

# 矿石、钢球、球磨机衬板三者硬度 对磨矿效率的影响

⑩ 48-52

闫子雪

闫峰

TD453

(攀钢集团矿业公司 攀枝花市 617063)

**【摘要】**本文详细阐述了根据矿石硬度正确选用不同硬度的钢球和球磨机衬板,可以获得最低的单耗和最好的球磨机单机处理量。对高硬度矿石如何选用钢球、衬板提出了几点看法。

**【关键词】**矿石 钢球 球磨机衬板 硬度匹配 磨矿效率

磨矿机

## 前 言

在选矿厂磨矿生产过程中,影响磨矿效率提高的因素很多,钢球与球磨机衬板的质量问题是其中主要因素之一,而钢球与球磨机衬板的耐磨性和抗裂强度是钢球和衬板质量的基本特征,耐磨性取决于钢球和衬板的表面硬度和整体硬度,抗裂强度取决于钢球和衬板的冲击韧性。

通常认为,钢球硬度与衬板硬度越高,磨矿机磨矿效率越高。事实并非如此,这是因为,一是金属材料硬度越高冲击韧性相对会降低。二是矿石硬度、钢球硬度、球磨机衬板硬度三者之间只有匹配好才可以提高磨矿效率,否则,会程度不同地影响磨矿效率的提高。因此,根据矿石硬度,正确选择钢球、衬板硬度具有十分重要的意义。

## 1 钢球硬度和矿石硬度的匹配关系

矿石硬度是客观存在的,目前无法改变。生产中唯一的办法只有调整钢球硬度

来适应磨矿生产的需要。

通常钢球硬度高,耐磨性也高,则材质损耗低。但钢球的磨损不仅与其硬度有关,而且与球磨机衬板及矿石硬度有关,据文献介绍:耐磨系数  $\epsilon$  是钢球硬度  $H_m$  与矿石硬度  $H_a$  比值的函数,即:

$$\epsilon = f(H_m/H_a)$$

当比值  $K=0.8-1.3$  范围内<sup>[1]</sup>,耐磨系数随钢球硬度的提高而升高。但是当比值  $K>1.3$  时,钢球硬度再提高,则耐磨系数提高不显著,而钢球的冲击韧性下降,导致球磨机磨矿效率下降。这是因为钢球硬度越高时脆性越大,其冲击韧性也越小,在球磨机运转中,钢球与衬板、钢球与磨矿机衬板撞击后,脆性大的钢球一是最容易出现大片剥落现象,形成不圆的球,不圆的球受力比圆球受力大些,容易引起破裂或碎裂。如攀枝花密地选矿厂1989年3月在11<sup>#</sup>球磨机上试验时,得知硬度大的钢球碎球达17.5%,不圆球达20%,球磨机处理量在10台运转的球磨机中由试验前的第五名降为第八名<sup>[2]</sup>。二是直接产生裂

纹破碎(简称碎球),碎球在磨矿生产过程中最容易出现滑动,而不能象圆度均匀性好的钢球那样滚动,并产生相当大的冲击力去研磨和砸碎矿石。如攀枝花密地选矿厂1990年4月在8#球磨机上进行工业试验时,得知钢球硬度过大时,碎球率达13.68%,球磨机台时处理量下降3%<sup>[3]</sup>。由此可见,根据矿石硬度选择适宜硬度的钢

球极为重要。

攀枝花钒钛磁铁矿铁钛氧化物属高硬度可塑耐磨性强的矿物,脉石为高硬度脆性矿物,各矿段由于形成条件,次生变化强弱等不同,矿石性质、主要矿物含量等具有一定的差异,为难磨矿物,其硬度<sup>[4]</sup>详见表1。

表1 矿物硬度(HRC)

类别	钛磁铁矿*	钛铁矿	磁黄铁矿	钴镍黄铁矿	硫钴矿	钛普通辉石	斜长石
指标	61.5-63	60-61.5	35	31-36	44.2	67.2-69	61.85-66.1

注: \* 铁主要赋存于钛磁铁矿中,一般在70%以上。

攀枝花密地选矿厂从1970年投产以来,先后对钢球材料、加工工艺、硬度、不同球径配比等方面进行大量的多次试验,在此基础上选优推广,从历年生产实践中得知:钢球硬度不仅影响钢球单耗,而且也影响球磨机单机处理量,详见表2。

从表1与表2说明:

1)当矿石硬度超过钢球硬度时,即K1值在0.6以下,各种硬度的钢球单耗都很高,最高达1.73kg/t,对应的球磨机单机处理量较低,小于96吨/台·时。

2)当钢球硬度接近矿石硬度时,即K1值在0.90以上,钢球单耗较K1在0.6以下降低24~60%,对应的球磨机产量最高达101.9吨/台·时,效率提高3.9~6.2%。

## 2 钢球硬度与磨矿机衬板硬度的匹配关系

目前钢球与磨矿机衬板,大都是金属材料制作的。根据金属材料的特性:硬度越高,其强度值和弹性模量也就越大,钢性就越强;相反,冲击韧性就越小,其变形能力也越小,也就是说吸收能量的能力就越小。

钢球与磨矿机衬板在磨矿生产过程中,除了切削、凿削、犁削、疲劳剥落、变形、腐蚀等磨损快慢影响磨矿效率外(在此不予论述),碎裂也是影响磨矿效率提高的重要因素之一。两者碎裂程度取决于材料的韧性大小,当高硬度钢球与高硬度磨矿机衬板发生撞击、滚动和滑动等相对运动时,绝大部分动能便传递给对方,使对方发生相应的变形:如果钢球硬度高于磨矿机衬板硬度时,碰撞后磨矿机衬板上产生的坑就大而深,(即钢球的动能由磨矿机衬板吸收后转变为变形能所致),钢球硬度越高,衬板上的坑就越深,其变形就越厉害,则使用寿命就越短,对磨矿机磨矿效率的影响也就越大;而硬度低的钢球使磨矿机衬板的变形量就小,因为两者碰撞时有一部分动能被钢球本身所吸收。变形小的衬板比变形大的衬板在磨矿机运转中能均匀有效地带动钢球去滚动,显然磨矿效率高。

攀枝花密地选矿厂选用Φ3.6·4m球磨机,1970年投产至1984年一直选用普通高锰钢衬板,出厂时硬度HRC为17左右,在磨矿生产过程中受钢球冲击负荷的作用,使其加工硬化后硬度可达HRC 23

左右。1985年后一直选用低合金高锰钢，耗、磨矿效率等指标详见表3。  
起始硬度为HRC 23，加工硬化后硬度、单

表2 历年钢球硬度、单耗与磨机效率生产统计<sup>[7]</sup>

类别 年份	钢 球 <sup>[5][6]</sup>						球磨机 产量 (吨/台·时)	钢球硬度 与矿石硬 度比值 K1
	材料	表面 硬度 (HRC)	平均体 积硬度 (HRC)	边缘冲 击韧性 (J/cm <sup>2</sup> )	碎球 (%)	单耗 (kg/t)		
1978	鞍钢混	36	30	>12	<2	1.4	94	0. - 0.57
1979	合钢坯	"	"	"	"	1.34	94.7	"
1980	低 碳 钢	(30	(24	"	"	1.66	90.73	0.48 - 0.49
1981		"	"	"	"	1.73	95.88	"
1982		"	"	"	"	1.22	95.42	"
1983		62	52.9	10	6.8	1.05	96.8	0.98 - 1.01
1984	中 高 碳 钢 余 热 淬 火	"	"	"	"	1.08	99.17	"
1985		"	"	"	"	1	100.28	"
1986		"	"	"	"	1	99.01	"
1987		"	"	"	"	1.02	101.9	"
1988		"	"	"	"	0.99	101.57	"
1989		"	"	"	"	0.98	101.84	"
1990		"	"	"	"	0.98	100.49	"
1991		"	"	"	"	0.959	97.55	"
1992	中高碳	57.5	47.5	12	1-0.6	0.714	94.34	0.91 - 0.93
1993	钢淬火	"	"	"	"	0.589	93.8	"
1994		"	"	"	"	0.616	90.82	"
1995	回火	"	"	"	"	0.618	91.64	"

从表3说明:

1、当钢球硬度略大于磨机衬板加工硬化后硬度时，即K2值在1.11-1.17范围内；低合金高锰钢衬板单耗比普通高锰钢衬板单耗(最低值达0.06kg/t)降低31~42%，而球磨机(产量最高达101.9吨/台·时)单机效率提高2.7~3.8%。

2、低合金高锰钢能继续发挥普通高锰钢加工硬化的优越性，在球磨机工作时，经钢球多次冲击，能够不断提高其硬度，从而缩小钢球与衬板两者之间的差距，有利于提高球磨机磨矿效率。

### 3 高硬度矿石如何匹配钢球、衬板硬度

钢球和球磨机衬板都是磨矿生产中大宗消耗材质，约占生产成本的20%左右，其磨损不仅在于材料本身，还与工况条件、矿石硬度等参量有直接关系，各因素匹配得当，有利于提高球磨机单机产量。

1)多年来，攀枝花密地选矿厂虽然做了大量工作，从历年生产中得出一些有益的数据，但由于生产任务重等原因影响，有的工业试验未尽人意，所得数据不一定是

最优值, 需要继续完善。

2) 关于钢球与矿石硬度的匹配, 因目前还没有办法加工成硬度很高, 同时能满足高硬度矿物循环冲击时韧性要求的钢球。为此, 必须考虑钢球硬度与冲击韧性同时兼顾的条件下, 对于高硬度耐磨性强的矿石, 目前选用钢球硬度与矿石硬度比值为 0.95~1.1 较合适。

3) 关于钢球与衬板硬度的匹配, 球磨机衬板更换时的劳动强度、检修工作量、停机时间比补加钢球时要大的多, 按理钢球硬度应小于衬板硬度 HRC 2~4 为宜, 可

以降低工人的劳动强度, 减少停机检修时间, 有利于提高磨机单机效率。鉴于目前无法生产出硬度比钢球硬度 HRC 大于 65, 且冲击韧性大于 15J/cm<sup>2</sup> 的耐磨塑性强的衬板。为此, 对于高硬度耐磨性强的矿石, 暂时只好选用钢球硬度与衬板硬度的比值为 1~1.2 较理想。

总之, 建议各选矿厂通过试验, 从生产实践中去寻找各自矿石、钢球、衬板三者硬度匹配的最佳值, 以促进球磨机单机效率大幅度提高。

表 3 历年钢球硬度, 衬板硬度, 球磨机效率生产统计

类别 年份	钢球表面硬度 HRC	球磨机衬板 <sup>[8]</sup>			球磨机 产量 (吨/台·时)	钢球硬度与 衬板硬度 比值 K2	
		材料	起始硬度 (HRC)	加工硬化后 硬度(HRC)			单耗 kg/t
1978	36	普通 高 锰 钢	17	38	0.139	94	0.95
1979	"		"	"	0.12	94.7	"
1980	<30		"	"	0.14	90.73	0.79
1981	"		"	"	0.107	95.88	"
1982	"		"	"	0.127	95.42	"
1983	62		"	"	0.104	96.8	"
1984	"		"	"	0.13	99.17	"
1985	"	低 合 金 高 锰 钢	23	53-56	0.1	100.28	1.11-1.17
1986	"		"	"	0.09	99.01	"
1987	"		"	"	0.09	101.9	"
1988	"		"	"	0.08	101.57	"
1989	"		"	"	0.09	101.84	"
1990	"		"	"	0.06	100.49	"
1991	57.5		"	"	0.083	97.55	1.03-1.08
1992	"		"	"	0.078	94.34	"
1993	"		"	"	0.06	93.8	"
1994	"		"	"	0.075	90.82	"
1995	"	"	"	0.087	91.64	"	

## 4 结 语

根据历年生产实践,可以得出结论:

1)对于不同矿床的矿石,选用钢球和球磨机衬板硬度的最佳值是不同的,必须通过试验,择优选用合适的金属材料、硬度、冲击韧性的钢球与衬板。

2)必须对各种矿石、钢球、球磨机衬板的硬度进行更广泛的研究,以寻找三者硬度匹配最佳值。

### 参 考 文 献

- 【1】中国选矿科技情报网等. 首届全国粉磨介质与耐磨材料技术研究会论文集, 1992年4月
- 【2】攀钢钢研院等. 钒钛铸铁球工业试验概况, 1989年3月
- 【3】攀矿选矿厂技术科.  $\Phi 3.6 \cdot 4m$  球磨机最佳装球、补球扩大工业试验半年总结报

告, 1990年7月

【4】长沙矿冶研究院等. 攀枝花中近期矿样选铁试验研究综合报告, 1993年7月

【5】攀矿, 西昌铁工厂. 新工艺处理整体硬化钢球研制报告, 1993年2月

【6】攀矿, 西昌铁工厂. 新工艺处理整体硬化钢球磨矿工业试验报告, 1993年2月

【7】攀矿密地选矿厂历年统计手册

【8】昆明工学院. 新型球磨机衬板的研究项目论证报告



作者简介: 闫子雪, 男, 教授级高级工程师。64年大学毕业后, 先后在鞍钢鞍山烧结厂、攀矿选矿厂、攀矿科技处、攀钢矿业公司工作, 曾先后担任车间主任、选矿厂副厂长、厂长、科技处处长、机动处处长等职。

# 一九九八年 2500 种期刊联合征订启事

本刊已参加“全国非邮报刊联合征订”, 并入编《全国非邮发报刊联合征订目录》。该目录编入了近 70% 的非邮发报刊, 该目录覆盖了自然科学和社会科学的全部领域, 分综合版、社科版、科技版和电脑版四种版本出版。需要者向联订服务部函索即寄。《目录》中所列期刊均已全权委托联合征订活动的组织者——“全国非邮发报刊联订服务部”收订。本刊特此通告读者, 请直接汇款(本刊年订价 30 元)向该部订阅, 不必先索取《联订目录》。该部的地址及银行帐号如下:

户头全称: 联订服务部 开户银行: 工商银行天津市尖山分理处

地 址: 天津市陈塘庄岩峰路电子部 46 所内(天津 412 信箱)

帐 号: 605248-1-003734 邮政编码: 300220 电话及传真: (022)28345545