



脉冲喷吹清灰过程的喷吹气流偏斜影响

刘挺楠, 林龙沅, 颜翠平, 陈海焱

(西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621000)

摘要:为评估喷吹气流偏斜现象对滤筒清灰性能的影响,分别以喷孔式喷口和喷嘴式喷口为研究对象,应用脉冲喷吹实验平台并结合纹影法研究喷吹气流偏斜影响,采用纹影法获取喷口高速气流流场影响区域,对比不同型式和不同孔径的喷口对气流偏斜的影响,采用侧壁压力峰值作为评价指标,测试不同喷口型式的偏斜现象对侧壁压力峰值的影响。结果表明:喷口气流偏斜现象与喷吹压力、喷口孔径成正相关关系,喷吹压力由0.3 MPa升高至0.5 MPa,气流核心区的最大速度由249 m/s增大至381 m/s,水平方向分速度由66 m/s增大至79 m/s,气流偏斜影响区域增大。喷嘴式喷口可以避免脉冲喷吹气流发生偏斜现象,并会增大滤筒侧壁上上部区域的压力峰值,同时改善滤筒侧壁压力峰值分布的均匀性。

关键词: 喷吹气流; 气流偏斜; 脉冲清灰

中图分类号: X964 **文献标志码:** A

文章编号: 1008-5548(2018)04-0077-06

the peak pulse pressure on the side wall of the cartridge was used as the evaluation index to test the influence of airflow deflection on it. The results show that the jet flow deflection is positively related to the jet pressure and the hole diameter. When the jet pressure is increased from 0.3 to 0.5 MPa, the maximum velocity in the air core area increases from 249 to 381 m/s, and the horizontal velocity increases from 66 to 79 m/s, thus the area affected by airflow deflection increases. The injection nozzle can avoid the deflection phenomenon of the pulsed blowing air flow, and it can increase the pressure peak in the upper middle area of the cartridge side wall, and at the same time, it improves the uniformity of the peak pulse pressure distribution on the side wall of the cartridge.

Keywords: jet airflow; airflow deflection; pulse-jet cleaning

Effect of jet airflow deflection in process of pulse-jet cleaning

LIU Tingnan, LIN Longyuan,

YAN Cuiping, CHEN Haiyan

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

Abstract: In order to investigate the influence of jet airflow deflection on the cleaning performance of filter cartridge, with the injection hole and the injection nozzle of the blowing tube as the research objects, the pulse-jet experimental platform and the schlieren method were used. The impact zone of high speed airflow was recorded by the schlieren device. The effects of the injection hole of different types and injection hole at different diameters on the airflow deflection were compared. Meanwhile,

根据我国环境统计年报数据,全国烟(粉)尘排放量1 538万t,其中工业烟尘排放量1 232.6万t,占全国烟尘排放总量的80.1%,因此为了进一步减少烟尘排放总量,开展工业烟尘收集技术和装备的研究具有极为重要的现实意义。在目前工业除尘领域中,常用的粉尘收集装置主要有惯性除尘器^[1]、旋风除尘器^[2]等粗效过滤除尘器和电除尘器^[3]、湿式除尘器^[4]、袋式除尘器^[5]、滤筒除尘器^[6]等高效过滤除尘器。其中作为高效除尘装置,袋式(滤筒)除尘器以除尘效率高、操作简单等优点越来越受到广泛的应用。

袋式除尘器一般由滤袋室和清灰机构两大部分组成,含尘气流在负压或正压的作用下进入至滤袋室,经过过滤,粉尘附着在滤袋的外壁,净气通过滤袋后经排气口排出。为了避免粉尘在滤袋外壁大量的粘附,造成除尘器压力损失过大,每隔一段时间必须对滤袋进行清灰。清灰的方式有振动清灰、反吹清灰、气环反吹清灰、脉冲喷吹清灰等多种方式,其中脉冲喷吹清灰是应用最多的一种清灰方式^[7-9]。脉冲清灰主要是利用压缩空气经喷吹口进入滤袋,压缩空气形成的高速气流引射周围气流一道进入滤袋内部,使得滤袋表面发生抖动,从而实现滤袋表面的清灰。对于如何实现更有效的清灰,学者们分别从影响清灰的结构参数上开展了一系列研究。林龙沅等^[10]、

收稿日期 2017-02-04, 修回日期 2017-05-06。

基金项目 国家自然科学基金项目 编号 51508481,西南科技大学研究生创新基金资助项目 编号 18ycx046。

第一作者简介 刘挺楠(1995—),女,硕士研究生,研究方向为工业通风除尘。E-mail 493120291@qq.com。

通信作者简介 林龙沅(1981—),男,博士,副教授,研究方向为气流粉碎、分级与除尘净化。E-mail 11Ly7572@126.com。

张情等^[11]研究了不同型式的喷口对滤筒清灰效果的影响,探讨不同喷口型式形成的喷吹气流对滤筒侧壁压力的影响。Yan 等^[12]采用气流散射器改善了滤筒上、下部分清灰的均匀性问题。吕娟等^[13]通过优化喷吹压力与喷吹距离等清灰参数来改善 6 m 长滤袋的清灰效果。Qian 等^[14-15]建立了最佳喷吹距离与喷吹孔径的函数关系式,并分析孔管截面积比对滤筒清灰效果的影响的原理。李倩倩等^[16]和 Li 等^[17]阐述了喷吹距离和喷吹压力等清灰参数对滤筒侧壁压力的影响,并对系统清灰前后系统阻力和粉尘残余量进行了实验测试。

综上所述,在滤袋的脉冲喷吹清灰研究领域,学者们做了大量而卓有成效的研究工作,主要围绕喷口型式、喷吹距离、喷吹压力、喷吹孔径以及孔管截面积比等清灰参数对滤袋清灰性能的影响。而在脉冲喷吹清灰过程,当压缩气流通过喷吹管上的喷口喷出时,由于运动惯性,高速气流不可避免地都会发生偏斜现象,喷吹气流偏斜将影响滤袋侧壁清灰的均匀性,而在现有的研究文献和除尘器清灰设计的相关规范中,并没有涉及相关的喷吹气流偏斜的影响说明。这可能主要是因为由于脉冲喷吹气流时间短、速度大,难以被观测和测试,针对该问题,根据脉冲喷吹气流在高速流动过程中密度会发生急剧变化的特点,采用纹影法,应用自建的脉冲喷吹实验平台,研究喷吹气流偏斜现象以及气流偏斜对滤筒清灰性能的影响。

1 实验

1.1 平台

脉冲喷吹实验平台示意图如图 1 所示,该平台主要包括 3 个部分,即供气装置、清灰装置和采集装置。其中供气装置主要包括 WW-0.9/10B-Q 型全无油润滑空气压缩机、储气罐和气包;清灰装置包括 DMF-ZM-25 直角型电磁脉冲阀、SXC-8A1 型脉冲控制仪;直径为 147 mm,长度为 1 000 mm 的滤筒;直径为 25 mm 喷吹管 3 根;每根喷吹管设置不同型式的喷口,可分为喷孔式喷口与喷嘴式喷口。喷孔式喷口直径大小分别为 20、8 mm,喷嘴式喷口直径为 8 mm,具体喷口型式示意图如图 2 所示。采集装置包括 QSY8115 型压电式压力传感器、QSY-7709 型电荷放大器、QSY-USB-8512E 便携式数据采集仪、计算机等。为了测量偏斜喷吹气流对滤筒迎流区域、中间区域和背流区域清灰压力的影响,在滤筒的迎流方位、中间方位和背流方位共布置 9 个测点,如图 3 所示。测点距离(测点到滤袋口的距离)分别为 200(上测点)、500(中测点)、900 mm(下测点)。

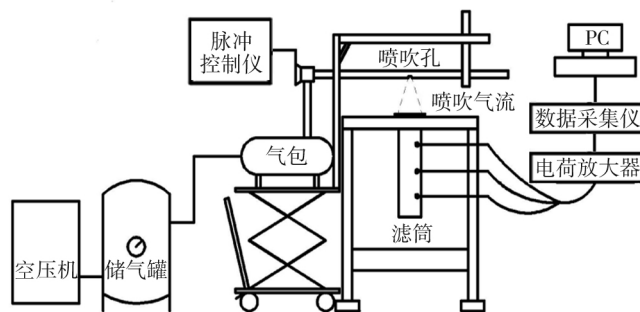


图 1 脉冲喷吹实验平台示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pulse-jet experimental platform

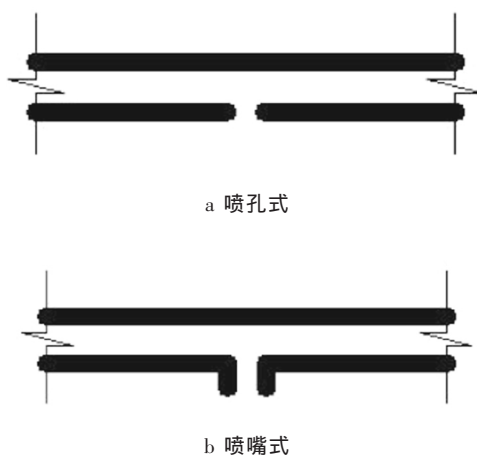


图 2 喷口型式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of different types of jet hole

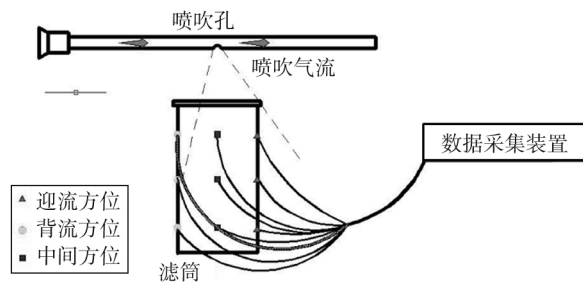


图 3 滤筒测点布置图

Fig. 3 Location of measuring points on filter cartridge

1.2 方法

纹影法是一种常用的光学观测方法,在力学实验中应用较多,其原理是利用光在被测流场中的折射率梯度正比于流场的气流密度的原理,将流场中密度梯度的变化转变为记录平面上相对光强的变化。在本实验中,由于压缩气流自喷口高速喷出,气流密度变化较大,因此采用纹影法能够拍摄出喷口高速气流的偏斜现象。图 4 为纹影法光路原理。

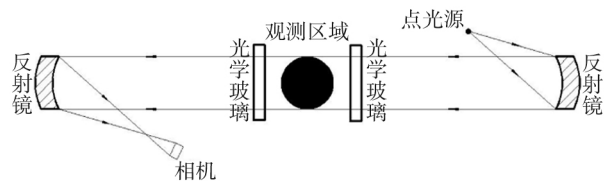


图 4 纹影法光路原理

Fig. 4 Optical path principle of schlieren method

本实验中采用侧壁压力峰值作为清灰性能的评价指标,采用纹影仪作为喷吹气流偏斜的拍摄手段。喷吹压力为 0.3~0.6 MPa,喷吹距离为 120~180 mm。脉冲宽度为 0.08 s。通过空气压缩机自动启停和手动调节减压阀来控制喷吹压力,喷吹距离由升降台自由调节。实验开始时,脉冲控制仪控制电磁阀阀门开启,压缩气流进入喷吹管至喷口喷出,此时压力传感器接收到压力信号,压力信号由电荷放大器放大,传送至数据采集仪,并最终在计算机上输出。每组实验重复 5 次,求平均值。将脉冲喷吹实验平台放置如图 2 纹影仪的观测区域,每进行一组脉冲喷吹实验,记录 1 次纹影仪拍摄结果。

2 结果与分析

2.1 不同喷孔孔径对气流偏斜的影响

喷吹压力分别为 0.3、0.4、0.5 MPa,直径分别为 20、8 mm 的 2 组不同喷孔式喷口的气流纹影图如图 5—7 所示。由图可以看出,喷吹压力越大,气流偏斜影响区域越大,这是因为喷吹压力从 0.3 MPa 增大至 0.5 MPa,压缩气流与周围环境的压差增大,当电磁脉冲阀打开后,压缩气流在压差的作用下,沿着喷吹管流动的水平速度也增大;当气流从喷孔喷出时,受水平速度的影响,气流偏斜的影响区域越大。

为了进一步表征喷吹压力对喷孔气流速度的影响,采用计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 方法,对直径为 20 mm 的喷孔式喷口进行数值模拟,比较在喷吹压力在 0.3、0.5 MPa 时,喷孔气流的变化规律。图 8 为直径 20 mm 喷孔式喷口气流速度云图。当喷吹压力由 0.3 MPa 增大至 0.5 MPa 后,提取结果发现,气流核心区最大速度由 249 m/s 增大至 381 m/s,水平方向分速度由 66 m/s 增大至 79 m/s,竖直方向分速度由 240 m/s 增大至 373 m/s。

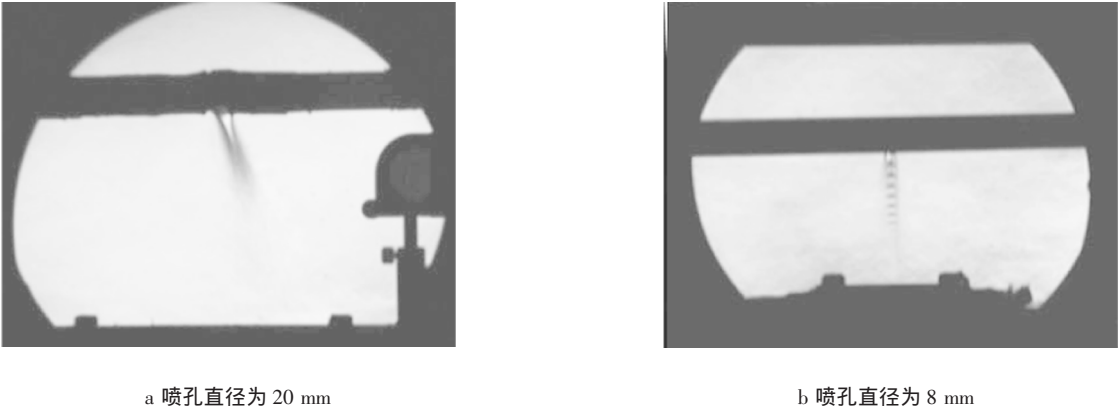


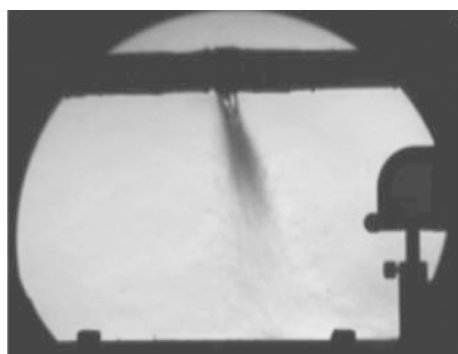
图 5 喷吹压力为 0.3 MPa 时喷孔式喷口气流纹影图

Fig. 5 Schlieren diagram of airflow from jet hole when jet pressure is 0.3 MPa

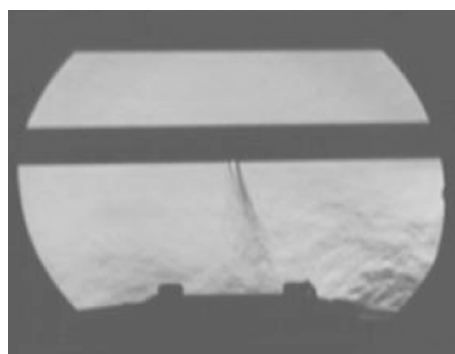


图 6 喷吹压力为 0.4 MPa 时喷孔式喷口气流纹影图

Fig. 6 Schlieren diagram of airflow from jet hole when jet pressure is 0.4 MPa



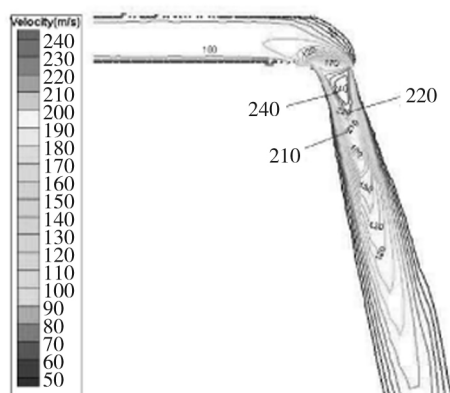
a 喷孔直径为 20 mm



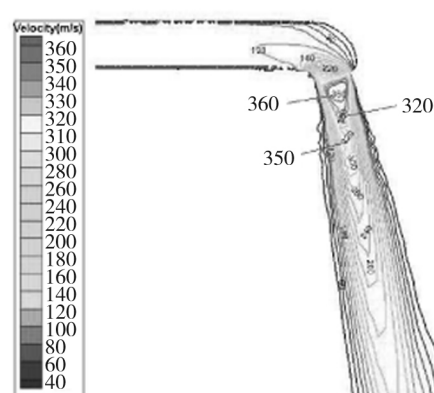
b 喷孔直径为 8 mm

图 7 喷吹压力为 0.5 MPa 喷嘴式喷口气流纹影图

Fig. 7 Schlieren diagram of airflow from jet hole when jet pressure is 0.5 MPa



a 0.3 MPa



b 0.5 MPa

图 8 直径为 20 mm 喷嘴式喷口气流速度云图

Fig. 8 Air velocity cloud diagram of jet hole with a diameter of 20 mm

从图 5—7 中还可以看出,在相同喷吹压力下,直径 20 mm 喷孔产生的气流偏斜现象比直径 8 mm 喷孔的明显。这是因为喷孔孔径越大,喷吹气流量就越大,喷吹气流的水平运动惯性就越大。此外,从实验中还发现:当喷吹压力为 0.3 MPa 时,直径 8 mm 喷孔的喷吹气流几乎不发生偏斜现象,这说明在较低的喷吹压力下,采取较小的直径,可以避免喷孔式喷孔喷出的气流偏斜现象。

2.2 不同喷口型式对滤筒侧壁压力峰值的影响

图 9 为不同喷吹压力下,喷嘴式喷口的气流纹影图。从图中可以看出,喷管采用喷嘴式喷口后,喷吹气流未发生气流偏斜现象。这主要是因为压缩气流从喷吹口喷出后,通过喷嘴的导流作用,气流运动与管嘴方向保持一致,说明喷嘴式喷口有效矫正了喷吹气流的偏斜现象。

通过比较喷孔式喷口气流对滤筒迎流面和背流面的侧壁压力峰值,来探究气流偏斜对滤筒不同

方位清灰性能的影响。喷吹距离为 120 mm 时,喷孔式喷口气流滤筒迎流面和背流面及喷孔式与喷嘴式喷口在滤筒中间区域的侧壁压力峰值变化曲线如图 10a、b 所示。由图 10 可知,气流偏斜造成了滤筒不同方位壁面上所受到的压力不均匀。滤筒迎流面的上部、中部和下部所受到的压力最大,中间区域次之,背流面最小,差值范围在差值大小范围在 47~146 Pa 之间,这是由于气流偏斜造成了滤筒各个面气量不均,迎流面脉冲喷吹气流量最大,背流面脉冲喷吹气流量最小,因而产生了滤筒侧壁压力不均现象。

从图 10 中可以看出,随着喷吹压力增大,喷口不论是否加装喷嘴,滤筒侧壁压力峰值均随之增大。通过比较有、无喷嘴的滤筒侧壁压力峰值变化规律来看,在滤筒的上测点位置,加装喷嘴时,脉冲喷吹气流在滤筒侧壁形成的压力略大于喷孔。在滤筒的中测点位置,加装喷嘴与普通喷孔所测得的压强几乎相等。

这说明避免脉冲喷吹气流的偏斜现象有利于滤筒上部清灰性能的改善。在滤筒的下测点位置,由于脉冲喷吹气流在滤筒底部的反冲作用,滤筒下部区域压力峰值相比中上部区域的都要大。对比有、无喷嘴的滤筒下测点侧壁压力峰值,喷孔式喷口形成的压强要大

于喷嘴式喷口,这主要是因为喷嘴式喷口对于喷吹气流起到导流的作用,在导流过程中,气流的流速和方向会发生微小的改变,最终使得被导流的喷吹气流存在压强损失,反映在滤筒下测点位置测得气流压强有所减小。

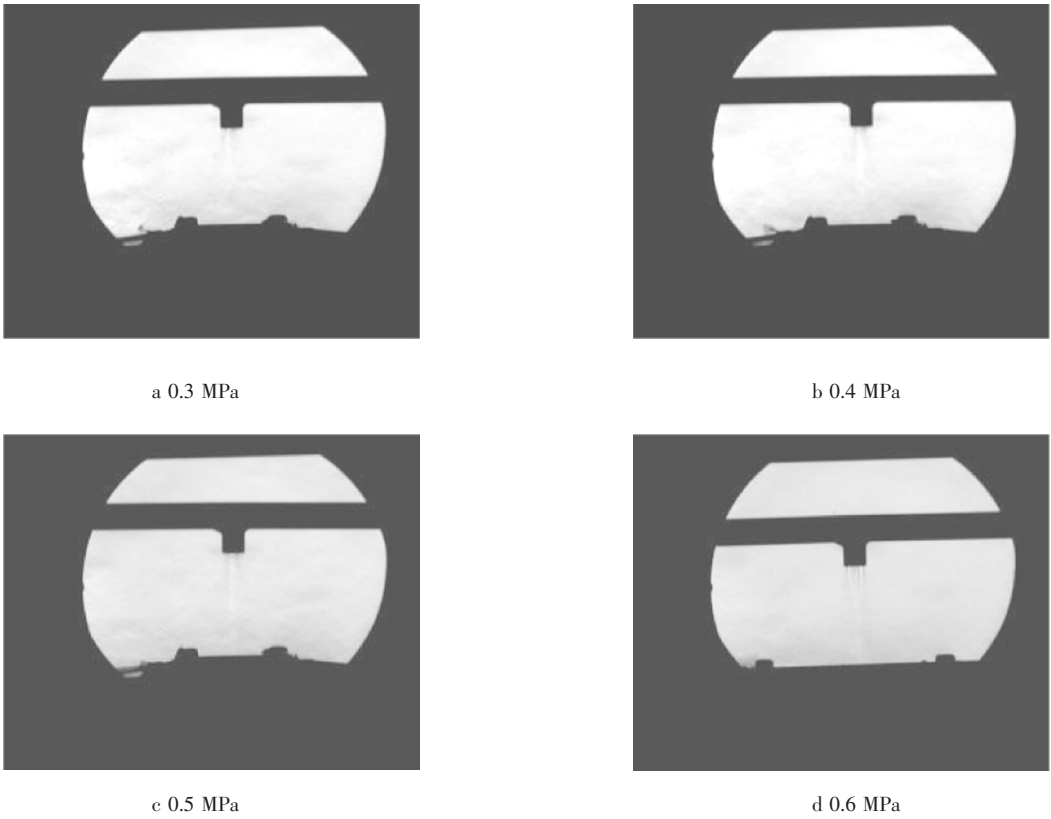


图 9 喷嘴式喷口气流纹影图

Fig. 9 Schlieren diagram of airflow from jet nozzle

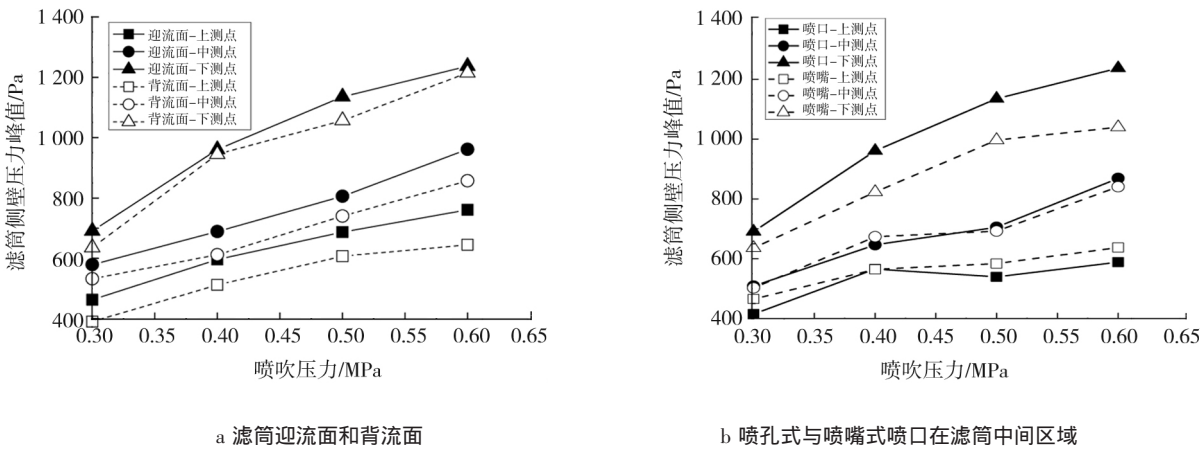


图 10 喷吹距离为 120 mm 时侧壁压力峰值的变化曲线

Fig. 10 Peak pulse pressure variation curve when jet distance is 120 mm

喷吹距离为 180 mm 时,喷孔式喷口与喷嘴式喷口在滤筒中间区域的侧壁压力峰值变化曲线如图 11 所示。从图中可以看出,随着喷吹距离增大,采用喷嘴

出口的喷吹气流在滤筒侧壁中、上部区域形成的压力峰值皆大于喷孔。这主要是因为随着喷吹距离增大,即喷吹气流至滤筒口距离的增大,喷吹口气流偏斜距

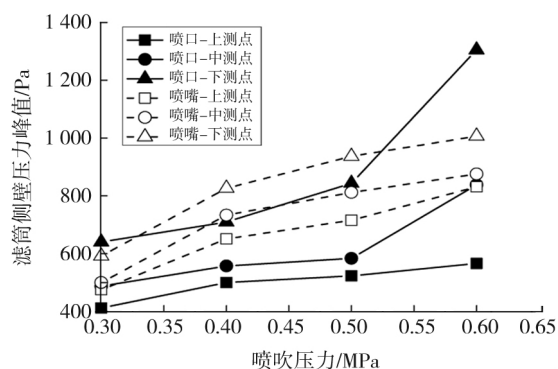


图 11 喷吹距离为 180 mm 时滤筒中间区域侧壁压力峰值变化曲线

Fig. 11 Peak pulse pressure variation curve of middle region when injection distance is 180 mm

离越长,此时偏斜的影响更大,甚至存在部分偏斜气流偏离了滤筒口而溢流至滤筒外部,因此采用喷嘴可以有效改善该现象。在喷吹压强为 0.6 MPa 时,喷吹气流的速度更快,此时普通喷口尽管存在偏斜,但全部的喷吹气流已基本进入滤筒内部,避免了部分偏斜气流溢散至滤筒外部,因此此时滤筒下测点区域压强略大于喷嘴喷吹气流。

4 结论

1) 将纹影法应用于观测脉冲喷吹气流的偏斜现象。喷吹口气流偏斜现象与喷吹压力及喷吹口口径有关,喷吹压力和喷口口径越大,气流偏斜影响区域越大,但在较低喷吹压力和较小的孔径条件下,气流偏斜的现象乎可以忽略。

2) 气流偏斜容易造成滤筒侧壁压力分布不均,滤筒迎流面压力要略大于背流面压力,差值大小范围在 47~146 Pa 之间。采用喷嘴式喷口可以避免脉冲喷吹气流发生偏斜现象。由喷嘴喷出的气流在滤筒侧壁中上部区域形成的压力峰值略大于喷孔,在滤筒下部区域压强则小于喷孔,采用喷嘴可以改善滤筒侧壁压力分布的均匀性。

参考文献(References):

- [1] 张殿印,王纯. 除尘器手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 58-72.
- [2] 张建平,徐达成,车鹏,等. 锥度对旋风除尘器主要性能的影响[J]. 环境工程学报, 2016, 10(5):2507-2512.
- [3] 吕太,张雄,杨博然. 2 种电除尘优化改造方案模拟及经济性分析[J]. 环境工程学报, 2017, 11(3):1729-1736.
- [4] 邓有凡,王伟黎,巫亮,等. 湿式除尘器优化设计研究[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(6):25-28.
- [5] 万凯迪,王智化,胡利华,等. 袋式除尘器脉冲喷吹清灰过程的数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(23):3970-3976.
- [6] 胥海伦,周苗苗,张倩,等. 开口散射器对滤筒除尘脉冲清灰效果的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(8):4647-4652.
- [7] ARGÜELLO M A, ALVAREZ S, RIERA F A, et al. Enzymatic cleaning of inorganic ultrafiltration membranes used for whey protein fractionation[J]. Journal of Membrane Science, 2003, 216(1): 121-134.
- [8] D'SOUZA N M, MAWSON A J. Membrane cleaning in the dairy industry: a review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2005, 45(2): 125-134.
- [9] 吴利瑞,茅清希,黄斌香,等. 滤筒式除尘器清灰性能研究[J]. 环境工程, 2004, 22(3):36-38.
- [10] 林龙沅,陈海焱,姜艳艳,等. 超音速喷嘴对脉冲喷吹滤筒除尘器清灰效果影响的研究[J]. 暖通空调, 2010, 40(9):122-126, 15.
- [11] 张倩,钱云楼,毕远霞,等. 诱导喷嘴改进滤筒清灰效果的数值模拟[J]. 环境工程学报, 2014, 8(7):2975-2979.
- [12] YAN C, LIU G, CHEN H. Effect of induced airflow on the surface static pressure of pleated fabric filter cartridges during pulse jet cleaning[J]. Powder Technology, 2013, 249(11):424-430.
- [13] 吕娟,颜翠平,袁彩云,等. 喷吹压力与喷吹距离对长滤袋清灰效果的研究[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(3):285-288.
- [14] QIAN Y, BI Y, ZHANG Q, et al. The optimized relationship between jet distance and nozzle diameter of a pulse-jet cartridge filter[J]. Powder Technology, 2014, 266:191-195.
- [15] QIAN Y, BI Y, ZHANG M, et al. Effect of filtration operation and surface treatment on pulse-jet cleaning performance of filter bags[J]. Powder Technology, 2015, 277:82-88.
- [16] 李倩倩. 脉冲喷吹扁式方框滤筒除尘器清灰性能研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
- [17] LI Q, ZHANG M, QIAN Y, et al. The relationship between peak pressure and residual dust of a pulse-jet cartridge filter[J]. Powder Technology, 2015, 283:302-307.