

高效解离碎磨设备联合工艺研究

孙明俊

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 高压辊磨机和立磨机作为新型高效解离碎磨设备在矿山行业得到广泛应用, 本文就新型高效解离碎磨设备技术特点、工艺流程及其在工艺方案配置应用作以简述, 介绍了高压辊磨机和立磨机集成系统联合的工艺优势, 并分析在选矿厂设计过程中高压辊磨机和立磨机集成系统应用, 为今后矿石高效解离碎磨的研究和应用提供参考。

[关键词] 高效碎磨; 高压辊磨机; 立磨机; 联合工艺; 选矿厂设计

[中图分类号] TD453; TD921.4 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2022)01-0015-03

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.01.004

0 前言

目前, 随着优质矿产资源的不断开发, 现有矿山普遍面临矿石禀赋贫细杂等问题, 要取得较好的选矿指标入选矿石必须细磨才能使矿石得到充分解离。矿山行业面临的压力越来越大。降低矿山运营成本、多碎少磨、提高磨矿效率已成为现今矿山企业的发展趋势。对矿产资源开发利用来说, 意义重大^[1]。

矿石高效解离碎磨与工艺设备工作原理和产品特性密切相关。Tromans^[2]研究矿石经过破碎后进入磨矿过程中, 在达到目的产品粒级时, 磨矿相对于破碎达到相同的比表面积所消耗的能量是碎矿的10倍。郭小飞^[3]对高压辊磨机粉碎后物料的粒度特性和磨矿特性进行研究, 结果表明, 辊面压力的增加, 使粉碎产品破碎比增大, 高压辊磨机产品的Bond球磨功指数较颚式破碎机产品降低14.05%, 高压辊磨机产品颗粒内部产生了大量的晶内裂纹和解离裂纹。美国 Empire Iron Ore Mine 采用高压辊磨机粉碎自磨机产品中的顽石, 保持自磨机内最佳粒度分布, 每台自磨机的产量提高至120~150 t/h^[4]。在磨矿过程中, 球磨机的输入能量大部分消耗在自身筒体转动、磨矿介质、入磨物料在筒体的运

动, 对矿石的磨矿作用取决于磨矿介质与物料的冲击概率。立磨机由于其特殊的机械结构形式大大增加物料和磨矿介质的接触面积, 强化单位体积的磨矿作用力。房鑫等^[5]研究在给料粒度-0.044 mm含量为53.90%时, 采用立磨机进行细磨, 产品细度-0.044 mm含量达到90%时, 磨矿时间约为9.5 min, 采用球磨机达到同样的产品细度则需要13 min。R. D. Morrison等^[6]通过球磨机和立磨机数值模拟能量耗散率(矿石受作用力)得出, 球磨机的碰撞能耗主要集中在更高的能量区, 当做功大于0.1 J后, 能量贡献迅速下降; 立磨机的碰撞能耗主要集中在0.1 mJ附近, 同时能量耗散率数量级远高于球磨机。球磨机适宜的磨矿粒级在100 μm-1 mm, 立磨机磨矿粒级在-100 μm时磨矿效率较高。

细碎或超细碎设备-高压辊磨机和细磨设备-立磨机在工业上具有较好的性能和应用效果, 本文就以上设备技术特点、工艺流程及在工艺方案配置应用作分析和简述。

1 高效解离设备工作原理和技术特点

高压辊磨机作为新型高效细碎或超细碎设备在矿山行业得到广泛应用, 在粉碎过程中, 矿石颗粒通过给料装置“挤满给矿”, 并随着挤压辊的转动带入辊间进行粉碎。其准静压的层压粉碎方式, 矿石颗粒本身充当传压介质, 当物料层受到辊面挤压时, 矿石颗粒之间相互挤压产生巨大的压力导致矿石颗粒压实和粉碎, 粉碎产品内部的微裂纹发育比较充分, 细粒级含量高, 矿物解离好, 粉碎产品可磨性得到改

[收稿日期] 2021-08-20

[作者简介] 孙明俊(1985—), 男, 吉林珲春人, 高级工程师, 硕士, 主要从事选矿工程咨询设计和项目管理工作。

[引用格式] 孙明俊. 高效解离碎磨设备联合工艺研究[J]. 有色设备, 2022, 36(1): 15-17.

善。高压辊磨机既可以代替常规细碎设备作为第三段破碎,也可以作为常规三段破碎后的第四段破碎(超细碎),当细碎或超细碎采用高压辊磨机时,其最终碎矿产品粒度可以达到 $P_{80} = 2 \text{ mm} \sim 7 \text{ mm}$,有效降低入磨矿石粒度,并且由于矿石经高压挤压后物料 Bond 球磨功指数降低,磨矿能耗将显著下降。结合预抛废作业,极大减少了后续磨矿、选别作业的处理量、能耗,降低设备选型,减少选厂投资。

立磨机作为新型高效细磨设备由于其和球磨机相比的特殊机械结构在矿山行业得到广泛应用,球磨机的输入能量大部分消耗在自身机械机构、磨矿介质和矿石的转动,仅有 1% ~ 2% 用以对矿石的冲击粉碎,而立磨机磨矿介质和物料在中央螺旋转轴作用下进行运动,立磨机的磨矿机制主要是摩擦和剪切,主要以小尺寸的介质球的磨剥作用使物料变细,几乎没有能量转化效率低的冲击粉碎作用,磨矿能耗较球磨机降低 30% ~ 50%。小尺寸的介质球研磨面积比相同负荷的球磨机提高 3 倍,对于细磨来说,比球磨机更具有优势。立磨机的立式结构(筒身高、直径小)有利于物料分级,减少过磨,同时设备的占地面积小,有效减少厂房投资,且后续设备维护成本低^[7]。

2 高压辊磨机和立磨机的工艺应用

2.1 典型高压辊磨机碎矿工艺流程

由于高压辊磨机产品粒度细、单位矿石(碎磨系统)耗电量低、处理能力大、设备运转率高(可 24 h 连续作业),并可结合抛废作业,提高矿石的入选品位,结合高压辊磨机在铁矿、铜矿、钨矿、金矿等领域的实际应用情况来看,高压辊磨机主要作为第三段细碎和第四段超细碎工艺设备广泛应用于矿山行业中,但也有部分矿山将高压辊磨机应用于顽石破碎工艺。

图 1 所示为高压辊磨机作为第三段细碎工艺流程,高压辊磨机的作业率一般与前两段碎矿流程保持一致,中碎产品进入筛分作业,筛上产品进入高压辊磨机,辊压产品和中碎产品合并后进入筛分作业。该工艺流程高压辊磨机粉碎产品较传统圆锥破碎机细粒级含量高,矿物单体解离好, Bond 球磨功指数降低,粉碎产品可磨性提高,预磨提高矿石解离度结合磁选或 X 射线预选抛废作业,降低后续入磨矿量。

图 2 所示为高压辊磨机作为第四段超细碎工艺闭路流程,该流程高压辊磨机的作业率可以与球磨机匹配,24 h 连续作业,辊磨产品经筛分后,筛上产

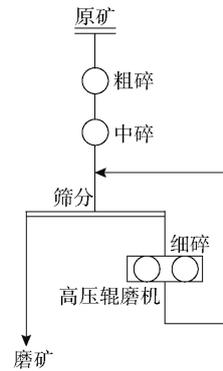


图 1 高压辊磨机细碎工艺流程

品返回高压辊磨机,筛下产品进入磨矿-旋流器分级系统,高压辊磨机闭路产品粒度达到 $P_{80} = 2 \text{ mm}$,有效降低入磨粒度,取消球磨机之前的粉矿仓, Bond 球磨功指数降低,粉碎产品可磨性提高,结合磁选预选抛尾,降低后续入磨矿量。同时作为碎矿工艺改造增加的第四段超细碎设备,可有效提高原有磨机 20% ~ 40% 的处理能力,能耗降低 13% 左右,大幅降低碎磨成本,实现降本增效^[8]。

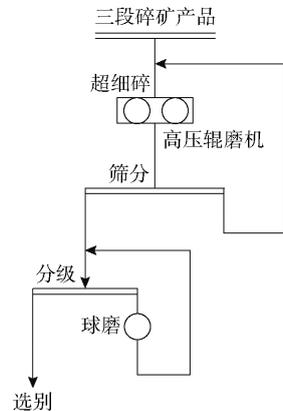


图 2 高压辊磨机超细碎工艺流程

图 3 所示为高压辊磨机作为顽石破碎工艺流程,该流程高压辊磨机作为顽石破碎设备,有效处理了自磨/半自磨工艺中产生的大量临界尺寸顽石,降低返回磨机的顽石粒度,提高磨机的处理能力和磨矿效率,降低磨机功耗,减少磨机内大量顽石产生的过粉磨现象^[9]。

2.2 典型立磨机细磨工艺流程

由于立磨机在细粒级磨矿过程中具有能耗低、效率高、产品解离度高、粒度均匀等特点,广泛应用于工艺要求产品粒度较细的二段或多段再磨回路中,多采用立磨机和水利旋流器组成再磨回路精准

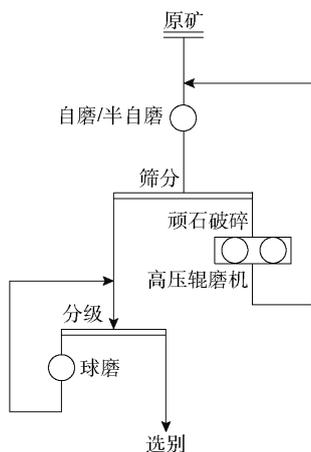


图3 高压辊磨机顽石破碎工艺流程

控制产品粒度特性^[10]。

图4所示为立磨机作为再磨设备的工艺流程,粗选精矿进入水力旋流器分级,分级溢流产品进入下一段选别作业,分级底流进入立磨机再磨,磨矿产品与粗选精矿合并后进入水力旋流器。

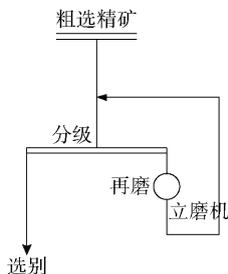


图4 再磨-旋流器分级工艺流程

该流程选用立磨机作为再磨设备,节约能耗,减少占地面积,降低设备装机功率,有效提高产品细度,显著提高后续选别作业的精矿品位和回收率。

3 高压辊磨机和立磨机集成系统联合工艺

高压辊磨机和立磨机的高效碎磨、碎磨产品特性、节能降耗等在各大矿山企业已充分发挥优势。矿山行业已逐步探索适宜的工艺流程采用高压辊磨机和立磨机集成系统联合工艺,将高压辊磨机代替传统细碎或超细碎设备,立磨机代替再磨流程中的球磨机。

在国外某磁铁矿属于“贫铁高硅,难磨难选”类型,矿石碎磨能耗高,嵌布粒度细,工艺流程需要三段磨矿,入选矿石粒度磨到 -0.037 mm 才能选出高品位的铁精矿。该企业采用高压辊磨机作为第三段细碎,立磨机作为二段再磨设备和三段再磨设备,高

压辊磨机辊压产品经粗磁选后抛废量达到 $32\% \sim 33\%$,降低后续工艺设备选型,节能减排效果显著;立磨机与球磨机比效率提高 $30\% \sim 50\%$,有效提高了磨矿效率,最终铁精矿品位达到 $\text{TFe}68.2\%$ 。高压辊磨机和立磨机集成系统联合工艺有效降低了选厂投资、碎磨系统能耗,设备运行维护和精矿产品成本,具有较为广阔的市场应用前景。

4 结论

高压辊磨机和立磨机集成系统联合工艺具有良好的适应性,在新建和改造矿山中都能较好的发挥其设备和工艺优势,但需在以下几个方面深入研究:

(1)充分结合高压辊磨机和立磨机产品特性,联合预选抛废工艺,降低碎磨系统能耗和后续工艺流程处理量,提升精矿产品质量;

(2)高压辊磨机作为超细碎设备工艺流程长、辅助设备及配套设施多,在选矿厂设计过程中要充分结合矿石特点和现场地形等,多做碎磨工艺方案的技术经济比较;

(3)立磨机在再磨回路中具有节能降耗、磨矿效果好、运维成本低等优点,工艺流程和选矿厂设计中充分发挥立磨机适宜磨矿粒级特性和工艺配置优势至关重要。

[参考文献]

- [1] 赵昱东. 高压辊磨机在国内外金属矿山的应用现状和发展前景[J]. 矿山机械, 2011(9): 65 - 68.
- [2] Tromans D. Mineral comminution; Energy efficiency considerations[J]. Minerals Engineering, 2008, 21(8): 613 - 620.
- [3] 郭小飞. 攀西钒钛磁铁矿超细碎及铁钛平行分选技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
- [4] Klymowsky R, Cordes H. The modern roller press practical applications in the ore and minerals industry[J]. Aufbereitungs Technik, 1990, 40(8): 387 - 398.
- [5] 房鑫, 杨书春, 刘广才, 等. 某磁铁矿应用塔磨机细磨工艺试验[J]. 现代矿业, 2017(5): 261 - 262.
- [6] R. D. Morrison et al. Using DEM to compare the energy efficiency of pilot scale ball and tower mills[J]. Minerals Engineering, 2009, 22: 665 - 672.
- [7] Douglas Batista Mazzinghy et al. Vertimill™ pilot scale tests simulated by perfect mixing model[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2014, 3(3): 217 - 221.

(下转第90页)

4 结语

本文叙述了冷却链篦机空心托辊轴后高温回水余热循环利用与研究,解决了原来燃煤锅炉蒸汽取暖,造成能耗高、劳动强度大、环保不达标、空心托辊轴结垢严重等问题,实现了冷却链篦机回水的压力、流量、温度等各项经济技术指标达标,充分应用了冷却链篦机后高温回水的余热,每年降低取暖成本 288.9 万元,节煤 3 209.8 t/a,并且消除了空心轴和

水冷梁结垢严重、冷却效果差等安全隐患,为企业实现了降本增效、绿色生产目标。

[参考文献]

- [1] 何铁牛. 烧结球团环冷机高温废气余热回收应用与研究[J]. 有色设备,2019(3):91-95.
- [2] 程立. 锅炉设备设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [3] 张雅杰,冉春雨,王春青,等. 燃气锅炉烟气余热应用[J]. 吉林建筑工程学院学报,2003(1):53-55.

Waste Heat Recycling of High-temperature Return Water from Sintered Pellet Chain Grate Cooling and Its Research

HENG Xu-wen, HE Tie-niu

Abstract: This paper introduces the design principles of the thermal energy utilization project, which sends the hot water resources produced by the chain grate-rotary kiln pellet production line in a pellet plant to the boiler room, and then sends the high-temperature hot water heated by the heat exchanger to the various heat users, in addition to the basic parameters, added equipment as well as balance and management measures for a stable heating system. The waste heat of the high-temperature return water resulting from the cooling of the hollow upper idler shaft of the chain grate can thus be recycled, thereby reducing the production costs.

Key words: chain grate; waste heat recycling; heating; energy efficiency & emission reduction; environmental protection ▲

(上接第 17 页)

- [8] 万叔超. 高压辊磨机在某选厂破碎流程改造中的应用[J]. 现代矿业,2018(6):196-197.
- [9] 谭文才,刘俊,姬建钢,等. 高压辊磨机作为顽石破碎机

的研究[J]. 矿山机械,2019(6):37-40.

- [10] 张光烈. 高效节能碎磨设备的技术特点及应用[C]//2011 年中国选矿学术高峰论坛论文集,2011:14-18.

Research on the Combined Process of High-efficiency Comminution Equipment

SUN Ming-jun

Abstract: HPGR and Vertimill have widely used as new high-efficiency comminution equipment in the mining industry. This paper described the technical characteristics, comminution flow chart of process and application of the high-efficiency comminution equipment. The technical advantages of the integrated system of HPGR and Vertimill are analyzed, and the application of the integrated system of HPGR and Vertimill in the concentrator design is analyzed, which provides a reference for the research and application of the high-efficiency comminution of ore in the future.

Key words: high-efficiency comminution; HPGR; vertimill; combined process; concentrator design ▲