

喷吹管对滤袋清灰性能的影响

吕娟, 颜翠平*, 付瑜, 陈海焱

西南科技大学环境与资源学院, 绵阳 621000

摘要 为了探究喷吹管开孔个数和开孔位置对长滤袋($\phi 160\text{ mm} \times 6\text{ 000 mm}$)清灰效果的差异,在自建脉冲喷吹实验台上,利用 QSY8135 压电式压力传感器,测试喷吹压力 0.1~0.4 MPa,喷吹孔数 4~8 个时,不同开孔位置沿滤袋方向的侧壁压力。结果显示:脉冲喷吹压力 0.2 MPa 下的电磁阀一次喷吹实际耗气量是脉冲喷吹压力 0.1 MPa 的 1.23 倍,沿滤袋方向的平均侧壁压力是 1.68 倍,0.2 MPa 的标准差为 0.418 3,脉冲喷吹压力 0.3 MPa 下的电磁阀一次喷吹实际耗气量是喷吹压力 0.1 MPa 的 1.48 倍,沿滤袋方向的平均侧壁压力是 2.34 倍,0.3 MPa 的标准差为 2.430 4,得到本实验条件最佳喷吹压力 0.2 MPa;喷吹压力 0.2 MPa,当开孔个数不同时,沿喷吹管方向靠近电磁阀的第二个喷吹孔沿滤袋方向平均侧壁压力最小,开孔位置中最远离脉冲阀的孔沿滤袋方向平均侧壁压力最大,最小的侧壁压力是最大侧壁压力的 0.539 倍,当开孔数为 8 个,标准差 0.170 5,值最小,清灰均匀性最好。对长滤袋喷吹管上开孔个数和喷吹位置的研究为袋式除尘器喷吹系统的改进和设计提供理论依据。

关键词 长滤袋;喷吹管;清灰性能;清灰均匀性

中图分类号 X964 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2017)03-1667-05 DOI 10.12030/j.cjee.201511154

Influence of injection pipe on dust-cleaning performance of bag filter

LYU Juan, YAN Cuiping*, FU Yu, CHEN Haiyan

School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China

Abstract The difference between the number and opening positions of blowing tubes on cleaning performance for long filter bags ($\phi 160\text{ mm} \times 6\text{ 000 mm}$) was investigated. Piezoelectric pressure transducers (model QSY8135) were used to test the peak pressure along the length of the filter bag for different opening positions of blowing tubes when the pulse pressure was in the range from 0.1 to 0.4 MPa and the number of blowing tubes was 4 to 8. The experimental results show that the actual compressed-air consumption of electromagnetic valves and the average wall pressure under a pulse pressure of 0.2 MPa were 1.23 and 1.68 times those at 0.1 MPa, respectively, with a standard deviation of 0.418 3. The actual compressed air consumption of electromagnetic valves and average wall pressure under a pulse pressure of 0.3 MPa were 1.48 and 2.34 times those at 0.1 MPa with a standard deviation for 0.2 MPa of 2.430 4. It was concluded that the optimum pulse pressure was 0.2 MPa for different numbers of blowing tubes, whereas the average wall pressure of the second blowing hole (near the magnetic valve) is the lowest and the average wall pressure of the blowing hole farthest from the pulse valve is the highest. The minimum wall pressure was 0.539 times the maximum wall pressure. When the number of blowing holes was eight, the standard deviation was smallest (0.170 5), and uniformity was the best configuration. The study of the number and opening positions of blowing tubes provides a theoretical basis for improvement and design of bag filter injection systems.

Key words long filter bag; blowing tube; cleaning performance; ash removal uniformity

清灰装置是脉冲袋式除尘器的核心部件,喷吹管各喷口喷吹气流均匀性直接关系到清灰效果的优劣,影响到袋式除尘器的设备阻力和滤袋寿命。因而,清灰装置喷吹均匀性问题越来越受关注^[1-4]。王鹏等^[5]针对脉冲袋式除尘器喷吹管各个喷口流量分布不均匀引起的除尘效率下降问题,用数值模拟和流量

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51508481)

收稿日期:2015-11-20;录用日期:2015-12-29

第一作者:吕娟(1992—),女,硕士研究生,研究方向:粉体设备与工业通风除尘技术。E-mail:980106957@qq.com

*通信作者,E-mail:13795774342@139.com

修正的方式对喷吹管的喷口进行了优化设计,但文中并未在实际中加以验证。陈志炜^[6]采用数值模拟方法对几种工程中常用的喷吹管的喷吹均匀性进行了验算,并结合工程实际给出了均匀性较理想的喷吹管喷嘴孔径,但文中并没有得出不同位置的滤袋的压力分布的规律,且实验是在模拟得出的,没有在实际中验证。

为了改善和提高滤袋的清灰效果,近些年来,国内外大量学者就袋式除尘器脉冲清灰的设计方面做了大量研究。SIEVERT 等^[7]研究表明,滤袋清灰时,不是滤料加速度产生的力起主要作用,而是反吹气流起主要作用,并提出粉饼的掉落与滤袋内部的压力峰值有关。YAN 等^[8]和 LO 等^[9]指出,滤筒内壁所受脉冲压力越大,清灰效果就越好。郝文阁等^[10]和 MAO 等^[11]研究表明,在向袋内注入清灰气流时,形成的反向气流风速分布直接影响整个滤袋的气流均匀程度。以上研究表明侧壁压力峰值是表征滤袋脉冲清灰机理的最常用指标。

本实验以最大侧壁压力峰值作为清灰强度的评价指标。HUMPHRIES 等^[12]研究发现,滤袋内存在一个最小的脉冲压力大约 300 Pa,可以将滤袋上附着的粉尘清除掉大约 60%,当增加脉冲压力使其超过该最小值,粉尘脱落量仅略微增加;LU 等^[13-15]发现,对于粉煤灰颗粒,清灰平均超压是 500 ~ 600 Pa,考虑到工程应用的多样性,本实验认为沿滤袋的压力 600 Pa,可以达到清灰效果。本次实验通过测试喷吹管上开孔个数 4 ~ 8 个,喷吹压力 0.1 ~ 0.4 MPa,不同开孔数量、开孔位置沿滤袋方向、沿喷吹管方向的侧壁压力,旨在探索喷吹过程中开孔个数和开孔位置对滤袋清灰性能的影响关系,为改进除尘器设计提供参考。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验采用的脉冲喷吹实验装置如图 1 所示,该实验装置主要由 2 部分组成:数据采集系统, QSY8135 压电式压力传感器、MCA-01 电荷放大器、SXC-8A1 型脉冲控制仪,0.25 级 YB-150A 型精密压力表(安装于气包上),数据采集仪、上海袋式除尘配件有限公司提供的 DMF-Y-50s 淹没式电磁脉冲阀;数据处理系统(计算机数据处理系统)及配件。具体结构参数为 $\phi 160\text{ mm} \times 6\text{ 000 mm}$ 涤纶针刺毡滤袋,带有 200 mm 的文丘里,过滤面积 3 m^2 ,脉冲宽度 100 ms,喷吹距离 200 mm,喷吹压力 0.1 ~ 0.4 MPa,气包容积 $13.2 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ 。

1.2 实验方法和目的

考虑到设置密集传感器其本身自重会影响滤袋的运动规律,本实验选择 7 个高精度的压力传感器测试滤袋的侧壁压力峰值。为了避免气流偏斜对滤袋的影响,在滤袋口安装 200 mm 的文丘里。测点位置设计在距滤袋顶部 400、1 000、2 100、3 500、4 300、5 100 和 5 900 mm。滤袋侧壁压力信号由电荷放大器放大,传给数据采集仪并由计算机同步记录,数据采集卡采样率 1 kHz。每组实验重复 8 次,求取平均值。

根据研究人员^[16-20]的实验研究结果以及工程应用可知, $\phi 160\text{ mm} \times 6\text{ 000 mm}$ 规格的滤袋在喷吹距离为 200 mm 时的清灰效果比较好,故本实验所选用的设计方案和操作参数如下:喷吹管径 50 mm,长 2 000 mm,喷吹直径选取 16 mm,开孔 4 ~ 8 个,其间距 200 mm;喷吹压力选取 0.1 ~ 0.4 MPa;喷吹距离:200 mm。测试比较在不同喷吹孔数在不同喷吹位置上侧壁压力峰值变化。

2 结果与讨论

2.1 喷吹压力与侧壁压力峰值的关系

采用淹没式脉冲电磁阀的长滤袋除尘器喷吹压力一般选择低压,即 0.1 ~ 0.4 MPa。喷吹孔数为 6

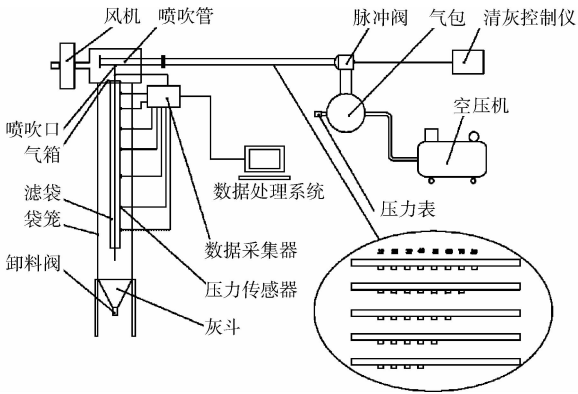


图 1 脉冲喷吹实验装置

Fig. 1 Schematic diagram of pulse-jet experimental equipment

个,喷吹位置 6[#]孔,侧壁压力峰值与喷吹压力的关系如表 1 所示。

表 1 侧壁压力峰值与喷吹压力的关系

Table 1 Relationship between the peak pressure and the injection pressure

喷吹压力/ MPa	各喷吹压力下的侧壁压力峰值/Pa								
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	平均值	标准差
0.1	1 701.4	1 024.4	429.1	677.8	596.6	592.8	697.6	817.1	0.397 8
0.2	2 834.8	1 983.9	667.6	1 110.1	970.6	961.5	1 083.4	1 373.13	0.418 3
0.3	4 368.3	2 893.3	822.7	1 506.6	1 215.1	1 209.1	1 404.8	1 917.13	2.430 4
0.4	6 019.2	4 413.1	1 071.6	1 763.3	1 456.9	1 464.2	1 704.3	2 556.09	1.748 6

如表 1 所示,0.1~0.4 MPa 下沿滤袋方向平均侧壁压力 817.1~2 556.09 Pa,沿滤袋方向上侧壁压力随喷吹压力的增大而增大,这与其他研究者^[8,16-20]的结果一致。各测点均达到了有效清灰强度要求;但 0.4 MPa 喷吹压力下,测点 1 峰值达到 6 019.2 Pa,根据王沁淘等^[20]的研究发现,耐高温材料(氟美斯)达到 5 282 Pa 时,会造成滤袋轻微磨损,当其达到 7 014 Pa 以上时,滤袋严重破损。因此,在本实验条件下,根据前人的研究结果与本实验研究结果,6 m 长滤袋的清灰宜选择 0.1~0.3 MPa 的喷吹压力。

在实际工程运用中,要提高压缩空气的压力就必须额外投入设备,另外,在相同脉冲阀开启时间的条件下,压缩空气的喷吹压力越高,消耗的气量也就越大,从而增加设备的运行费用,本实验通过测试脉冲喷吹前后气包内的绝对压力,利用文献公式计算电磁阀一次喷吹实际耗气量。

$$Q_p = \frac{P_0 V}{P_a} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{1}{K}} \right]$$

(1)

式中: Q_p 为电脉冲时间 t 内脉冲阀每阀次脉冲气量, $\text{m}^3 \cdot \text{次}^{-1}$; P_0 为喷吹前气包内的绝对压力,MPa; P_1 为喷吹后气包内的绝对压力,MPa; P_a 为当地的标准大气压力,绵阳为 0.103 25 MPa; V 为气包容积, $13.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; K 为绝热指数,对空气 $K=1.4$ 。

表 2 表明电磁阀 1 次喷吹耗气量随着喷吹压力的增加而增大,从而增加了清灰成本。0.4 MPa 的耗气量是 0.1 MPa 的 1.83 倍,这和巨敏等^[21]的测试结果基本一致。可见,采用提高喷吹压力来提高清灰强度的方式并不具经济性。比较 0.1~0.3 MPa 的清灰能耗和清灰效果,0.2 MPa 下的耗气量是 0.1 MPa 的 1.23 倍,平均侧壁压力达到了 1.68 倍,0.3 MPa 下的耗气量是 0.1 MPa 的 1.48 倍,平均侧壁压力达到了 2.34 倍。决定清灰效果优良的另一重要因素是均匀性,而标准差是用来衡量一组数据偏离平均数的大小的指标,其衡量数据的稳定性,方差与标准差越大,说明数据的波动越大,越不稳定,在本实验中用标准差来表示清灰均匀性。0.2 MPa 的标准差为 0.418 3,0.3 MPa 的标准差为 2.430 4,综合考虑,本系统喷吹压力选择 0.2 MPa。

2.2 侧壁压力峰值与开孔数量、喷吹位置的关系

采用淹没式脉冲电磁阀,脉冲喷吹压力 0.2 MPa。当喷吹距离 200 mm,沿滤袋上的侧壁压力峰值的平均值随喷吹个数的变化如图 2 所示。

图 2 是喷吹压力 0.2 MPa 的不同喷吹个数沿滤袋方向的平均压力与喷吹位置的关系曲线,当开孔数为 4~8 个时,2[#]孔位置的平均侧壁压力最小,开孔位置中最远离脉冲阀的侧壁压力峰值最大。开孔数为 4 个时,2[#]孔的平均侧壁压力是 4[#]孔的 0.613 倍;开孔数为 5 个时,2[#]孔的平均侧壁压力是 5[#]孔的 0.417 倍;开孔数为 6 个时,2[#]孔的平均侧壁压力是 6[#]孔的 0.551 倍;开孔数为 7 个时,2[#]孔的平均侧壁压力是 7[#]孔

表 2 不同喷吹压力下电磁阀 1 次喷吹实际耗气量

Table 2 Actual air consumption of one injection of electromagnetic valve under different injection pressure

喷吹压力/MPa	喷吹后气包压力/ MPa	耗气量/ m^3 (标准状态)
0.1	0.02	8.07×10^{-3}
0.2	0.10	9.96×10^{-3}
0.3	0.18	11.87×10^{-3}
0.4	0.25	14.84×10^{-3}

的 0.536 倍;开孔数为 8 个时,2[#]孔的平均侧壁压力是 8[#]孔的 0.58 倍;可以得出不同的开孔位置下最小的侧壁压力是最大侧壁压力的 0.539 倍。但不同喷吹孔数沿滤袋平均侧壁压力随喷吹位置的变化趋势一致,皆表现为远离脉冲阀的滤袋平均侧壁压力大于靠近脉冲阀的滤袋的平均侧壁压力。因为远离脉冲阀的滤袋触及清灰能量的时刻早于靠近脉冲阀的滤袋,当脉冲阀迅速开启,压缩气体在瞬间被释放后,在喷吹管内高速流动。在这种状态下,气体的能量主要表现为动压,作用方向与流动方向相同,此时,对于气流侧面的喷吹管壁没有压力作用,而且在气流的前锋过去后,会产生一个短暂的负压当气流到达喷吹管的末端时,动压转换为静压,产生了对于管壁的正压,气流开始从喷口喷出。位于喷吹管末端的滤袋清灰时,喷吹管内压力最高,而当位于喷吹管起始端的滤袋清灰时,压力已经衰减,这与陈志炜^[6]的模拟结果基本一致。

喷吹压力 0.2 MPa,开孔数为 4~8 个,不同位置长滤袋的平均侧壁压力均达到清灰要求。对于 1[#]孔在开孔数 6 个的平均侧壁压力开始减小,对于 2[#]~3[#]孔在开孔数 7 个的平均侧壁压力开始减小,对于 4[#]~5[#]开孔数 5 个的平均侧壁压力开始减小,对于 7[#]孔从开孔 7 个减小,从以上描述可以得出在开孔个数 9 个,1[#]、2[#]、3[#]孔时侧壁压力峰值小于 600 Pa,以本实验清灰的标准,开孔个数 9 个时达不到清灰效果。

从表 3 中可以看出,开孔数为 8 个,其标准差(0.170 5)最小,考虑清灰的均匀性,本系统选择喷吹个数为 8 个。脉冲喷吹实验中在满足清灰要求的前提下,开孔个数越多均匀性越好。

2.3 侧壁压力峰值沿长滤袋方向的变化规律

如图 3 所示,喷吹压力 0.2 MPa,开孔数 8 个,沿滤袋方向上测点 1~7(8 个喷吹孔平均值)的变化规律。可知沿滤袋方向上侧壁压力的变化规律相同,在测点 1 位置时最大,沿滤袋方向逐渐减小,在测点 4 位置时又略微升高。这是由于压缩空气及诱导气流进入滤袋后迅速向下运动,随着喷吹气流泄漏和运动压力损失,侧壁上的压力逐渐减小,到达底部后会有一个冲击和返流,从而使滤袋底部的压力值增大。但这种返流作用比起在短滤袋上更弱,返流气流仅仅作用于下部位置。

3 结论

1)脉冲喷吹压力 0.2 MPa 的电磁阀一次喷吹实际耗气量是脉冲喷吹压力 0.1 MPa 的 1.23 倍,沿滤袋方向的平均侧壁压力是 1.68 倍,脉冲喷吹压力 0.3 MPa 的电磁阀一次喷吹实际耗气量是喷吹压力 0.1 MPa 的 1.48 倍,沿滤袋方向的平均侧壁压力是 2.34 倍,0.2 MPa 的标准差为 0.418 3,0.3 MPa 的标准差为 2.430 4,本实验条件下最佳喷吹压力 0.2 MPa。

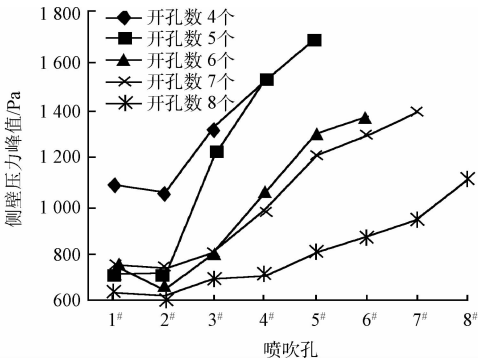


图 2 不同开孔个数随侧壁压力峰值的变化图

Fig.2 Peak pulse pressure under different number of blowing tube

表 3 不同开孔个数的标准差
Table 3 Standard deviation under different number of blowing tube

开孔数	标准差
4	0.312 7
5	0.458 0
6	0.302 1
7	0.274 5
8	0.170 5

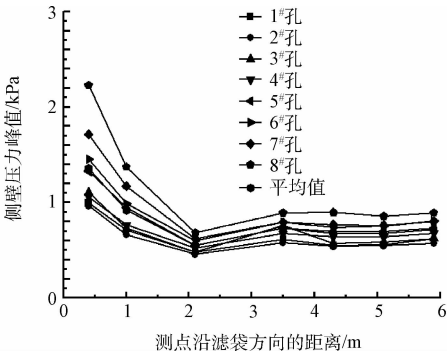


图 3 不同喷吹位置沿滤袋方向上的侧壁压力峰值的变化图

Fig.3 Side wall of peak pressure variation of different blowing position along direction of bag

2) 喷吹压力 0.2 MPa, 开孔个数 4~8, 滤袋方向平均侧壁压力随喷吹位置的变化趋势, 2[#]孔的沿滤袋方向平均侧壁压力最小, 开孔位置中最远离脉冲阀的侧壁压力最大, 不同的开孔位置下最小的侧壁压力峰值是最大侧壁压力峰值的 0.539 倍, 远离脉冲阀的滤袋触及清灰能量的时刻早于靠近脉冲阀的滤袋。

3) 喷吹压力 0.2 MPa, 开孔数为 4~8 个, 不同位置长滤袋的平均侧壁压力峰值均达到清灰要求。开孔数 8 个时其标准差最小, 结合清灰均匀性得出开孔数为 8 个, 清灰均匀性最好。

参考文献

- [1] 吴利瑞. 滤筒式除尘器的性能研究及经济分析[D]. 上海: 同济大学, 2002
- [2] MORRIS W J. Cleaning mechanisms in pulse jet fabric filter[J]. Filtration and Separation, 1984, 21(1): 50-54
- [3] DENNIS R, WILDER J E. Fabric filter cleaning studies[R]. EPA/650/2-75-009. Washington DC: US Environmental Protection Agency, 1975
- [4] SALEEM M, KRAMMER G. Effect of filtration velocity and dust concentration on cake formation and filter operation in a pilot scale jet pulsed bag filter[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 144(3): 677-681
- [5] 王鹏, 杨青真, 未军光, 等. 脉冲袋式除尘器匀流喷吹管设计研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(8): 2062-2066
- [6] 陈志炜. 脉冲袋式除尘器喷吹均匀性探讨[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(4): 16-17
- [7] SIEVERT J, LÖFFLER F. Fabric cleaning in pulse-jet filters[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 1989, 26(2): 179-183
- [8] YAN Cuiping, LIU Guijian, CHEN Haiyan. Effect of induced airflow on the surface static pressure of pleated fabric filter cartridges during pulse jet cleaning[J]. Powder Technology, 2013, 249: 424-430
- [9] LO L M, HU S C, CHEN Daren, et al. Numerical study of pleated fabric cartridges during pulse-jet cleaning[J]. Powder Technology, 2010, 198(1): 75-81
- [10] 郝文阁, 周春林, 石伟, 等. 袋式除尘器多段脉冲清灰技术的研究[J]. 工业安全与环保, 2007, 33(1): 12-13
- [11] MAO Ning, OTANI Y, YAO Yuping, et al. Modeling the filtration process with a flat-type fabric filter[J]. Advanced Powder Technology, 2006, 17(3): 237-256
- [12] HUMPHRIES W, MADDEN J J. Fabric filtration for coal-fired boilers: Dust dislodgement in pulse jet filters[J]. Filtration and Separation, 1983, 20(1): 40-44
- [13] LU H C, TSAI C J. Numerical and experimental study of cleaning process of a pulse-jet fabric filtration system[J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30(11): 3243-3249
- [14] LU H C, TSAI C J. A pilot-scale study of the design and operation parameters of a pulse-jet baghouse[J]. Aerosol Science and Technology, 1998, 29(6): 510-524
- [15] LU H C, TSAI C J. Influence of design and operation parameters on bag-cleaning performance of pulse-jet baghouse[J]. Journal of Environmental Engineering, 1999, 125(6): 583-591
- [16] 张一帆, 陈海焱, 郑娟, 等. 滤袋的脉冲喷吹清灰试验研究[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(3): 30-34
- [17] 林莉君, 陈海焱, 周喜, 等. 脉冲喷吹滤筒除尘器清灰性能的实验研究[J]. 暖通空调, 2009, 39(4): 148-151
- [18] 杨迪, 陈海焱, 李怀玉. 喷吹压力和脉冲宽度对脉冲喷吹滤筒除尘器清灰效果的影响[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(5): 73-76
- [19] 周奇杰, 陈海焱, 张明星, 等. 脉冲阀喷吹量对滤筒除尘器清灰性能的影响[J]. 暖通空调, 2011, 41(6): 100-105
- [20] 王沁淘, 张明星, 赖小林, 等. 高温滤袋的有效清灰强度[J]. 环境工程学报, 2015, 9(3): 1318-1322
- [21] 巨敏, 张明星, 陈俊东, 等. 滤筒除尘器脉冲清灰动态分析[J]. 环境工程学报, 2013, 7(3): 1091-1094