

磁选柱分选过程与机理初探

赵通林 陈中航 陈广振
(鞍山科技大学)

摘 要 阐述了磁选柱的磁场特性、水流特性,探讨了矿粒在磁选柱中的运动状态、分选过程与机理,讨论了影响磁选柱分选效果的原因。并指出磁选柱在工业应用中的优势与不足,提出了磁选柱进一步改进的建议。

关键词 磁选 磁选柱 磁场特性

Preliminary Study on Separation Process and Mechanism of Magnetic Separation Column

Zhao Tonglin Chen Zhonghang Chen Guangzhen
(Anshan University of Science and Technology)

Abstract The characteristics of the magnetic field and the water flow in magnetic separation column are expounded. The motion of the ore particles in magnetic separation column and its separation process and separation mechanism are studied and the factors influencing the separation effect of magnetic separation column also discussed. The advantages and disadvantages of the application of magnetic separation column in industry are pointed out and the suggestions on its further improvement are given.

Keywords Magnetic separation, Magnetic separation column, Characteristics of magnetic field

磁选柱作为新型高效的低弱磁场磁重选矿设备,已经在我国多家大中型选矿厂得到广泛应用。工业生产实践结果表明,采用磁选柱一般情况下可以比采用筒式磁选机提高最终精矿品位2个百分点以上,为“提铁降硅”工程提供了有力的技术支持和设备保证。例如,本溪钢铁公司“提铁降硅”工程就应用了70台CXZ60型磁选柱,实现铁精矿品位大于68.50%、 SiO_2 含量低于4.50%的良好指标。

在各种类型磁铁选矿生产实践过程中,磁选柱具有获得较高精矿品位的优势,同时也存在一些需要解决的问题。为探讨磁选柱能获得高品位精矿的原因及存在的问题,以利于研究开发更好的磁选设备,有必要对其磁场特性、水流特性和分选过程进行深入分析。

1 磁选柱磁场特性和水流特性

1.1 磁场特性

磁选柱电磁磁系由多个励磁线圈构成,线圈由上而下分成几组,直流电源供电,采用由上而下的断续周期变化的励磁方式,在磁选柱内形成顺序下移循环往复的脉动磁场。工作时其中心磁场强度为8~16 kA/m,约为普通筒式磁选机的1/10。

每组线圈通电时,在线圈内部及其上下一定范

围内均存在磁场,其场强变化规律是:轴向上,线圈轴向中心最大,随着离开轴向中心距离的增大而变弱;径向上,中心弱而周边强。因而在轴向存在指向线圈中心的磁场梯度,在线圈内径向存在由中心指向周边的磁场梯度。在线圈上、下部1~2个线圈高度范围内磁场梯度较大。

磁选柱磁场的特点在于它属于低弱、不均匀、时有时无、非恒定的脉动磁场。其磁场强度和变化周期可以根据入选物料的性质不同而调节,这是磁选柱磁场特性和磁聚机磁场特性的最大区别所在,也是磁选柱的优势所在。

1.2 水流特性

磁选柱供水由3部分组成:切向给水、给矿分散水、精矿分散水。

切向给水对矿物分选起决定作用。切向给水进入磁选柱后形成旋转水流,流向分成向上、向下两部分,向下部分水量较少,主要作为精矿排矿水,向上部分水流旋转上升,起到主要分选作用;给矿分散水的作用是提高给矿在磁选柱分选区内的分散程度,

赵通林(1970—),男,鞍山科技大学土木与交通工程学院矿物资源工程系,副教授,114051 辽宁省鞍山市高新区千山路189号。

创造适宜的分选条件;精矿分散水的作用是对排矿前精矿再一次稀释分散,以利于进一步淘洗出其中夹杂的脉石与贫连生体。

2 磁选柱分选过程与机理

2.1 分选过程

给矿矿浆由给矿斗经给矿管进入磁选柱中上部,经给矿分散水充分分散,磁性矿粒,特别是单体磁铁矿颗粒在由上而下的磁场力作用下,团聚与分散反复交替进行,再加上由下而上的切向上升水流的冲洗、淘汰作用,使夹杂于其中的单体脉石和中、贫连生体由上升水流带动上升,由上部溢流槽溢出成为尾矿;磁铁矿颗粒,包括单体磁铁矿颗粒和磁铁矿富连生体,在连续向下的磁场力及磁链有效重力的作用下,不为上升水流所冲带,而是向下运动,经精矿分散水进一步淘洗后,由下部精矿排矿管排出成为高品位磁铁矿精矿。

2.2 分选机理

2.2.1 上升水流动力与磁场力的作用

分选区对给矿起选别作用的主要有两种力:旋转上升水流动力和循环顺序下移的磁场力。

(1) 旋转上升水流动力。它所起的主要作用有两个方面,一是通过旋转水流的剪切作用分散磁团聚,破坏磁链,淘洗出夹杂脉石及中、贫连生体颗粒;二是通过上升水流动力作用将已经淘洗出来的脉石及中、贫连生体颗粒带动上升形成溢流尾矿产品。水流上升速度应大于脉石及中、贫连生体颗粒的沉降速度,水流旋转速度应足够分散、破坏磁团聚、磁链。实验室及工业实践得到的数据表明,水流上升速度一般在 $2 \sim 6 \text{ cm/s}$;水流旋转速度受分选区矿浆浓度影响较大,浓度越大速度越低。工作过程中,可根据精矿品位及产率要求通过切向给水管阀门进行调节。

(2) 磁场力。主要有两个方面的作用,一是创造磁团聚反复分散-团聚-分散的条件,以利于旋转上升水流从磁团聚中分离出夹杂的连生体和脉石;二是使磁性颗粒向下运动,从而生产出高品位的磁铁矿精矿。

这两种动力的有效配合是保证磁选柱获得高品位铁精矿的必要条件,对不同性质矿石的选别主要是通过调节这两个参数来达到最佳选别效果。

2.2.2 矿粒或磁链运动速度方程

综合考虑上升水流动力及磁场力作用,得到矿粒或磁链的运动速度方程:

$$U = A_0 \{ V^{\frac{1}{6}} [A_1 (\delta - \rho) + A_2 k_0 H \text{grad} H]^{\frac{1}{2}} - U_a \},$$

$$\text{式中, } A_0 = \frac{1}{1 - \lambda}; A_1 = \frac{(1 - \lambda)^2 g}{k \rho}; A_2 = \frac{(1 - \lambda)^2 \mu_0}{k \rho}; \lambda \text{ 为颗粒或磁链所在点的矿浆容积浓}$$

度,无量纲; k 为颗粒或磁链形状和水流流态有关的系数; k_0 为颗粒或磁链的体积磁化率,无量纲; δ 为磁铁矿、脉石、连生体的密度, kg/m^3 ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; U_a 为上升水流速度, m/s ; H_p 为线圈轴线上某点的磁场强度, kA/m ; U 为颗粒或磁链沉降速度, m/s 。

U 的方向、大小决定了某种颗粒的运动方向及速度。从式中可见颗粒的运动方式受颗粒本身的体积磁化率、颗粒大小、磁场强度和水流速度影响。可以预见两种情况不利于分选过程:一是微细颗粒磁铁矿受磁场力作用较小,磁场力难以克服上升水流动力,将被上升水流冲带进溢流尾矿中;二是粒度较大的脉石及连生体颗粒沉降速度大,将直接进入向下运动的精矿中。前者由于微细颗粒磁铁矿进入溢流,尾矿会产生跑黑现象,后者由于较大颗粒脉石及连生体进入精矿,精矿品位难以保证。

2.2.3 颗粒或磁链的运动状态

为了更好地理解分选机理,首先对单个颗粒或磁链通过单个励磁线圈磁场作用空间的全过程运动状态进行分析,然后过渡到较多颗粒或磁链的运动状态来对分选机理加以讨论。

某个励磁线圈开始供电时,若颗粒或磁链位于该线圈上方磁场作用不到的空间内,则磁链仅靠剩磁维系,处于相对松散状态,经旋转上升水流动力作用,其松散度又趋于增加。此时,颗粒或磁链仅受有效重力作用。

当颗粒位于励磁线圈上部磁场的作用空间范围内时,在磁场作用下,松散的磁链被磁化,在颗粒间的磁相互作用下形成较紧密的磁团聚,而后沿磁力线方向迅速选择性地形成更大的磁链。该磁链在磁场力和磁链有效重力作用下克服上升水流动力而加速向下运动。当磁链处在松散状态和重新形成磁团聚的过程中时,都是旋转上升水流动力淘洗出夹杂于其中的细粒单体脉石和贫连生体的有利时机。

磁链在下移过程中,由于磁场强度增强引起颗粒间磁相互作用增强,磁链收缩、加粗、变短,磁性强的单体磁铁矿颗粒趋向于收缩至磁链的内侧,富连生体趋向于收缩至磁链的中间带,中等连生体趋向于分布

在磁链的外侧。磁链向下加速运动,导致旋转上升水流动力对其外侧冲刷作用增强,磁链外侧的中等连生体则可能被冲刷掉一部分;另外,下移收缩加粗变短的众多磁链逐渐加大了线圈中部的矿浆体积浓度,致使线圈中部实际过水面积大大减小,实际上升水流速度高于其上部松散处的上升水流速度,也增强了对磁链冲洗的力度,从而又可将中等连生体冲刷掉一部分;当然还有极少量位于磁链外侧、粒度微细、相对比磁化率较低的单体磁铁矿颗粒也会随较高的上升水流速度上溢,但它们中绝大多数会在线圈上部形成新的磁链聚合过程中得到重新回收。

当磁链继续下移到达线圈中心平面位置时,就开始进入励磁线圈下部磁场作用空间。磁链通过线圈中心平面时,其沉降速度最大且向下加速度最大,并开始受到突然改变为反方向的磁场力作用。在通过线圈中心平面一瞬间,颗粒或磁链在其向下速度最大时,由于所受到的向下最大磁场力突然改变为向上最大磁场力,使颗粒或磁链瞬间产生方向相反的最大加速度,这与高速行驶的列车紧急刹车的状况类似,会导致磁链突然剧烈变形,甚至磁链破坏,磁链又经历一次最剧烈的重新组合。磁链突然剧烈变形或破坏引起旋转上升水流紊乱,大大加强了旋转上升水流动力对磁链外侧或分散的磁链碎块的冲刷淘洗力度,从而使绝大部分中等连生体甚至富连生体被冲刷掉。随后在逐渐减弱的向上磁场力作用下,磁链减速下行,直至沉降速度为零;而后在向上的磁场力和旋转上升水流动力作用下反转开始向上运动。

总之,单个颗粒或磁链通过单个励磁线圈磁场作用空间的运动轨迹如下:①加速下降过程;②减速下降过程;③反转上升过程。

连续向下、时有时无、循环往复的磁场力造成磁性颗粒团聚与分散交替进行,磁链上下浮动,断续下移运动。处于这种状态下的磁链,受到由下而上的旋转上升水流动力的强烈冲洗作用,使夹杂于磁团聚颗粒中的单体脉石及中贫连生体不断得到冲刷淘洗,由上升水流带动上升,最后成为尾矿。因此,磁选柱能够有效地剔除磁团聚中夹杂的连生体和单体脉石。较多颗粒或磁链通过单个励磁线圈磁场作用空间的运动就呈现为忽上忽下的状态。磁选柱精选区有多组励磁线圈,这样的精选过程要经历多次,每一次精矿品位都会得到新的提高,实现了多次精选,最终获得令人满意的高品位铁精矿。

3 磁选柱在工业应用中存在的不足

(1)对微细颗粒磁铁矿选别效果不理想。由于磁选柱的磁场仅为 $8 \sim 16 \text{ kA/m}$,对微细颗粒磁铁矿的磁场力不能有效克服上升水流动力作用,易导致溢流尾矿跑黑,影响铁的回收率。

(2)对给矿粒度要求较严格。磁选柱是利用上升水流动力把粗大颗粒脉石冲入尾矿,为克服其沉降速度势必要增大上升水流速度,而水流上升速度的增大又会造成对微细颗粒磁铁矿选别效果不理想;反之,粗大颗粒脉石则会因沉降速度大于上升水流速度而向下运动进入精矿,从而降低精矿品位。因此,磁选柱对给矿的粒度分布要求较严格。

(3)不适合于粗选作业。磁选柱通常要求给矿粒度为 -0.2 mm 。粗选作业处理的一般为一段磨矿分级溢流产品, -0.074 mm 含量在 $45\% \sim 60\%$ 之间,粒度较粗。因此磁选柱不适合用于粗选作业。

(4)耗水量偏大。磁选柱进行分选作业时,上升水流的速度必须大于尾矿颗粒的沉降速度,这种“顺流而上”的尾矿排出方式造成其耗水量偏大。一般情况下,尾矿浓度较低,仅为 $1\% \sim 5\%$,处理每吨给矿需用水 $2 \sim 4 \text{ t}$ 。

4 结 论

(1)磁选柱分选机理独特,利用低弱顺序下移循环往复的脉动磁场,配合上升水流动力能够有效地去除粗精矿中裹携的单体脉石和中、贫连生体,提高精矿品位。

(2)建议在保留磁选柱优点的基础上,通过改变其磁系结构和尾矿排出方式,解决其耗水量大,尾矿品位偏高等问题,从而开发研制出新一代高效磁选设备。

参 考 文 献

- [1] 刘秉裕,赵通林,杨蓓德. 磁选柱的研制和应用[J]. 金属矿山,1995(7):33-37.
- [2] 刘秉裕. 磁选柱在大型磁铁矿选矿厂应用前景[J]. 金属矿山,1996(7):27-29.
- [3] 刘秉裕,朱巨建. 磁选柱的磁场和分选原理[J]. 矿冶工程,1997(6):31-34.
- [4] 陈广振,刘秉裕. 磁选柱及其工业应用[J]. 金属矿山,2000(9):30-31.
- [5] 金文杰,朱高淑,曾 丽. 磁选柱分选攀钢选矿厂粗精矿的试验研究[J]. 金属矿山,2000(4):45-47.
- [6] 赵通林,周 伟. 磁选柱在弓长岭选矿厂的工业应用[J]. 金属矿山,2003(5):22-24.

(收稿日期 2006-06-30)