|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 南岭成矿带复杂低品位多金属矿采选联合集约化利用关键技术 |
| 推荐奖种 | 湖南省科技进步奖一等奖 |
| 推荐单位 | 郴州市科学技术局 |
| 项目简介 | 矿业是我国国民经济的先行产业，也是后发经济效益辐射面最宽的产业之一。未来相当长时期内，矿产资源的刚性需求仍将保持高位运行，新兴战略性矿产需求加速增长，资源供需矛盾十分突出。南岭成矿带是中国有色、稀有、稀土、放射性矿产的重要成矿远景区带，作为我国重要的有色金属和战略金属资源基地，为国民经济和战略新型产业的发展提供了强有力的支撑。然而，由于资源的复杂性和技术的局限性，主体有色金属、伴生战略金属回收以及尾矿的资源化利用面临严峻的挑战。针对上述难题，该项目在“十二五”国家支撑计划等重大项目的支持下，以柿竹园、香炉山、远景钨业等典型矿床为示范基地，围绕多金属资源的“集约化利用”和“清洁生产”两大核心问题，在采选协同、多金属资源高效分离、选冶联合、尾砂高消纳综合利用、废水的低成本处理和循环利用等方面开展了系统性研究和技术攻关。主要技术创新包括：（1）提出了复杂难采低品位多金属矿协同开采原理及方法，开发了露天地下二元协同并行开采技术、矿柱群立体分区协同控制开采技术，高中段集中强化开采技术，实现了复杂难采低品位多金属矿的高效开发利用；（2）针对锡石、萤石、磁铁矿等共伴生资源，在主金属选矿工艺流程基础上，开发了微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术、高钙伴生萤石高效浮选技术、微细磁铁矿强化分选技术以及多金属选矿废水分质处理与分级回用技术，实现伴生资源的清洁高效利用，进一步完善了享誉世界的“柿竹园法”；（3）针对多金属矿山废石尾矿高消纳综合利用的关键瓶颈问题，构建原矿预抛废-废石建材化利用-尾砂胶结充填新模式，开发了基于X射线分选的钨矿预抛废技术和全粒级尾砂胶结充填技术；（4）打破专业界限，贯通采矿、选矿、尾矿利用产业链，建立采矿-选矿-材料多专业协同生产模式，实现多金属矿产资源的节约化利用。形成了采矿、选矿、尾矿资源化利用三位一体的多金属资源清洁高效利用成套技术，实现了多金属资源的集约化利用。项目研发过程中授权发明专利6项，国内外权威期刊发表论文21篇。团队受邀参加国际矿物加工大会等国际会议，并作系列报告，相关成果得到孙传尧院士、邱显扬教授和德国Martin教授等国内外专家的高度评价，相关技术入选《矿产资源节约与综合利用先进适用技术》。研究成果在湖南柿竹园有色金属有限责任公司、衡阳远景钨业有限责任公司、江西省修水香炉山钨业有限责任公司等工业化应用，近三年新增利润近4亿元。该技术对南岭成矿带乃至全国矿产资源的集约化利用具有极大地借鉴意义，潜在经济效益达千亿元，推广应用前景广阔。 |
| 完成单位 | 湖南柿竹园有色金属有限责任公司、中南大学、长沙矿山研究院有限责任公司、长沙矿冶研究院有限责任公司、衡阳远景钨业有限责任公司、江西省修水香炉山钨业有限责任公司 |
| 完成人（按贡献大小排序） | 何斌全、韩海生、李仲泽、褚洪涛、朱超英、沈慧明、孙磊、唐雪峰、林卫星、谢加文、石志中、吴水生 |
| 推广应用情况、经济效益和社会效益 | （1）协同采矿技术在湖南柿竹园有色金属有限责任公司工业化应用，实现了单次回采崩矿量188.6万t、处理空区54万m3、炸药量821t、雷管19046发、装药效率320t/d等国际领先的技术参数和炸药单耗0.43kg/t、大块产出率3.6%、矿柱回收率93%等国际先进的回采指标。该技术在中钨高新下属多家多金属矿山推广应用，经济效益显著。（2）微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术、高钙伴生萤石高效浮选技术、微细磁铁矿强化分选技术以及多金属选矿废水分质处理与分级回用技术等在湖南柿竹园有色金属有限责任公司工业化应用，钨的综合回收率由63%-65%提升至70%以上；钨精矿中锡品位大于3%，回收率约12%；萤石精矿回收率提高15%以上，磁铁矿精矿品位提升至60%以上；基本实现了选矿废水循环回用，降低捕收剂用量20%和水处理成本极大降低，经济效益显著。（3）全粒级尾砂胶结充填技术在江西省修水香炉山钨业有限责任公司工业化应用，尾砂充填溢流浓度由10%以上，降低至300PPM以下；全矿年充填量由不足20万m3，提高至40万m3；尾砂综合资源化利用率达98%以上；充填浓度稳定维持在68%，波动≤2%；年降低矿山尾砂充填成本500万元以上。（4）预选抛废技术在衡阳远景钨业有限责任公司工业化应用，将原来不可经济开发的大量0.15-0.20%的钨资源实现开发利用，钨综合回收率70%以上，将使数千万吨低品位的钨等资源得到高效开发利用。预先抛出的废石可作为建筑石料产品销售新增公司效益，同时减少了尾矿库和废石场的占用降低生产成本，极大提高了资源开发效果。 |
| **主要科技创新支撑材料** | **知识产权目录** | 1 | 一种金属离子配合物捕收剂及其制备方法和应用 | 专利号 | ZL201511027104.2 |
| 2 | 一种从多金属矿浮选尾矿中回收萤石的方法 | 专利号 | ZL201610063762.5 |
| 3 | 一种钨矿选矿水循环及捕收剂回收利用的方法 | 专利号 | ZL201511025215.X |
| 4 | 一种伴生钨萤石资源综合回收的方法 | 专利号 | ZL201610008530.X |
| 5 | 一种处理微细粒铁矿的联合选矿方法 | 专利号 | ZL201410734314.4 |
| 6 | 立体分区大量崩矿采矿方法 | 专利号 | ZL201110256519.2 |
| 7 |  |  |  |
| 8 |  |  |  |
| 9 |  |  |  |
| 10 |  |  |  |
| **论文论著名称** | 1 | 林卫星, 周爱民, 宋嘉栋, et al. 特大空区矿柱群分区协同开采技术研究与应用[J]. 采矿技术, 2015, 000(002):9-11,47. |
| 2 | Han H, Hu Y, Sun W, et al. Fatty acid flotation versus BHA flotation of tungsten minerals and their performance in flotation practice[J]. International Journal of Mineral Processing, 2017, 159: 22-29. |
| 3 | 孙伟, 柯丽芳, 孙磊. 苯甲羟肟酸在锡石浮选中的应用及作用机理研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(1):62-68. |
| **全部完成人排序及贡献** | 1 | 何斌全，该项目总体负责人，对项目的整体工作和技术内容做出创造性贡献。打破专业界限，贯通采矿、选矿、尾矿利用产业链，建立采矿-选矿-材料多专业协同生产模式，实现多金属矿产资源的集约化利用。对协同采矿技术、伴生资源的高效清洁提取技术、多金属选矿废水分质处理与分级回用技术等技术成果产业化应用和推广做出重要贡献，同时作为项目实施组织者，全程指导工业化生产过程。对以上所列科技创新1和科技创新4做出突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的60%。 |
| 2 | 韩海生，项目主要完成人之一，主持完成了微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术、多金属选矿废水分质处理与分级回用技术。发明金属有机配合物胶体捕收剂浮选药剂新体系，开发了微细锡石强化浮选新技术，实现了柿竹园多金属矿体锡石回收“零”的突破；提出选矿废水的“分质处理与分级回用”思想，建立了选矿废水分质处理与分级循环利用理论体系，发明了新型铁基水处理剂，开发了电性调控-絮凝-尾砂载体助沉-高级氧化深度净化低成本水处理技术。在技术开发期间，承担基础理论研究，全称参与小型实验室研究、中试和工业试验。工业化应用期间负责生产调试技术指导，为该技术的工业化应用做出了重要贡献。对以上所列科技创新2中伴生锡石的回收和水处理技术的开发做出了突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的80%。 |
| 3 | 李仲泽，项目主要完成人之一，提出了采选深度融合、选冶深度融合理念，打破专业界限，贯通采矿、选矿、尾矿利用产业链，建立采矿-选矿-材料多专业协同生产模式。作为项目实施组织者，深入生产一线，多次召开研讨会，全程指导工业化生产过程。对以上所列科技创新4做出突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的60%。 |
| 4 | 褚洪涛，项目主要完成人之一，针对低品位多金属矿床各矿带的空区分布关系、矿柱与空区的结构、露天与井下的相互关系等，提出了矿柱回采与空区处理、露天开采与地下开采、多金属多矿体回采的三协同开采原理。主持完成了露天地下二元协同并行开采技术的开发及推广应用，期间负责生产调试技术指导，为该技术的工业化应用做出了重要贡献。对以上所列科技创新1中露天地下二元协同开采技术的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的80%。 |
| 5 | 朱超英，项目主要完成人之一，针对伴生萤石回收中萤石被强烈抑制、萤石捕收剂不耐低温以及萤石与复杂脉石矿物难分离等技术瓶颈问题，主持研究开发出以“萤石高效活化工艺”、“耐低温萤石捕收剂”以及“复杂脉石矿物分步抑制技术”三大核心技术的伴生萤石资源回收成套技术，为三大核心技术的成功研发做出了重大创造性贡献。同时全程参与完成了柿竹园伴生萤石资源回收新技术的小试、中试和工业化试验，在新技术工业化实施过程中提出大量的建设性意见，极大推动了新技术的工业化应用。对以上所列科技创新2中高钙伴生萤石高效浮选技术的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| 6 | 沈慧明，项目主要完成人之一，针对钨矿尾矿充沉砂放砂浓度不稳定、进砂过程中上部泡沫多及溢流固体含量高的问题，提出先无机物化凝聚、后有机长链包裹的极细尾砂沉降解决办法，研发出多药剂协同制备自动化添加系统，开发尾砂消泡、絮凝沉降，实现全粒级尾砂井下充填。在新技术工业化实施过程中提出大量的建设性意见，极大推动了新技术的工业化应用。对以上所列科技创新3中全粒级尾砂井下充填技术的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| 7 | 孙磊，项目主要完成人之一，成果中微细锡石强化浮选新技术开发与产业化的主要完成人。在钨、锡石等浮选药剂设计开发等方面做了大量技术研发工作，通过胶体捕收剂调控微细锡石表面粗糙度，强化表面疏水性和微细锡石疏水团聚，实现锡石的高效浮选，极大地提高了复杂伴生锡石资源的综合利用率。对以上所列科技创新2中微细锡石强化浮选新技术的开发做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| 8 | 唐雪峰，项目主要完成之一，成果中微细磁铁矿强化分选技术开发和工业化推广的主要完成人。基于矿石中磁黄铁矿具有强磁性且易泥化、易氧化、难浮选的特点，开发了磨矿产品磁选除铁-粗精矿高效活化-浮选降硫-立式搅拌细磨提铁工艺技术，消除了磁铁矿与磁黄铁矿对后续浮钨工艺的影响，解决了铁精矿品位低、硫高、无法销售的难点，实现了伴生磁铁矿的综合回收。对以上所列科技创新2中微细磁铁矿强化分选技术的开发做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| 9 | 林卫星，项目主要完成人之一，主持完成了矿柱群立体分区协同控制开采技术的开发与工业化应用。应用深孔与中深孔多临空面拉槽协同拉槽和非线性等阻力爆破崩矿等创新技术，根据采区内各分区的关联关系及其与空区的相互关系，协同控制各分区的起爆顺序与爆破方向形成相向挤压，协同实施采区内各分区的拉槽爆破与回采爆破，在立体范围内实现大规模协同崩矿，通过一次爆破完成采区内多个关联矿柱的回采与多个关联空区的处理。对以上所列科技创新1中矿柱群立体分区协同控制开采技术的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的80%。 |
| 10 | 谢加文，项目主要完成人之一，柿竹园公司副总工程师，参与指导微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术、高钙伴生萤石高效浮选技术、微细磁铁矿强化分选技术以及多金属选矿废水分质处理与分级回用技术等技术在柿竹园多金属选厂和东波多金属选厂小试、中试和工业试验，解决工业化过程中遇到的工艺问题、技术问题和设备问题，对于浮选工艺的设计、流程改造等提出大量建设性意见，极大地推动了新技术的工业化应用。对以上所列科技创新2做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| 11 | 石志中，项目主要完成人之一，参与完成了柿竹园多金属伴生资源选矿技术“柿竹园法”的技术攻关，主持完成了基于X射线分选预先抛废-高效浮选技术的开发与工业化推广应用。以高效预选抛废为核心，合理调整碎矿工艺，采用X射线分选分选机预先粗颗粒废石提高入选矿石品位，预先抛出废石直接作为建筑石料，破碎产品细粒度矿石比例增加还可增加入磨矿量，生产流程和设施微调的情况下可大幅度提高选矿厂处理能力和产品产能，同时大幅度降低生产成本。对以上所列科技创新2和科技创新3的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作量占本人总工作量的80%。 |
| 12 | 吴水生，项目主要完成人之一，针对尾矿资源利用率低、充填浓度波动大及成本高等难题，研发出高效深锥浓密尾砂处置、稳态料浆制备及输送工艺等关键技术，实现了高浓度底流稳定供应、结构流体料浆稳态制备和自流输送流程。在新技术工业化实施过程中提出大量的建设性意见，极大推动了新技术的工业化应用。对以上所列科技创新3中全粒级尾砂井下充填技术的推广应用做出突出贡献，本人投入该项目的工作占本人总工作量的80%。 |
| **主要完成单位及创新推广贡献** | 湖南柿竹园有色金属有限责任公司 | 湖南柿竹园有色金属有限责任公司是该项目的主要完成单位和实施单位，与长沙矿山研究院有限公司合作完成复杂难采低品位多金属矿协同开采原理及方法（创新点1），与中南大学合作完成微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术和多金属选矿废水分质处理与分级回用技术（创新点2），与长沙矿冶研究院有限公司合作完成高钙伴生萤石高效浮选技术和微细磁铁矿强化分选技术（创新点2），建立采矿-选矿-材料多专业协同生产模式，实现多金属矿产资源的节约化利用（创新点4）。新技术在柿竹园多金属选厂和东波多金属选厂成功工业化应用。在项目工业化应用过程中，柿竹园有色金属有限责任公司提供了大量的技术支持，为新技术的开发、推广和应用做出了突出贡献。作为项目现场实施的主要单位，湖南柿竹园有色金属有限责任公司协助项目立项、制定工艺流程、整改方案等关键工作，推动了本项目的顺利实施：在工业生产调试以及工业实施中起到积极的推动作用，顺利完成柿竹园多金属选厂和东波多金属选厂现场工业试验及生产推广，大幅提高了资源利用率；强化现场的生产管理，为该项目的顺利进行以及选厂生产指标的提高提供了保障。 |
| 中南大学 | 中南大学作为该项目的主要完成单位，是微细锡石纳米胶体捕收剂强化浮选技术、多金属选矿废水分质处理与分级回用技术的主要开发者（创新点2）。发明金属有机配合物胶体捕收剂浮选药剂新体系，开发了微细锡石强化浮选新技术，实现了柿竹园多金属矿体锡石回收“零”的突破；提出选矿废水的“分质处理与分级回用”思想，建立了选矿废水分质处理与分级循环利用理论体系，发明了新型铁基水处理剂，开发了电性调控-絮凝-尾砂载体助沉-高级氧化深度净化低成本水处理技术。在技术开发期间，中南大学承担基础理论研究、小型实验室研究、中试和工业试验。针对项目中遇到的关键问题，中南大学科研团队多次组织项目研讨会，提出建设性改进意见，多位老师和数十名研究生投入生产实践，推动技术的进步。技术成果在湖南柿竹园、新田岭等多家矿山企业推广应用，经济效益显著。对上述创新点2及技术的开发、应用和推广作出重大贡献。 |
| 长沙矿山研究院有限责任公司 | 长沙矿山研究院有限责任公司作为该项目的主要完成单位。提出了复杂难采低品位多金属矿协同开采原理及方法，开发研发了露天地下二元协同并行开采技术、矿柱群立体分区协同控制开采技术，高中段集中强化开采技术，实现复杂难采低品位多金属矿的高效开发利用（创新点1）。在技术开发期间，长沙矿山研究院有限责任公司承担基础理论研究、小型实验室研究、中试和工业试验。针对项目中遇到的关键问题，长沙矿山研究院有限责任公司科研团队多次组织项目研讨会，提出建设性改进意见。技术成果在湖南柿竹园、新田岭、香炉山等多家矿山企业推广应用，经济效益显著。对上述创新点1及技术的开发、应用和推广作出重大贡献。 |
| 长沙矿冶研究院有限责任公司 | 长沙矿冶研究院有限责任公司作为该项目的主要完成单位，是高钙伴生萤石高效浮选技术、微细磁铁矿强化分选技术的主要开发者（创新点2）。开发了萤石表面吸附药剂剥离预处理及萤石高效活化技术、复杂脉石分步抑制技术与耐低温萤石捕收剂，解决了萤石矿物被抑制、难浮选与含钙脉石矿物难以高效分离的关键技术难点，大幅度提高了萤石回收率；基于矿石中磁黄铁矿具有强磁性且易泥化、易氧化、难浮选的特点，开发了磨矿产品磁选除铁-粗精矿高效活化-浮选降硫-立式搅拌细磨提铁工艺技术，消除了磁铁矿与磁黄铁矿对后续浮钨工艺的影响，解决了铁精矿品位低、硫高、无法销售的难点，实现了伴生磁铁矿的综合回收。在技术开发期间，长沙矿冶研究院有限责任公司承担基础理论研究、小型实验室研究、中试和工业试验。技术成果在湖南柿竹园多金属选厂和东波多金属选厂工业化应用，经济效益显著。对上述创新点2及技术的开发、应用和推广作出重大贡献。 |
| 衡阳远景钨业有限责任公司 | 衡阳远景钨业有限责任公司是该项目的主要完成单位和实施单位，完成了基于X射线分选的钨矿预抛废技术的工业化应用（创新点3）。在项目工业化应用过程中，衡阳远景钨业有限责任公司提供了大量的技术支持，为新技术的开发、推广和应用做出了突出贡献。作为项目现场实施的主要单位，衡阳远景钨业有限责任公司协助项目立项、制定工艺流程、整改方案等关键工作，推动了本项目的顺利实施：在工业生产调试以及工业实施中起到积极的推动作用，顺利完成现场工业试验及生产推广，大幅提高了资源利用率；强化现场的生产管理，为该项目的顺利进行以及选厂生产指标的提高提供了保障。 |
| 江西省修水香炉山钨业有限责任公司 | 江西省修水香炉山钨业有限责任公司是该项目的主要完成单位和实施单位，与长沙矿山研究院有限公司合作完成复杂难采低品位多金属矿协同开采原理及方法（创新点1）、尾砂全粒级胶结充填技术（创新点3）。在项目工业化应用过程中，江西省修水香炉山钨业有限责任公司提供了大量的技术支持，为新技术的开发、推广和应用做出了突出贡献。作为项目现场实施的主要单位，江西省修水香炉山钨业有限责任公司协助项目立项、制定工艺流程、整改方案等关键工作，推动了本项目的顺利实施：在工业生产调试以及工业实施中起到积极的推动作用，顺利完成现场工业试验及生产推广，大幅提高了资源利用率；强化现场的生产管理，为该项目的顺利进行以及选厂生产指标的提高提供了保障。 |
| **完成人合作关系说明** | 本项目涉及湖南柿竹园有色金属有限责任公司、中南大学、长沙矿山研究院有限责任公司、长沙矿冶研究院有限责任公司、衡阳远景钨业有限责任公司、江西省修水香炉山钨业有限责任公司六家完成单位。该项目是各完成单位及完成人之间长期合作努力的结果。项目组各完成人长期致力于矿产资源的清洁高效开发与利用，相互间建立了长期稳定的合作关系，现将合作关系说明如下：项目完成人何斌全是湖南柿竹园有色金属有限责任公司总经理，期间与中南大学、长沙矿山研究院有限责任公司、长沙矿冶研究院有限责任公司共同立项，完成“十二五”国家科技支撑计划国家项目以及多项横向项目，与完成人韩海生、谢加文共同完成“浮选界面组装新理论及高钙黑白钨混合矿浮选新技术与实践”成果评价；项目完成人韩海生与完成人谢加文，共同完成“一种金属离子配合物捕收剂及其制备方法和应用”、“一种钨矿选矿水循环及捕收剂回收利用的方法”两项发明专利，2017年合作发表论文“Fatty acid flotation versus BHA flotation of tungsten minerals and their performance in flotation practice”。项目完成人韩海生与完成人孙磊，2017年合作发表论文“Fatty acid flotation versus BHA flotation of tungsten minerals and their performance in flotation practice”，两人分别与中南大学孙伟教授合作发表多篇高水平文章。项目完成人李仲泽是湖南柿竹园有色金属有限责任公司董事长，期间与中南大学、长沙矿山研究院有限责任公司、长沙矿冶研究院有限责任公司共同立项，完成“十二五”国家科技支撑计划国家项目以及多项横向项目，与完成人何斌全共同完成“南岭成矿带复杂低品位多金属矿采选联合集约化利用关键技术”成果评价。项目完成人林卫星，与长沙矿山研究院有限责任公司宋嘉栋合作发表论文“特大空区矿柱群分区协同开采技术研究与应用”，宋嘉栋与欧任泽合作发表论文“井下特大规模爆破研究与实践”，欧任泽与项目完成人朱超英合作完成“十二五”国家科技支撑计划。项目完成人林卫星与完成人褚洪涛，2010年共同完成“多层大型高危地下空区条件下露天强化开采关键技术研究”获得湖南省科学技术一等奖，分别排名第7、5。项目完成人朱超英与湖南柿竹园有色金属有限责任公司伏彩萍，共同完成“十二五”国家科技支撑计划国家项目“钨锡萤石资源高效提取关键技术研究”，完成人韩海生与伏彩萍共同完成“一种金属离子配合物捕收剂及其制备方法和应用”、“一种钨矿选矿水循环及捕收剂回收利用的方法”两项发明专利。项目完成人石志中与湖南柿竹园有色金属有限责任公司刘杰共同发表论文“某黑白钨矿选矿工艺改进研究”， 完成人韩海生与刘杰共同完成“一种金属离子配合物捕收剂及其制备方法和应用”、“一种钨矿选矿水循环及捕收剂回收利用的方法”两项发明专利。项目完成人沈慧明、吴水生是江西省修水香炉山钨业有限责任公司董事长、总经理，与长沙矿山研究院有限责任公司合作立项，完成香炉山尾矿全粒级胶结充填，与项目完成人何斌全、李仲泽、唐雪峰等人共同完成“南岭成矿带复杂低品位多金属矿采选联合集约化利用关键技术”成果评价。 |