

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.03.019

乌山半自磨机区间加球技术的研究与应用

张旭普,王越,邵爽,郭丽娟,马小慧,高向宏

(中国黄金集团内蒙古矿业有限公司,内蒙古满洲里 021400)

摘 要: 碎磨系统是选矿工艺的重要组成部分,投资金额占全厂的60%左右,其中半自磨机钢耗、电耗占整个磨矿作业的50%左右,为了节约磨矿成本、降低能耗,企业开展了半自磨机区间加球技术的研究。结果发现,与传统的加球技术相比,区间加球技术可以实现按需加球,提高半自磨机的磨矿细度,钢球单耗降低约24.62%,电耗降低约2.75%,显著增加了企业的经济效益。

关键词: 区间加球;半自磨;钢球单耗;临界粒子

中图分类号: TD921+.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-9492(2021)03-0110-04

Research and Application of Ball Feeding Technology in Wushan SAG Mill

ZHANG Xupu, WANG Yue, SHAO Shuang, GUO Lijuan, MA Xiaohui, GAO Xianghong

(China Gold Group Inner Mongolia Mining Co., Ltd., Manzhouli 021400, Inner Mongolia, China)

Abstract: Crushing and grinding system is an important part of mineral processing technology, the investment amount accounts for about 60% of the whole plant, in which the steel consumption and power consumption of semi-autogenous mill accounts for about 50% of the whole grinding operation, in order to save grinding cost and reduce energy consumption, the enterprise has carried out the research of ball feeding technology in semi-autogenous mill interval. The results show that, compared with the traditional ball adding technology, the interval ball adding technology can realize the ball adding according to the demand, improve the grinding fineness of the semi-autogenous mill, reduce the unit consumption of steel ball by about 24.62%, reduce the power consumption by about 2.75%, and significantly increase the economic benefits of enterprises.

Key words: interval adding ball; semi-autogenous grinding; unit consumption of steel ball; critical particle

半自磨机是一种物料破碎设备,因生产效率高、处理量大、配置方便及流程简单等优点而在国内外选矿行业中得到广泛应用。半自磨机与全自磨机工作原理基本相同,均是以待处理矿石本身作为介质,在适宜转速的筒体内,矿石受离心力、摩擦力作用被带到一定的高度后,在重力作用下,呈泻落或抛落状态运动,彼此之间产生冲击和磨剥作用,矿石由压力状态转变为张力状态,物料按解理面破碎,达到粉碎的目的。半自磨机由于添加部分钢球代替补充了部分大块矿石作为磨矿介质,强化了自磨机工艺流程及磨矿效果^[4]。乌山一期共两个系列,每个系列使用一台 $\Phi 8.8\text{ m} \times 4.8\text{ m}$ 半自磨机^[1],虽然乌山半自

磨机单耗、电耗自投产以来经过不断优化达到了比较理想的水平,但为了进一步降低磨矿成本,企业进行了大胆尝试,改变传统的加球方法,采用按需区间加球技术,经过工业试验,大幅降低了半自磨机钢球单耗和磨矿电耗。

1 矿石力学性质与磨矿介质

1.1 矿石力学性质

乌山铜钼矿是以次二长花岗斑岩为中心形成的空心环状矿体,成矿带形态为长环形,分南北两个矿段,地质构造复杂、矿床蚀变差异造成矿石软硬跨度较大,硬度范围 $f=8\sim 10$ 。矿体外圈主要是铜矿

收稿日期:2020-06-12

作者简介:张旭普(1985-),女,河北保定人,学士,工程师,主要从事有色金属选矿工艺管理及技术研究。

体,硬度低;内圈为钼矿体,硬度偏高^[1-5]。对乌山铜钼矿石进行了JKTech落重试验,矿石碎磨特性参数测定结果见表1、2。

表1 铜钼矿石碎磨特性参数测定结果

Table 1 Determination of grinding characteristic parameters of copper-molybdenum ore

矿石名称	$P_1/$ μm	$G_{bp}/$ $(\text{g} \cdot \text{r}^{-1})$	$F_{80}/$ μm	$P_{80}/$ μm	$B_{wi}/$ $(\text{Kw} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1})$
铜矿石	100	1.477 6	1 697	71.78	13.17
钼矿石	100	1.418 3	1 808	76.42	14.06
混合矿石	100	1.422 5	1 725	70.26	13.38

注: P_1 为筛网孔径; G_{bp} 为试验球磨机每转一周筛下量; F_{80} 为进料产品80%通过筛网时的孔径; P_{80} 为粉碎产物80%通过筛网的孔径; B_{wi} 为邦德功指数。

表2 原矿和顽石碎磨特性参数测定结果

Table 2 Measurement results of crushing and grinding characteristic parameters of raw ore and hard rock

矿石类型	SG	A	b	$A * b$	t_a	B_{wi}
原矿	2.58	62.6	1.21	75.7	0.55	12.89
顽石	2.7	74.7	0.56	41.8	0.16	14.67

注:SG为密度, g/cm^3 ; $A * b$ 为抗冲击破碎能力参数; t_a 为抗研磨破碎能力参数; B_{wi} 为邦德球磨功指数, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

表1、2测定结果表明,乌山铜钼矿石原矿抗冲击破碎能力处于中软范围,抗磨蚀能力处于中软范围;顽石抗冲击破碎能力处于中硬范围,抗磨蚀能力处于很硬的范围。

1.2 不同尺寸矿石及钢球质量关系

通过动力学分析可知,质量大的矿石和钢球在半自磨过程中主要分布在靠近筒体区域做抛落运动,质量小的矿石和钢球主要分布在筒体的“肾形”研磨区做泻落运动。乌山 $\Phi 8.8 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$ 半自磨机给矿粒度最大尺寸250 mm,出料端顽石窗格子孔尺寸55 mm,采用 $\Phi 125 \text{ mm}$ 钢球作为磨矿介质。不同尺寸的矿石和钢球质量关系见表3。

表3 不同尺寸矿石和钢球质量关系

Table 3 Relationship between ore and steel ball quality with different sizes

项目	规格/mm	球体半径/mm	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	质量/kg
矿石	D200	100	2.67	11.18
	D170	85		6.87
	D60	30		0.30
钢球	$\Phi 125$	62.5	7.18	7.34
	$\Phi 60$	30		0.99

由表3可知,乌山半自磨机筒体内最外层主要是170 mm以上的大块矿石,次外层则主要分布

$\Phi 125 \text{ mm}$ 钢球和小于170 mm矿块用于处理靠近“肾形”研磨区域的临界粒子(如顽石、卵石、砾石等),这些物料主要是60 mm以下的矿石,合格粒级产品主要产生于此区域。

2 半自磨机传统补加球方式

目前国内半自磨机传统补加球方式有两种:1)根据充填率,定时定量人工补加;2)定钢球单耗,匀速自动加球机补加。矿石性质复杂多变,半自磨机磨矿系统各工艺参数相互交叉影响,传统补加球方式违背了半自磨机以矿石本身做磨矿介质为主、钢球磨矿难磨粒子为辅的工作原理^[1-4]。乌山通过多年实践证明,无论是人工补加球还是自动加球机补加球,都存在对矿石适应性不强的问题,加球初期能量过剩,容易出现重叠磨球和双重磨球的现象;加球后期能量不足,矿石处理量又受影响。

3 半自磨机区间加球技术原理

半自磨机区间加球技术是磨矿机理为核心,摒弃“老三段”加球方法,以矿石软、中、硬的易磨性、难磨性为判断准则,充分发挥以大块矿石本身作为磨矿介质为主的磨矿原则,在不影响半自磨机时处理量、磨矿细度、设备安全的情况下,确定合理加球区间、最佳加球节点、加球量及加球次数,实现按需加球,杜绝过度磨耗,达到极致磨矿。

初始加球后要对矿石性质、运行时间、加球量、钢球单耗、磨机功率、顽石返矿量、出料端油压指标等技术参数进行现场跟踪测量,做出正确的判断。当加球区间磨矿能耗与钢球能量失衡后,视为本区间结束,新区间开始。根据上个区间多因素分析确定本区间首次加球量,加球后也重复跟踪功率、油压、顽石返矿量这3项指标变化趋势,指标不降说明能量补充不足还须继续加球,直到“三降三稳”停止补加,即为完整的加、降、稳、失衡再重新补充新能量的区间优化过程,总结27字加球法方针:软矿欺、硬矿压、判趋势、节点准、一次加、控功率、保油压、守顽石、浓度佳。

4 半自磨机区间加球技术应用

4.1 磨矿指标

乌山一系列半自磨机区间加球技术实践约6个月,实现了在不影响正常生产的情况降低半自磨机的钢球单耗及电耗。与未应用区间加球技术的二系列对比,见表4。

表4 不同加球方式的磨矿指标对比结果

Table 4 Comparison results of grinding indexes of different ball feeding method

月份	补加球方式	加球量/t	钢球单耗/(kg·t ⁻¹)	电耗/(kW·h·t ⁻¹)	半自磨处理量/(t·h ⁻¹)	较常规加球方法降低	
						钢球单耗/%	电耗/%
2	区间加球	264	0.405	5.63	892	29.87	5.06
	常规加球	354	0.577	5.93	894		
3	区间加球	224	0.401	5.88	886	30.08	-2.14
	常规加球	342	0.574	5.76	895		
4	区间加球	341	0.559	6.06	855	6.97	1.12
	常规加球	371	0.601	6.13	841		
5	区间加球	273	0.454	6.10	894	19.26	7.47
	常规加球	332	0.562	6.59	874		
6	区间加球	218	0.369	6.25	859	38.83	0.06
	常规加球	366	0.603	6.26	855		
7	区间加球	261	0.458	6.24	851	22.43	1.83
	常规加球	335	0.590	6.35	858		
合计	区间加球	1 581	0.441	6.01	873	24.62	2.75
	常规加球	2 100	0.585	6.18	869		

表4对比数据表明,乌山应用区间加球技术后半自磨机处理能力为873 t/h,6个月加球1 581 t;较常规加球方法的半自磨机处理能力提高4 t/h,少加519 t钢球。最终区间加球技术应用的半自磨机钢球单耗降至0.441 kg/t,降幅达24.62%。

4.2 产品粒度

乌山一系列半自磨机应用区间加球技术,这种按需加球的技术核心使其钢球充填率较常规加球方法低8%~10%,也更有利于发挥矿石间研磨与沿解理面解离。半自磨机不同加球方式的排矿粒级组成分析结果见表5。表5结果表明,乌山一系列半自磨机区间加球技术应用后,排矿中-0.074 mm粒级含量较常规加球方法高出2.52个百分点,按需加球提高了半自磨机排矿细度。

4.3 电耗

工业应用期间统计了两种加球方式的半自磨机运行功率,采用区间加球技术的半自磨机功率为5 212 kW,较常规加球方法降低了133 kW。半自磨机不同加球方式的运行功率对比结果见表6。

5 结论

乌山区间加球技术可以归纳为27字方针:软矿欺、硬矿压、判趋势、节点准、一次加、控功率、保油压、守顽石、浓度佳。该加球技术在一系列半自磨机的成功应用使钢球充填率始终处于动态平衡状态,钢球冲击碎磨能力和矿石硬度达到合理匹配。在保证磨机处理量的同时,降低钢球单耗24.62%,节电率为2.75%。实现了半自磨机按需加球,降低了钢球单耗及磨矿电耗,达到为企业节能降耗的目的。

表5 半自磨机不同加球方式的排矿粒度组成结果

Table 5 Results of particle size distribution of ore discharged from SAG mill with different ball feeding methods

系列	筛孔尺寸/mm	产率/%	正累积产率/%	负累积产率/%
区间加球技术	+50	1.57	1.57	100.0
	-50+30	3.44	5.02	98.43
	-30+20	3.58	8.59	94.98
	-20+7.9	7.56	16.16	91.41
	-7.9+3.962	6.15	22.31	83.84
	-3.962+1.651	7.21	29.52	77.69
	-1.651+0.833	8.73	38.25	70.48
	-0.833+0.246	18.02	56.27	61.75
	-0.246+0.175	5.29	61.57	43.73
	-0.175+0.074	10.05	71.61	38.43
	-0.074+0.043	4.81	76.43	28.39
	-0.043	23.57	100.0	23.57
常规加球方法	+50	2.76	2.76	100.0
	-50+30	5.55	8.31	97.24
	-300+20	3.63	11.94	91.69
	-20+7.9	7.42	19.36	88.06
	-7.9+3.962	5.24	24.60	80.64
	-3.962+1.651	7.16	31.77	75.40
	-1.651+0.833	8.71	40.48	68.23
	-0.833+0.246	19.40	59.88	59.52
	-0.246+0.175	5.18	65.06	40.12
	-0.175+0.074	9.07	74.13	34.94
	-0.074+0.043	4.29	78.43	25.87
	-0.043	21.57	100.0	21.57

表 6 半自磨机不同加球方式的运行功率结果
Table 6 Operating power results of SAG mill with different ball feeding methods /kW

月份	区间加球技术 半自磨机功率	常规加球方法的 半自磨机功率
2	5 033	5 340
3	5 169	5 139
4	5 081	5 135
5	5 419	5 745
6	5 315	5 326
7	5 269	5 406
平均	5 212	5 345
差值	133	

参考文献

[1] 井维和,刘伟,洪保磊,等. 乌山铜钼矿一期碎磨流程设计及生产实践[J]. 黄金,2015,36(3):63-66.
JING Weihe,LIU Wei,HONG Baolei,et al. Flowsheet design of the first phase crashing and grinding project in Wushan copper and molybdenum mine and its production practice I [J]. Gold,2015,36(3):63-66.

[2] 张军,张宗华. 选矿节能降耗途径的思考[J]. 金属矿山,2007(5):1-4,13.

ZHANG Jun,ZHANG Zonghua. Thoughts on ways for energy-saving and consumption reduction in mineral processing[J]. Metal Mine,2007(5):1-4,13.

[3] 王培龙,张萌,刘洪均,等. 乌努格吐山铜钼矿 SABC 碎磨流程能耗分布规律研究[J]. 矿山机械,2014,42(2):77-82.
WANG Peilong,ZHANG Meng,LIU Hongjun,et al. Research on energy consumption distribution laws of SABC comminution circuit in Wunugetushan Copper-molybdenum Mine[J]. Mining Machinery,2014,42(2):77-82.

[4] 段其福. 中国自磨技术 50 a 回顾与展望[J]. 现代矿业,2010,26(12):1-14,39.
DUAN Qifu. 50 years development and prospect of China's self-grinding technology[J]. Modern Mining,2010,26(12):1-14,39.

[5] 张国斌. 德兴铜矿半自磨机磨矿介质优化试验与应用[J]. 山东工业技术,2018(23):54.
ZHANG Guobin. Optimization test and application of grinding media for SAG mill in Dexing Copper Mine[J]. Shandong Industrial Technology,2018(23):54.