

喷嘴型式对滤筒脉冲定阻清灰效果的影响

薛峰^{a,b,c}, 李朋^a, 黄琬岚^a, 胡敏^a, 颜翠平^a, 陈海焱^a, 杨刚^{a,b}

(西南科技大学 a. 环境与资源学院; b. 固体废物处理与资源化教育部重点实验室;
c. 四川省非金属矿粉体改性 with 高质化利用技术工程实验室, 四川 绵阳 621010)

摘要: 为了降低工业生产中除尘器运行阻力, 维持稳定工况, 自主设计柜式工业除尘器作为实验平台, 采用普通直角喷嘴、上部开口散射器、诱导喷嘴3种喷嘴, 研究直径×高度为325 mm×600 mm的褶皱式滤筒在工业粉尘过滤实验中的清灰效果; 脉冲喷吹采用定阻清灰模式, 喷吹压力分别为0.2、0.3、0.4 MPa, 探究不同的喷嘴型式对除尘器维持可持续运行工况的影响。结果表明: 在喷吹压力为0.4 MPa时, 普通直角喷嘴、上部开口散射器、诱导喷嘴的平均清灰间隔时长分别为459、679、554 s; 相较于普通直角喷嘴, 上部开口散射器和诱导喷嘴褶皱式滤筒除尘器的平均清灰间隔时长增加, 出口粉尘浓度降低。

关键词: 诱导喷嘴; 定阻清灰; 褶皱式滤筒; 粉尘浓度

中图分类号: X964

文献标志码: A

Effect of nozzle form to filter cartridge pulse-jet cleaning performance in clean-on-demand mode

XUE Feng^{a,b,c}, LI Peng^a, HUANG Wanlan^a, HU Min^a, YAN Cuiping^a, CHEN Haiyan^a, YANG Gang^{a,b}

(a. School of Environment and Resource; b. Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Reclamation of Ministry of Education;
c. Sichuan Non-metallic Powder Modification and High Quality Utilization Technology Engineering Laboratory,
Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: To reduce the pressure drop of dust collector and maintaining stable operation, a cabinet industry dust collector was designed as the experimental platform. Ordinary rectangular nozzle, upper opening diffuser and induction nozzle were used to conduct the industrial dust filtration experiments via filter cartridge with diameter and height of 325 mm and 600 mm. Clean-on-demand pulse-jet mode was used to investigate the influence of different nozzle forms to the dust collector operating condition, under different injection pressure such as 0.2, 0.3 and 0.4 MPa. The results show that under 0.4 MPa injection pressure, the average cleaning interval time of three nozzles respectively are 459 s of ordinary rectangular nozzle, 679 s of upper opening diffuser, 554 s of induction nozzle. Compared with ordinary rectangular nozzle, both upper opening diffuser and induction nozzle effectively increase the average cleaning interval time and reduce the dust emission concentration.

Keywords: induction nozzle; clean-on-demand; folded filter cartridge; dust emission concentration

电焊作业、粉体输送、室内装修以及木材加工等领域, 工业粉尘排放超标, 对人类身体健康造成严重危害^[1-2]。其中亟待解决的是可呼吸性粉尘的排放问题, 如PM₁₀、PM_{2.5}。可呼吸性粉尘的过量吸入是尘肺病和其他呼吸道疾病的主要诱因^[3-4]。

传统的袋式除尘器具有占地面积大、运行维护成本高等缺陷^[5-7]。褶皱式滤筒过滤精度高, 结实耐用不易破损, 运行维护成本大大降低, 因此被广泛使用^[8-9]。褶皱式滤筒的结构特点会导致除尘器运行

收稿日期: 2022-01-17, 修回日期: 2022-03-08。

基金项目: 国家自然科学基金项目, 编号: 51508481; 四川省科技厅重点研发项目, 编号: 2020YFG0186。

第一作者简介: 薛峰(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工业通风和除尘技术。E-mail: xuefeng1996@163.com。

通信作者简介: 颜翠平(1981—), 女, 副研究员, 博士, 研究生导师。研究方向为脉冲喷吹滤袋、滤筒除尘器的制备及其清灰性能和应用。
E-mail: cuipingy_2004@163.com。

阻力增大,难以维持长时间的稳定运行,因此为了保障褶皱式滤筒除尘器的运行阻力维持在合理的工况范围内,常采用脉冲喷吹的方式对褶皱式滤筒进行清灰处理,以降低运行阻力,但在使用普通的喷吹管对褶皱式滤筒进行脉冲喷吹时会出现清灰不均匀、不彻底的问题,主要表现为滤筒中上部清灰效果差,粉饼难剥落等现象^[10-12],从而导致除尘器的运行阻力升高,风机能耗增加,制约了褶皱式滤筒的推广使用。李世航等^[13]的研究发现,在除尘器过滤较细的粉尘粒径 $d_{50} = 0 \sim 15 \mu\text{m}$ 时,采取定阻清灰运行模式能确保每次脉冲清灰更有效,实现更佳的清灰效果。

为了提高褶皱式滤筒除尘器的清灰效果,降低除尘器的运行阻力,有许多学者进行了喷嘴设计与改善方面的研究^[14-17]。刘东等^[18]通过喷吹平台实验得出,在相同的 0.4 MPa 喷吹压力下,相较于使用普通喷嘴,采用上部开口散射器对直径 $\times$ 高为 325 mm $\times$ 1 000 mm 的褶皱式滤筒进行脉冲喷吹时,滤筒上部侧壁压力峰值增大 98% 以上,下部侧壁压力峰值减少 33.6% 以上,有效改善了清灰的均匀性。张情等^[19]通过采用诱导喷嘴即超音速引流喷嘴和气流散射器,对直径 $\times$ 高为 325 mm $\times$ 660 mm 褶皱式滤筒进行喷吹实验,并与普通喷吹孔实验结果对比,发现采用诱导喷嘴时侧壁压力峰值平均值是普通喷吹孔的 1.465 倍,采用诱导喷嘴时各测点基本在同一时刻达到正峰值,确保了滤筒内壁清灰压力的均匀性。对于喷嘴改善清灰效果的研究多集中在独立的滤筒脉冲喷吹实验,通过压力传感器测量侧壁压力峰值来进行评判。

在此基础上,本文中进一步开展实际的除尘器工业粉尘过滤实验,通过除尘器运行阻力等工业参数来表征不同类型喷嘴的实际清灰效果。以优化工业车间内除尘器的可持续运行状态为出发点,采用褶皱式滤筒作为过滤材料,自主设计了柜式工业除尘器,以此作为实验平台,以普通喷嘴、上部开口散射器、诱导喷嘴为研究对象,分别进行实际的工业粉尘过滤实验。喷吹形式均为定阻力清灰,通过除尘器的喷吹剩余压降,清灰间隔时长等参数来表征喷嘴的清灰效果。

1 实验

1.1 装置与材料

图 1 所示为柜式工业除尘器的实验平台结构。主要包括:4-72-3.2A 型离心风机(四川省川西风机有限公司);2 个褶皱式覆膜滤筒(广东省美净滤清器有限公司),具体参数见表 1;气包;2 个直角 DMF-Z-25 型电磁脉冲阀(协昌环保科技有限公司);SXC-X8A1-L 型脉冲控制仪(河北永鑫环保设备有限公司);TSI-8533EP 型气溶胶监测仪(美国 TSI 有限公司);U 型管压力计(量程为 $\pm 6\ 000$ Pa(合肥杜威仪表科技有限公司);ZXC-2 型振动下料器(河北乔达环保科技有限公司)。

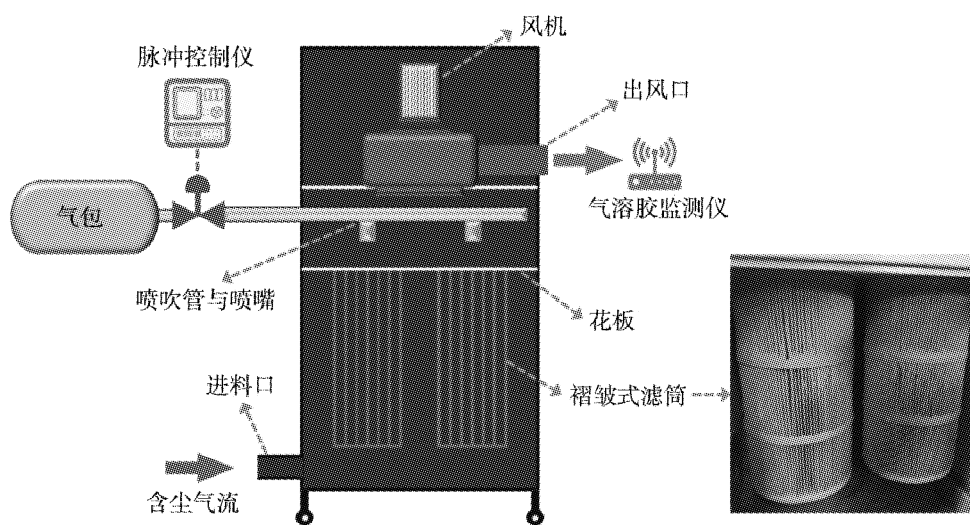


图1 柜式工业除尘器

Fig.1 Cabinet industry dust collector

表 1 滤筒尺寸参数表
Tab. 1 Parameters of filter cartridge

滤筒参数	外径/mm	内径/mm	高度/mm	褶皱数	单个滤筒过滤面积/m ²	材质	过滤精度
数值	325	215	600	125	7.1	无纺布聚四氟乙烯(PTFE)覆膜	颗粒直径≥0.3 μm

粉煤灰作为工业粉尘过滤实验的粉体颗粒,粒径分别为 $d_{10}=2.45\text{ }\mu\text{m}$, $d_{50}=9.4\text{ }\mu\text{m}$, $d_{90}=26.67\text{ }\mu\text{m}$ 。

1.2 喷嘴与喷吹条件

利用 2 根直径为 25 mm 的喷吹管分别负责 2 个滤筒的喷吹,喷吹孔直径为 16 mm,脉冲宽度均为 0.08 s,每种喷嘴的样式与喷吹条件参考了之前研究的最优结果^[18-19],见图 2,具体喷吹条件参数见表 2。

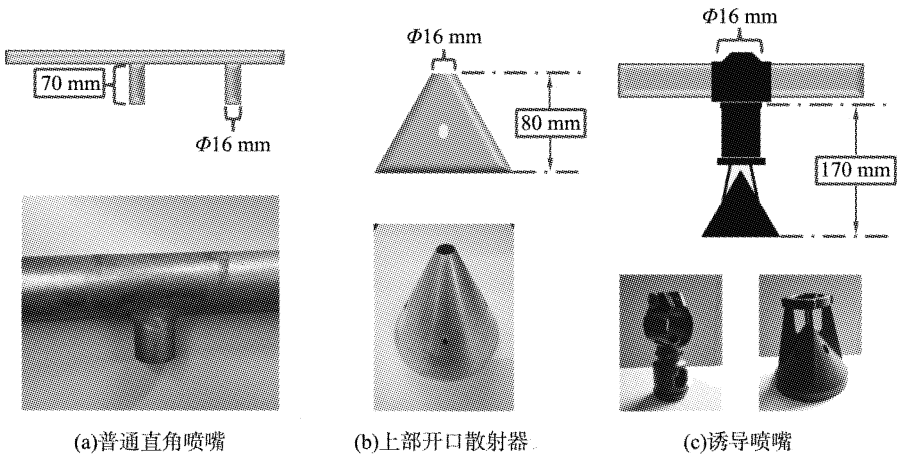


图 2 不同喷嘴样式与尺寸
Fig. 2 Size and type of different kinds of nozzles

表 2 喷吹条件参数
Tab. 2 Parameters of pulse-jet cleaning conditions

喷嘴型式	喷嘴高度	喷嘴孔直径	喷吹距离
普通直角喷嘴	70	16	160
上部开口散射器	80	16	150
诱导喷嘴	170	16	60

1.3 方法

通过工业粉尘过滤过程中除尘器运行阻力的变化与定阻清灰间隔时长来表征 3 种不同类型喷嘴对褶皱式滤筒的清灰效果。由于设备气包容积的限制,实验平台无法满足长时间进行喷吹压力为 0.5 MPa 以上的喷吹清灰。同时考虑到较高的喷吹压力会对滤筒下部造成损耗,实验变量为不同的喷吹压力(0.2、0.3、0.4 MPa)和不同的喷嘴型式(普通喷嘴、上部开口散射器、诱导喷嘴),交叉组合出 9 组工业粉尘过滤实验。实验的其他运行参数均保持统一,即通过变频器调整风机频率,设定过滤风速为 1.4 m/min。通过预设的处理风量提前计算并称量出入口粉尘质量浓度达到 40 g/m³ 时除尘器每运行 5 min 所需的进口粉尘质量,由振动加料器在额定时间内均匀地送入除尘器进口,从而尽量均匀地将除尘器的入口粉尘质量浓度控制为 40 g/m³;设定每组实验运行时间为 100 min,全程用气溶胶监测仪持续记录除尘器出口粉尘质量浓度,并通过 U 型管读数记录除尘器运行阻力的变化情况。

采用定阻喷吹的脉冲清灰形式,需先测量除尘器空载时即入口处不吸入粉尘的初始运行阻力 Δp_0 ,在除尘器过滤风速稳定在 1.4 m/min 时,通过 U 型管读数测得系统的初始运行阻力 $\Delta p_0=30\text{ Pa}$,参考李世航等^[20]的研究,本实验中设定当除尘器运行阻力达到 8 倍的 Δp_0 时(240 Pa)进行一次脉冲喷吹。

2 结果与分析

2.1 3种喷嘴在不同喷吹压力下的清灰效果比较

图3所示为除尘器使用普通直角喷嘴,在0.2、0.3、0.4 MPa 3种喷吹压力下进行定阻力240 Pa脉冲清灰的运行阻力变化情况。

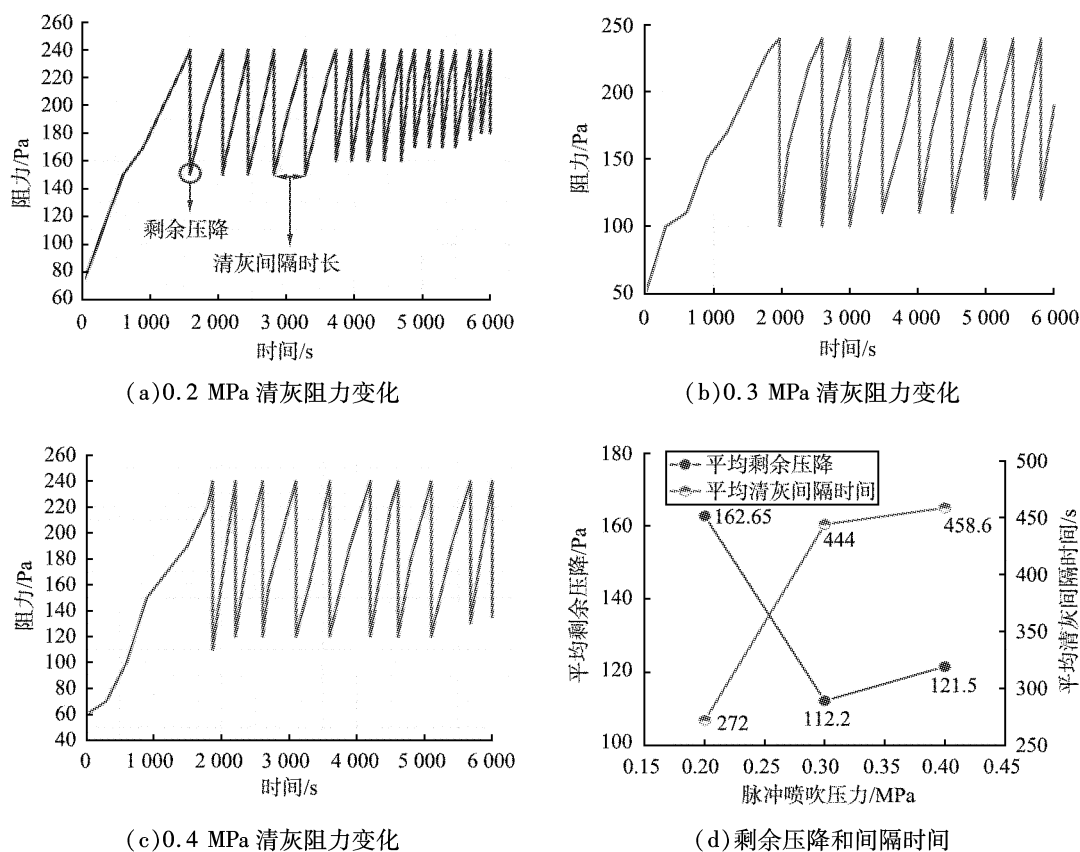


图3 普通喷嘴不同喷吹压力下的运行阻力对比

Fig.3 Comparison of operation resistance under different pulse-jet pressure using ordinary rectangular nozzle

由图3中红色标识可知,当除尘器运行阻力达到240 Pa,即8倍的 Δp_0 时,进行1次脉冲喷吹过后的瞬间,除尘器阻力下降到最低点的阻力值,记作剩余压降值 p_R (Pa);从第1次脉冲喷吹开始,到下一次脉冲喷吹进行的间隔时间,记作清灰间隔时间 t (s)。剩余压降值 p_R 越小,清灰间隔时间 t 越大,表明除尘器在定阻清灰模式下的清灰效果越好^[21]。

观察图3可以发现,当使用普通直角喷嘴进行定阻清灰时,随着喷吹压力的增大,平均清灰间隔时间也随之增大。当喷吹压力从0.2 MPa提升到0.3 MPa后,平均清灰间隔时间增加了172 s;当喷吹压力从0.3 MPa提升到0.4 MPa时,平均清灰间隔时间增加了14.6 s,变化不显著。另一方面,随着喷吹压力的增大,平均剩余压降先减小后增大。当喷吹压力从0.2 MPa升高到0.3 MPa时,平均剩余压降显著减小,减少了50.45 Pa;当喷吹压力从0.3 MPa提高到0.4 MPa时,平均剩余压降略微增大了9.3 Pa。

图4所示为除尘器使用上部开口散射器在0.2、0.3、0.4 MPa 喷吹压力下进行定阻力240 Pa脉冲清灰的运行阻力变化情况。由图可知,当采用上部开口散射器进行定阻清灰时,随着喷吹压力的增加,平均清灰间隔时间也随之显著增加。当喷吹压力从0.2 MPa提升至0.3 MPa时,平均清灰间隔时间增加了171.5 s;当喷吹压力从0.3 MPa升高到0.4 MPa后,平均清灰间隔时间依然大幅增加,增加了180.8 s。另一方面,随着喷吹压力的增大,平均剩余压降的变化并不显著。当喷吹压力从0.2 MPa增

加到 0.3 MPa 时,平均剩余压降仅增加了 3.3 Pa;当喷吹压力从 0.3 MPa 进一步升高到 0.4 MPa 时,平均剩余压降也只是增加了 3.84 Pa。

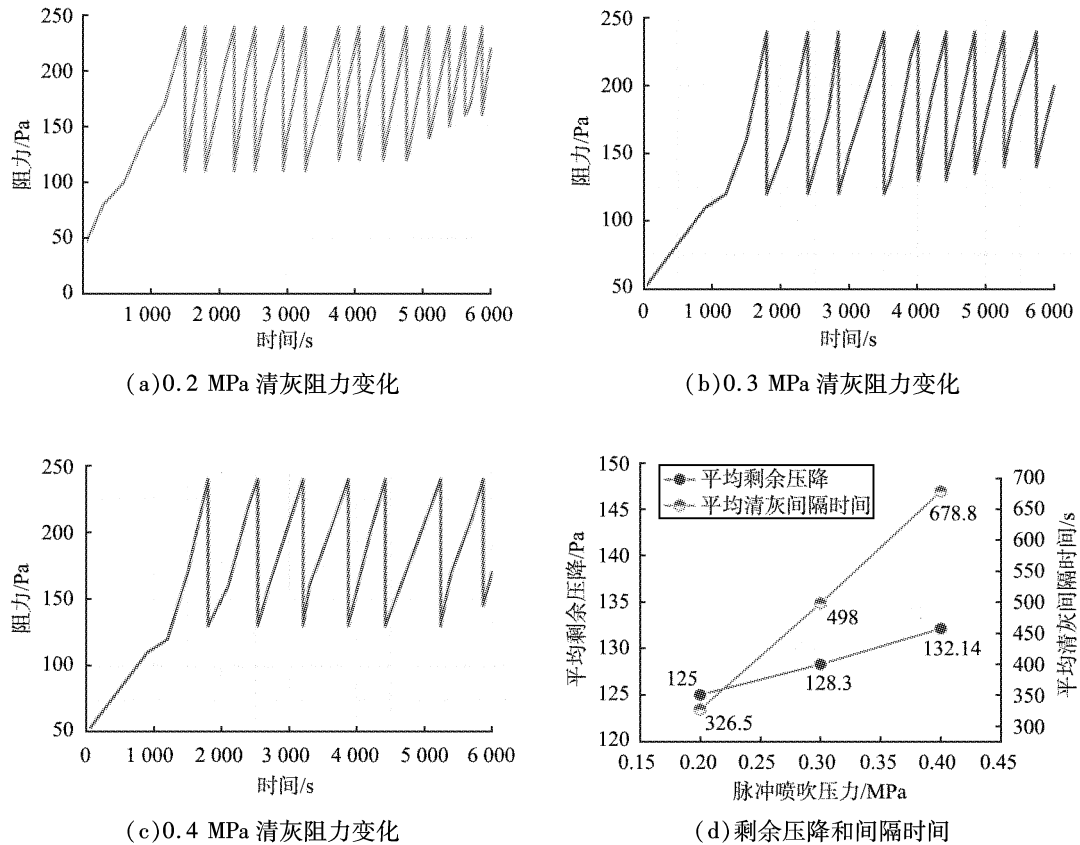


图4 上部开口散射器不同喷吹压力下的运行阻力对比

Fig. 4 Comparison of operation resistance under different pulse-jet pressure using upper opening diffuser

观察图3与图4可知,在相同的喷吹压力下,使用上部开口散射器时的除尘器平均清灰间隔时间均比使用普通直角喷嘴时更长,即有效减少了维持除尘器稳定运行所需的脉冲喷吹次数。这一现象主要归结于上部开口散射器对于喷吹气流流场的改变,开口散射器的锥形结构在降低了喷吹气流的流速同时又卷吸诱导了部分流体,既降低了滤筒下部承受的喷吹压力,又提高了滤筒上部的喷吹压力,使整个喷吹过程更加均匀,提高了滤筒上部的粉饼剥落效率。在 0.2 MPa 喷吹压力下使用上部开口散射器的平均剩余压降显著低于使用普通直角喷嘴,在其他喷吹压力下则略高于普通直角喷嘴。

图5所示为除尘器使用诱导喷嘴,在 0.2、0.3、0.4 MPa 喷吹压力下进行定阻力 240 Pa 脉冲清灰的运行阻力变化情况。由图可知,当使用诱导喷嘴进行定阻清灰时,随着喷吹压力的增加,平均清灰间隔时间也随之增加。当喷吹压力从 0.2 MPa 提高到 0.3 MPa 之后,平均清灰间隔时间由 187.88 s 大幅增加到了 466 s;当喷吹压力从 0.3 MPa 增长到 0.4 MPa 之后,平均清灰间隔时间仅增加了 87.7 s。随着喷吹压力的增大,平均剩余压降在逐渐减小。当喷吹压力从 0.2 MPa 升高到 0.3 MPa 时,平均剩余压降减小了 13.88 Pa;当喷吹压力从 0.3 MPa 进一步升高到 0.4 MPa 时,平均剩余压降从 144 Pa 减小到了 116.25 Pa,减少了 27.75 Pa。

对比图3与图5可知,在 0.2 MPa 的喷吹压力下,使用诱导喷嘴时的除尘器平均清灰间隔时间要少于使用普通直角喷嘴时。在 0.3、0.4 MPa 的喷吹压力下,使用诱导喷嘴时的平均清灰间隔时间比使用普通直角喷嘴时更长,即同样运行时间内只需更少的脉冲喷吹次数,这一改善效果源于诱导喷嘴上半部分的引流喷嘴可通过侧孔诱导大量气体并在出口处再次形成卷吸,使更多气体进入滤筒内部,之后通过气流散射器使气流分散,进而大面积、低速度地进入滤筒内部,动压转换为静压,有利于加大

清灰力度。在0.2、0.4 MPa 喷吹压力下使用诱导喷嘴时的平均剩余压降同使用普通直角喷嘴时差别不大,在0.3 MPa 喷吹压力下则高于普通直角喷嘴。

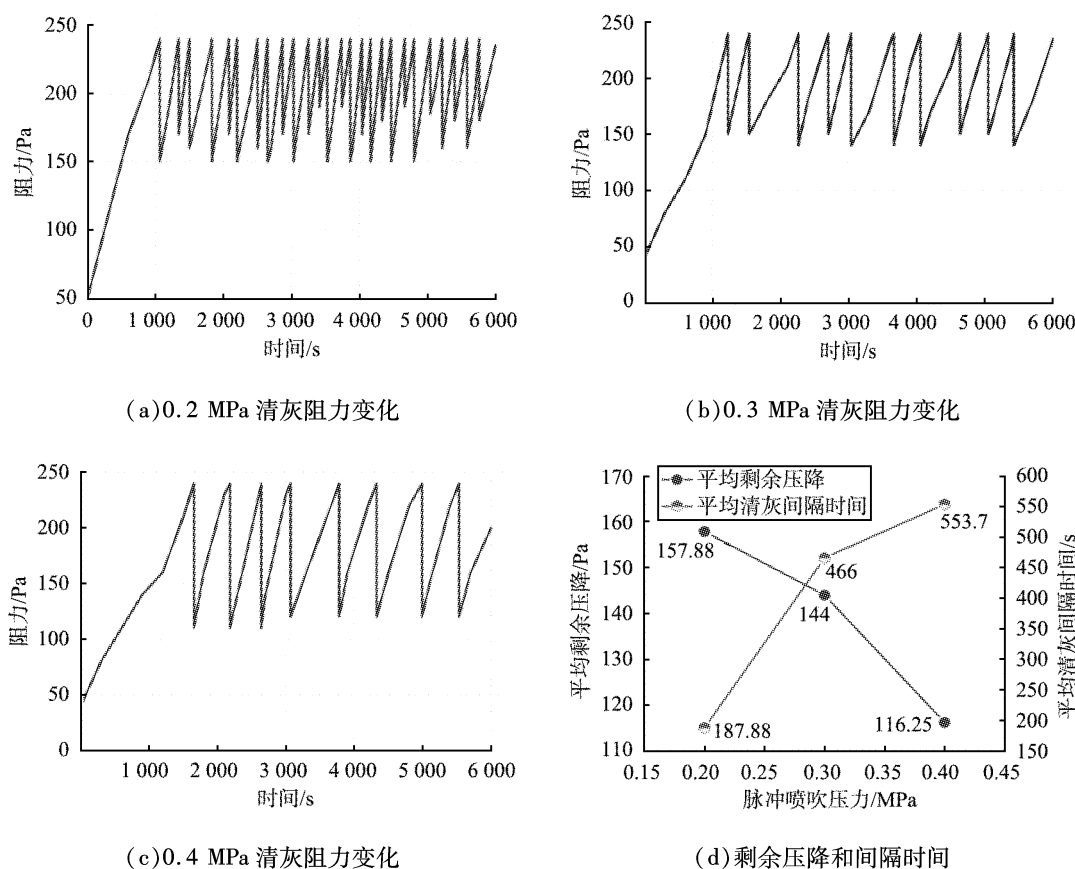


图5 诱导喷嘴不同喷吹压力下的运行阻力对比

Fig. 5 Comparison of operation resistance under different pulse-jet pressure using induction nozzle

2.2 除尘器出口粉尘浓度以及质量参数

每组工业粉尘过滤实验的运行期间都使用气溶胶监测仪对除尘器的出口粉尘质量浓度进行了监测记录,结果见图6—8。

由图可以看出,在除尘器入口粉尘质量浓度统一为 40 g/m^3 ,运行时间为100 min的条件下,使用普通喷嘴在0.2、0.3、0.4 MPa下进行脉冲喷吹时,除尘器的平均出口粉尘质量浓度分别为0.2、0.18、0.31 mg/m^3 ;使用上部开口散射器在0.2、0.3、0.4 MPa下进行脉冲喷吹时,除尘器的平均出口粉尘质量浓度分别为0.18、0.16、0.13 mg/m^3 ;使用诱导喷嘴在0.2、0.3、0.4 MPa下进行脉冲喷吹时,除尘器的平均出口粉尘质量浓度分别为0.13、0.15、0.15 mg/m^3 。以上每组实验除尘器过滤效率均达到了99.9%以上,实现了良好的除尘器实际运行效果。

针对定阻清灰模式下除尘器的清灰效果评判,李建龙等^[21]在研究中提出了质量因数 $F_q(\text{J}^{-1})$ 来表征定阻清灰模式下除尘器的清灰效果,认为 F_q 值越大,则代表清灰效果越好。 F_q 的计算公式为

$$F_q = \frac{-\ln(\rho_{\text{out}}/\rho_{\text{in}})}{\Delta p Q + (p_0 - p_1) V_t n/t}, \quad (1)$$

式中: ρ_{out} 和 ρ_{in} 分别为除尘器的平均出口和入口粉尘质量浓度, mg/m^3 ; Δp 为运行时间内除尘器平均阻力,Pa; Q 代表过滤风率, m^3/s ; p_0 和 p_1 分别为脉冲喷吹前和喷吹后气包的压力,Pa; V_t 为气包的体积, m^3 ; t 为除尘器运行时间,s; n 代表运行时间内进行的脉冲喷吹次数。

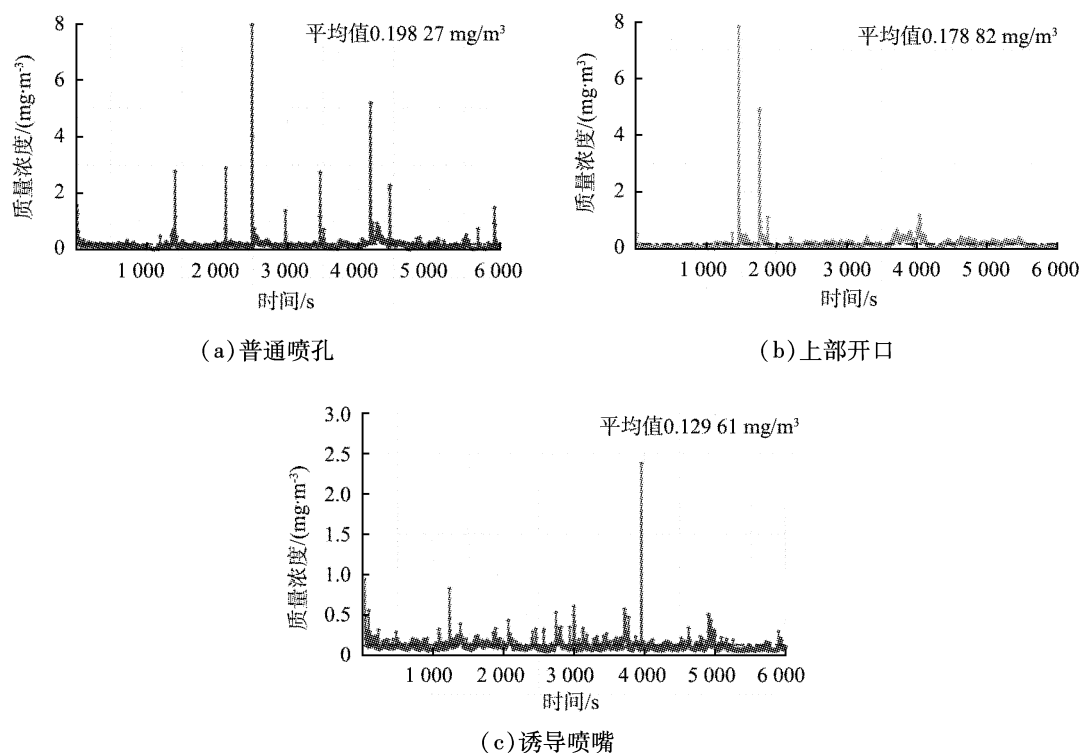


图6 压力为0.2 MPa时不同喷嘴除尘器出口粉尘质量浓度

Fig.6 Dust emission concentrations of different nozzle dust collectors of 0.2 MPa

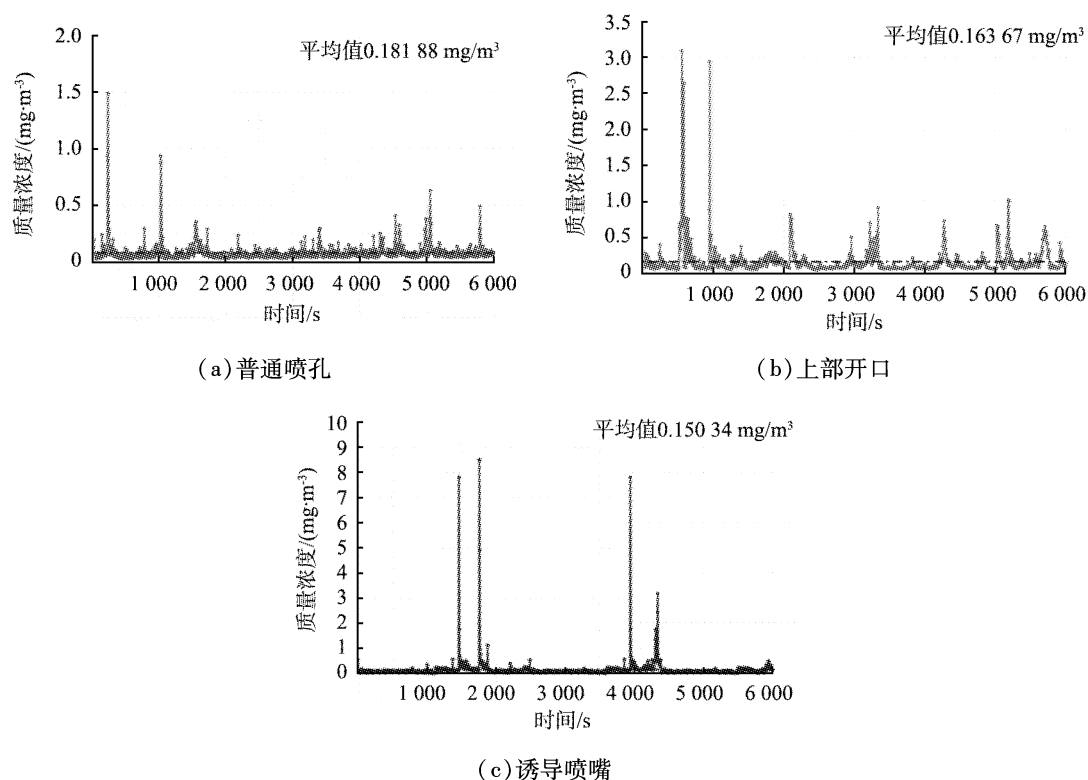


图7 压力为0.3 MPa时不同喷嘴除尘器出口粉尘质量浓度

Fig.7 Dust emission concentrations of different nozzle dust collectors of 0.3 MPa

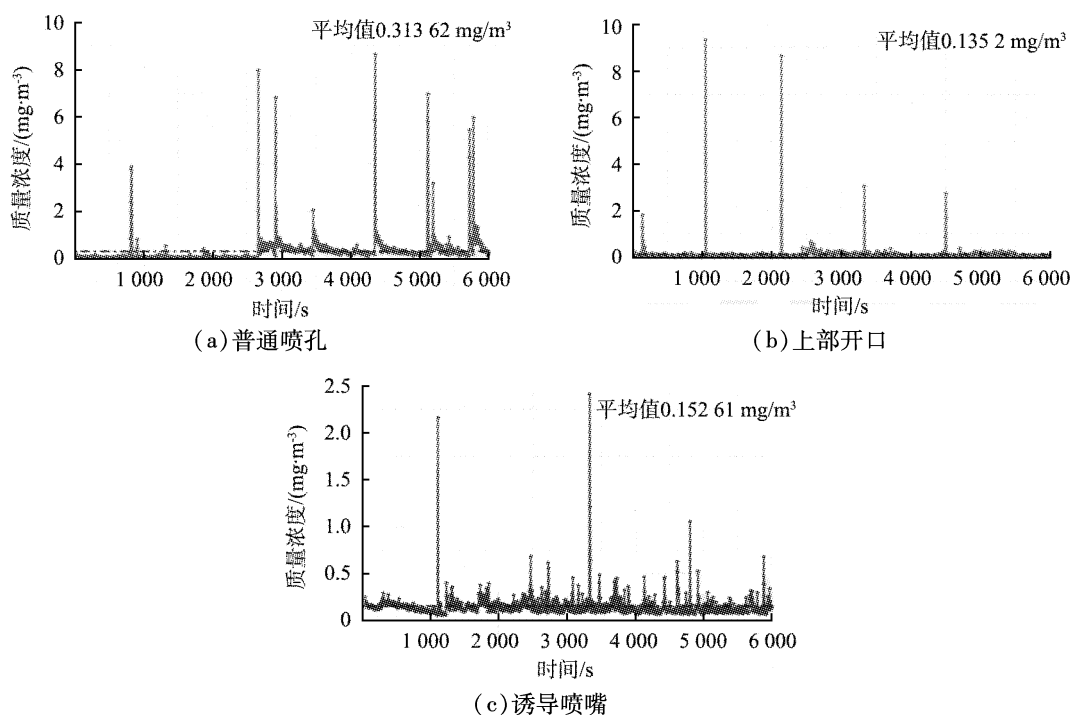
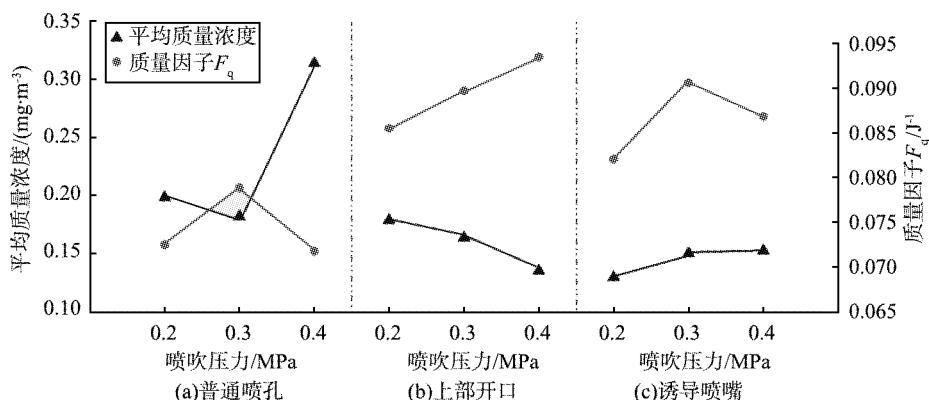


图8 压力为0.4 MPa时不同喷嘴除尘器出口粉尘质量浓度

Fig. 8 Dust emission concentrations of different nozzle dust collectors of 0.4 MPa

实验数据带入 F_q 公式,计算得到,使用普通喷嘴在0.2、0.3、0.4 MPa 压力下喷吹时的 F_q 分别为0.072、0.078、0.072 J^{-1} ;使用上部开口散射器时的 $F_q=0.086$ 、0.089、0.093 J^{-1} ;使用诱导喷嘴时的 $F_q=0.082$ 、0.091、0.087 J^{-1} 。每组实验的平均出口粉尘质量浓度与 F_q 变化情况如图9所示。由图可知,相较于使用普通喷嘴在不同喷吹压力下进行脉冲清灰,使用上部开口散射器时除尘器的平均出口粉尘质量浓度更低, F_q 更大,即脉冲清灰效果与过滤效率更佳。使用诱导喷嘴在不同喷吹压力下进行脉冲喷吹时,除尘器的平均出口粉尘质量浓度也比使用普通喷嘴时的更低, F_q 比使用普通喷嘴时更高。

图9 平均出口粉尘质量浓度与 F_q 值变化情况Fig. 9 Variation tendency of dust emission concentration and F_q

3 结论

1) 在入口粉尘质量浓度为 $40 g/m^3$,运行时间为100 min,喷吹压力0.2、0.3、0.4 MPa 的条件下,使用上部开口散射器对褶皱式滤筒进行定阻脉冲清灰的平均清灰间隔时间分别为326.5、498、678.8 s,使用普通直角喷嘴时的分别为272、444、458.6 s,使用诱导喷嘴时的分别为187.88、466、553.7 s。使用上部开口散射器有效改善了喷吹流场,开口的锥形结构既保证了喷吹气流向下作用于滤筒底部,同时

又卷吸诱导了部分环境流体,使滤筒内部的脉冲气流均匀分布,整体加强了喷吹清灰效果,表现为平均清灰间隔时间最长,即喷吹次数更少,代表每次脉冲清灰更为有效,节约了能源消耗的同时维持了除尘器的持续运行。

2)在0.2、0.3、0.4 MPa的喷吹压力下,使用普通直角喷嘴时的出口粉尘质量浓度分别为0.2、0.18、0.31 mg/m³,质量因数 $F_q=0.072$ 、0.078、0.072 J⁻¹;使用上部开口散射器时的出口粉尘质量浓度分别为0.18、0.16、0.13 mg/m³,质量因数 $F_q=0.086$ 、0.089、0.093 J⁻¹;使用诱导喷嘴时的出口粉尘质量浓度分别为0.13、0.15、0.15 mg/m³,质量因数 $F_q=0.082$ 、0.091、0.087 J⁻¹。

综上所述,由于设备气包容积的限制,实验平台无法满足长时间进行0.5 MPa以上的喷吹清灰,同时工业上长时间的高压喷吹运行也容易导致滤筒损耗,因此在0.2、0.3、0.4 MPa的喷吹压力中,位于0.4 MPa喷吹压力下使用上部开口散射器时除尘器的出口粉尘质量浓度最低, F_q 值也最大,说明除尘器的清灰更加有效,清灰效果更好。

参考文献(References):

- [1]杨洪斌,邹旭东,汪宏宇,等. 大气环境中PM_{2.5}的研究进展与展望[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 77-82.
- [2]PUI D Y H, CHEN S C, ZUO Z. PM_{2.5} in China: measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation[J]. Particuology, 2014(13): 1-26.
- [3]文海若,周文珊. 大气PM_{2.5}毒性及致癌性作用机制的研究进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2014, 25(6): 70-73.
- [4]ARDON-DRYER K, MOCK C, REYES J, et al. The effect of dust storm particles on single human lung cancer cells[J]. Environmental Research, 2020, 181: 108891.
- [5]柳静献,毛宁,孙熙,等. 我国除尘滤料历史、现状与发展趋势综述[J]. 中国环保产业, 2020(11): 6-18.
- [6]李桂林,程华,哈蕊,等. 新型高效滤筒在某钢厂轧钢工序除尘系统中的应用[J]. 冶金动力, 2021(4): 81-83, 86.
- [7]PARK S, JOE Y H, SHIM J, et al. Non-uniform filtration velocity of process gas passing through a long bag filter[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, 365: 440-7.
- [8]颜翠平. 脉冲喷吹褶皱式滤筒的清灰效果及机理研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2014.
- [9]LO L M, CHEN D-R, PUI D Y. Experimental study of pleated fabric cartridges in a pulse-jet cleaned dust collector[J]. Powder Technology, 2010, 197(3): 141-9.
- [10]SHIM J, JOE Y-H, PARK H-S. Influence of air injection nozzles on filter cleaning performance of pulse-jet bag filter[J]. Powder Technology, 2017, 322: 250-7.
- [11]刘耀松. 工业滤筒除尘器清灰方法研究[D]. 西安:长安大学, 2017.
- [12]THERON F, JOUBERT A, LE COQ L. Numerical and experimental investigations of the influence of the pleat geometry on the pressure drop and velocity field of a pleated fibrous filter[J]. Separation and Purification Technology, 2017, 182: 69-77.
- [13]LI S, SONG S, WANG F, et al. Effects of cleaning mode on the performances of pulse-jet cartridge filter under varying particle sizes[J]. Advanced Powder Technology, 2019, 30(9): 1835-41.
- [14]胡峰源. 基于拉瓦尔型喷嘴的袋式除尘器清灰性能研究[D]. 南昌:南昌大学, 2019.
- [15]GAO D H, ZHOU G, YANG Y, et al. Design of pulse cleaning device for single-filter cartridge dust collector by multi-factor orthogonal method based numerical simulation[J]. Powder Technology, 2021, 391: 494-509.
- [16]LI J L, WU D S, WU Q Q, et al. Design and performance evaluation of novel colliding pulse jet for dust filter cleaning[J]. Separation And Purification Technology, 2019, 213: 101-13.
- [17]FURUMOTO K, NARITA T, FUKASAWA T, et al. Influence of pulse-jet cleaning interval on performance of compact dust collector with pleated filter[J]. Separation and Purification Technology, 2021, 279.
- [18]刘东,余洪浪,王令,等. 上部开口散射器提高脉冲喷吹清灰性能实验[J]. 环境工程, 2019, 37(8): 138-42.
- [19]张情,陈海焱,巨敏,等. 诱导喷嘴改进滤筒脉冲清灰效果的实验研究[J]. 环境工程, 2012, 30(1): 62-65, 138.
- [20]LI S, WANG F, XIN J, et al. Study on effects of particle size and maximum pressure drop on the filtration and pulse-jet cleaning performance of pleated cartridge filter[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2019, 123: 99-104.
- [21]LI J, ZHOU F, LI S. Experimental study on the dust filtration performance with participation of water mist[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2017, 109: 357-64.

(责任编辑:吴敬涛)