

柳州选矿设备学术报告会

论 文 集

国外金属矿选矿 编辑部

编 者 的 话

八十年代是科学技术迅猛发展的时代。国外选矿技术同其他科学技术一样，日新月异。

为了使我国广大选矿工作者及时了解和掌握近期国外选矿科学的新进展、新动向，特别是选矿设备的动向，用以指导我国选矿设备的科研、制造和生产，使选矿设备更好地为国民经济建设服务，为现有企业的技术改造和提高经济效益服务，为发挥我国的矿产资源优势服务，我们《国外金属矿选矿》编辑部与柳州探矿机械厂于1983年6月在广西柳州联合主办了选矿设备学术报告会。会议期间报告了重要学术论文22篇，来自全国冶金、地质、煤炭、化工、建材、机械，核工业等各条战线近二百位代表对国内外选矿设备的现状及今后发展进行了有益的讨论。代表们一致提议，今后每隔一定时间，希望会议主持单位继续召开这类学术会议。

为使国内广大选矿科学工作者进一步了解国外选矿设备的发展，对工作有所帮助，现将会议上发表的论文经修改，整理后，汇编于此。

此次会议得到南昌化验制样机厂、湖北探矿机械厂、贵阳探矿机械厂、天津矿山仪器厂、福建探矿机械厂的赞助。

《国外金属矿选矿》编辑部

1983年10月

目 录

近代大型磨矿机和我国现用磨矿机的磨矿效果比较·····昆明工学院	李启衡 (1)
碎矿——磨矿流程设计的研究与节能·····武汉建材学院	曾宪滨 (7)
磨矿设备的新进展·····冀东矿山设计研究院	宁宝臣 (14)
我国选矿厂首次应用国外制造的大型球磨机——介绍永平铜矿	
大型溢流型球磨机的引进·····南昌有色冶金设计院	朱长柏 (22)
国外水力旋流器应用近况·····长沙矿冶研究院	孙铁田 (26)
关于螺旋分级机的计算问题·····湖北省冶金设计院	单国安 (39)
国外筛分技术评述·····北京矿冶研究总院	方志刚 (43)
微细物料分级方法评述·····北京矿冶研究总院	王泽杭 (62)
XSZ—73型600×300单双层两用振筛机的研制及应用	
·····柳州探矿机械厂	孙黄初 (68)
XSGS—74型400×200湿式细粒筛分机的研制和发展前途	
·····柳州探矿机械厂	孙黄初 (72)
评价筛分设备的概率统计方法·····柳州探矿机械厂	谭世聪 (76)
反流筛分选石棉的理论研究·····武汉建材学院 吴一善	罗亚田 (83)
离心选矿机流膜的测定及运动规律分析	
·····长春黄金研究所 金世斌 东北工学院	孙玉波 (88)
螺旋选矿设备研制与应用的发展概况·····中南矿冶学院 陈庭中	徐镜潜 (99)
磁选机的发展·····中南矿冶学院	孙仲元 (104)
浮选机发展及其理论基础·····中国矿业学院	郭梦燕 (108)
浮选机所需功率的研究·····中南矿冶学院	吴亦瑞 (119)
磁流体静力分选机及其应用·····白银矿冶研究所	杨 光 (124)
国外辐射分选设备的进展·····核工业部第五研究所	张登福 (133)
浓密过滤设备进展概况·····长沙冶金工业学校	龚明光 (137)
国内外选矿试验设备发展动向·····地质矿产部北京勘探技术研究所	黄祖梁 (151)
北美选矿试验设备概况·····昆明冶金研究所	王文潜 (157)
为中国选矿设备研制而努力——会议闭幕词·····东北工学院	孙玉波 (165)

近代大型磨矿机和我国现用磨矿机的磨矿效果比较

昆明工学院 李启衡

提 要

本文从理论上分析和评议现用的评价磨机的“容积利用系数”不合理,认为 *R.T. Hukki* 的“基磨”与 *S.E. Andreev* 的“条件容积”都与理论符合,而且两者是一回事。由于 *R.T. Hukki* 的评价法没有直接联系生产率, *S.E. Andreev* 的评价法所需的用以进行运算的原始数据常常不足,故皆不能完全照用。权宜之计是用“基磨”功率来评价能量的利用情况,用单位“条件容积”的实际产量来评价容积的利用情况。

用上述两种指标,配合已发表的近代大型磨机的和我国现用的磨机生产数据,进行对比。可以看出,近代大型磨机的磨矿工艺效果,不及我国现用磨机的工艺效果。后者的优越性表现在,用于大型选矿厂,投资及经营管理费皆更为经济。

由于“基磨”法和“条件容积”法与理论符合,故从这两种指标的大小,有理由地而且很方便地找出,近代大型磨机的工艺效果之所以不及我国现用磨机的效果,主要是由于转速率和装球率皆较低。此外,还用基磨法对我国某些磨机的设计作了评价。

一、评价磨矿效率的方法

磨矿的目的是,用尽可能少的能量生产最多吨数的合格产品,但它的表面积应该力求最少。评价磨矿效果时,要用一两个指标将此目的全面地反映出来是困难的,所以现有的几种评价方法都在某一方面有缺点。当还没有可以全面地反应此目的的最完善的评价方法时,将已有的几种方法加以比较,明其优劣并考虑改善,可以逐渐找到更合理的方法。

虽然现有的几种方法都存在缺点,但它们都考虑了磨矿机的生产率和能量消耗两个最主要的事项,因此是有一定的价值的。要研究评价方法,首先也要搞清楚有用功率、生产率和它们之间的关系。

在磨矿介质的运动学中,可以把有用功率定义为:使磨矿介质发生运动以便进行磨

矿所需的功率。泻落式工作的磨机,它的有效功率,是使球荷偏转一定位置所需的能量,等于球荷在该位置时对于磨机轴线的力矩。抛落式工作的磨机的有用功率,是将球荷自落回点举升到脱落点并以磨机的圆周速度将其抛出所需的能量。两种工作制度的磨机的有用功率计算公式的推求方法不同,公式中的细节也各异,但它们的终结式都是下面的形式〔注〕。

$$N = K_{\text{泻}} \text{ (或 } K_{\text{抛}}) D^{2.5} L \dots\dots (1)$$

式中 N ——有用功率,千瓦;

$K_{\text{泻}}$ 或 $K_{\text{抛}}$ ——泻落式或抛落式推导公式时得的综合系数;

D ——磨机内直径,米;

L ——磨机内长度,米。

综合系数 $K_{\text{泻}}$ 与 $K_{\text{抛}}$ 都是与装球率和转速率有关的,在此不必详细写出它们各自的综合

项目。

破碎磨细过程毕竟是增加表面积的过
程,因而发生破碎和磨细作用的有用功率定
有一部分转化为新生表面上的表面能。

设 ΔA 为增加的比表面积, Q 为磨机的
生产率,则

$$rQ \cdot \Delta A = kN \dots\dots\dots (2)$$

式中的系数 r 为比表面能, k 为有用功率转化
为表面能的分数。此式指出,生产率 Q 与有

用功率 N 成比例,而比例系数 $\frac{k}{r \cdot \Delta A}$ 决定于

物料的可磨性与磨矿条件。实际资料表明:
如装球率高,球荷不产生滑动,生产率与有
用功率的关系与2式符合。如装球率低,球
荷产生滑动,一部分有用功率因此耗去,生
产率较2式得到的偏低。尽管如此,生产率
与有用功率成比例,是可以成立的。

上述公式1、2,是各种评价磨矿效果
的方法共同的理论根据,但应用起来就不同
了。下面分别说明和比较这些方法。

1. 习惯上常用的方法

选矿工业中,习惯上用“效率”(千瓦
·时/吨)和“利用系数”(吨/米³·时)来
评价磨矿效果。计算效率时,由于有用功率
难求,就用安装功率作计算。虽然有用功率
加机械损失加电机输电损失等于安装功率,
但前二者是不确定的。通常以为机械损失约
15~10%,电动机损失约10~5%,有用功
率约占75~85%。可是Coguiee就曾指
出,摩擦损失随磨机尺码而不同,8×5英
尺磨机的为11%,3×5英尺磨机的为40%,
而旧式磨机的有用功率为50%。由此可见,
用安装功率来计算效率是不准确的。由公式
1和公式2,如磨机内容积为 V ,可以改写为

$$N/V\sqrt{D} = K \text{ 或 } Q/V\sqrt{D} = K' \dots\dots (3)$$

采取“利用系数”这种指标,就是:

$$Q/V = K'\sqrt{D} \dots\dots\dots (4)$$

由公式4,必然导致大直径磨机的利用系数
一定大,应该大 $\sqrt{D}$ 倍。实际情况却表明,

大直径磨机的磨矿效率有时也会低于小直径
的,利用系数也未必就是大磨机的就一定
大。C.A.Rowland曾经指出:如以Bond的
操作功指数(W_i)和他的试验功指数(W_t)
之比值作为效率指标,一段磨矿用的直径10
英尺(3.05米)~19½英尺(5.94米)的球磨,
 $W:O/W_t = 0.89 \sim 1.07$ (平均0.986),12.5
英尺(3.81米)磨机的和大于12.5英尺磨机
的 $W:O/W_t$ 值皆为0.914。因此,磨矿效率
随磨机直径增加而增加,似乎到有效直径达
12.5英尺为止,而Bond考虑,效率随磨机
内径的0.2次方而增加所用的校正系数
 $EF_3 = (8/D)^{0.2}$ 当然也就是有限度的^[2]。

2. S.E.Andreev的方法^[3]

根据方程式1和2的意义,以及鉴于前
面讲的方法1的缺点,S.E.Andreev认为:
评价磨机的能量消耗,要根据有用功率(而
不是总功率)才准确;评定容积的利用情
况,须用“条件容积” $V\sqrt{D}$ (而不是内容
积 V)才较稳定;而生产率应当用磨矿动力
学公式计算,才能反映出给矿粒度和产品粒
度对生产率的影响。

有用功率的计算法很多,他采用下式:

$$N = k_1 V \sqrt{D} \left(\frac{G}{V} \right)^n \dots\dots\dots (5)$$

式中的 k_1 为比例系数,它与指数 n 应配合选
取。

k_1	6.70	6.55	6.42
n	0.5	0.7	0.8

G 为装入磨矿介质的吨数。据云,此式在磨
水泥的磨机于装球率为0.2~0.4及转速率为
0.7~0.8时曾获验证。

采用条件容积 $V\sqrt{D}$ 有较稳定的好处,
据他用同一厂出产的同类磨机作的计算,说
明 $Q/V\sqrt{D}$ 的变动最小。

至于生产率的算法,采用磨矿动力学
导出的下式

$$Q_{10} = Q_R \left[L_0 \frac{100}{R} \right]^{1/n} \dots\dots\dots (6)$$

表 1

不同规格磨机的 $\frac{Q}{V}$ 与 $\frac{Q}{VD}$ 和 $\frac{Q}{V\sqrt{D}}$ 值比较

D 米	L 米	V 米 ³	Q 吨/时	$\frac{Q}{V}$	%	$\frac{Q}{VD}$	%	$\frac{Q}{V\sqrt{D}}$	%
1.4	9	11.8	4.2	356	100	274	124	312	100
1.8	11	24.8	10.2	411	115	242	109	315	101
2.4	13	54.0	27.4	507	142	221	100	335	106

式中 Q_1 及 Q_R 分别为将 100% 大于计划粒度的给矿磨至 10% 与 $R\%$ 大于粒级计划的产品时的生产率, m 为物料性质和磨矿条件有关的参数。

此法考虑虽较周到, 但完全照它有两大困难: 其一, 如何选取 k_1 值和 n 值才能使求得的有效功率准确。怎样检验? 其二, 一般资料不会系统到可以定出 m 值。

3. R.T. Hukki 的方法^[4]

假定有效内直径为 1 米和有效内长度为 1 米的磨机为“基磨”(Base Mill), 用它作为比较的标准。将要互相比较的磨机的功率消耗折合成基磨的, 然后进行比较。由于工业磨机的有用功率难于获得, 只好用总功率作计算。设磨机内直径为 D , 内长度为 L , 它的总功率为 P_T , 基磨的总功率为 P_i , 则

$$P_i = \frac{P_T}{D^2 \cdot L} \text{ 千瓦} \dots\dots\dots (7)$$

就许多磨机作的计算指出: 在正常的低于临界转速内运转的球磨和棒磨的 P_i 值几乎相同, 在 6.1~12.2 千瓦(棒磨)或 7.9~12.4 千瓦(球磨)范围内, 12 千瓦可说是它们的最大值。砾磨的 P_i 值为 4.2~5.0 千瓦, 比球磨和棒磨的低得多。很多球磨与棒磨的 P_i 值皆未达到最大值 12 千瓦, 低于它就说明有提高磨机能力的潜力。有用功率较总功率约低 5~25%。

将公式 7 与公式 1 相比较, P_i 即 $K_{\text{泻}}$ (或 $K_{\text{抛}}$), 可见设计基磨是与理论符合的。此法的缺点是, 仍用总功率作计算, 而且没有直接反映磨机的生产率。

评价磨机效果的方法不只这三种, 但此

三种方法各具一定意义。习惯上用的办法, 方便计算, 但因与理论不符合; 易造成直径大的磨机的容积利用系数也大的误解, 而事实上大直径磨机的容积利用系数不一定就大, 按千瓦·时/吨计的效率不一定就少。R.T. Hukki 用“基磨”的总功率来比较, 是符合由磨矿介质运动学导出的有用功率公式的理论的, 其缺点是用总功率不够准确, 而且不能直接反映生产中最为关心的生产率。S.E. Andreev 用“条件容积”的生产率及有用功率来评价, 是既符合磨矿介质运动学导出的计算有用功率的理论, 又符合磨矿动力学中给矿粒度、产物粒度, 物料性质及生产率的关系的, 但提出的计算有用功率的办法不是在任何情况都可用的, 按磨矿动力学算生产率时又常常缺乏必要的各种数据。

在还没有更完善的评价办法时, 不妨就它们的优缺点作取舍、略加修改。修改时应注意以下几点:

1. 一定要有表示能量消耗和生产率的两种指标。

2. 采用“基磨”或“条件容积”(二者实质上是一回事)的办法计算单位生产率或单位能量消耗。

3. 有用功率不仅难于算准, 即使算准了, 还有一个有用功率的利用率问题。有用功率尽管相同, 但其它条件不同(如磨矿浓度和球荷配比等), 磨矿效果也不一样, 就是由于有用功率的利用率不同。在此复杂的问题未解决之前, 只好用总功率。

根据以上考虑, 选取一些近代大型磨机和国内现用磨机的生产情况计算, 加以比较。

二、近代大型磨机的和国内现用磨机的磨矿效果

表2 近代大型磨机的磨矿和国内现用磨机的磨矿效果比较^(5, 6)

磨机序号 比较项目	近代大型磨机										我国现用磨机									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
磨机直径(D)米	4.72	4.72	4.72	5.03	5.03	5.03	5.03	5.94	5.94	2.7	3.2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	3.2		
磨机长度(L)米	5.18	5.49	6.70	5.79	6.10	7.32	8.23	6.40	6.40	2.1	3.1	2.1	3.6	2.1	2.1	2.1	2.1	3.1		
有效容积(V)米 ³	85	90	110	108	114	137	154	144	144	10.4	22	10.4	17.7	10.4	10.4	10.4	10.4	22		
电机功率千瓦	1850	1937	2756	2235	2240	2980	3353	3166	2980	240	600	240	400	240	240	210	210	600		
比安装功率千瓦/米 ³	21.6	21.5	25.0	20.7	20.0	21.7	21.7	22	21.2	23.1	27.3	23.1	22.6	23.1	23.1	23.1	23.1	27.3		
给矿粒度毫米	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-12.7	-9.5 (-12.7)	-12	-12	-12	-12	-12	-14	-15	-30	-20		
溢流细度 % < 0.074毫米	65	55	—	50	60	60	60	47~45	50	50	50	40	35	55	60	77	65	50		
生产率(Q)吨/时	150.8	218.7	266.7	212.5	212.5	250	226	399.6	283.3	35.4	55	37	68.5	27	28~29	30	23	75		
容积利用系数 吨/米 ³ ·时	1.78	2.41	2.42	1.97	1.86	1.82	1.47	2.75	1.97	3.47	2.5	3.6	3.87	2.6	2.79	2.88	2.25	3.4		
新生<0.074毫米 吨/米 ³ ·时	1.03	1.16		0.85	0.98	0.97	0.74	0.94 ~1.05	0.83	1.53	1.15	1.35	1.15	1.3	1.48	1.5	1.33	1.5		
效率千瓦·时/吨	9.43	6.86	7.91	8.05	8.06	9.12	11.34	6.06	7.68	6.77	10.9	6.44	5.84	8.89	8.42	8	10.4	8		
$D^{1/3} \cdot L$	2.50	265	324	328	346	415	467	451	451	25.2	56.8	25.2	43.1	25.2	25.2	25.2	25.2	56.8		
P_t	7.44	7.31	8.51	6.81	6.47	7.18	7.18	7.02	6.61	9.52	10.6	9.52	9.28	9.52	9.52	9.52	9.52	10.6		
$V \sqrt{D}$	185	195	238	242	255	307	345	337	337	17.1	39.4	17.1	29.1	17.1	17.1	17.1	17.1	39.4		
$Q/V \sqrt{D}$	0.82	1.11	1.11	0.88	0.83	0.81	0.66	1.19	0.84	2.07	1.40	2.16	2.35	1.58	1.67	1.75	1.35	1.90		

1. 埃尔兹贝格(印尼); 2. 萨卡顿(美); 3. 卡尔顿(菲); 4. 谢里特(美); 5. 阿雷涅(秘鲁); 6. 列卡里达特(墨西哥); 7. 萨尔哈尔麦锡(伊朗); 8. 布干维尔(巴布亚一新几内亚); 9. 平托·瓦利(美); 10. 大孤山; 11. 东鞍山; 12. 鞍钢烧结总厂; 13. 南芬; 14. 红透山; 15. 铜官山; 16. 新台铜矿; 17. 西顶铅矿; 18. 因民。

三、分析和讨论

1. 就容积利用系数、新生的0.074毫米的吨/米³·时和条件容积生产率($Q/V\sqrt{D}$)等看,国内现用的磨机都较高,故近代大型磨机的比生产率不及国内现用磨机的高。就基磨的功率(P_i)值看,国内磨机的较高,故近代大型磨机较多潜力可以发挥。就效率(千瓦·时/吨)看,二者相差不大。但国内磨机是用安装功率算的、近代大型磨机是按安装功率的73%~76.7%(平均约76.5%)算的,如也按安装功率计算,就比国内磨机高得多,所以近代大型磨机的比能耗较大。总之,在评价大型磨机的经济效果时,应当明确它的工艺效果是不及国内现用磨机的。

2. 近代大型磨机的工艺效果较差的原因之一是,为了不要使衬板磨损太厉害和能量利用较经济,一般采用的转速率在68%左右,而我国现用磨机的转速率较高(约72%~84%)。另一个原因是,大直径球磨机的装球率在42~43%时需要的能量大,有的只采用37~40%,而我国现用球磨机的装球率略高。如钢球的堆比重为4.8吨/米³,按目录表中的装量球和有效容积推算,我国现用磨机的装球率大致是: $\phi 2.7 \times 2.1$, 30~56%; $\phi 2.7 \times 3.6$, 43.5~48%; $\phi 3.2 \times 3.1$, 44.5%。由于国内现用磨机的转速率及装球率皆较高,故此安装功率虽较高,比生产率却较大,从而比能耗较低。

3. 近代大型球磨机的优点不在磨矿工艺效果,而在适应大生产的需要表现出的经济上的优越性。此时,机组数目少,安装设备的总重量少,且安装时间较短,占地面积和厂房建筑皆较少,更易实现自动化,操作及维修所需劳动力皆低,因而投资及经营管理更为经济。近代大型磨机的安装功率(千瓦/米³)较低,可以反映这些优点。参考文献^[5]对此有详细分析。

4. 从理论上讲,根据公式3,采用R. T. Hukki的“基磨”来定比功率和采用S. E. Andreev的“条件容积”来定比生产率是合理的,因为它们把大小磨机置于同一水平来比较,参数 K 或 K' (见公式3)的大小,直接反映磨矿效果的高低。因为在公式1的导出过程中,参数 $K_{\text{泻}}(或K_{\text{抛}})$ 包含着装球率和转速率的影响,故公式中 K 或 K' 的大小主要从装球率和转速率找到原因。如果用容积利用系数来表示,理论上属于公式4。它的缺点首先是,从现象上易引起大直径磨机的比生产力一定大的错误概念,而事实却未必如此。其次是直径、转速率和装球率三者都影响比生产率,问题就更为复杂而难于分析,见本文附注。

5. 基磨功率(P_i)值的大小,取决于磨机设计。如安装功率订得高,磨机尺码订得小, P_i 值就高。在此情况,功率虽有余裕,但受磨机尺码的限制,发挥潜力较困难。与此相反, P_i 值如果小,由于多处理一些矿石并不需要增加功率,而磨机容积有余裕,利于发挥潜力。因而,就设计说, $\phi 2.7 \times 2.1$ 不如 $\phi 2.7 \times 3.6$,而 $\phi 3.2 \times 3.1$ 最差,功率选取过大。如果 $\phi 3.2 \times 3.1$ 磨机仅 P_i 值采用 $\phi 2.7 \times 3.6$ 的 P_i , 9.28所需功率的 $\frac{9.28}{10.6} \times 600 = 525$ 千瓦。这和用此两种磨机处理我国铜矿的操作功指数换算的 $\frac{11.3}{13.1} \times 600 = 517$ 千瓦^[7],是比较一致的。从R. T. Hukki的方法来看,近代大型磨机在选取功率方面,比我国现用的旧设计磨机较为经济。

[注]球磨机的有用功率的推证得到的公式如下:

1. 泻落式工作的磨机的有用功率:

$$\begin{aligned} N &= 3.62r \sin^2 \frac{\Omega}{2} 4 \sin \theta D^{2.6} L \\ &= K_{\text{泻}} D^{2.6} L \text{ 千瓦} \end{aligned}$$

式中: r ——磨矿介质的堆比重;

Ω ——球荷横断面圆弓形的圆心角,
与装球率有关;

θ ——球荷的偏转角,与装球率及转
速率有关;

ψ ——磨机的转速率;

D ——磨机的内直径;

L ——磨机的内长度;

$K_{\text{泻}}$ ——综合系数, $K_{\text{泻}} = 3.62r\sin$

$$3\frac{\Omega}{2}\psi\sin\theta$$

2. 抛落式工作的磨机的有用功率

$$N = 0.864 \frac{G}{\psi} \sqrt{D}^3 \left[9(1 - K^4) - \frac{16}{3}\psi^4 \right]$$

$$(1 - K^6) \Big] = 0.678 D^{2.5} L r \psi^3$$

$$\left[9(1 - K^4) - \frac{16}{3}\psi^4 (1 - K^6) \right]$$

$$= K_{\text{抛}} D^{2.5} L \text{ 千瓦}$$

式中: G ——球荷重量;

ψ ——装球率;

K ——最内层球半径与最外层球半径
之比,与转速率有关;

$K_{\text{抛}}$ ——综合系数, $K_{\text{抛}} = 0.678 r \psi^3$

$$\left[9(1 - K^4) - \frac{16}{3}\psi^4 (1 - K^6) \right]$$

其余符号同前。

参 考 文 献

- [1] A.F.Taggart: Handbook of Mineral Dressing (1947).
- [2] C.A.Rowland: Grinding Calculations Related to The Applications of Large Rod and Ball Mills — Abstract(Can. Min J 1972, No6).
- [3] С.Е.Андреев В.В.Твоаров В. А. Перов: Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава (1959).
- [4] R.T.Hukki: Fundamental study of the grinding characteristics of tumbling mills (IMPC 1960).
- [5] В.К.Захваткин等: 大直径和大容积球磨机的使用情况和经济效果《国外金属矿选矿》1979, №4
- [6] 选矿设计参考资料(1973).
- [7] 单国安: 用功指数选择计算磨矿机《国外金属矿选矿》1982, № 11.
- [8] 李启衡等编: 碎矿与磨矿 (1980).
- [9] Automatic Chamber Filter Dewater Large Tonnages, 《World Mining》, July, 1982, p.9.
- [10] Pressure filters Reduce Operating and Capital Costs, 《World Mining》, Nov., 1982, p.50~51.
- [11] XLJZ—20 立式自动厢式压滤机, 上海化工机械厂产品目录。
- [12] Die Entwässerung von Feinstkornschlamm in der Steinkohlenaufbereitung mittels Siebband Pressen, 《Aufbereitung—Technik》, No.6, 1982.
- [13] Belt filter Process Squeeze into Preparation Coal Plants, by Richard H. Masoã, 《Coal Mining and Processing》, Jan, 1982, p.50.
- (上接150页)
- Automatic Pressure Filtration, by Haartit B. Sc. 《Aufbereitungs—Technik》, p.243 ~253, No.5, Mai, 1981.
- [24] How Siilinjärva successfully floats Low—grad Apatite, by Chadwick, J. a.R, 《World Mining》, June 1981, p.106~109.
- [25] Dewatering Nickel Concentratta Kotalahti. by Rantanen, S., 《World Minig》, April, 1981, p.52.
- [26] Dewatering Brunswick Concentrates by Pressure Filtration, by J. E. Nasset, 《CIM Bulletin》, July, 1982, Vol.57, No.843, p.103~112.
- [27] Larox CF Automatic Chamber filter, 《Aufbereitungs—Technik》, No.6, 1982.
- (下接38页)

碎矿—磨矿流程设计的研究与节能

武汉建材学院 曾宪滨

改变碎矿和磨矿流程设计的某些陈旧概念,以适应当前和将来的发展。五十年代初期,我们引用苏联的一套设计规范和程序,在八十年代的今天,自然是不合适的了。就苏联来说,在这三十年间也作了较大变动。本文拟借鉴国外的现状和动向,结合我国国情,突出在碎磨过程节能问题上展开一定的讨论,为今后的碎磨流程设计提出些粗浅的见解。

一、“多碎少磨”的论据

自1952年K·A·拉苏莫夫(K·A·Разумов)编著的《选矿厂设计》俄文版传入我国,到1972年由长沙黑色金属矿山设计院负责编写的《选矿设计参考资料》,都是一脉相承的二段或三段的开路或闭路破碎流程(见于图1)〔2〕。

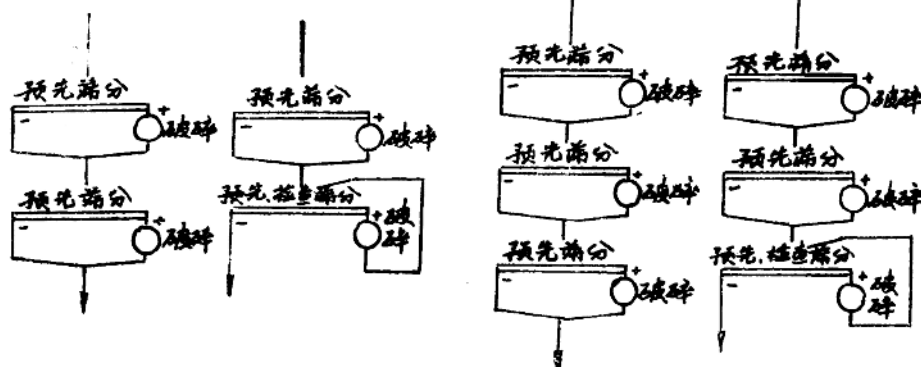


图1 典型破碎筛分流程

其预先或检查筛分与破碎作业的程序恪守规矩,而且单纯为着简化破碎流程提倡开路破碎。继后增加棒磨作为细碎,全然没有顾及节能的观点。到60年代至70年代自磨盛行时,更是片面注重简化流程而热衷于以磨代碎。事实上,从概率的观点出发,磨矿的效率远不及破碎效率。C·J·Stairmond与K·Schonert曾测试了单粒破碎的概率〔3〕,见于表1。湿式磨矿中,高浓度矿浆对磨矿介质动能的消耗是显著的,严重有碍于矿石的破碎。B·H·贝格斯特朗(B·H·Bergstrom)曾作过矿粒于空气与胶状介质

表1 几种设备产生单粒破碎的概率

设备	辊式破碎机	撞击式破碎机	圆筒破碎机	球磨	喷射磨矿机
概率%	70~100	25~40	7~15	6~9	1~2

中磨矿的对比试验。证实在空气中比胶质中的破碎比大得多,前者为4.0,后者仅1.1〔4〕。显见在湿式磨矿中,确是W·F·Carey与C·J·Stairmand所提出的,几乎95%的能量消耗于材料表面的摩擦,仅5%左右用于破碎作有用功〔5〕。磨机筒内的矿浆与轴承温升显

然是磨矿动能转换为热能形式的一种表现。

一度盛行的自磨，因为它的功耗比传统的破碎磨矿高25~100%。所以，在70年代，从工艺及节能的角度，明显地由自磨向半自磨发展，国外相继在皮马（Pima）、洛奈克斯（Lornex）、阿夫顿（Afton）等一批铜矿选矿厂相继实现^[6,5]。虽然有人认为半自磨流程将优越于传统的破碎磨矿流程，但在D.J.Barratt对上述二者的比较中，仍然表明半自磨流程的耗电比常规磨矿流程高6.7%（详见于表2）。

同样，在赛普路斯·皮马（Cyprus Pima）选矿厂，从74年到77年整个4年中，也表明粗碎加半自磨流程的功耗比常规碎磨流程更高，前者为16.47千瓦·时/吨，后者仅14.26千瓦·时/吨。相差15.5%。

表2 典型斑岩铜矿石常规磨矿与半自磨功耗比较表

常规磨矿流程	度/吨	半自磨磨矿流程	度/吨
皮带运输	2.000	皮带运输	0.300
筛分等	0.136	筛分等	0.070
第二、第三段破碎	0.768	第一段磨矿	9.755
棒磨机	4.068	第二段磨矿	8.570
球磨机	10.533	磨矿回路砂泵	0.340
磨矿回路砂泵	0.340		
合 计	17.845	合 计	19.035

总而言之，常规碎磨流程比半自磨流程节省能耗，这是人们一致公认的。有人统计半自磨费用比常规磨矿费用要高25%^[3]。鉴于碎磨费用的主项不外乎“钢耗”、“能耗”，因此，在认为钢耗相当的情况下，半自磨流程的能耗比常规流程的能耗也高25%左右是可信的。

在十三届国际选矿会议论文集的《从榴辉岩中回收金红石》一文中，还述及1000~400毫米粒级的矿石，在满载情况下进行的三段或四段破碎能耗测定的半工业试验，

得出由1000毫米破碎到15毫米的三段破碎的能耗为3.7千瓦·时/吨，四段破碎在相同破碎比的情况下仅为2.6千瓦·时/吨^[9]。

综上所述，可见多磨少碎，或以磨代碎都是于节能不利的。因为破碎一短吨矿石的电耗为1.0~3.5千瓦·时，而磨碎一吨矿石的电耗为5~12千瓦·时。就达到相同破碎比而言，破碎机的功耗大约为棒磨机的50%^[4]。因此，多碎少磨才是唯一正确的碎磨原则流程。

二、常规破碎流程讨论

在具体的流程结构上，我国一直是恪守标准流程。到七十年代，由于破碎厂配置标准设计（或称通用设计）的兴起，更是偏离了工艺和节能的前提，片面去追求配置整齐、紧凑，甚至贪图配置简单而违背了符合于工艺流程要求的原则，往往在第二段破碎前取消应当设置的预先筛分。恰好与国外特别注重及早在第二段破碎前预筛出合格最终产品的作法相反。大量实例表明，预先筛分于破碎作业总是有利的。它不仅有古典的解释，筛掉粉矿，以解除破碎腔堵塞的可能性。同时，还因其除去筛下量后，进入破碎机的矿量减少，相对地提高了破碎机的处理能力，或在相同处理能力的条件下，调小排矿口改善产品粒度。其实，它的更重要的作用，在于矿块或粗粒矿石可在破碎腔内实现刚性破碎^[10]。避免破碎动能受到细粒（小于排矿口和排矿最大粒度的粒子）缓冲而无益地消耗能量，使破碎体对矿石所作的功最大限度地转换为物料的粉碎，即所谓的获得最大的表面积（表面能）。

这种刚性破碎获得的产物，其粒度组成无疑地比不筛除细粒的给矿所获得的产物粒度特性要好，必然是细粒居多。送下段破碎或作为磨机的给矿均是有利的。

过去认为不经筛出粉矿的物料一起进入破碎机，未见得因粉矿量而影响破碎功耗增

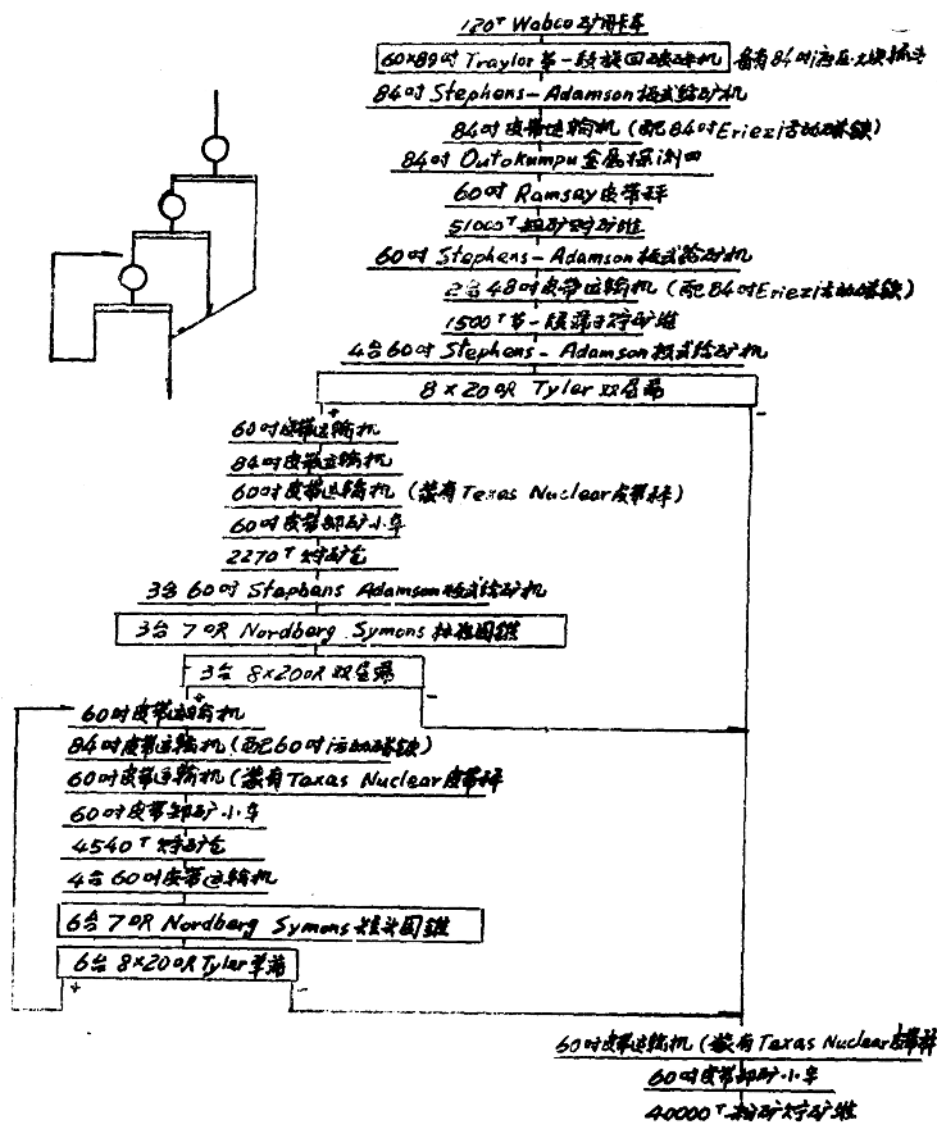


图3 萨·克什米选矿厂破碎流程图

分存在的合格产品。

在典型配置设计的影响下,使得设计思想受到某种程度的束缚,不能因时因地作出有利于节能的破碎流程设计。其中有对破碎磨矿的能耗占整个选矿厂50~60%^[15]的重要性认识不足。只片面考虑配置简化,例如,某设计院近年设计投产的某铁矿选矿厂^[16],

采用三段开路破碎流程。而且在中碎前不设预先筛分,最终破碎产品粒度25~0毫米。在当时总结,认为是比较成功的。但从现在节能的观点来认识,对照多碎少磨的原则,显然值得研究了。上述处理能力达80000吨/日的布干维尔选矿厂与第一期规模为40000吨/日的萨·克什米等选矿厂,它们的最终

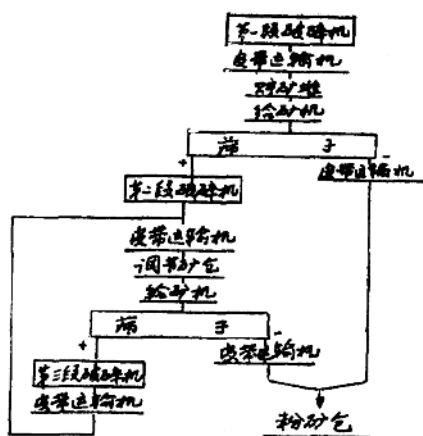


图4 国外典型破碎流程图

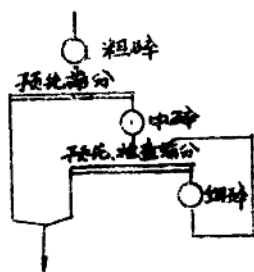


图5 国外简化典型破碎流程

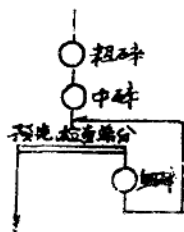


图6 我国800~1000吨/日典型破碎（设计）流程

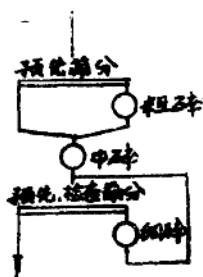


图7 我国1500~2000吨/日典型破碎（设计）流程

产品粒度均为13毫米。这一常见的最终产物粒度也是国外现代典型破碎流程的一个重要特点，是多碎少磨原则的具体体现，也是J·C·法乐特（J·C·Farrant）——R·诺斯（R·North）曲线的实际应用。这些，都是值得我们借鉴的。

此外，对某些易于辨别和具有其它特征的矿石或围岩及脉石，在破碎流程中的适当位置考虑手选作业，于节能及经济效益将是很有意义的。

三、常规磨矿与自磨、半自磨磨矿流程

磨矿流程的演变和发展至今，不外乎是常规磨矿、自磨磨矿、半自磨磨矿三种类型，细分为①单段自磨；②自磨加破碎；③自磨、球磨加破碎，（所谓的ABC流程）；④自磨加砾磨；⑤自磨加球磨；⑥单段半自磨；⑦半自磨加球磨；⑧棒磨加球磨；⑨单段球磨。

在“自磨热”的年代里，仅15年左右的时间，世界各国就有了340多个自磨机组投产，其中最大的自磨机，是希宾·铁燧岩（Hibbing Taconite）公司的洛克西尔（Rocky1）选矿厂安装的36×15英尺自磨机，其驱动电机功率大到12000马力。

从理论上讲，自磨节省钢耗，可达55~60%，其实不然，因大块矿石对漏斗及其它的磨损却是很严重的。至于常规磨机的磨矿介质和衬板，尚可以从材质上去寻求更高级的耐磨材料。

此外，还可以从衬板结构上去寻求更合适的型式，以降低能耗^[17]。然而自磨的能耗成倍地高于常规磨矿的能耗这一事实，则是自磨机无法弥补的缺点。因此，布干维尔选矿厂设计时，最后放弃了自磨方案，而选用常规磨矿流程。

常规磨矿流程，包括棒磨加球磨和单段

表3

近年投产的常规磨矿选矿厂

投产时间	厂名	吨/日	磨矿机
1974	Sacaton	9000	单段2—15 $\frac{1}{2}$ × 18英尺球磨机, 每台3000马力。
1974	Pinto Valley	40000	单段6—18 × 21英尺球磨机, 每台4000马力。
1975	Metcalf	35000	单段12—12 × 14英尺球磨机, 每台1500马力。
1976	Cuajone	45000	单段8—16 $\frac{1}{2}$ × 19英尺球磨机, 每台3000马力。
1976	Lakeshore	11000	1—13 × 19 $\frac{1}{2}$ 英尺, 1500马力。棒磨和2—14 × 23 $\frac{1}{2}$ 英尺, 2500马力球磨。
1978	Sar Chesmeh	40000	8—16 $\frac{1}{2}$ × 27英尺, 4500马力球磨
1979	Carr Fork	9000	1—14 × 20英尺2000马力棒磨和1—16 $\frac{1}{2}$ × 29英尺5000马力球磨
1979	Lu Caridad	72000	单段12—16 $\frac{1}{2}$ × 24英尺球磨机, 4000马力

球磨二种, 为满足日益增大的选矿厂规模所提供的大型磨矿设备, 棒磨机在80年代可能会发展到15.5 × 20.5英尺, 成为世界上最大的棒磨机。它配备的电动机为2500马力。目前在美国用于生产的最大棒磨机是15 × 20英尺的, 配2300马力的电动机驱动; 最大的在生产中运行的球磨机, 则是: Eveleth Taconite 公司的17 × 45英尺溢流型球磨机和布干维尔的18 × 21英尺 Allis-Chalmers 溢流型球磨机。前者驱动功率6900马力, 后者驱动功率4250马力。

显然, 如此大型的磨矿机, 终归会受到规格的限制, Allis-Chalmers 公司的磨矿权威罗兰 (Rowland), 曾作过6.1 × 8.5米和5.1 × 5.7米的球磨机对比试验, 发现直径5.1米的球磨机比6.1米的能耗省, 磨损慢, 因而技术经济指标较好。对此, 他建议球磨机直径不要超过5米。特别是棒磨机, 钢棒达到4英尺 × 20英尺, 不仅搬运添加困难, 而且换棒需要花费停车时间。所以, 对大型选厂而言, 明显地看出在向单段球磨流程发展。布干维尔即是一例。很多近年来设计投产的选厂也是如此, 详见表3。

之所以近年来倾向于单段球磨流程, 不只是球磨机的利用系数最高, 达到95%以上, 而自磨机、半自磨机的利用系数分别只

有90%和80%。更主要的原因, 仍是球磨磨矿流程的能耗比自磨或半自磨流程低一倍和1/4。

在常规的单段磨矿回路结构上, 长期以来, 是球磨机与分级机按1:1配套组成机组, 尽管分级机的效率很低而相应地影响其循环负荷, 以致磨矿机处理能力降低而能耗增高。但在能源矛盾不突出的年代, 人们习以为常。1979年, 芬兰学者R·T·胡基 (R·T·Hukki), 在其长期研究的基础上, 于“闭路磨矿原理”一文中强调了两段分级回路应用的重要性^[18], 并用图示方法概括了循环负荷、分级效率 (E)、处理能力与功耗等主要的磨矿变量之间的关系 (见于图8)。

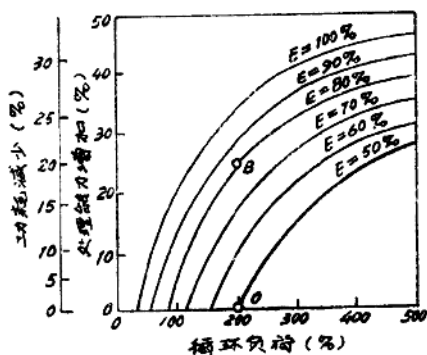


图8 循环负荷、分级效率、处理能力增加及功耗减少之间的关系 (E = 50%, 循环负荷200%)

指出：假定循环负荷为200%时，当 E 值由50%提高到80%，则处理能力提高25%，而功耗减少20%。换句话说：即是随着分级效率(E)的提高，欲要维持认为合适的循环负荷200%，必须加快磨矿机的给矿速率，从而使单位时间内处理量增大，而单位吨矿的功耗下降。或者说，采用尽可能高的分级效率和最适宜的循环负荷(150~200%)，以最大限度地获得合格产品的产量。这便是强调二次分级的实质所在。

根据这一理论，在瑞典的一些铅锌选矿厂和芬兰的凯米(Kemi)铬矿选矿厂都运用了二次分级，用 $\phi 800$ 毫米Hukki二次水力分级机(即水力圆锥分级机)处理水力旋流器的沉砂，使分级效率(E)从第一段旋流器分级的50%提高到整个回路的80%。

为提高分级效率，旨在降低磨矿能耗的措施，除“二次分级”而外，尚可寻求减轻分级机负担和改善分级条件的途径。据悉，我国荡坪钨矿的宝山选矿厂，原采用两台 $\phi 1.5 \times 3.0$ 米湿式格子型球磨机与 $\phi 1200$ 毫米高堰式单螺旋分级机配套，选厂日处理能力为300吨。后来改装扩大成 $\phi 1.8 \times 3.0$ 米球磨机，按其球磨机的直径与容积增大二因素来推算，改装后的二台磨矿机总能力只可能比原有能力提高60%，而今竟提高了67%，达到日处理矿量500吨。其中额外提高的7%的处理能力，显然归咎于该厂选用了比原分级机能力大一倍的 $\phi 1200$ 毫米双螺旋分级机[19]。

所以，传统的磨矿机与分级机配套装置设计是继续沿用还是本着节能的观点，尽其可能地提高分级效率而为之创造有利的分级条件，确实是摆在我们面前的一个重要

的问题，因为我国现阶段仍然把螺旋式机械分级机当作主要的分级手段。即使在国外使用水力旋流器已相当普遍，细筛也已用作与磨机组成闭路的分级设备，但它们的功耗无疑是很高的。所以，近年来，在国外的设计中又出现选用螺旋分级机的实例，如规模为2000吨/日的墨西哥Cumobabi钼选矿厂，选用4台 7×11 英尺球磨机与2台 5×30 英尺双螺旋分级机构成闭路磨矿，且在配置上具有特色，每2台球磨机共一台分级机。这对墨守陈规的组合配置也是一个良好的启示。

归结起来，我国磨矿流程当以常规磨矿流程为主；一段磨矿或二段磨矿视矿石性质而定；磨矿流程的结构应以节能为原则；对提高分级效率应引起足够重视，二次分级当积极推广使用，现有机机械分级机更应为它提供良好的工作条件。

四 关于碎—磨

流程方案比较

以往的碎磨流程方案比较，仅限于“技术上可靠和经济上合理”，有时也冠以“工艺先进”。而今面对能源紧缺的现实，“节能”不仅是必须参与比较的项目，而且应列为主项，突出其在技术经济指标中的地位。

对于过去曾经习惯的提法，所谓碎—磨平衡的问题，现在也应当改观，切不可从计算表格上去追求设备负荷率，不可鉴于磨机能力富余或碎矿能力吃紧而允许碎矿向磨矿供应粗给矿进行所谓的调节碎—磨负荷均衡，而只能遵循“多碎少磨”的原则，一切从节能出发。

参 考 文 献

〔1〕 K. A. Паэмов: 《选矿厂设计》1952

〔2〕 长沙黑色金属矿山设计院等: 《选矿厂设计参考资料》，1972

〔3〕 《Aufbereitungs—Technik》1980, № 10

〔4〕 《World Mining》1982, № 4, P44~48

〔5〕 李启衡: 碎矿和磨矿的能量消耗 1983, 3

磨矿设备的新进展

冶金工业部冀东矿山设计研究院 宁宝臣

前言

黑色金属矿石选矿、有色金属矿石及稀有金属矿石选矿、化工原料的制备、玻璃工业、水泥工业、食品加工业以及热电厂都是粉料的加工和利用部门。这些部门在提高产品质量、降低生产成本的过程中都非常重视所使用的破碎磨细设备的技术性能,普遍要求磨细设备的单位处理能力高,磨细产品的粒度合格率高,能耗低,经久耐用。近二十年来随着粉末冶金业和高档耐火材料以及废旧物质的再资源化部门的兴起,它们要求的粉碎设备是能加工极细的粉料,或者粉料无铁染,以及被粉碎的物料的形状和物理性质极其特殊,必须用专门的磨细设备来粉碎,随之而来一批专用的磨细设备应运而生,扩大了磨细设备的谱表。

众所周知,磨细过程电能的消耗较高,约占世界总能耗的4%,国际上能源涨价,很快就被波及到粉料的加工和利用部门,核心就是所选用的磨细设备在处理单位重量的产品时能否进一步地节约电能,少耗磨细介质和耐磨衬,降低生产成本。

一、圆筒形磨矿机

60~70年代磨矿设备的主要发展方向是设备的大型化。

1. 大直径的球磨机

60年代大型磨矿机的制造厂为了消除大型磨矿机端盖的断裂,将原来整体铸钢件改为整体球墨铸铁件,又通过对主要零部件破坏性试验、磨矿机的小型模拟试验、应用遥感的技术对运转着磨矿设备的各部位做应力传感,再通过电子计算机进行应力分析,从而大大地改善了大型磨矿机的结构设计。与大直径球磨矿相适应的大规格的空气联轴节、液力联轴节、大齿圈和高强度的小齿轮得到供应,保证了直径在5米以上的大型球磨机安全投产。现在已有70多台大型球磨机应用在大型铜矿或铜铅矿的选矿厂中。大型矿山在处理粗粒斑岩铜矿类型的矿石时,选用大型球磨机单段磨矿或与中矿或粗精矿的再磨工艺相配合,确实收到了单位投资省、经营费用低的良好效果。

(1) 选用直径为4.27米以上的大型球磨机处理斑岩铜矿、铜铅矿,由于磨矿机的台

〔6〕《CIM Bulletin》1979, №811, P74~80

〔7〕《Mining Engineering》1982, №6, P647~651

〔8〕《E/MJ》1980, №6, P96~103

〔9〕《With Intern. Miner. Proces. Congre.》, Part B P 1802—1824

〔10〕欧阳希云:粉碎工程(初稿)1983

〔11〕《国外金属矿选矿》1975, №5—6, P78~81

〔12〕《国外金属矿选矿》1978, №9, P54

〔13〕《E/MJ》1979, №2, P57~80

〔14〕南昌有色冶金设计院:《破碎车间典型配置图册》1979

〔15〕杨忠高:粉碎工程 1982

〔16〕《矿山设计研究》1981 №4

〔17〕《国外金属矿选矿》1982, №12, P30~38

〔18〕《国外金属矿选矿》1980, №4, P55~63

〔19〕曾宪滨:江西荡坪钨矿宝山选矿厂考察报告 1983, 3

〔20〕《World Mining》1980, №7, P44~49