

我国高原选矿技术发展现状

Current developments of mining processing technologies applied in plateaus of China

刘志国, 王传龙, 康金星, 王鑫, 王亚运(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:近年来,我国西部高原地区矿产资源逐步得到开发,不仅保障了国家矿产资源安全、促进了国民经济发展,也为高原选矿技术的发展积累了大量经验。本文对我国高原选矿技术进行梳理,并分析其未来发展趋势。

关键词:高原; 高海拔; 选矿

中图分类号: TD952 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)03-0016-04

Abstract: In recent years, mineral resources in the west plateau areas of China are being increasingly developed. Such developments not only strengthened national mineral resource security and boosted economic growth, but also brought rich experience for the development of mineral processing technologies in plateau environment. The essay is a summary of the development of these technologies and projects the trends forward.

Key words: plateaus; high altitudes; mineral processing

1 前言

高原地带由于其特殊的地质构造与成矿作用,易形成丰富的矿产资源。我国的青藏高原处在地中海-特提斯成矿带,资源潜在价值非常巨大,在万亿元以上。目前在青藏高原已发现矿种 120 种,矿产地 2 000 余处,其中有 18 种矿产储量居全国储量的前列^[1-4]。

近年来,随着我国国民经济的持续高速发展,对矿产资源的需求急剧上升,矿产资源短缺的局面日益严重。西部高原地区蕴含丰富的矿产资源,该地矿产资源的合理开发对保障我国矿产资源安全、促进国民经济和社会可持续发展具有重要意义。目前,我国西部高原地区资源开发已卓有成效,诸多矿山已经投产或在建,其中比较有代表性的高海拔矿山有玉龙铜矿、甲玛铜矿和普朗铜矿等^[5]。与此同时,我国高原选矿技术也得到长足的发展,本文就此进行分析总结,并对高原选矿技术的发展方向提出一些见解。

2 高原环境对选矿的影响

高原地区由于低压缺氧、寒冷干燥、环境脆弱及基础设施建设薄弱等特点会对选厂人员、技术、设备等造

成一系列影响。

2.1 对人员的影响

长期生活在较低海拔地区的人,初到高海拔地区时常会出现“高山反应”,如气喘胸闷、心跳加快、头晕恶心以及失眠等不良生理反应。另外,工作人员在不同的海拔高度下脑部功能也有较大差别,随着海拔的升高,工作人员脑部各项机能有所下降,导致工作效率降低^[6]。

2.2 对设备的影响

高海拔环境下的缺氧、低温低压、强温差、强紫外线等因素会对设备造成诸多不利影响,比如电力设备的轴功率降低、柴油动力设备燃料燃烧不完全、电器设备易老化、设备散热效果变差等。因此,在高原环境下需为有需求的设备提供必要的防护措施,电气设备的选择必须遵循国家颁布的高原电气标准。

另外,一些在低海拔使用设备可能在高原地区使用效果变差,比如陶瓷过滤机受高原低压影响脱水效果减弱、自吸式浮选机受高原空气稀薄的影响导致吸气量受影响。

2.3 对矿物可浮性的影响

高海拔的缺氧环境造成矿浆中的溶解氧降低、矿浆电位降低,对硫化矿的浮选有一定影响。夏忠勇^[7]、张永德^[8]等人研究发现,随着海拔升高,方铅矿的可浮性逐步增加,而闪锌矿的可浮性逐渐降低。

另外,一些现场实践反馈,与低海拔地区相比,高原选厂硫化矿浮选时间相对较长,有可能会出

[作者简介] 刘志国(1989-),男,山东滕州人,高级工程师,主要从事复杂资源综合回收利用研究工作。

[引用格式] 刘志国,王传龙,康金星,等.我国高原选矿技术发展现状[J].中国矿山工程,2021,50(3):16-19.

浮选时间不足的问题。唐顺昌^[9]等人指出在某4 500 m 高海拔铜硫矿现场铜矿浮选明显延后。

3 高原选矿技术发展现状

3.1 工程设计与生产实践

随着大量的高原选矿厂建成投产,国内在高原选厂的设计建设上积累了大量经验。在厂址选择方面^[10-12],应充分考虑总图运输、尾矿库选址、供电、供水、排水以及对环境保护的影响等因素,本着“以人为本”的原则进行选址;在浮选机选型方面^[13],受高原空气稀薄影响,多采用充气式浮选机取代自吸式浮选机;在设备选型和工艺方案比选方面,要考虑通风采暖的投资和成本,冯建伟^[14]对某高寒金属矿的碎磨流程进行研究,全面考虑所有设施的投资及成本后,与HPGR流程相比,SABC流程更具优势。

3.2 高原自动化系统开发

由于高原选矿厂的特殊地理环境,选矿厂建设应按照“多机械、少人工”的原则,尽可能提高选矿厂的自动化水平,减少人工。但高原环境的低压、强温差等环境会对自动化电器设备造成极大的不利影响^[15-16],因此高原选矿厂的综合自动化系统设计方案需采用规范设计原则、优化信号集成、可靠配电接地、合理选型设备等科学手段,保证自动化系统安全、稳定运行。

西藏巨龙铜业有限公司知不拉铜多金属矿选矿厂^[17]、塔什库尔干县金钢矿业有限责任公司选矿厂^[18]、位于西藏墨竹工卡县的天仁矿业选矿厂^[19]等高原选矿厂充分考虑高原环境对自动化系统的影响,采取多种措施提高自动化系统的稳定性,最终通过高原自动化系统提高了设备作业效率、降低了劳动强度、改善了工作环境、提高了产量、降低了生产成本,具有重要借鉴价值。

3.3 节水及废水利用技术

高原地区生态环境脆弱、水资源宝贵,因此高原选矿厂应注重节水技术开发。金钢矿业乔普卡铁矿根据矿石性质针对性地设计了预选工艺流程,通过大块干选、细粒干选及粗磨预选的组合手段,最大限度地提高了入选矿石的品位,减少了选厂用水。许建民^[20]等提出一种干法磁铁矿铁精粉生产工艺,通过采用带有动态磁系的磁滚筒实现磁铁矿的干法磁选,为高寒地区的磁铁矿开发找了一个可行的途径。乌努格吐山铜钼矿选矿厂除充分利用尾矿回水和浓缩机回水外,还开创性地完全利用城市中水作为新水补

加到生产过程中,每天节省新水资源约1.6万t^[21]。

对于选矿废水,高原选矿厂注重废水处理及回用,做到废水零排放的同时减少新水的使用。一方面,开发废水处理方法,如高海拔地区复杂铜铅锌多金属矿选矿废水治理及回用方法^[22],一种高寒冷地区高分散、高细度及难沉降白钨矿选矿废水的处理方法^[23];另一方面,开发适宜的选矿工艺和药剂,采用合理的选矿废水回用制度实现选矿废水的全回用,如西藏甲玛铜矿通过采用分段浮选、分段回水、部分回水处理后返回的选矿工艺流程实现选矿厂废水零排放^[24];而甲玛矿区铜铅锌多金属硫化矿通过采用铜铅部分混浮—铜铅分离—混浮尾矿选锌的工艺流程,配合使用锌矿物组合抑制剂ZG-2与铜铅分离脱药剂XZ-1可实现选矿回水的全循环利用^[25]。

3.4 高原浮选技术研究进展

高原环境会对浮选造成一系列的影响,如矿浆电位、药剂与矿物作用效果、矿浆气泡特性、矿物浮游速度以及浮选机性能等。针对此类问题,近年来已有不少研究。

3.4.1 浮选药剂研究

由于高原地区气温较低,一些药剂(如酯类)在存储和使用过程中容易结晶,影响浮选效果。西北矿冶研究院对此做了相应研究,并提出了解决方法^[26-27],可将硫氮腈酯与丁铵黑药、柴油、乙醇、黄氰酯按一定比例混合使用或者将硫氮酯类药剂与黄原酸酯类药剂搅拌混合使用。混合用药不仅能够发挥药剂的协同效益,也能大幅度降低药剂的凝固点,对高海拔地区硫氮酯类捕收剂的使用有一定的指导意义。

3.4.2 浮选设备研究

北京矿冶研究总院开发出XCF II浮选机及XCF II/KYF II浮选机联合机组,该设备在高海拔地区适应性较好。赛什塘铜矿地处高海拔地区,2000年选矿厂技术人员在对多种类型浮选机进行必选后,选择了XCF II/KYF II型联合浮选机,并成功应用^[28]。

中南大学为解决詹姆逊浮选槽在高海拔地区产生微气泡的效率会降低的情况,用微孔管代替高压泵形成微气泡,取得了较好效果^[29]。

3.4.3 浮选机理研究

北京科技大学提出了一种海拔影响浮选气泡特性测量装置及方法^[30],可以实现不同气压下气泡尺

寸、气泡数量、气泡稳定性和气泡上升速度等气泡动力学特性参数的测量,为研究海拔影响浮选气泡特性提供了研究基础,对于指导高原地区矿物浮选具有重要意义。

夏忠勇研究了不同海拔下铅锌硫化矿浮选电化行为,发现高海拔条件下矿浆溶氧量低,导致矿浆电位低,而这较低的电位对方铅矿与乙硫氮反应生成金属捕收剂盐的影响很小,故不会对方铅矿的浮选产生影响。但低电位对 D_2 (双乙硫氮) 的生成不利,且海拔越高,电位越低, D_2 越难生成,而闪锌矿浮选需要大量的 D_2 ,故对闪锌矿的浮选越不利。因此,高海拔环境下反而有利于铅锌的浮选分离。

3.5 高原固液分离装备

高海拔环境的低压环境使真空过滤技术的作用效果不佳,高原选矿厂多以加压过滤技术取代真空过滤技术或者对真空过滤技术进行改进。

西藏华泰龙矿业甲玛选矿厂海拔超过 4 000 m,受大气压的影响,陶瓷过滤机的真空过滤效果不佳,铜精矿产品水分达不到国家标准。将铜精矿产品脱水改进为加压过滤技术后不但使产品水分达到了国家标准,还解决了陶瓷过滤机酸洗后酸性水进入生产水系统造成 pH 值波动的问题^[31]。

金钢矿业选矿厂地处新疆喀什塔什库尔干县帕米尔高原,海拔 4 200 m。该厂的真空脱水系统存在真空泵效率低、自动排液装置落后等问题。现场通过改变真空泵及排液装置,提高了真空泵的真空度和过滤机的过滤效率。

然而,高原选矿厂也并非完全不能使用传统的真空陶瓷过滤机,要根据矿山生产的实际情况而定。杜玉艳^[32]通过认真分析研究锡铁山铅锌精矿特性,认为其粒度组成较粗,矿浆黏度不大,为此大胆采用节能型陶瓷过滤机方案,实现了陶瓷过滤机在高海拔地区的首次应用及成功实践。

4 高原选矿技术发展方向

4.1 自动化技术的使用

首先,高原的特殊环境不适宜工作人员长期在一线工作,高原选矿厂的设计应本着多机械少人工的原则进行建设。再者,国家和行业对矿山的自动化建设愈发重视。2020年4月,工业和信息化部、国家发展改革委和自然资源部联合发布《有色金属行业智能矿山建设指南(试行)》,对矿山的自动化和智能化建设作出了全方位的要求和规划。结合高

原选矿厂的自身性质以及行业发展的需求,急需发展适用于高原选矿厂的自动化系统和装备,减少人工,提高选矿厂的生产效率。

4.2 高效、无毒(低毒)、易降解环保选矿药剂的开发

由于高原矿山生态环境脆弱,环境遭到破坏后很难恢复,在高原矿产资源开发过程中需极其重视环境保护问题。我国青藏高原富含铜铅锌硫化矿,在硫化铜浮选、铜硫分离、铜铅分离、铜钼分离、锌硫分离等诸多方面都需要新型环保选矿药剂的开发与使用。例如北京矿冶研究总院为西藏某特大型铜钼矿使用了生产指标好、对矿区生态环境扰动小的高效、低用量、易降解捕收剂 BK401 和起泡剂 BK201^[33-34]。西藏华泰龙矿业开发有限公司以高效易降解的 ZG-2 为铜矿物抑制剂、HTL-3 为钼捕收剂,实现了西藏某选矿厂的铜钼混合精矿的高效、低毒分离^[36]。

4.3 高原环境对硫化矿浮选影响的机理研究

目前已有的研究资料显示,高原环境对硫化矿的浮选有一定的影响,比如在高原环境中硫化铅锌矿的可浮性差异增大、某些选矿厂中出现硫化铜矿的上浮速度减慢、浮选捕收剂与硫化矿作用效率降低等问题。充分研究高原环境对硫化矿浮选的影响可以为高原环境下浮选工艺和药剂的选择、浮选时间的确定等问题提供一定的理论依据。

5 结论

由于高原地区低压缺氧、寒冷干燥、环境脆弱以及基础设施建设薄弱,高原选矿面临人员高原反应、设备性能及寿命受到影响、环境生态保护等一系列的问题。在解决上述问题的过程中,选矿从业者积累了相应的高原选矿厂经验和技能,如设备选型经验、高原自动化系统和设备、节水和废水回用技术、高海拔高寒地区浮选工艺和药剂、高海拔固液分离装备等。未来,针对高原选矿技术,高原选矿厂自动化系统和装备的开发、高效无毒易降解环保选矿药剂的开发、高原环境对硫化矿浮选影响的机理研究等可能是较为重要的发展方向。

[参考文献]

- [1] 潘桂棠,丁俊,王立全,等.加强青藏高原矿产资源勘查与研究保障国家资源供应[J].国土资源科技管理,2004,21(1):1-4.
- [2] 芮宗瑶,李光明,王龙生.青藏高原的金属矿产资源[J].地质通报,2004,23(1):20-23.
- [3] 龙涛.青藏高原金属矿产资源开发的特征分析[J].中

- 国矿业,2013,22(6):11-13.
- [4] 陈有顺,房后国,刘娉慧,等. 青藏高原矿产资源的分布、形成及开发[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(6):45-50,59.
- [5] 杨彪. 高寒高海拔地区矿山工程设计要点思考[J]. 中国钨业,2018,42(3):11-16.
- [6] 金凌霄,高文美. 高海拔地区选矿厂厂址选择的初步认识[J]. 黄金科学技术,2011,19(4):80-82.
- [7] 夏忠勇. 不同海拔下铅锌硫化矿浮选电化学行为研究[D]. 北京:北京有色金属研究总院,2013.
- [8] 张永德,黄松涛,都忠伟,等. 不同海拔高度对硫化铅锌矿浮选行为及作用机制研究[J]. 稀有金属,2016,40(4):370-377.
- [9] 唐顺昌,李岭值,刘玉峰. 4500 m以上高原高硫铜矿石选别工艺研究及生产实践[J]. 中国矿山工程,2015,44(5):10-12.
- [10] 金凌霄,高文美. 高海拔地区选矿厂厂址选择的初步认识[J]. 黄金科学技术,2011,19(4):80-82.
- [11] 白俊东. 高寒矿山工业场地选址研究——新疆备战铁矿工业场地选址[J]. 中国科技信息,2013(10):39-40.
- [12] 周理. 西藏某大型铜矿选矿厂厂址选择设计[J]. 采矿技术,2012,12(4):121-124.
- [13] 马忠山. 充气式浮选机在某高原金矿选矿厂浮选中的应用[J]. 世界有色金属,2020(1):61-62.
- [14] 冯建伟. 高寒地区某有色金属矿碎磨流程的研究[J]. 中国矿山工程,2013,42(2):12-15,52.
- [15] 鲜军. (高原)铜矿选矿自动化控制系统的应用[J]. 黑龙江科技信息,2017(23):64-65.
- [16] 王本策,郭振宇. 高海拔选矿厂综合自动化系统设计[J]. 有色金属(选矿部分),2017(S1):194-198.
- [17] 王跃,张晓煜,边洪波. 高寒地区选矿厂自动化系统的安装与应用[C]//第二十三届辽鲁冀晋粤川京七省市金属学会矿业学术交流会论文集,2016.
- [18] 杨世中,宋春雷,胡江南. 选矿自动化在高原矿山的应用[J]. 有色金属(选矿部分),2013(2):59-63,78.
- [19] 房启家. 高原铁矿选矿厂预选工艺的研究与应用[J]. 矿山机械,2016,44(8):57-60.
- [20] 许建民,吕伟锋. 一种干法磁铁矿精粉生产工艺:CN201310069168.3[P]. 2013-06-12.
- [21] 刘洪均,孙春宝,赵留成,等. 乌努格吐山铜钼矿选矿工艺[J]. 金属矿山,2012(10):82-85.
- [21] 湖南有色金属研究院,湖南浩美安全环保科技有限公司. 高海拔地区复杂铜铅锌多金属矿选矿废水处理及回用方法:CN200910043609.6[P]. 2009-12-16.
- [23] 道和矿冶科技(北京)有限公司. 一种高寒冷地区高分散、高细度及难沉降白钨矿选矿废水的处理方法:CN201610474557.8[P]. 2016-09-21.
- [24] 陈典助. 西藏甲玛铜多金属矿选矿厂设计与生产实践[J]. 有色金属(选矿部分),2011(2):30-34.
- [25] 刘明实,刘璇遥,赵艳宾,等. 基于高海拔地区选矿废水零排放的铜铅锌选矿试验研究[J]. 甘肃冶金,2014,36(6):4-8.
- [26] 西北矿冶研究院. 一种高寒地区选别铜矿石的新型组合捕收起泡剂及应用:CN201811369430.5[P]. 2019-03-19.
- [27] 西北矿冶研究院. 一种降低硫氮酯类捕收剂凝固点的方法:CN201310267014.5[P]. 2013-10-16.
- [28] 沈政昌. XCF II浮选机及XCF II/KYF II浮选机联合机组的发展与实践[J]. 有色设备,2007,21(2):4-7.
- [29] Chu HR, Zheng XY, Lu DF, et al. Industrial application of a modified pilot-scale Jameson cell for the flotation of spodumene ore in high altitude area[J]. Powder Technology, 2017(320):358-361.
- [30] 北京科技大学. 一种海拔影响浮选气泡特性测量装置及方法:CN201910597508.7[P]. 2019-11-05.
- [31] 刘子龙,布琼次仁,李彩. 高海拔地区选矿厂加压过滤技术应用实践[J]. 黄金,2016,37(9):58-60.
- [32] 杜玉艳. 陶瓷过滤机在高海拔地区的首次应用及成功实践[J]. 有色金属(选矿部分),2010(5):30-32.
- [33] 胡志凯,肖婉琴,于洋,等. 西藏某特大型铜钼矿矿石选矿试验[J]. 金属矿山,2015(11):82-86.
- [34] 李跃林,刘明实,裴得金,等. 西藏某多金属矿选矿厂铜钼混合精矿分离试验[J]. 金属矿山,2015(11):87-90.