



文章栏目：大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202103164 中图分类号 X701 文献标识码 A

苏正通, 林子捷, 李建龙, 等. 文丘里喷嘴改进金锥滤筒脉喷清灰性能的数值模拟[J]. 环境工程学报, 2022, 16(1): 220-229. [SU Zhengtong, LIN Zijie, LI Jianlong, et al. Numerical simulation of the performance of pulse jet dust cleaning of venturi nozzle improved golden cone filter[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(1): 220-229.]

# 文丘里喷嘴改进金锥滤筒脉喷清灰性能的数值模拟

苏正通, 林子捷, 李建龙<sup>✉</sup>, 邱俊, 吴泉泉, 吴代赦

南昌大学资源环境与化工学院, 南昌 330031

**摘要** 针对除尘滤筒脉冲反吹清灰均匀性差、强度不足的缺点, 构建了脉冲喷吹滤筒除尘器 CFD 数值模型, 考察了文丘里喷嘴和金锥滤筒组合条件下的清灰性能。结果表明, 无论是文丘里喷嘴还是金锥滤筒的使用或二者组合使用, 滤筒内喷吹压力均为底部大而上部小; 文丘里喷嘴和金锥滤筒可单独或组合式优化喷吹性能; 在喷吹高度为 150~550 mm 时, 喷吹强度和均匀性整体上随喷吹高度的增大而逐渐增强, 当喷吹高度为 350 mm 时, 文丘里喷嘴和金锥滤筒组合使用的优化效果最佳, 喷吹强度和均匀性分别提高了 1.72 和 1.96 倍。本研究结果可为脉喷清灰滤筒除尘器的优化提供参考。

**关键词** 除尘器; 脉冲喷吹; 清灰性能; 文丘里喷嘴; 金锥滤筒; 数值模拟

煤炭、建材、水泥、电力等行业可排放大量的粉尘颗粒物, 对人们的健康与生活环境造成巨大风险, 因此, 粉尘颗粒物的收集具有重要的现实意义<sup>[1]</sup>。滤筒除尘器以其除尘效率高、过滤面积大、阻力小、价格低、占地面积小等优点而被广泛运用于除尘领域<sup>[2]</sup>。除尘器的技术关键在于滤筒清灰, 清灰的好坏直接影响着除尘器的长期稳定运行<sup>[3-4]</sup>。目前, 应用最广泛的清灰技术是脉冲喷吹<sup>[5]</sup>。但是, 传统的脉冲喷吹容易造成滤筒上部压力小而清灰失效, 及底部压力过大而滤料破损<sup>[6-7]</sup>。

国内外学者针对脉冲喷吹压力、喷吹时间、喷吹高度和喷吹管直径等众多因素对滤筒脉冲清灰进行了研究<sup>[8-13]</sup>。在滤筒结构优化方面, LI 等<sup>[14]</sup>在滤筒内部安装圆锥体, 通过实验证明了其有利于增加滤筒侧壁压力且清灰均匀性得到改善。杨燕霞等<sup>[2]</sup>通过对金锥滤筒(滤筒内设置锥形过滤面)脉冲清灰性能的研究, 揭示了金锥对脉冲清灰性能的影响机制。张亚蕊等<sup>[15]</sup>通过对内置锥形滤筒的数值模拟, 将普通滤筒和内置锥形滤筒的速度云图、压力云图进行对比, 得出了内置锥形滤筒的清灰效果会有明显改善的结论。QIU 等<sup>[16]</sup>通过建立褶式金锥滤筒的数值模型, 探究了内锥高度对脉喷性能的影响, 结果表明, 随着内锥高度的增加, 滤筒脉喷的均匀性得到改善。

在脉冲喷嘴改进方面, 胡峰源等<sup>[17]</sup>利用数值模拟方法对比了传统喷嘴和拉瓦尔型喷嘴的清灰性能, 结果表明, 拉瓦尔型喷嘴的平均侧壁压力峰值增大了 53.2%。胥海伦等<sup>[18]</sup>利用数值模

收稿日期: 2021-03-24; 录用日期: 2021-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52064037); 江西省自然科学基金资助项目(20202BAB204030)

第一作者: 苏正通(1995—), 男, 硕士研究生, 907757740@qq.com; ✉通信作者: 李建龙(1988—), 男, 博士, 副教授, jlli@ncu.edu.cn

拟对比了不同开口形式的散射器的流场分布, 结果表明, 随着散射器开口增大, 气流诱导量也会随之增大(开口散射器上部直径为 30 mm 时, 诱导气流量是无散射器的 8.5 倍)。刘东等<sup>[19]</sup> 利用实验对比了不同锥度上部开口散射器的清灰性能, 结果表明, 在一定范围内, 锥度的增大能有效增大滤筒清灰强度。虽然单独对滤筒或喷嘴结构的研究都已完善, 但对喷嘴和滤筒共同优化的研究鲜有报道。

本研究将普通喷嘴、文丘里喷嘴分别与普通滤筒、金锥滤筒组合, 通过数值模拟, 研究了 4 种条件下喷吹压力的时空分布, 分析了滤筒内壁测点压力的变化规律, 考察了喷吹高度对清灰性能的影响, 以期对滤筒除尘器的优化设计提供参考。

## 1 模型构建

### 1.1 实验系统

模拟时, 参照了图 1(a) 所示的脉冲喷吹除尘系统, 其中除尘器箱体的长、宽、高分别为 1 225、750、1 550 mm, 滤筒(无纺布长绒棉涤纶材质) 竖直安装在除尘器内部, 喷嘴位于滤筒的正上方。金锥滤筒如图 1(b) 所示, 是在普通滤筒(外形长度 660 mm, 直径 240 mm, 滤料厚度 0.6 mm) 的内部增加锥形过滤面, 其直径为 200 mm, 顶部设有金属锥体, 锥体高度为 40 mm、底部直径为 65 mm。文丘里喷嘴如图 1(c) 所示, 是在普通喷嘴(直径 25 mm) 的基础上增加了诱导口, 诱导口顶部距离普通喷嘴 7 mm, 上部为带有 12 mm 边沿的中空圆台, 其顶部直径、底部直径、高度分别为 51、35、10 mm, 下部同样为中空圆台, 其顶部直径、底部直径、高度分别为 35、52、60 mm, 中间由 35 mm 高的中空圆柱体连接。脉冲喷吹使用 20 L 的气包, 初始压力为 0.5 MPa, 喷吹时长为 0.15 s。压力测点布设在滤筒内壁中部, 所用传感器为压电陶瓷高频动态压力传感器 MYD-1530A ( $\phi 7 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$ )。

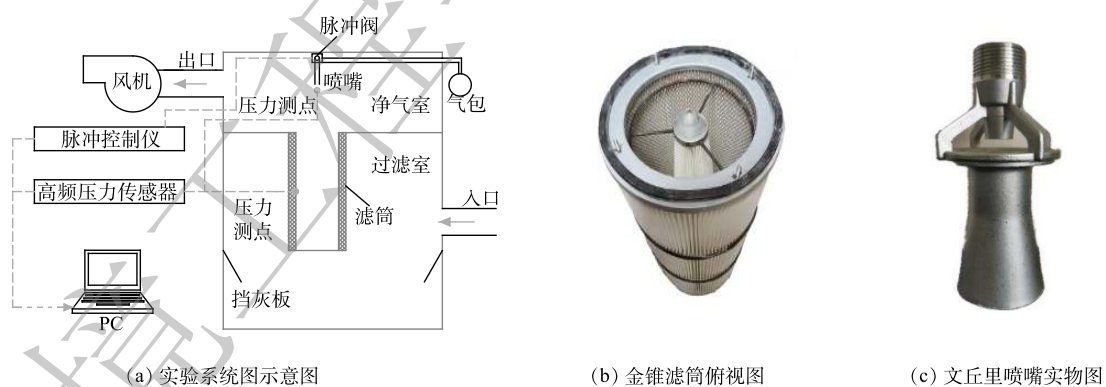


图 1 脉冲喷吹实验系统图

Fig. 1 System diagram of pulse injection experiment

### 1.2 几何模型的构建与简化

为节省计算量, 将中心轴对称结构的滤筒简化为二维, 同时, 将矩形截面的箱体简化为圆柱形箱体, 并保持各部位截面积不变。通过计算可知, 简化的圆柱形箱体的截面半径为 541 mm。为满足对喷吹高度的研究, 将模型中箱体的高度增加到 2 050 mm。简化后的二维模型如图 2 所示。

### 1.3 模拟的边界条件和初始值

模拟边界条件如下：将除尘器的顶面和底面设置为压力出口，壁面设置成标准无滑移边界，喷嘴设置为压力入口，滤筒的滤料层设置为多孔介质区。模拟涉及的流体看作为可压缩、非稳态、等温的湍流，选用 Realizable  $k-\varepsilon$  湍流模型和压力-速度耦合算法。喷吹过程中未考虑粉尘的存在和滤筒的形变。

入口压力通过实验获取，实验时，在喷嘴出口下方 10 mm 处设置高频压力传感器(测试后移走)，传感器可测得喷嘴处喷出气流的压力值，随后可将其与时间的变化曲线进行分段拟合，并得到喷嘴出口压力随时间变化的曲线。按照上述方法，通过更换喷嘴，可分别测试得到普通喷嘴和文丘里喷嘴的出口压力随时间的变化曲线，分别为式(1)和式(2)。

$$p_c = \begin{cases} 0 & t < 0.0086 \\ 5589.4t - 47.976 & 0.0086 \leq t < 0.0254 \\ -172.77t + 98.55 & 0.0254 \leq t < 0.1615 \\ -4304.4t + 765.77 & 0.1615 \leq t < 0.1779 \\ 0 & 0.1779 \leq t \end{cases} \quad (1)$$

$$p_d = \begin{cases} 0 & t < 0.0117 \\ 61434t^3 - 28534t^2 + 4349.3t - 46.863 & 0.0117 \leq t < 0.1748 \\ -65107t^2 + 21571t - 1611.5 & 0.1748 \leq t < 0.1950 \\ 27441t^2 - 14539t + 1918.7 & 0.1950 \leq t < 0.2488 \\ 0 & 0.2488 \leq t \end{cases} \quad (2)$$

式中： $p_c$  为普通喷嘴的出口压力，kPa； $p_d$  为文丘里喷嘴的出口压力，kPa； $t$  为时间，s。

将式(1)和式(2)以 UDF 的形式分别导入普通喷嘴和文丘里喷嘴的模拟中，时间步长设置为 0.0005 s。

由脉冲袋式除尘器手册<sup>[1]</sup>可知，喷吹气量与过滤面积成正比。由于普通滤筒和金锥滤筒的过滤面积存在差异，故 2 种条件下的喷嘴出口压力也应该存在系数差，计算过程如下。

通过式(3)和脉冲喷吹前后气包内的绝对压力，可计算得到喷吹实际耗气量<sup>[20]</sup>。

$$Q_p = \frac{p_0 V}{p_a} \left[ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \quad (3)$$

式中： $Q_p$  为在脉冲时间  $t$  内喷吹气量， $\text{m}^3 \cdot \text{次}^{-1}$ ； $p_0$ 、 $p_1$  为喷吹前后气包内的绝对压力，MPa； $p_a$  为当地的标准大气压力，取 0.09991 MPa； $V$  为气包容积， $20 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ； $k$  为绝热指数，空气取  $k=1.4$ 。

由实验测试结果可知，普通喷嘴条件下，初始气包压力为 0.50 MPa，喷吹剩余压力为 0.32 MPa，喷嘴出口最大压力为 95.31 kPa。而金锥滤筒的过滤面积为普通滤筒的 1.62 倍，可求得金锥滤筒的初始气包压力应为 0.72 MPa，对应的喷嘴出口压力峰值为 171.21 kPa，即金锥滤筒对应的喷嘴出口压力应为同等条件下普通滤筒的 1.80 倍。

过滤材料区域(多孔介质层)的计算通过在标准流体方程上附加动力源  $\Delta p$  来实现，该动力源由黏性损失项和惯性损失项组成，计算方法见式(4)。

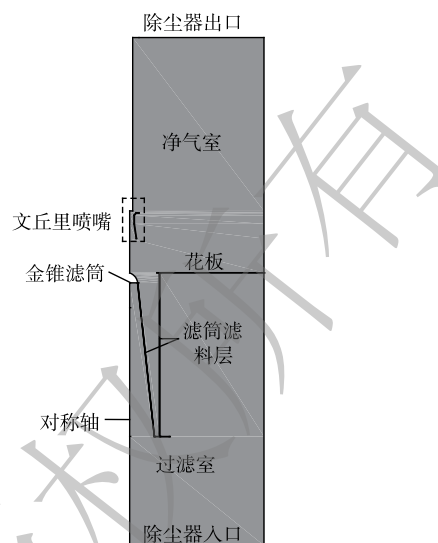


图2 几何模型

Fig. 2 Geometric model

$$\Delta p = -\left(\frac{\mu}{\alpha}v + C_2\frac{1}{2}\rho v^2\right)\Delta h \quad (4)$$

式中:  $\Delta p$ 为压力;  $\mu$ 为层流黏度;  $\alpha$ 为渗透率;  $C_2$ 为压强跃升系数;  $v$ 为法向加速度;  $\Delta h$ 为介质厚度;  $\rho$ 为空气密度。

另外, 根据已有研究<sup>[21]</sup>, 可用达西公式表示有限厚度的多孔介质的黏性损失项, 而对于多孔介质内部速度较低的流动, 其惯性损失项可忽略。经实验测试与计算, 所用滤料的厚度为 0.6 mm, 在过滤风速为  $0.5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  时压降为 17.9 Pa, 故其黏性损失系数  $1/\alpha$  为  $2.0\times 10^{11} \text{ m}^{-2}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 数值模拟验证

网格划分采用结构化网格, 划分后网格节点总数为  $24.14\times 10^3$  个、元素  $23.74\times 10^3$  个, 划分结果如图 3 所示。为了验证网格的独立性, 对网格进行了加密处理, 加密后的网格节点总数为  $33.34\times 10^3$  个、元素  $32.84\times 10^3$  个。

在气包初始压力为 0.5 MPa、脉冲宽度为 0.15 s、喷吹高度为 250 mm、普通喷嘴和普通滤筒组合的条件下, 滤筒内壁中间测点压力的模拟结果如图 4 所示。对比网格加密前后滤筒内壁中间测点压力值的变化情况, 发现网格加密前后压力的模拟值基本吻合。由此可知, 加密前的网格已经符合网格独立性的要求, 因此, 本研究采用加密前的结构化网格。

为进一步研究喷吹高度的影响, 对除尘器的净化室进行了加高, 并将除尘器的实际出入口简化为箱体顶面和底面。模拟结果表明, 增加净化室高度前后以及出入口简化前后的模拟结果基本一致, 可认为增加的净化室高度以及除尘器出入口的简化对所关注的滤筒内部气流的影响可以忽略。

由图 4 中模拟值与实验值的对比结果可知, 二者的变化趋势整体吻合, 压力均值基本相同, 主要的不同是模拟的数值波动弱于实验值。

这可能是模拟过程中并未考虑滤筒侧壁区域的流固耦合, 而实际脉冲喷吹过程中筒壁会在脉冲喷吹的冲击波作用下发生振动, 并由此引起传感器运动, 导致测试数据的波动。

### 2.2 喷吹压力的时空分布

图 5 为模拟得到的喷吹高度为 250 mm 时, 滤筒在脉冲喷吹过程中的静压力变化及流场流线变化。

在普通喷嘴和普通滤筒的组合 (图 5(a)) 的情况下, 气流从喷嘴处喷出, 产生卷吸作用, 诱导周围气流进入滤筒。随后, 高速的气流撞击到普通滤筒的底部, 静压从底部开始往上蓄积, 使得滤筒底部静压较大而顶部较小。在约 0.04 s 时, 滤筒内压力达到最大并维持一段时间; 在 0.155 s 之后, 滤筒内部压力逐渐下降。滤筒顶部常常喷吹压力过小, 甚至出现负压, 造成清灰不足。



图 3 网格划分图

Fig. 3 Meshing diagram

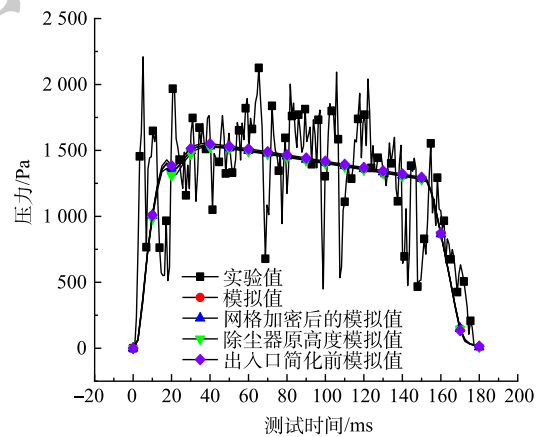
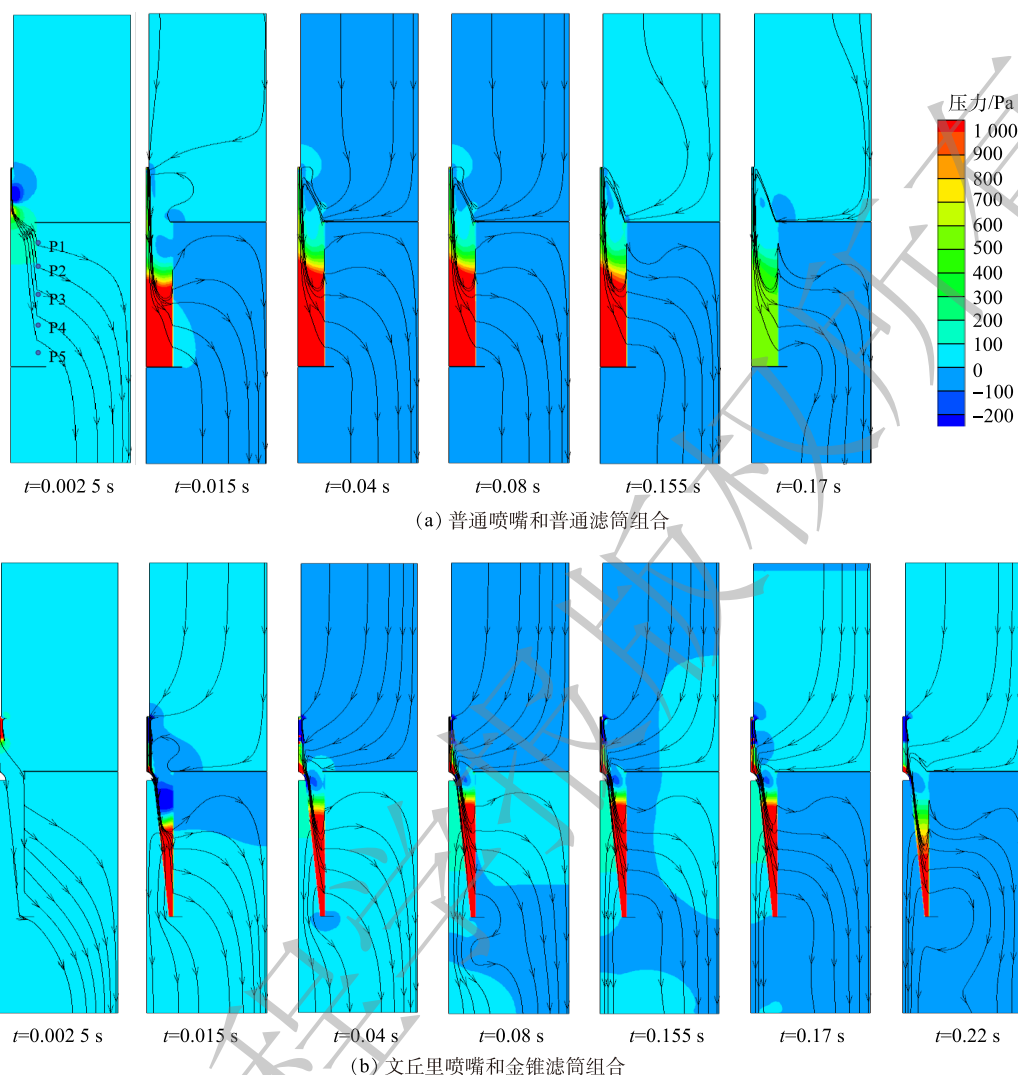


图 4 实验与模拟数据对比

Fig. 4 Comparison of experimental and simulated data





注: P1~P5为滤筒内壁相邻间隔110 mm的5个测点,其中P1点与滤筒顶部、P5点与滤筒底部距离为110 mm。

图5 喷吹过程中除尘器内压力云图与流线图

Fig. 5 Pressure contours and streamline in dust collector during pulse-jet

与普通喷嘴和普通滤筒的组合情况相比,文丘里喷嘴和金锥滤筒组合条件下(图5(b)),虽然滤筒内压力蓄积的过程基本相同,但滤筒内蓄积的压力更大,上部清灰不足的区域更小,且滤筒内压力在约0.08 s时达到稳定,约0.170 s时开始降低。

本研究进一步对比了4种组合(普通喷嘴和普通滤筒、文丘里喷嘴和普通滤筒、普通喷嘴和金锥滤筒、文丘里喷嘴和金锥滤筒)达到稳定状态时,除尘器内的静压力云图和流线图(图6)。图7为在初始条件下,4种组合对应的滤筒内部的质量流量随时间变化的曲线。

由脉冲喷吹过程中普通滤筒和金锥滤筒内压力和流线变化(图6(a)和(c)或图6(b)和(d))的对比结果可知,金锥滤筒内喷吹压力的蓄积效果更好,清灰不足的区域更小。造成这种现象的主要原因:与普通滤筒相比,金锥滤筒的过滤面积更大而内部空间更小,因而单位滤筒空间进入的喷吹气流更多,产生的气流压能更强。

由普通喷嘴和文丘里喷嘴的压力云图和流线图(图6(a)和(b)或图6(c)和(d))的对比结果可知,无论是在普通滤筒还是在金锥滤筒的条件下,文丘里喷嘴产生的喷吹压力都要强于普通喷

嘴。由对应滤筒内部的质量流量变化(图 7)可知,文丘里喷嘴通过诱导口诱导周围二次气流,可增加滤筒内部的喷吹气量。此外,文丘里喷嘴的缩扩结构能够加速喷吹气流,并且能够阻碍从喷嘴处喷出的气流的扩散作用,减少动能的耗散。在普通滤筒条件下,扩散后的气流在喷嘴下方收缩并产生局部漩涡,因而消耗较多气流能量;而在金锥滤筒条件下,由于金锥的导流作用,扩散后的喷吹气流能直接进入滤筒内部而存在较少的局部漩涡,气流阻力相对更小。

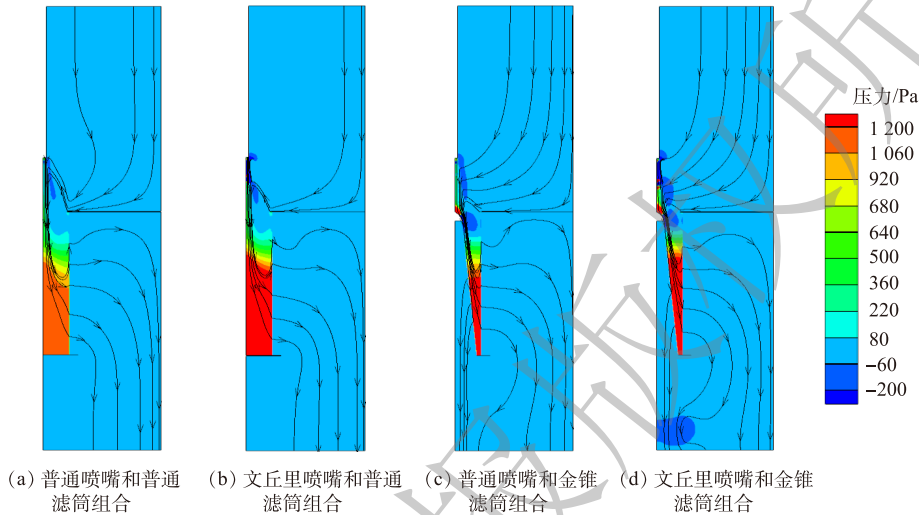


图 6 脉冲喷吹达到稳定时除尘器内的压力云图和流线图

Fig. 6 Pressure contours and streamline in the dust collector when the pulse-jet was stable

### 2.3 文丘里喷嘴和金锥滤筒的组合对喷吹压力的影响

为进一步比较 4 种情况下滤筒内的压力分布,分别选取滤筒内部距离滤筒上沿 110、220、330、440 和 550 mm 的 5 个点(图 5),并绘制各测点的侧壁压力随时间的变化图(图 8)。

在普通喷嘴条件下(图 8(a)和图 8(b)),滤筒内的压力分布均在约 0.040 s 时达到峰值,且持续一段时间后,在约 0.155 s 时开始降低;而在文丘里喷嘴条件下(图 8(c)和图 8(d)),滤筒内的压力分布到 0.080 s 才能达到最大值,并持续到 0.170 s 时开始减弱,这种压力随时间的变化趋势与第 2.2 节所述的一致。

4 种组合均为 P3~P5 测点压力相近且最大, P2 测点次之, P1 测点压力最小。在普通喷嘴和普通滤筒组合条件下, P3~P5 测点压力峰值为 1 525~1 695 Pa, P2 为 949 Pa, P1 为 381 Pa;文丘里喷嘴和金锥滤筒组合时, P3~P5 测点压力为 2 465~2 812 Pa, P2 为 1 882 Pa, P1 为 588 Pa。由普通滤筒条件下各测点的压力分布可知,使用文丘里喷嘴时,滤筒内中下部的压力峰值显著上升,而上部压力峰值不及普通喷嘴。

由普通喷嘴条件下各测点的压力分布可知,金锥滤筒对所有测点的压力峰值均具有加强作用。在文丘里喷嘴与金锥滤筒组合及普通喷嘴与普通滤筒组合条件下,由各测点的压力分布可

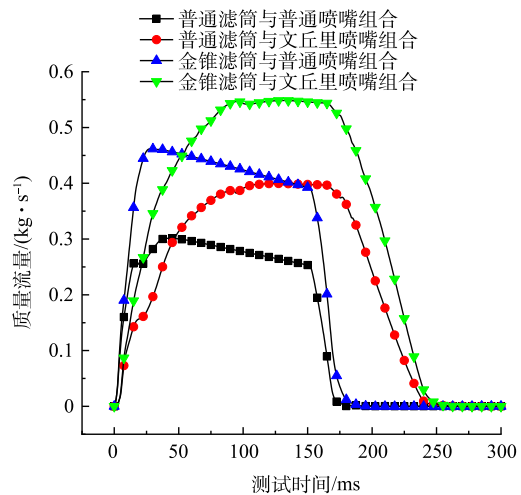


图 7 4 种组合条件下的质量流量

Fig. 7 Mass flow under four combined conditions

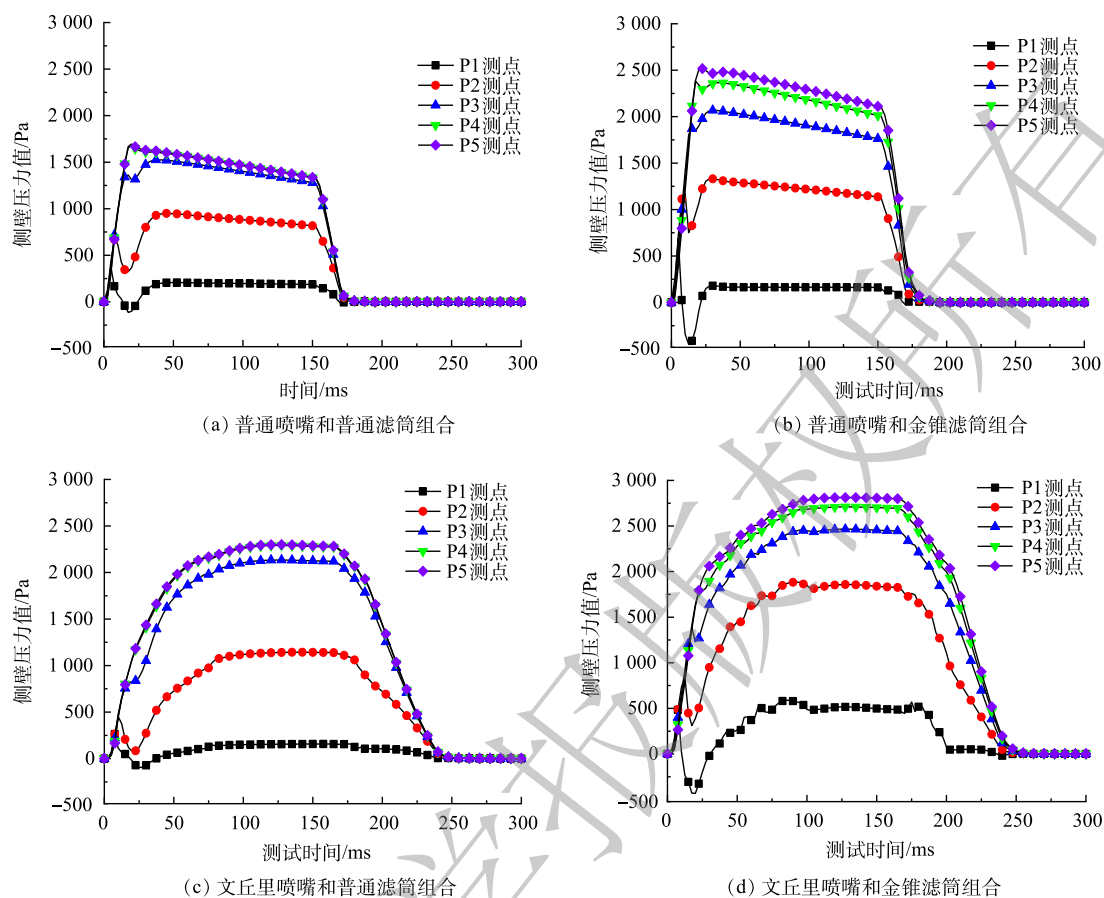


图8 脉冲喷吹过程中的测点压力随时间的变化

Fig. 8 Change of pressure at measuring point with time during pulse-jet

知, 文丘里喷嘴与金锥滤筒组合条件下, 各测点的压力峰值均会得到明显提升, 其中 P2 点的提升尤为显著, 提升了 1.98 倍。

综上所述, 文丘里喷嘴可以加强滤筒内中、下部的压力, 并且在与金锥滤筒的组合条件下, 也能提高上部的喷吹压力, 即文丘里喷嘴和金锥滤筒能够协同优化脉冲喷吹的性能。

#### 2.4 喷吹高度对文丘里喷嘴和金锥滤筒组合优化作用的影响

为进一步研究文丘里喷嘴和金锥滤筒的协同作用, 分析了喷吹性能随喷吹高度的变化(图9)。

喷吹性能常用喷吹强度和变异系数来描述。喷吹强度是指滤筒内各测点正压力峰值的平均值, 其值与喷吹强度成正比; 变异系数是描述滤筒内压力分布的均匀性指标, 用标准差和平均值的比值来表示, 变异系数越小, 滤筒内压力分布的均匀性越好<sup>[22-23]</sup>。

由图9可知, 4种组合均表现为, 喷吹强度随喷吹高度的增大先增大后减小, 并在喷吹高度为 550 mm 时达到最大值。由文丘里喷嘴和金锥滤筒组合条件下各高度的质量流量(图10)可知, 这主要是由不同高度下喷嘴诱导气流流量发生变化所导致的。从文丘里喷嘴喷出的气流会在压差的作用下诱导周围空气, 高度的改变造成周围流量的变化, 进而改变了滤筒内气流的质量流量; 并且, 脉冲气流的诱导作用存在最大值, 在高度超过 550 mm 时, 周围气流并不能被全部诱导, 因此造成质量流量的下降。

随着喷吹高度的增大, 变异系数逐渐变小, 即滤筒内压力分布的均匀性越来越好。这主要是由于, 喷吹过程中, 从喷嘴喷出的气流会以一定的角度扩散, 使得喷吹气流的横截面不断变大。

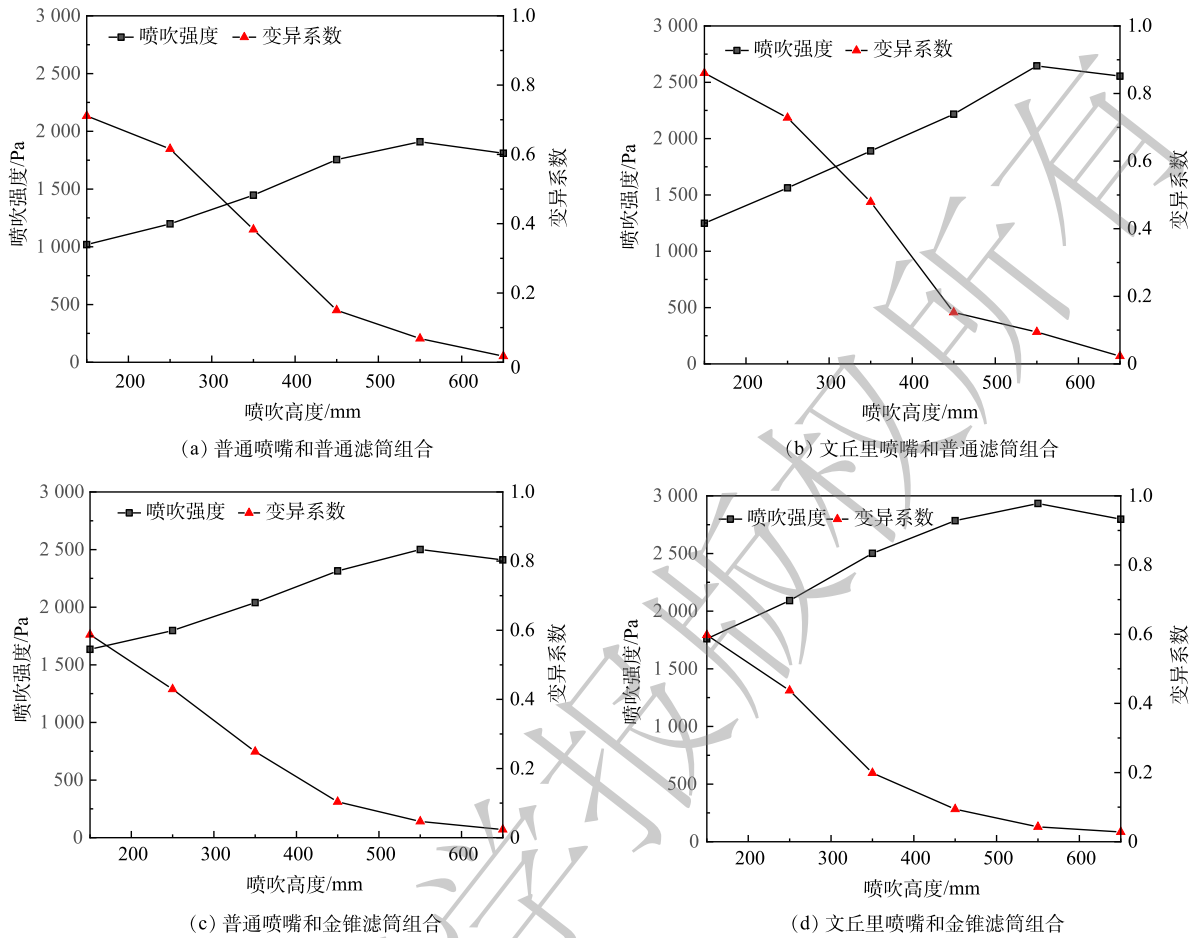


图 9 4 种情形下脉冲喷吹过程中的压力随喷吹高度的变化

Fig. 9 Change of pressure with injection height in the pulse-jet process under four conditions

喷吹高度的增加，使到达滤筒顶部的气流的截面积变大，增强了上部清灰效果，从而造成了均匀性的改善。

由普通喷嘴和文丘里喷嘴 (图 9(a) 和 (b) 或图 9(c) 和 (d) 条件下喷吹性能的对比结果可知，在普通滤筒和金锥滤筒条件下，文丘里喷嘴的喷吹强度的平均值是普通喷嘴的 1.32 和 1.17 倍，文丘里喷嘴的变异系数的平均值是普通喷嘴的 1.20 和 0.97 倍。虽然文丘里喷嘴的喷吹强度要优于普通喷嘴，但变异系数 (尤其是喷吹高度较小时) 要大于普通喷嘴，即滤筒内的压力分布不如普通喷嘴均匀。

由普通滤筒和金锥滤筒 (图 9(a) 和 (c) 或图 9(b) 和 (d) 条件下喷吹性能的对比结果可知，在普通喷嘴和文丘里喷嘴条件下，金锥滤筒的喷吹强度是普通滤筒的 1.39 和 1.23 倍，金锥滤筒的变异系数是普通滤筒的 0.74 和 0.60 倍。金锥滤筒条件下不仅喷吹强度得到提升，相较于普通滤

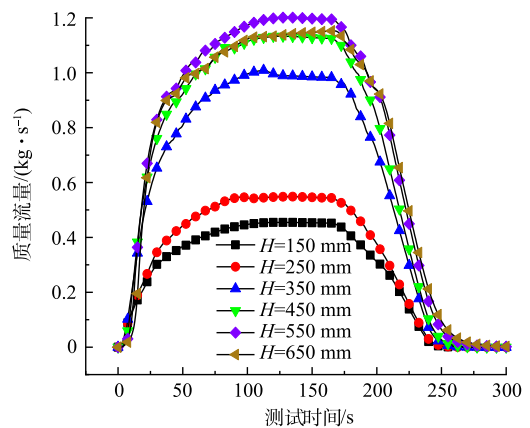


图 10 文丘里喷嘴和金锥滤筒条件下各高度的质量流量

Fig. 10 Mass flow at each height under the conditions of venturi nozzle and golden cone filter cartridge



筒, 金锥滤筒的变异系数也要更小。这说明, 金锥滤筒对进入滤筒的气流具有导流作用, 可以使其更加均匀, 这与第2.3节中的论述一致。

将文丘里喷嘴和金锥滤筒组合(图9(d))条件下的喷吹性能分别与文丘里喷嘴和普通滤筒(图9(b))以及普通喷嘴和金锥滤筒(图9(c))相对比, 可以发现, 在喷吹强度上, 文丘里喷嘴和金锥滤筒组合分别是文丘里喷嘴和普通滤筒以及普通喷嘴和金锥滤筒的1.23和1.17倍, 变异系数分别是0.60和0.97倍。文丘里喷嘴和金锥滤筒的组合无论是在喷吹强度, 还是在压力分布的均匀性上, 都是最好的。这说明, 两者的组合具有协同作用, 可以优化脉冲喷吹性能。

综合分析可知, 文丘里喷嘴主要有利于提升喷吹强度, 金锥滤筒主要改善喷吹气流的均匀性, 文丘里喷嘴和金锥滤筒的组合则同时提高喷吹强度和喷吹均匀性。并且, 在所研究的喷吹高度范围内, 相比于同高度的普通喷嘴和普通滤筒组合, 文丘里喷嘴和金锥滤筒组合在喷吹高度为150~350 mm时喷吹强度提升最显著, 在350~550 mm时喷吹均匀性改善效果最好。为此, 建议在文丘里喷嘴和金锥滤筒组合条件下采用喷吹高度350 mm以获得最佳喷吹性能, 此时其喷吹强度为2 501.27 Pa, 变异系数为0.19, 分别是普通喷嘴和普通滤筒组合时的1.73倍和0.51倍。

### 3 结论

1) 在普通喷嘴与普通滤筒、文丘里喷嘴与普通滤筒、普通喷嘴与金锥滤筒及文丘里喷嘴与金锥滤筒4种组合中, 脉冲喷吹气流均为自底部向上蓄积, 滤筒内侧壁压力分布均表现为底部压力大而上部压力小的趋势。

2) 与普通喷嘴相比, 文丘里喷嘴主要通过增强气流的卷吸作用、加大进入滤筒内的喷吹气量, 进而提高喷吹强度; 与普通滤筒相比, 金锥滤筒内的金锥主要通过导流、改善滤筒内流场分布, 进而提高喷吹均匀性; 文丘里喷嘴和金锥滤筒可实现组合式优化喷吹性能。

3) 文丘里喷嘴和金锥滤筒组合条件下, 在喷吹高度为150~350 mm时喷吹强度最佳, 而喷吹均匀性在喷吹高度为350~550 mm时最好。因此, 建议文丘里喷嘴和金锥滤筒组合时采用喷吹高度350 mm以实现最佳喷吹性能。

### 参考文献

- [1] 张殿印, 王纯. 脉冲袋式除尘器手册[J]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 2-3.
- [2] 杨燕霞, 张明星, 秦文茜, 等. 脉冲喷吹内置锥形滤筒的清灰性能[J]. 中国粉体技术, 2019, 25(1): 76-80.
- [3] ROTHWELL E. Design and operating characteristics of reverse-jet assemblies for pulse-jet dust collectors[J]. Filtration & Separation, 1988, 25(4): 257-262.
- [4] LI Q Q, ZHANG M X, QIAN Y L, et al. The relationship between peak pressure and residual dust of a pulse-jet cartridge filter[J]. Powder Technology, 2015, 283: 302-307.
- [5] 胥海伦, 李岚溪, 沈玉妹, 等. 上部开孔锥形喷射器对滤筒脉冲清灰效果的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(10): 5549-5553.
- [6] 张一帆, 陈海焱, 覃金珠. 滤筒除尘器及应用现状[J]. 能源与环境, 2009(5): 47-52.
- [7] 杨军瑞, 胥海伦, 陈海焱. 脉冲喷吹滤筒除尘器在低尘环境中应用的可行性分析[J]. 能源环境保护, 2010, 24(2): 6-9.
- [8] 瞿晓燕, 沈恒根. 袋式除尘器清灰气源设计与脉冲阀性能探讨[J]. 环境工程, 2008, 26(2): 23-26.
- [9] TSAI C J, LU H C. Numerical and experimental study of cleaning process in pulse-jet fabric filtration systems[J]. Journal of Aerosol Science, 1996, 30(11): 3243-3249.
- [10] 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.
- [11] 蒋存刚, 李纪锦, 李勇, 等. 影响脉冲袋式除尘器清灰效果的因素探讨[J]. 橡胶工业, 2007, 54(1): 49-51.
- [12] 姜洋, 谭志洪, 刘丽冰, 等. 响应面法优化袋式除尘器脉冲清灰性能[J]. 环境工程学报, 2014, 8(7): 2969-2974.
- [13] 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.
- [14] LI J L, LI S H, ZHOU F B. Effect of cone installation in a pleated filter cartridge during pulse-jet cleaning[J]. Powder Technology, 2015, 284: 245-252.
- [15] 张亚蕊, 韩云龙, 钱付平, 等. 新型滤筒除尘器性能的数值模拟[J]. 过程工程学报, 2016, 16(1): 48-54.

- [16] QIU J, WU D S, CHEN D R, et al. Reverse pulsed-flow cleaning of pleated filter cartridges having an inner pleated filter cone[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, 146: 481-489.
- [17] 胡峰源, 谭志洪, 熊桂龙, 等. 用于袋式除尘器的拉瓦尔型喷嘴脉冲清灰性能分析[J]. *环境工程*, 2019, 37(6): 117-122.
- [18] 胥海伦, 周苗苗, 张情, 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.
- [19] 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): 138-142.
- [20] 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.
- [21] LI J L, WANG P, WU D S, et al. Numerical study of opposing pulse-jet cleaning for pleated filter cartridges[J]. *Separation and Purification Technology*, 2020, 234: 116086.
- [22] 颜翠平, 张明星, 吕娟, 等. 脉冲喷吹大流量滤筒除尘器的清灰变化过程研究[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(2): 829-834.
- [23] WU Q, LI J, WU D, et al. Effects of overall length and od on opposing pulse-jet cleaning for pleated filter cartridges[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2020, 20: 432-443.
- (责任编辑: 靳炜, 郑晓梅)

## Numerical simulation of the performance of pulse jet dust cleaning of venturi nozzle improved golden cone filter

SU Zhengtong, LIN Zijie, LI Jianlong\*, QIU Jun, WU Quanquan, WU Daishe

School of Resources, Environmental and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China

\*Corresponding author, E-mail: jlli@ncu.edu.cn

**Abstract** The pulse injection of the traditional dust collector has the disadvantages of poor uniformity and insufficient strength. In this study, a CFD model of the pulse-jet filter cartridge was constructed. The dust removal performance under the combined conditions of venturi nozzle and golden cone filter cartridge was investigated. The result showed that, for venturi nozzle, golden cone filter cartridge or their combination, the pressure in the filter cartridge was large at the bottom and small at the top. Venturi nozzle, golden cone filter could or their combination could optimize the injection performance. When the blowing distance was 150~550 mm, both the pulse-jet intensity and uniformity totally increased with the blowing distance. When the blowing distance was 350 mm, the best pulse-jet performance occurred with the combination of venturi nozzle and golden cone filter cartridge, the pulse-jet intensity and uniformity increased by 1.72 and 1.96 times, respectively. The research can provide a reference for the optimization of the pulse-jet dust collector.

**Keywords** dust collector; pulse-jet; dust removal performance; venturi nozzle; gold cone filter; numerical simulation