

半自磨机最佳充填率的探讨

吴照银¹ 许伟² 唐新民³

(1:安徽铜陵学院 铜陵 244000; 2:安徽农业大学工学院 合肥 230036;
铜陵有色公司铜山矿 铜陵 244000)

摘要 文章介绍了某铜矿 $\Phi 8.53 \times 3.96\text{m}$ 半自磨机实际混合充填率由 18% 增加到 28% 左右,处理量由 200t/h 增加到 340t/h 左右。按四维破磨理论分析,当实际混合充填率 $\leq 28\%$ 会产生钢球直接砸筒体衬板,造成处理量低,能耗极高。提出装钢球 120t 不变,实际混合充填率由 28% 增加到处理能力最大能源利用率最高的最佳实际混合充填率 50% 左右,其处理量又由 340t/h 增加到 670t/h 左右。半自磨用电单耗由实际混合充填率 20% 左右的 14.6kWh/t 下降到 7.0kWh/t 左右,节电 50% 以上。

关键词 半自磨机 最佳充填率 钢球砸衬板 处理量 能耗

中图分类号 TG580 **文献标识码** A

Study on the Best Filling Ratio of Semiautomatic Grinding Machine

Wu Zhaoyin¹ Xu Wei² Tang Xinming³

(1:TongLing College;2:AnHui Agricultural University;
3:TongShan Mine of TongLing Non-ferrous Metals Company)

ABSTRACT The paper interpreted that the really mixed filling ratio of the $\Phi 8.53 \times 3.96\text{m}$ semiautomatic grinding machine has increased from 18% to 28%, and quantity of process has done from 200t/h to 340t/h in Wax Gourd Hill Copper Mine in TongLing. According to the 4-dimensional grinding theory, the steel ball may directly break the back lining of the tube when the really mixed filling is not more than 28%, so the quantity of process is lower and the energy consumption higher. In this paper the authors put forward that should increase the really mixed filling from 28% to 55% with the remaining steel ball 120t. Thus get great processing abilities which can reach 670t/h instead of 340t/h and the electricity consumption can fall from 14.6kWh/t to 7.0kWh/t with energy saving over 50%.

KEYWORDS Semiautomatic grinding machine Best filling ratio Break back lining by steel ball Process quantity Energy consumption

半自磨机替代常规粗、中、细三段碎矿流程设备。它与球磨机比较,入磨矿石粒度大,产品粒度要求也较大,球矿比少得多。现用半自磨机的实际混合充填率普遍偏少,常常出现钢球直接

砸筒体衬板的现象。它的充填率多少才能钢球不砸衬板?处理量和能耗与充填率是何关系?其最佳充填率应为多少?现按文献[1]以某铜矿美国进口的大型半自磨机为例,对这些问题探讨

① 作者简介:吴照银,男,1955 年出生,毕业于中国地质大学,工学学士,实验师,现从事机械专业实验教学工作

如下。

1 设计及试生产实际

1.1 选择设计

北京有色设计研究总院,按瑞典 SVEDALA 公司提交的某铜矿半自磨试验报告的最大净功耗 7.15kWh/t 和处理能力 $A = 13000t/d = 542t/h$, 选用美国进口的 4850kW 电机拖动的 $\Phi 28ft \times 13ft$ ($1ft = 0.3048m$) 半自磨机。筒体内径 $\Phi 8.53m$, 筒体衬板厚度 75mm, 突包高度 $h = 160mm$, 平均厚度 125mm, 对应半径分别为 $R_a = 4.19m$ 、 $R = 4.14m$ 、 $R_b = 4.03m$ 。费氏临界转速 $n_c = 30 \div R_a^{0.5} = 14.66r/min$ 。筒体长度 $L = 3.96m$, 筒体容积 $V = 213m^3$ 。筒体转速自动可调 $n = 0 \sim 11.6r/min$, $n = 0 \sim 0.791n_c$ 。进出料主轴承为高压油托轴承, 轴承半径 $R_0 = 1.0m$, 摩擦阻力系数 $q_1 = 0.002$ 。筒体总成自重质量 $G_0 = 360t$ 。

1.2 试生产实际

钢球砸衬板的响声存在,其大小和频率随负荷增加及相应充填率增加而减小和降低。处理量随负荷增加而增加。

1.2.1 试生产初期

2004 年 10 月开始试生产。按半自磨试验筒体转速 $n_1 = 0.737n_c = 10.8r/min$, 并按 3:3.5:3.5 配比装 $\Phi 125$ 、 $\Phi 100$ 、 $\Phi 75mm$ 钢球共 100t, 装球率 9.4%, 球矿比 1.89。按此推算,实际混合充填率为 18.6%, 混合密度 $4.2t/m^3$ 。实际负荷 3200kW 左右,处理量 180t/h。后来,转速加快到全速 $n_2 = 11.6r/min$, 负荷 3500kW 左右,处理量 200t/h 左右。负荷加大到 3600kW 左右,处理量 210t/h 左右。均经常不断听到钢球砸衬板的响声。

1.2.2 试生产第二阶段(2005 年 3 月至 2006 年 2 月)

在 2005 年 2 月底,不排空停车检测:钢球量 94.5t,实际混合充填率为 18.1%,混合密度为 $4.2t/m^3$ 。改装 $\Phi 130$ 、 $\Phi 110$ 、 $\Phi 90$ 、 $\Phi 75mm$ 钢球各 30t,装球率 11.2%。仍按球矿比 1.89 推算,实际混合充填率为 21.4%,混合密度为 $4.1t/m^3$,实际负荷 4100kW 左右,处理量 280t/h 左右。其中 2005 年 10 月,平均处理量 272t/h,平均负荷 3970kW,平均功耗 14.6kWh/t。实际混合充填率 20% 左右,常听到钢球砸衬板的响声。

1.2.3 试生产第三阶段(2006 年 3 月至 10 月)

在 2006 年 3 月初,不排空停车检测,实际混合充填率为 21.5%。更换筛孔加宽的出料格子板。到 9 月份平均处理量 349t/h,平均负荷 4352kW,平均功耗 12.5kWh/t。10 月初不排空停车检测,实际混合充填率为 26.1%。在这段时间,间断听到钢球砸衬板的响声,就立即加大给矿量,实际混合充填率增加,这响声就消除了。未听到钢球砸衬板的响声,实际负荷 4500kW 左右,处理量 350t/h 左右,停车检测实际混合充填率 30% 左右。这段时间返砂量明显增加,系统产品粒度 $< 73\mu m$ 占 67% 左右。

1.2.4 加大钢球增加充填率达产阶段

2006 年 11 月初按 0.5kg/t 单耗补加 $\Phi 150mm$ 钢球,负荷和处理量逐步增加,11 月 19 日全速 11.6r/min 运行,负荷 4500kW 左右,处理量增加到 11190t/d,平均 466t/h。2007 年 2 月底开始补加自重与 $\Phi 180mm$ 钢球相当的葫芦形钢球,处理量又不断增加,到了 3 月 7 日,负荷略大于 4500kW 全速运行,实际混合充填率 30% ~ 35% 左右, $\leq 40\mu m$ 微粒占 25.7%。系统产品粒度 $< 73\mu m$ 占 $\geq 67%$ 。

2 避免钢球砸筒体衬板

2.1 绘制钢球(矿石)的运动轨迹图

按文献[2]所述,绘制半自磨机动态充填率为 16% 和 25% 运动轨迹示意图,如图 1、图 2。

2.2 钢球不砸筒体衬板

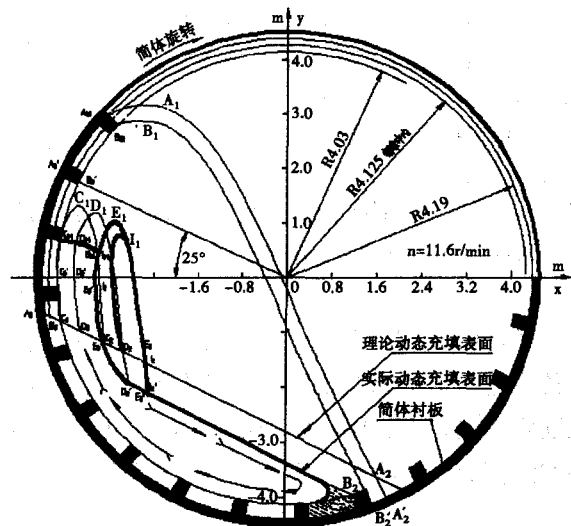


图 1 $\eta_0 = 16\%$ 钢球矿石运动轨迹示意图

当动态混合充填率 $\eta_0 = 16\%$, 其 A_2' 和 B_2' 均在筒体的衬板上, 被突包提升作用下的钢球, 均直接砸在筒体衬板上。当 $\eta_0 = 25\%$, A_2 接近那实际动态充填表面与筒体交汇处, 被筒体衬板突包

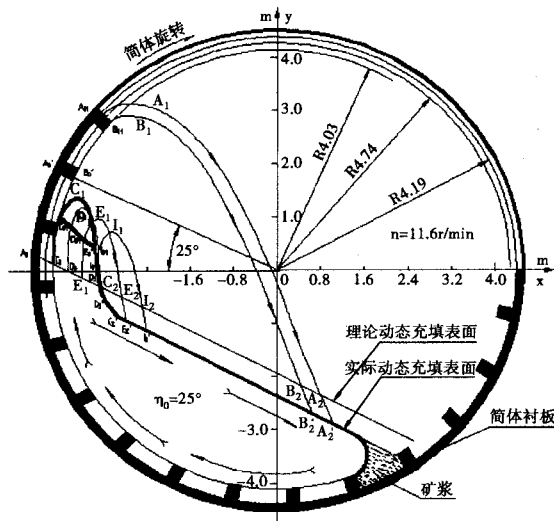


图2 $\eta_0 = 25\%$ 钢球矿石运动轨迹示意图

带起的钢球也有可能砸在筒体衬板上。当发生钢球直接砸衬板的现象, 冲击破碎能力就白白消耗在砸衬板上, 极大影响处理量和能源利用率。图1和图2表明, 只有当 $\eta_0 \geq 25\%$ 才能避免钢球砸衬板。

3 半自磨机处理量和功耗理论计算

3.1 冲击破碎能力消耗系数及相关数据的推算及选取

3.1.1 冲击破碎能力消耗系数 B_{th}

以装 $\Phi 130\text{mm}$ 钢球 120t, 实际混合充填率 $\eta = 28\%$ 左右, 实际负荷 4300kW, 处理量 $A = 340\text{t/h}$ 为基准状, 按文献[2] $\eta_0 = 25\%$ 推算, 下落平均速度 $U_{\text{冲}} = 6.38\text{m/s}$, 垂直速度 $U_{\text{冲}z} = 6.29\text{m/s}$, 水平速度 $U_{\text{冲}x} = 1.01\text{m/s}$, 下落冲击合力矩力臂 $L_{\text{合}} = -2.49\text{m}$, 抛落比 $U_n = 0.42$ 和实际混合充填率 $\eta = 28.2\%$ 与基准状 $\eta = 28\%$ 基本相符。按抛落量计算公式:

$$Q = U_n r \pi n L (R_a^2 - R_i^2) \div 60 = 26.6\text{t/s}$$

式中, r 为混合密度, 随球矿比减小而减小, 此状取 $r = 3.8\text{t/m}^3$; n 为筒体转速。

代入计算公式得:

$$B_{th} = QU_{\text{冲}}^2 \div A = 3.2\text{m}^2\text{hs}^{-3}$$

同样, 半自磨机的处理量 $A = QU_{\text{冲}}^2 \div B_{th} =$

340t/h 。

3.1.2 计算公式及相关数据

主轴承摩擦阻力负荷:

$$N_1 = q_1 \omega R_0 [(\eta_0 r v + G_0)g + f_{\text{冲}} QU_{\text{冲}}], \text{kW} \quad (1)$$

式中, $f_{\text{冲}}$ 为下落冲击系数, 随混合密度 r 减小而减小, 此类半自磨机, 不加钢球取 $f_{\text{冲石}} = 2.7$, 按混合密度, $f_{\text{冲}} = f_{\text{冲石}} + 0.2 \times (r - r_{\text{石}})$ 来选取。其余参数上述已选取。

偏心力矩负荷:

$$N_2 = \eta_0 r V g y_s \omega \sin \beta, \text{kW} \quad (2)$$

式中, y_s 为实际动态充填面重心 S 到中心的距离 y_s 。由平均有效半径 R 和动态充填率 η_0 确定。以《机械设计手册》查取得理论动态充填面的重心 S' 到中心的距离 y_s' 。由图2所示, 实际 $y_s < y_s'$ 其修正系数 $k_{\text{距}}$, 按 $\eta_0 = 20\% \sim 50\%$, $k_{\text{距}} = 0.88 \sim 0.985$ 选取。

冲击合力矩负荷:

$$N_3 = f_{\text{冲}} (-L_{\text{合}}) \omega QU_{\text{冲}}, \text{kW} \quad (3)$$

式中, $L_{\text{合}}$ 为冲击合力矩力臂, 其余参数按上述选取。

用电单耗:

$$(N_1 + N_2 + N_3) \div A, \text{kWh/t} \quad (4)$$

3.2 计算处理量和能耗

以 $R_a = 4.19\text{m}$, $n = 11.6\text{r/min}$, $\beta = 25^\circ$, $\eta_0 = 16\%$ 、 21% 、 25% 、 30% 、 42% 、 45% , 和 $q = 0.15$ 。按上所述, 计算出各质点的抛落规律和相关数据, 分别代入相关计算公式, 得到 $\Phi 8.53 \times 3.96\text{m}$ 半自磨机转速 $n = 11.6\text{r/min}$, 装 $\Phi 130\text{mm}$ 钢球共 120t, 不同的混合充填率状况下的处理量和能耗。如表1。

表1说明, 负荷随着实际混合充填率增加而增大; 当实际混合充填率为 42% 左右时, 负荷最大为 4600kW 左右; 当实际混合充填率超过 42% 左右时, 随着实际混合充填率增加, 负荷反而下降。处理量随着实际混合充填率增加而增加; 实际混合充填率为 50% 左右时, 处理量最大为 670t/h 左右, 能耗最低为 6.8kWh/t; 当 $\eta \geq 51\%$ 处理量随充填增加而减少。因此, 认定 $\Phi 8.53 \times 3.96\text{m}$ 半自磨机的最佳实际混合充填率为 50%。

3.3 校核安全运行可靠性

按装 120t 钢球, 实际混合充填率 $\eta < 40\%$ 的

状况下,以文献[3]技术数据,校核其主要零部件的机械强度和刚度及高静压油托主轴承的油压,符合安全要求。当 >40%,只要相应加大主轴承的油压和改进其进出口螺旋,就能确保实际混

合充填率 ≤60% 状况下安全经济运行。

4 结论

Φ8.53 × 3.96m 半自磨机试生产,实际混合充填率由 20% 增加到 28% 左右,处理量已由

表 1 Φ8.53 × 3.96m 半自磨机的处理量和能耗

项目	符号	单位	数据							
动态充填率	η_0	%	16	21	25	30	35	40	42	45
实际充填率	η	%	18.7	24.0	28.2	34.0	40.1	48.2	50.4	54
混合密度	r	t/m ³	4.0	3.85	3.70	3.6	3.5	3.4	3.35	3.3
冲击力系数	$f_{冲}$		3.30	3.15	3.00	2.90	2.85	2.80	2.78	2.75
下落冲击平均速度	$U_{冲}$	m/s	7.05	6.65	6.38	5.97	5.85	5.71	5.69	5.48
冲击合力矩力臂	$L_{合}$	m	-2.45	-2.52	-2.49	-2.26	-1.80	-1.12	-0.98	-0.92
抛落量	Q	t/s	20.3	23.3	26.6	34.6	47.7	61.9	67.0	69.9
处理量	A	t/h	315	322	340	385	510	630	678	645
主轴承摩擦阻力矩负荷	N_1	kW	14	15	16	17	18	19	20	21
偏心力矩负荷	N_2	kW	2115	2542	2670	2885	3010	3051	3048	3046
冲击合力矩负荷	N_3	kW	1406	1495	1540	1645	1739	1605	1539	1318
计算负荷	N	kW	3545	4052	4226	4547	4767	4675	4607	4385
用电单耗	N/A	kWh/t	11.3	12.6	12.5	11.8	9.4	7.4	6.8	6.8

210t/h 增加到 340t/h 左右,钢球砸筒体的状况有所缓解。实际混合充填率增加到 30% 左右,钢球加大到 Φ180mm 或相当的钢球,在 2007 年 3 月 7 日全速运转,全天处理 13380t/d,已超设计 13000t/d。若钢球不加大把实际混合充填率由 28% 增加到 50% 左右,其处理量则由 340t/h 增加到 670t/h 左右,半自磨用电单耗,由实际混合充填率 $\eta_1 = 20\%$ 的 14.6kWh/t 下降到 7.0kWh/t 左右,节电 50% 以上。

参考文献

- [1]唐新民. 提高磨机处理能力和能源利用率的研究. 矿山机械, 2003(1)
- [2]许伟等. 半自磨机钢球大小的研究. 冶金设备, 2007(2)
- [3]徐灏. 机械设计手册(第二卷,第四卷). 北京:机械工业出版社, 2000(6)
- [4]吴照银,唐新民. 铜矿碎磨机的开发与应用. 冶金设备, 2006(2)

(收稿日期:2007-05-15)

(接 55 页)

观察,及时准确地掌握、控制换钎机的装卸钎过程。

6 现状与发展

随着大型高炉强化冶炼,炉顶压力的提高以及无水炮泥的使用,要求炉前设备性能不断改善,国内外采用“二次开孔”工艺且自动化程度要求比较高的大型高炉中,大部分使用的换钎机与本文论述的换钎机机械结构和特点基本相同,但随着自动化控制技术的发展,现在的换钎机更加智能化,如 TMT 和韩国浦项都实现了自动换钎,对于自动化程度较低的高炉,仍采用人工换钎。

7 结语

在炉前操作空间小的情况下,新型换钎机的

研究设计实现了换钎动作快速准确、性能可靠、结构精巧、便于操作的目的。本设备还存在需要进一步探讨和改进的地方,但其设计和调试经验可借鉴应用于类似的冶金设备上。

参考文献

- [1]成大先. 机械设计手册. 第 4 版,北京:化学工业出版社, 2002
- [2]项钟庸. 大型高炉技术发展. 《钢铁技术》, 1993(3)
- [3]住金鹿岛. 3 号高炉大修和开炉操作. 《钢铁技术》, 1993(5)
- [4]刘谭琛. 武钢 3200m³ 高炉出铁场设计. 《炼铁》, 2006(3)

(收稿日期:2007-05-09)