

煤用旋流器内衬磨损形式及材料选取研究

梁 浩

(煤炭科学技术研究院有限公司 检测分院,北京 100013)

摘要:旋流器是选煤厂的主要分选或分级浓缩设备。从旋流器工作原理出发,分析了旋流器内衬磨损的原因及磨损形式。固液两相流的高速旋转运动摩擦并伴有冲击破坏,是旋流器内衬损坏和磨损的主要原因;冲击磨损、微切削磨损是主要损坏形式。分析了旋流器内衬所用的金属和金属化合物、聚氨酯制品类和非金属耐磨材料类耐磨材料的特点,提出旋流器内衬材料的选取原则。聚氨酯类材料可用于内径 ≤ 350 mm的煤泥重介质旋流器和内径 ≤ 500 mm的水力旋流器;高铬铸铁类材料主要用于直径 ≤ 500 mm的浓缩旋流器;对于分选重介质旋流器应使用氧化铝类材料或增韧氧化铝或氮化硅陶瓷。

关键词:旋流器;磨损;内衬材料;选取原则

中图分类号:TD45

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2018)06-0128-04

Wear forms and selection principle of lining material for coal cyclone

LIANG Hao

(Test Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Cyclone is the main separation or concentration equipment in coal preparation plant. Based on the working principle of the cyclone, the causes and wear forms of the lining wear of the cyclone were analyzed. high-speed rotating friction of solid-liquid two-phase flow accompanied by impact damage is the main reason for the damage and wear of the cyclone lining. Impact wear and micro cutting wear are the main forms of wear damage of cyclone lining. The characteristics of metal and metal compounds, polyurethane products and non-metal wear-resistant materials used in the cyclone lining were analyzed in this paper, and the selection principle of the cyclone lining materials was proposed. Specifically, the polyurethane material can be used in the coal slurry heavy medium cyclone with an inner diameter less than 350 mm, and the cyclone with an inner diameter less than 500 mm. The high chromium cast iron material is mainly used in the concentration cyclone with a diameter less than 500 mm, and the alumina material, toughened alumina or silicon nitride ceramics is recommended using in the separation heavy medium cyclone.

Key words: coal cyclone; wear factor; lining material; selection principle

0 引 言

水力旋流器是选煤厂的主要分级(浓缩)设备,重介质旋流器是选煤厂主要的分选设备。2种旋流器均是以一定的压力将煤与介质的混合物泵入旋流器,使固液两相流在高压作用下于旋流器内产生离心旋转运动而将不同性质的物料分离。由于固液两相流高速旋转运动产生的摩擦、冲击等作用,旋流器

内衬材料极易磨损,缩短了旋流器的使用寿命,降低了生产效率,增大了生产成本,因此旋流器内衬材料的耐磨性是选煤科技工作者研究和重点关注的问题之一。李坤等^[1]对重介质旋流器的磨损部位和磨损过程进行了分析,利用微切削磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损的理论,分析了重介质旋流器的磨损机理。近年来,随着材料科学的发展,研发出用于旋流器内衬的新型耐磨材料,目的是为了提提高旋流器内衬的

收稿日期:2018-10-02;责任编辑:张晓宁 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.18100211

作者简介:梁浩(1986—),男,河北隆尧人,助理研究员,从事选煤装备、矿用及厂用防爆电气类产品的检测检验工作。

E-mail:1139785086@qq.com

引用格式:梁浩.煤用旋流器内衬磨损形式及材料选取研究[J].洁净煤技术,2018,24(6):128-131.

LIANG Hao. Wear forms and selection principle of lining material for coal cyclone[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(6):128-131.



移动阅读

使用寿命。曹晶晶等^[2]简述了旋流器的磨损形式和旋流器内衬的选材,分析了氧化铝陶瓷内衬的磨损机理及存在的不足,提出了制备新型耐磨复合材料的新工艺。张力强^[3]从用于旋流器内衬的氧化铝微观结构研究了粉体粒度对烧制品致密性、耐磨性的影响。周彪等^[4]介绍了旋流器内衬传统耐磨材料,包括高铬铸铁、聚氨酯、刚玉和碳化硅等材质的优缺点。

由于内衬材料价格差异较大,通过分析旋流器内衬磨损原因和不同内衬材料的特点,针对旋流器的规格和用途,有针对性地选用性价比高、经济合理的耐磨材料,对降低旋流器价格和生产费用具有重要意义。

1 旋流器的工作原理及造成磨损的原因

旋流器无论是用于浓缩还是分选,都是在泵的压力下,将以煤颗粒为主的物料和以水或以水和 Fe_3O_4 为主的介质形成的固液两相流泵入旋流器,在内部形成强烈的旋转运动,产生较大的离心力场并形成密度场,使物料沿内壁做螺旋运动和移动运动。由于离心力场和密度场作用,密度不同的固体物形成不同的层流,密度小的固体物形成中心层流产出轻产物。携带非煤固体杂物特别是密度较大的重杂物如矸石、铁器等,被抛掷到内壁形成外层流产出重产物,该外层流与旋流器内衬进行高速摩擦并伴有冲击破坏,加速了内衬的损坏和磨损。当旋流器内衬磨损及损坏到一定程度时,其结构参数发生变化,内部保持的稳定流场遭到破坏,导致回收率降低、分选精度下降。对于重介质旋流器,由于磨损导致底流口直径增大3 mm时,会造成严重的精煤损失^[1]。

2 旋流器内衬磨损的影响因素及磨损形式

旋流器内衬磨损的影响因素主要有入料硬度、旋流器的入料压力、固液两相流的旋转速度、入料的冲击角度^[5]、入料粒度及入料形状(入料颗粒本身的不规则性)等^[6],其中入料硬度是旋流器内衬磨损最主要的影响因素。入料压力越大,则磨损大。对于脆性材料,冲击角增大,磨损量随之增大;对于韧性材料,磨损量随着冲击角增大先增大,当达到最大值后,磨损量变小。入料粒度越大,冲击性越强,磨损越大。入料不规则特别是带有棱角尖锐的物料,对内衬造成的磨损越大。由于旋流器工作时为

湿式旋转,物料的旋转速度对磨损度影响相对较小^[2]。旋流器的内衬磨损分为以下4种形式^[7]:

1) 冲击磨损

高压作用下,大颗粒煤、矸石和其他重杂物具有很大的惯性力,这些惯性物体进入旋流器后对其内壁造成冲撞,从而造成内衬表面损坏,该磨损主要发生在导向筒的入料口处。

2) 微切削磨损

因重介质悬浮液中 Fe_3O_4 铁粉和煤颗粒具有不规则性,随流体在旋流器内做螺旋运动,在内衬表面进行切磨。对于金属材料,可在其表面切削出沟痕;对于脆性材料,可将产品的微颗粒以整颗粒的形式切下。

3) 表面疲劳磨损

旋流器长时间工作时,固液两相流与旋流器内衬交变摩擦产生应力,造成内衬表面疲劳。由于内部结构的不均匀性,强度较差的部分首先产生应力和变形,材料结构变松,在外力作用下起皮、掉渣,循环往复,直至大面积和深度损毁。

4) 腐蚀磨损

入选物料、重介质悬浮液和旋流器的内衬长期接触并相对运动,产生温度变化而发生化学和电化学反应,长时间造成损坏^[2]。

对某种耐磨材料,其物理属性是固定的。对于旋流器,其冲击磨损、微切削磨损是主要的损坏形式。因此在制造旋流器时,应综合考虑规格、所处理的物料性质及操作条件,选择经济性较高的耐磨材料。

3 旋流器常用的耐磨材料及其特性

目前旋流器内衬所用的耐磨材料可分为:金属和金属化合物、聚氨酯制品类和非金属耐磨材料类。

1) 金属和金属化合物耐磨材料

代表性材料有高锰钢(ZGMn13)和高锰合金系列(ZGMn13Cr2MoRe)、抗磨系列(Cr15MoZCu)、耐磨合金钢系列(ZG40SiMnCrMo)等。高锰钢系列材料硬度较低(HB170-230),在未硬化前耐磨性有限,如其表面充分硬化,则价格大幅提升;抗磨铬铸铁系列具有较好的抗耐磨性,但韧性较低,使用中如内部有铸造缺陷或出现开裂,磨损后由于其焊接性不好,难以维修。20世纪70年代前,由于选择受限,旋流器内衬材料多选用抗磨铸铁类和耐磨合金类材料或使用金属材料整体铸造,但金属材料的耐

腐蚀性比非金属耐磨材料差。

2) 聚氨酯类耐磨材料

典型的代表材料为聚氨酯化合物,其硬度较低,但具有较好的韧性和耐腐蚀性。当承受垂直或大角度的冲击时,会表现出较好的耐磨性;在浸没状态下,其耐磨性是硬质合金钢的8倍。但对于硬颗粒物和颗粒尖锐的物料,其抗切削磨损的性能变差。

3) 非金属耐磨材料

非金属耐磨材料一般指陶瓷及其多相、多组分复合材料系列。该类型材料出现于20世纪90年代,其开发的系列产品种类较多,代表性的有三氧化二铝(刚玉, Al_2O_3)及增韧三氧化二铝、碳化硅

(SiC)、氮化硅(Si_3N_4)、氮化硅结合碳化硅(Si_3N_4+SiC)及其多相、多组分复合耐磨材料等。该类型材料的特点为密度、强度均较大,密度可达 $3.50 \sim 6.05 \text{ g/cm}^3$,抗弯强度可达 $285 \sim 1\,000 \text{ MPa}$,并具有优良的耐腐蚀性、耐磨性(耐磨性相当于锰钢的266倍,高铬铸铁的171倍)、韧性和抗振性,可有效防止冲击造成的破损和剥落^[8]。

4 旋流器内衬材料的选取原则

煤按属性可分为褐煤、烟煤、无烟煤及煤矸石,其显微硬度^[9]和代表性耐磨材料的显微硬度见表1。

表1 煤及耐磨材料的硬度比较

Table 1 Hardness comparison of coal and wear resistant materials

材料	褐煤	烟煤	无烟煤	煤矸石	高铬铸铁类	高锰合金	氧化铝陶瓷类	氮化硅	碳化硅
硬度 HV	180 ~ 240	190 ~ 420	250 ~ 1180	220 ~ 330	1 200 ~ 1 800	≥500	≥1 500	32 630	28 400 ~ 33 200

注:聚氨酯类由于是橡胶类材料,邵氏硬度为80~90,硬度较低。

由表1可以看出,煤中硬度最高的是无烟煤,耐磨材料中硬度较低的是聚氨酯材料和高锰合金,其他材料的显微硬度均远高于煤的硬度。由于材料越硬价格越高,从经济性、旋流器使用寿命、生产成本、内衬磨损因素并结合现场经验等方面考虑,旋流器内衬材料的基本选取原则是:旋流器处理无烟煤时,无论规格大小均应选用陶瓷耐磨材料;聚氨酯类材料难以承受大颗粒煤棱角的微切削,同时当入料速度大于 1.97 m/s 时,其耐磨性变差,可用于内径 $\leq 350 \text{ mm}$ 的煤泥重介质旋流器和内径 $\leq 500 \text{ mm}$ 的水力旋流器^[9];高铬铸铁类材料由于韧性较差^[10],不适合用于大角度冲蚀工况下,建议在直径 $\leq 500 \text{ mm}$ 的浓缩旋流器上使用;而直径 $\leq 700 \text{ mm}$ 的旋流器由于入料粒度相对小,破坏形式主要为磨损,建议使用具有一定硬度且具有较好韧性的氧化铝类材料^[11];对于直径 $800 \sim 1\,000 \text{ mm}$ 的分选旋流器,由于入料粒度较大,最主要的内衬破坏形式为大颗粒物料造成的冲击磨损,其次是切削和表面疲劳磨损,建议使用增韧氧化铝或氮化硅陶瓷。随着大型选煤厂普遍化,入料上限提高,对大直径、大处理能力的旋流器需求量增加,对旋流器的可靠性要求提高,上述材料已不能满足直径 $1\,200 \text{ mm}$ 及以上旋流器的要求,应使用硬度更高、韧性更强、耐磨性更好的氮化硅、碳化硅或氮化硅结合碳化硅材料^[12]。

由于氮化硅、碳化硅、氮化硅结合碳化硅等材料

价格较高,限制了此类材料的应用。近年来随着技术的进步,氮化硅、碳化硅及在此基础上研发的多组分材料的制作成本大幅下降,与增韧氧化铝价格接近,且氮化硅、碳化硅等材料已在耐磨管道、渣浆泵等产品上应用较成熟,具有作为旋流器内衬推广应用的条件。目前俄罗斯、乌克兰等国家已采用碳化硅材料作为旋流器内衬,使用效果理想。

由于旋流器入料口、底流口直径小,通过这2个部位的物料流速快,所以入料口与直段筒体结合部位、中心隔板及底流口受到的冲击大,其相对于直段筒体、锥体、溢流口、中心管的磨损量大^[13],建议使用性能更好的材料,可使旋流器达到较统一的全寿命周期,提高旋流器的整体经济性。

多相和多组分的复合陶瓷材料是耐磨材料的发展方向。旋流器研制单位应多关注其发展,并主动打破行业界限共同寻求合作,科学、合理地选用耐磨材料也是建设资源节约型、环境友好型社会的需要。

5 结 论

1) 旋流器内高速旋转的固液两相流与旋流器内衬的高速摩擦并伴有冲击破坏,是旋流器磨损的主要原因。旋流器内衬磨损主要影响因素是入料硬度。旋流器内衬磨损是冲击磨损、微切削磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损等磨损形式共同作用的结果。

2) 旋流器内衬所用的耐磨材料主要有:金属和

金属化合物、聚氨酯制品类和非金属耐磨材料类,其性质不同,适用于不同的旋流器。旋流器内衬材料的选取原则为:处理无烟煤时,应选用陶瓷耐磨材料;聚氨酯类材料可用于内径 ≤ 350 mm的煤泥重介质旋流器和内径 ≤ 500 mm的水力旋流器;高铬铸铁类材料可在直径 ≤ 500 mm的浓缩旋流器上使用;而对于直径 ≤ 700 mm的旋流器,建议使用具有一定硬度且具有较好韧性的氧化铝类;对于直径 $800 \sim 1\ 000$ mm的分选旋流器,建议使用增韧氧化铝或氮化硅陶瓷;对于直径 $1\ 200$ mm及以上旋流器,应使用氮化硅、碳化硅或氮化硅结合碳化硅材料。

3)多相和多组分的复合陶瓷材料是旋流器内衬耐磨材料的重要发展方向之一。

参考文献(References):

- [1] 李坤,李雪斌.重介质旋流器磨损机理分析及应用[J].煤矿机械,2011,32(11):111-113.
LI Kun, LI Xuebin. Analysis and application of heavy medium cyclone's abrasion mechanism[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(11):111-113.
- [2] 曹晶晶,陈华辉,范磊,等.用于选煤重介质旋流器的新型复合材料[J].热加工工艺,2013,42(16):7-9.
CAO Jingjing, CHEN Huahui, FAN Lei, et al. New composite for dense-medium cyclone in coal separation[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(16):7-9.
- [3] 张力强.粉体粒度对重介质旋流器氧化铝陶瓷衬里耐磨性的影响[J].煤炭技术,2010,29(1):134-136.
ZHANG Liqiang. Effect of powder particle size on dense medium cyclone's Al_2O_3 ceramics lining water-resistance[J]. Coal Technology, 2010, 29(1):134-136.
- [4] 周彪,王兆申,程会朝,等.重介质旋流器耐磨衬里材料的发展现状与趋势[J].矿山机械,2015,43(6):1-3.
ZHOU Biao, WANG Zhaoshen, CHENG Huichao, et al. Development status and tendency of wear-resistant linings in heavy medium cyclone[J]. Mining & Processing Equipment, 2015, 43(6):1-3.
- [5] 刘文秋,李海军.入料角对重介质旋流器流场影响的数值模拟研究[J].中国煤炭,2014(1):90-94.
LIU Wenqiu, LI Haijun. Numerical simulation research on the influence of feeding angle to the flow field of heavy medium cyclones[J]. China Coal, 2014(1):90-94.
- [6] 韩旭,刘雨苗,王爱爱,等.对制定煤炭行业标准《选煤重介质旋流器耐磨内衬材料检验方法》的建议[J].煤质技术,2012(3):1-4.
HAN Xu, LIU Yumiao, WANG Aiai, et al. Discussion on drafting the coal industrial standard test method for the wear-resistant liner material of dense medium cyclone for coal preparation[J]. Coal Quality Technology, 2012(3):1-4.
- [7] 张力强.重介质旋流器陶瓷衬里的磨损特性及模拟测试方法分析[J].矿山机械,2011(5):89-91.
ZHANG Liqiang. Analysis on wear characteristics and simulative testing methods of ceramic liners of heavy medium cyclones[J]. Mining and Processing Equipment, 2011(5):89-91.
- [8] 卫中宽,张新民.新型有压给料三产品重介质旋流器的研究[J].煤炭加工与综合利用,2008(6):17-21.
WEI Zhongkuan, ZHANG Xinmin. Research on a new three-product HM cyclone with pressurized feeding[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2008(6):17-21.
- [9] 马惊生,陈鹏,黄启震,等.煤炭显微硬度的研究[J].煤炭学报,1987,24(3):85-90.
MA Jingsheng, CHEN Peng, HUANG Qizhen, et al. Study on microhardness of coal[J]. Journal of China Coal Society, 1987, 24(3):85-90.
- [10] 许利民,刘翔宇.高铬铸铁重介质旋流器的探索[J].热加工工艺,2012(15):50-52.
XU Limin, LIU Xiangyu. Research on manufacture of high chrome cast iron heavy medium cyclone[J]. Hot Working Technology, 2012(15):50-52.
- [11] 王兆申.重介质旋流器内衬材料的应用现状及前景[J].选煤技术,2008(1):70-72.
WANG Zhaoshen. Application status and prospects of heavy medium cyclone lining materials[J]. Coal Preparation Technology, 2008(1):70-72.
- [12] 赵军伟,常永强,聂飞,等.氮化硅结合碳化硅耐磨材料在矿山机械的应用[J].中国矿业,2014,23(4):118-120.
ZHAO Junwei, CHANG Yongqiang, NIE Fei, et al. The application of silicon nitride bonded silicon carbide material in mining machinery[J]. China Mining Magazine, 2014, 23(4):118-120.
- [13] 单超,李迎喜.重介质旋流器耐磨性研究[J].选煤技术,2007(6):6-8.
SHAN Chao, LI Yingxi. Research on wear-resistance of dense medium cyclone[J]. Coal Preparation Technology, 2007(6):6-8.