

火电厂 WFGD 中石膏旋流器节能降耗分析

杨 阳

(山西大学 动力工程系,山西 太原 030013)

摘 要: 脱硫系统是火电厂的能耗大户,本文针对石灰石/石膏湿法脱硫系统中,石膏旋流器内空气柱导致的耗能问题进行研究。采用 Fluent 软件对石膏旋流器内部流场进行了数值模拟,结果表明:空气柱内的气体具有一定的轴向速度与切向速度,空气做螺旋流动,该流动引起旋流器内能量的损耗;采用中心棒能部分或全部消除空气柱。通过实验对无中心棒以及采用中心棒后,旋流器的生产能力、底流含固量等指标参数以及单台旋流器的能耗进行了测量,实验数据表明:采用中心棒后,石膏旋流器的生产能力与底流含固量明显增大;根据 4×600 MW 机组的实际石膏产量,对不同结构石膏旋流器分析计算得出:生产相同石膏量的前提下,采用倒锥形中心棒可使能耗降低 13.41%,并且能有效缓解底流夹细现象。

关键词: 节能降耗;空气柱;中心棒;石膏旋流器

中图分类号:X701.3

文献标识码:A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.12.009

引 言

石灰石/石膏湿法脱硫具有吸收剂资源丰富、成本低廉等优点,是目前世界上应用最广泛也是最成熟的一种烟气脱硫技术^[1]。脱硫系统是火电厂的能耗大户,用电量约占厂用电率的 1%~2%,因此,如何优化运行手段,提高脱硫系统运行的经济性和可靠性具有非常重要的意义^[2]。

石膏旋流器是 WFGD(湿法烟气脱硫)系统的重要部件,其运行情况不仅决定脱硫石膏的品质和综合利用情况,也关系到整个脱硫系统的水耗和能耗;此外,由于石膏脱水后的滤液会返回吸收塔循环利用,因此还会对脱硫系统的运行产生一定的影响^[3]。

以往学者对石膏旋流器的研究多集中在结构改造以及如何提高分离效率上^[4-6],没有对设备的耗能情况进行分析。本文针对石膏旋流器内空气柱引起能耗增大以及中心棒的节能降耗效应进行数值模

拟和实验研究。

1 石膏旋流器的能耗

石膏旋流器属于水力旋流器,根据旋流器的结构特点与流动特性,其内部能耗主要分为:压力损失、局部损失、粘滞损失、湍动能耗以及空气柱内和出口能量损失等几方面^[7]。褚良银、陈文梅和李晓钟等人对水力旋流器内不同类型的能耗提出了一些相应的解决措施^[5],如采用渐扩式的底流管和溢流管、采用切线形圆管作为进料管、采用中心棒消除空气柱等,但均只做了简单的定性分析,缺乏实验验证和定量分析^[8]。

空气柱是固-液水力旋流器的特有现象^[9],由环境中的空气倒流进入旋流器或浆液中携带的小气泡形成^[10]。有研究表明,空气柱消耗的能量大约占旋流器内部能量损失的一半左右。

2 数值模拟分析

为更清楚地了解空气柱对石膏旋流器流场的影响,采用 Fluent 软件对石膏旋流器内部流场进行了数值模拟。

2.1 几何模型

图 1 为石膏旋流器结构简图,表 1 中给出了石膏旋流器的几何结构尺寸。

表 1 石膏旋流器几何尺寸(mm)

Tab. 1 Structural parameters of gypsum cyclone(mm)

参 数	数 值	参 数	数 值
入口段管长	150	锥段长度	480
入口段宽度	18	溢流管内径	40
入口段高度	45	溢流管管长	170
柱段直径	100	底流管内径	25
柱段长度	345	底流管管长	50

收稿日期:2015-10-19; 修订日期:2016-06-23

作者简介:杨 阳(1981-),女,山西黎城人,山西大学讲师。

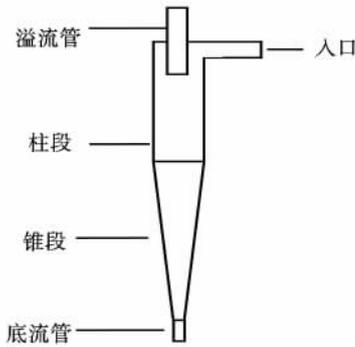


图 1 石膏旋流器简图

Fig. 1 Diagram of gypsum cyclone

2.2 模型的选取

2.2.1 湍流模型

石膏旋流器内部为复杂湍流,介质在旋流器内做高速旋转运动,径向压力梯度及切向速度梯度很大,流体旋转和压力梯度对雷诺应力的影响不能忽略。Grady 等学者采用 RSM 雷诺应力模型对水力旋流器进行模拟^[11],得到了与实验一致的结果,验证了 RSM 模型的准确性。由于受到测试手段的限制,本文也同样采用 RSM 模型对石膏旋流器中的湍流流场进行求解。

2.2.2 多相流模型

VOF(流体体积)模型适合于分层的或自由表面流,且分散相的体积分数不超过 10%^[2]。水力旋流器中空气柱用 VOF 进行处理时,液相与气相满足式(1)。

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial t} + u_j \frac{\partial \alpha_k}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

式中: α_k —第 k 相的体积分数,数值范围 $0 \sim 1$; u_j — j 方向上的速度分量, m/s 。

体积函数模型无需求解第 1 项。第 1 相的体积函数可由式(2)得到。

$$\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1 \quad (2)$$

2.2.3 边界条件

进口条件(压力进口):根据实验实测入口数据,分别设置总压与静压。第 1 相为石膏浆液,密度为 $1\,136\text{ kg/m}^3$,温度为常温,入口体积比为 1,切向进入旋流器;第 2 相为空气,入口体积比为零。即入口处只有水,没有空气。

出口条件(压力出口):溢流口与底流口设置为与大气相通,出口压力为当地大气压;定义 2 个出口

的回流介质为空气,回流系数为 1。即如果发生回流,则回流物体全部是空气。

2.3 网格划分

为保证生成网格的质量,将旋流器分解为进口段、柱段、锥段、溢流管与底流管 5 个区域,对各个区域分别进行网格划分。

图 2 为网格无关性验证结果图,图中给出了 $t = 3.24\text{ s}$,旋流器网格数分别为 223 193、467 324 和 598 767 时,旋流器中心轴上不同高度位置($z = 130\text{ mm}$ 、 $z = 300\text{ mm}$ 、 $z = 600\text{ mm}$)空气的轴向速度,从图中可以看出,当网格增大时,3 点的轴向速度值变化很小,说明网格数为 223 193 时已达到网格无关,因此取 223 193 的网格作为计算网格。

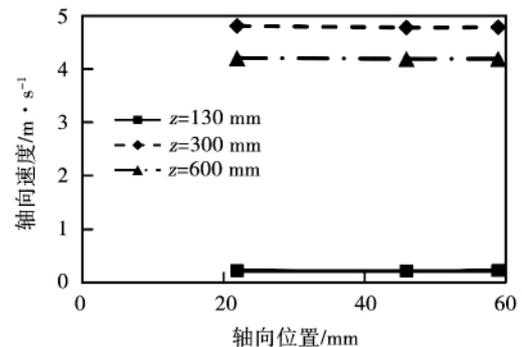


图 2 网格无关性验证结果图

Fig. 2 Diagram of grid-independent validation

2.4 模拟结果

2.4.1 空气柱的形成

图 3 为石膏旋流器内空气柱的形成过程,其中蓝色代表液相,红色代表气相。模拟结果表明:空气由溢流口和底流口分别倒流进入旋流器,并最终汇集在一起,空气柱在形成过程中会对石膏浆液产生排挤,占据其流动空间。

2.4.2 速度场

以往学者多将注意力集中在旋流器内待分离介质速度分布的研究上,却忽略了空气柱内的流场分布,因而对空气柱存在带来的能量耗损也无法有直观的认识。

图 4 为旋流器底流管某横截面的轴向速度分布曲线。轴向速度为正,表示流体向上运动;反之,则向下运动。 $t = 0.7\text{ s}$ 时,轴向速度全部为负,说明底流管内充满向下运动的清水,此时还未有空气倒流进入; $t = 0.86\text{ s}$ 时,轴向速度出现正值,意味着底流

管内出现了向上运动的空气。随着空气柱的进一步发展,空气的轴向速度逐渐增大,最高可达到11 m/s左右。

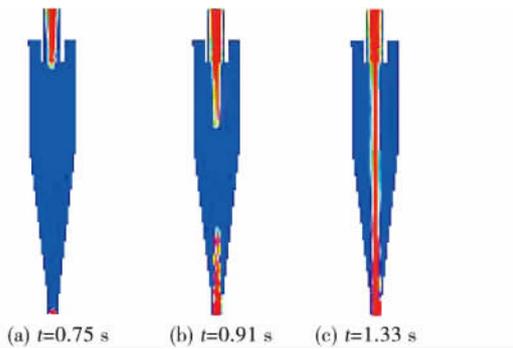


图 3 空气柱的形成

Fig. 3 The formation of air core

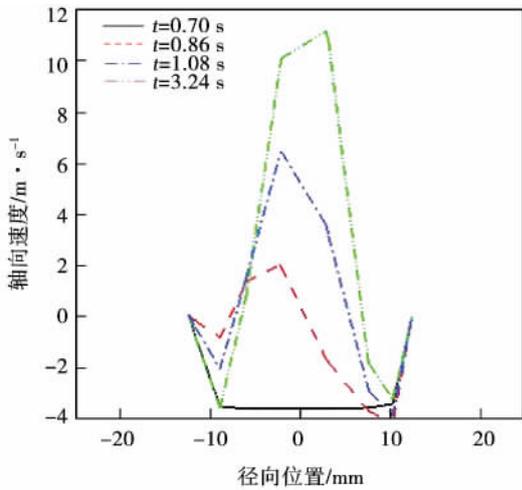


图 4 底流管横截面轴向速度分布

Fig. 4 Axial velocity distribution in a horizontal plane of underflow pipe

空气由出口倒流进入旋流器后,并不是只具有轴向方向的运动,由于受气液界面外侧旋转水流的影响,空气也同样具有一定的切向速度。

图 5 为旋流器柱段某横截面的切向速度分布。根据之前的研究工作^[13],在该截面上,半径 $r < 5 \text{ mm}$ 范围内为空气柱区域,由图可知,该区域内空气的切向速度较小,低于 2 m/s 。这是由于空气柱直径较小,气液界面的存在限制了空气旋转运动的能力。由于空气的径向速度很小,可以忽略。

综上所述,空气柱内气体同时具有轴向速度和切向速度,空气做螺旋运动,而该运动所需能量由石膏浆液泵提供,由此可知空气柱内气体的运动是旋

流器能耗的重要组成部分。

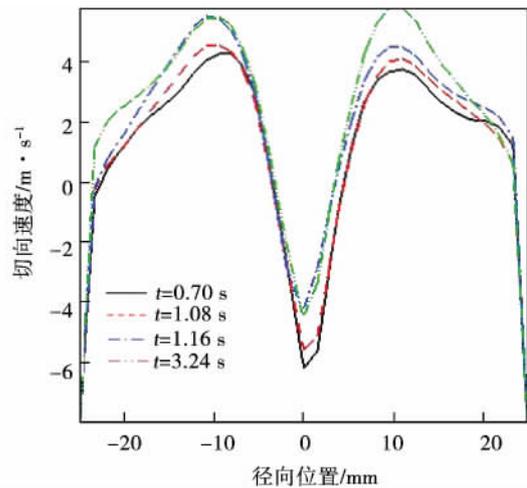


图 5 柱段横截面切向速度分布

Fig. 5 Tangential velocity distribution in a horizontal plane of cylindrical part

2.4.3 速度矢量图

通过观察底流管内的速度矢量图,可进一步了解空气运动对旋流器流场的影响。

从图 6 可以看出 $t = 0.7 \text{ s}$ 底流管未出现空气柱时,底流管内充满了向下运动的介质——清水,但随着空气柱的产生,管内出现了两种方向相反的运动,这必然会加剧流场的扰动,增大能量损失。

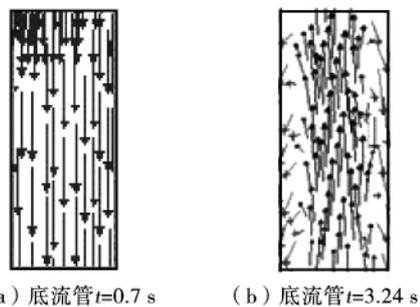


图 6 底流管内速度矢量图

Fig. 6 Velocity vector in underflow pipe

若旋流器内为待分离介质,本应向下流动从底流口排出的粗石膏颗粒,有可能被上升的空气流携带进入锥段、柱段而影响旋流器的分离效果。

3 实验研究

通过对大量的模拟结果进行分析,设计了倒锥

形中心棒用以取消旋流器内的空气柱,对采用中心棒后旋流器的流场特性、分离性能也进行了相关研究^[13~14]。本文主要讨论中心棒对石膏旋流器能耗的影响。

3.1 实验系统介绍

图 7 为实验系统简图。石膏浆液在罐内搅拌均匀后,由石膏浆液泵送至旋流器进行分级、浓缩;旋流器入口前安装有流量调节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;旋流器溢流和底流浆液返回石膏浆液罐循环使用。图中石膏旋流器中心的黑色部分为中心棒。实验中石膏浆液密度为 $1\ 136\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

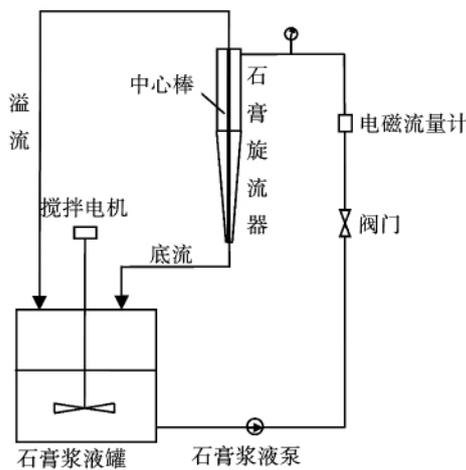


图 7 实验系统示意图

Fig. 7 Diagram of experimental system

3.2 中心棒的选择

经模拟发现,旋流器内的空气柱呈上粗下细,中间最细的形状。图 8 中给出了采用直径分别为 18、14 cm 的圆柱形中心棒与 18~14 cm(上端直径 18 cm,下端直径 14 cm)的倒锥形中心棒后,旋流器内部流场的变化情况,中间红色部分代表石膏旋流器内的空气柱。可以发现,若圆柱形中心棒直径过大,虽然可完全消除空气柱,但同时也占据了旋流器内浆液的运动空间;若圆柱直径过小,又不能完全消除空气柱;相比较而言,选用倒锥形中心棒既能完全消除空气柱,又不会过多的占用旋流器的内部空间。

3.3 实验结果分析

3.3.1 生产能力与底流含固量

表 2 给出了入口压强为 0.04 MPa 时,不同结构石膏旋流器的生产能力和底流含固量。

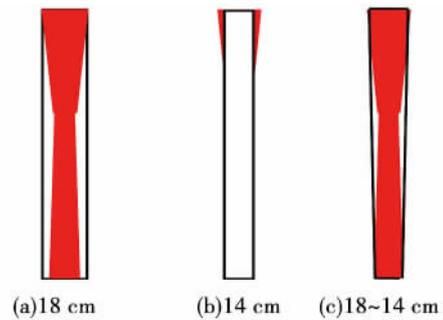


图 8 中心棒对石膏旋流器的影响

Fig. 8 Effect on gypsum cyclone with central solid rods

表 2 不同结构石膏旋流器生产能力

Tab. 2 Production capacity of gypsum cyclone with different structures

结 构	生产能力/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	底流含固量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
无中心棒	17.19	3 525.97
18 cm 圆柱形中心棒	19.65	3 818.66
14 cm 圆柱形中心棒	19.01	3 850.23
18~14 cm 倒锥形中心棒	19.85	4 198.97

入口浆液的体积流量即为石膏旋流器的生产能力。由于中心棒能够全部或部分消除空气柱,原本被空气运动消耗掉的能量就用于提高石膏旋流器的生产能力,因此,插入中心棒后旋流器的生产能力明显增大。而直径 14 cm 的圆柱形中心棒未能完全取消空气柱,因此生产能力提高的幅度相对较小。

底流含固量指单位时间内由旋流器底流管排出的浆液中石膏颗粒的质量,直接影响脱硫石膏的产量。

由表 2 可知,采用不同形式中心棒后,底流含固量均得到了提高,其中采用倒锥形中心棒与无中心棒相比增大了 22%。由于直径 18 cm 的圆柱形中心棒过多地占用了底流管内石膏浆液的运动空间,因此采用该中心棒后,底流含固量的提高幅度较小。

3.3.2 能耗分析

表 3 为不同结构石膏旋流器的能耗情况。实验时通过钳形电流表测出石膏浆液泵的三相电流,并根据式(3)得出浆液泵消耗的功率 P 。

$$P = \sqrt{3}U(I_1 + I_2 + I_3) / 3 \quad (3)$$

式中: U —电压,值为 380 V; I —电流, A;下标 1、2 和 3—3 相。

表3 不同结构石膏旋流器耗能

Tab.3 Energy consumption of gypsum cyclone with different structures

结构	电流/A	功率/W
无中心棒	6.09	4 023.55
	6.15	
	6.10	
18 cm 圆柱形中心棒	6.02	4 019.16
	6.25	
	6.05	
14 cm 圆柱形中心棒	6.18	4 041.22
	6.20	
	6.04	
18 ~ 14 cm 倒锥形中心棒	6.31	4 117.68
	6.40	
	6.19	

为讨论采用中心棒后石膏旋流器的能耗变化情况,以4×600 MW 火电厂为例进行计算分析,表4中给出了该电厂脱硫石膏的具体参数。

表4 4×600 MW 机组石膏产量

Tab.4 Gypsum production of 4×600 MW units

参数	值
耗煤量/t·d ⁻¹	20 000
含硫量/%	0.6
SO ₂ 生成量/t·d ⁻¹	240
石膏产量/t·d ⁻¹	675
石膏含水量/%	10

火电厂通常都采用多台石膏旋流器并联运行。由表3可知,该电厂日产石膏675 t,由式(4)即可得到不同结构所需并联运行的石膏旋流器台数N(一天24小时全部投运)。

$$N = \frac{\text{石膏产量} \times (1 - \text{石膏含水量}) \times 1\,000}{24 \times \text{底流含固量}} \quad (4)$$

对运行台数进行取整后,再对石膏旋流器需要运行的时间T进行计算:

$$T = \frac{\text{石膏产量} \times (1 - \text{石膏含水量}) \times 1\,000}{\text{旋流器台数} \times \text{底流含固量}} \quad (5)$$

根据石膏旋流器的实际运行台数与时间,通过式(6)即可计算出满足石膏生产量时,石膏浆液泵运行所消耗的电功W。

$$W = \frac{P \cdot N \cdot T}{1\,000} \text{ kWh} \quad (6)$$

式中:P—单台石膏旋流器在0.04 MPa运行时所消耗的功率,在表3中列出。

表5中列出了生产相同石膏产量时,3种不同结构下石膏旋流器的台数、运行时间及耗能情况。

表5 不同结构石膏旋流器计算结果

Tab.5 Calculated results of different gypsum cyclones

结构	台数	运行时间/h	耗能/kWh
无中心棒	8	21.54	693.34
18 cm 圆柱形中心棒	7	22.73	639.49
14 cm 圆柱形中心棒	7	21.93	620.37
18 ~ 14 cm 倒锥形中心棒	7	20.67	595.79

与无中心棒相比,采用直径18、14 mm 圆柱形中心棒以及倒锥形中心棒后,旋流器系统能耗分别降低了7.77%、10.52%和13.41%,即采用中心棒对整个石膏旋流器系统的降耗作用非常明显。

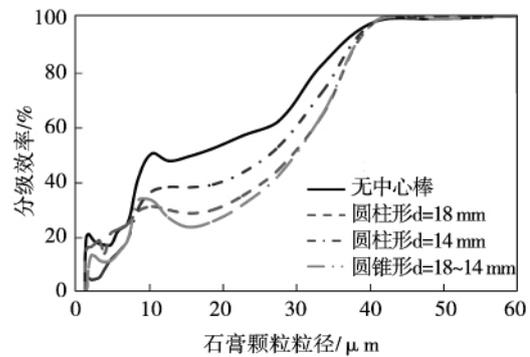


图9 不同结构时石膏旋流器分级效率曲线

Fig.9 Classification efficiency of gypsum cyclone with different structures

3.3.3 分级效率

图9为石膏浆液泵出口阀门全开,即最大生产能力时,不同结构下石膏旋流器的分级效率比较。由图9可知,无中心棒时,10 μm 以下细颗粒的分级效率在20%左右,底流中细颗粒含量较多,会对之后真空皮带机的运行产生影响,并直接影响脱硫石膏的质量;采用直径14 mm 的圆柱形中心棒与倒锥形中心棒时,10 μm 以下颗粒的分级效率最低,可有效缓解底流夹细现象,同时不会降低粒径大于40 μm 的石膏颗粒的分级效率。但是采用中心棒后,10 ~ 40 μm 石膏颗粒的分级效率有所降低,这是由

于空气柱消失后,生产能力的增大使石膏浆液的轴向速度增大,缩短了介质在旋流器内的停留时间,导致分级不够彻底。

4 结 论

由于目前还没有能准确描述空气运动速度的经验公式,因此无法通过计算气体的动能得到空气柱确切的能耗情况。本文通过分析插入中心棒取消空气柱后石膏旋流器系统能耗的变化,得到以下结论:

(1) 空气柱内的空气同时具有轴向速度与切向速度,为螺旋流动,消耗石膏浆液泵提供的能量。

(2) 采用中心棒后,石膏旋流器的生产能力与底流含固量都得到了提高。

(3) 生产相同质量的石膏时,采用中心棒能明显降低旋流器系统的能耗。

(4) 采用中心棒能有效缓解石膏旋流器的底流夹细现象,但同时也会降低中等粒度颗粒的分级效率。

参考文献:

- [1] 鲍静静,杨林军,颜金培,等.湿法烟气脱硫系统对细颗粒脱除性能的实验研究[J].化工学报,2009(05):1260-1267.
BAO Jing-jing, YANG Lin-jun, YAN Jin-pei, et al. Performance of removal of fine particles by WFGD system [J]. CIESC Journal, 2009(05): 1260-1267.
- [2] 禾志强,祁利明,周 鹏,等.石灰石-石膏湿法烟气脱硫优化运行[M].北京:中国电力出版社,2012.
HE Zhi-qiang, QI Li-ming, ZHOU Peng, et al. Optimized operation of limestone-plaster wet type flue gas desulfurization system [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2012.
- [3] 杨亚龙.石膏旋流器分离性能研究与结构优化[D].北京:华北电力大学,2012.
YANG Ya-long. Study on Classification performance and optimized design for the gypsum cyclone [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [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):678-681,688.
HUANG Jun, AN Lian-suo, YANG Yang, et al. Effect of structural parameters on split ratio of a gypsum cyclone [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2011, 31(9): 678-681, 688.
- [5] ZHAO Li-xin, JIANG Ming-hu, XU Bao-rui, et al. Development of a new type high-efficient inner-cone hydrocyclone [J]. Chemical Engineering Research and Design, 2012, 90(12): 2129-2134.

- [6] 杨 强,汪华林,白志山,等.石膏浆液旋流器的分离性能实验研究[J].环境工程学报,2010,4(2):465-470.
YANG Qiang, WANG Hua-lin, BAI Zhi-shan, et al. Experimental study on separation of gypsum slurry hydrocyclone [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(2): 465-470.
- [7] 褚良银,陈文梅,李晓钟,等.水力旋流器能耗机制与节能原理研究:Ⅷ.优化节能原则[J].化工机械,1999,26(3):125-128.
CHU Liang-yin, CHEN Wen-mei, LI Xiao-zhong, et al. Researches on energy consumption mechanism and energysaving principles of hydrocyclones. Ⅷ. Optimum Energy-Saving Principles [J]. Chemical Engineering & Machinery, 1999, 26(3): 125-128.
- [8] 褚良银,陈文梅,李晓钟,等.水力旋流器能耗机制与节能原理研究Ⅵ.低能耗旋流器压力场结构及能耗降低原理[J].化工机械,1999,26(01):7-11+63.
CHU Liang-yin, CHEN Wen-mei, LI Xiao-zhong, et al. Research on energy consumption mechanism and energy-saving principles of hydrocyclones. Ⅵ. The pressure distribution structure and energy consumption reduction principles of low energy consumption hydrocyclones [J]. Chemical Engineering & Machinery, 1999, 26(01): 7-11+63.
- [9] NARASIMHA M, MAINZA A. N, HOLTHAM P. N, et al. Air-core modelling for hydrocyclones operating with solids [J]. International Journal of Mineral Processing, 2012, 102-103, 19-24.
- [10] AURÉLIEN D, ERIC C, FLORENT B. Fundamental understanding of swirling flow pattern in hydrocyclones [J]. Separation and Purification Technology, 2012, 92: 152-160.
- [11] GRADY S A, WESSON G D, ABDULLAH M, et al. Prediction of 10-mm hydrocyclone separation efficiency using computational fluid dynamics [J]. Filtration & Separation, 2003, 40(9): 41-46.
- [12] DELGADILLO J A, RAJAMANI R K. A comparative study of three turbulence-closure models for the hydrocyclone problem [J]. International Journal of Mineral Processing, 2005, 77(4): 217-230.
- [13] 安连锁,杨 阳,刘春阳,等.具有中心棒的石膏旋流器流场特性及分离性能研究[J].动力工程学报,2013,33(9):717-721.
AN Lian-suo, YANG Yang, LIU Chun-yang, et al. Research of flow characteristics and separation efficiency in gypsum cyclone with central solid rod [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2013, 33(9): 717-721.
- [14] 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,(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, (2): 468-473.

(单丽华 编辑)

boundary vorticity flux ,blade leading edge ,micro-cylinder

轮毂组合抽吸对旋转冲压压缩转子性能的影响 = **Effects of Hub Combined Boundary Layer Suction on the Performance of a Ram-rotor** [刊 ,汉] HAN Ji-ang ,XUE Jia-qi ,ZHONG Jing-jun ,GUAN Jian (Marine Engineering College ,Dalian Maritime University ,Dalian 116026 ,China) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(12). - 38 ~47

In order to improve the flow structure of the ram-rotor passage and the aerodynamic performance of ram-rotor ,Fluent software was used to simulate the overall performance and flow characteristics of the ram-rotor ,and the influence of suction flow rate on performance of ram-rotor was discussed. The results show that: three schemes of combined suction on hub can improve the flow field of ram-rotor ,and the efficiency or pressure ratio. In Case 2 ,the loading capacity of the ram-rotor is improved significantly ,and the pressure ratio increases by 5.2% . In Case 3 ,the boundary layer separation of the ram-rotor passage is controlled effectively ,and the efficiency increases by 1.1% almost without changing pressure ratio. The influence of suction flow rate on performance of the ram-rotor is not evident. **Key words**:ram-rotor ,combined boundary layer suction ,performance ,numerical simulation

热电联产集中供热方案的分析对比 = **Analysis and Comparison of Cogeneration Heating Schemes** [刊 ,汉] ZHAO Chong ,LUO Xiang-long ,CHEN Ying ,SONG Meng-jie ,WANG Chao (School of Material and Energy ,Guangdong University of Technology ,Guangzhou ,Guangdong ,China ,Post Code: 510006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(12). - 48 ~55

District heating is the current trend in the field of heating. In order to improve the energy efficiency of heating system ,and reduce heating costs ,this paper put forward four kinds of nature gas district heating schemes based on the different heating modes of existing power plant. The four cogeneration heating schemes were modeled and simulated using Cycle-Tempo. The efficiencies of energy and exergy of each system were analyzed. The main factors influencing the efficiencies of energy and exergy were discussed from the interior of each system. Then this paper established the heating economic model for each scheme and analyzed the main factors affecting the economy. Finally , the influence of the nature gas price ,the power price ,the heating load and the heating distance on the cogeneration heating systems were discussed. **Key words**:cogeneration heating ,simulation ,thermodynamic ,economic ,comparison

火电厂 WFGD 中石膏旋流器节能降耗分析——中心棒的影响 = **Energy Saving of Gypsum Cyclone of Wet Flue Gas Desulfurization in Power Plant by Central Solid Rod** [刊 ,汉] YANG Yang (School of Power Engi-

neering ,Shanxi University ,Taiyuan ,Shanxi ,China ,Post Code: 030013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 56 ~61

In power plant ,the energy consumption of wet flue gas desulfurization (WFGD) system accounts for 1% - 2% of plant electric consumption. The gypsum cyclone is an important equipment in dewatering system of WFGD. Air core is a special phenomenon in solid-liquid cyclone. The flow field in gypsum cyclone was simulated with Fluent. The results indicate that: two air backflows form a whole air core and the movement of air wastes energy provided by gypsum pump. And the air core will disappear partly or wholly by inserting a solid central rod in cyclone. The corresponding experiments were carried out ,and results illustrated that both production capacity of gypsum cyclone and solid content in under flow increase apparently with a central solid rod. The energy consumption of gypsum cyclone in a power plant with the capacity of 4×600 MW was calculated and compared ,and it was concluded that with the conical central solid rod the energy consumption of the gypsum pump is reduced about 13.41% and the " fish-hook" phenomenon is improved effectively. **Key words:**energy saving ,air core ,central solid rod ,gypsum cyclone

不同煤种低温干燥特性的实验研究 = **Experimental Investigation of Low-temperature Drying Characteristics of Different Coals** [刊 ,汉] GAO Zheng-yang ,YANG Wei-jie ,YAN Wei-ping (School of Energy and Power Engineering ,North China Electric Power University ,Baoding ,China ,Post Code: 071003) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 62 ~67

The isothermal dehydration experiments of four different coal samples were conducted by heat balance ,and the experiments indicated that the drying rate will increase with temperature for the same coal sample. The drying rate curves of different coal samples or different temperatures were basically the same ,including speed-up drying stage , constant speed drying stage and speed-down drying stage. Data fitting was performed according to fifteen different models in the theory of thin layer drying. Yagcioglu model was selected as the most appropriate model for isothermal drying procedure through calculating and comparing the correlation coefficients of different models. Based on the optimal drying mechanism model ,the dynamic analysis was carried out. The results showed that the drying rate constant k decreases as the moisture content increases at the same drying temperature ,and it increases with the drying temperature for the same coal sample. For the four coal samples ,the apparent activation energy of isothermal drying at low temperature was $E_{CZ} = 37.40$ kJ/mol , $E_{TS} = 28.41$ kJ/mol , $E_{DF} = 53.52$ kJ/mol and $E_{HY} = 33.53$ kJ/mol , respectively. **Key words:**TGA ,coal drying ,drying kinetics ,mechanism equations ,activation energy

扩压器前缘开槽结构对离心鼓风机性能及流场压力脉动的影响 = **Effects of Slotted Structure at Leading**