篇，项目成果在新城金矿推广应用 3 年，实现了破碎矿体安全高效开采，累计开采矿石 682 万 t，创

直接经济效益 12884.02 万元。同时，项目涉及的上述相关技术已推广应用到山东黄金矿业（玲珑）有限公司、河南嵩县山金矿业有限公司和赤峰柴胡栏子金矿等矿山。近三年推广应用累计新增 20551.19 万元，推广应用前景广泛。

#### 4. 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	第一完成人是否为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否为权利人（标准起草单位）
发明专利	一种现场监测与数值模拟相结合的矿山灾害预测预警方法	中国	ZL201810223969.3	2021-08-10	4605646	东北大学	朱万成；代风；任敏；张鹏海；杨天鸿；程关文；刘洪磊；牛雷雷；王卫东	有效发明	否	否
发明专利	一种改进的矿用岩石炸药药卷及其制备方法	中国	ZL201210059648.7	2013-12-18	1321556	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	韩宗欣；张洪训；李强；周波；李浩镒	有效发明	否	是

发明专利	一种研究高应力下岩石楔形体失稳破坏的试验方法	中国	ZL2019111042053	2021-04-27	4381794	东北大学	刘溪鹤；朱万成	有效发明	否	否
发明专利	一种薄壁中空结构人工点柱式上向水平分层尾砂胶充填方法	中国	ZL201310052798	2015-04-22	1642056	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	韩宗欣、毕洪涛、庞绘、周波	有效发明	否	是
发明专利	一种地下矿山长锚索支护施工方法	中国	ZL201210059463.6	2014-02-26	1352015	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	王书铭；裴佃飞；毕洪涛；张洪训；赵爱华；刘丰韬；王京生	有效发明	否	是

发明专利	一种干砂制备装置及干砂填充系统	中国	ZL201710976838.8	2019-03-12	3290632	重庆大学	彭康；周佳琦；汪仁健；李啸；穆锡川；尹旭岩；张传柱张静；李景波；刘照朋	有效发明	是	否
发明专利	考虑传感器感度的声发射事件震级获取方法、系	中国	ZL201910963735.7	2020-11-24	4110437	重庆大学	彭康；尚雪义；郭宏扬；王云强；卢友昀	有效发明	是	否
实用新型专利	一种立式砂仓造浆系统	中国	ZL202120456117.6	2021-12-07	15004535	山东黄金矿业股份有限公司	蒋万飞；张杰；宋召法；孙星；张建滨；吴信洁；王彦	有效发明	否	是

实用新型专利	一种高浓度放砂、自动化控制的井下采空区的充填系统	中国	ZL201721453582.4	2018-05-25	73966205	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	国绍林；宋召法；彭康；周佳琦；张杰；刘滨；张静；由伟；李大东；李树磊；刘晓光；苏环	有效发明	是	是
实用新型专利	矿山微地震源模拟装置	中国	ZL20201122632	2020-07-17	11191452	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	刘再涛、宋召法、刘滨、上官剑铭、陈保安、尚雪义、李大东、彭康、郭良银、张铭、苏环、周波	有效发明	是	是

### 5. 主要完成人情况

姓名	彭康	排名	1
技术职称	教授	行政职务	
工作单位	中南大学	完成单位	中南大学
对本项目技术创造性贡献			
对创新点 1、3、4 做出了突出贡献，对创新点 1 的贡献是矿区岩石力学试验、节理裂隙调查、现场地应力测试、地质构造分析等系统研究的领导者，以第一或者通讯作者发表多篇 SCI 论文，支撑材料为其他附件 2-15、2-16、2-18。对创新 3 的贡献是“一种干砂制备装置及干砂填充系统”的发明者，支撑材料为其他附件 2-3。对创新点四点的贡献是“考虑传感器感度的声发射事件震级获取方法、系统及可读存储介质”、“一种去除 P 波初至系统观测误差的声发射事件定位方法”等的发明者，支撑材料为其他附件 2-4。			

姓名	蒋万飞	排名	2
技术职称	高级工程师	行政职务	党委书记、矿长
工作单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	完成单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿
对本项目技术创造性贡献			
对创新点 3 做出突出贡献，是“一种立式砂仓造浆系统”的发明者，发明砂仓“底部平面流态化”匀质造浆技术，提出添加充填剂 Minefil 增强料浆流动性，解决了料浆输送距离长、输送阻力大等技术难题，是充填系统改造的主要领导者。支持材料为其他附件 2-5。			

姓名	朱万成	排名	3
技术职称	教授	行政职务	无
工作单位	东北大学	完成单位	东北大学
对本项目技术创造性贡献			
对创新点 1 做出部分贡献，对创新点 2 做出了突出贡献。对创新点 1 点的贡献是矿区岩石力学试验的主要完成人，是“一种研究高应力下岩石楔形体失稳破坏的试验方法”的发明者，以第一或者通讯作者发表三篇岩石力学的高水平论文，支撑材料为必备附件 1-3，其他附件 2-17、2-19。对创新点 2 的贡献是“一种现场监测与数值模拟相结合的矿山灾害预测预警方法”的发明人，并发表一篇 EI 论文，支撑材料为必备附件 1-1，其他附件 2-20。			

姓名	宋召法	排名	4
技术职称	高级工程师	行政职务	副矿长
工作单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	完成单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿
对本项目技术创造性贡献			
对创新点 3 做出重要贡献，对创新点 4 做出部分贡献。对创新点 3 的是“一种高浓度放砂、自动化控制的井下采空区的充填系统”技术的现场技术指导与施工组织者，“立式砂仓水力平面分层造浆系统”的发明者，有利的保证了充填系统的改造，支撑材料为其他附件 2-5、2-6。对创新点 4 的贡献是“矿山微地震源模拟装置”的发明人及现场试验的组织及运营管理者，支撑材料为其他附件 2-7。			

姓名	刘滨	排名	5
技术职称	副高级工程师	行政职务	副总工程师
工作单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	完成单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿
对本项目技术创造性贡献			
对创新点 3、4 做出突出贡献。对创新点 3 点贡献是“一种高浓度放砂、自动化控制的井下采空区的充填系统”和“一种立式砂仓造浆系统”的技术指导，同时也是充填系统改造的现场指导者，支撑材料为其他附件 2-5、2-6。对创新点 4 的贡献是“矿山微地震源模拟装置”的技术指导，推动其现场应用，支撑材料为其他附件 2-7。			

姓名	尚雪义	排名	6
技术职称	副教授	行政职务	无
工作单位	重庆大学	完成单位	重庆大学

对本项目技术创造性贡献			
对创新点 3 做出突出贡献，是“一种微震信号 P 波初至点综合拾取方法”的发明者，提出基于数据场理论的微震事件精准定位方法，实现微震信号自适应降噪-辨识-初至拾取的全自动处理；研发相应的成套定位软件，支撑材料为其他附件 2-9。			

姓名	刘溪鸽	排名	7
技术职称	副教授	行政职务	采矿系副主任
工作单位	东北大学	完成单位	东北大学

对本项目技术创造性贡献			
对创新点 1 做出突出贡献，是“一种研究高应力下岩石楔形体失稳破坏的试验方法”的发明者，是岩石力学试验的主要完成人，通过现场地应力、节理裂隙调查等系统研究，解析了交叉组合结构面压剪破坏机理，确定了岩体力学参数和岩体质量等级，综合数值计算得出深部采场合理结构参数，为选择合理采矿方法与支护方式提供了有力的理论支撑以第一或者通讯作者发表三篇岩石力学的高水平论文，支撑材料为必备附件 1-3，其他附件 2-17、2-19。			

姓名	刘晓光	排名	8
技术职称	采矿工程师	行政职务	经理
工作单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	完成单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿

对本项目技术创造性贡献			
对创新点 4 做出重要贡献，是“矿山微地震源模拟装置”的技术指导及现场试验的组织及运营管理者，搭建了适用于竖井及周边采场监测的多通道 IMS 微震系统，提出了基于数据场-K 均值聚类的微震活动性分析方法，支撑材料为其他附件 2-7。			

姓名	周波	排名	9
技术职称	高级工程师	行政职务	主管
工作单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	完成单位	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿

对本项目技术创造性贡献			
对创新点 2 做出重要贡献，对创新点 4 做出了部分贡献。对创新点 2 做出的贡献是，是“一种改进的矿用岩石炸药药卷”的技术支撑者，该发明不仅起到了良好的爆破效果，还减少了炸药使用量，降低了爆破成本和通风成本，支撑材料为必备附件 1-2。对创新点 4 的贡献是，是“矿山微地震源模拟装置”的现场试验者，支撑材料为 2-7。			

姓名	张洪训	排名	10
技术职称	高级工程师	行政职务	矿长
工作单位	山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿	完成单位	山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿

对本项目技术创造性贡献			
对创新点 2 做出突出贡献，是“一种改进的矿用岩石炸药药卷”的发明者，是“一种地下矿山长锚索支护施工方法”的技术支撑者，同时采用 FLAC <sup>3D</sup> 软件对采场开采顺序进行优化，在重点部位布设监测点对应力和位移等进行分析，建立模型，对开挖前原岩应力状态模拟进行模拟，优化了采矿方法，支撑材料为必备附件 1-2，其他附件 2-3，2-20。			

## 6. 主要完成单位情况

单位名称	山东黄金矿业股份有限公司新城金矿	排名	1
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>作为第一完成单位与东北大学、中南大学、重庆大学等高校开展合作，针对本矿山目前在生产实际中所面临的实际困难展开联合攻关研究。</p> <p>针对断裂带下缓倾斜破碎厚大矿体在开采过程中的困难，发明了一种薄壁中空结构人工点柱式上向水平分层尾砂胶充填方法，降低了采矿损失率，节约了矿石资源。针对深部破碎采场支护难题，发明了一种地下矿山长锚索支护施工方法和一种深部复杂开采环境下的锚索注浆台车，有效的提高了支护效果，保障了回采过程中的安全性。发明了一种改进的矿用岩石炸药药卷，改善的爆破效果，优化了采场通风。在充填系统与充填技术的创新上，发明了一种高浓度放砂、自动化控制的井下采空区的充填系统，一种立式砂仓造浆系统，一种立式砂仓水力平面分层造浆系统，解决了料浆输送距离长、输送阻力大等技术难题。开发出用于尾矿充填过程的一体化智能精准制备充填系统，对充填系统进行智能化赋能，实现待充填采场“一键充填”，矿山充填平均质量浓度达 72%，为采矿提供充填保障。在微震监测方面，发明了一种矿山微地震源模拟装置，为竖井、采场灾害预警及风险防控提供技术保障。</p> <p>项目在推广应用过程中，贫化率 4.9%，损失率 4.4%，远低于国内陆地金属矿山的开采指标；实现断裂带下厚大矿体资源的安全高效开采；研究成果在新城金矿推广应用，为我国断裂带下厚大矿体资源的资源安全开采提供技术储备，对我国矿业可持续发展将产生深远的影响。</p>			

单位名称	东北大学	排名	2
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>首先在深部岩石力学方面：发明了一种研究高应力下岩石楔形体失稳破坏的试验方法，揭示了深部矿岩破碎、断裂过程中的动力学演化机制，剖析了矿岩能量垂直空间分布规律，开发了控制岩爆灾害发生的动静组合概念模型，依据矿岩破碎块度分布特征建立了相应分形理论体系，从宏细观等多个层面反演了开挖过程中动力扰动对深部岩体失稳破坏的影响，为深部采矿工程爆破提供理论支持。在采矿技术研究方面贡献是：发明了一种现场监测与数值模拟相结合的矿山灾害预测预警方法，实现时间上的超前预测，又可达到空间上的总体把握。在采场的结构参数优化与数值模拟计算上的贡献是，首先通过岩石力学试验、节理调查、地应力测试等研究，确定岩体力学参数与岩体质量分级；然后应用数值计算得出采场合理结构参数和开采顺序；并通过相似模拟与理论计算，得到合理的采场结构参数。</p>			

单位名称	中南大学	排名	3
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>首先在采矿方法上：提出采用了“踏步式”上向水平分层尾砂（胶结）充填采矿法和应力拱连续开采上向水平分层充填采矿法进行开采，提高生产效率，保障安全生产。其次在微震监测领域取得诸多研究成果，发明了一种微震信号 P 波初至点综合拾取方法，发明了一种考虑传感器感度的声发射事件震级获取方法、系统及可读存储介质，发明了一种基于 Log-Cosh 函数的微震震源定位方法、系统、装置及可读存储，提出联合 P 波初至系统误差和数据场理论的微震事件精准定位方法，成功应用于新城金矿微震事件定位。</p> <p>本单位充分发挥高等院校的科研优势充分保障了本项目的实施，为新城金矿断裂带下缓倾斜厚大破碎矿体提供了技术保障，在相同类型矿山推广应用项目提出的采矿方法、支护技术。在充填系统及安全预警系统方面也有贡献，同合作单位进行了联合创新，使矿区断裂带下缓倾斜厚大破碎矿体的安全性与效率都有大幅度提高。取得的应用实践成果为我国断裂带下矿产资源的安全开采提供了宝贵的经验。</p>			

单位名称	重庆大学	排名	4
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 研发出微震信号自适应降噪-辨识-初至拾取-震源定位的全自动软件，提出基于数据场-K 均值聚类的微震活动性分析方法，发明考虑传感器感度系数的震级和 b 值修正技术，构建适用于竖井及周边采场的地压灾害微震多指标预警系统，成功预警矿柱大变形、悬顶垮落等地压灾害，为竖井、采场灾害预警及风险防控提供技术保障。			