

背压和热压缩空气对流化床气流粉碎的影响

张明星 陈海焱* 颜翠平

(西南科技大学 固体废物处理与资源化教育部重点实验室, 四川 绵阳 621010)

摘要 为了提高气流粉碎机的粉碎效率并降低能耗,本实验通过粉碎区背压对粉碎的影响和热压缩空气对喷嘴气流速度的影响进行了研究。结果表明:对超音速喷嘴,与喷嘴背压相匹配的值才能产生最好的粉碎效率;通过相同马赫数的喷嘴,在入口温度为80℃、150℃、300℃时,出口气流速度分别比30℃时的喷嘴出口速度高8%、18%、38%;将压缩空气加热到150℃用于粉碎气源,比常温压缩空气要节约26%~31%的粉碎能耗,同时热空气粉碎具有较好的剥片性,能有效保护云母等矿物的片状结构特性。

关键词 流化床气流粉碎 背压 热压缩空气 粉碎效率

中图分类号: TQ051.9+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8098(2009)01-0007-03

Effect of Back Pressure and Hot Compressed Air on Jet Grinding of Fluidized-bed

Zhang Mingxing Chen Haiyan Yan Cuiping

(The Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Reclamation, Ministry Education, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010)

Abstract Nowadays the higher Mach number is adopted to design nozzle, however, the fluidity parameters of nozzle and systematic airflow status are not considered in jet grinding. So it is difficult to ensure the efficiency of jet grinding and lower the systematic energy. To improve the efficiency of jet grinding and lower the systematic energy, the study was focused on the effect of back pressure on efficiency in jet grinding and the impact of hot compressed air on airflow velocity. The results show: the values matching with back pressure of nozzle can produce best efficiency of jet grinding for supersonic nozzles. The hot compressed air can improve the yields of jet grinding and lower systematic energy.

Key words fluidized bed back pressure hot compressed air grinding efficiency

气流粉碎一般是由压缩空气通过超音速喷嘴后,形成超音速气流带动物料加速,在交叉区相互碰撞实现粉碎。目前国内众多厂家在喷嘴的设计上多采用高马赫数的喷嘴,同时许多研究者对喷嘴形状、尺寸和内部流场作了大量的研究^[1-4],却未考虑喷嘴前后流动参数及系统气流状态,很难保证气流粉碎的效率并降低系统的能耗。本实验主要针对气流粉碎机的背压和热压缩空气两个影响喷嘴前后流动参数及系统气流状态的因素作研究,为提高气流粉碎效率和降低能耗提供合理的参考依据和理论指导。

1 试验装置

试验采用自行研制的LNJ-36型流化床气流粉碎分级机(径向叶片)系统,实验系统布置如图1。粉碎物料采用GZV-1微型电磁振动加料机均匀的加入流化床。分级轮的转速通过变频器调节,并用转速表校核。分级机出口直接连接脉冲滤筒式收集器,以便于取样分析粒度。流化床粉碎区的背压主要通过变频器改变高压引风机(蜗旋气泵,吸气压力-2700mm

H₂O柱,流量10.5m³/min)的转速来调节。气源系统:EP-50S螺杆式空压机(容积流量5.4m³/min,排气压力0.86MPa,轴功率40.7kW),压力测试采用YYT-2000倾斜式微压计和SWP-CY80压力变送器,粒度测试采用MS2000马尔文激光粒度分析仪。实验物料有重晶石、滑石粉、石墨、氧化锰和云母。

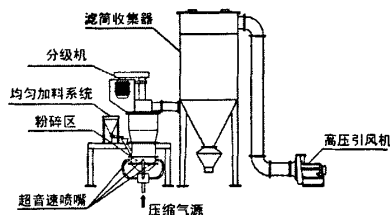


图1 流化床气流粉碎分级机实验系统图

2 粉碎区背压

由于粉碎区背压测试极为困难,所以采用目前工业化生产中常用的测试粉碎区的静压来代替,测试位置在与流化床粉碎腔喷嘴中心在同一水平面位置,并在与喷嘴的夹角成45°靠近外壁处测量粉碎区的静压。作者采用模拟计算静压发现,虽然由于粉碎腔内高速射流所形成的涡流而使粉碎区的静压与喷嘴背压之间不能形成严格的正比关系,但两者在一定程度

收稿日期: 2008-09-10

基金项目: “十一五”国家支撑计划重大项目(编号2006BAF02A24)

—“绿色制造关键技术与装备子项目”。

*通讯作者, Tel: 13808111780; E-mail: chenhai-yan@163.com。

上仍正比相关。

在喷嘴的马赫数为 1.78、喷嘴入口绝对压力为 0.75MPa 时,在不同背压下粉碎粒度的变化情况,见图 2。从图 2 可看出:虽然每一种物料采用相同分级机速度来控制,但当粉碎区背压的绝对值(因为粉碎区的背压均为负值,为方便描述,用实测负压的数学绝对值来描述粉碎区背压的大小)小于 5kPa~7kPa 时,粉碎粒度 d_{50} 值变大,粉碎粒径变粗,且粉碎粒度 d_{50} 值随粉碎区背压绝对值的减小而增大;当测试背压的绝对值大于或等于 5kPa~7kPa,粉碎粒度 d_{50} 值变化不大,说明粉碎区背压绝对值保持在等于或大于 5kPa~7kPa 时,粉碎粒度比较稳定。

在喷嘴的马赫数为 1.78、喷嘴入口绝对压力为 0.75MPa 时,在不同背压下粉碎相同粒度物料时的产量变化情况,见图 3。从图 3 可看出:当粉碎区背压的绝对值小于 5kPa~7kPa 时,粉碎产量随粉碎区背压绝对值的减小而明显降低;当背压绝对值在 5kPa~7kPa 之间时,粉碎产量最大;但当背压绝对值大于 5kPa~7kPa 时,粉碎产量随着粉碎区背压绝对值的增大而略有降低。

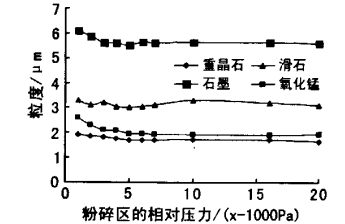


图2 不同背压下的气流粉碎粒度

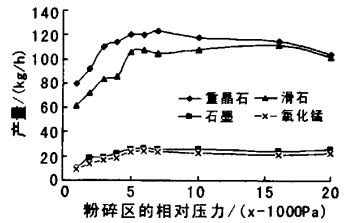


图3 不同背压下的气流粉碎产量

从图 2 和图 3 可看出,当粉碎区背压绝对值为 5kPa~7kPa 时,粉碎粒度和粉碎产量均达到最佳。根据作者的模拟计算,虽然无论粉碎区背压大小,对喷嘴出口的气流速度都会产生激波,但背压的绝对值越大,喷嘴出口气流速度越大,激波后气流速度相对较高,因此粒度和产量要好。当背压的绝对值过小时,除要加固袋式除尘器外,实验时只有降低粉碎区持料量才能确保大的静压值,加料量较少,会使粉碎效率降低,粉碎粒度总体变粗。

从以上实验可看出:与喷嘴背压相匹配的值才

能产生最好的粉碎效果。对任何一个超音速喷嘴,只有实际状态与计算状态一致或相近时,才能使喷嘴获得最大的喷射气流或速度。虽然前述,在其它条件不变时,喷嘴出口截面的计算压力为与粉碎区的背压主要决定气流喷射速度,如果大于或小于实际粉碎区背压,喷射将自行调节,这种调节是通过产生激波或膨胀的方式来实现,但无论如何,都使喷射受到不利的影响。但从实验看,测试静压与喷嘴实际背压相差较大,尤其其对喷方式引起喷嘴出口的激波造成了喷嘴背压更大的不确定性。

3 热压缩空气

影响工质喷射气流动能的另一个状态参数是工质的入口温度,喷嘴的出口气流速度与入口温度的平方根成正比。假定气流粉碎区的背压 $P_0 = -3000P_a$,在理想状态下,背压等于设计工况临界压力,喷嘴内气流为亚声速-超声速,处于最好膨胀设计工作状态。在设计工况下,压缩空气通过超音速喷嘴后应能充分膨胀到与喷嘴出口背景压力相同的工况,由式 $u_e = \sqrt{2[k/(k-1)]RT_i[1-(P_0/P_i)^{(k-1)/k}]}$ 可计算出喷嘴不同入口压力和不同入口温度条件下的喷嘴出口速度(其中: u_e ,喷嘴出口的气体速度, m/s; k 为气体绝热系数; R 为气体常数, J/Kg·K; P_i , 喷嘴入口静压, MPa; T_i , 进口气流的绝对温度, K)。

30℃和 300℃的压缩空气通过不同马赫数的喷嘴所形成的出口气流速度,见图 4。由图 4 可见,通过相同马赫数的喷嘴,热空气产生的出口气流速度远高于常温空气。许多矿物可在较高的温度下操作,因此可利用热的压缩空气提高气流磨的生产能力,文献[5]认为,气流温度升高,被粉碎物料扩展裂缝的需要能量较小,故加热可增加裂缝扩展的活性。文献[6]认为,热空气能够提供较大的粉碎力,有利于产品的细化。同时高温的压缩空气除了可增加喷嘴出口的速度外,还能够有效的影响物料的粉碎效果和特性。从图 5 可看出:压缩空气采用较高的温度时,可形成较高的气流速度。在入口温度为 80℃、150℃、300℃时,出口气流速度分别比 30℃时的喷嘴出口速度高 8%、18%、38%。

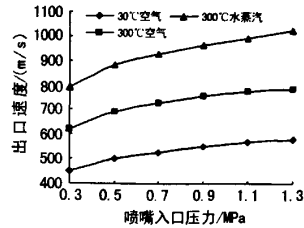


图4 不同介质、不同喷嘴入口压力时喷嘴出口速度
为此对实验系统(见图 1)的气源系统 EP-50S 螺

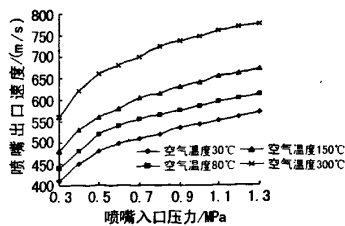


图5 不同入口压力、不同入口温度时喷嘴的出口速度

杆式空压机的后面增加了25kW的电加热器,并可无级调节加热温度,空压机排除的压缩空气经如图6所示的电加热器进行加热,温度范围为70~180℃,实验的其他条件不变时,对滑石粉和云母做了在热空气状态下的粉碎实验。

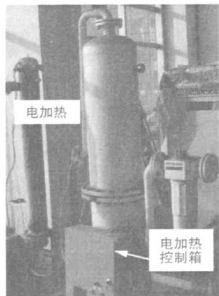


图6 电加热器

3.1 滑石粉的实验 对滑石粉的加工进行对比实验,进料325目,在不同加工粒度条件下,在加热和不加热的条件下测试了滑石粉加工的吨能耗指标(见图7),结果证明:在将空气加热到150℃时,比常温加工时节约能耗26%~31%,采用热空气是经济的。

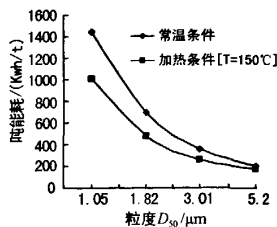


图7 空气温度对加工能耗的影响

3.2 云母的实验 对云母的加工进行了对比实验,选用80℃作为粉碎气流的温度,为获得较好的径厚比,作了高低压二种流化床入口压力的实验,低压压力通过设计的大喷嘴并前端节流获得。粒度测试采用日本进口的特种45μm、25μm、10μm的三层小筛筛分(北京利帮贸易公司提供),分析时采用酒精冲洗粉

体进行筛分; D_{50} 、厚度以及径厚比均由该公司送样日本进行测试。实验结果见表1。从表1可知,无论高压还是低压状态,热空气的加工产量高、 D_{50} 较细、径厚比较大。因此,试验证明了热空气气流磨的加工的能耗较低,与前述的理论分析具有一致性,而且热空气粉碎具有较好的剥片性,能有效保护云母等矿物的片状结构特性。

表1 云母的粉碎实验

入口压力 MPa	温度 ℃	+45 μm	+25 μm	+10 μm	-10 μm	D_{50} μm	厚度 μm	径厚 比	产量 kg/h
7	32	4.6%	23.9%	48.9%	22.6%	18	0.97	19	37.5
1.9	26	18%	33.7%	32.1%	15.8%	26	1.01	26	12.5
7	80	3.1%	15.7%	36.5%	44.7%	16.2	0.82	23.1	47.2
1.9	80	12%	25.2%	46.0%	16.4%	22	0.98	30.1	21.6

4 结论

1. 喷嘴出口截面的计算压力与喷嘴背压相匹配的值才能产生最好的粉碎效果。对任何一个超音速喷嘴,只有实际状态与计算状态一致或相近时,才能使喷嘴获得最大的喷射气流或速度。

2. 热的压缩空气作为气流粉碎机的工作介质,通过相同马赫数的喷嘴,热空气产生的高速气流远高于常温。在入口温度为80℃、150℃、300℃时分别比30℃时的喷嘴出口速度高8%、18%、38%。

3. 将压缩空气加热到150℃用于粉碎,比常温压缩空气节约26%~31%的粉碎能耗;同时热空气粉碎具有较好的剥片性,能有效保护云母等矿物的片状结构特性。

参考文献:

[1] Jennifer McMillan, Cedric Briens, Franco Berruti, et al. High velocity attrition nozzles in fluidized beds[J]. Powder Technology, 2007, 175(3): 133-141.

[2] S Voropayev, D Eskin. Optimal particle acceleration in a jet mill nozzle[J]. Minerals Engineering, 2002, 15(6): 447-449.

[3] 田威,李小宁.叶栅型气动喷嘴三维流场数值模拟[J].机床与液压, 2006(6): 140-143.

[4] 王明波,王瑞和.喷嘴内液固两相射流流场的数值模拟[J].石油大学学报(自然科学版),2005,29(5): 46-49.

[5] 吴明珠.单颗粒破碎试验和研究[C].第五届全国粉碎工程学术会议论文集,北京:1991,5:7-13.

[6] 金振中,王洪斌,等.压缩空气在气流粉碎中的应用及其加料器喷嘴设计[J].化工矿物与加工,2006(9): 18-34.

(上接第6页)

[3] 李晓敏,寇晓成.伊利石:一种前景广阔的新型黏土矿物材料[J].世界地质,2000,19(4): 346-349.

[4] 郭国甫.叶营伊利石矿及其在橡胶制品中的应用[J].非金属矿,1997,20(3): 58-60.

[5] 姬清海.平顶山市伊利石在橡胶中的应用研究[J].矿产保护与利用,1999,6(3): 25-27.

[6] 王万军,等.用伊利石高岭石质煤矸石试制橡胶填料[J].中南大学学报,2004,35(5): 769-773.