



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112934380 A

(43) 申请公布日 2021.06.11

(21) 申请号 202110105099.1

(22) 申请日 2021.01.26

(71) 申请人 栾川县金鼎矿业有限公司

地址 471532 河南省洛阳市栾川县陶湾镇
松树台村

(72) 发明人 王二军 况锅明 郭雷强

(74) 专利代理机构 郑州中科鼎佳专利代理事务
所(特殊普通合伙) 41151

代理人 蔡佳宁

(51) Int. Cl.

B02C 17/10 (2006.01)

B02C 17/22 (2006.01)

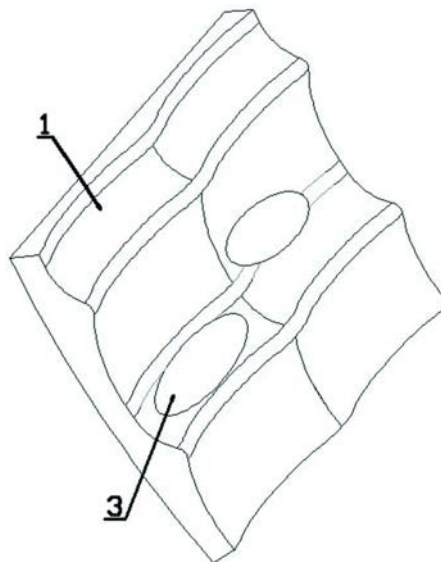
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

一种矿石球磨机的级配方法

(57) 摘要

一种矿石球磨机的级配方法,以提高研磨球的撞击几率、增大研磨球与衬板的接触面为目的,以研磨球及衬板的总体凸面面积与凹面面积的比例作为级配依据,通过方程组的求解,能够精确计算出各研磨球的配比数量,保证参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与总凹面面积大致相等,最大程度地提升了衬板与研磨球形成凹凸配合碰撞的几率,从而大幅提高了球磨机的综合磨矿效率。本发明的级配方法不仅适用于两级研磨球的级配,还可以适用于多级研磨球的级配。此外,本发明平衡了球磨机的破碎性能与研磨性能,球磨机不需设置多仓结构,而采用结构简单的通仓结构,不但避免各仓产能不均造成的“涨肚”,而且使研磨球的级配更加合理,也更加容易操作。



1. 一种矿石球磨机的级配方法,所述球磨机包括衬板和研磨球,其特征是:所述衬板的工作面上设有沿轴线方向起伏的轴向波纹结构,还设有沿圆周方向起伏的周向波浪结构;所述研磨球包括椭圆球和凹面椭圆球,其中,凹面椭圆球包括椭圆球体,在椭圆球体的中间部位设有凹陷的弧形环槽;

所述级配方法包括以下步骤:

S1:根据矿石粒度的分布,选择两组粒度区间,并根据该两组粒度区间选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球;根据球磨机标定的研磨球装载量确定总填充重量G,建立方程(1):

$$A_1X+B_1Y=G$$

式中,A1为椭圆球的单重;X为椭圆球的填充数量;B1为凹面椭圆球的单重;Y为凹面椭圆球的填充数量;

S2:设研磨球的填充率为 φ ,则: $\varphi = G / \rho L \pi R^2$

式中,R为球磨机滚筒的半径;L为球磨机滚筒的长度; ρ 为研磨球的堆积密度;

S3:设静态下研磨球覆盖衬板的弧面面积为S,则:

$$S = \frac{\pi RL}{90} \times \cos^{-1} \left(\frac{50 - 100\varphi}{63} \right)$$

根据衬板的凸面面积与凹面面积的比值,得出衬板参与工作的凸面面积S1及凹面面积S2;

S4:设参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与其总凹面面积之比为 α ,建立方程(2):

$$\frac{A_2X + B_{21}Y + S_1}{B_{22} + S_2} = \alpha$$

式中,A2为单个椭圆球的凸面面积;B21为单个凹面椭圆球的凸面面积;B22为单个凹面椭圆球的凹面面积;

S5:联立方程(1)、(2)求解,得到X、Y,确定椭圆球和凹面椭圆球的级配数量。

2. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:所述轴向波纹结构的波纹线由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线和波谷线均为椭圆弧线。

3. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:所述周向波浪结构的波浪线由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线带球端的曲率大于顺球端的曲率。

4. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:衬板工作面的凸面面积与凹面面积之比为0.25-0.5。

5. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:在椭圆球体两侧的尖凸部分别设有凹陷的弧形环槽。

6. 如权利要求1或5所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:所述弧形环槽的弧形为椭圆弧。

7. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:凹面椭圆球的凸面面积与凹面面积之比为0.7-1.1。

8. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:所述 $\alpha=0.9-1.1$ 。

9. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:所述 $\rho=4.8-5.6g/cm^3$ 。

10. 如权利要求1所述的一种矿石球磨机的级配方法,其特征是:在S1中,根据矿石粒度的分布,选择占比最大的两组粒度区间,并根据该两组粒度区间选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球。

一种矿石球磨机的级配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及矿山设备技术领域,尤其是涉及一种矿石球磨机的级配方法。

背景技术

[0002] 球磨机是选矿作业中重要的设备,研磨球以及衬板作为球磨机中的重要研磨部件,其性能的优劣将直接决定磨矿的质量及效率。研磨球根据形状可分为圆球、圆棒和椭圆球。目前球磨机多数采用圆球,圆球易于制造,且具有万向性,能以任意角度敲击矿石。大直径圆球的单点冲击力大,主要用于破碎矿石,而小直径的圆球主要用于研磨,因此大小圆球通常级配使用。但在实际生产中,圆球的综合磨矿效率并不高。其原因在于,在同样的体积下,圆球的表面积要小于圆棒或椭圆球的表面积,而且圆球与矿石表面的接触为点接触,其接触面积小于圆棒或椭圆球的接触面积。圆棒具有棒磨机研磨棒的部分特点,具有滚动方向性,与矿石是线接触,接触面大。圆棒的特点是粒度均匀,研磨效果好,但是破碎效率低,综合磨矿效率也不高。椭圆球介于圆球与圆棒之间,既具有圆球的部分万向性,又具有圆棒的部分滚动方向性。椭圆球与矿石的接触长度介于圆球与圆棒之间,研磨及破碎的效果也处于圆球与圆棒之间。此外,在圆球、圆棒和椭圆球之中,椭圆球的堆积孔隙率最低,在相同的体积下,椭圆球的无序堆积密度要大于圆球和圆棒的无序堆积密度,这有利于增大矿石的给料量。

[0003] 衬板作为研磨球的承载体在磨矿中起到很关键的作用,如果把研磨球比喻为锤头,那么衬板就是砧板,缺一不可。在球磨机直径不变的情况下提高衬板工作面的表面积能提高磨矿效率,目前部分球磨机的衬板在回转方向上设置波浪纹,以增加衬板的工作面面积,同时也增加了少部分的凸面面积。但从整体看,衬板的工作面主要为凹面,而研磨球的工作面都为凸面。圆球对矿石产生的撞击几率大、破碎效果好,但是圆球与弧面衬板的接触是点接触,不利于提高研磨效率。而圆棒与矿石的接触面较大、研磨效果好,但是对矿石产生的撞击几率小、破碎效果差。因此,目前的研磨球和衬板在兼顾撞击几率及接触面上存在着矛盾,而解决这个矛盾是提高球磨机综合磨矿效率的关键。

[0004] 为了解决上述研磨球、衬板在破碎效率与研磨效率上的不均衡,目前的球磨机多采用三仓结构,头仓使主要使用圆球破碎矿石,中间仓使用多种研磨球混合磨矿,尾仓主要使用圆棒研磨矿石。但这样带来的问题是各仓研磨球的级配很难达到平衡,级配合适的仓,其磨矿效率高,不存料;级配差的仓,其磨矿效率低,存料多,容易“涨肚”。因此,综合磨矿效率很难达到预期。

[0005] 目前研磨球的级配方法较多,但是还没有论文或专利是以提高研磨球的撞击几率、增大研磨球与衬板的接触面为目的的,也没有以研磨球及衬板的总体凸面面积与凹面面积的比例作为级配依据的级配方法,从而可以科学的、系统的指导各研磨球的级配数量,最大程度地提高球磨机的综合磨矿效率。

发明内容

[0006] 为了克服背景技术中的不足,本发明公开了一种矿石球磨机的级配方法,其目的在于:

[0007] 1、提高研磨球的撞击几率,同时增大研磨球与衬板的接触面;

[0008] 2、以研磨球及衬板的总体凸面面积与凹面面积的比例作为级配依据,平衡破碎性能和研磨性能,提高球磨机的综合磨矿效率。

[0009] 为实现上述发明目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 一种矿石球磨机的级配方法,所述球磨机包括衬板和研磨球,其特征是:所述衬板的工作面上设有沿轴线方向起伏的轴向波纹结构,还设有沿圆周方向起伏的周向波浪结构;所述研磨球包括椭圆球和凹面椭圆球,其中,凹面椭圆球包括椭圆球体,在椭圆球体的中间部位设有凹陷的弧形环槽;

[0011] 所述级配方法包括以下步骤:

[0012] S1:根据矿石粒度的分布,选择两组粒度区间,并根据该两组粒度区间选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球;根据球磨机标定的研磨球装载量确定总填充重量G,建立方程(1):

$$[0013] \quad A_1X+B_1Y=G$$

[0014] 式中,A1为椭圆球的单重;X为椭圆球的填充数量;B1为凹面椭圆球的单重;Y为凹面椭圆球的填充数量;

[0015] S2:设研磨球的填充率为 φ ,则: $\varphi = G / \rho L \pi R^2$

[0016] 式中,R为球磨机滚筒的半径;L为球磨机滚筒的长度; ρ 为研磨球的堆积密度;

[0017] S3:设静态下研磨球覆盖衬板的弧面面积为S,则:

$$[0018] \quad S = \frac{\pi RL}{90} \times \cos^{-1} \left(\frac{50 - 100\varphi}{63} \right)$$

[0019] 根据衬板的凸面面积与凹面面积的比值,得出衬板参与工作的凸面面积S1及凹面面积S2;

[0020] S4:设参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与其总凹面面积之比为 α ,建立方程(2):

$$[0021] \quad \frac{A_2X + B_{21}Y + S_1}{B_{22} + S_2} = \alpha$$

[0022] 式中,A2为单个椭圆球的凸面面积;B21为单个凹面椭圆球的凸面面积;B22为单个凹面椭圆球的凹面面积;

[0023] S5:联立方程(1)、(2)求解,得到X、Y,确定椭圆球和凹面椭圆球的级配数量。

[0024] 进一步地改进技术方案,所述轴向波纹结构的波纹线由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线和波谷线均为椭圆弧线。

[0025] 进一步地改进技术方案,所述周向波浪结构的波浪线由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线带球端的曲率大于顺球端的曲率。

[0026] 进一步地改进技术方案,衬板工作面的凸面面积与凹面面积之比为0.25-0.5。

[0027] 进一步地改进技术方案,在椭圆球体两侧的尖凸部分别设有凹陷的弧形环槽。

- [0028] 进一步地改进技术方案,所述弧形环槽的弧形为椭圆弧。
- [0029] 进一步地改进技术方案,凹面椭圆球的凸面面积与凹面面积之比为0.7-1.1。
- [0030] 进一步地改进技术方案,所述 $\alpha=0.9-1.1$ 。
- [0031] 进一步地改进技术方案,所述 $\rho=4.8-5.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。
- [0032] 进一步地改进技术方案,在S1中,根据矿石粒度的分布,选择占比最大的两组粒度区间,并根据该两组粒度区间选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球。
- [0033] 由于采用上述技术方案,相比背景技术,本发明具有如下有益效果:
- [0034] 本发明衬板的轴向波纹结构和周向波浪结构,不但增大了与研磨球的接触面积,而且为研磨球提供了大量的凹面击打面和凸面击打面,有助于提高破碎性能和研磨性能。
- [0035] 此外,周向波浪结构的带球端能够提升研磨球的抛落高度,降低球磨机的转速与电能消耗。
- [0036] 本发明的凹面椭圆球通过设置弧形凹槽而增大了与矿石的研磨面积,并与配合球形成配合破碎面,从而提高了对矿石的破碎性能与研磨性能,使球磨机的综合生产效率得到大幅提升。
- [0037] 本发明的级配方法以提高研磨球的撞击几率、增大研磨球与衬板的接触面为目的,以研磨球及衬板的总体凸面面积与凹面面积的比例作为级配依据,能够精确计算出各研磨球的配比数量,保证参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与总凹面面积大致相等,最大程度地提升了衬板与研磨球形成凸凹配合碰撞的几率,从而大幅提高了球磨机的综合磨矿效率。
- [0038] 本发明的级配方法不仅适用于两级研磨球的级配,还可以适用于多级研磨球的级配。配比的原则符合矿石粒度区间分布,有利于提高球磨机的综合磨矿效率。
- [0039] 本发明平衡了球磨机的破碎性能与研磨性能,球磨机不需设置多仓结构,而采用结构简单的通仓结构,不但避免各仓产能不均造成的“涨肚”,而且使研磨球的级配更加合理,也更加容易操作。

附图说明

- [0040] 图1-2为衬板的结构示意图。
- [0041] 图3为衬板在工作时的结构示意图。
- [0042] 图4为凹面椭圆球的结构示意图。
- [0043] 图5-8为凹面椭圆球在工作时的结构示意图。
- [0044] 图9为填充率与 β 、H关系的示意图。
- [0045] 图中:1、衬板;1.1、波纹线;1.2、波浪线;2、凹面椭圆球;2.1、弧形环槽;2.2、弧形副凹槽;3、椭圆球。

具体实施方式

[0046] 下面参照附图来描述本发明的优选实施方式。本领域技术人员应当理解的是,这些实施方式仅仅用于解释本发明的技术原理,并非旨在限制本发明的保护范围。

[0047] 实施例1:

[0048] 一种球磨机,其滚筒为通仓,不设隔仓。在转筒内壁上铺设设有衬板1,并在滚筒内

充填有两种研磨球,两种研磨球分别为椭圆球3和凹面椭圆球2。

[0049] 如图1所示,在衬板1的工作面上设有沿轴线方向起伏的轴向波纹结构,轴向波纹结构的波纹线1.1由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线和波谷线均为椭圆弧线。本实施例中,轴向波纹结构包括两个波峰线和两个波谷线,波谷线的长度为155mm,波峰线的长度为45mm,波幅的长度为27mm。轴向波纹结构的波谷面构成了研磨球在球磨机滚筒内的周向滚道。

[0050] 如图2所示,在衬板1的工作面上还设有沿圆周方向起伏的周向波浪结构。周向波浪结构的波浪线1.2由波峰线和波谷线平顺连接而成,其中,波峰线带球端的曲率大于顺球端的曲率。本实施例中,周向波浪结构包括两个波峰线和两个波谷线,波谷线的长度为120mm,波峰线的长度为30mm,波幅的长度为50mm。周向波浪结构进一步地增加了周向滚道与两种研磨球的接触面积,并为周向滚道提供了槽窝形的击打面。

[0051] 如图3所示,工作时,在离心力的作用下,矿石及研磨球大多集中在周向滚道内,并在周向滚道内滚动磋磨。由于波谷面为椭圆面,增大了与研磨球的接触面积,有助于提高研磨球对矿石的研磨性能。波峰面相当于圆球,能够对抛落的大块矿石产生撞击,有助于提高对矿石的破碎性能。周向波浪结构波峰线的带球端一方面能够提高研磨球的抛落高度,有利于降低球磨机的转速及电能消耗;另一方面为研磨球提供了凸凹起伏的击打面,进一步地提高了研磨球对矿石的破碎性能和研磨性能。

[0052] 如图4所示,凹面椭圆球2包括椭圆球体,在椭圆球体的中间部位设有凹陷的弧形环槽2.1。本实施例中,弧形环槽2.1的弧形为椭圆弧,椭圆弧与椭圆球3的表面弧线相对应。相比同体积的椭圆球,设置弧形环槽2.1提高了与矿石的接触面积,增大了与椭圆球3形成凸凹配合面的几率。

[0053] 为了进一步地增大接触面积,在椭圆球体两侧的尖凸部各设有一个凹陷的弧形副凹槽2.2,本实施例中,弧形副凹槽2.2的弧形同样为椭圆弧。在椭圆球体的两侧设置一对弧形副凹槽2.2,能够成倍地增大与椭圆球3形成凸凹配合击打面的几率。

[0054] 如图5所示,工作时,凹面椭圆球2与椭圆球3配级使用。在碰撞中,椭圆球3与弧形环槽2.1之间形成配合破碎面,能对大块矿石产生劈面剪切破碎作用,提高了破碎性能。对小块矿石来说,增大了接触线的长度,提高了研磨性能。

[0055] 如图6-8所示,由于凹面椭圆球2具有部分万向性,因此碰撞不只局限于与椭圆球3之间,也可以发生在自身之间。碰撞不只局限于发生在弧形环槽2.1面上,也可以发生在弧形副凹槽2.2面上。以上碰撞都增加了对矿石的破碎效率及研磨效率。

[0056] 由背景技术可知,圆球对矿石产生的撞击几率大、破碎效果好,但是圆球与弧面衬板的接触是点接触,不利于提高研磨效率。而圆棒与矿石的接触面较大、研磨效果好,但是对矿石产生的撞击几率小、破碎效果差。而凸凹面接近的椭圆球3和凹面椭圆球2,以及凸凹面接近的椭圆球3、凹面椭圆球2与衬板1,较好地兼顾了撞击几率及接触面之间的矛盾,平衡了球磨机的破碎性能与研磨性能,从而提高了综合磨矿效率。也正是因为如此,本发明的球磨机不需设置多仓结构,而采用结构简单的通仓结构,就可避免各仓因产能的不均而造成的“涨肚”。

[0057] 为了提高研磨球的撞击几率、增大研磨球与衬板的接触面,进一步地提升球磨机的综合磨矿效率,还需要一种以研磨球及衬板的总体凸面面积与凹面面积的比例作为级配

依据的级配方法,从而可以科学的、系统的指导各研磨球的级配数量,最大程度地提高球磨机的综合磨矿效率。

[0058] 例如,某球磨机的半径 $R=1.6$ 米,长 $L=4.5$ 米,电机功率 800kw ,标定的研磨球装填量为 65 吨。球磨机衬板工作面的凸面面积占总表面面积的 25% ,凹面面积占总表面面积的 75% 。

[0059] 所述级配方法包括以下步骤:

[0060] S1:根据矿石粒度的分布,选择占比最大的两组粒度区间,该两组粒度区间分别为 $4-6\text{mm}$ 和 $8-10\text{mm}$ 。根据该两组给矿粒度选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球,其中,椭圆球对应 $4-6\text{mm}$ 粒度区间,椭圆球的长轴为 10 厘米,短轴为 6 厘米,其凸面面积为 1.66 平方分米,重量为 1.4 千克;凹面椭圆球对应 $8-10\text{mm}$ 粒度区间,凹面椭圆球的长轴为 15 厘米,短轴为 8 厘米,其凸面面积为 1.24 平方分米,凹面面积为 1.7 平方分米,重量为 2.9 千克。

[0061] 根据球磨机标定的研磨球装载量确定总填充重量 G ,建立方程:

$$[0062] \quad A_1X+B_1Y=G$$

[0063] 式中, A_1 为椭圆球的单重; X 为椭圆球的填充数量; B_1 为凹面椭圆球的单重; Y 为凹面椭圆球的填充数量;

$$[0064] \quad \text{带入数值后,得到方程: } 1.4X+2.9Y=65000 \quad (1)$$

[0065] S2:研磨球的材质为钢,设研磨球的堆积密度为 ρ 。据文献《椭圆球之密堆积》可知,通常情况下,无序堆积的椭圆球的最大空间占有率为 74% ,在此取椭圆球和凹面椭圆球的空间占有率为 65% ,则 $\rho=65\%*7.8=5.07\text{g/cm}^3$;

$$[0066] \quad \text{再根据公式: } \varphi = \frac{G}{\rho L \pi R^2}$$

[0067] 式中, R 为球磨机滚筒的半径; L 为球磨机滚筒的长度;

[0068] 带入数值后计算,得出研磨球的填充率 $\varphi=0.35$ 。

[0069] S3:设静态下研磨球覆盖衬板的弧面面积为 S 。

[0070] 如图9所示,图中的 H 为研磨球到滚筒顶面的高度。由于圆心角 β 难以直接计算得出,因此可以通过填充率的简化计算公式 $\varphi=113-126H/2R$,来绕开圆心角 β 的求取。经过函数变换后得到公式:

$$[0071] \quad S = \frac{\pi RL}{90} \times \cos^{-1} \left(\frac{50-100\varphi}{63} \right)$$

[0072] 带入数值后计算,得到 $S=1920$ 平方分米;

[0073] 再根据衬板的凸面面积及凹面面积的占比,得出衬板参与工作的凸面面积 $S_1=480$ 平方分米,凹面面积 $S_2=1440$ 平方分米。

[0074] S4:设参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与其总凹面面积之比为 α ,建立方程:

$$[0075] \quad \frac{A_2X+B_{21}Y+S_1}{B_{22}+S_2} = \alpha$$

[0076] 式中, A_2 为单个椭圆球的凸面面积; B_{21} 为单个凹面椭圆球的凸面面积; B_{22} 为单个凹面椭圆球的凹面面积。

[0077] 设 $\alpha=1$, 带入数值后, 得到方程:

$$[0078] \quad \frac{1.66X + 1.24Y + 480}{1.7Y + 1440} = 1 \quad (2)$$

[0079] S5: 联立方程(1)、(2)求解, 得到 $X=22280$ 、 $Y=11658$, 椭圆球与凹面椭圆球的级配数量之比约为1.9:1。

[0080] 值得注意的是, α 的取值不恒为1, 最佳的范围在0.9-1.1之间, α 大于1, 则说明总凸面面积大于其总凹面面积, α 小于1, 则说明总凸面面积小于其总凹面面积。 α 的具体取值需要根据矿石性质、实际磨矿的效果及经验而定。

[0081] 实施例1为两级研磨球的级配, 本发明还可以实现多级研磨球的级配, 大小不同的椭圆球或凹面椭圆球按某一数量比例配比, 按比例带入方程组求解, 得出各研磨球的投入数量。配比原则是粒度区间占比小的, 其配比数量小, 粒度区间占比大的, 其配比数量大, 最终形成符合矿石粒度区间分布的级配结构。

[0082] 实施例2:

[0083] 与实施例1不同的是, 根据矿石粒度的分布, 有三组粒度区间的占比较大, 分别是4-6mm、8-10mm和1-2mm, 其中, 4-6mm粒度区间、8-10mm粒度区间的占比最大, 4-6mm粒度区间的占比是1-2mm粒度区间的占比的2倍。球磨机衬板工作面的凸面面积占总表面面积的20%, 凹面面积占总表面面积的80%。

[0084] 所述级配方法包括以下步骤:

[0085] S1: 根据以上三组给矿粒度, 选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球, 其中, 大椭圆球对应4-6mm粒度区间, 大椭圆球的长轴为10厘米, 短轴为6厘米, 其凸面面积为1.66平方分米, 重量为1.4千克。小椭圆球体对应1-2mm粒度区间, 小椭圆球体的长轴为5厘米, 短轴为3厘米, 其凸面面积为0.4平方分米, 重量为0.2千克。凹面椭圆球对应8-10mm粒度区间, 凹面椭圆球的长轴为15厘米, 短轴为8厘米, 其凸面面积为1.24平方分米, 凹面面积为1.7平方分米, 重量为2.9千克。

[0086] 由于4-6mm粒度区间的占比是1-2mm粒度区间的占比的2倍, 因此小椭圆球体的数量按大椭圆体数量的0.5倍计算。根据球磨机标定的研磨球装载量确定总填充重量G, 带入数值后, 得到方程(1):

$$[0087] \quad 1.4 * X + 0.2 * 0.5X + 2.9Y = 65000$$

[0088] 式中, X为大椭圆球的填充数量; Y为凹面椭圆球的填充数量。

[0089] S2: 研磨球的材质为钢, 设研磨球的堆积密度为 ρ 。由于小椭圆球提高了空间占有率, 取空间占有率为70%, 则 $\rho = 70\% * 7.8 = 5.46 \text{g/cm}^3$;

$$[0090] \quad \text{再根据公式: } \varphi = \frac{G}{\rho L \pi R^2}$$

[0091] 带入数值后, 得出研磨球的填充率 $\varphi=0.33$;

[0092] S3: 设静态下研磨球覆盖衬板的弧面面积为S, 根据公式:

$$[0093] \quad S = \frac{\pi RL}{90} \times \cos^{-1} \left(\frac{50 - 100\varphi}{63} \right)$$

[0094] 带入数值后计算, 得到 $S=1870$ 平方分米;

[0095] 再根据衬板的凸面面积及凹面面积的占比,得出衬板参与工作的凸面面积 $S_1=374$ 平方分米,凹面面积 $S_2=1496$ 平方分米。

[0096] S_4 :设参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与其总凹面面积之比为 α ,设 $\alpha=1.05$,带入数值后,建立方程(2):

$$[0097] \quad 1.66X+0.4*0.5X+1.24Y+374=1.05*(1.7Y+1496)$$

[0098] S_5 :联立方程(1)、(2)求解,得到 $X=6342$ 、 $Y=19133$,小椭圆球、大椭圆球与凹面椭圆球的级配数量之比约为1:2:6。由计算可知,凹面椭圆球的占比很高,说明总的凹面面积不够大,需要增加更多的凹面椭圆球。

[0099] 在实施例2中,如果有四组粒度区间的占比较大,除了根据单重对应引入小椭圆球体,并与大椭圆体建立数量比例关系外,还可以根据单重对应引入小凹面椭圆球体,并与凹面大椭圆体建立数量比例关系。这样,就可以对四种研磨体的投入数量进行求解,得到符合矿石粒度区间分布的级配结构。

[0100] 实施例3:

[0101] 与实施例2不同的是,根据矿石粒度的分布,有四组粒度区间的占比较大,分别是4-6mm、8-10mm、2-4mm和1-2mm,其中,4-6mm粒度区间、8-10mm粒度区间的占比最大,4-6mm粒度区间的占比是1-2mm粒度区间的占比的2倍,8-10mm粒度区间的占比是2-4mm粒度区间的占比的2倍。

[0102] 所述级配方法包括以下步骤:

[0103] S_1 :根据以上四组给矿粒度,选择单重适合的椭圆球和凹面椭圆球,其中,大椭圆球对应4-6mm粒度区间,大椭圆球的长轴为10厘米,短轴为6厘米,其凸面面积为1.66平方分米,重量为1.4千克。小椭圆球体对应1-2mm粒度区间,小椭圆球体的长轴为5厘米,短轴为3厘米,其凸面面积为0.4平方分米,重量为0.2千克。大凹面椭圆球对应8-10mm粒度区间,大凹面椭圆球的长轴为15厘米,短轴为8厘米,其凸面面积为1.24平方分米,凹面面积为1.7平方分米,重量为2.9千克。小凹面椭圆球对应2-4mm粒度区间,小凹面椭圆球的长轴为8厘米,短轴为5厘米,其凸面面积为0.4平方分米,凹面面积为0.64平方分米,重量为0.65千克。

[0104] 由于4-6mm粒度区间的占比是1-2mm粒度区间的占比的2倍,8-10mm粒度区间的占比是2-4mm粒度区间的占比的2倍,因此小椭圆球体的数量按大椭圆体数量的0.5倍计算,因此小凹面椭圆球体的数量按大凹面椭圆体数量的0.5倍计算。根据球磨机标定的研磨球装载量确定总填充重量 G ,带入数值后,得到方程(1):

$$[0105] \quad 1.4*X+0.2*0.5X+2.9Y+0.65*0.5Y=65000$$

[0106] 式中, X 为大椭圆球的填充数量; Y 为凹面椭圆球的填充数量。

[0107] S_2 :研磨球的材质为钢,设研磨球的堆积密度为 ρ 。由于小椭圆球提高了空间占有率,取空间占有率为70%,则 $\rho=70\%*7.8=5.46\text{g}/\text{cm}^3$;

[0108] 再根据公式: $\varphi = \frac{G}{\rho L \pi R^2}$

[0109] 带入数值后,得出研磨球的填充率 $\varphi=0.33$;

[0110] S_3 :设静态下研磨球覆盖衬板的弧面面积为 S ,根据公式:

$$[0111] \quad S = \frac{\pi RL}{90} \times \cos^{-1} \left(\frac{50 - 100\varphi}{63} \right)$$

[0112] 带入数值后计算,得到 $S=1870$ 平方分米;

[0113] 再根据衬板的凸面面积及凹面面积的占比,得出衬板参与工作的凸面面积 $S_1=374$ 平方分米,凹面面积 $S_2=1496$ 平方分米。

[0114] S4:设参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与其总凹面面积之比为 α ,设 $\alpha=1.1$,带入数值后,建立方程(2):

[0115] $1.66X+0.4*0.5X+1.24Y+0.4*0.5Y+374=1.1*(1.7Y+0.64*0.7Y+1496)$

[0116] S5:联立方程(1)、(2)求解,得到 $X=16641$ 、 $Y=12512$,小椭圆球的数量为8320,小凹面椭圆球的数量为6256,小椭圆球、大椭圆球、大凹面椭圆球小凹面椭圆球的级配数量之比约为1.3:2.6:2:1。与实施例2相比,本实施例中的级配数量之比更合理。

[0117] 由上述实施例可知,本发明能够平衡球磨机的破碎性能与研磨性能,保证参与磨矿工作的衬板和研磨球的总凸面面积与总凹面面积大致相等,最大限度地提升了衬板与研磨球形成凹凸配合碰撞的几率,大幅提高了球磨机的综合磨矿效率。

[0118] 未详述部分为现有技术。尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的保护范围由所附权利要求及其等同物限定。

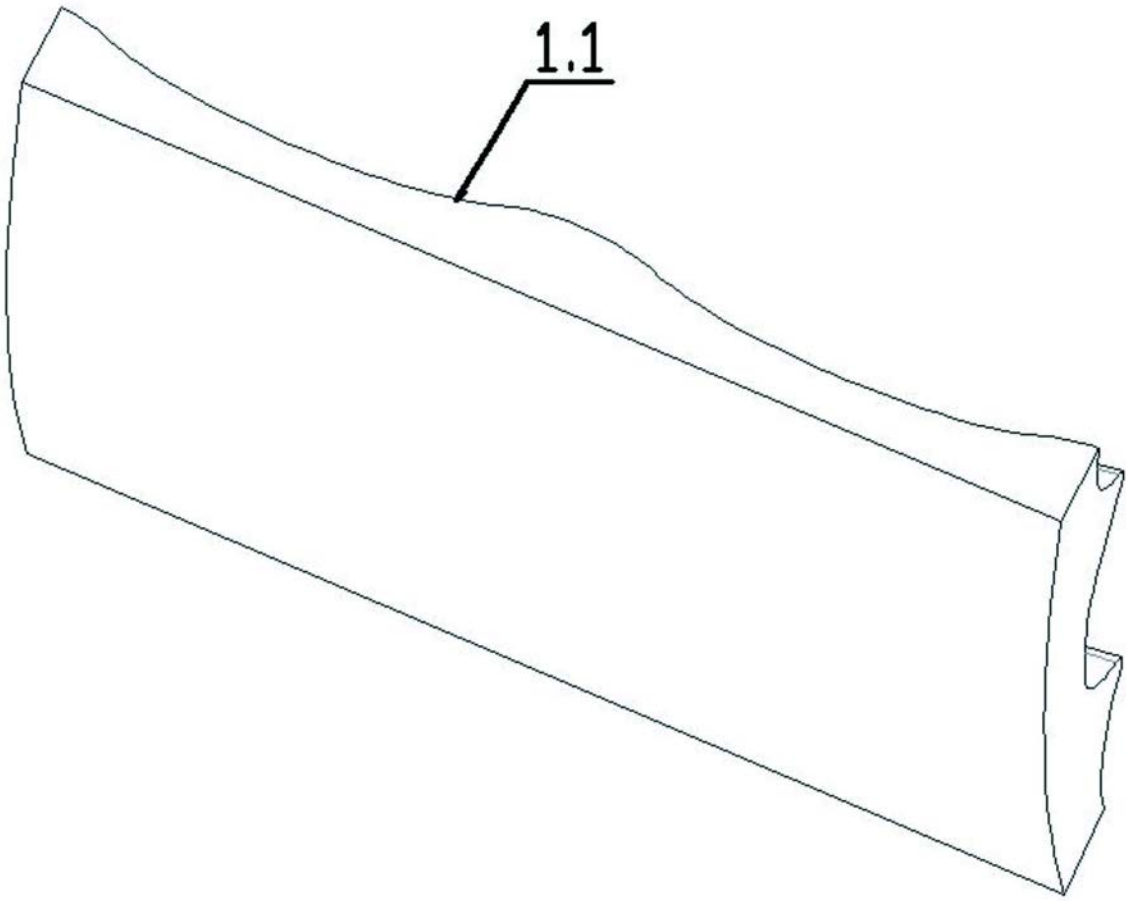


图1

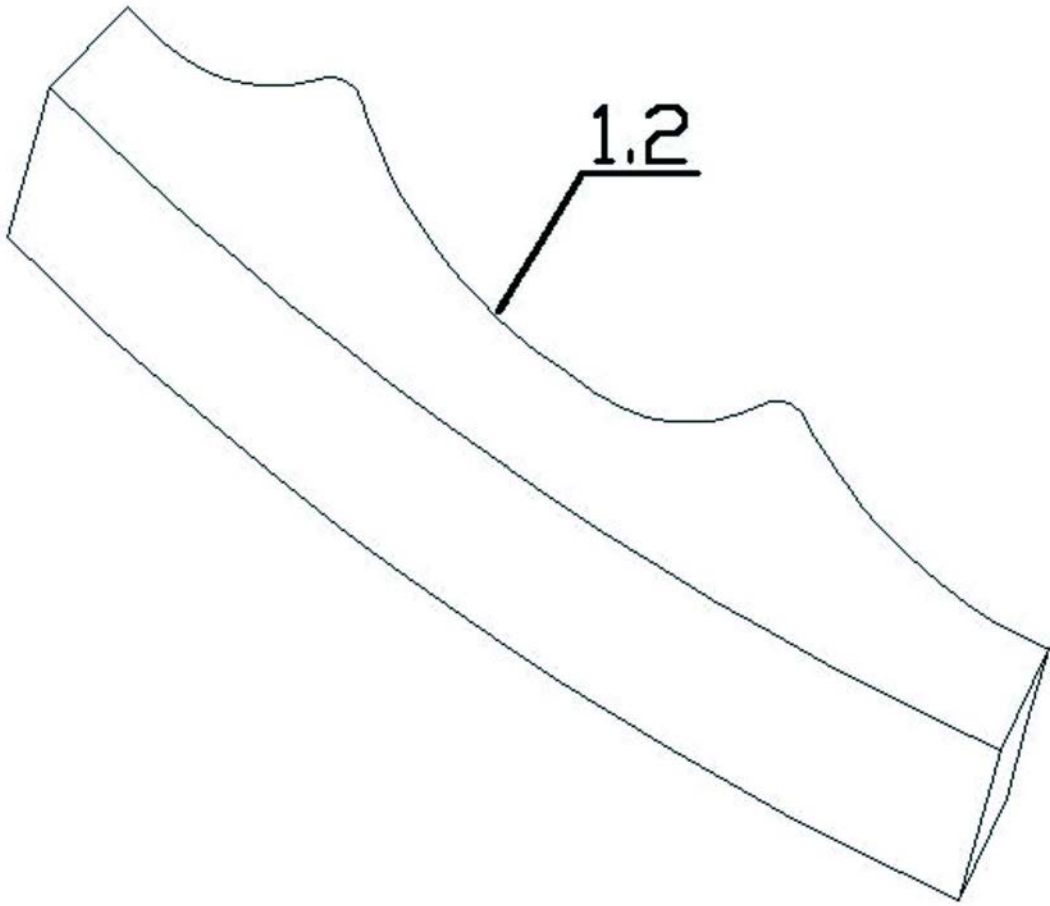


图2

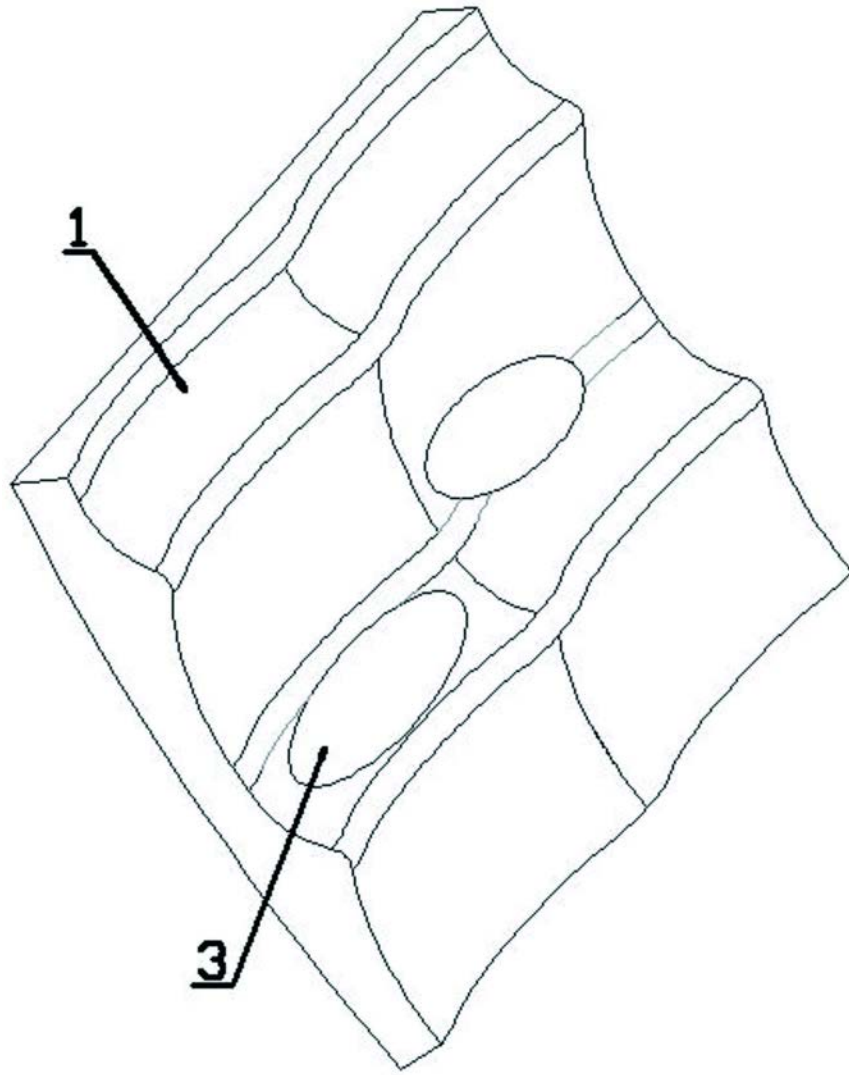


图3

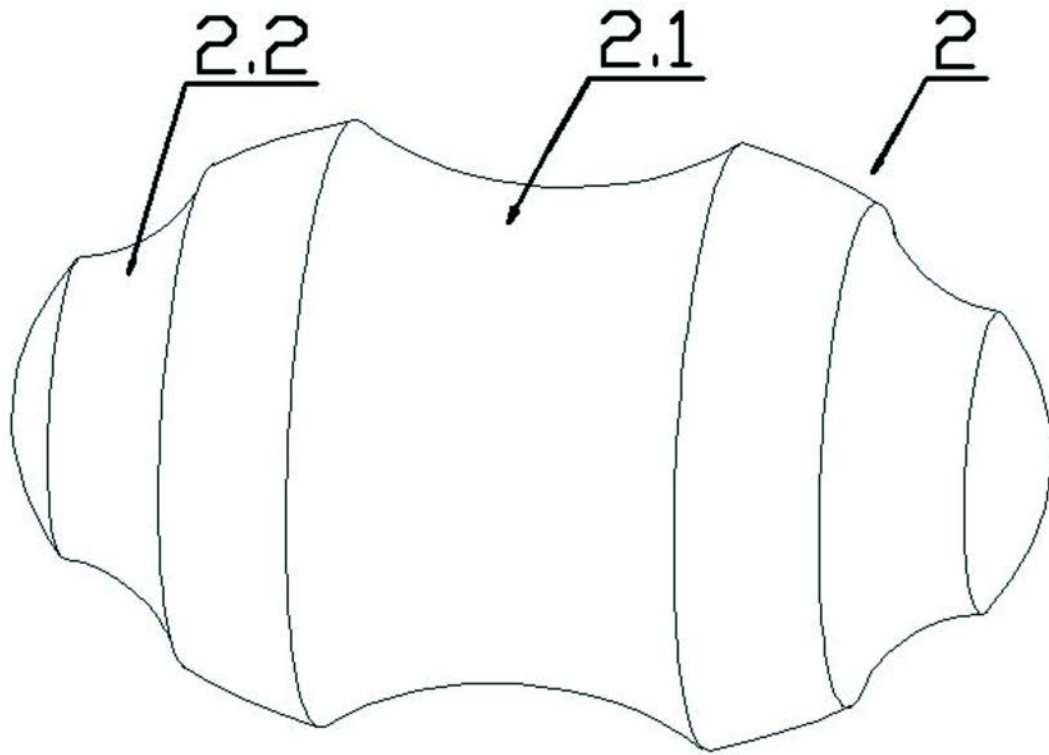


图4

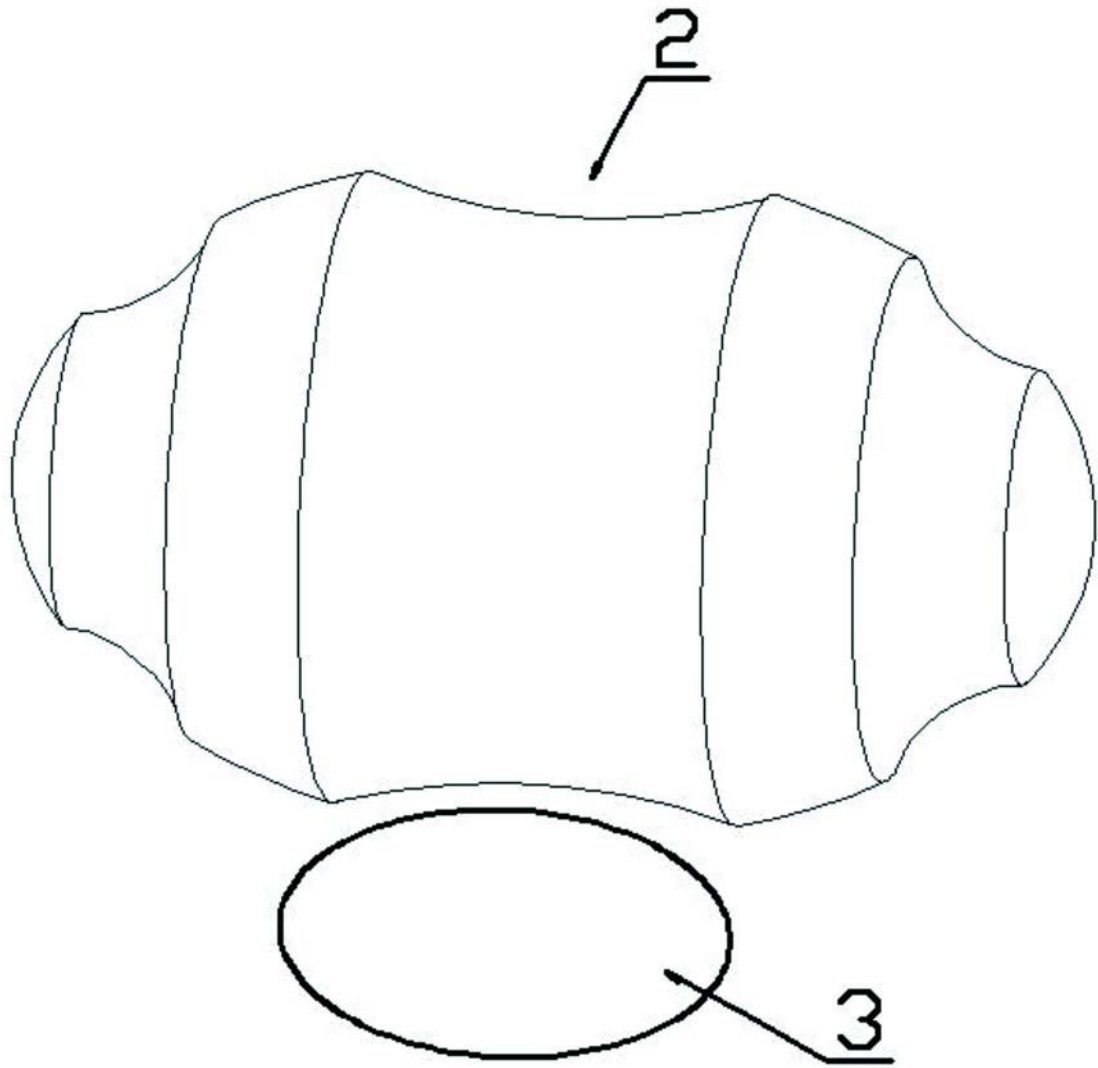


图5

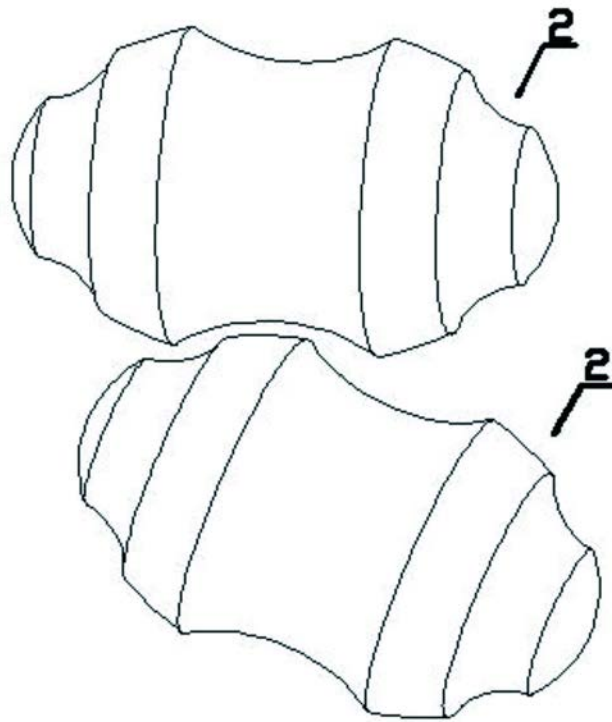


图6

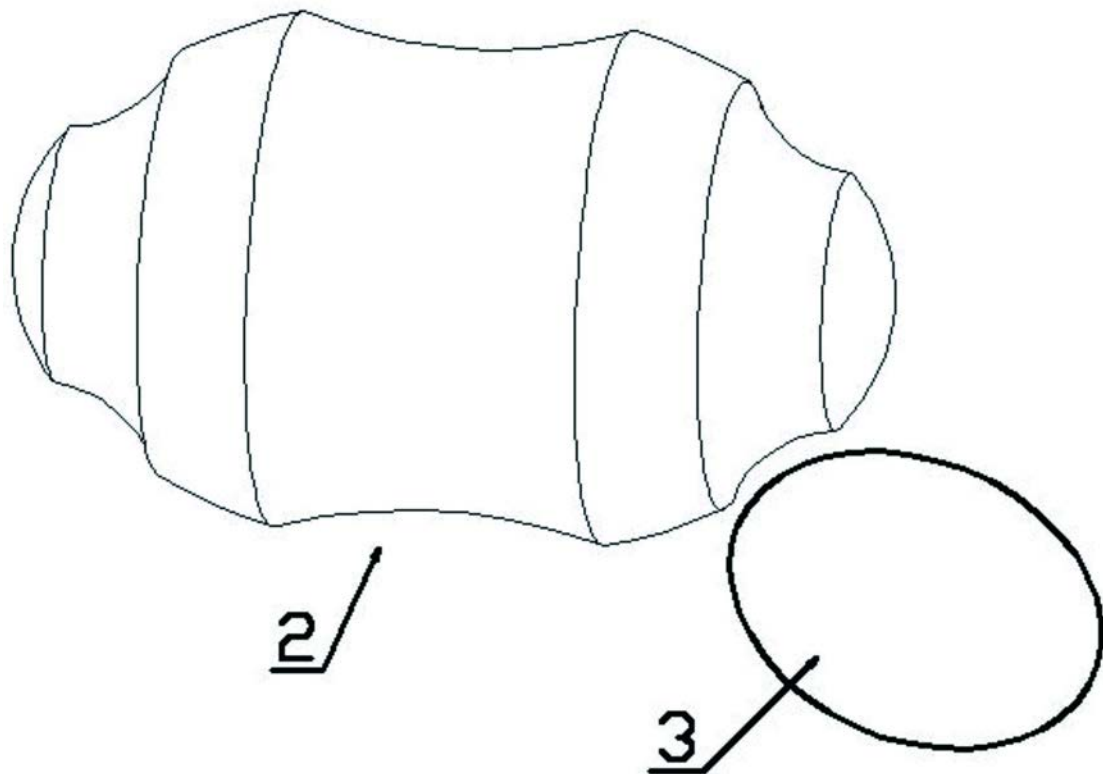


图7

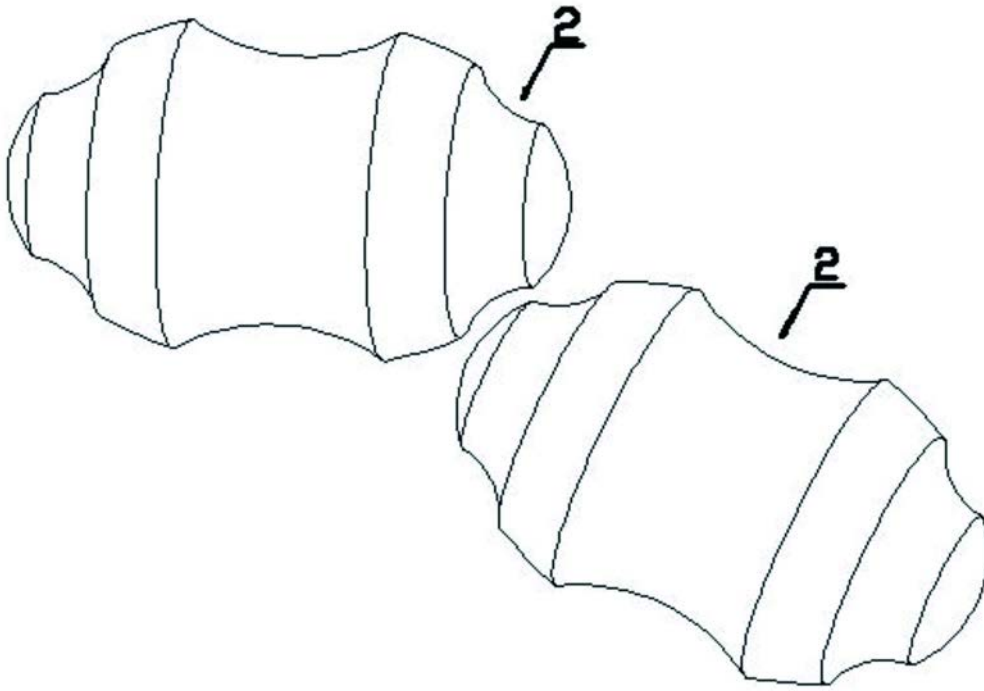


图8

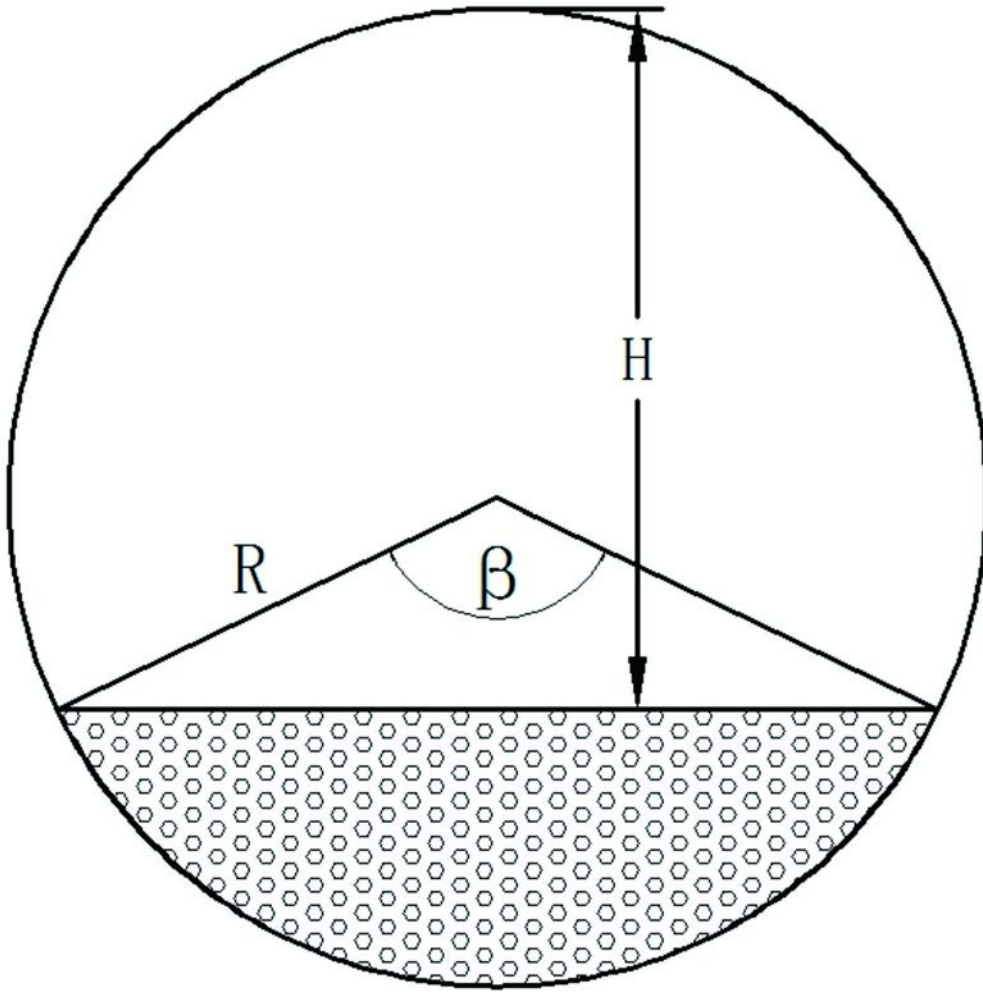


图9