

附件

滨海金矿床深部高效开采与灾害防控关键技术

项目名称	滨海金矿床深部高效开采与灾害防控关键技术				
申报奖种	科技进步奖	申报等级	二等奖	提名单位	山东黄金集团有限公司
项目简介	<p>1、本项目属金属矿开采技术领域</p> <p>三山岛金矿是世界第一座滨海硬岩开采大型金属矿山，为我国重要黄金生产基地，资源储量丰富。但随着黄金资源多年高强度开采，开拓采准越来越深，滨海深部资源开发面临高地应力、高温、岩爆、古海水等复杂赋存环境，增加了资源开采利用难度。为此，本项目依托十二五科技支撑项目“深部采矿关键技术研究”，山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿与矿冶科技集团有限公司、北京科技大学、东北大学和中南大学就滨海金矿床深部高效开采与灾害防控关键技术展开联合攻关，研发了滨海深部金属矿高效开采成套关键技术，建成了世界上首座年产 400 万吨的滨海深部开采黄金矿山，开创了我国滨海深部高地应力、高温、岩爆、古海水复杂环境矿床安全高效低贫损开采的先例。</p> <p>2、主要科技内容与创新</p> <p>(1)滨海深部高应力矿床岩爆灾害能量演化机制与岩爆等级科学划分</p> <p>研发新型瞬接续采型空心包体应变计，精确测试了三山岛金矿深部地应力，探索了滨海深部矿床地应力分布规律，揭示了三山岛金矿深部矿床岩爆灾害能量演化机制，提出了基于岩爆能量序列分级方法和判据，科学划分了三山岛金矿深部矿床岩爆等级的分布区域。</p> <p>(2)区域卸荷与局域卸荷相结合的应力重分布中深孔高效采矿技术</p> <p>研发了区域上整体分割矿体开采空间，局域上在作业巷道形成应力屏蔽的高应力控制技术，发明了树脂锚杆管状储胶器及弹性让压大阻尼组合式锚杆等新技术，开发了区域卸荷与局域卸压相结合的应力重分布中深孔高效采矿方法。</p> <p>(3)滨海深部矿床高效降温技术</p> <p>测试获得了三山岛金矿地温分布规律，构建了矿井、采场、工作面热辐射及能量交换的风流温度预测模型，研制了基于恒温层冷水(12℃~16℃)的制冷装置，发明了基于封装相变材料微单元的深井降温系统，成功将三山岛金矿深部开采工作面温度降低至 28℃ 以下。</p> <p>(4)古海水腐蚀环境下的深井调压增阻充填技术</p> <p>研发了基于螺旋管的深井充填垂直管路调压增阻装置，解决了小倍线深井高浓度充填管道输送控制难题，探索了海水腐蚀条件下充填体服役特性，建立了高应力条件下充填体强度匹配设计模型，提出了古海水环境下充填设施的防腐措施。</p> <p>(5)岩层变形与破裂微震安全监控保障技术</p> <p>发明一种巷道围岩变形实时预测方法和一种适用于海下高腐蚀环境的微地震传感器，建立了三山岛金矿滨海深部开采岩层变形和微震破坏信号获取的安全监测预警系统。</p> <p>3、知识产权</p> <p>项目研究获得 5 项授权国家发明专利，5 项授权国家实用新型专利，发表论文 10 篇。</p>				
提名单位	提名单	提名单位	山东黄金集团有限公司	联系人	王萍
	位情况	电子邮箱	wangping1@sd-gold.com	联系电话	0531-67710451

<p>意见</p>	<p>提名意见</p> <p>三山岛金矿滨海深部矿床高地压、高地温、岩爆等问题困扰矿山生产，尤其是古海水腐蚀条件加剧了深部三山岛金矿资源开发利用难度。为此，项目依托于十二五科技支撑项目“深部采矿关键技术研究”(编号：2012BAB08B01)，就三山岛金矿深部地应力测试、地热危害控制、岩爆灾害防控、岩层破裂预警、深部高应力卸荷采矿技术等开展联合攻关，研发了滨海金矿床深部高效开采与灾害防控的成套关键技术，解决了三山岛金矿滨海深部资源开发利用关键技术难题。项目研究获得5项授权国家发明专利，5项授权实用新型专利，取得了一系列具有自主知识产权的研究成果，国内外发表论文10篇。</p> <p>滨海金矿床深部高效开采与灾害防控关键技术在三山岛金矿工业试验获得了较好技术经济指标，采场工作面温度稳定在28℃以下，极大改善了井下生产环境。该新工艺技术已在三山岛金矿全面推广应用，近三年取得直接经济效益28654.2万元。</p> <p>该项目科技创新突出，推广应用前景广阔，有力推动了我国深部采矿技术进步，经济效益和社会效益明显。对照山东省科学技术奖授奖条件，提名该项目申报2020年度山东省科学技术进步奖二等奖。</p>
<p>项目客观评价</p>	<p>1、科技成果查新报告</p> <p>2019年4月11日，委托国家一级科技查新咨询单位有色金属工业科技查新中心对“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”进行了科技查新，形成了如下查新意见：</p> <p>本项目以三山岛金矿为研究对象，围绕滨海矿床深部开采所面临的高地压、多岩爆、高地温及古海水环境腐蚀的问题，形成了“区域与局域结合卸荷应力空间重构技术”、“深部古海水环境强化充填控制技术”、“深部开采诱发矿山动力灾害及其控制的关键技术”、“基于检波阵列、姿态自辨识与状态自诊断的多维度微震复合感知技术”，发明了“新型瞬接续采型空心包体应变计”、“恒温层冷水(12℃~16℃)的制冷交换装置和深部降温系统”，建立了基于岩爆能量序列的分级方法和判据，获得了集专家系统与数值分析于一体的深部岩爆风险评估方法，形成深部卸荷采矿、灾害监测评价与防治的成套关键技术。从查出的国内外文献看，相关文献中，除本单位前期研究成果外，在区域与局域结合卸荷应力空间重构技术方面，有文献涉及深井卸荷开采技术的研究，也有文献涉及螺纹钢树脂锚杆分区域支护技术，但未见与本项目相同的深部缓倾斜矿体上向中深孔落矿高分段充填卸压采矿技术、空间切割应力阻断岩爆控制技术、腐蚀环境岩层多型螺纹钢树脂锚杆分区域支护技术；在深部古海水环境强化充填控制技术方面，未见与本项目相同的深部古海水环境强化充填控制技术；在深部开采诱发矿山动力灾害及其控制的关键技术方面，有文献涉及岩爆的分类、岩爆防治技术以及采用微震监测技术及数值模拟分析相结合的深部岩爆风险监测系统的研究；在地应力测量方面，有文献涉及无线空心包体应变计的研究，但未见与本项目相同的双温度补偿的瞬接续采型空心包体地应力测试技术研究；在深部降温技术方面，有文献涉及采场人工制冷降温、HEMS冷却等技术，但未见与本项目相同的恒温层冷水(12℃~16℃)的制冷交换装置的深部降温系统。综上所述，相关文献中未见其它单位与本项目相同的滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术。</p> <p>2、“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”专家评价意见</p> <p>2019年4月15日，中科合创(北京)科技成果评价中心组织专家，在济南召开了由山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿、矿冶科技集团有限公司、北京科技大学、东北大学和中南大学共同完成的“金属矿深井卸荷开采与灾害防控关键技术”项目评价会。评价专家组听取了项目组的汇报，审阅了相关资料，经质询、讨论，形成如下评价意见：</p>

	<p>(1)项目围绕金属矿深井开采的高地压、高岩爆、高地温的问题开展研究，解决了我国深部矿产资源开发利用关键技术难题。取得的主要创新点如下：</p> <p>①区域卸荷与局域卸荷相结合的应力重构采矿技术。通过优化采场空间布局与回采顺序，对矿体实行空间分割，阻断主应力的传递，实现宏观卸压。通过卸压孔释放应力，实现局域卸压。结合腐蚀环境岩层多型螺纹钢树脂锚杆，实现深井采矿应力重构，改善工作面的应力环境，降低岩爆风险。</p> <p>②古海水腐蚀条件下的深井充填技术。发明了垂直管段螺旋管调压增阻装置，解决了深井高浓度充填的管道输送控制问题，提出了古海水环境充填防腐蚀措施，建立了充填体强度匹配模型。</p> <p>③岩爆灾害的能量演化机制及区域局域相结合的多尺度微震监测方法。建立了基于岩爆能量序列的分级方法和判据，形成了集专家系统与数值分析于一体的深部岩爆风险评估方法。研发了面向工作面的便携式微震传感器，结合传统微震监测系统，形成区域局域结合的多尺度微震监测系统，实现对岩爆趋势预判与临场预测。</p> <p>④发明了新型瞬接续采型空心包体应变计，实现完全双温度补偿和原位数字化无线采集，提高了地应力测量精度。</p> <p>⑤研发了基于恒温层冷水（12℃~16℃）的制冷交换装置的深部降温系统，将深井采矿工作面温度降低至 28℃以下。</p> <p>(2)该项目已取得系列发明专利，已成功应用到三山岛金矿深井采矿生产中，使用效果良好，经济、社会与环境效益显著，应用前景广阔。</p> <p>该项目总体达到国际领先水平。</p>																									
<p>项目推广应用情况</p>	<p>该项目研究的滨海深部高应力矿床岩爆灾害控制技术已应用于三山岛金矿总体开采设计，区域卸荷与局域卸荷相结合的应力重分布中深孔高效采矿方法已在三山岛金矿全面推广应用，滨海深部矿床高效降温技术成功将井下工作面温度降低至 28℃以下，古海水腐蚀环境下的深井调压增阻充填技术已在三山岛金矿滨海深部矿床开采成功应用，建立的岩层变形破裂安全监控系统保障了三山岛金矿滨海深部矿床安全开采。</p> <p>金属矿深井卸荷开采与灾害防控关键技术已在三山岛金矿应用，2012年11月至2015年12月，在三山岛西山矿区-780m~-765m水平开展了工业试验，三山岛深部试验采场回采矿量 6.33 万 t，采矿贫化率 5%，损失率 6%，采场平均生产能力 305t/d，盘区生产能力 1158t。</p> <p>鉴于金属矿深井卸荷开采技术在三山岛金矿深部高效开采和贫化损失控制方面的优势，三山岛金矿全面推广应用金属矿深井卸荷开采技术，近三年累计开采矿石量 189.6 万 t，新增利润 28654.2 万元，新增税收 7139.06 万元。</p>																									
<p>主要科技创新支撑</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="338 1641 443 2027" rowspan="6"> <p>知识 产权 目录</p> </td> <td data-bbox="443 1641 523 1686">1</td> <td data-bbox="523 1641 981 1686">一种深井卸荷采矿的方法</td> <td data-bbox="981 1641 1093 1686">专利号</td> <td data-bbox="1093 1641 1361 1686">ZL201510409068.X</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1686 523 1731">2</td> <td data-bbox="523 1686 981 1731">一种巷道围岩变形实时预测方法</td> <td data-bbox="981 1686 1093 1731">专利号</td> <td data-bbox="1093 1686 1361 1731">ZL201510648440.2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1731 523 1821">3</td> <td data-bbox="523 1731 981 1821">一种适用于海下深部高腐蚀环境的微地震传感器</td> <td data-bbox="981 1731 1093 1821">专利号</td> <td data-bbox="1093 1731 1361 1821">ZL20140628880.7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1821 523 1910">4</td> <td data-bbox="523 1821 981 1910">纵向、环向锚固联合快速超前支护方法</td> <td data-bbox="981 1821 1093 1910">专利号</td> <td data-bbox="1093 1821 1361 1910">ZL201310413837.4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1910 523 2000">5</td> <td data-bbox="523 1910 981 2000">一种提高矿用微震检波器信噪比的方法</td> <td data-bbox="981 1910 1093 2000">专利号</td> <td data-bbox="1093 1910 1361 2000">ZL201410090687.2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 2000 523 2027">6</td> <td data-bbox="523 2000 981 2027">基于封装相变材料微单元的深井降</td> <td data-bbox="981 2000 1093 2027">专利号</td> <td data-bbox="1093 2000 1361 2027">ZL201621246989.5</td> </tr> </table>	<p>知识 产权 目录</p>	1	一种深井卸荷采矿的方法	专利号	ZL201510409068.X	2	一种巷道围岩变形实时预测方法	专利号	ZL201510648440.2	3	一种适用于海下深部高腐蚀环境的微地震传感器	专利号	ZL20140628880.7	4	纵向、环向锚固联合快速超前支护方法	专利号	ZL201310413837.4	5	一种提高矿用微震检波器信噪比的方法	专利号	ZL201410090687.2	6	基于封装相变材料微单元的深井降	专利号	ZL201621246989.5
<p>知识 产权 目录</p>	1		一种深井卸荷采矿的方法	专利号	ZL201510409068.X																					
	2		一种巷道围岩变形实时预测方法	专利号	ZL201510648440.2																					
	3		一种适用于海下深部高腐蚀环境的微地震传感器	专利号	ZL20140628880.7																					
	4		纵向、环向锚固联合快速超前支护方法	专利号	ZL201310413837.4																					
	5		一种提高矿用微震检波器信噪比的方法	专利号	ZL201410090687.2																					
	6	基于封装相变材料微单元的深井降	专利号	ZL201621246989.5																						

材料		温系统			
	7	在充填料浆管道输送中增阻调压的装置	专利号	ZL201520477779.6	
	8	一种矿山支护锚杆桁架装置	专利号	ZL201720815590.2	
	9	一种具有弹性让压及大阻尼特性的组合式锚杆	专利号	ZL201420178707.7	
	10	一种矿山充填管道沿程压力测量装置	专利号	ZL201821003131.5	
	论文 论著 名称	1	Corrosive Environment Assessment and Corrosion-Induced Rockbolt Failure Analysis in a Costal Underground Mine		
		2	Analysis on the effect of water and confining pressure on mechanical properties of fractured granite		
		3	在线极限学习机在岩爆预测中的应用		
		4	三山岛金矿围岩温度梯度测试及工程热环境分析		
		5	矿山胶结充填体中胶凝材料含量检测方法试验研究		
6		三山岛金矿盐卤水对胶结充填体早期强度的影响			
7		尾砂充填料浆静态沉降过程的现象及其机理			
8		三山岛金矿海底开采 F1 断裂防突结构可能的破坏形式分析			
9		采动条件下围岩破裂区域的微震监测研究			
10		三山岛金矿深部巷道围岩破坏机理及支护参数优化			
全部 完成 人排 序及 贡献	1	杨小聪，矿冶科技集团有限公司矿山工程研究设计所所长，项目负责人，创新点 2 和创新点 5 的主要贡献者，为专利“一种深井卸荷采矿的方法”、“一种提高矿用微震检波器信噪比的方法”和“一种矿山充填管道沿程压力测量装置”的第一发明人，是创新点 2、创新点 4 和创新点 5 的主要贡献者(论著附件 5，附件 7)，为“区域与局域应力空间重构深部卸荷采矿技术研究”鉴定成果的第一完成人。			
	2	侯成录，山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛技术负责人，主要负责项目实施方案设计与管理，创新点 2、创新点 4 和创新点 5 的主要贡献者，研究了三山岛金矿海底开采 F1 断裂防突结构破坏机理(论著附件 8)；“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”、“区域与局域应力空间重构深部卸荷采矿技术研究”鉴定成果的主要完成人。			
	3	刘志祥，中南大学教授。创新点 1 的主要贡献者，对三山岛岩爆灾害的能量演化机制进行了室内试验、现场测试，建立了基于岩爆能量序列的分级方法和判据，形成了集专家系统与数值分析于一体的深部岩爆风险评估方法(论著附件 3)；“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”鉴定成果的主要完成人。			
	4	王湖鑫，矿冶科技集团有限公司矿山工程研究设计所，教授级高工。主要负责深部卸荷采矿技术方案设计、现场实施技术指导，负责项目总结报告编写。是专利“一种深井卸荷采矿的方法”的主要参加者之一，为创新点 1 做出了重要贡献。			
	5	吕文生，北京科技大学副教授。创新点 3 和创新点 4 的主要贡献者，设计了充填管路增阻调压系统，分析了增阻机理及压力调控方法；研究了			

		古海水制备充填体的强度、固结损伤与强度恢复等长期服役特性；研究了基于支持向量机的充填体强度设计理论模型(论著附件 6)；为专利“在充填料浆管道输送中增阻调压的装置”和专利“基于封装相变材料微单元的深井降温系统”的主要发明人。
	6	赵兴东 ，东北大学教授，创新点 3 的主要贡献者，实验研究了三山岛金矿岩石热物理性质与热传导系数；现场调查、实测分析三山岛金矿围岩放热系数、地温梯度与热源以及各热源所占比例；构建了井筒风流热交换数学模型与风温预测模型；开发了基于恒温层冷水的深部掘进工作面降温方法(论著附件 4)；专利技术“一种具有弹性让压及大阻尼特性的组合式锚杆”的第一发明人(专利附件 9)；“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”鉴定成果的主要完成人。
	7	郭奇峰 ，北京科技大学讲师。创新点 1 的主要贡献者，研究瞬接续采型原位数字化无线采集空心包体应变计和双温度补偿技术，探索三山岛金矿地应力分布规律(论著附件 1、附件 2)；“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”、“区域与局域应力空间重构深部卸荷采矿技术研究”鉴定成果的主要完成人。
	8	冷建民 ，山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿技术负责人，创新点 1 的主要贡献者，进行了三山岛金矿深部开采支护参数优化研究(论著附件 10)，为“滨海金矿床深部开采与灾害防控关键技术”、“区域与局域应力空间重构深部卸荷采矿技术研究”鉴定成果的主要完成人。
	9	李威 ，山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿高级工程师，创新点 5 的主要贡献者，专利“一种巷道围岩变形实时预测方法”的第一发明人，专利“一种适用于海下深部高腐蚀环境的微地震拾震传感器”、“纵向、环向锚固联合快速超前支护方法”和“一种矿山支护锚杆桁架装置”的主要发明人(专利附件 2、附件 3、附件 4、附件 8)。
主要完成单位及创新推广贡献	山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿	三山岛金矿是我国唯一进入深部开采的滨海硬岩矿山，开采存在地应力高、岩爆突出，温度高等问题，海水腐蚀更加剧了开采难度。三山岛金矿联合矿冶科技集团有限公司、北京科技大学、东北大学、中南大学组成实力雄厚的科研团队，围绕其滨海矿床深部开采及灾害防控技术开展研究。形成了滨海深部矿床卸荷开采、海水腐蚀条件下的充填、岩爆灾害防控、高温危害控制等成套关键技术，解决了三山岛金矿深部矿产资源开发利用关键技术难题。项目在推广应用过程中，采矿贫化率 5%，损失率 6%，采场工作面温度稳定在 28℃ 以下。近三年该工艺技术累计开采矿石量 189.6 万 t，新增利润 28654.2 万元，新增税收 7139.06 万元。该项目科技创新点突出，有力地推动了该领域的科技进步和学科发展，研究成果已全面推广应用，并取得了显著的经济效益和社会效益。项目研究成果为山东省深部黄金矿产资源、滨海矿产资源的开发利用提供了有力的技术支撑，也为全国类似矿山提供了技术示范。
	矿冶科技集团有限公司	针对三山岛金矿滨海深部开采存在高地应力、岩爆，高温、海水腐蚀等技术难题，进行了本项目的技术开发、试验应用、成果总结等工作。根据三山岛金矿深部开采高应力分布特征，构建了应力解除与柔性支护相结合的岩爆控制技术，研发了高应力上向中深孔高分段落矿与采空区嗣后充填技术，优化凿岩与出矿布置方式，形成了区域卸荷与局域

	<p>卸压相结合的应力重分布中深孔高效采矿方法；开展了尾砂充填料浆静态沉降机理和矿山胶结充填体中胶凝材料含量检测方法研究；建立了三山岛金矿深部开采岩层变形与微震破坏的安全监测系统，实现了滨海深部矿床岩层变形与微振破坏的安全预警。发明了“一种深井卸荷采矿的方法”、“一种提高矿用微震检波器信噪比的方法”和“一种表面安装的矿用微震检波器”等系列专利技术，获得了具有自主知识产权的研究成果，对项目技术研发及应用起到了至关重要的作用。</p>
北京科技大学	<p>研发了基于螺旋管的增阻调压装置，解决了深井高浓度充填料浆管道垂直输送控制问题，得到了高应力下古海水制备充填的强度、固结变形、损伤与强度恢复等长期服役特性，提出了充填体强度匹配设计模型，实现了尾砂胶结充填体强度的合理设计。研发了完全温度补偿地应力解除空心包体测量技术与原位数字化无线采集空心包体应变计和微型数据采集电路板，实现地应力数据采集系统微型化，数据传输无线化；完成了针对高温、高压环境的大量程通道设计，提出了高温环境下传感器温度自补偿—测量电路完全温度补偿的双温度补偿算法；根据地应力随深度的回归曲线建立了深部地应力场回归方程。发明了“在充填料浆管道输送中增阻调压的装置”和“基于封装相变材料微单元的深井降温系统”专利技术，实现三山岛金矿滨海深部矿床安全高效开采。</p>
东北大学	<p>围绕三山岛金矿西山矿区深部开采诱发的高温热害问题，通过对三山岛金矿西山矿区进行现场工程热湿环境(风温、风速、风压、温度、湿度等)与通风系统布设调查，得出了三山岛金矿西山矿区恒温层以下原岩温度梯度变化规律；针对三山岛金矿深部的热害问题，对矿井深部热害情况进行调查分析，分别构建基于井筒、巷道与工作面风流热交换和热辐射模型，实现了井下湿热风流温度预测；针对三山岛金矿直属矿区深部热害分布规律及其热交换规律，提出矿井深部热害治理方法，开发了使用恒温水源冷却风流技术，降低了三山岛金矿深部采掘工作面温度。</p>
中南大学	<p>进行了三山岛金矿岩石真三轴电液伺服扰动岩爆试验，获得了三山岛金矿不同应力岩爆碎屑特征；探索了三轴压缩条件下硬岩能量演化规律，揭示了三轴压缩条件下硬岩岩爆机理。用 SEM 扫描电镜揭示了岩爆的破裂机制，解析了岩爆能量构成和能量演化过程；同时建立了基于岩爆能量序列的分级方法和判据，构建了三山岛金矿岩爆预测的神经网络模型，获得了三山岛金矿深部岩爆风险评估方法，实现了三山岛金矿岩爆分布区域的智能预测，科学划分了三山岛金矿深部矿床岩爆等级分布区域，为矿山安全高效开采提供了理论依据。</p>
完成人合作关系说明	<p>三山岛金矿是我国目前唯一从事大陆架滨海矿床深部开采的硬岩矿山，深部开采问题困扰矿山生产，而其古海水条件更加剧了资源开采的复杂性。有鉴于此，三山岛金矿与矿冶科技集团有限公司、东北大学、北京科技大学、中南大学开展联合科技攻关。侯成录、冷建民、李威为“滨海金矿床深部高效开采与灾害防控关键技术”项目第一完成单位山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿团队成员，杨小聪、王湖鑫为项目第二完成单位矿冶科技集团有限公司团队成员，吕文生、郭奇峰为项目第三完成单位北京科技大学团队成员，赵兴东为项目第四完成单位东北大学团队成员，刘志祥为项目第五完成单位中南大学团队成员。</p>