

关于中国黄金增储上产技术创新的几点思考

龙涛^{1,2}, 侯俊^{2,3,4*}

(1. 中国黄金集团有限公司; 2. 深部金属矿采动地压灾害防控国家矿山安全监察局重点实验室;

3. 长春黄金研究院有限公司; 4. 东北大学资源与土木工程学院)

摘要:黄金储备是国家货币信用的重要支撑,在国家经济中扮演着关键角色。黄金增储不仅能够增强国家的金融信用和稳定性,而且在应对经济危机、通货膨胀和国际收支失衡等方面发挥重要作用。系统梳理中国近年来黄金增储上产技术创新面临形势、主要挑战与关键技术、工作基础等,分析如何通过技术创新提高黄金资源储量和产量,重点阐述了中国黄金矿山在资源勘查、开采、选冶、环保和加工等方面技术创新的关键问题,并根据技术创新的主要挑战与关键技术提出了相关工作建议。虽然中国黄金矿山正逐步向自动化和智能化转型,开采效率和安全性显著提高,但金元素“稀、细、伴”的特征及金矿床类型多样性等特征决定了中国黄金增储上产技术创新面临诸多挑战,如认知金矿成矿规律难度大,低品位金矿勘探技术较为缺乏,黄金资源采选冶及综合利用效率低,资源开发场景智能化应用程度低等。当前,中国黄金具备应对挑战的能力,通过完善金矿找矿信息快速提取技术、研发高寒高海拔金矿绿色开采技术、加强智能矿山建设、强化多金属同步富集及绿色选冶协同技术研发、提升高纯金制备及痕量杂质深度脱除技术、推动黄金全产业链分析测试技术发展、构建黄金开发领域全产业链互联互通与模式重构等技术创新实现增储上产,以提升中国黄金核心竞争力,促进行业可持续发展。

关键词:黄金行业;增储上产;技术创新;资源开发;可持续发展;自动化;智能化

中图分类号:TD-0 TD15

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)05-0001-06

doi:10.11792/hj20250501

引言

随着全球经济形势不确定性增加及国际金融市场波动性加剧,黄金作为一种重要避险资产,其战略地位和价值日益凸显,黄金储备和生产能力直接影响国家金融安全 and 经济发展。自2004年以来,中国黄金资源量连续增长^[1]。2014年以来,中国5大黄金集团(中国黄金集团有限公司、山东黄金集团有限公司、紫金矿业集团股份有限公司、山东招金集团有限公司、赤峰吉隆黄金矿业股份有限公司)在全球范围内的黄金资源量持续增长,2022年已经占全球黄金资源量的10%。目前,这5大黄金集团中有3家黄金集团黄金资源量超过2 000 t,这3家黄金集团黄金年产量均位居全球大型黄金企业前二十^[2]。中国作为黄金生产和消费大国,黄金消费市场正朝着多元化和高品质化方向发展,预计未来仍将保持稳定增长态势。

中国共产党第二十次全国代表大会报告强调,要“巩固优势产业领先地位,在关系安全发展的领域加

快补齐短板,提升战略性资源供应保障能力”;“十四五”规划纲要明确,“加强战略性矿产资源规划管控,提升储备安全保障能力,实施新一轮找矿突破战略行动”;2023年底召开的中央经济工作会议明确要求,“加强资源节约集约循环高效利用,提高能源资源安全保障能力”。因此,黄金作为战略性矿产资源,其增储上产是保证中国经济安全与金融稳定的重要举措。中国黄金增储上产技术在多个方面取得了显著进展,而技术创新则是推动这一进程的关键动力^[3]。目前,中国黄金行业正在通过科技创新推动高质量发展^[4],重点方向包括深部黄金资源高效开发利用、生产流程绿色化、产业链智能化和高端贵金属材料研发及应用等。在金矿找矿方面,成立了黄金找矿联盟,旨在通过地质科技创新和多方合作,推进金矿找矿工作,实现找矿突破。在黄金加工工艺方面,高端技术应用显著提升了黄金制品的韧性和耐用性,同时兼顾环保和可持续性,并通过拓展黄金产业链,构建了“品牌化、标准化、规范化、信息化”的黄金流动体系。通过技术

收稿日期:2025-02-11; 修回日期:2025-03-03

基金项目:深地国家科技重大专项(2024ZD1003800)

作者简介:龙涛(1980—),男,正高级工程师,博士,从事矿业工程技术研究及管理工作;E-mail:longtop7@163.com

*通信作者:侯俊(1989—),男,高级工程师,博士研究生,从事金属矿山采矿技术研究及管理工作;E-mail:281548063@qq.com

创新,可提高黄金资源利用率,实现降本增效和绿色发展^[5],在全球竞争中保持领先地位。本文结合中国黄金增储上产技术创新面临形势,分析了主要挑战与关键问题,并针对现有问题阐述了几点思考,以推动中国黄金行业高质量可持续发展。

1 面临形势

1.1 供应方面

黄金供应主要来自矿产金和再生金。2024年,中国总计生产黄金534.106 t(包括国内原料产金和进口原料产金),同比增长2.85%。其中,国内原料产金377.242 t,比2023年增加2.087 t,同比增长0.56%;进口原料产金156.864 t,同比增长8.83%^[6]。矿山生产虽然为黄金主要来源,但中国金矿规模较小,中小型矿山占比较大,矿体赋存条件多变,难采难处理黄金资源占30%~40%,开发利用难度较大,金矿实际储量难以满足经济发展与需求,且由于黄金生产周期长、成本高,增产面临挑战。相比之下,再生金虽成本较低,但其主要依赖于回收率和市场供需变化,产量不稳定。

1.2 需求方面

中国黄金需求强劲,尤其在首饰加工、工业制造和投资领域。根据中国黄金协会有关数据,2024年,中国黄金消费量为985.31 t。其中,黄金首饰消费量为532.02 t,金条及金币消费量为373.13 t,黄金首饰和金条金币共占中国黄金消费总量的91.9%;工业及其他用金消费量为80.16 t,占中国黄金消费总量的8.1%^[6]。随着全球经济不确定性增加,投资者对避险资产的需求上升,进一步推动了对黄金的需求,各国央行更倾向于增加黄金储备以优化外汇储备结构^[7],应对潜在的金融风险。黄金供需关系和各国在黄金增储方面的竞争会直接影响其价格,进而影响国家或企业增储策略^[8]。

1.3 市场动态

黄金市场受多种因素影响,包括宏观经济环境、货币政策和汇率波动等^[9],这些因素变动会直接影响黄金价格和供需平衡^[10]。由于市场波动引发的黄金投资者情绪变化会影响增储决策,在经济繁荣时期,投资者可能更倾向于投资股票等高风险资产,而在经济低迷时则会转向黄金等避险资产。

1.4 技术发展

当前中国黄金勘探水平显著提升,黄金产量亦逐年上涨,并蝉联世界首位多年。在科研院所、高校和黄金矿山企业的共同努力下,中国金矿开发取得了诸多科技成果。例如:在金矿勘探方面,地球化学勘探、地球物理勘探和卫星遥感勘探等技术^[11]的应用,使探

明金矿储量稳步增长,黄金资源预测评价和勘查技术体系对提升黄金储量评估准确性和促进资源合理配置与有效开发提供了科学依据。在采矿方面,薄矿脉金矿智能精细化开采理论与技术体系通过集成智能化技术和精细化管理^[12],实现了薄矿脉金矿的智能化高效利用,从而提升了经济效益和安全性。在选冶方面,低品位金矿精细化分离与协同集约化利用技术是实现资源高效利用和环境保护的重要手段^[13],生物氧化、原矿焙烧和湿法冶炼等技术^[14-15]的应用既提高了黄金回收率,又减少了资源浪费。在环保方面,无氰提金技术^[16]、废水处理技术和尾矿综合利用技术等黄金生产中的应用,降低了黄金资源开发对环境的影响,共同推动了中国黄金开采行业的可持续发展。

1.5 矿山发展现状

中国黄金矿山已经实现了向机械化方向转型,同时在自动化和智能化开采技术的加持下,优化了开采流程,减少了能源消耗,从而大大提高了开采效率和安全性。2024年,中国大型黄金企业境内外黄金产量表现良好,境内矿产金为298.408 t,境外实现了71.937 t的矿产金,同比增长19.14%^[6]。尽管中国黄金资源分布变化大、大型优质金矿资源较少、老矿山易开采资源逐年递减,但黄金矿山正在通过技术创新和优化生产布局来应对资源量减少的挑战。

1.6 产业结构优化

中国黄金行业正积极响应高质量发展要求,通过深化供给侧结构性改革,淘汰落后产能,整合优质黄金资源,从而提升整体产业效率和竞争力。黄金行业内部通过资源整合、并购重组和技术转型升级,为相互间的优势互补、合作共赢和推动中国黄金产业升级提供了有力保障^[17]。目前,中国黄金新发展格局正逐步形成,集中度进一步提高,市场竞争力明显提升,推动了行业高质量发展。

2 主要挑战

2.1 认知金矿成矿规律难度大

金元素“稀、细、伴”的特征及金矿床类型多样性等导致认知金矿成矿规律难度大。金元素在地壳中的含量极低,常以微细粒形式赋存于矿石中,这意味着在自然界中不易形成大规模的连续矿体。例如:自然金在原矿中主要存在于矿物颗粒中和裂隙间,占比约为76%;而其余部分则包裹嵌布于黄铁矿中,占比约为24%^[18-19]。由于金元素通常会与其他矿物伴生,需要同时处理多种矿物,使得金矿处理和提炼过程更为复杂^[20]。根据金矿床不同地质条件和成因机制可分为多种类型,包括岩金矿床、火山热液型金矿床、沉积岩型金矿床和变质型金矿床等^[21],金矿床的形成往

往受复杂地质条件影响,如地质构造活动、岩浆活动、水文地质条件等,这些因素增加了对成矿规律认知的难度^[22],在这些因素共同作用下,使得金矿床的勘查和开发面临诸多挑战。

2.2 低品位金矿勘探技术较为缺乏

低品位金矿勘探技术是一个综合性技术体系,需要结合多种技术手段和方法。中国在低品位金矿勘探方面的技术储备较为薄弱,缺乏针对不同矿床类型的有效勘查技术和方法,这限制了在复杂地质条件下的金矿勘探^[23]。此外,低品位金矿中通常含有砷、铅和硫等有害杂质,如何在成本可控的前提下提高低品位金矿的勘探效率依然是一个关键问题,同时中国在低品位金矿勘探技术的研发投入相对较少,这导致了先进技术和设备的研发及应用滞后^[24],难以满足实际勘探需求。

2.3 黄金资源采选冶及综合利用效率低

中国黄金资源分布广泛,但地质条件复杂、开采难度大。金元素在地壳中的含量极低、分布不均,意味着需要处理大量矿石才能提取少量黄金,这对采选冶技术提出了较高要求。黄金在矿石中的颗粒通常非常细小,细粒金矿的处理需要更为精细和高效的选冶技术,传统选矿方法难以有效回收细粒金^[25]。此外,金常与其他金属共生,如铜、铅、锌等^[26],这导致矿石成分复杂,在选冶过程中,需要处理多种矿物分离问题,增加了工艺的复杂性和成本,并影响金的回收率和品质。同时,随着环保意识的提高,金矿开采和选冶过程中的环保要求也越来越高,增加了开采和选冶的难度和成本^[27]。

2.4 资源开发场景智能化应用程度低

国外黄金矿业公司在资源开发中正逐渐广泛应用物联网、人工智能和大数据分析等技术,通过高效数据管理提升决策能力和运营效率^[28]。例如:澳大利亚日出坝金矿通过与Maptek和MinLog等合作,成功部署了智能矿山管理系统MineSuite,实现了矿山进度计划与井下生产现场之间的无障碍沟通。该系统能够完整有效连接企业经营生产链的各个环节,提高了生产效率和管理水平^[29]。而中国在黄金资源开发智能化应用方面尚处于起步阶段^[30],虽然一些矿山实现了穿孔、爆破等单一或几个联合业务模块的数字化管控,但整体智能化程度不高。中国在高精度传感器、智能控制系统和数据分析技术等方面存在明显短板,这也限制了智能化应用的深度和广度。

3 技术创新主要进展

3.1 金矿精细化勘探技术

强化金矿精细化勘探技术旨在提高黄金资源的

勘探精度和效率,降低勘探成本。当前,金矿精细化勘探技术主要有:地球化学勘探、地球物理勘探和卫星遥感勘探等^[31]。随着勘探技术不断进步,金矿精细化勘探技术也在不断创新和完善,一些新兴技术正在被广泛使用,激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)、电子探针显微分析仪(EPMA)等新型分析仪器,将进一步提高金元素分析的精度和速度^[13]。精细化勘探技术能够帮助高效发现和开发金矿资源,以满足市场需求,是提高找矿成功率和资源利用率的重要手段,对黄金矿业可持续发展具有重要意义。

3.2 金矿绿色开采技术

研发金矿绿色开采技术符合当前社会和政策的要求,有助于环境保护及提高资源利用效率。近年来,各国政府相继出台了一系列关于矿山开采的环保法律法规,推动绿色开采技术的发展。国家矿山安全监察局发布的《关于加强非煤矿山安全生产工作的指导意见》,强调了绿色开采的重要性,要求企业在开采过程中采取更多环保措施。除尾矿处理与资源回收、矿山生态修复与评价^[32]、水资源管理、技术创新与设备升级外^[33-34],绿色开采技术在开采条件允许情况下,通过使用绿色充填采矿技术,利用矿石废料或其他材料进行回填,可减少地表扰动和废弃物堆放对环境的影响^[35]。虽然绿色开采技术初期投资较高,但从长远来看,通过减少环境治理成本,能够为企业带来更高的经济效益。

3.3 金矿清洁选冶高质利用技术

金矿清洁选冶高质利用技术不仅关注于金元素的高效提取,还强调环境保护和资源综合利用。传统选矿方法如浮选、磁选、重选等会产生大量尾矿和废水,难以达到清洁生产标准。生物冶金技术作为一种新兴的清洁选冶方法,利用微生物的代谢活动从矿石中提取金属,具有环境友好的技术特点^[36]。同时,为了最大化利用金矿资源价值,需要采用高效的选冶技术,这包括优化破碎和磨矿工艺、改进重选和浮选技术,以及采用先进的自动化控制系统。除了提取金元素外,还可对尾矿进行资源化利用,金尾矿中含有银、铜、铅等有价值成分及石英、长石等非金属矿物,通过焙烧、浸出和浮选等方法可回收其中有价成分,从而实现资源综合高效利用。

3.4 黄金技术标准

黄金技术标准对提升中国国际竞争力和推动行业发展起到了关键作用。黄金技术标准确保了黄金及其制品的纯度、安全性和可靠性。通过采用明确的纯度标记和检测方法,消费者可准确识别黄金产品的真伪和质量,维护了市场的公平竞争环境,确保了交

易的透明度和规范性。通过参与国际标准制定,中国黄金能够在国际市场占据更有利的位置,打破贸易壁垒,推动黄金产业升级和技术创新。中国黄金技术标准在提升产品质量、保障消费者权益、推动行业健康发展和增强国际竞争力等方面发挥了重要作用,是黄金市场健康、稳定发展的基石。

3.5 智能化发展

中国黄金产业智能化发展的重要性在于降本增效、增加安全性和促进环保,并可推动整个黄金产业高质量发展。智能化技术如自动化采矿设备和远程操作技术,可优化黄金开采、选冶和分析测试^[37-38]等生产环节,从而显著提高黄金矿山的开采效率,降低人力成本和安全风险。智能化转型有助于黄金产业的整体升级,提高竞争力和创新能力,通过数字化转型,黄金企业可以实现业务标准的统一和流程的规范,最终达到一体化管控的目的。在全球化背景下,智能化发展可帮助中国黄金更好地参与国际合作,提升国际市场竞争能力。

4 未来技术创新的几点思考

4.1 完善金矿找矿信息快速提取技术

金矿找矿信息快速提取技术主要依赖于地质、地球化学勘探、地球物理勘探和卫星遥感勘探等^[39],从不同角度分析研究地质体,提取矿产资源潜在的重要信息,并相互验证,以提高金矿的发现概率和准确性,为资源开发提供强有力的支持^[40]。金矿找矿信息快速提取技术在提高勘探效率、降低成本、发现新矿点和推动技术创新等方面发挥了重要作用^[41]。随着金矿找矿信息快速提取技术的不断提升,不仅会促进矿业本身进步,而且还会带动地质勘查、仪器制造、数据分析等相关产业的进一步发展和完善,形成更为完整的产业链条,从而推动整个黄金矿业的现代化进程。

4.2 研发高寒高海拔金矿绿色开采技术

近年来,中国在高寒高海拔地区的金矿勘查成效显著,但高寒高海拔地区金矿开采面临诸多挑战,如极端气候条件、生态环境脆弱、人力和设备运作效率低等^[42-43]。高寒高海拔金矿绿色开采技术是近年来随着技术进步而发展起来的一种新型采矿方式,通过科技创新,目前已经解决了高寒高海拔环境下绿色高效采矿、大流量膏体充填等关键技术难题,在应对高寒高海拔地区特殊环境挑战的同时,减少了对环境的影响。通过引入智能化和高原适应性的开采设备,可提高开采效率,减少对环境的影响,实现安全高效环保的发展目标。

4.3 加强智能矿山建设

智能矿山建设涵盖智能设备研发、数据融合与共

享、通信与网络建设、感知与决策、安全与管理等多个重要环节,需要通过持续的技术创新和综合解决方案来逐步实现。提高矿山开采设备的自动化水平,增加设备的感知、决策、控制和智能化功能,实现从单机向成套装备的智能转变。研发统一的通信平台,实现开采装备通信接口、协议的兼容,制定统一的数据标准,解决不同系统之间数据格式不一致、难以协同操作的问题,实现井下非接触式全面感知与多源信息融合,提高数据处理与精准预测能力。开发多功能、多参数的智能传感器,实现对矿山资源、材料、设备和人员的全面监控与自动化操作,提高工作效率和安全性。

4.4 强化多金属同步富集及绿色选冶协同技术研发

多金属同步富集及绿色选冶协同技术可实现多种金属的同步提取和富集,并在整个过程中保持工艺流程的协同性和高效性,被广泛应用于现代冶金工业,特别是在复杂铜基多金属固废的绿色回收与无害化处置中^[14]。采用高效选冶联合工艺,可以从复杂的多金属矿石中最大限度地回收黄金,还可从尾矿和其他废弃物中回收有价值的金属,从而提高资源整体利用率。多金属同步富集及绿色选冶协同技术通过优化工艺流程,可减少传统单一金属提取的能耗和试剂消耗,从而降低生产成本^[44]。强化多金属同步富集及绿色选冶协同技术研发,减少固体废弃物排放和提高资源循环利用率,不仅符合绿色冶金理念,形成环境友好型的生产工艺,还可以降低生产成本,提升经济效益,同时促进绿色冶金的发展。

4.5 提升高纯金制备及痕量杂质深度脱除技术

通过溶解、还原、洗涤和电解等步骤,高纯金制备技术能够有效去除金中的杂质,提高制备纯度^[45],痕量杂质深度脱除技术,如LA-ICP-MS和电解法^[46],能够精准检测和去除痕量杂质,这不仅提高了产品质量,而且还可减少不必要的物料损耗。高纯金制备及痕量杂质深度脱除技术通过提高黄金纯度、优化生产工艺来满足高端市场需求,增强国际竞争力和促进技术创新,并提升了黄金产品的质量和市场价值,从而拉动黄金消费增长,促进整个黄金产业的可持续发展,对黄金上产具有重要意义。

4.6 推动黄金全产业链分析测试技术发展

黄金全产业链涉及多个环节,包括开采、选冶、加工和销售等,分析测试技术在每个环节中发挥着至关重要的作用,以确保黄金质量和纯度。在开采环节,分析测试技术帮助地质勘探人员准确识别和评估矿石中的金含量。在选冶环节,将提取出的粗金进一步提纯,并精确测定金纯度。在加工环节,分析测试技术有助于确保黄金产品质量的一致性和可靠性,满足市场对高品质黄金产品的需求。在销售环节,高质量

的黄金产品更容易获得市场认可,以促进市场的健康发展。推动黄金全产业链分析测试技术发展不仅能提升黄金产品的质量控制水平,还可推动整个产业链的规范化进程,对于促进黄金行业的健康、可持续发展具有重要意义。

4.7 构建黄金开发领域全产业链互联互通与模式重构技术

黄金开发领域全产业链包括金矿资源勘探和开采、选冶,以及黄金的消费和投资,通过大数据、云计算等技术,可实现黄金产业链各环节的数据互通和共享。黄金产业园建设是推动全产业链互联互通的重要举措,形成集矿山开采、冶炼、加工、销售于一体的产业集群,实现产业链的集聚效应和协同发展,以优化黄金产业链各环节的信息共享和资源配置。上游的矿产资源开采与中游的黄金加工可通过数据平台实现无缝对接,减少信息不对称的影响,提高资源利用率。模式重构技术如工业互联网平台,能够促进产业链各环节的高效协同,通过在线发布研发需求、共享研发资源和协同研发业务等功能,降低创新门槛,加快新产品研发速度,提升整个产业链的运行效率。通过模式重构技术,可推动传统黄金制造业向智能化、绿色化转型,提升产业层次和竞争力,推动行业的可持续发展。

5 结 语

围绕中国黄金增储上产技术创新驱动发展进行了初步思考和探索,分析了面临形势、主要挑战和关键技术,并提出了相应工作建议等。在全球经济形势复杂多变的背景下,中国黄金增储上产技术创新机遇与挑战并存,尽管目前低品位金矿勘探技术较为缺乏、黄金资源采选冶及综合利用效率低、黄金资源开发场景智能化应用程度低等因素对中国黄金发展和增储上产构成了一定压力,但强劲的黄金需求和国家政策的支持为黄金行业可持续发展提供了动力。通过完善并提升低品位金矿勘探技术和金矿绿色开采技术、加强智能矿山建设、强化多金属同步富集及绿色选冶协同技术研发、提升高纯金制备和黄金全产业链分析测试技术,以及构建黄金开发领域全产业链互联互通与模式重构等技术创新,中国黄金行业能够有效应对当前挑战,实现高质量发展。未来,国家和企业需密切关注全球市场动态,灵活调整增储策略,以确保中国黄金资源长期稳定供应。只有在技术、经济、政策及环保等多方面综合施策,中国黄金才能在激烈的国际竞争中立于不败之地,为国家经济安全和可持续发展贡献更多力量。

[参 考 文 献]

- [1] 许勇.从国家高度进一步明确黄金战略地位[N].中国黄金报,2022-03-08(003).
- [2] 中国黄金行业领军之路[N].中国黄金报,2024-07-26(002).
- [3] 罗娜.以科技创新为核心驱动力 保障矿产资源安全[N].中国有色金属报,2023-05-09(008).
- [4] 吕慧.黄金矿山高质量发展模式探析——以内蒙古太平矿业有限公司为例[J].黄金,2024,45(8):68-71.
- [5] 李红兵,高帮飞.岩金矿床资源储量估算品位区域的确定及其意义[J].黄金,2021,42(4):6-11.
- [6] 中国黄金协会.2024年我国黄金产量377.24吨,同比增长0.56%,黄金消费量985.31吨,同比下降9.58%[EB/OL].(2025-01-24)[2025-01-25].<https://www.cngold.org.cn/news/show-4920.html>.
- [7] 王晓芳,杨永健.外汇储备、黄金储备和国际负债对人民币国际化的影响——基于VAR模型的实证分析[J].经济问题探索,2021(8):94-104.
- [8] 王洪飞.不同价格条件下黄金生产矿山供应能力分析[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
- [9] 孙立行,刘子恒.全球安全资产变化对各国黄金储备的影响[J].金融发展,2024(1):1-20.
- [10] 陈喜峰.全球金矿资源分布特征、勘查开发格局及展望[J].中国矿业,2024,33(10):64-73.
- [11] 王燕东.2009—2019年我国金矿资源勘查形势分析与对策[J].中国矿业,2020,29(11):7-13.
- [12] 周佳琦,任玉东.黄金矿山急倾斜薄矿脉开采工艺及发展趋势[J].黄金,2022,43(9):35-38.
- [13] 邱曼,黄学雄,毛益林,等.我国金矿资源概况及选冶技术研究进展[J].矿产综合利用,2023(2):106-115.
- [14] 颜艺.黄金选冶的新技术与发展趋势[J].冶金与材料,2024,44(2):133-135.
- [15] 王雨桐,艾光华,肖国圣.微生物技术在矿物选冶过程中的研究进展[J].矿产综合利用,2022(5):90-94,107.
- [16] 赵剑波,杨佳,单江北,等.无氰环保浸出药剂对图古日格金矿的可行性研究[J].内蒙古科技与经济,2024(13):114-117.
- [17] 张灿,孟明亮,王春林,等.建立健全中国矿产资源资本化市场的思考与启示[J].黄金,2024,45(10):72-75.
- [18] 蒋大虎,冯亮,马健.新疆北山地区金矿成矿地质条件与成矿规律研究[J].世界有色金属,2021(1):94-95.
- [19] 李俊海,吴攀,刘建中,等.黔西南两类容矿围岩金矿对比及对深部找矿勘查的指示[J].黄金,2023,44(7):29-36.
- [20] 张文专.塔吉克斯坦乔列金矿田地质特征与成矿规律浅析[J].资源信息与工程,2021,36(1):9-11.
- [21] 李玉坤,彭建堂,邓穆昆,等.湘西合仁坪金矿床角砾岩的地质特征及形成机制[J].矿床地质,2016,35(4):641-652.
- [22] 樊松浩,苏攀云,侯秀宏.中国金矿资源特征及成矿规律概要[J].中国金属通报,2022(9):47-49.
- [23] 杨秀峰.金矿地质找矿勘查技术的趋势与发展研究[J].中国金属通报,2024(3):10-12.
- [24] 蔡咏欣.我国低品位、难选冶矿产资源勘查和综合利用现状述评[J].科学技术创新,2019(2):156-157.
- [25] 胡瑞彪,张璐,张建刚.金矿选矿技术研究进展[J].现代矿业,2024,40(8):158-161.
- [26] 彭苏怡,杜佳盼,王海鹰,等.典型有色采选冶固废资源环境属性解析[J].环境工程,2024,42(4):212-224.
- [27] 殷璐,金哲男,杨洪英,等.我国黄金资源综合利用现状与展望[J].

- 黄金科学技术, 2018, 26(1): 17-24.
- [28] 江鹤, 程德强, 乙夫迪, 等. 新一代信息技术在智能矿山中的应用综述[J]. 工矿自动化, 2024, 50(11): 1-16.
- [29] 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): 3 409-3 421.
- [30] 方江杰, 林东, 罗腾, 等. 非煤智慧矿山建设与展望[J]. 智能矿山, 2024, 5(10): 85-91.
- [31] 毕有柱. 关于深部金矿资源勘查的因素分析及找矿前景[J]. 世界有色金属, 2024(3): 62-64.
- [32] 张丽颖, 赵爽. 基于层次分析法的黄金行业绿色矿山评价体系研究[J]. 黄金, 2024, 45(9): 96-100.
- [33] 夏源, 涂光远, 廖骐, 等. 黄金矿山生态修复: 现状、挑战与展望[J]. 黄金, 2024, 45(12): 1-7.
- [34] 郝美英, 李亮, 赵冠楠. 我国黄金行业绿色矿山建设规范解读[J]. 中国矿业, 2018, 27(8): 80-84, 87.
- [35] 王福中. 黄金矿山深部高效开采技术及安全管理研究[J]. 中国金属通报, 2023(10): 29-31.
- [36] 沈政昌, 李仕亮, 史帅星, 等. 低碳选矿技术发展现状及发展策略研究[J]. 绿色矿山, 2023, 1(1): 48-55.
- [37] 陈永红, 孟宪伟, 王立臣. 2019—2020年中国金分析测定的进展[J]. 黄金, 2022, 43(1): 105-112.
- [38] 齐剑, 潘成龙, 田惠敏. 我国黄金行业发展趋势及政策建议[J]. 中国市场, 2021(15): 1-8.
- [39] 郎朗, 范鹏, 黄赞. 金矿勘查中勘查技术的应用要点分析[J]. 中国金属通报, 2024(3): 125-127.
- [40] 孙伟光. 金矿地质找矿勘查技术的趋势与发展[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(13): 150-152.
- [41] 杨才波. 金矿等战略性矿产资源勘查分析[J]. 世界有色金属, 2024(1): 160-162.
- [42] 高峰, 周科平, 熊信. 我国高海拔寒区金属矿产资源开采现状及关键问题[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(10): 1-5.
- [43] 黄毅, 张燕, 黎常青. 某高寒高海拔矿山智能化建设探讨[J]. 矿冶工程, 2022, 42(3): 5-9.
- [44] 刘泽铭, 傅开彬, 钟秋红, 等. 生物炭协同微生物修复四川某铜矿选冶渣重金属复合污染研究[J]. 金属矿山, 2023(9): 240-246.
- [45] 董海刚, 赵家春, 吴跃东, 等. 高纯金制备技术研究进展[J]. 贵金属, 2022, 43(2): 76-80.
- [46] 庞嘉晨. 旋转偏析强化电子级废铜中微量杂质脱除机理[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.

Reflections on technological innovations for increasing China's gold reserves and production

Long Tao^{1,2}, Hou Jun^{2,3,4}

(1. China National Gold Group Co., Ltd.;

2. Key Laboratory of Ground Control Management Plan in Deep Metal Mines, National Mine Safety Administration;

3. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.; 4. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University)

Abstract: Gold reserves are a crucial pillar of national monetary credit and play a key role in the economy. Increasing gold reserves not only enhances a nation's financial credibility and stability but also serves as an important tool for addressing economic crises, inflation, and international imbalances of payments. This paper systematically reviews the current situation, major challenges, key technologies, research foundation, and recommendations concerning technological innovations for increasing gold reserves and production in China. It explores how technological innovations can improve gold resource reserves and output, with a focus on critical innovations in gold mine exploration, mining, beneficiation, metallurgy, environmental protection, and processing in China. Moreover, suggestions are proposed according to the major challenges and key technologies of technological innovations. While China's gold mining industry is gradually transitioning towards automation and intelligentization, with significant improvements in mining efficiency and safety, several challenges to technological innovations for increasing gold reserves and production in China remain due to the characteristics of gold deposits, such as the scarcity, fine particle size, and complex mineral associations of gold, as well as the diversity of gold deposit types, such as difficulties in understanding gold mineralization patterns, a lack of effective exploration technologies for low-grade gold ores, low efficiency in gold resource mining, beneficiation, metallurgy and comprehensive utilization, and limited intelligent applications in resource development scenarios. Currently, China possesses the capability to tackle these challenges by advancing key technological innovations, such as rapid extraction of gold prospecting information, green mining technologies for high-altitude and cold regions, intelligent mine construction, multi-metal synchronous enrichment and green metallurgy synergy technologies, high-purity gold preparation and deep removal of trace impurities, whole-industry-chain analysis and testing technologies, and construction of whole-industry-chain integration, communications and patterns reconstruction. These innovations are essential for increasing gold reserves and production, enhancing the core competitiveness of China's gold industry, and promoting its sustainable development.

Keywords: gold industry; increasing reserves and production; technological innovation; resource development; sustainable development; automation; intelligentization