

第三届全国粉碎工程技术研 讨会讲座报告及论文集

(一)

中国选矿科技情报网

一九八六年十月

前 言

原准备由中国选矿科技情报网粉碎工程网召开的首届粉碎工程技术研讨会，现改由粉碎工程网、中国金属学会选矿学会粉碎学术委员会、中国有色金属学会选矿学术委员会粉碎工程学组及中国有色金属工业总公司选矿情报网联合召开的第三届全国粉碎工程技术研讨会。在粉碎工程情报网一年多筹备工作的基础上，再次广泛地向有关单位及个人征求了论文，截至七月底至，共收到讲座稿件14篇，会议论文37篇。其中有七篇刊登在粉碎工程网编辑的《粉碎工程》创刊号上，其余刊登在本文集中。

全部稿件均根据“文责自负”的原则处理，只进行了印刷需要的加工，以便于保持原文的特色。

我们期望这次会议获得成功，起到加强粉碎工程技术界相互交流、互相学习的作用，以推动粉碎工程技术进一步发展。

感谢各单位各位同志的大力支持。

本文集委托中国选矿科技情报网出版。

第三届全国粉碎工程技术研讨会筹备处

一九八六年十月

目 录

一、专题讲座部分

磨矿近代技术和设备的发展	[北京钢铁学院]	杨忠高(3)
国外细碎及超细粉碎近况	[北京矿冶研究总院]	孙成林(13)
联邦德国的粉碎节能	[中南工业大学]	黄圣生(25)
磨矿动力学及其应用的研究	[东北工学院]	刘连香、陈炳辰、刘其瑞(35)
磨矿功率的测定、计算与最佳磨矿工作参数的研究	[东北工学院]	杨小生、陈炳辰、刘其瑞(52)
磨矿动力学的应用	[中南工业大学]	徐秉权(68)
对粉磨工业中节电和节省金属消耗的探讨	[天津水泥工业设计研究院]	王绍兴(84)
改进细碎圆锥破碎机工作参数和结构参数、实现超细碎的探讨	[东北工学院]	丁耀武(99)
提高圆锥破碎机的运转可靠性	[中南工业大学]	周恩浦(105)
降低入磨粒度、节省磨碎能耗——水泥工业多碎少磨述评	[上海建材学院]	戴少生(112)
磨矿介质	[北京矿冶研究总院]	王宏勋(129)
颚式破碎机的摆动行程S与行程比m	[首钢职工大学]	刘绍武(144)

二、论 文 部 分

提高碎磨技术装备途径初探	[首钢矿山公司]	王学会(169)
提高破碎产品合格率实践	[弓长岭选矿厂]	姜春范(176)
颚式破碎机主要构件受力分析与校核计算	[首钢职工大学]	刘绍武(180)
中小型选矿厂最佳碎矿方案的研究与设计	[南昌有色冶金设计研究院]	邹小骥(188)
磨机动静压轴承的设计与应用	[天津水泥工业设计研究院]	王绍兴(197)
反击式破碎机的破碎力及功耗的分析计算	[金山水泥厂]	阮丰乐(200)
选择性磨碎现象及对选矿的意义	[昆明工学院]	段希祥(205)
平盘辊式磨主要工作参数的探讨	[天津水泥工业设计研究院]	刘 明(212)
多筒球磨机最佳工作转速的研究	[武汉建筑材料工业学院]	许林发(218)
多筒球磨机功率计算	[武汉建筑材料工业学院]	许林发(222)
提高湿式球磨机转速选出最佳功率的探讨	[鞍钢烧结总厂]	杨秀珍(224)
降低破碎产品粒度、实现节能生产	[长沙黑色金属矿山设计院]	朱宇红(227)
多碎少磨效益显著	[桃林铅锌矿]	陈宝权(234)
石墨浮选流程中各磨矿作业产品粒度特性研究	[武汉工业大学北京研究生部]	郑水林(236)

如何提高锤式破碎机锤头寿命.....	〔洛阳工学院〕	张烂烽(241)
水泥机械易磨损另件的选材.....	〔洛阳工学院〕	张烂烽(243)
磨机衬板形式对快硬水泥颗粒组成及强度的影响	〔天津水泥工业设计研究院〕	吴绵祺(246)
旋回破碎机破碎腔的分析与设计.....	〔武汉冶金建筑专科学校〕	郎宝贤(253)

一、专 题 讲 座 部 分

磨矿近代技术和设备的发展

[北京钢铁学院] 杨忠高

众所周知,六十年代中期和七十年代期间,磨矿设备一直是向大型化的方向发展,湿式自磨机(半自磨机)和球磨机尤其如此。八十年代以来,磨矿设备和技术的发展趋向已经不只是规格大型化,而是明显的以节省磨矿能耗和钢耗为重点,研制新型的高效率、低能耗的磨矿设备,尤其是超细磨矿技术和设备,改进磨机筒体衬板材料和结构形状,改进磨矿介质的断面形状和材质,以及改善磨机传动方式等,旨在保证磨矿产品细度的条件下,以提高磨机处理能力和磨矿效率,降低磨矿能耗、钢耗和生产成本。

一、磨机规格大型化

磨矿设备大型化,是七十年代国内外磨矿专家几乎一致的看法。通过大型球磨机的实践研究,一般认为,大型球磨机比小型球磨机有一定的优越性。但美国专家罗兰对比试验 $\phi 6.1 \times 8.5$ 米和 $\phi 5.1 \times 5.7$ 米球磨机认为,球磨机直径超过 $\phi 5.1$ 米,经济指标不准,能耗增高,衬板磨损失效加快。他建议,球磨机直径不要超过 $\phi 5$ 米。为了防止磨矿机出现无效的负荷运行,苏联学者通过对于铁矿区湿式磨机的计算得出^[1],球磨机直径不得超过 $\phi 5.5-6.0$ 米,自磨机直径不得超过 $\phi 9.5-14.0$ 米。现在看来,他们意见和建议是有一定道理的。然而,迄今生产中唯一的一个实例,就是挪威学者狄格律为本国的基克内斯铁矿提供了 $\phi 6.5 \times 9.65$ 米、8100千瓦的巨型球磨机,处理能力高达1000吨/时,是 $\phi 3.25 \times 4.65$ 米球磨机的10倍。据估计,单位电能降低10—15%。但是,该磨机采用的是环形马达直接传动的新型装置。

目前,生产厂中大型磨机主要实例有:

湿式棒磨机:	$\phi 4.6 \times 6.1$ 米,	1700千瓦,	铁燧岩,	—
湿式球磨机:	$\phi 5.5 \times 6.5$ 米,	4000千瓦,	矿石,	250吨/时,
湿式球磨机:	$\phi 6.5 \times 9.65$ 米,	8100千瓦,	铁矿石,	1000吨/时,
湿式自磨机:	$\phi 10.97 \times 4.6$ 米,	8900千瓦,	铁燧岩,	400吨/时,
湿式砾磨机:	$\phi 5.9 \times 12.5$ 米,	—,	铁矿石,	—,
干式管磨机:	$\phi 5.4 \times 13.3$ 米,	5900千瓦,	水泥原料,	360吨/时,
辊磨机(雷蒙磨):	$\phi 5.0$,	4100千瓦,	水泥原料,	550吨/时,

* 环形马达直接传动

当前,尽管磨机规格仍有向大型方向的发展趋势,但笔者认为^[2],其中最主要的问题之一,就是采用大型磨机的粉磨效率较低的问题,这可能是球磨机大型化发展争议的主要问题。现在根据统计方法和磨矿功指数,通过对于小型($\phi 2.15-3.66$ 米)和大型($\phi 3.9-4.6$ 米)球磨机粉磨效率的研究发现(详见表1)^[3],前者的粉磨效率高达91.2%,后者的粉磨效率仅有85%,而且多仓磨矿机的粉磨效率,小型的明显高于大型磨机,单仓磨矿机的粉磨效率低于多仓磨矿机。这些都和以前研究的大型磨机的粉磨效率低于小型磨机的结果相同。因

此,磨矿机规格大型化是否是今后磨机的发展方向,是一个值得深入研究的课题。

表 1 大型和小型磨机的相对效率的比较^[3]

磨矿机直径(米)	型 式	台数	标准功指数 (千瓦小时/吨)	操作功指数 (千瓦小时/吨)	相对磨矿效率(%)
小型($\phi 2.15-\phi 3.66$)	单 仓	7	15.32	18.19	81.2
	多 仓	8	16.65	17.04	97.7
	平 均	15	16.03	17.58	91.2
大型($\phi 3.9-\phi 4.6$)	单 仓	1	13.47	16.32	82.5
	多 仓	9	14.86	17.42	85.5
	平 均	10	14.72	17.31	85.0

二、矿料超细磨矿方法和磨矿设备

对于处理大批量矿料的细磨来说,由于常规的圆筒形球磨机的适应性较强和处理能力较大,仍是矿料细磨作业中占主导地位的一种原则设备。但是这种球磨机进行矿料微细磨矿和超细磨矿设备的优势已经日趋减弱,这并不是说常规球磨机已经无用,这是因为用它作为矿料的微细磨矿和超细磨矿,能耗高,效率低,显然是很不经济的和很不合适的。

目前,用于各种矿料微细磨矿和超细磨矿设备主要有:离心磨矿机、塔式磨矿机、振动磨矿机、辊式磨机和喷射磨矿机等。

离心磨矿机,近几年来,西德鲁奇(Lurgi)化学和冶炼技术公司与南非*矿业公司合作研制的离心磨矿机,已经开始应用于选矿工业的矿石、矿物原料、冶金和化工产品的湿式磨矿。干式磨矿试验正在进行当中。它的研制和发展是超细磨矿设备中的重要突破。

离心磨矿机^[4]是以行星磨矿系统为基础,其运行状况与振动磨矿机相似,所以它是介于振动磨矿机和行星磨矿机之间的一种磨矿设备,在矿料的微细磨矿或超细磨矿方面确有可取之处。离心磨矿机的磨矿作用不像常规球磨机那样受到重力场的限制,它是在离心加速度场中工作的,而不是通过重力进行的,一般是采用10—12倍重力加速度的一种离心磨矿方法。对于行星式离心磨矿机,离心加速度可达重力加速度的15倍,而且离心磨矿机的回转直径G与磨矿机筒体直径D的比值为0.4—0.6时,磨矿效率较高。

按照磨矿管(筒体)的安放位置,离心磨矿机分为立式和卧式两种。根据磨矿管的数目,立式又有单管和三管离心磨矿机。

单筒离心磨矿机(图1)的筒体,是呈垂直固定装置的圆筒形磨矿管。管中装有可转动的主轴。轴上装有叶片的圆盘,它将筒体分隔成多个磨矿室。在每个室中,装有一定数量的磨矿介质。筒体内装有高锰钢衬板或其他衬板耐磨材料。

鲁奇公司根据南非的条件,对于离心磨矿机和常规球磨机作了经济对比:磨机年产量为2,000万吨的某铁矿山,矿石给矿粒度和磨矿产品比面积分别为6毫米和1,700~1,800厘米²/克,磨机功率为5,000千瓦,采用水力旋流器进行湿式闭路磨矿等条件下,选用 $\phi 4.2 \times 8.5$ 米的常规球磨机和 $\phi 1.0 \times 1.2$ 米的离心磨矿机,对比结果表明^[5],离心磨矿机仅需球磨机厂房面

* 阿扎尼亚,在白人种族主义者统治下

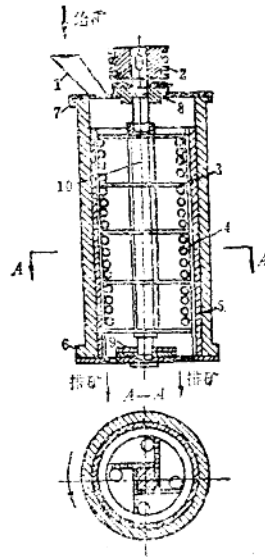


图1 离心磨构造示意图

1—给矿口；2—皮带轮；3—圆盘；4—钢球；5—筒体；6—下端盖；7—上端盖；8、9—轴承；10—中心轴

积的55%，地基费用的52%，钢结构费用的65%，总投资费用的74%，详见表2。

这种磨矿机显示出许多优点，在相同的产量和功率下，设备尺寸较小；在很多情况下，节省投资费用25—30%；产品粒度很细时，可以节约电耗30%；适用于自磨和钢球（锻）介质的磨矿等。现在看来^[4]，磨机衬板严重磨损的问题基本得到解决。

据报道，苏联采用 $\phi 500 \times 300$ 毫米离心磨矿机取代了精矿或中矿再磨作业中的常规球磨机，收到增产和减少泥化现象的较好效果。并准备使用 $\phi 800 \times 1000$ 毫米离心磨矿机代替大型

表2 离心磨矿机和普通管磨机的性能对比

对 比 项 目	普 通 管 磨 机	离 心 磨 矿 机
总安装功率(千瓦)	5,000	4,260
磨机输出功率(千瓦)	$2 \times 2,000$	$2 \times 1,300$
磨机重量(吨)	2×220	2×85
磨机规格(米)	$\phi 4.2 \times 8.5$	$\phi 1.0 \times 1.2$
占地面积(%)	100	55
所占空间(%)	100	40
磨机基础(%)	100	52
钢结构件(%)	100	65
总成本(%)	100	74

选矿厂的 $\phi 2700 \times 3600$ 毫米球磨机，进行中矿或精矿再磨作业。根据试验结果，采用一台离心磨矿机代替一台常规球磨机，单就钢耗这项来看，就能节省4万卢布的经济效益，而且离心磨矿机具有较高的生产能力和磨矿效率。最近设计的容积为2米³的离心磨矿机，预计能够代替容积为20米³的球磨机。

目前, 鲁奇公司研制的规格为 $\phi 1000 \times 1200$ 毫米, 功率1400千瓦的大型离心磨矿机, 已于1979年在南非金矿投产。看来, 离心磨矿机将成为常规球磨机的有力的竞争者, 而且是很具有发展前途的超细磨矿设备。

塔式磨矿机 这是对湿式和干式磨矿均有重要意义的一种超细磨矿设备。一般用来代替常规球磨机作中矿再磨作业, 具有能耗低、效率高的显著特点。它在工业生产中的成功使用, 被视为矿料的再磨作业进入新的发展阶段, 颇引人关注。近年来, 全世界已有 280 多台塔式磨矿机, 用于处理石灰石、铁矿石、金矿、铀矿、岩盐、以及铜精矿和钨精矿等各种矿料。我国某铁矿选矿厂正在试用这种新型的塔式磨矿机, 节电效果显著。

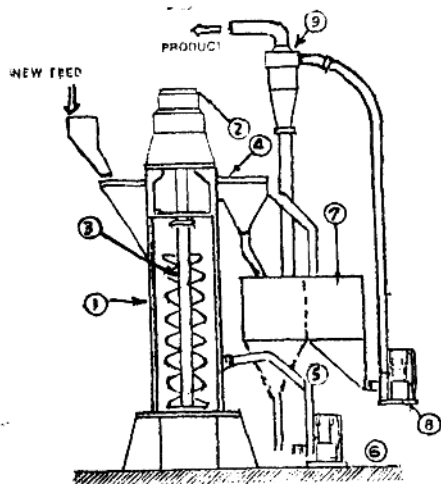


图2 塔式磨矿机系统简图

- 1—立式圆筒磨矿腔(筒体); 2—电动机驱动部分;
3—螺旋搅拌器; 4—分级机; 5、7—砂泵池;
6、8—砂泵; 9—水力旋流器

塔式磨矿机是一种立式圆筒形球磨机(图2)。筒体主轴上装有慢速转动的螺旋搅拌器, 以此搅拌筒体内的磨矿介质和被磨矿料产生研磨作用而实现磨矿的。

这种磨矿机与常规球磨机比较, 具有下述许多突出特点⁽²⁾: 磨矿产品细度为1—100微米时, 单位能耗降低50—60%; 处理铀矿石时, 磨矿效率约提高4—8倍; 磨机噪声一般低于85分贝, 设备投资费用降低40%; 生产费用减少50%; 适用于磨矿产品细度小于100微米范围内的超细磨矿, 以及产品粒度分布较窄等。当前存在的主要问题是螺旋叶片的使用寿命较短。这个问题现已基本解决。

鉴于塔式磨矿机的节能效果显著, 现在又重新受到磨矿界普遍的重视。近年来, 美国的柯帕尔(Kopper)公司引进专利, 并生产了工业型的塔式磨矿机, 功率为2000千瓦。加拿大马卡萨选矿厂安装了这种塔式磨矿机⁽⁶⁾, 用于金尾矿的再磨和浸出, 尾矿细度由-325目占45%磨到-325目占95%。1980年, 美国考帕尔-弗莱特选矿厂, 采用一台塔式磨矿机用于钨精矿的再磨作业。目前, 标准型塔式磨矿机的处理能力达到50吨/时。据报道, 正在设计4台生产能力高达100吨/时的大型塔式磨矿机。看来, 它是极有发展前途的超细磨矿设备。

振动磨矿机 这是人们比较熟悉的用于湿式、干式细磨和超细磨设备, 已经日益广泛应用于水泥建筑材料、化工原料、医药、粉末冶金等工业部门。在水泥工业中, 日本用振动磨生产超快硬水泥, 英国用它制造白色水泥, 西德用它粉磨水泥生料(石灰石)。目前, 国内外已有几十个国家使用振动磨矿机超细粉磨各种固体矿料, 日本、西德等国还研制发展了多种类型的振动磨机。设备产品已基本系列化。西德洪堡威达分公司的帕拉(Palla)振动磨矿机就是广泛应用的一种, 已有1,000台以上投入生产, 其中有接近半数用于硅酸盐工业中。现在, 日本生产的振动磨矿机, 无论是在设备制造的数量、种类、规格和性能方面, 还是在理论研究和新产品研制方面, 都处于世界的最先进地位。美、苏、英等国也研制应用各种类型的振动磨矿机。我国生产和使用的振动磨矿机⁽⁴⁾有惯性单筒式、双筒式和三筒式的基本机型, 但产品未形成系列, 主要的筒体容积为200升、300升、700升以及容积为1,000升的大型振动磨矿

机。

近几年来,随着化工染料、特种陶瓷和高级耐火材料等产品细度的特殊要求,振动磨矿机又获得新的应用和较快的发展。这种磨矿机的独特优点是⁽⁴⁾:磨介充填率(65%以上)和振动频率(一般为1000—1500次/分)很高,单位筒体容积的生产量大;无需采用分级机进行闭路磨矿,生产流程大为简化;磨机筒体便于密闭,可以进行超低温磨矿(例如,用它进行超低温磨碎铁合金,可以节能近50%),这种特性对于易燃、易爆等固体矿料的粉磨尤为可贵;磨矿效率高,如,每吨矿料输入28千瓦小时的同样能量,振动磨机仅需要近9分钟就能达到预期的磨矿效果,而球磨机则需要59分钟;在磨矿吨位和能量消耗相同的磨矿情况下,球磨机产生的细粉率仅有振动磨矿机的一半。当前,存在的主要问题是,单机处理能力低,不能满足大规模生产的产量要求,而且研制大规格的振动磨机,在机械方面带来很大困难。

这种磨矿机的磨矿作用不同于常规球磨机,它是在振动强度(振动加速度)为3—10g(g为重力加速度)的条件下,主要是靠磨矿介质(钢球、钢棒等)在筒体中作高频率的强烈冲击和研磨作用而将矿料粉碎。

通常,以振动加速度(或振动强度)作为衡量振动磨矿机工作状况的主要指标。试验研究表明⁽⁷⁾,只有当振动加速度为6g以上时,筒体中的磨矿介质才能对矿料进行磨矿作用;振动加速度小于3g时,磨介几乎没有粉磨作用。

辊磨机 多年来在电厂中用于磨制煤粉和其他工业中用来粉磨软质矿料。但近年来发展到用它粉磨水泥原料(石灰石)等中硬矿料。当粉磨水泥原料时,在磨机能耗和磨矿效率等方面要比普通管(球)磨机优越,这一点已被人们重新认识。在西德、日本等国家的发展尤为迅速,应用趋向比较明显,磨机规格和处理能力向大型化发展。最近⁽¹⁾,西德乐什(Loesche)公司向日本一家水泥厂提供了一台磨(辊)盘直径为5米(4100千瓦),每小时细磨水泥原料550吨的大型辊式磨机。据报道,功率为5000千瓦、处理能力高达500—980吨/时特大型辊磨机已投入生产。

这种磨机能够同时进行粉磨和烘干作业。粉磨作业是由若干个(3—5个)快速转动的辊子,对磨盘(固定的)中的矿料进行辊压产生研磨作用实现粉磨的。它与管磨机相比,具有能量消耗低、处理能力高和投资费用少等明显优点。例如⁽⁸⁾,在某水泥厂的对比试验中,管磨机的单位能耗分别为10.3,12.6和10.5千瓦小时/吨,而辊式磨机在同样条件下的电耗分别只有5.8,7.8,和5.8千瓦小时/吨,引人关注。目前,世界上许多厂家和公司制造了各种各样的辊磨机。在日本,由球磨机重新改为辊磨机的趋势也很明显。我国某矿山机械厂已生产约1500台这种磨机,在全国各厂使用。

喷射磨矿机 它是利用高温压缩空气或过热蒸汽(或其他预热气体),将矿料的超细磨矿、分级和干燥等作业同时进行的一种新型干式粉磨设备。主要用于化工、建材和水泥。最近有用于磨矿方面的趋势。它的单位电耗为球磨机的62%,衬板消耗一般为0.10—0.16公斤/吨,特别是该磨机在粉磨过程中能够控制温度上升,这对于低熔点和传热能差的物质材料的细磨和超细磨矿,具有其他磨矿设备所没有的特点。

这种磨矿机的磨矿原理是:当压缩空气(或过热蒸气)在燃烧室预热后,经喷射管的喷嘴喷出,因其突然减压而膨胀,以100—200米/秒速度运动的气流,把给矿管中的5—3毫米的矿料粘度,沿切线方向吹入圆锥形的粉磨室,利用高速运动的矿粒之间的相互冲击和研

磨作用使物料被粉碎。

工业试验表明,喷射磨矿机的产品粒度分布比其他磨矿机都要窄,磨矿产品细度可在很大范围内进行调整,这对于水泥的粉磨生产很有利,可使水泥早期强度提高100—150公斤/厘米²,水泥凝结时间很短,而且这种磨矿机的处理能力很高,在同样的能耗条件下,磨机单位容积产量比常规球磨机高10—100倍,引起人们极大的兴趣。近年来,这种磨矿机又有新的发展。苏联已经研制台时产量为25吨的喷射磨矿机。最近,又生产制造产量高达160吨/时的大型喷射磨矿机。

三、磨机筒体衬板

磨机衬板的形状和材质,对于磨机产量、能耗、钢耗和噪声等均有很大影响。国内外对此一直非常重视,并研制使用一些效果较好的磨机衬板。

橡胶衬板 它是一种抗腐蚀、耐磨损的非金属衬板材料,广泛用于选矿、水泥和化工等工业中的湿式磨机,并为大型球(棒)磨机和湿式自磨机衬板材料开辟了新的途径。瑞典80%选矿厂的磨矿机和加拿大85%的湿式磨机都采用了橡胶衬板。日前^[9],世界上已有60—70个国家,在各种规格和不同类型的湿式磨矿机使用3,000多套(台)、磨机规格为 $\phi 1.5$ — $\phi 9.0$ 米的橡胶衬板。

近几年来,橡胶衬板已在我国水泥建材、化工、陶瓷行业中的湿式磨机得到比较普遍的应用。最近,在我国黑色和有色选矿厂中获得应用。现在^[10],我国使用橡胶衬板的厂矿已有452家,其中冶金行业占68家。我国已经生产制造磨机直径为 $\phi 1.2$ — $\phi 3.6$ 米的成套橡胶衬板。

橡胶衬板具有一定的经济效益。它与合金钢衬板比较的主要优点是^[9]:单位能耗降低10—15%;磨机噪声减小10—15分贝;重量减轻50—85%;以及用于适宜的磨矿作业的湿式磨机中,使用寿命提高2—3倍(表3)等。但是,橡胶衬板不能用作干式磨矿机的衬板材料。

表3 球磨机橡胶衬板和高锰钢衬板的比较(我国)^[11]

磨机类型	磨机规格(米)	处理矿石	筒体压条衬板寿命(年)		橡胶衬板寿命	橡胶衬板电耗
			高 锰 钢	橡 胶 衬 板	提高(倍)	降低(%)
二段球磨机	$\phi 2.7 \times 3.6$	镍矿	—	3(仍在运转)	2	11.88
二段球磨机	$\phi 2.7 \times 3.6$	铅锌矿	—	—	2—3	—
再磨球磨机	$\phi 3.6 \times 4.0$	磁铁矿	—	—	1.5—2.0	9—11
一段球磨机	$\phi 2.1 \times 2.2$	硫化矿	35×10^3 吨	45×10^3 吨	31%	13
棒—球磨机	$\phi 2.4 \times 1.3$	石灰石	4.8(—*、二、三、仓平均)	4.78(—*、二、三仓平均)	—	12—14.8
管磨机	$\phi 1.83 \times 6.1$	磷灰石	6个月	2	4	—

* 磨机的一仓(室)为棒仓(室),高锰钢寿命3年,橡胶衬板2.1年

角螺旋衬板 为使磨矿机球料强烈翻转和均匀混合,近年来研制了角螺旋衬板。这种衬板形成一种近似的圆角正方形的磨碎腔,磨碎腔通过每块衬板相互错开的特定排列方式,即螺旋角为 15° — 45° 。角螺旋衬板的螺旋方向与磨机转动方向相反。

1982年以来^[12],世界上有48台以上不同规格的、干、湿式球磨机(管磨机)采用角螺旋衬板,其中多数是美、智利等国一些大型选矿厂的湿式格子型球磨机,磨机规格直径在 $\phi 3.0$ — ϕ

5.5米之间。第一台直径为 $\phi 5.5$ 米磨机装置角螺旋衬板的试验表明,这种新型衬板可用于更大规格的磨矿机。一些溢流型球磨机正在试用角螺旋衬板。近年来,这种衬板在我国水泥工业的一些管磨机中获得成功应用,节能(电)效果显著。目前,我国选矿厂球磨机正在开始试验角螺旋衬板。

角螺旋衬板磨机亦有一定的经济效果。它与常规衬板磨机相比(表4),单位能耗降低10—20%,球耗节省15—20%,噪声减小4—5分贝,以及对于磨矿介质有一定的分级作用优点。但是,这种衬板大大的减小了磨机有效容积,而且衬板种类明显增加(达到11—12种型式)。

表4 角螺旋衬板的磨机与常规衬板的磨机能耗及介质消耗的比较⁽¹³⁾

选厂/国别 磨机规格与型号	筒体改装前后 所用衬板	磨机处理 能力(吨/时)	单位能耗 降低(%)	磨矿介质 损耗量降低(%)
San Manuel/美国 $\phi 3.25 \times 3.2$ 米溢式格 子型第二段球磨机	双波形衬板—铸钢 角螺旋衬板—铸钢	斑岩铜矿 84	16	16
El Salvador/智利 $\phi 3.25 \times 4.27$ 米溢式 格子型第二段球磨机	Skega—橡胶衬板 角螺旋衬板—铸钢	斑岩铜矿 130	18	20
Kirchdorf/奥地利 $\phi 3.8 \times 11.5$ 米双室(仓)— 斗式提升循环管磨机	K I *阶梯型衬板 K II **分级型衬板 K I *阶梯型衬板 K II **角螺旋衬板	波特兰水泥 60	11	—
San Manuel/美国 $\phi 3.81 \times 4.27$ 米溢式 格子型第二段球磨机	双波形衬板—铸钢 角螺旋衬板—铸钢	斑岩铜矿 136	18	15
El Teniente/智利 $\phi 4.27 \times 7.3$ 米溢式溢 流型第一段球磨机	单波形衬板—铸钢 角螺旋衬板—铸钢	斑岩铜矿 186	12	14

* K I—第一磨矿室(仓); ** K II—第二磨矿室(仓)

矿层磁性衬板 这是一种新型的显著降低衬板磨损的湿式磨机衬板材料。实际上,它是一种无螺栓联接的橡胶-磁性衬板,在橡胶衬板内部装有永磁体。利用碎裂的废钢球和铁磁性矿料,在橡胶衬板上形成抗磨的保护层。磨矿过程中,磁性保护层一边被磨掉,一边又重新形成,几乎称得上是磨机的最佳衬板。

目前,瑞典、美、加等国的一些选矿厂的球磨机装有这种磁性衬板。主要用于二段球磨机、砾磨机。据称⁽¹⁴⁾,该衬板几乎不被磨损,用于 $\phi 5.9 \times 7.7$ 米砾磨机中,已使用5,000小时,仍无明显的磨损情况;单位电耗明显降低,可以节电11.4%;衬板重量与橡胶衬板基本相等,不到钢板重量的一半,衬板厚度比合金衬板薄,一般厚度为36毫米;用于砾磨机磨矿时,砾石消耗量降低30%;以及可以获得理想的磨矿细度等优点。

值得注意的是,这种磁性衬板还可用于非磁性矿料和一段球磨机及半自磨机的筒体衬板,仍能形成耐磨的矿层保护层。例如,用作某选厂的 $\phi 2.13 \times 3.66$ 米一段球磨机的磁性衬板,处理不含磁性物料的金矿石,给矿粘度小于30毫米,采用 $\phi 100$ 毫米的硬镍材料制做的磨矿介质。试验开始的短时间(约2—3周)内,衬板受到磨损。磨机再运转两个月以后,筒

体磁性衬板形成了约50毫米的耐磨保护层，再来发现衬板新的磨损。

矿层磁性衬板的价格比硬镍衬板约贵80%。尽管如此，这种衬板寿命很长，效果显著，引起磨矿界的兴趣和关注，看来是有发展前途的一种新型磨矿衬板。

目前，我国某单位正拟进行此衬板的试验研究。

四、磨矿设备新的结构

为了降低磨矿能耗和钢耗，近几年来，在磨矿传动方式和多筒磨矿方法等方面均有重要进展，引人关注。

环形马达直接传动 这是近几年来在大型磨机上应用的新型的传动方式，即电动机转子安装在磨机筒体上，定子套在筒体的转子上，因而筒体本身就起着超低速环形马达的转子作用，无需大、小齿轮减速的啮合传动。这种无卸轮的传动装置，能够在一定的范围内，根据矿石性质变化的需求而随时改变磨机转速。

这种直接传动的磨矿机已很普及，在大型管磨机上的应用具有重要意义。目前，世界上有40台在生产中的应用，主要用于水泥和生料管磨机。其中装有这种传动装置的最大水泥磨机，规格为 $\phi 5.4 \times 13.3$ ，环形马达是5900千瓦，台时产量为360吨/时。

值得注意的发展趋向是，无齿轮传动装置近来已经用于金属矿选矿厂的大型球磨机，处理金属矿山矿石的磨矿效果亦很好。如，1981年，挪威基内克斯铁矿选矿厂在一台规格为 $\phi 6.5 \times 9.65$ 米、环形马达为8100千瓦的巨型球磨机中安装了这种新型传动装置，磨机处理能力达到1,000吨/时，电耗降低10—15%，投资费用节省26%，而且衬板和钢球（填充率为20%）消耗均有明显降低。1984年^[15]，巴布亚新几内亚的布干维尔铜矿从日本订货一台无齿轮传动球磨机，用于铜矿石的磨矿设备。该机规格为 $\phi 5.49 \times 7.77$ 米，功率为6,000千瓦，磨机已于1985年运往该矿山。当前，布干维尔铜矿是世界上第三家金属矿选矿厂采用无齿轮传动装置的球磨机，用作铜矿石的湿式磨矿，而应用在铜矿选矿厂还是独此一家。

这种传动方式的优点是，磨机转速可调正，结构紧凑，但是磨机功率小于6,000千瓦，采用环形马达直接传动装置很不经济，造价过高。看来，这种传动装置在大型球磨机和管磨机中将得到新的应用和发展。

多筒式磨矿球磨机 当前水泥工业中应用的单筒式球（管）磨机进行磨矿是不大经济的，粉磨一吨水泥的电耗达到30—35度。造成电耗这样大的基本原因，就是筒体载荷（随筒体一道作圆弧运动的那部分钢球和矿浆）作偏心的（不对称的）抛射运动造成的。因而产生很大的阻力矩，克服这个阻力矩就需要很大的驱动力。为此，苏联水泥设计院研制设计了均衡的多筒式球磨机，取得良好的试验效果。

多筒式磨矿球磨机是由一个大直径的中心圆筒和它周围的若干个（10—12个小直径圆筒）组成。各个圆筒分别组成一个磨矿室。矿料首先进入中心圆筒，它相当于一个粗磨室，用于矿料的粗磨作业，三或四个均衡圆筒，作为矿料的二次粉磨，而对称分布的6—8个外围圆筒，用来最终粉磨水泥产品。它们有一个公共的回转轴。众多的筒体这样分布的结果，使得磨矿介质和待磨矿料产生的力矩实现部分的平衡作用。这样消耗在克服力矩方面的电能降低了，因而可以有效地利用钢球消耗在粉磨矿料上的能量。

这种磨矿机既可以干式粉磨，又可以进行湿式磨矿。

工业试验表明，多筒式球磨机克服了单筒式球磨机的效率低，电耗高、噪声大、水泥湿

度高（干法）和钢耗较大等缺点。多筒式球磨机的主要优点^[2]：电耗显著降低，在保持单筒式球磨机产品细度条件下，单位电耗降低40—50%；磨机生产能力增加80%；干法粉磨矿料时，水泥温度降低40°—60℃；单位钢耗减少20%；磨机噪声亦有明显降低，等等。目前，正在进行处理能力为50吨/时多筒式球磨机的工业试验。我国也正在进行这种新型球磨机的研制和试验。看来，多筒式球磨机是很有发展前途的磨矿设备。

五、磨矿介质形状和材质

磨矿介质形状对于磨矿效果的影响问题，一直是多年争论的重要问题。近年来，国内外在这方面做了一些工作和进行对比试验，取得一定的积极效果。

我国一些单位采用磨介形状为棒球、钢柱（长度和直径相等的圆柱体）和柱球与普通钢球进行磨矿试验比较，结果前者经济效果比较明显。例如，采用棒球介质与钢球对比，磨机（棒球）产量提高6.5—8%，电耗降低1千瓦小时/吨，球耗减少9%，-200目产率增加10.6—14.3%。另据不同形状的磨矿介质的试验报道，当磨矿粒度大于0.5毫米时，钢柱、柱球介质优于钢球介质。当产品粒度（细粒累积含量计） $d_{80} \leq 0.074$ 毫米时，采用普通钢球磨机产量较高；但使用柱球介质时，磨矿产品过粉碎较轻。

国外采用钢柱和钢锻磨矿介质也取得一定的效果。利比亚的邦格选矿厂^[3]使用三种不同形状的磨矿介质（ $\phi 30$ 毫米铸铁球、 $\phi 25$ 毫米钢球和 $\phi 28$ 毫米钢柱，重量分别为112、65和118克），对铁矿石磨矿进行平行对比试验，其处理4,400万吨铁矿石，当各种磨矿介质装入磨机的总重量相同时，使用钢柱介质的磨机产量，比铸铁球和钢球分别提高8.8%和8.3%，磨机单位电耗比铸铁球磨机降低12.1%，比钢球磨机节省7.5%，而且由于钢柱介质在磨矿过程中呈线接触，磨矿产品粒度分布较窄，磨矿效率也较高。

磨矿介质费用是选矿生产成本当中费用最高者之一。因此，很好地选择钢球（棒）材质非常重要，材质成分直接影响钢球磨机的磨矿效果。在钢球材质方面，我国使用的大钢球多为锻造的，有热轧高碳（0.8—1% C）低合金钢球，高碳锻钢球，以及热处理的中、高碳钢球等；小钢球为锻造或铸造的，有热轧高碳（0.7—0.95% C）钢球，稀土镁中锰球铁，中锰钛白口铁球，以及高铬铸铁球等。美国磨矿机使用的钢球77%为碳素钢锻造，20%为碳素钢或合金钢铸造，仅有3%为硬镍或高铸铁球。加拿大81%钢球是碳素钢锻造，19%为硬镍或高铬铸铁球，但不使用铸造钢球。

近年来，高铬铸铁钢球的应用得到新的发展，国外一些选矿厂已经使用，我国正在研究试用。高铬（一般为11—30% Cr）铸铁球不仅硬度高，钢球表面硬度达到洛氏硬度60—76（布氏硬度为650—740），而且抗腐蚀能力较强，表现出较高的耐磨性，这种钢球使用6个月后的重量仅减少3%。我国某选矿厂 $\phi 2.4 \times 1.2$ 米球磨机使用高铬铸铁钢球，使用寿命比锻钢球提高3.3倍，单位球耗由锻钢球的1.654公斤/吨降为0.491公斤/吨。另据报道，为了改善棒磨机的钢棒耐磨性能，最近加拿大研制了一种马氏体铸铁作为钢棒。工业试验结果表明，这种钢棒用于处理铁矿石时，单位棒耗降低14.6%，单位能耗节省8.5%，与高铬铸铁钢球和锻钢球相比，磨机单位成本分别降低18%和24%。

湿磨过程中，采用防腐剂减少磨矿介质的腐蚀磨损，提高钢球使用寿命方面有了新的进展。许多试验研究表明^[16]，在研磨各类矿石的湿式磨矿机中，添加适量的亚硝酸钠、铬酸

钠和硅酸钠等防腐剂,可使锻钢球损耗减少49% (表5)

表5 添加防腐剂减少钢球损耗的效果

防腐剂和用量	钢球磨损重量(克)	-75微米(-200目)矿量(%)
无	1.78	54.9
1% 硼砂	1.78	53.9
1% 亚硝酸钠	0.90	54.6
1% 铬酸钠	0.97	57.8
0.5% 硅酸钠	0.96	53.7
1% 苯酸钠	2.21	56.1

主要参考文献

- [1] 国外金属矿选矿, 1985 No. 7, P. 24.
- [2] 杨忠高, 磨矿设备的现状和发展, 1985年.
- [3] 本间荣五郎(日), 关于水泥磨机的大型化, 水泥机械技术情报, 1980年, P. 28.
- [4] 杨忠高, 粉体的细磨和超细磨, 《粉体工程》, 第四章, 北京钢铁学院, 1984年.
- [5] Mining Journal, 1984, No. 7781.
- [6] T. L. Rameg, World Mining, 1982, No. 10.
- [7] 四川江油水泥研究院, 新型高细粉磨设备振动磨, 1981.
- [8] 任德树, 国外粉碎技术的新发展, 冶金部冶金设备研究所, 1985年.
- [9] 杨忠高, 橡胶衬板磨机的经济磨矿, 矿山机械, 1984, No. 1.
- [10] 李重九, 关于选矿节能几项措施的评选, 有色矿山, 1985, No. 7.
- [11] 杨忠高, 磨机筒体衬板, 1985年.
- [12] J. E. Edner, Aust. Min., 1982, No. 1.
- [13] Mining Magazine, 1984, No. 9.
- [14] World Mining, 1983, No. 2.
- [15] Mining Journal, 1984, No. 7781.
- [19] S. G. Malghan, Mining Engineering, 1982, No. 6.

国外细碎及超细粉碎近况

[北京矿冶研究总院] 孙成林

一 前 言

现代科学技术的进步,主要取决于材料、原料及信息三大支柱。矿业的发展对材料科学的进展极为重要。人们将矿物原料粗略的分为金属、非金属及矿物燃料。后者人们很易清楚,而前二者则不易划清界限,例如铁钒土与钛铁矿通常人们会理所当然地划归为金属,然而它们又都是重要的非金属原料。

今天的选矿工作者如仍局限于10年前我国选矿学科中将工作范围划分为金属、非金属、燃料等的工作状况,那已不能适应我国当前社会生产的要求。

当前四化建设的发展,促使矿业(金属矿业、非金属矿业)、化学工业、建筑材料、复合材料、印刷、轻工业等多种行业飞速发展,这就对原料的细粉碎技术提出新的要求,这就是目前世界上工业发展国家对细粉碎技术加以重视的原因之一。

就我们矿业而言,常规上人们把大块矿石的碎解分成破碎和磨碎两大部分。磨碎又分为粗、中、细三种破碎阶段。金属选矿厂通常是把中碎产品再碎至小于10~5毫米,给入下一段的磨碎作业。

近年来,我国选矿界逐渐加以使用粉碎这一名词,“粉碎”在广意上说是包括从块状固体到产出细粉产品的全部连续过程,而这种过程在狭意的区分则为破碎和粉碎。

破碎与粉碎之间无明显界限。粉碎作业的产品粒度为从25~5毫米的给料进行粗粉碎(5~200网目)、细粉碎(产品粒度-200目占90%左右)、微粉碎(产品粒度小于325目达90%)。此外还有超微粉碎(我国也有人简称为超细粉碎,其产品粒度为几微米至小于1微米)。

作为研究细粉碎至超微粉碎及与其有关方面的专门学科体系——粉体技术,其发展至今虽不到40年历史,但已深入我们生活的各个方面。近年来我国一些高等院校也相继开设了粉体工程课程,有些院校的选矿科系的教学大纲中也增加了专门处理细粒物料的课程——粉体工学。中国选矿科技情报网于1985年专门成立了粉碎工程情报网

本文基于上述认识,为提高选矿科研工作者对这一问题的认识,就细粉碎及超微粉碎的某些问题加以介绍,并简略述及作者的一些看法。

二 粉碎理论进展及细粉碎的几个问题

近年对粉碎的效果问题注意较多,我国许多专家学者也有许多专著发表。但对理论的进展介绍则不够,日本的井上^[1]总结了1971年以来破、磨理论进展的有关文献,总括起来为以下几个问题:1)单颗粒粉碎问题;2)粉碎能与粉碎性(粉碎率或粉碎阻力)问题;3)粉碎速度论问题。对上述三个方面作者已在另文^[2]中给予介绍。

除此之外,本文作者认为,认识粉碎技术应从下面几个问题出发: