

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.03.014

基于堰流和筛分理论的自磨机格子板设计

龚 梦,董为民*,孙珊珊,褚 亮,代健华

(昆明理工大学 机电工程学院,云南 昆明 650500)

摘要:针对自磨机格子板排矿效率明显不足和格子板的寿命无法完全满足生产需求,导致矿石颗粒在自磨机筒体内大量集聚的问题,应用离散元法作为自磨机仿真研究的基础,通过以常用的矩形同心型和矩形辐射型格子板进行了对比,引入了堰流和筛分理论对格子板进行了设计,最终设计出了排矿效率较高、耐磨性较好的波形斜向型格子板。采用 Archard wear 磨损模型,定量分析了格子板的磨损情况,运用 EDEM 与 ANSYS 耦合的方法分析了格子板工作时的等效应力及其分布情况。研究结果表明:波形斜向型格子板提升条前端矿石滞留量更少,排矿量有了大幅提高,磨损量大幅减少;运行过程中应力集中大幅降低,具有更好的稳定性。

关键词:自磨机;格子板;排矿量;磨损量

中图分类号:TH69;TH122;TD453

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)03-0298-04

Grating of self-grinding machine based on the theory of weir flow and screening

GONG Meng, DONG Wei-min, SUN Shan-shan, CHU Liang, DAI Jian-hua

(Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the self-grinding grid plate exhaust efficiency is obviously insufficient and the life of the grid plate can not fully meet the production demand, which leads to the problem of large concentration of ore particles in the self-grinding barrel, the discrete element method was applied as the basis of the simulation of self-grinding machine, and compared the common rectangular concentric type grid plates with the rectangular radiation type grid plates. The weir flow and screening theory was introduced to design the grid plate. Finally, the waveform oblique grid type with high exhaust efficiency and good wear resistance was designed. The situation of lattice plate wear was quantitatively analyzed by the Archard wear wear model. The equivalent stress and its distribution of the grid plate were analyzed by the method of EDEM and ANSYS coupling. The results indicate that the ore retention of the front end of the waveform oblique grid plate lifting strip is less, the discharge amount is improved greatly, the wear amount is reduced greatly, and the stress concentration is reduced greatly during the operation, which has better stability.

Key words: self-grinding machine; grating; row of ore; wear extent

0 引 言

格子板是格子型磨机特有的零部件,其主要作用是实现磨机的强制排矿,对矿石颗粒起到筛分的作用。而格子板上的提升条则辅助筒体衬板提升矿浆,增强了格子板的耐冲击性和排矿效率。故改造自磨机格子板的材料和结构,以增加其排矿效率,延长排矿格子板的使用寿命,降低自磨机在磨矿过程中的停机频率,降

低生产成本、提高生产效率,成为了急需解决的问题。

在格子板的实际应用中,存在顽石无法排出的问题。学者们做了大量研究:S. Morrell^[1]的研究发现,在格子板开孔率一定的情况下,当格子孔的位置越靠近磨机筒体时,格子板的排矿效率越高。S. Latchiredi^[2]的研究发现,随尺寸的增加,矿浆提升条排矿效率增强。P. W. Cleary^[3-4]对格子板进行了研究,并将仿真分析结果与实验结果进行对比发现,两者结果差别

收稿日期:2018-10-11

作者简介:龚梦(1995-),男,云南曲靖人,硕士研究生,主要从事磨矿设备、磨矿机理及机电集成开发方面的研究。E-mail:1449149594@qq.com

通信联系人:董为民,男,教授,硕士生导师。E-mail:dwmlike@163.com

不大。另外,也有学者通过改变格子孔的尺寸^[5-6]和排矿口的形状^[7],或开设顽石排矿口^[8]的方式对此进行了改进。针对矿浆从格子板外的流出效率,后来学者通过改变格子板格子孔的排列方向^[9]来增加格子板的排矿效率。

本文针对格子板的耐磨性和排矿效率,基于堰流^[10]对格子板提升条进行优化,并基于筛分理论对进行格子板的排孔方向进行设计。

1 模型建立及格子板的设计

工业自磨机实体结构非常复杂,在模拟仿真中不可能按照原实体建模,只能进行简化。结合本文研究内容,提取自磨机尺寸、样式、筒体衬板、排矿格子板这些物理特征即可满足模拟仿真所需的自磨机物理模型。

1.1 仿真模型的建立

为了选取合适的自磨机工作参数,本文选用规格为 $1.8\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 的半工业规模的哈定格磨机为研究对象。该磨机进料端衬板对矿石物料的作用效果不明显^[11],所以本文研究的自磨机没有考虑进料端衬板,由此确定仿真模型的基本尺寸和结构。

本研究根据磨机的外形尺寸及样式、筒体衬板参数、排矿格子板和排出锥体,建立仿真自磨机物理模型,之后仅通过改变格子板提升条形状和格子孔开孔方向,得到不同类型格子板的仿真自磨机物理模型。自磨机物理模型如图1所示。

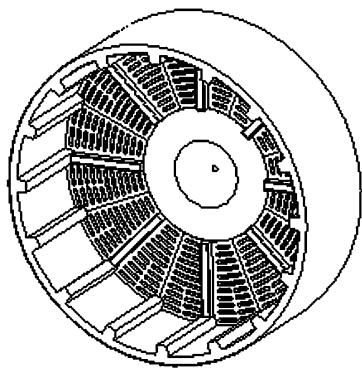


图1 仿真自磨机模型

1.2 格子板提升条的设计

格子板提升条主要起到保护和辅助提升作用。目前使用的格子板主要有3种结构:同心型、辐射型、斜向型。它们的格子孔开口不一,但提升条都是矩形的。

堰流理论中介绍了流线型宽顶堰和驼峰堰的工作原理和流量特性等理论,而大部分选矿厂现用的

带矩形提升条的格子板其提升条形状类似流线型宽顶堰。将矿浆流动近似看作流线型宽顶堰溢流,所以格子板提升条的设计转向以驼峰堰理论为基础,并根据提升条形状和格子孔开孔方式命名为驼峰同心型格子板。

驼峰同心型格子板提升条结构图如图2所示。

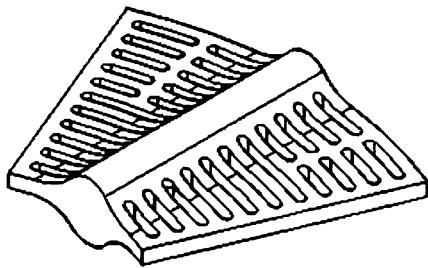


图2 驼峰同心型格子板提升条结构图

为了保证格子板的强度和开孔率,降低格子板的制造工艺难度和成本,本研究将提升条横截面在驼峰堰形的基础上加以改进。在保证格子板提升条高度与矩形提升条相同的情况下,本文将格子板提升条变窄,并将各处用圆弧连接变成波形。根据提升条形状,将格子板命名为波形同心型格子板。

1.3 格子板格子孔的设计

格子孔的作用是将被破碎到一定粒度的矿粒筛分后排出磨机。格子板的开孔率、格子孔宽度、格子孔的开孔方向等因素都会直接影响到格子板的排矿效率。

根据筛分原理,本文对不同格子板所对应磨机内矿石速度方向与矿石颗粒到磨机中心连线的夹角进行统计,然后取平均值进行格子板开孔方向的设计。本文将波形型格子板重新进行开孔设计,得到波形斜向格子板,其结构示意图如图3所示。

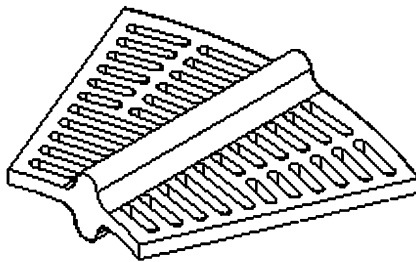


图3 波形斜向型格子板结构示意图

根据堰流理论,本文以格子板提升条前矿粒滞留量为指标,设计出波形格子板提升条;并将矿粒在格子板上的运动情况与筛分理论相结合,确定格子孔的最佳开孔方向,进而提供一种具有普遍适用性的自磨机格子板设计方法。

2 仿真自磨机工作参数的选取

由于颗粒体系内颗粒的剧烈运动会产生碰撞,形成碰撞力,接下来数值模拟过程中,矿粒与矿粒之间选用 Hertz-Mindlin 接触模型,矿粒与衬板、格子板之间选择 Hertz-Mindlin with Archard Wear 接触模型。模型中包含两种材料:衬板和格子板采用高锰钢,矿石采用某地花岗岩。

自磨机矿石与矿石的碰撞,与松散碎石之间的碰撞情况相似,所以本研究借鉴松散碎石的碰撞恢复系数,将两者的碰撞系数定为 0.27,矿石与格子板材料的法向碰撞恢复系数为 0.55。采用单面摩擦和双面摩擦数取平均值作为模型中花岗岩的静摩擦系数^[12],其他材料之间的摩擦系数通过查询《机械设计手册》得到。

为了保证仿真的真实性,本研究将仿真磨机的填充率定为 30%,自磨机转速率为 0.6,转速为 18.98 r/min,矿物颗粒的直径 $R = 3 \times 10^{-3}$ m,泊松比 $\nu = 0.17$,剪切模量 $G = 2.991 \times 10^{10}$ pa,密度 $\rho = 2\ 680$ kg/m³,仿真时间步长 $\Delta T \approx 20\% T_R = 6.27 \times 10^{-6}$ s。

仿真磨机稳定运行后发现,物料在磨机内的下落方式为抛落式,并且物料的落点为“真趾”区,但物料并没有直接砸向筒体衬板。物料的这种抛落状态既达到了矿石破碎的最佳状态,又避免了筒体衬板的冲击。由此可见,以上参数的选取在整个仿真系统中是较佳的。

3 仿真结果与分析

3.1 自磨机格子板提升条排矿量分析

本研究以格子板提升条和格子孔开孔方对比分析二者对格子板排矿量的影响,最后对比发现波形斜向型格子板与常用的矩形同心新型格子板和矩形辐射型格子板排矿量有差异。选取仿真自磨机正常运转一周后即仿真时间 6.8 s 时刻的排矿量作为对比分析的基础数据。将 6 种不同类型排矿格子板在其他运行条件相同情况下的排矿量绘制成柱状图,如图 4 所示。

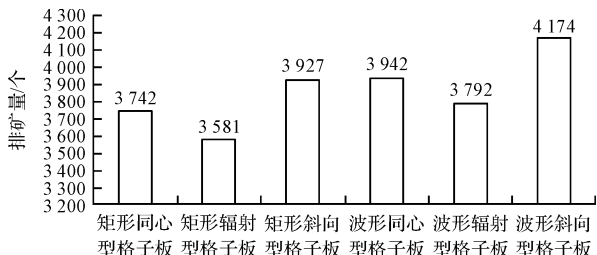


图 4 不同格子板排矿数量

本研究对比分析不同提升条格子板的排矿量,发

现波形同心型格子板排矿量比矩形同心型格子板排矿量增加了 5.37%,波形辐射型格子板排矿量比矩形辐射型格子板排矿量增加了 5.90%,波形斜向型格子板排矿量比矩形斜向型格子板排矿量增加了 6.29%。对比分析不同格子孔方向格子板的排矿量发现,波形斜向型格子板排矿量比波形同心型格子板排矿量增加了 5.89%,比波形辐射型格子板排矿量增加了 10.07%。由此可见,无论格子板提升条还是格子板开孔方向,都对格子板的排矿量有一定的影响。

3.2 自磨机格子板磨损量的对比分析

本研究在 EDEM 后处理模块中将波形斜向型格子板和常用的矩形同心型格子板、矩形辐型格子板组成的圆面平均分成 50 个区域,当磨机稳定运行一周后(仿真时间为 3.6 s ~ 6.8 s),在数据统计模块中选择 Archard Wear 输出格子板面从 3.6 s ~ 6.8 s 以 0.1 s 为一个时间间隔的平均累积磨损量,其单位为 10^{-5} mm。将数据整理绘制成折线图(其横坐标为对应时间点的序号),不同类型格子板平均磨损量如图 5 所示。

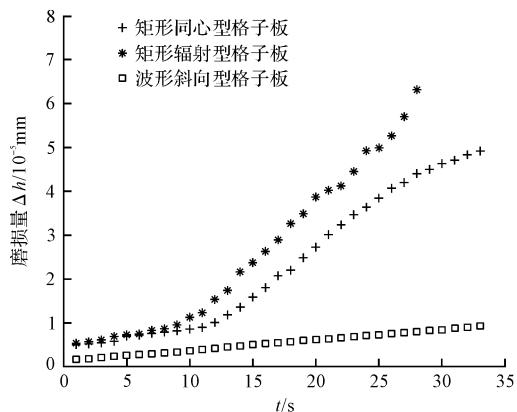


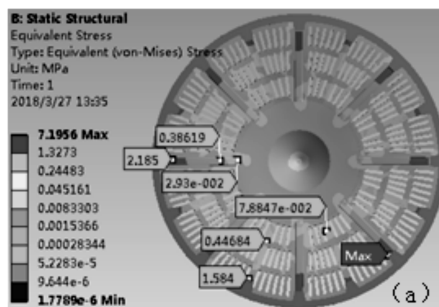
图 5 不同类型格子板平均磨损量

波形斜向型格子板稳定运行一周后,格子板磨损量的增量为 0.76×10^{-5} mm,矩形同心型和矩形辐射型格子板的磨损量的增量分别为 4.43×10^{-5} mm 和 6.50×10^{-5} mm。由此可见,波形斜向型格子板的磨损量远小于矩形同心型和矩形辐射型格子板,并且其磨损曲线相对平滑,说明影响格子板磨损量的主要因素是格子板提升条的形状。

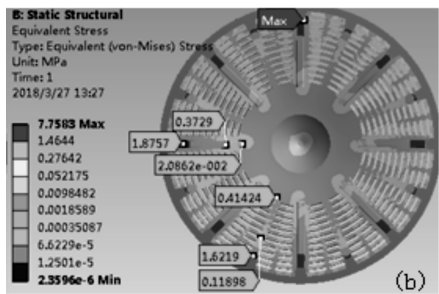
3.3 自磨机格子板应力及应力分布的对比分析

本研究提取稳定运行一周后矿石作用在格子板上的累积力(这个力不是矿石作用在格子板上某一瞬时的力,而是磨机运行一周后矿石对格子板作用力的叠加,这样就避免了矿石对格子板作用力的随机性)数据,将 EDEM 中获取的数据和磨机模型导入到 ANSYS 软件中,对格子板进行静力学分析。

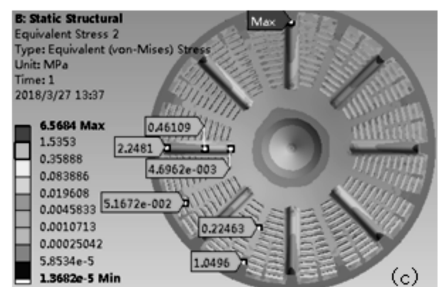
不同格子板的应力分布如图6所示。



(a) 矩形辐射型格子板应力及其分布



(b) 矩形同心型格子板应力及其分布



(c) 波形斜向型格子板应力及其分布图

图6 不同格子板的应力分布

由图可知,3种格子板在同一工况工作时,波形斜向型格子板板面上绝大部分面积所受应力都集中在 $0.083\ 886\ \text{MPa} \sim 0.358\ 88\ \text{MPa}$ 之间,比另外两种都要低,波形斜向型格子板整体所受的应力较另外两种小,并且应力集中处也较少,可以说明波形斜向型格子板在运行过程中的力稳定性更好。

4 结束语

笔者根据分析研究,设计出了新型的波形斜向型格子板,结论如下:

(1)根据对格子板提升条前矿石颗粒滞留量的分析,发现矿粒更容易流过波形提升条,说明堰流理论在格子板提升条设计中的应用是可行的;

(2)根据磨损分析可知,在相同时间内,波形斜向型格子板的磨损增量最小,约为矩形同心型格子板磨损增量的 $1/8$,约为矩形辐射型格子板磨损增量的 $1/8$,并且波形斜向型格子板的磨损曲线更平滑,说明波形斜向型格子板与另两种格子板相比耐磨性更好;

(3)根据 ANSYS 中格子板的应力及其分布情况可知,格子板正常运转一周后,波形斜向型格子板比矩形同心型格子板和矩形辐射型格子板所受的应力更均匀,应力集中处明显减少,所受应力最大值减少了 $0.6\ \text{MPa}$ 以上,说明波形斜向型格子板运行时的力稳定性更好。

参考文献(References):

- [1] MORRELL S, STEPHENSON I. Slurry discharge capacity of autogenous and semi-autogenous mills and the effect of grate design[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 1996, 46(1-2):53-72.
- [2] LATCHIREDDI S, MORRELL S. Slurry in mills: grate-pulp lifter discharge systems (Part 2) [J]. *Minerals Engineering*, 2003, 16(7):635-642.
- [3] CLEARY P W, MORRISSON R, MORRELL S. Comparison of DEM and experiment for a scale model SAG mill[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2003, 68(1):129-165.
- [4] KMISHRA R. Dynamics of ball and rock charge in sag mills [C]. *International Autogenous Grinding, Semiautogenous Grinding & High Pressure Grinding Rolls Technology 1996*, Vancouver, 1996.
- [5] 杜井君. 球磨机格子板的改造[J]. *矿山机械*, 1994(2):38-40.
- [6] 应德鑫. 半自磨机排矿格子板的初探[J]. 全文版(工程技术), 2016(2):27-29.
- [7] 威力林. 球磨机格子板改造实践[J]. *矿业工程*, 2014(6):49-50.
- [8] 周恩浦. 自磨机的结构设计与分析[J]. *矿山机械*, 1982(8):15-20.
- [9] 高中才, 李林芳. 自磨机排矿格子板结构改进实践[J]. *化工矿物与加工*, 2000, 29(9):90-94.
- [10] 道格拉斯, 汤全明. 流体力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [11] 方至坚. 大型半自磨机端盖衬板的设计优化与改造[J]. *矿山机械*, 2016, 44(5):42-45.
- [12] 许琼萍, 王德荣, 陆渝生. 测定某种花岗岩静摩擦系数的试验[J]. *解放军理工大学学报: 自然科学版*, 2008, 9(3):269-273.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

龚 梦,董为民,孙珊珊,等. 基于堰流和筛分理论的自磨机格子板设计[J]. *机电工程*, 2019, 36(3):298-301.

GONG Meng, DONG Wei-min, SUN Shan-shan, et al. Grating of self-grinding machine based on the theory of weir flow and screening[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(3):298-301.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>