

倾斜式对喷流除尘效率影响因素的正交实验研究

张明星, 陈海焱², 颜翠平¹, 高歌¹, 许可¹

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010;

2. 西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010)

摘要:针对水平式对喷流结构会使部分粉尘颗粒黏附在喷嘴对面的器壁上而导致除尘效率降低的问题, 采用倾斜式对喷流除尘技术收集硫酸铵和硝酸铵混合物粉尘。对影响除尘效率的 5 个主要因素: 喷嘴速度、含尘浓度、喷嘴水平间距、倾斜角度和喷雾化水润湿含尘气流的耗水量, 各作了 4 个水平的考察, 得到了该条件下的最优方案: 喷嘴速度 26 m/s、含尘质量浓度 0.60 kg/m³、喷嘴间距 0.2 m、倾斜角度 40°、耗水量 0.21 kg/kg 粉尘。实验表明: 该条件下的除尘效率最高可达 96.8%, 而且喷雾化水润湿含尘气流对除尘效率影响最大, 倾斜式对喷流能有效避免粉尘颗粒黏附在器壁上。

关键词:对喷流除尘; 倾斜式; 除尘效率; 影响因素; 正交实验

中图分类号: TQ172.668

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2006)S1-0277-04

Study on influence factors of dust collection in gradient impinging stream by orthogonal experimental design

ZHANG Ming-xing¹, CHEN Hai-yan², YAN Cui-ping¹, GAO Ge¹, XU Ke¹

(1. Institute of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. Institute of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Based on the decrease of collection efficiency resulted from partial dust particles adhered to the equipment wall opposite the nozzle in horizontal impinging stream, the gradient impinging stream was used to collect blend dust particles of ammonia sulfate and ammonium nitrate. L₁₆(4⁵) orthogonal design was utilized to optimize the experimental parameters. The five factors chosen for test are as follows, the nozzle velocity, the dust particles density, the space between two nozzles, gradient angle and the water mass which wets dusty air flow, each with four levels. Experimental results showed the optimal conditions: the nozzle velocity was 26 m/s, the dust particles density was 0.60 kg/m³, the space between two nozzles was 0.2 m, the gradient angle was 40° and the water mass was 0.21 kg/kg of dust particles. The result of experiment under those conditions shows that the collection efficiency can be the highest one among all the experiments, which can be up to 96.8% and the wetting dusty air flow be the biggest influence factor. And the phenomenon of partial dust particles adhering to the equipment wall can be avoided effectively in gradient impinging stream.

Key words: dust collection in impinging stream; gradient impinging stream; collection efficiency; influence factors; orthogonal experimental design

对喷流理论 (Impinging Stream) 是 Elperin^[1-3] 于 20 世纪 60 年代初提出并进行实验研究的, 但直到 1975 年才由俄罗斯的 Lainer^[4] 将其用于除尘。现有的研究主要是针对氧化铝粉尘^[4-5] 和磷酸盐粉尘^[6-8] 的特性而得出的结论, 而对特性不同的其他粉尘的研究, 国内外均尚未见报道, 这就限制了对喷流除尘技术的推广应用。因为对喷流除尘技术对粉尘特性的依赖性很强^[4-6], 不同黏附性粉尘的最优

除尘条件很可能不一样。笔者用水平式对喷流除尘技术收集硫酸铵和硝酸铵混合物粉尘, 并在喷雾化水润湿含尘气流的条件下观察到: 有相当一部分粉尘颗粒由于自身的黏附性而黏附在喷嘴对面的除尘器边壁上, 而且润湿程度越高, 粉尘在器壁上的沉积就越多。这主要是因为气流对粉尘颗粒诱导的影响而导致粉尘颗粒未在对喷腔内形成有效的来回振荡, 这与喷嘴的形式和风速有关, 因此笔者采用倾斜

收稿日期: 2006-01-04

基金项目: 国家“十五”高科技计划项目 (863) 资助 (2001AA642010)

作者简介: 张明星 (1982-), 男, 硕士生, 研究方向为安全技术及工程; 陈海焱 (1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事安全技术及工程、环境工程、通风及空调工程方面的研究, 通讯联系人, 0816-2419220, chenhai-yan@163.com。

式对喷流结构进行实验,结果表明倾斜式对喷流能有效避免这类问题,对喷流除尘示意图如图 1 所示。

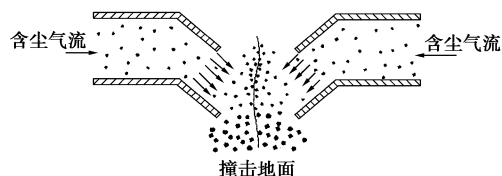


图 1 倾斜式对喷流除尘原理

为进一步拓展对喷流除尘技术的应用领域,优化其结构来避免水平式对喷流结构所造成的问题,采用倾斜式对喷流除尘技术处理硫酸铵和硝酸铵的混合物粉尘,并用正交实验方法分析得出了最优除尘条件和该条件下的除尘效率,找到了对除尘效率影响最大的因素,并通过实验观察倾斜式对喷流结构对避免上述问题的有效性。

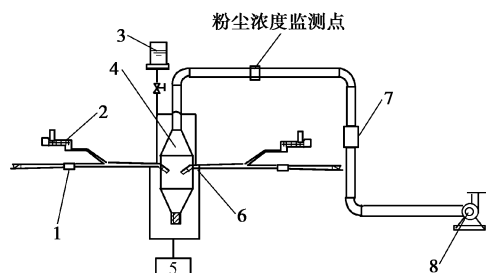
1 实验部分

1.1 材料及仪器

实验采用电子束脱硫、脱硝的副产物硫酸铵和硝酸铵的混合物,经堆积放置后粒径有所增大,55%的粒径分布在 $10 \sim 60 \mu\text{m}$,40%的在 $60 \sim 100 \mu\text{m}$,5%是大于 $100 \mu\text{m}$ 或小于 $10 \mu\text{m}$ 。选择这样的粒径分布主要是因为对喷流除尘器的收集粒径范围为大于 $10 \mu\text{m}$ 的粉尘。

实验仪器主要有:自行设计的微型螺杆加料机(步进电机驱动,带变频器调节加料量,加料精度 $\pm 0.2 \text{ kg/h}$);HTD-12-1 型引风机(风流量 $12 \text{ m}^3/\text{min}$,压头 6.89 KPa ,配变频器调节喷嘴风速);自行设计的雾化喷嘴;美国 ESC 型 P-5 烟尘监测仪(最低粉尘浓度为 $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$);LGW 型标准文丘里管流量计($DN = 150 \text{ mm}$ 和 $DN = 80 \text{ mm}$,压头 0.25 MPa)。

1.2 装置及流程



1,7—文丘里流量计;2—微型螺杆加料机;3—水箱;
4—对喷流除尘器;5—小型气泵;6—雾化水喷嘴;8—引风机

图 2 实验流程图

实验流程如图 2 所示,对喷腔 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$,喷嘴 $\Phi = 60 \text{ mm}$,出风口 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$,出灰口 $\Phi = 60 \text{ mm}$,雾化水喷嘴 $\Phi = 2 \text{ mm}$,加料口 $\Phi = 50 \text{ mm}$ 。

1.3 测试方法及原理

实验采用的是 2 个参数相同的微型螺杆加料机,但由于安装误差,加料量可能不一致。因此,实验前须调节 2 电机的转速来标定 2 进口管的加料量,使其加料量的不平衡率小于 5%,根据文丘里管流量计所测得的 2 进口管的风量来调节阀门,使风量不平衡率小于 5%。

通过变频电机控制风机的转速来控制喷嘴风速,含尘浓度通过加料量来控制,耗水量由水箱出口处的阀门控制,喷嘴间距通过螺纹联接的活动喷嘴调节,倾斜角度通过更换已做好相应角度的喷嘴调节。润湿含尘气流采用小型气泵压缩空气,通过超音速喷嘴形成高速气流,诱导水箱中的水进行雾化。

喷嘴风速由出口处的文丘里流量计所测流量平分到 2 喷嘴后再反算喷嘴风速,因为加料和雾化水都有可能增加气体的流量;含尘浓度由固定时间内的加料量除以流经喷嘴的风量而得;耗水量由称重法而得;除尘效率则采取在固定时间内收集到的粉尘除以这段时间内的加料量并与烟尘检测仪所测结果相比较,保证 2 个值的误差小于 5%。实验过程中采用单因素调节法操作,并分析各参数对除尘效率的影响。

2 结果与讨论

2.1 正交实验设计

根据倾斜式对喷流除尘技术收集硫酸铵和硝酸铵混合物粉尘的实验条件,采用正交表 $L_{16}(4^5)^{[9]}$ 安排实验,实验选取影响除尘效率的 5 个主要因素:喷嘴速度(A)、含尘浓度(B)、喷嘴间距(C)、倾斜角度(D)和雾化水润湿含尘气流的耗水量(E),对每个因素各作 4 个水平考察,如表 1 所示。

表 1 5 个影响因素及相应的水平

水平	因素				
	喷嘴速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	含尘质量浓度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	喷嘴间距/ m	倾斜角度/ $^{\circ}$	耗水量/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
1	20	0.2	0.1	0	0.00
2	26	0.4	0.2	20	0.10
3	30	0.6	0.3	30	0.21
4	35	0.8	0.4	40	0.30

根据正交实验相关原理安排实验,实验次数、实验条件、除尘效率及数据分析如表2所示。

表2 对喷流除尘效率影响因素的正交实验及分析 $L_{16}(4^5)$

实验编号	因素					除尘效率/%
	喷嘴速度/ $m \cdot s^{-1}$	含尘质量浓度/ $kg \cdot m^{-3}$	喷嘴间距/ m	倾斜角度/ $(^\circ)$	耗水量/ $kg \cdot kg^{-1}$	
1	20	0.2	0.1	0	0.00	48.65
2	20	0.4	0.2	20	0.10	80.17
3	20	0.6	0.3	30	0.21	88.46
4	20	0.8	0.4	40	0.30	85.20
5	26	0.2	0.2	30	0.30	86.13
6	26	0.4	0.1	40	0.21	89.37
7	26	0.6	0.4	0	0.10	79.43
8	26	0.8	0.3	20	0.00	74.61
9	30	0.2	0.3	40	0.10	78.60
10	30	0.4	0.4	30	0.00	72.86
11	30	0.6	0.1	20	0.30	84.25
12	30	0.8	0.2	0	0.21	80.36
13	35	0.2	0.4	20	0.21	76.76
14	35	0.4	0.3	0	0.30	78.37
15	35	0.6	0.2	40	0.00	78.18
16	35	0.8	0.1	30	0.10	76.54
K_1	3.0248	2.9132	2.9945	2.8881	2.7525	$\sum 1263$
K_2	3.2954	3.2197	3.2639	3.1637	3.1598	
K_3	3.1807	3.3087	3.2144	3.2503	3.3653	
K_4	3.1242	3.1835	3.1523	3.3250	3.3475	
k_1	0.7562	0.7283	0.7486	0.7215	0.6881	
k_2	0.8239	0.8049	0.8160	0.7909	0.7900	
k_3	0.7952	0.8272	0.8036	0.8126	0.8413	
k_4	0.7811	0.7959	0.7881	0.8313	0.8369	
极差	0.0677	0.0989	0.0673	0.1097	0.1532	
最优方案	A_2	B_3	C_2	D_4	$E_3(0.21$	96.8
	(26 m/s)	(0.6 kg/m ³)	(0.2 m)	(40 $^\circ$)	kg/kg)	

2.2 结果与讨论

为了更清楚地考察各因素对除尘效率的影响,将除尘效率的平均值(k_1, k_2, k_3, k_4)随各因素4个水平的变化情况用图3表示出来。从图3中可以看出除尘效率与各因素的关系。

除尘效率随喷嘴风速的增加而增大,但当喷嘴

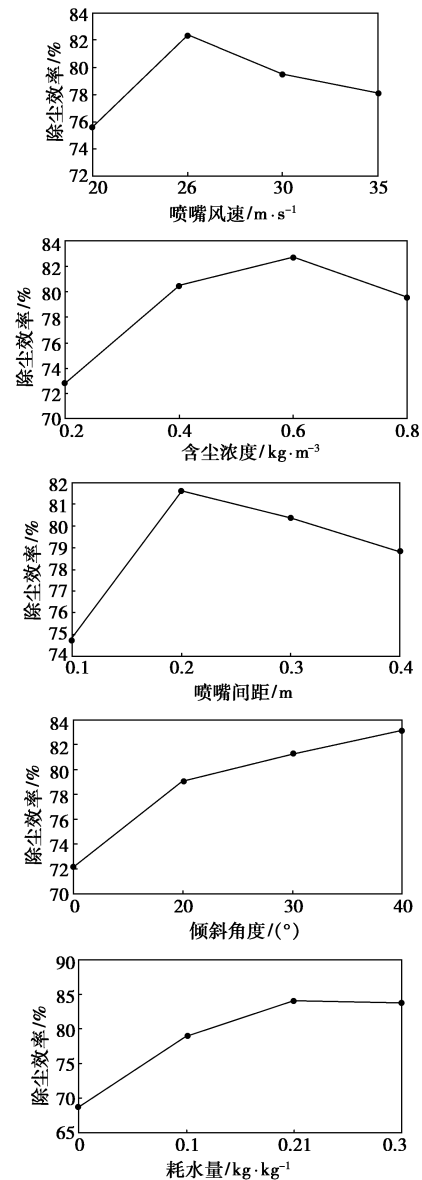


图3 各因素水平变化对实验结果影响的趋势

风速超过 26 m/s 后,由于粉尘颗粒在相互碰撞之后还未来得及团聚,就已被气流带走而使除尘效率降低;除尘效率随含尘浓度的增加而增大,但超过 0.60 kg/m³ 后,会由于对喷腔分离能力不足,而使部分粉尘颗粒并未在撞击区形成来回振荡就已被气流带出而导致效率下降;除尘效率随喷嘴间距的增加而增大,当间距为 0.20 m 时的除尘效率最高,大于或小于该值会减弱粉尘颗粒在撞击区来回振荡,减小团聚效应从而导致除尘效率的降低;除尘效率随倾斜角度的增加而增大,因为倾斜式喷嘴增加了粉尘颗粒在撞击区的停留时间,有利于粉尘颗粒之间的相互碰撞和团聚;除尘效率随雾化水润湿含尘气流耗水量的增加而增大,但超过 0.21 kg/kg(粉尘)后除尘效率并没有显著变化,主要是由于粉尘颗

粒的吸水能力是一定的,超过最优水量后再增加水量对除尘效率并不会太大影响。

由各因素的总趋势可以看出,最优实验条件:喷嘴风速 26 m/s、喷嘴间距 0.2 m、含尘浓度 0.60 kg/m³、倾斜角度 40°、润湿含尘气流耗水量 0.21 kg/kg 粉尘。

从表 2 还可以看出,最优实验条件为: A₂、B₃、C₂、D₄、E₃,与上面理论讨论的结果一致。从表 2 中的极差分析可知,因素 E 润湿含尘气流是除尘效率最主要的影响因素。该因素在取第 3 水平(0.21 kg/kg 粉尘)时除尘效率最高;其次是因素 D 和 B,分别取第 4 水平(40°)和第 3 水平时除尘效率最高;第三是因素 A,取第 2 水平(26 m/s)时除尘效率最高;对除尘效率影响最小的是因素 C,取第 2 水平(0.2 m)时除尘效率最高。但由于该方案不在已做过的 16 个实验中,为此按此方案进行了实验,结果表明该条件下的除尘效率最高可达 96.8%,比前面已做的任一组实验的除尘效率都高,说明该方案的确是最佳除尘条件。

由于最优方案中的倾斜角度是最高的,为考察耗水量更多情况下的除尘效率,又做了 2 次实验(倾斜角度分别为 50°和 60°),喷嘴风速、喷嘴间距、含尘浓度和润湿含尘气流耗水量分别为 26 m/s、0.2 m、0.5 kg/m³ 和 0.21 kg/kg(粉尘),实验所得的除尘效率分别为 96.5% 和 97.2%,与最优方案下的除尘效率并没有显著的变化。这主要是因为倾斜式对喷流结构增大了粉尘颗粒在撞击区的停留时间,有利于粉尘颗粒在撞击区来回振荡和相互团聚,但对喷腔的分离能力有限,当喷嘴倾斜角度大于极限值时,对喷腔并不能再增加 2 股含尘气流中粉尘颗粒的碰撞和团聚效应,因而除尘效率并不会显著的变化。这也更进一步证实了上面所得的最优方案是最佳除尘条件,用正交实验法来确定最佳除尘条件是可行的。

3 结语

(1)倾斜式结构能有效避免由于水平式对喷流结构而造成的粉尘颗粒黏附在喷嘴对面器壁上的问题。

(2)实验证明用正交实验方法确定最佳除尘条件是可行的,实验确定的最佳除尘条件为:喷嘴风速 26 m/s、含尘质量浓度 0.60 kg/m³、喷嘴间距 0.2 m、倾斜角度 40°、润湿含尘气流耗水量 0.21 kg/kg(粉尘),该最佳除尘条件下的除尘效率最高可达 96.8%。

(3)实验还证明对除尘效率影响最大的因素是雾化水润湿含尘气流和倾斜角度,能使除尘效率增加 10% ~ 15%,可利用此特性进一步拓展对喷流除尘技术的应用领域。

参考文献

- [1] Tamir A. 撞击流反应器:原理和应用[M]. 伍沅,译. 北京:化学工业出版社,1996:2-3.
- [2] Elperin I T. Heat and mass transfer in opposing currents[J]. Energy Physics, 1961(6):62-68.
- [3] Elperin I T. Transport process in opposing jets[M]. Minsk: Naykai Tekhnica, 1972.
- [4] Lainer A I, Israfilov T D, Elperin I T, et al. Study of counterflow trapping of alunite dust[J]. The Soviet Jour of Non-Ferrous, 1975, 48:43-45.
- [5] Lainer A I, Lainer Y A, Elperin I T, et al. Investigation of the process of trapping of roasted and reduced aluminium-oxide dust in impinging jets[J]. Izvestia Vyshich Uchebnich Zaveden, Non-Ferrous Metallurgy, 1975(6):51-53.
- [6] Berman Y L, Tamir A. Experimental investigation of phosphate dust collection in impinging stream[J]. Canadian Journal of Chemical Engineering, 1996, 74(6):817-821.
- [7] Berman Y L, Tamir A. Coalescence model of particles in coaxial impinging stream[J]. Canadian Journal of Chemical Engineering, 1996, 74(6):822-833.
- [8] Berman Y L, Tamir A. Kinetics of droplets' sedimentation in a continuous gravity settler[J]. Chemical Engineering Science, 2003, 58(10):2089-2102.
- [9] 陈魁. 实验设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社,1995. ■

巴斯夫开发特殊聚合物

德国巴斯夫公司(BASF)成立了特殊聚合物事业部,集中精力开发诸如 Luran S ASA, Terblend N 以及 Terluc 透明 ABS 等特殊聚合物。该事业部是巴斯夫公司苯乙烯聚合物业务集团的一部分,其目标是结合大规模的生产与快速的市场反应等优点为一体。

巴斯夫公司负责塑料和纤维业务的约翰费曼先生指出,该事业部成立后,将致力于建立和加强其有关业务,

使其达到世界级的规模。当务之急是加快 Luran S 的开发和应用,这是一种适用于汽车领域的丙烯腈/苯乙烯/丙烯腈共聚物(ASA),巴斯夫希望把这种塑料应用于建筑方面,比如门窗、雨水槽、屋顶瓦片等产品。Terblend N 是一种聚酰胺/ABS 合金,巴斯夫公司称这种材料最适于代替 PC/ABS 合金,而 Terluc 是该公司生产的透明 ABS。