

矿粉颗粒表面微观形貌对过滤性能的影响

杨涛^{1,2}, 青格勒^{1,2}, 董香娟³, 贺金文³, 田筠清^{1,2}, 张彦^{1,2}

(1. 首钢集团有限公司技术研究院, 北京 100043; 2. 绿色可循环钢铁流程北京市重点实验室, 北京 100043; 3. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼铁部, 河北 唐山 063200)

摘要: 为研究矿粉表面微观形貌对过滤性能的影响, 将-200目80%的5种不同的铁精矿粉A、B、C、D、E在过滤压力0.06 MPa、过滤时间3 min的条件下进行过滤试验; 并测定5种铁精粉的最大分子水和最大毛细水, 用扫描电镜观察其微观形貌。试验结果表明: 5种矿粉的滤饼水分、最大分子水和最大毛细水由大到小依次均是A、B、C、D、E, 并且与矿粉的表面微观形貌密切相关。矿粉颗粒表面粗糙, 吸附较多细小颗粒, 其比表面积和表面能较大, 毛细管作用较强, 所含的最大分子水和最大毛细水较大; 毛细管作用强使得过滤速率降低, 毛细水的脱除难度增大, 最终导致滤饼水分较高。

关键词: 矿粉微观形貌; 最大分子水; 最大毛细水; 过滤速率; 滤饼水分

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.03.032

中图分类号: TD926 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 03-0185-05

过滤是利用一种多孔物质(滤布)作为介质, 使固液进一步有效分离的脱水方法。引起滤饼水分高的原因很多, 包括物料的性质、过滤设备的种类、选矿的流程等, 但影响精矿过滤过程的最主要因素还是物料的性质^[1]。

滤饼在形成过程中, 固体颗粒的拱状结构、毛细管通道、表面水分等对精矿脱水效果影响极大, 而这三要素形成的质量除了与精矿粒级组分有关外, 还与精矿表面性质密切相关^[2]。物料表面的水分主要有分子水、毛细管水分和重力水分3种赋存形态。其中, 分子水与毛细管水分受物料表面性质影响较大。

为了考察物料表面性质对分子水和毛细水的影响, 进而对过滤滤饼水分的影响。本文以5种同一粒度的不同铁精粉为对象, 从矿粉表面微观的角度分别研究了不同矿粉颗粒的微观形貌, 微

观形貌与最大分子水、毛细水的关系, 最大分子水、毛细水和滤饼水分的关系, 以及微观形貌与过滤速率、滤饼水分的关系。该研究对通过改善矿粉表面性质来提高铁精粉的过滤性能具有重要的理论指导意义。

1 试验方法

1.1 试验原料

5种来源不同的铁精矿粉, 分别为A、B、C、D、E。为消除粒度组成对过滤的影响, 参照选矿厂铁精粉粒度, 将5种铁精粉粒度均配制为: +0.18 mm 1%、-0.18+0.125 mm 3%、-0.125+0.15 mm 3%、-0.15+0.074 mm 13%、-0.074+0.045 mm 29%、-0.045 mm 51%。

1.2 试验设备和分析仪器

HITACHI S-3400N II型扫描电镜、瓶式真空抽滤装置、最大毛细水测定仪、最大分子水测定

收稿日期: 2019-05-14; 改回日期: 2019-09-23

作者简介: 杨涛(1983-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为选矿。

装置: Φ (60×100) mm 的压模一套, 压力机一台, 烘箱一台。

1.3 试验方法

扫描电镜观察矿粉颗粒表面微观形态将 5 种矿粉的粉状样品粘附于载物台, 进行扫描电镜观察。

矿粉过滤试验将 5 种矿粉分别配成浓度 60% 的矿浆, 用瓶式抽真空过滤装置进行过滤, 过滤压力 0.06 MPa, 记录不同过滤时间下产生的滤液量; 过滤时间 3 min 后, 测定滤饼水分。

最大分子水测定试验 采用压滤法分别测定 5 种矿粉的最大分子水。最大毛细水测定试验 采用容量法分别测定 5 种矿粉的最大毛细水。

2 结果与分析

2.1 5 种铁精粉过滤结果及分析

不同过滤时间下产生的滤液量变化见图 2, 5 种铁精粉过滤滤饼水分见表 1。

表 1 5 种铁精粉滤饼水分值 /%
Table 1 Moisture value of 5 kinds of iron concentrate powder filter

矿粉	A	B	C	D	E
滤饼水分	17.3	15.6	12.4	11	10.7

从表 1 可以看出, 矿粉 A 的滤饼水分最高为 17.3%, 以下依次为 B 的滤饼水分 15.6%, C 的过滤水分 12.4%, D 的滤饼水分 11%, E 的滤饼水分 10.7%。

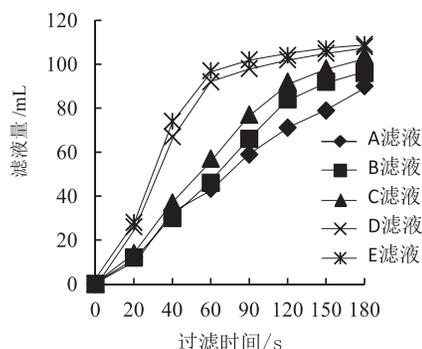


图 1 不同过滤时间下产生的滤液量变化

Fig. 1 Changes of filtrate amount under different filtration time

图 1 是不同过滤时间下产生的滤液量变化, 曲线的斜率表示水分透过滤布的过滤速率。从图 2

可以看出, 滤饼水分高的 A 和 B 过滤速率较低, 过滤开始 B 和 A 的过滤速率相近, 40s 后, B 的过滤速率出现上升, 而 A 的过滤速率稍微有了下降, 表明过滤后期 A 过滤困难增加。D 和 E 的过滤速率明显较快, E 过滤相对更快些, C 的过滤速率在 5 者中处于居中的位置。5 种矿粉过滤的快慢表示其过滤难度大小, 与其滤饼水分大小的规律一致。

2.2 滤饼水分、最大分子水和最大毛细水的关系

5 种矿粉的最大分子水和最大毛细水的测定试验结果见表 2。

表 2 5 种矿粉的最大分子水和最大毛细水值 /%
Table 2 Moisture value of 5 kinds of iron concentrate powder filter

矿粉	A	B	C	D	E
最大分子水	12.6	12.0	10.2	9.0	8.8
最大毛细水	21.38	19.03	18.4	18.03	17.49

矿粉 A 的最大分子水最高为 12.6%, 以下依次为矿粉 B 最大分子水 12.0%, 矿粉 C 最大分子水 10.2%, 矿粉 D 最大分子水 9.0%, 矿粉 E 最大分子水 8.8%。矿粉 A 的最大毛细水最高, 以下依次是 B、C、D、E。

为观察 5 种矿粉的滤饼水分、最大分子水和最大毛细水之间的关系, 将其数值作曲线见图 2。

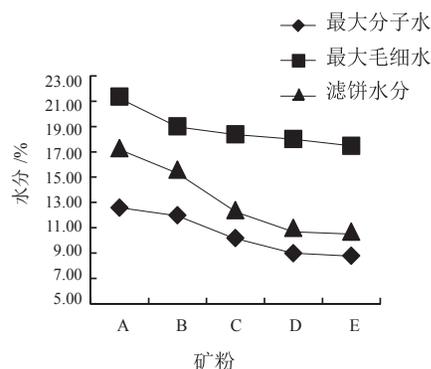


图 2 5 种矿粉的滤饼水分、最大分子水和最大毛细水曲线

Fig. 2 Curves of moisture, maximum molecular water and maximum capillary water of 5 mineral powders

从图 2 可以看出, A、B、C、D 和 E 5 种矿粉的滤饼水分、最大分子水、最大毛细水的 3 条曲线走势基本一致。最大分子水大的矿物, 滤饼水

分相对高,而毛细管作用大,最大毛细水高的矿物,滤饼水分也高。这说明最大分子水和最大毛细水含量的大小对过滤滤饼水分有很大影响,滤饼水分和最大分子水、最大毛细水有很大的相关性。

水分在物料表面主要有:分子水、毛细管水分和重力水分3种赋存形态。当物料表面含水超过最大分子水时,因液体表面张力的作用,在颗粒间形成的细孔隙内产生毛细水。当物料中含水超过最大毛细水之后,多余的水分不能被毛细管所持有,受重力支配,沿矿粒间隙向下移动,这部分水就是重力水^[3]。

重力水最容易脱除,可以不予考虑。而分子水与物料结合紧密,不能用机械方法脱除,应用干燥法能去除一部分。毛细管水分,根据所采用的脱水方法及毛细管直径的大小,可脱除一部分,但不能全部脱除。

由此可知,经过滤后,滤饼水分即物料表面的水分。其与最大分子水、最大毛细水和可以机械方式脱除的毛细水具有如下关系:过滤后物料表面水分=最大分子水+最大毛细水-可以脱除的毛细水。

根据上述关系式,计算出可以脱除的毛细水结果见表3。

表3 矿粉中可以脱除的毛细水含量的计算结果/%
Table 3 Calculation results of capillary water content removed from ore powder

矿粉	A	B	C	D	E
可以脱除的毛细水	16.68	15.43	16.20	16.03	15.59
无法脱除的毛细水	4.70	3.60	2.20	2.00	1.90

从表3可以看出,采用同一种过滤方式,5种矿粉可以脱除的毛细水的量基本一致,靠机械作用无法脱除的毛细水的量则因矿物的毛细作用的大小不同。因此,影响过滤滤饼水分大小的主要是最大分子水和靠机械作用无法脱除的毛细水。

2.3 5种矿粉的矿物表面形貌

5种矿粉电镜(SEM)照片见图3。

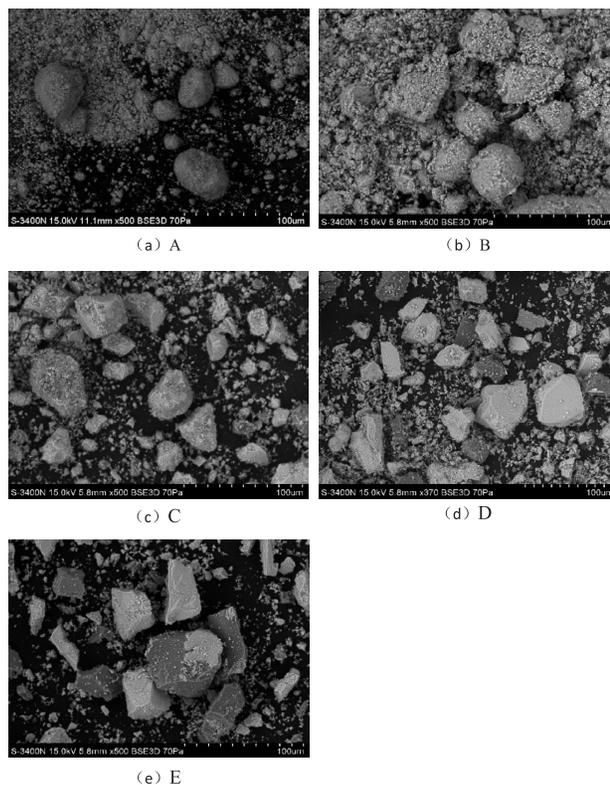


图3 5种矿粉在扫描电镜下的表面微观形貌
Fig. 3 Surface morphology of 5 mineral powders under scanning electron microscope

图3中扫描电镜结果显示,A矿粉的颗粒形状圆滑,表面粗糙,包裹着许多细小的颗粒;B矿粉的颗粒形状较为圆滑,表面粗糙,覆盖着许多小颗粒;C矿粉的颗粒表现出一定的规则形状,露出一定的颗粒表面,但表面仍附着有较多的小颗粒,但相对于A和B要少一些;D矿粉的颗粒呈现出相对C矿粉更为规则的形状,棱角较为明晰,颗粒表面相对C矿粉更为裸露且较为光滑,表面附着较少细小颗粒。E矿粉颗粒呈明显的规则形状,棱角比较明晰,颗粒表面裸露且较为光滑,附着非常少的细小颗粒。

2.4 颗粒表面形貌与最大分子水关系的分析

从表2和图3对应可以看出,A和B矿粉的颗粒表面粗糙,附着较多的小颗粒,其最大分子水也比较大;C矿粉颗粒上吸附的细小颗粒相对A和B较少,最大分子水含量也相对低些;D和E矿粉的颗粒表面光滑,其上附着的小颗粒非常

少,最大分子水也更低。

最大分子水由最大吸附水和薄膜水组成^[4]。颗粒表面粗糙,附着大量的细小颗粒,会增大颗粒的比表面积和表面能,表面亲水性增强^[5],吸附水和薄膜水分相对增多。而表面相对光滑的颗粒,同时附着较少的细小颗粒,其比表面积和表面能相对较低,吸附水和薄膜水分含量相对低些。因此,颗粒表面粗糙,附着的细小颗粒多,最大分子水也会高。

2.5 颗粒表面形貌与最大毛细水关系的分析

从表2、3和图3对应可以看出,A和B矿粉的粗颗粒表面粗糙,附着较多的细颗粒,最大毛细水比较大,难以脱除的毛细水也较高;C矿粉粗颗粒表面附着的细小颗粒相对较少,最大毛细水和难以脱除的毛细水也相对低一些;而D和E矿粉的粗颗粒表面较为光滑,附着的细小颗粒非常少,其最大毛细水也比较低,难以脱除的毛细也较低。

粗颗粒在过滤过程中,可以起到形成拱状结构和增大孔隙度的作用,水分通过拱状粗粒间隙流入滤孔中,完成固液分离^[6]。当粗颗粒表面附着较多的细颗粒,一方面会增强其毛细管作用,使得吸附较多的水分,不易脱离,同时,毛细通道增多,增加了单位面积过滤阻力,颗粒间水分渗流效果下降;另一方面,吸附的细颗粒则容易充塞在粗粒间形成的孔隙之中,使孔隙变小,毛细通道过细,极易被微细粒堵塞、压实,那么真空所形成压力差对水流的推动力减弱,影响水分的彻底流出,水不能顺畅通过拱状结构^[2]。

因此,颗粒表面粗糙,附着细小颗粒多,会使其最大毛细水含量增高,同时其难以脱除的毛细水也较高。

2.6 粒微观形貌与过滤水分关系的分析

从表1和图3可以看出,A和B矿粉的颗粒附着较多的细小颗粒,表面粗糙,滤饼水分较高,C矿粉的颗粒附着的细小颗粒相对A和B较少,滤饼水分也相对低一些;D和E矿粉的颗粒表面较为光滑,附着的细小颗粒非常少,其滤饼水分也是相对更低。

结合图1可以看出,颗粒表面粗糙,附着细颗粒多的A和B矿粉的过滤速率较低;颗粒表面较光滑,附着的细颗粒少的D和E矿粉过滤速率较高,C矿粉过滤速率居中。除机械方式不能脱除的最大分子水外,影响过滤速率的因素主要是颗粒间的毛细管作用^[7]。颗粒表面粗糙,附着细小颗粒多,增强了矿物的毛细管作用。矿物对水的滞粘力增大,水流通过毛细管速度下降,在一定厚度的过滤介质层中,固液彻底分离时间延长,脱水时间一定时,夹带在毛细通道的水分增加,也就是滤饼夹层水分升高,增加了滤饼的含水量^[2]。

3 结 论

(1) 5种矿粉的滤饼水分和过滤速率从高到低依次是A、B、C、D、E,最大分子水和最大毛细水从高到底依次也是A、B、C、D、E,矿粉的滤饼水分、最大分子水和最大毛细水有很大的相关性。

(2) 5种矿粉的微观形貌特征是:A和B颗粒形状较为圆滑,表面粗糙,附着许多细小的颗粒,C颗粒形状较为规则,表面附着相对于A和B较少的细小颗粒,D和E颗粒形状规则,棱角明晰,表面光滑,附着非常少的细小颗粒。

(3) 矿粉的颗粒表面粗糙,附着较多的细小颗粒,会增大颗粒的比表面积和表面能,表面亲水性增强,其最大分子水也比较大;表面相对光滑的颗粒,附着较少的细小颗粒,最大分子水较低。

(4) 矿粉粗颗粒表面粗糙,附着较多的细颗粒,其毛细管作用较强,最大毛细水比较大,毛细通道增多,增加了单位面积过滤阻力,容易被微细粒堵塞、压实,阻碍水分的彻底滤出,难以脱除的毛细水也较高;表面相对光滑的颗粒,附着较少的细小颗粒,最大毛细水比较低,难以脱除的毛细水也较低。

(5) 颗粒表面粗糙,附着细小颗粒多会导致最大分子水和难以脱除毛细水的较高,影响过滤速率,并进一步导致滤饼水分的升高。颗粒表面光滑,附着较少的细小颗粒,过滤速率较低,滤

饼水分也较低。

参考文献：

[1] 孙体昌, 李定一. 铁精矿滤饼水分影响因素的研究 [J]. 矿产综合利用, 2000 (4): 1-4.

Sun T C, Li D Y. Study on the Influence Factors of Moisture in Filter of Iron Concentrate [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2000 (4): 1-4.

[2] 郑德雪. 精矿过滤水分与产品粒度的关系 [J] 江西铜业工程, 1997 (3): 37-39.

Zheng D X. Relationship between Filtration Moisture in Concentrate and Product Size [J] Jiangxi Copper Engineering, 1997 (3): 37-39.

[3] 张一敏. 球团理论与工艺 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002. 19-26.

Zhang Y M. Pellet Theory and Technology [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002. 19-26.

[4] 傅菊英, 姜涛, 朱德庆. 烧结球团学 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996.

Fu J Y, Jiang T, Zhu D Q. Sinter Pelletizing [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996.

[5] 姚亚东, 王树根. 矿物的表面结构和表面性质 [J]. 矿产综合利用 1998 (2): 36-39.

Yao Y D, Wang S G. Surface Structure and Surface Properties of Minerals [J]. Comprehensive Mineral Utilization 1998 (2): 36-39.

[6] 张强. 选矿概论 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984. 193-194. Zhang Q. Introduction to Mineral Processing [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1984. 193-194

[7] 刘丽艳, 吴飞飞, 徐秋桐, 等. 颗粒性质对弱磁选铁精矿过滤性能的影响 [J]. 天津大学学报, 2017, 3 (50): 268-275.

Liu L Y, Wu F F, Xu Q T, et al. Effect of Particle Properties on Filtration Performance of Weak Magnetic Iron Separation Concentrate [J] Journal of Tianjin University, 2017, 3 (50): 268-275.

Effect of Surface Micro-morphology of Mineral Powder Particles on the Filtration Performance

Yang Tao^{1,2}, Qing Gele^{1,2}, Dong Xiangjuan³, He Jinwen³, Tian Junqing^{1,2}, Zhang Yan^{1,2}

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing, China; 2. Beijing key Laboratory of Green Recyclable Process for Iron & steel Production Technology, Beijing, China; 3. Department of Ironmaking Shougang Jingtang United Iron and Steel Co. Ltd., Tangshan, Hebei, China)

Abstract: In order to investigate the effect of iron concentrate's surface micro-morphology on filtration, the filtration test of iron concentrates A, B, C, D and E with particle sizes -200 mesh 80% were respectively conducted, the filtration pressure were all 0.06 MPa and the filtration time were all 3 minutes. The maximum molecular water and the maximum capillary water of five iron concentrates were determined, and the Micro-morphology of iron concentrates were observed by scanning electron microscopy. The results show that the order of five concentrates filter cake moisture from large to small is A, B, C, D and E, maximum molecular water and maximum capillary water of five concentrates are both in the same order, and those are closely related to the surface micro-morphology of five concentrates. The mineral particles which with more rough surface and adsorbed with more fine particles, the specific surface area and surface energy are larger, the maximum molecular water and maximum capillary water are larger. The strong capillary action increases the difficulty of capillary water removal, reduces the filtration rate, and leads to higher filter cake moisture.

Keywords: Micromorphology of mineral powder; Maximum molecular water; Maximum capillary water; Filtration rate; Cake moisture