长沙矿山研究院70年科技发展贡献与展望(1956—2026年)*

褚洪涛[1,2]

(1.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
2.金属矿山安全技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410012)

摘要:1956年,按照原国家科委制定的"十二年科学技术发展规划"筹建成立了有色金属矿山科学研究所,1962年定名为长沙矿山研究院,曾隶属于冶金工业部、中国有色金属工业总公司,现为中国五矿集团有限公司直接管理重要科技型企业。70年来,长沙矿山研究院专注于矿产资源开发利用全过程全生命周期的设计咨询-技术开发-检验检测认证-工程建设及运维一体化综合服务,曾在原国家部委管理的800多家科研院所综合实力排名中位列16位,享有"中国金属采矿第一院"的盛誉。长沙矿山研究院围绕保障矿产资源供给与安全的国家战略,在采矿技术、矿山安全、矿山充填、防水治水、数智矿山、智能装备、检测检验、选矿技术等领域取得了1 088项重大科技成果,获奖科技成果890项,其中国家科技奖励63项(国家科技进步特等奖2项,一等奖4项),授权专利1 217件,其中发明专利434件,主持或参与编制国家及行业标准55项,相关科技成果推广应用于国内外3 000多家企业。系统梳理了长沙矿山研究院70年来的科技发展历程,总结了该院的重大科技成果及行业贡献,剖析了行业发展面临的现实挑战,对未来矿业领域的科技创新方向进行了展望,为我国矿业的高质量发展与科技自立自强提供参考。

关键词:长沙矿山研究院;金属矿山;矿产资源开发利用;矿业科技发展;绿色智能矿山;资源安全;深海采矿;科技发展贡献

中图分类号:TD-0 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2026)09-0001-06

Changsha Institute of Mining Research: 70 Years of Scientific and Technological Development Contributions and Prospects (1956—2026)

Chu Hongtao[1,2]

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.State Key Laboratory of Safety Technology of Metal Mines, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: In 1956, in accordance with the "Twelve-Year Plan for Scientific and Technological Development" formulated by the former State Science and Technology Commission, preparatory work was conducted for the establishment of the Nonferrous Metal Mining Research Institute, and the institute was founded. In 1962, it was renamed Changsha Institute of Mining Research. It was formerly affiliated with the Ministry of Metallurgical Industry and the China National Nonferrous Metals Industry Corporation, and is now an important science and technology-based enterprise directly managed by China Minmetals Corporation. Over the past 70 years, Changsha Institute of Mining Research has been devoted to integrated comprehensive services covering design and consulting, technology development, inspection, testing and certification as well as engineering construction and operation and maintenance, for the entire process and full life cycle of the development and utilization of mineral resources. It was once ranked 16th in comprehensive strength among more than 800 research institutes administered by former national ministries and commissions, and it is widely recognized as "China's No.1 Institute in Metal Mining". In line with the national strategy for ensuring the supply and security of mineral resources, 1 088 major scientific and technological achievements have been made by Changsha Institute of Mining Research in fields such as mining technology, mine safety, mine backfilling, water prevention and control, digital and intelligent mines, intelligent equipment, testing and inspection, and mineral processing technology. Among them, 890 scientific and technological achievements have been awarded, including 63 National Science and Technology Awards (2 Special Prizes and 4 First Prizes of the National Science and Technology Progress

* **收稿日期**:2026-07-15
作者简介:褚洪涛(1966—),男,湖北云梦人,研究员级高级工程师,主要从事矿山工程技术研发、设计和咨询工作。E-mail:cht5@163.com

Award). In addition, 1 217 patents have been granted, including 434 invention patents, and 55 national and industry standards have been compiled with the institute as the lead or participating unit. And the related scientific and technological achievements have been promoted and applied to more than 3 000 enterprises at home and abroad. The 70-year scientific and technological development history of Changsha Institute of Mining Research was systematically reviewed, its major scientific and technological achievements and industry contributions were summarized, the practical challenges facing the development of the industry were analyzed, and an outlook on future directions of scientific and technological innovation in the mining field was provided. A reference is thereby provided for the high-quality development and scientific and technological self-reliance and self-strengthening of China's mining industry.

Key words: Changsha Institute of Mining Research, Metal mines, Development and utilization of mineral resources, Development of mining science and technology, Green and intelligent mines, Resource security, Deep-sea mining, Scientific and technological development contributions

0 引言

新中国成立之初,我国有色金属、黑色金属矿产开发基础薄弱,采矿工艺、采掘装备、矿山安全技术大多依靠国外引进。国内矿床地质条件复杂,许多矿山存在开采难度大、损失贫化高、安全风险突出等现实问题;采矿工艺、采掘装备、安全防控技术整体落后,缺少适配本国资源禀赋的成套技术体系和先进的采掘装备,关键技术装备高度依赖进口,严重制约了重工业与国防工业的发展。为改变矿业技术落后的局面,国家实施《1956—1967 年科学技术发展远景规划》[1],组建有色金属矿山科学研究所,也就是长沙矿山研究院的前身,专门开展金属矿山开采基础研究与工程技术攻关,承担起攻关采矿核心技术,构建矿业技术体系的时代重任。

70 年来,长沙矿山研究院伴随着国家工业化进程共同成长,经历自力更生奠基拓荒、重大科技攻关、科研院所转企改制、高质量创新发展四个重要历史阶段[2]。一代代科研工作者扎根矿山现场,坚持矿业报国,把科研试验放在矿山生产一线,破解一批批"卡脖子"技术难题,从学习借鉴国外技术逐步走向部分领域国际并跑、局部技术实现引领,形成采矿科研、矿山安全、工程设计、检测检验、智能矿山、资源综合利用的完整业务体系。当前,国内矿山逐步进入深部开采[3],矿业面临资源逐步深部化、生态约束强化、安全生产要求提高、数字化转型[4]加速等多重挑战,战略性矿产保供压力持续加大。本文系统总结了长沙矿山研究院七十载科技成就,客观梳理历史贡献,科学研判未来创新方向,为推动我国矿业高质量发展提供参考。

1 长沙矿山研究院 70 年科技发展历程

1.1 奠基拓荒阶段(1956—1977 年):自力更生,构建矿山科研基础

建院初期,国内矿业科研人才稀缺,试验条件简陋。研究院汇聚全国矿山技术力量,机构历经多次整合调整。1958 年,北京钢铁研究院采矿部、冶金工业部劳动保护研究室并入,机构规模进一步扩大;1962 年科研与设计业务分离,正式命名为冶金工业部长沙矿山研究院,确立了独立科研院所定位[5]。

这一时期的主要目标就是摆脱完全依赖国外技术的局面,建立适合中国矿床特点的采矿技术体系。开发适配我国矿产特点的地下采矿工艺,开展钎具、炸药、支护材料等矿用材料国产化研发;建立矿山理化、装备测试实验室,搭建采矿试验平台。科研人员长期驻点锡矿山、柿竹园多金属矿、黄沙坪铅锌矿、金川镍矿、凡口铅锌矿等重点矿山,开展现场工业试验。在采矿方法领域,重点研发机械化盘区分层采矿法、高阶段深孔崩落采矿法、分段空场采矿法。这些采矿方法与工艺适配国内厚大矿体、破碎矿体的开采条件,有效地提高了矿山生产能力。在井巷掘进方面,开展平巷、天井掘进工艺和凿岩爆破试验,优化爆破参数,完善井下装运配套工艺,大幅度提升井巷施工效率。

岩石力学与矿山安全也是这一时期的重点研究领域。国内矿山地压灾害、粉尘危害、通风难题突出,长沙矿山研究院搭建岩石力学试验平台,开展岩体力学参数测试、采场地压显现规律观测,研究井下通风防尘技术,建立非煤矿山劳动保护科研体系,有效改善井下作业环境。完成科研体系搭建、试验平台建设和专业人才队伍培育,为后续技术突破筑牢

根基,实现我国金属矿山科研事业从无到有的历史性跨越。

1.2 技术攻坚腾飞阶段(1978—1999年):服务国家重大工程,重大科技成果集中涌现,铸就行业丰碑

改革开放之后,国内工业化建设提速,大型矿山基地建设加速推进,国家对资源保障、装备自主化提出更高要求。长沙矿山研究院面向国家重大专项集中力量攻关,科研成果大量涌现,迎来建院之后第一个创新高峰,荣获2项国家科技进步特等奖,奠定了国内金属采矿领先地位[5]。

第一项为金川资源综合利用项目。金川铜镍矿床是我国核心镍钴战略资源基地,矿体破碎、地压强烈,开采技术难度位居世界前列。长沙矿山研究院科研团队长期扎根金川矿区,针对高应力破碎厚大矿体,开展充填采矿、地压控制、矿柱回收等成套技术研究,攻克世界级开采难题,保障镍钴资源稳定供应,支撑我国国防工业与新能源产业原材料供给。第二项是千万吨级大型露天矿成套设备研制项目。该项目打破了国外大型露天矿山装备垄断局面,自主研发了牙轮钻机、大型铲运设备、电动轮自卸车配套工艺技术,实现大型露天矿山关键工艺装备国产化,服务国内多个大型露天矿山建设。

除特等奖之外,这一时期取得一大批国家级、省部级科技成果。地下无轨采矿成套装备、新型钎具材料、RJ系列乳化炸药、矿山支护新材料等项目先后获得国家发明奖、国家科技进步奖。分段胶结充填采矿技术不断完善,逐步在铅锌矿山推广应用;深部地压、采空区稳定性理论研究持续深化,微震监测技术开始探索试验。20世纪70年代,响应国家海洋资源战略,长沙矿山研究院启动大洋深海采矿预研工作,开展多金属结核开采基础理论研究,为后期深海装备研发奠定理论基础。

科研平台建设同步推进,主办《矿业研究与开发》《采矿技术》行业核心期刊,搭建行业学术交流平台。长沙矿山研究院成为全国有色金属矿山科研核心单位,承担大量国家攻关课题,科研实力在国内矿业行业处于领先地位。

1.3 转制改革转型阶段(2000—2012年):科研院所转企,推动技术工程化、产业化

1999年,国家实施应用类科研院所改革,长沙矿山研究院由事业单位转制为科技型企业,2009年随湖南有色整体并入中国五矿集团。体制转变之后,长沙矿山研究院发展模式发生深刻变革,企业业务形态由传统的单一科研服务,转变为矿产资源开发利用全过程全生命周期的设计咨询-技术研发-检验检测认证-工程建设及运维一体化综合服务模式,建立起了从实验室成果到矿山现场落地的完整链条[5]。

充填采矿技术实现重大工程化突破。全尾砂胶结充填、膏体充填成套工艺不断优化,充分利用矿山尾矿作为充填骨料,既减少尾矿库堆存压力,又有效控制地表塌陷,在凡口铅锌矿、黄沙坪铅锌矿等一大批矿山大规模推广,取得显著安全效益、环境效益与经济效益。随着国内矿山开采深度持续加大,深井开采现实问题凸显,长沙矿山研究院开展高地应力、高温、高涌水"三高"深井开采技术研究,进行了水压致裂地应力测量、深井让压支护、围岩控制技术工业试验,逐步形成成套技术方案。

深海采矿取得标志性突破,自主研制国内首台深海岩芯取样钻机,成功在大洋海底完成钻探取样,打出中国大洋科考"第一孔",打破国外技术封锁,该成果荣获国家科技进步奖二等奖。矿山安全技术实现产业化发展,尾矿库在线安全监测、采空区灾害治理、大水矿山防治水技术走出实验室,面向全国非煤矿山提供安全评价、监测系统建设、灾害治理工程服务,为矿山安全生产提供有力技术支撑。转制之后,长沙矿山研究院更加贴近市场需求,科研成果除刊载报告论文外,大量工艺、装备、监测技术通过工程项目落地全国各大矿山,实现科技与产业深度融合。在国内较早布局数字矿山研究,设立数字矿山实验室,开启矿业数字化探索,同期获批建设国家金属采矿工程技术研究中心、金属矿山安全技术国家重点实验室等科研平台,科研基础设施不断完善。

1.4 创新引领高质量发展阶段(2013年至今):深部、绿色、智能、深海多维度协同创新发展

党的十八大以来,我国矿业进入转型发展新阶段。保障战略性矿产资源安全、推进绿色矿山建设[6]、发展智能矿山、实现"双碳"目标成为行业主旋律。长沙矿山研究院围绕国家重大战略需求,锚定"矿山科研国家队、矿业工程生力军、检测服务排头兵"的定位,布局深部资源高效开采、绿色固废充填

利用、智能矿山、矿山重大灾害防控、深海矿产开发、尾矿与低品位资源综合利用、稀有战略性矿产开发七大创新方向。科研平台建设再上新台阶,获批建设战略性稀有金属矿产高效开发国家技术创新中心、湖南省矿山固废综合利用工程技术研究中心等一批国家级、省部级科研创新平台。

在深部金属矿开采领域,针对千米深井破碎围岩灾害难题,研发大变形围岩让压支护成套工艺、破碎矿体强化开采技术、复杂条件矿柱安全回收技术、大水矿山帷幕注浆防治水技术,有效降低矿山开采损失贫化,大幅提升深井围岩安全控制水平,20 多项技术达到国际领先或国际先进水平。绿色充填与尾矿资源化利用技术持续迭代升级,大流量膏体充填技术、结构流全尾砂充填技术、低成本充填胶凝材料不断优化,推动尾矿大规模井下消纳,助力无废矿山建设[5]。

数字化智能化是新时代矿业转型核心方向。长沙矿山研究院打造“云智矿”智能矿山整体解决方案,开展矿山数字孪生、AI 安全风险预警、井下机器人、采掘装备预测性维护技术研发,先后完成上百座矿山智能化改造项目,推动传统矿山由人工现场管控向远程智能管控转型。深海采矿技术与装备持续迭代升级,开展富钴结壳、多金属硫化物开采关键技术攻关,完成集矿装备、输送系统试验研究,持续沉淀深海矿产开发核心技术储备。矿山安全技术持续发挥技术支撑作用,微震监测、采空区隐患治理、尾矿库风险预警、矿山水害防治成套技术广泛应用,为全国大量非煤矿山安全生产提供技术保障。

70 年来,长沙矿山研究院累计取得重大科研成果 1 088 项,国家科技奖励 63 项,省部级科技成果奖励 811 项,授权专利 1 217 件,其中发明专利 434 件,主持或参与编制国家及行业标准 55 项,为我国矿业工程领域输送一代代高水平科技人才。

2 长沙矿山研究院 70 年主要科技贡献

2.1 构建金属矿山技术体系,攻克开采工艺与成套装备,实现核心技术自主可控

新中国成立初期,在金属矿山开采领域我国全部照搬国外的采矿理论、工艺装备,但国外的技术不能完全适配国内复杂破碎、多矿脉共存的矿床条件。70 年来,长沙矿山研究院立足国内矿产资源禀赋,建立完整技术体系,涵盖采矿方法优化、井巷快速掘进、充填开采、岩石力学地压控制、矿山装备研制、矿山重大灾害防控等方面,解决了大量矿山“采不出、采不好、不安全”技术难题,摆脱矿业关键技术受制于人的局面。从基础理论研究、实验室试验,到现场工业试验,再到工程推广应用,建立了一套矿业科技创新范式,为国内矿业领域的科研机构、矿山企业提供示范引领。

2.2 有力保障国家战略性矿产资源安全

镍、铜、铅、锌、钨、锡是我国关键战略性矿产。长沙矿山研究院为金川镍矿、柿竹园多金属矿[7]、凡口铅锌矿等一批国家级矿产资源综合利用基地长期稳定生产提供了关键技术支撑。针对难采、低品位、深部矿产资源,研发高效开采技术[8],盘活大量呆滞矿产资源,提高资源回收率,提升国内矿产自给能力。同时主动布局深海矿产开发技术,研制集矿、输送、钻探、水面支持成套装备,为我国大洋矿区申请、海洋资源战略储备提供关键技术支撑,抢占海洋矿产资源技术高地,拓展国家战略资源来源渠道,服务国家资源安全大局。

2.3 引领行业绿色安全转型发展

传统矿山普遍面临尾矿堆存压力大、采空区垮塌、地表沉陷、地质灾害风险高等突出问题。长沙矿山研究院大力推广充填采矿技术,推动尾矿井下资源化消纳,减少尾矿库扩容压力,服务矿山固废减排,控制地表沉降。尾矿库在线监测、微震监测、灾害防控成套技术、水害防治预警等安全技术大规模推广,提升矿山灾害超前预警能力,降低重特大事故灾害风险。相关技术成果有力支撑绿色矿山建设、非煤矿山安全专项整治行动,推动矿业由粗放开采模式转向安全绿色发展模式。完善我国矿山安全技术标准体系,为矿山安全生产提供理论、装备与工程支撑。

2.4 促进科研成果产业化,带动国内矿业装备技术进步

科研院所转制之后,长沙矿山研究院构建起了“科学研究—技术攻关—中试试验—工程产业化”创新链条。把实验室工艺转化为工程技术方案,把试验装备转化为产业化产品。在充填装备、监测装备、特种凿岩设备、深海钻探装备等方面实现国产化,带动国内矿山装备行业技术迭代。大量技术成果向行业开放共享,为矿山企业提供技术咨询、工程设计、现场改造服务,带动整个行业技术水平提升。

2.5 搭建行业平台,培育矿业科技人才队伍

70 年来,长沙矿研究院培养了几代矿业科技工

作者,培养了一大批采矿、装备、海洋工程、安全领域科研人才,形成了老中青接续的科研梯队,输送到全国矿山企业、科研院所、监管机构。依托国家重点实验室、工程技术研究中心开展试验验证,主办行业期刊,组织矿业科技学术交流;主持编制多项国家、行业规范标准,完善行业技术制度体系;同时承担应急管理、自然资源领域技术支撑任务,为政府监管、行业决策提供科学依据,发挥行业公共技术平台作用。

3 面向未来发展

当前,我国矿业发展环境发生深刻变化。国内矿产开采持续走向深部,矿床条件越来越复杂;生态环境保护的约束不断增强;安全生产管控更加严格;数字化智能化加速推进;同时外部金属供应链波动加大,战略性矿产保供任务艰巨。立足70周年新起点,长沙矿山研究院作为矿业科技国家队,应当继续面向国家重大战略需求,聚焦重点方向持续攻关。

3.1 深部复杂矿床高效安全开采技术攻关

随着浅部资源逐步枯竭,国内大量金属矿山进入800～1 500 m甚至更深开采阶段,高地应力、强岩爆、围岩大变形、高地温、高岩溶涌水等灾害耦合出现,开采难度显著提升。未来应当进一步开展深部多场耦合机理研究,开发高适应性的让压支护材料与装备,研发智能化采矿工艺,完善深井防治水成套技术,攻克岩爆等动力灾害防控关键技术;研发适配深部条件的新型采掘装备、充填技术,建立深部资源开发理论与成套技术体系,进一步提高深部资源回收率,实现深部资源安全高效开采。

3.2 矿山绿色低碳与固废资源化技术创新

落实“双碳”目标和无废矿山建设要求,继续发展低成本充填胶凝材料,研发大宗固废协同充填技术,充分利用尾矿、冶炼渣、煤矸石等工业固废,降低充填成本,减少固废地表堆存。开展矿山生态修复、地下空间再利用技术研究,探索矿山储能、地下储库等新业态,推动矿山由资源开采向资源开发与地下空间综合利用并重转型,降低矿业碳排放,构建绿色低碳矿山新模式。

3.3 深化智能矿山与矿业新质生产力建设

持续推进矿山数字化转型。重点研发井下复杂环境智能感知装备,突破井下高精度定位、机器人作业、多源数据融合AI预警算法,完善矿山数字孪生平台。推动采矿工艺与智能装备深度耦合,实现采矿工艺、支护、充填、灾害预警全流程智能化。开发适配中小矿山低成本智能化成套方案,解决中小企业智能化改造投入压力大的现实难题,助力矿业整体数字化升级[9]。

3.4 深海矿产与境外资源开发技术储备

海洋矿产是未来战略资源重要来源[10]。持续完善深海岩芯取样、集矿输送装备技术,开展多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物开采工艺研究,完成海上中试试验,形成我国自主可控的深海采矿技术体系。面向国内企业海外矿山开发需求,输出成套采矿、充填、灾害防控技术,服务于我国矿业企业“走出去”[11],保障海外资源稳定供给。

3.5 强化重大矿山灾害防控技术,支撑行业安全发展

我国非煤矿山仍然存在尾矿库溃坝、采空区垮塌、突水、岩爆等重大安全风险。加强重大灾害机理基础研究,开发新一代高可靠在线监测装备,研究多灾害耦合风险评估方法,形成灾害超前识别、预警、治理成套技术。强化国家重点实验室的技术支撑作用,为政府监管、隐患排查、事故分析提供技术支撑,为全国非煤矿山安全生产筑牢科技屏障。

3.6 完善产学研协同创新机制,培育高水平创新人才

进一步加强与高校、科研院所、矿山企业等产学研协同创新,围绕行业“卡脖子”问题设立联合攻关课题,加速科研成果转化落地[12]。完善人才培养激励机制,引进深部开采、人工智能、新材料、新能源、海洋工程交叉学科人才,培育复合型青年科技队伍,传承“矿业报国”科研精神,保持长沙矿山研究院科技创新活力。积极参与国际矿业学术交流,推动中国先进矿业技术标准对外输出,提升我国矿业科技国际影响力。

4 结语

七十载风雨兼程、薪火相传,七十载矿业报国。从白手起家建立国内矿山科研体系,到取得两项国家科技进步特等奖等一系列重大科技成果;从事业单位科研院所,转型为科研工程一体化科技型企业;从传统采矿技术研究,拓展至深部开采、绿色矿山、智能矿山、深海矿产多领域创新,长沙矿山研究院的70年发展历程,就是中国现代金属矿业科技自立自强的缩影。一代代科研人员扎根矿山一线,攻坚克难,为保障矿产资源供给与安全、矿山安全生产作出了巨大贡献。

站在建院70周年新的历史起点,面对资源深部化、产业智能化、发展绿色化的时代挑战,长沙矿山研究院将继续坚守保障国家战略性矿产资源的使命,坚持科技创新引领,传承矿业报国初心,聚力破解矿业关键技术难题,持续强化原创技术攻关与供给,打通科技创新到产业落地的通道,加快科技成果工程转化,持续为我国建设矿业强国、实现矿业高质量发展、保障国家矿产资源安全贡献科技力量。

参考文献(References):

[1] 中国有色金属报.七十载问矿中国:长沙矿山院的科技长征[EB/OL].[2026-06-15].https://baijiahao.baidu.com/s?id=1870841561003110579&wfr=spider&for=pc.

[2] 长沙矿山研究院有限责任公司.企业发展史料汇编[R].长沙:长沙矿山研究院有限责任公司,2025.
Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd. Compilation of historical materials on enterprise development[R]. Changsha: Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., 2025.

[3] 黄麟淇,宋士龙,李夕兵.深部金属矿山热害防控与地热能协同开采技术研究进展[J].采矿与岩层控制工程学报,2026,8(3):231-260.
Huang Linqi, Song Shilong, Li Xibing. Progress and development trend of key technology and equipment for large-scale hoisting of deep wells in metal mines[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2026, 8(3): 231-260.

[4] 罗翔,张颖,徐彤,等.数字化转型对矿业企业绿色创新效率的影响与机制[J].矿业研究与开发,2026,46(7):310-320.
Luo Xiang, Zhang Ying, Xu Tong, et al. Impact and mechanism of digital transformation on green innovation efficiency of mining enterprises[J]. Mining Research and Development, 2026, 46(7): 310-320.

[5] 中国五矿集团有限公司.初心使命篇|长沙矿山院:初心如磐 科技自强[EB/OL].[2026-06-15].https://baijiahao.baidu.com/s?id=1849857211766265181&wfr=spider&for=pc.

[6] 陈彬,黎计辉.助推绿色矿山建设和生态治理修复[N].湘声报,2026-05-29(A02).
Chen Bin, Li Jihui. Promoting the construction of green mines and ecological restoration[N]. Xiangsheng News, 2026-05-29(A02).

[7] 郭远发,周贺彬,刘伟,等.柿竹园多金属矿细尾砂胶结充填胶凝材料优选及应用研究[J].采矿技术,2026,26(2):185-190.
Guo Yuanfa, Zhou Hebin, Liu Wei, et al. Optimization and application research of cementing materials for cemented filling using fine tailings in Shizhuyuan Polymetallic Mine[J]. Mining Technology, 2026, 26(2): 185-190.

[8] 杨波,林卫星,曹万宝,等.某金矿复杂难采矿体盘区集中开采方案研究与应用[J].采矿技术,2025,25(5):17-22.
Yang Bo, Lin Weixing, Cao Wanbao, et al. Research and application of centralized mining plan for complex and difficult to mine bodies in a certain gold mine[J]. Mining Technology, 2025, 25(5): 17-22.

[9] 蔡美峰,谭文辉,吴星辉,等.金属矿山深部智能开采现状及其发展策略[J].中国有色金属学报,2021,31(11):3409-3421.
Cai Meifeng, Tan Wenhui, Wu Xinghui, et al. Current situation and development strategy of deep intelligent mining in metal mines[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(11): 3409-3421.

[10] 金永平,董向阳,万步炎,等.深海金属采矿装备与技术发展现状及分析[J].煤炭学报,2024,49(8):3316-3334.
Jin Yongping, Dong Xiangyang, Wan Buyan, et al. Research status and analysis of deep-sea metal mining equipment and technologies[J]. Journal of China Coal Society, 2024, 49(8): 3316-3334.

[11] 曹忠祥.我国海洋战略资源开发现状及利用前景[J].中国经贸导刊,2012(6):38-40.
Cao Zhongxiang. China's marine strategic resources development status and utilization prospects[J]. China Economic & Trade Herald, 2012(6): 38-40.

[12] 赵莉.研究型大学本科人才培养质量提升研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2017.
Zhao Li. A study of the promotion of the ouality of undergraduate education in research universities[D]. Beijing: China University of Mining and Technology-Beijing, 2017.