

入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离特性影响的研究

沈国清 李志强 安连锁 范 鹏

(华北电力大学 国家火力发电工程技术研究中心 北京 102206)

摘 要: 石膏旋流器作为火电厂石灰石湿法烟气脱硫系统中回收石膏的一个核心部件,其分离特性越来越受到关注。本研究采用实验的方法,对已有石膏脱水系统进行研究,得到了入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离性能的影响。结果表明:一定范围内,随着入口压力的逐渐增大,其生产能力、分级及分离效率等均逐渐提高;随着浆液浓度的增大,其分离效率与底流质量浓度也将增大;综合考虑,当入口压力为0.03 MPa、石膏浆液浓度为19.7%时,石膏旋流器的体积流量较高,分级、分离效率最好。

关 键 词: 入口压力; 浆液浓度; 生产能力; 分离效率; 分级效率; 石膏旋流器

中图分类号: X701.3 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.06.016

引 言

WFGD(石灰石湿法烟气脱硫技术)是当前最重要、应用范围最广的烟气脱硫技术^[1]。

其中,石膏旋流器是脱硫系统的一个核心部件。石灰石制浆旋流器分选一定粒度的石灰石浆液进入吸收塔,直接吸收烟气中的硫化物;从吸收塔底部抽出的浆液主要由石膏晶体($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)组成,固态物含量15%左右,经石膏旋流器浓缩为40%~50%的石膏浆液,并自流至真空皮带式脱水机进行二级脱水。符合要求的脱水石膏可用作建筑材料或水泥添加剂^[2-3]。

近年来,对石膏旋流器的研究主要集中在结构参数与结构改造方面^[4-5],如锥齿型溢流管结构旋流器、柱形入口结构旋流器、插入中心棒的旋流器等^[6-8],但是对入口压力与石膏浆液浓度对实际生产的影响却研究的很少。

本研究主要从运行参数着手,研究入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离特性的影响,通过大量

的实验分析得到:当质量浓度为19.7%(密度为 $1\,125.3\text{ kg/m}^3$)、入口压力为0.03 MPa时,石膏旋流器的生产能力较高,分级分离情况最好,底流质量浓度较高。

1 实验系统及装置

1.1 实验系统

图1为实验系统简图。石膏浆液在铁罐内搅拌均匀后,由石膏浆液泵送至旋流器进行分离、浓缩;在石膏浆液泵出口管路上安装阀门,用来调节旋流器入口流量,并通过电磁流量计及压强表分别获得入口体积流量及入口压强;石膏旋流器溢流和底流返回石膏浆液罐。

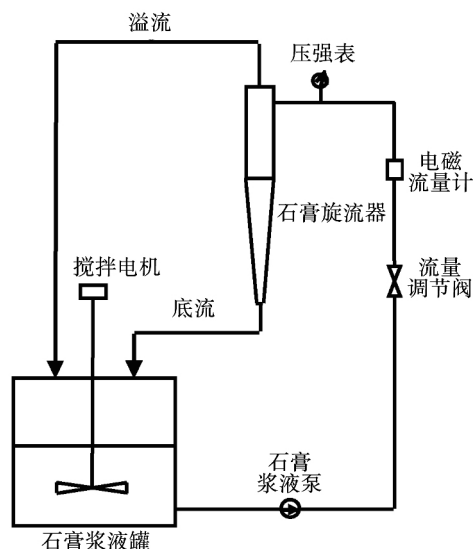


图1 石膏脱水系统示意图

Fig. 1 The schematic diagram of gypsum dewatering system

收稿日期: 2014-09-03; 修订日期: 2014-11-05

基金项目: 华北电力大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014MS10); 北京高等学校青年英才计划(YETP0700)

作者简介: 沈国清(1980-),男,江苏海安人,华北电力大学讲师。

实验中还需测量溢流和底流的体积流量、密度,浆液质量浓度通过测量的密度计算得到,并采用 WINNER2000 激光粒度分析仪测量不同粒径石膏颗粒在浆液罐与底流中的分布情况。实验数据采用多次测量取平均值的方法以确保其准确性。

1.2 实验装置

1.2.1 石膏旋流器结构参数

实验所用石膏旋流器的结构如图 2 所示,主要结构参数如表 1 所示。

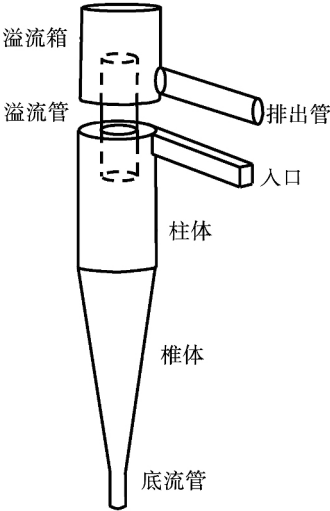


图 2 石膏旋流器结构示意图

Fig. 2 The schematic diagram of gypsum dewatering construction

在溢流管上方增设溢流箱,溢流箱侧面设置排出管,以使溢流管流出的石膏浆液能够顺利排出。

表 1 石膏旋流器结构参数(mm)

Tab. 1 Structure parameters of gypsum cyclone(mm)

结构参数	数值
入口段管长	150
入口段宽度	18
入口段高度	45
溢流管管长	170
溢流管内径	45
柱段长度	345
柱段直径	100
椎段长度	480
底流管管长	50
底流管内径	35

实验所用石膏颗粒密度为 2 300 kg/m³,表 2 是实验中采用的 4 组方案的浆液浓度与入口压力参数。

表 2 浓度和压力条件

Tab. 2 Concentration and pressure conditions

方案	浆液浓度 / %	入口压力 / MPa
1	17.0	0.030 0.035 0.040 0.045
2	18.4	0.030 0.035 0.040 0.045
3	19.7	0.030 0.035 0.040 0.045
4	21.2	0.030 0.035 0.040 0.045

2 实验结果分析

2.1 生产能力

生产能力是石膏旋流器的一个重要指标,通常采用体积流量来评价其生产能力的大小。体积流量是指石膏旋流器单位时间内处理的体积量,该参数直接影响旋流器内流场的流动特性及旋流器的工作性能^[9]。

不同浆液浓度下石膏旋流器入口的体积流量随压强变化的曲线如图 3 所示。从图 3 中可以看出,在同一压强下,随着浓度的增大,石膏旋流器的处理能力整体呈减小趋势,但是存在一定的波动;而压力对石膏旋流器的处理能力影响显著,同一浓度下,随着入口压力的增大,石膏旋流器处理能力相应地增大。因为随着入口压力的增大,液体流动克服阻力的能力就增强,最终表现为生产能力的增大。但是从能耗的角度考虑,增大压强势必会要求外界提供更大的动力,加大了生产成本,因此从火电厂生产实际出发,石膏旋流器工作压力存在一个最佳值,其取决于实际生产条件。

2.2 分离效率

分离效率主要用来表示旋流器针对特定的工作介质,在一定的运行参数条件下能达到的分离效果,是用来衡量水力旋流器分离效果的技术指标参数。在固-液分离中,分离效率表示的是旋流器浆液中底流口处分散相固体颗粒的质量流率与进口处分散相颗粒的质量流率之比^[10]。

分离效率可表示为:

$$E = M/M_c \tag{1}$$

式中: M —底流口固体颗粒的质量流量, kg/s; M_c —

进料中固体颗粒的质量流量 kg/s 。

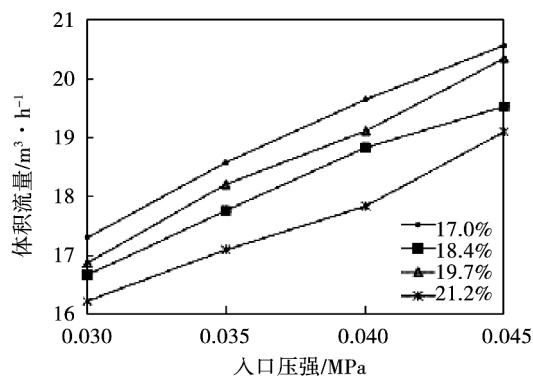


图3 不同浓度不同压力下石膏旋流器
生产能力曲线

Fig. 3 The curve of production capacity of gypsum cyclone with different concentrations and pressures

图4 为不同浓度和压强下石膏旋流器的分离效率曲线。

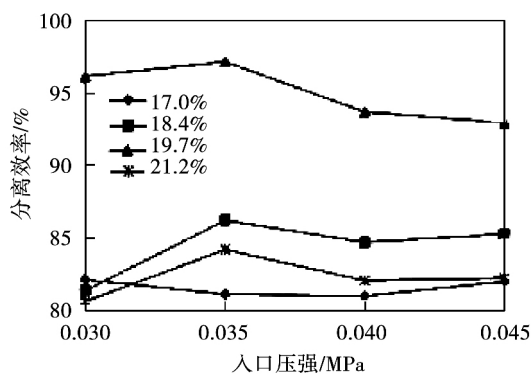


图4 不同浓度不同压强下石膏旋流器
分离效率曲线

Fig. 4 The curve of separation efficiency of gypsum cyclone with different concentrations and pressures

比较不同入口压强下各浓度的分离效率发现, 同一浓度下, 分离效率随着入口压强的增大整体呈现先增大后降低趋势, 然后趋于稳定; 而在同一压强下, 随着浓度的增大, 分离效率并未呈现较明显的变化规律, 当压强为 0.03 MPa 时, 浓度为 19.7% 时分离效率最大, 达到 96%。这是因为在石膏旋流器两相流中, 固体颗粒与液体介质的相互作用方式随石膏浆液浓度的不同而不同, 在低浓度范围时, 固相颗粒间的距离较大, 相互的作用及影响极微, 尺寸和密

度不同的颗粒各自以自己不同的速度沉降, 这时的固相颗粒处于自由沉降状态; 随着固体浓度增大, 颗粒间相互碰撞的机会增大, 使得其中的一些颗粒被其它颗粒碰撞、‘排挤’出了底流, 从而使被‘排挤’出底流的颗粒自然进入了溢流, 加剧了溢流‘跑粗’现象, 最终显著降低分离效率^[11-12]。

2.3 底流质量浓度

底流质量浓度指底流口排出的浆液中石膏颗粒所占的质量百分比。在工作过程中, 底流含固量一般在 40% - 50% 左右, 固相主要为粗大的石膏结晶。

底流质量浓度可表示为:

$$\text{底流质量浓度} = \frac{\rho_{\text{浆液}} - \rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{石膏}} - \rho_{\text{水}}} \times \frac{\rho_{\text{石膏}}}{\rho_{\text{浆液}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{浆液}}$ —底流浆液密度, 通过实验测量计算得到, kg/m^3 ; $\rho_{\text{水}}$ —水的密度, $\rho_{\text{水}} = 1\,000\, \text{kg/m}^3$; $\rho_{\text{石膏}}$ —石膏的密度, $\rho_{\text{石膏}} = 2\,300\, \text{kg/m}^3$ 。

图5 为不同浓度下底流的质量浓度随入口压强的变化曲线。

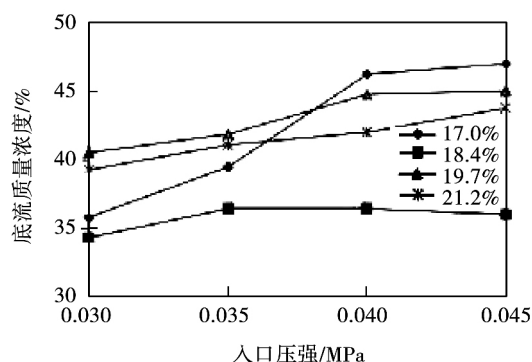


图5 不同浓度不同压力下底流质量浓度
Fig. 5 Concentration of underflow with
different concentrations and pressures

由图可知, 同一浓度下, 随着压强的增大底流质量浓度均增大; 同一压强下, 当压强为 0.03 MPa 时, 浓度为 19.7% 的底流质量浓度最大, 同时也证实了浓度为 19.7% 的分离效率最大。

2.4 分级效率

分级效率是指悬浮液固相颗粒群中各级粒度颗粒的分离效率(或各级粒度颗粒的底流回收率)^[12], 是表征石膏旋流器分级能力的一个重要

指标。

图6为不同压力下石膏旋流器的分级效率曲线,图中略去了大于 $70\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒的分级情况(这部分颗粒全部从底流排出),可以看出,随着入口压力的增大,石膏旋流器的分级性能有所提高,但是提高幅度较小。

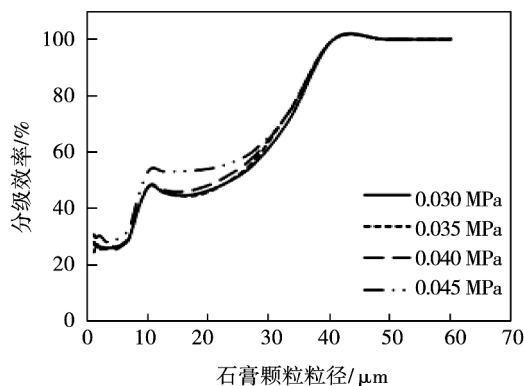


图6 不同压力石膏旋流器分级效率曲线

Fig. 6 The curve of classification efficiency of gypsum cyclone with different pressures

图7为不同浓度下石膏旋流器的分级效率曲线,此处同样略去了大于 $70\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒的分级情况,可以看出,随着浓度的增大,石膏旋流器的分级效率并非完全有所提高,存在波动。

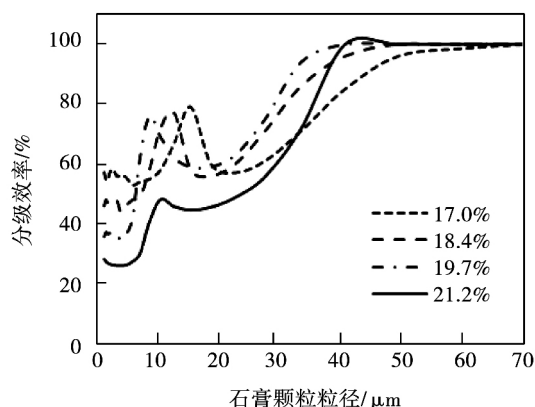


图7 不同浓度石膏旋流器分级效率曲线

Fig. 7 The curve of classification efficiency of gypsum cyclone with different concentrations

在石膏旋流器中,分级效率曲线的陡度是一个非常重要的性能参数^[13],一般认为粗颗粒与细颗粒的互相混合的量越少越好,因此分级效率曲线越陡

越好。分级效率曲线越陡,用这种石膏旋流器分级出来的分级颗粒的粒度尺寸就越集中,效果就越好。

由图7可以得出,当压强为 0.03 MPa 时,浓度为 19.7% 的分级效率最好。

3 结 论

(1) 入口压强对石膏旋流器的体积流量及分级、分离性能影响显著。一定范围内,随着入口压强逐渐增大,石膏旋流器的体积流量、分级分离效率均逐渐提高。

(2) 浆液浓度对石膏旋流器分离效率与底流质量浓度影响较大。一定范围内,随着浆液浓度的增大,石膏旋流器的分离效率、底流质量浓度均增大。

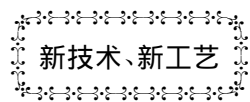
(3) 综合考虑生产能力、分级分离性能、底流质量分数等指标参数,认为当浆液浓度为 19.7% (密度为 $1\,125.3\text{ kg/m}^3$),入口压力为 0.03 MPa 时,石膏旋流器的生产能力较高,分级分离效率最好。

参考文献:

- [1] 赵志峰,都丽红,李秋萍. 电厂烟气脱硫脱水系统的研究[J]. 化工装备技术, 2004, 25(2): 7-10.
ZHAO Zhi-feng, DU Li-hong, LI Qiu-ping. Research on the system of flue gas desulfurization in power plant[J]. Chemical Equipment Technology, 2004, 25(2): 7-10.
- [2] 孙克勤,钟 秦. 火电厂烟气脱硫系统设计、建造及运行[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
SUN Ke-qin, ZHONG Qin. Coal-fired power plant flue gas desulfurization system design, construction and operation[M]. Beijing: Chemical industry press, 2005.
- [3] 黄 军,安连锁,吴智泉. 石膏旋流器结构参数优化设计研究[J]. 热力发电, 2009, 38(5): 25-28.
HUANG Jun, AN Lian-suo, WU Zhi-quan. Study on optimized design of structural parameters for gypsum dewatering hydrocyclone[J]. Thermal Power Generation, 2009, 38(5): 25-28.
- [4] 黄 军,安连锁,杨 阳,等. 结构参数对石膏旋流器分股比的影响分析[J]. 动力工程学报, 2011, 31(9): 678-681.
HUANG Jun, AN Lian-suo, YANG Yang, et al. Effect of structural parameters on split ratio of a gypsum cyclone[J]. Journal of Power Engineering, 2011, 31(9): 678-681.
- [5] 沈国清,杨亚龙,安连锁,等. 石灰石-石膏湿法脱硫系统石膏旋流器分级效率的研究[J]. 动力工程学报, 2012, 32(8): 639-646.
SHEN Guo-qing, YANG Ya-long, AN Lian-suo et al. Study on sep-

- aration performance of gypsum hydro-cyclone in wet limestone-gypsum FGD systems [J]. Journal of Power Engineering ,2012 ,32 (8) : 639 - 646.
- [6] 褚良银 ,罗 茜. 高分离精度的水力旋流器的开发[J]. 流体机械 ,1994 22(6) : 3 - 6.
- CHU Liang-yin ,LUO Qian. The development of high separation precision of hydrocyclone [J]. Fluid Machinery ,1994 ,22 (6) : 3 - 6.
- [7] 史仕荧 ,吴应湘 ,孙焕强 等. 柱形旋流器入口结构对油水分离影响的数值模拟[J]. 流体机械 2012 4(40) : 25 - 30.
- SHI Shi-ying ,WU Ying-xiang ,SUN Huan-qiang ,et al. Optimizing the Inlet design of a liquid-liquid cylindrical cyclone [J]. Fluid Machinery 2012 4(40) : 25 - 30.
- [8] 安连锁 ,杨 阳 ,刘春阳 等. 中心棒对石膏旋流器工作性能的影响[J]. 化工学报 2014 65(2) : 468 - 473.
- AN Lian-suo ,YANG Yang ,LIU Chun-yang ,et al. Influence on performance of gypsum cyclone with central rod [J]. CIESC Journal , 2014 65(2) : 468 - 473.
- [9] 罗科华 ,韦鲁滨 ,王振狮 等. 水力旋流器生产能力计算模型及其适用分析[J]. 选煤技术 2004 (3) : 11 - 14.
- LUO Ke-hua ,WEI Lu-bin ,WANG Zhen-chong ,et al. Hydrocyclone production capacity calculation model and its application analysis [J]. Journal of Coal Preparation Technology 2004(3) : 11 - 14.
- [10] 傅进军. 固液旋流器分离效率影响因素分析[J]. 科学技术与工程 2009(18) : 5576 - 5581.
- FU Jin-jun. Analysis on Separation Efficiency of Solid-Liquid Cyclone [J]. Science Technology and Engineering 2009(18) : 5576 - 5581.
- [11] Mahmoud M A ,Galal A I ,Mohamed G F. Performance of a three-product hydrocyclone [J]. Int. J. Miner. Process ,2009 ,91: 34 - 40.
- [12] 林高平 ,邹 宽. 水力旋流器分离效率计算[J]. 有色金属 , 2002 54(2) : 74 - 77.
- LIN Gao-ping ,ZOU Kuan. Hydrocyclone separation efficiency is calculated [J]. Non - ferrous metal 2002 54(2) : 74 - 77
- [13] 褚良银 ,陈文梅 ,戴光清等. 水力旋流器[M]. 北京: 化学工业出版社 ,1998.
- ZHU Liang-yin ,CHEN Wen-mei ,DAI Guang-qing ,et al. hydrocyclone [M]. BEIJING: Chemical industry press ,1998.

(丛 敏 编辑)



新技术、新工艺

DOI:10.16146/j.cnki.mdjgc.2015.06.017

LM2500 航改型船舶燃气轮机将驱动土耳其海军的轻型护卫舰

据《Gas Turbine World》2015 年 5 - 6 月刊报道 ,GE Marine 已经宣布了和土耳其安卡拉的 STM 签订了一个合同 ,供应用来驱动土耳其海军的第三和第四艘 MIL GEM 轻型护卫舰的 LM2500 燃气轮机。

STM 是这二艘新舰项目的管理者 ,并将提供平台系统、施工器材、设计服务、主推进系统以及该推进系统的集成。

该合同只是新近几个用于舰船推进的 LM2500 合同中的一个。

另外几个是: 今年 6 月 ,GE Marine 就宣称它将向 IHI(石川岛播磨重工) 提供 2 台 LM2500 航改型船舶燃气轮机 ,用于 JMSDF(日本海上自卫队) 新的驱逐舰。今年 5 月末 ,GE Marine 宣布 1 台 LM2500 燃气轮机将驱动 USCG(美国海岸警卫队) 第 8 艘国家防御艇。该艇将由 1 台 GE LM2500 燃气轮机和 2 台柴油机组成的 CODAG(柴燃并车使用联合) 动力装置驱动。

(吉桂明 摘译)

life loss of the drum was analyzed. It has been found that the temperature and stress field in the steam drum calculated by using both methods are in very good agreement and various errors are within a range of 5% ,thus meeting the requirements for engineering applications. Moreover ,what mostly influences the service life of the steam drum is the stress cycle with a relatively large value. **Key words:** steam drum in a boiler ,coupling method for seeking solutions ,temperature field ,rain flow counting method

入口压力与浆液浓度对石膏旋流器分离特性影响的研究 = **Study of the Influence of the Inlet Pressure and Slurry Concentration on the Separation Characteristics of a Gypsum Cyclone** [刊 ,汉] SHEN Guo-qing ,LI Zhi-qiang ,AN Lian-suo ,FAN Peng (National Research Center for Thermal Power Generation Engineering Technology ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 30(6) . -892 -896

With a gypsum cyclone serving as a core equipment item in a limestone wet-method flue gas desulfurization system in a thermal power plant ,the separation characteristics of the gypsum cyclone have gained increasingly high attention. By using a test method ,the authors have conducted a study of an existing gypsum dewatering system with the influence of the inlet pressure and slurry concentration on the separation performance of the gypsum cyclone being obtained. It has been found that in a certain range ,with an increase of the inlet pressure step by step ,all the production capacity ,separation and classification efficiency of the cyclone will gradually increase. With an increase of the slurry concentration ,the separation efficiency and the underflow mass concentration will also increase. When the inlet pressure is 0.030 MPa and the gypsum slurry concentration is 19.7% ,the volumetric flow rate of the gypsum cyclone is relatively high and both separation and classification efficiency of the gypsum cyclone are highest. **Key words:** inlet pressure ,slurry concentration ,production capacity ,separation efficiency ,classification efficiency ,gypsum cyclone

基于平均影响值算法和概率神经网络的制粉系统故障诊断 = **Fault Diagnosis of a Milling System Based on the Mean Impact Value Algorithm and a Probability Neural Network** [刊 ,汉] FAN Shuai ,XIAO Jun ,SUN Hui (College of Information and Control Engineering ,Liaoning Petroleum and Chemical Engineering University ,Fushun ,China ,Post Code: 113001) ,ZHANG Peng-zhan (Information College ,East China University ,Shanghai ,