

综合评述

全球铜矿开发利用技术发展趋势

杨卉芄^{1,2,3}, 王威^{1,2,3}, 柳林^{1,2,3}, 曹飞^{1,2,3}

1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006;
2. 自然资源部多金属矿综合利用评价重点实验室, 河南 郑州 450006;
3. 河南省黄金资源综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006

中图分类号: TD862.1; TD952.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)05-0134-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.05.019

摘要 铜是重要的战略性矿产,是实现未来社会可持续发展的重要原料。全球城市化、工业化、自动化和数字化的发展,尤其是可再生能源产业和电动汽车等新兴产业的快速发展促进了铜市场需求的持续增长。总结了全球前十大铜矿企业开发利用新技术和创新发展趋势,从矿山数字化、智能化、自动化、安全、环境保护和新技术及新装备六个方面进行了阐述和分析,以期推动铜矿产业高质量绿色发展。

关键词 铜矿;数字化;智能化;自动化;安全;环境保护;采矿;选矿

前言

铜是人类最早使用的金属之一,因具有优良的导电性、导热性、延展性、耐腐蚀性和耐磨性等优良性能,被广泛地应用于电力、电子、能源、石化、机械、冶金、交通、轻工和新兴产业等领域。铜是我国最重要的战略性矿产资源之一^[1],也是实现未来社会可持续发展的重要原料。全球城市化、工业化、自动化和数字化的快速发展,尤其是可再生能源产业和电动汽车等新兴产业的高速发展促进了铜市场需求的持续增长。铜矿的开采涵盖了露天采矿、地下采矿、露天转地下采矿等多种采矿形式^[2],硫化铜矿的加工提取工艺以破碎、磨矿和浮选为主;氧化铜矿的加工提取工艺以破碎、堆浸、萃取和电积工艺为主^[3]。铜矿床类型众多,采矿方式多样,其巨大的矿石开采量和选矿处理量使得铜矿的开采和选矿技术水平在很大程度上代表着全球矿业技术的发展水平和发展方向。

根据标普全球(SPGI)公司统计,2020年,全球前十大铜矿企业(以2020年铜产量排序)分别为Corporación Nacional del Cobre、Glencore plc、BHP Group、Freeport - McMoRan Inc.、Southern Copper Corp.、First Quantum Minerals Ltd.、KGHM Polska Miedz

S. A.、Rio Tinto Group、Antofagasta plc 和 Anglo American plc(具体见表1),其铜产量合计为918.58万t,占全球铜产量的43.58%,基本代表了全球铜矿开发利用技术水平和发展前沿。本文对全球前十大铜矿企业开发利用技术创新发展趋势进行了综述和分析,针对

表1 全球前十铜矿企业产量及资源概况

Table 1 The production and resources of the world's top ten copper mining enterprises

排序	公司	所属国家	铜产量 / 万 t	全球产量 份额 / %	储量 / 万 t (金属量)	Cu 平均 品位 / %
1	Corporación Nacional del Cobre	智利	172.7	8.20	5 100	0.67
2	Glencore Xstrata Plc	瑞士	135.1	6.41	4 810	0.88
3	BHP Billiton Ltd	澳大利亚	121.3	5.76	4 382	0.7
4	Freeport - McMoRan	美国	117.7	5.58	6 213	0.44
5	Southern Copper Corp.	美国	99.3	4.71	7 464	0.31
6	First Quantum Minerals	加拿大	73.4	3.48	1 190	0.66
7	KGHM Polska Miedz SA	波兰	54.1	2.57	2 141	1.02
8	Rio Tinto Group	英国	49.7	2.36	3 130	0.69
9	Antofagasta Plc	智利	48.9	2.32	2 237	0.49
10	Anglo American Plc	英国	46.2	2.19	3 534	0.73
	合计		918.58	43.58	46 831	
	全球		1 903.5	100.00	72 000	

收稿日期: 2021-09-01

基金项目: 地质调查项目(DD20211408), 地质调查项目(DD20201174)

作者简介: 杨卉芄(1962-), 男, 新疆疏附人, 研究员, 长期从事矿产综合利用研究工作。

通信作者: 王威(1983-), 男, 河南沈丘人, 副研究员, 长期从事矿产综合利用研究工作。

矿山数字化、智能化、自动化、安全、环境保护和新技术新装备等铜矿技术发展的六个方面进行概述,以期为中资企业境外铜矿开发和国内铜矿业发展提供参考。

全球工业产业正向数字化、智能化、自动化方向转型发展,未来的时代将发展为数字时代,由“数字”连接和“人工智能”系统收集和分析数据信息,人工智能做出最佳决策和控制,从而推动生产率的提高和全球经济的发展。

采矿业也正处于转型发展的阶段。虽然在过去十年中采矿业一直处于设备自动化和移动设备无人控制应用领域的前沿,但其数字转型工作进展仍然缓慢。根据全球最大的十家铜矿公司的创新发展策略来看,铜矿产业技术发展主要围绕着矿山数字化、智能化、自动化、安全、环境和新技术新装备六个方面进行。

1 数字化

数字化通常包含将矿山的全部生产要素如空间、地理位置、地质、矿床等信息属性数据化,对采矿场、钻机、凿岩机、铲运机、运输车辆和选冶设备等生产要素采用卫星定位、激光测量、可视化摄像及各种传感器采集全面的信息数据,并通过光纤、卫星和 Wi-Fi 等无线通讯网络传送到矿山控制中心储存和加工处理,这些数据主要应用在矿业勘探、矿山作业系统优化和生产管理系统优化方面。

在矿业勘探方面,Corporación Nacional del Cobre 公司正在建设地理位置信息数字系统,帮助分析解释在勘探过程中获得的数据^[4]。BHP Group 公司使用大数据和人工智能建立了地球物理模型,并重新分析已有的钻探数据,基于大数据研究,2018年11月在南澳大利亚现有的奥林匹克坝铜铀矿床附近又新发现了橡树坝铜矿床^[5]。

在矿山作业系统优化方面,KGHM Polska Miedz SA 公司2018年开始实施 KGHM 4.0 计划,旨在利用大数据、物联网、自动化和数字化技术统一管理公司生产,以提高公司产能和生产效率,该公司正在建设 Rudna 和 Lubin 地下矿山的数字宽带传输系统,计划通过数字化智能管理支持系统来优化矿山作业和维护矿山机械,该公司还研发了新的深部矿床地下开采数字系统,使采矿系统的几何形状自动匹配当地的矿床地质和采矿条件,进行合理的采矿方案设计^[6]。Corporación Nacional del Cobre 公司已通过数据分析,优化了 Chuquicamata 铜矿磨矿和浮选作业,提高了生产效率,降低了生产成本^[4]。BHP Group 公司在 Escondida 铜矿试验场安装了大量传感器,利用实时监测数据来分析矿石的质量和等级,并将其与专用的算法相结合,对堆场矿石进行分类,决定将哪些矿石转移到选矿厂,哪些

矿石转移到浸出厂,从而提高工厂的效率,降低处理成本^[5]。

在生产管理方面,Corporación Nacional del Cobre 公司2019年10月启动了将数据从公司网站的服务器迁移到云服务器平台中,以降低各部门数据中心的复杂性,最大限度地利用云平台,保障系统数据安全,避免技术过时^[4]。Rio Tinto Group 建立了数据收集和分析系统,包括卫星通讯在内的信息系统和计算机系统,使公司所有的矿山、港口和铁路系统能够在统一的管理下运行^[7]。Antofagasta PLC 公司制定了数字路线图,建设了开放的数字化在线协作平台,并且正在评估建设 Antofagasta 远程操作中心,进行数字化传输和数据处理,分析管理实时信息,通过大数据分析等工具优化工艺和生产管理^[8]。

2 智能化

智能化一般是指对传输和储存在控制中心的海量矿山数据,通过数据分析、机器学习、数字孪生和数字模型等工具开发人工智能软件,优化各生产环节调度与管理,提高矿山生产效率,降低生产成本,实现矿山安全和高效生产。智能化的应用主要体现在生产系统优化、智能决策和安全监测方面。

在生产系统优化和智能决策方面,Rio Tinto Group 公司使用数字孪生技术,研发了矿山操作和模拟系统,将工厂实际的数据与历史信息结合起来,通过人工智能和预测软件等强大工具和技术专家团队一起,作出最佳决策,提高包括勘探、采矿、运输和生产矿产品等各环节的生产效率和安全性,研发的技术成果正被推广到包括铜矿项目在内的公司其他项目中^[7]。Freeport-McMoRan Inc. 公司在2018年与麦肯锡的数据科学家合作,分析 Bagdad 铜矿采场和选厂的数千个传感器三年数据,成功地利用大数据、机器学习和数字孪生技术完善了人工智能系统^[9]。完善后的系统通过矿山的实时数据分析,可以预测和融合最有效的采选工序操作设置,并向调度发送命令,以调整采矿和选矿工序按最佳性能执行操作,实现对 Bagdad 铜矿七种不同类型矿石进行不同采选工艺控制操作,Bagdad 铜矿的采矿、选矿及设备使用效率均得到有效提高,产量增加了10%~15%,铜的回收率增加了1%,生产成本降低了10%~15%。公司正计划在公司所有的北美和南美洲铜矿推广该项技术。Anglo American Plc 公司通过数字孪生、机器学习和人工智能技术构建了过程控制模型,实现智能控制,优化设备和工艺性能,智能控制对部分生产工艺环节的操作稳定性和生产效率提高可以达到40%^[10]。

在安全监测系统方面,KGHM Polska Miedz SA 公

司在 Zelazny 矿区建立了基于人工智能和机器学习的尾矿储存设施状况监测系统^[6]。Anglo American Plc 公司正在开发一个实时数据分析平台和智能操作套件,以监测预警工人工作环境,保障工作人员安全^[10]。

3 自动化

伴随着全球工业产业的自动化,矿业自动化在铜矿产业兴起,铜矿企业开始大量使用无人机、机器人、无人自动钻机、无人自动装药机、无人自动凿岩机和无人驾驶运输车辆等自动运行设备,配合智能控制系统,提高了铜矿生产效率,减少了人员伤亡等安全事故。自动化的发展基于自动化设备的发展和进步,在铜矿开发的应用主要集中在采矿、选冶及运输方面。

在采矿方面,Rio Tinto Group 公司建立了 RTVIS™ - 力拓可视化系统,通过一个 3D 引擎,可以帮助操作中心操作员看到矿山所有的现场过程,该系统软件汇集了地质、岩土、钻井、爆破、生产和规划数据,并对地表和地下的矿床特征可视化^[11]。公司还开发了矿山自动化系统 MAS,这些数据通过人工智能分析,可以自动生成矿体模型,帮助组织设备调度、优化工艺、预测和控制矿山爆破。2019 年,Kennecott 铜矿开始大量使用远程操作遥控地形车和无人机进行勘探及危险工作,进行实时 3D 绘图和设施检查,检查矿山斜坡、顶部和岩壁是否存在裂缝和岩石移动迹象等安全风险,使用装有热诊断能力的无人机从空中识别设备是否需要检修。2019 年,Corporación Nacional del Cobre 公司在 El Teniente 铜矿引进了两台自动铲运机(LHDS),进口了三辆无人驾驶运输卡车,这些自动化设备提高了采矿生产效率,提升了坑采矿产量。公司还在 Chuquicamata Subterránea 铜矿部署了 8 台具有相同技术规格的自动化铲运机单元(LHD),于 2020 年第一季度开始运营^[4]。KGHM Polska Miedz SA 公司逐步采用自动机械采矿技术,利用数字化自动控制技术保证采矿、选矿及运输车辆的效率,提高生产过程的自动化水平,降低成本,节省能量消耗,并减少采矿业对环境的影响^[6]。Anglo American Plc 公司开发了自动和连续的岩石机械切割车辆,安全地采取地下的目标矿石,不需要炸药爆破,从而保障了岩石稳定性,提高了回采率和矿石质量,公司与昆士兰大学合作研发先进的智能爆破破碎技术,对大块矿石的爆破破碎减少了大块矿石的破碎成本,可以节能并增加选厂碎矿工序的处理能力,并正在研究利用自动化技术和机器人技术来改造硬岩开采工艺^[10]。

在选冶工艺方面,2019 年,Rio Tinto Group 公司使用机器学习和人工智能技术优化了位于犹他州的 Kennecott 铜矿选矿厂工艺的自动控制系统,通过检测

出的矿石类型,来自动调整工艺,提高了矿物的回收率和生产效率^[10]。Antofagasta PLC 公司在 Centinela 铜矿布置了自动驾驶运矿卡车,在 Los Pelambres 矿区布置了无人自动钻机和用于更换半自磨机衬版的机器人自动手臂,公司还在 Centinela 矿区采用无人机探测矿石中混入的金属等硬物,避免对选厂破碎系统的影响^[8]。在蒙古 Oyu Tolgoi 铜金矿使用无人机进行爆破清除检查,提高了工作效率,并确保了人员团队的安全。Corporación Nacional del Cobre 公司在 Ministro Hales 选矿厂浮选系统中建立了石灰配料自动生产线,提高了铜精矿的品位^[4]。

在运输方面,Rio Tinto Group 公司的自动驾驶火车运输系统 AutoHaul 通过列车、铁路网和地形等信息来智能控制列车,提高了运输安全性和生产效率,消除了运送司机往返火车的需要,提高了生产力^[7]。在 2018 年,每辆火车的平均运行时间比传统的运输火车多 700 h,成本降低了 15%。在美国 Bingham 铜矿,公司制造的低成本机器人爬虫 Mark II 可以深入铜矿峡谷的各种地形,检测气体、收集岩石、土壤和水样,保护了人们的安全,节省了资金。Glencore Plc 公司在 Nickel Rim South 铜镍矿采用了无人自动控制技术确保矿工能够安全和舒适地坐在地面上远程操控铲运车和运输车,Nickel Rim South 的安全控制包括地下激光屏障系统、车载摄像机和控制系统,采矿现场有一个控制电缆和一个激光屏,如果出现失控或有人越过线,则会自动关闭设备系统^[12]。BHP Group 公司位于智利的 Escondida 和 Spence 铜矿正在评估使用无人自动驾驶卡车车队的潜力,并计划逐步将钻机等设备转变为无人自动操作。公司在 Jimblebar 铁矿的自动驾驶运输车队已证明,无人驾驶车队可以提高运输效率,降低运输成本 20%,最重要的是可减少安全事故 80%^[5]。

4 安全

安全生产是矿山企业运营的首要任务,包括员工和所在社区的安全,其主要发展方向是提高员工安全生产方面的保障程度。

BHP Group 公司的可持续发展价值观将安全当作开展业务方式的基本要素。2016 年,HP Group 公司设定了全球安全优先事项,强调安全先于生产力并建立了最常见的安全风险及其最低限度的控制,另外,该公司将实施更清洁、更安全的采矿车辆作为推进安全生产的重要内容^[13]。Corporación Nacional del Cobre 公司研发了一种使用伸缩臂和专利黏合剂处理和放置炸药的设备“block caver”,已成功应用于了 100 多个矿巷,提高了爆破的安全性^[4]。Norilsk Nickel 公司设计开发了工业外骨骼系统以帮助恶劣环境下工作的工人,有

助于解决健康和安全问题,并提高运行效率^[14]。公司正在开发一种可以录制视频的雷达导航无人机,在不依赖GPS的情况下在地下矿山巷道中自主移动,无人机用于检查人工难以到达地区的设施状况,从而加快检查速度,降低诊断成本,最重要的是,提高安全性。公司还设计了无人机用于自动巡视禁止员工进入的危险区域,这可以防止设备意外关闭和事故^[15]。KGHM Polska Miedz SA公司研究开发了“操作人员防撞系统”,消除最常见的安全危害^[6]。

5 环境保护

铜矿行业非常重视环境保护,前十大铜矿企业设立了未来的减排目标,多数企业推广使用可再生能源和节能设备,部分企业改进工艺充分利用回水和淡化海水,以节约水资源。环境保护的发展方向主要在“碳减排”和水资源保护方面。

在“碳减排”方面,Corporación Nacional del Cobre公司为应对气候变化和可持续发展,致力于推广电动化,公司2018年在各部门开始部署电动皮卡车,2019年Chuquicamata和ElTeniente部门开始测试部署电动公共汽车,在ElTeniente铜矿运行了第一个混合动力铲运机(LHD),大幅减少了柴油消耗^[4]。BHP Group公司设定了2020—2030年的中期目标为温室气体排放减少30%以上,公司将使用太阳能装置、矿井内粉碎和电动输送机以及电动车取代柴油运输车的解决方案,公司计划建设光伏发电厂,并收购附近的风力发电站,使用更多的清洁能源,实现环保目标^[15]。

在水资源保护方面,2020年,BHP Group公司的Escondida和Spence铜矿用水实现了40%的淡化海水用量,并计划2030年矿业开发用水全部使用淡化海水^[15]。Grupo Mexico公司将在秘鲁Tia Maria铜矿浸出一萃取项目中全部使用淡化海水,保护当地的地下水资源和环境^[16]。Antofagasta PLC公司为Los Pelambres选厂扩建项目建造了400 L/s的海水淡化工厂和输水管道,保护当地的地下水资源^[8]。

6 新技术和新装备

有利于节能、环保的新技术和新装备一直都是推动铜矿产业可持续发展的重要因素之一。近年来,高压辊磨、高效浓密机、粗粒浮选设备、光电预选设备、硫化矿堆浸技术和低温超导量子探矿技术等一批新技术正在铜矿产业得到推广应用。机械切割采矿法、水力压裂采矿和智能爆破法碎矿技术等创新型技术正在探索试验中。新技术和新装备的研发方向主要集中于采选装备的进步和高效选冶技术的发展。

在采选装备和技术方面,Glencore Plc公司在巴拿

马Cobre铜矿和智利Collahuasi铜矿采用Jameson浮选槽取代了老式浮选槽,提高了铜的选矿回收率和铜精矿的品位,Jameson浮选槽还在Newcrest Mining公司澳大利亚Cadia铜金矿和Barrick公司赞比亚Lumwana铜矿等得到广泛应用^[12]。公司在秘鲁Antapaccay铜矿采用IsaMill细磨工艺,提高了铜回收率和铜精矿品位,并实现了节能。IsaMill磨在Nevsun Resources公司厄立特里亚Bisha铜锌矿、Pan Australian公司老挝Phu Kham铜矿和哈萨克斯坦Aktogay铜矿等得到应用。Corporación Nacional del Cobre公司为应对ElTeniente铜矿和Chuquicamata铜矿深部采矿的地质力学挑战,与世界各地专家合作,提出了应用水力压裂技术破碎岩石进行采矿的工艺^[4]。Grupo Mexico公司在Toquepala铜矿选厂扩建项目中使用安装了变速驱动系统的高压磨辊(HPGR),改进Toquepala的破碎工艺,使Toquepala铜矿选矿厂的矿石处理量从6万t/d提高到11.7万t/d,大大提高了矿石破碎效率,降低运行成本,减少维护、检修的成本和时间^[16]。公司在Cuajone铜矿用高效浓密机取代现有的传统浓密机,简化了浮选流程,提高了回水利用率,将尾矿固体含量从54%提高到61%,降低了淡水消耗。KGHM Polska Miedz SA公司建立现代化的矿石分类系统,开发了矿物自动显微镜系统(AMCO)等仪器快速识别矿物。公司还开发了矿石破碎系统运行监测和优化控制系统,利用大数据的移动可视化系统FloVis system调节浮选工艺,使其适应不同的矿石类型,获得最佳浮选工艺参数^[6]。Antofagasta PLC公司的Centinela选厂扩建项目考虑采用高压辊磨工艺取代半自磨工艺,实现节能和降低生产成本,并设计了新型尾矿坝浓密尾矿,提高回水利用率^[8]。Norilsk Nickel公司的Talnakh选矿厂采用Outotec新型浮选槽(OK-100TS)、Outotec新型高效浓密机(HRT)和再磨机取代老旧设备,用智能化系统取代了陈旧的浮选单元控制系统,使所有的主金属回收率提高了4%~7%^[14]。Anglo American Plc公司正在研究利用自动化技术和机器人技术来改造硬岩开采工艺,开发了自动和连续的岩石机械切割车,可以安全地开采地下的目标矿石,不需要炸药爆破,从而保障了岩石稳定性,提高了回采率和矿石质量^[10]。公司和合作伙伴研发了机载设备+地球物理信息系统,用于探测矿床和绘制地质图,该技术的核心是低温超导量子干涉仪(LT-Squid),可以从空中收集地下高分辨率的电磁、磁、辐射和重力信息,特别适用于在复杂地质环境中遥测金属硫化矿物,能够发现埋藏在地下的被其他导电金属矿掩盖的金属矿床,该系统可用飞机或无人机搭载。Norilsk Nickel公司在Taimyrsky矿和Komsomolsky矿推出一项新的岩石锚杆支护技术,

在降低成本的同时,可以显著提高安全性,加速井筒下沉,该技术可缩短施工周期 25%,也可减少 14% 的劳动力投入,在避免了人员暴露于危险区域工作的时间的同时加快了作业速度^[14]。

在选冶工艺方面,Corporación Nacional del Cobre 公司在智利的 Radomiro Tomic 铜矿成功地利用微生物辅助堆浸含黄铜矿的硫化铜矿石,提高了铜回收率,公司的其他矿山也开始试验推广微生物辅助的硫化铜矿堆浸工艺^[4]。BHP Group 公司发明了新的堆浸专利技术,该技术改善了堆浸的动力学,可以最大限度地使用堆浸垫,浸出液储存容量可达 20 万 t,比常规堆浸的金属回收率提高 10% ~ 12%,堆浸时间缩短 50%,该技术在智利的 Spence 铜矿应用,铜的回收率提高了约 10%,抵消了该矿品位下降对成本的影响,并且这一技术在公司刚刚完成的奥林匹克坝铜矿堆浸试验中又获得了成功^[5]。Grupo Mexico 公司正在 El Pilar 铜矿推广使用高效益、低成本和环保的堆浸—萃取—电积技术,建设年产 3.5 万 t 电积铜的工厂^[16]。First Quantum Minerals 公司研发了从西班牙 Las Cruces 多金属矿床原生黄铜矿中综合回收铜、锌、银和铅的专利选矿技术,该技术结合了浮选和湿法冶金工艺,通过浮选得到含量 12% ~ 15% Cu + Zn + Pb 的混合精矿,再通过高价铁氧化常压酸浸铜和锌,萃取分离铜锌,浸渣再用热卤水浸出,回收铅和银副产品,实现金属回收率达到 95%,比常规浮选提高了 25% 的技术指标^[17]。KGHM Polska Miedz SA 公司也在致力于新环保浮选药剂的研制和细粒浮选技术研发,用于提高浮选回收率,减少浮选药剂对环境的影响^[6]。Antofagasta PLC 公司在 Zaldivar 铜矿堆浸工艺中,研发出了氯化物辅助浸出技术,铜回收率提高了 10%^[8]。Norilsk Nickel 公司在 Taimyrsky 矿和 Komsomolsky 矿推出一项新的岩石锚杆支护技术,在降低成本的同时,可以显著提高安全性,加速井筒下沉。研发了块矿预选装置,通过脉冲快热中子传感器测定有用矿物含量,分选出优质块状矿石,实现早期预选抛尾,这项技术在 El Soldado 铜矿的试验结果显示,可以提高选厂处理量及选厂入选矿石品位 5% ~ 15%,节能 15%,节水 20%,直接成本节约 30%,目前该技术正在向公司巴西的 Barro Alto 镍矿、南非的 Mogalakwena 铂矿和智利的 Los Bronces 铜矿推广^[10]。公司引进了粗粒浮选技术,该技术可以在保证回收率的条件下浮选比常规浮选颗粒粒度大 2 ~ 3 倍的原料,浮选粒度的上限可以达到 0.25 mm,只要矿物破碎解离后就可以以较粗的粒度进入浮选工序,减少磨矿和后续处理成本。El Soldado 铜矿的工业试验表明,粗粒浮选可以增加选厂产能 20%,节能 20%,降低直接成本 10%,实现 85% 的回水再利用。公司将向属

下的铜矿山和铂族金属矿山推广此项技术。

7 结论与展望

铜是实现未来社会可持续发展的重要原料,尤其是可再生能源产业和电动汽车等新兴产业的快速发展,促进了铜市场需求持续增长。铜矿开发利用技术是实现铜矿资源保证的关键,也是支撑铜矿产业可持续发展的重要因素。

全球工业产业正向数字化、智能化和自动化方向转型发展,未来的时代将发展为数字时代,由“数字”连接和“人工智能”系统收集和分析数据信息,人工智能做出最佳决策和控制,可进一步推动生产率的提高,矿山数字化、智能化和自动化也将是未来铜矿技术发展的主流方向。

安全、环境保护和新技术新装备应用领域一直是铜行业关注的技术研发方向,并且随着全球环保意识的不断增强和低碳经济的发展,矿业开采、运输的电动化、高效低碳装备等绿色节能技术的开发将会是未来铜矿技术发展的重要方向之一。

参考文献:

- [1] 张亮,杨卉,赵军伟,等.世界铜矿资源系列研究之一资源概况及供需分析[J].矿产保护与利用,2010(5):63-67.
- [2] 王毓华,邓海波.铜矿选矿技术[M].长沙:中南大学出版社,2012.
- [3] 李明照,许并社.铜冶炼工艺[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [4] Corporación Nacional del Cobre. Corporación Nacional del Cobre Annual Report 2019[R]. Chile: Corporación Nacional del Cobre, 2019.
- [5] DIANE JURGENS. Transforming BHP: Technology unlocking value from pit to port[R]. Australia: Smart Mine conference 2019 BHP, 2019.
- [6] KGHM Polska Miedz SA. Integrated Report of KGHM Polska Miedz S.A. for 2019[R]. Poland: KGHM Polska Miedz SA, 2019.
- [7] Rio Tinto Macquarie Australia Conference. Growth and innovation [R]. Australia: Rio Tinto, 2019.
- [8] Antofagasta PLC. Antofagasta PLC Annual Report and Financial Statements 2019 [R]. Chile: Antofagasta PLC, 2019.
- [9] Freeport - McMoRan. Building on strength 2019 Annual Report [R]. American: Freeport - McMoRan, 2019.
- [10] Anglo American Plc. Anglo American Plc investor update [R]. England: Anglo American Plc, 2018.
- [11] <https://www.riotinto.com/about/innovation/smart-mining>, [2021-8-20].
- [12] Glencore Plc. Glencore Plc annual report 2019[R]. Switzerland: Glencore Plc, 2019.
- [13] <https://www.bhp.com/sustainability/safety-and-health/safety/>, [2021-8-20].
- [14] Norilsk Nickel. Expanding the horizons of sustainable growth Annual Report 2019[R]. Russia: Norilsk Nickel, 2019.
- [15] BHP Group. BHP Group annual report 2020 [R]. Australia: BHP Group, 2020.
- [16] Grupo Mexico. Grupo Mexico annual report 2019[R]. Mexico: Grupo Mexico, 2019.
- [17] First Quantum Minerals Ltd. First Quantum Minerals Ltd. annual report 2019 [R]. Canada: First Quantum Minerals Ltd., 2019.

Development Trend of Global Copper mine Exploitation and Utilization Technology

YANG Huipeng^{1,2,3}, WANG Wei^{1,2,3}, LIU Lin^{1,2,3}, CAO Fei^{1,2,3}

1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Zhengzhou 450006, China;

2. Key Laboratory for Polymetallic Ores' Evaluation and Utilization, MNR, Zhengzhou 450006, China;

3. Comprehensive Utilization Key Laboratory of Gold Resource in Henan Province, Zhengzhou 450006, China

Abstract: Copper is an important strategic mineral product and an important raw material for realizing the sustainable development of society in the future. The development of global urbanization, industrialization, automation and digitization, especially the rapid development of emerging industries such as renewable energy industry and electric vehicles, has promoted the continuous growth of copper market demand. This paper summarized and analyzed the development strategies of technological innovation in the copper utilization of the world's top ten copper mining enterprises, and expounded in detail from six aspects: mine digitization, intellectualization, automation, safety, environmental protection and new technology and equipment, so as to promote the development and utilization of copper mine and high-quality green development.

Key words: copper mine; digitization; intellectualization; automation; safety; environmental protection; mining; mineral processing

引用格式:杨卉芃,王威,柳林,曹飞.全球铜矿开发利用技术发展趋势[J].矿产保护与利用,2021,41(5):134-139.

YANG Huipeng, WANG Wei, LIU Lin, CAO Fei. Development trend of global copper mine exploitation and utilization technology[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(5): 134-139.

投稿网址:<http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail:kcbh@chinajournal.net.cn