

烟气脱硫用水力旋流器的性能参数研究*

曹卫,方莹

(南京工业大学材料科学与工程学院,江苏南京 210009)

摘要:介绍了水力旋流器的结构参数、操作参数和物性参数对水力旋流器分离性能产生的重要影响,并对其参数进行研究,为水力旋流器的进一步优化作铺垫。与此同时对其迄今的研究成果进行了简要评述,并对其发展进行了展望。

关键词:水力旋流器 参数 分离性能

中图分类号:TQ051.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2006)02-0031-04

石灰石湿法脱硫以其效率高、工艺成熟而应用最广泛。对整个烟气脱硫系统,从国外到国内,人们从一开始都是把研究重点更多地放在脱硫工艺这方面,对烟气脱硫的制浆部分并没有引起足够的重视,烟气脱硫的制浆系统主要功能是制备合格的吸收剂浆液,并根据吸收塔系统的需要为其提供足够的流量,达到合适的脱硫效率。烟气脱硫的制浆系统中起重要作用的是水力旋流器,由水力旋流器分选出一定粒度的石灰石浆液,配成一定浓度再提供给吸收塔。水力旋流器作为整个脱硫系统的一个核心部件,它的性能将直接决定整套装置的性能。

从我国现有火力发电厂石灰石湿法脱硫装置使用的水力旋流器来看,由于引进的国家不同,因此规格众多,结构差异很大,操作条件千差万别,似乎没有统一的规律可循,但从水力旋流器的分级分离原理来看,通过调节旋流器的结构尺寸和操作参数,就一定能得到满足生产要求的合适装置。对石灰石湿法脱硫装置使用的水力旋流器需要解决的问题之一是提供满足工艺要求的最优化装置,这就要通过设计实验装置模拟生产条件来找出优化的结构尺寸、操作参数以及物性参数。

1 固-液水力旋流器的性能影响因素及其各类因素对分级性能的影响

1.1 固-液水力旋流器的性能影响因素

根据前人对水力旋流器的研究,影响水力旋流器分级性能的因素可归纳为:结构参数,操作参数和物性参数,具体可参见表1。

1.2 固-液水力旋流器结构参数对分级性能的影响

水力旋流器最大的特征是结构简单,大体上是由内腔呈圆柱形和圆锥形的各段连接而成的,腔内无任何其它部件,依靠进入腔内的流体在高速旋转运动中产生的涡流作用,将两种密度不同的介质分离开。其结构如图1所示^[1]。

第1部分是进口,其直径用 D_i 表示。它是沿切线方向或涡线型、圆弧型、渐开线型等与旋流腔相连,其主要目的是为了减少进口处的冲击,使液流容易在旋流腔内形成高速旋转的涡流,形成稳定的流场。进口横截面的形式也有许多种,如圆形、矩形等。进料管按入口流道形式可分为直线型和曲线型。进口直径主要决定生产能力,对其分级粒度和分级效率亦有影响。Boadway^[2]曾对渐开线型进料管和切线型进料管进行对比试验结果发现采用渐开线型进料管比采用切线型进料管时水力旋流器可降低能耗达52%。中国矿业大学赖越殿^[3]通过研究认为采用直线形入料管,在旋流器入口附近产生旋涡区,造成了能量的很大

* 收稿日期:2006-03-07

作者简介:曹卫(1971-),女,江苏盐城市人,南京工业大学在读硕士研究生。

表 1 影响水力旋流器分离性能的因素

Table 1 Factors of affecting hydrocyclone separate performance

项目	因素类别	因素名称	符号	项目	因素类别	因素名称	符号	备注
1	结 构 参 数	旋流器直径	D	9	操作	进料压力	P	
2		旋流室高度	H	10	参数	安装角度	β	
3		溢流口直径	D_o	11	物	固相浓度	C_i	
4		溢流管壁厚	S	12	性	固相粒度	d_i	
5		底流口直径	D_u	13	参	固液两相密度差	$\Delta\rho_i$	
6		进料口当量直径	D_i	14	数	液相粘度	μ_i	
7		溢流管插入直径	h					
8		圆锥筒锥角	θ					

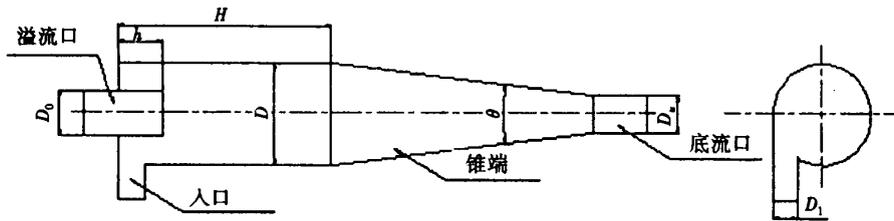


图 1 固-液水力旋流器结构简图

Fig. 1 Structural sketch of solid-liquid hydrocyclone

损失,由于较强的冲击和气蚀作用,柱体磨损腐蚀严重。而采用曲线形入料管,避免了在旋流器入口附近产生旋涡,使能量全部用于物料的分选、分级和浓缩作业,提高了工作效果。正确选择曲线入料管的结构参数,可实现旋流器的低压入料,节约能耗,降低流体对系统的磨损程度。

第 2 部分是主体部分,一般由上部的圆柱段与下部的圆锥段组成。圆柱段被称为旋流腔,液体从进口到旋流腔内产生高速旋转的液流。旋流腔的直径 D 是水力旋流器的主直径,直径 D 的大小不但决定了水力旋流器的处理能力,而且也是确定其它参数的依据。旋流体长度 L 是旋流腔长度 L_1 和圆锥段长度 L_2 两段之和。圆锥段的锥角为 θ , θ 的大小影响水力旋流器分离固体颗粒的能力。四川联合大学褚良银、陈文梅、李晓钟、刘培坤等^[4]研究认为随着柱段长度的增大,水力旋流器处理能力呈单调上升趋势、其分离修正总效率呈上升趋势、其溢流浓度则呈单调减小趋势。Dressen 和 Fontein^[5]报道了用短锥型旋流器对固相颗粒按形状进行分类,研究的数据表明,随着旋流器锥角的增大,颗粒的分级效率明显下降,但对颗粒形状的选择能力则大又上升。Fontein^[6]还用大锥角旋流器对固相颗粒按密度分离的情况研究了旋流器内的流动状态,认为这种短锥型旋流器

下段锥体内部存在一种循环流,由于循环流的加速作用使固相颗粒能很好地按密度进行分类。

第 3 部分是溢流管,它位于旋流腔顶部的中心处,其内径用 D_o 表示。溢流管的插入长度用 L_o 表示。水力旋流器溢流管一般为薄壁直圆管。通常情况下,固-液旋流器的溢流管要向圆柱段内插入一定的深度。为了提高水力旋流器的性能,人们又相继提出了几种溢流管结构,具体如图 2 和表 2 所示。

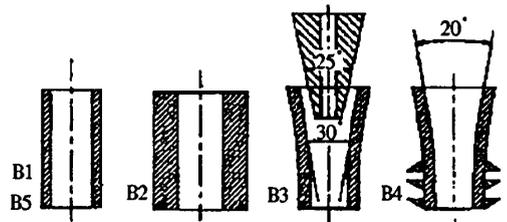


图 2 水力旋流器溢流管的几种结构

Fig. 2 Some structures of hydrocyclone vortex finder

徐继润等^[7,8]人对厚壁溢流管进行了研究,发现增大溢流管的厚度对重质分散相的水力旋流器来说,可以有效地减少短路流,降低水力旋流器的内部损失,分级精度得到提高。Boadway^[2]的研究结果表明,水力旋流器采用渐扩管形溢流管时比采用直圆管时其能耗降低 27%。还有一些学

表 2 水力旋流器溢流管结构代号及名称
Table2 Code and name of hydrocyclone vortex finder

代号	B1	B2	B3	B4	B5
名称	薄壁直圆管	厚壁直圆管	30° 渐扩管 + 锥	20° 渐扩管 + 环齿	薄壁直圆管 + 虹吸

者研究表明带虹吸式溢流管的水力旋流器可以使出口处所需的压力比普通水力旋流器所需的出口压力小,从而使需进口压力变小,降低能耗。

第 4 部分是底流管,它位于圆锥段的下方,其内径用 D_u 表示,与圆锥段小端的直径相等。水力旋流器的底流管一般也为直圆管,而且通常均与大气直接相通,底流产品一般情况下通过该直圆管直接排出;对于固-液旋流器为了改善旋流器的性能,近来也出现了一些不同形状的旋流器底流管结构以及一些不同的底流管外附加结构形式^[10-12],如图 3 和表 3 所示。

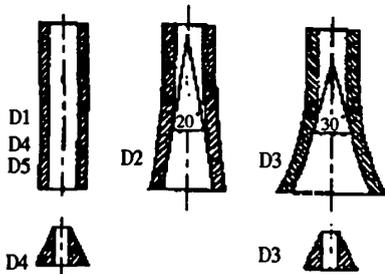


图 3 水力旋流器底流管的几种结构

Fig. 3 Some structures of hydrocyclone spigot

表 3 水力旋流器底流管结构代号及名称

Table3 Code and name of hydrocyclone spigot

代号	D1	D2	D3	D4	D5
名称	直圆管	20° 渐扩管	30° 渐扩管 + 锥	直圆管 + 锥	直圆管 + 水封

Arato^[12]将溢流管和底流管同时采用渐扩管,试验结果表明,同普通水力旋流器相比,如果在同样的进口压力操作条件下,生产能力可以提高 11% 左右,如果在获得同样生产能力的情况下,所需能耗降低 27%。四川联合大学褚良银、陈文梅、李晓钟、刘培坤^[13]对这 5 种底流管结构的旋流器性能进行系统的对比研究,发现采用 20° 渐扩管结构的底流管时水力旋流器处理能力最高、分级粒度最大;在直管型底流管下部加设堵气锥时水力旋流器分级效率最高、分级粒度最小、分流比最小;采用传统的直圆管结构时水力旋流器分离精度 α 值最大;采用水封式直圆管结构时水力旋流器分流比最大。

总之,优化水力旋流器的结构及参数,目的是为了获得更优越的性能。在水力旋流器四部分结构参数之中,任何一个参数的变化都会对水力旋流器的性能产生影响,其中主直径 D 和圆锥角 θ 两个参数对水力旋流器的性能影响最大。这是因为进口直径 D_i 溢流管直径 D_o 和底流管直径 D_u , 均与 D 成一定的比例关系,对不同应用的设计所选用的比例关系也不同,而旋流体长度 H 是由 D 和 θ 决定的。

1.3 固-液水力旋流器物性参数对分级性能的影响

由于旋流器的分级效率随分散相颗粒尺寸的增加而提高,所以颗粒尺寸是影响旋流器操作性能的重要参数,两相之间的密度差的大小决定一定操作条件下离心力场的强度大小。旋流器分级效率与固相浓度密切相关,如果选别工艺对溢流浓度没有严格的限制,尽量采用低浓度给料。固相浓度、物料颗粒大小以及固液两相密度差都将影响水力旋流器的分级效率。Wills^[14]认为分级精度随料浆浓度的增大而降低;并因旋流器中对旋流运动的阻力较大,这种阻力降低了有效的压力降,因而提高了分级粒度。

ПобороваИ^[15]研究发现当所处理的物料中含有大量的接近分级粒度的粒子时,水力旋流器的分级效果就会较差。水力旋流器总的生产能力随着介质粘度的提高而增加;但当进口处流体雷诺数为 $Re > 5\ 000$ 时,介质粘度不再影响生产能力。介质粘度的提高还会增大分股比。

东北大学褚良银^[16]认为增加旋流器进料固相浓度的影响是复杂的,因为旋流器中增加了有效的料浆粘度以及妨碍沉降的程度。要实现较细颗粒的分离,只有在低浓度进料和高压力降的条件下才能实现。在其他条件相同的情况下,当水力旋流器处理粗粒物料时,较之处理细粒物料时,底流中的含固量较高,分级粒度较大。对于粗粒物料来说,若要获得较小的分级粒度,就要用水力旋流器对其溢流进行串联处理才能实现。液相密度的增加,会引起分级粒度的增大,并引起固相分级效率的下降。固相密度的增大,则会导致分级

粒度的减小,并使固相分级效率得到提高。

1.4 固-液水力旋流器操作参数对分级性能的影响

影响水力旋流器分级性能的因素主要有进料压力和安装角度。水力旋流器的分级效率较高,但要求操作控制条件稳定。操作压力是水力旋流器运行成功与否的关键。在流量一定的条件下,要求在最低进口压力下能够在旋流器内产生涡流。要想获得水力旋流器分级的满意指标,使进口压力保持在一个恒定的水平上是很重要的。压力的任何变化都会降低水力旋流器的工作效率。进口压力的增大将会导致分级效率和生产能力的提高^[17],同时却又导致分级粒度的下降^[18],而且进口压力的增加对分级性能的影响是同排口比的大小密切关系的。对于中小型水力旋流器,其安装倾角一般对其分级性能影响不大。绝大多数水力旋流器使用时垂直安装(溢流口在上,底流口在下)。近来有研究表明,随着安装倾角的增大(垂直安装时倾角定为 90° ,水平安装时定为 180°),水力旋流器的生产能力有所提高^[19,20],分级粒度也有所增大。为了达到提高水力旋流器生产能力,降低其安装高度,减轻底流口的磨损和堵塞等目的,可以适当改变水力旋流器的安装倾角。

如果底流口能够在给定的工作条件下排出水力旋流器中的全部固相颗粒,则在进口压力增加时溢流固相粒度稍有下降;但是,如果底流口过负荷,则有一部分颗粒进入溢流,使固相颗粒分级粒度增大并降低分级效率^[15]。

参考文献:

- [1] Svarovsky L. Hydrocyclones. Eastbourne (UK) [M]. Rinehart and Winston Ltd; Holt, 1984.
- [2] Boadway J D. Ind Int. Conf on Hydrocyclones [M]. England; Bath. 1984.
- [3] 赖越殿. 旋流器入料管结构参数探讨[J]. 煤矿机械, 1996, 2: 23-25.
- [4] 褚良银, 陈文梅, 李晓钟, 等. 水力旋流器结构与分离性能研究(六)——柱段结构(长度)[J]. 化工装备技术, 1999, 2(20): 16-18.
- [5] Rietema K. Part I, II, III and IV [J]. Chem. Eng. Sci. 1961, 15: 298-325.
- [6] Rietema K, Verver C G. Cyclones in Industry Ch10 [M]. Elsevier; Amsterdam. 1961.
- [7] 徐继润. 水力旋流器强制涡及内部损失研究[D]. 沈阳: 东北工学院, 1980.
- [8] Chu Liang - Yin, Luo Qian, Qiu Ji - Cun. International J [J]. Miner. Process. 1991, 31: 1-10.
- [9] Arato EG. Reducing head or pressure losses across a hydrocyclone [J]. Filtration & Separation, 1984(5, 6): 181-182.
- [10] Luo Qian, Deng Chang - Lie, Xu Ji - Runetal. Comparison of the performance of water - sealed and commercial hydrocyclones [J]. Int J Miner Process, 1989, 25: 297-310.
- [11] Lin J. Hydrocycloning thickening; dewatering and den - sification of fine particles [J]. Separation Science & Technology, 1987, 22(4): 1327-1347.
- [12] Arato E G. Verver Cycloves in Industry [J]. Filtration & Separation, 1984(5, 6): 181-182.

(下转第 41 页)

西安建筑科技大学刘家祥、金冠璋、张治元^[21]通过试验发现在其它条件固定时,水力旋流器随着安装倾角的增大,处理量和分级粒度都呈直线增加,但分级粒度增加的幅度大。同样随着给矿压力的减小,分级粒度呈直线增大,但增大的幅度小;处理量呈直线减小且减小的幅度大。

2 总结与展望

水力旋流器是烟气脱硫制浆的重要设备,直接关系到脱硫的效果,因此正确选择其直径、压力等参数是保证旋流器分级指标稳定的必要条件。选择旋流器时依据工艺条件和分级要求首先选择直径,其次选择其它结构参数,然后对压力、分级粒度进行复核。由于各参数之间还存在互相关联的影响,在复核的过程中对部分可以调整的参数进行适当的调整,使旋流器的分级性能达到要求且保证旋流器的处理量与实际浆液平衡。此外还要注意溢流细度与给料粒度的差值原则和浓度原则,维持旋流器合适的分级效率。近二三十年来,随着人们对水力旋流器的理论研究与应用的逐步重视,旋流分离技术取得了突飞猛进的发展。基于激光多普勒测速仪(LDA)的成功应用,水力旋流器的流场实测研究工作迅速开展起来。另外,计算机技术的日新月异和湍流模式理论实际应用的发展,推动着旋流器流场数值模拟和流体流动数值计算的前进,可进一步揭示旋流器内的场结构,并预测其分离性能。

A Study of Pretreatment Technology of High Acidity Waste Water in the Glucide Production

LI Gang, ZHANG Jing, CAI Hua, WEI Yong - qian, LIU De - qi

(School of Chemical Engineering, Suzhou University, Jiangsu Suzhou 215123, China)

Abstract: This article focused on the pretreatment of the waste water engendered by the production process of glucide. The waste water includes high concentration of Cu^{2+} and acidity. This study researched the effects of three main factors: temperature, oxygenation and metalline replacement reaction, and also discussed the relationship among COD, Cu^{2+} , acidity and chroma. In the end, we put forward the appropriate condition of pretreatment, including the best aerate temperature at 80°C for 1h and so on. The ratio of copper displacement reached 80%, COD was wiped off by 50%, acidity was removed by 13%.

Keywords: glucide waste water; resource recycle; pretreatment

(上接第34页)

- [13] 褚良银, 陈文梅, 李晓钟, 等. 水力旋流器结构与分离性能研究(四)——底流管结构[J]. 化工装备技术, 1998, 6(19): 12 - 14.
- [14] Wills B A. Factors affacting hydrocyclones perfor - mance[J]. Mining Magazine, 1980 (2): 142 - 146.
- [15] ПоВаровВАН. 选矿厂水力旋流器[M]. 王永嘉译. 北京: 冶金工业出版社, 1982.
- [16] 褚良银. 固液分离用水力旋流器的设计[J]. 化工装备技术, 1995, 16(1): 10 - 13.
- [17] 刘一横. 分离用水力旋流器性能研究[D]. 成都: 成都科技大学, 1989.
- [18] 《选矿设计手册》编委会. 选矿设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988.
- [19] 苏晓东. 旋流器分离性能研究[D]. 成都: 成都科技大学, 1992.
- [20] 张鉴, 陈炳辰, 刘其瑞. 水力旋流器倾角变化对其分级指标影响的研究[J]. 金属矿山, 1990(2): 42 - 46.
- [21] 刘家祥, 金冠璋, 张治元. 水力旋流器安装倾角和部分参数对其分级指标的影响[J]. 西安冶金建筑学院学报, 1992, 24(4): 22 - 27.

Investigation of Performance Parameter of Hydrocyclone for Making CaCO_3 Serosity of Desulfurizing from Smoking

CAO Wei, FANG Ying

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Jiangsu Nanjing 210009, China)

Abstract: The paper introduces systematically the important impact of structure and operation parameters along with substance parameter to separate performance of hydrocyclone as well as to investigate its parameters which makes further optimization of hydrocyclone. At the same time the previous achievements were briefly reviewed and a prospect for development tendency is outlined.

Keywords: hydrocyclone; parameter; separation performance