



CSTAM 2012-B03-0020

金属丝网高温烟气除尘器内部的气固两相 流分析

张婉婧，魏小林，李腾，李森

中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室

第七届全国流体力学学术会议

2012年11月12—14日 广西·桂林

金属丝网高温烟气除尘器内部的气固两相流分析¹⁾

张婉婧^{* 2)}, 魏小林, 李腾, 李森

^{*}(中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京海淀区 100190)

摘要 现代工业生产中产生大量的高温含尘气体, 对其净化除尘是一项实现资源合理利用和环境保护的关键技术。传统的布袋除尘器普遍应用于 300℃ 以下的烟气过滤, 新型的金属多孔材料凭借良好的耐高温性、机械性能和导热性等, 在高温烟气除尘方面具有更好的适用性和优越性。本文选择金属丝网除尘器作为研究对象, 利用 Fluent 软件模拟了除尘器在不同的过滤速度、滤袋渗透率和气体温度条件下的气固两相流场。模拟结果表明, 金属丝网滤料可以采用高于传统纤维滤料的过滤速度, 滤袋不同位置的过滤速度有较大差别, 不同滤袋的利用率也明显不同; 较高的入口温度导致速度场分布的不均匀性增加。可以尝试滤袋的分区和分段过滤, 最大程度提高除尘器的材料利用率, 延长滤袋寿命, 节约成本。同时适当提高滤料的面渗透率, 有利于降低系统压降, 促进流场均匀性的改善, 并提高颗粒的过滤效率。

关键词 金属丝网, 高温除尘器, 气固两相流

引言

现代工业生产过程中, 涉及高温含尘气体净化除尘和应用的领域十分广泛。高温工业气体含有大量物理显热、化学潜热、动力能以及可利用的物质, 它的合理利用有着巨大的经济价值和环保价值。因此, 高温气体的净化除尘是实现高温气体资源合理利用所必不可少的关键技术, 同时也是一项先进的环保技术^[1]。

由于烟气处于高温状态, 气体物理属性有较大变化, 粘滞力变大, 湿度大幅下降, 细颗粒凝聚现象大为降低, 所以对微粒的分离难度提高^[2]。因此高温下的气体净化除尘要求过滤材料具有耐高温、良好的气体渗透性, 孔隙率高且分布均匀, 高的强度、韧性和耐热性等特点^[1]。

在诸多高温气体净化除尘工艺技术中, 介质过滤净化除尘技术有着显著的优点。它通过高温过滤介质实现气固分离, 达到气体净化和资源回收的目的, 可以最大程度地利用气体的物理显热和化学潜热, 提高能源利用率^[3, 4]。传统的布袋式除尘器不能适应高温气体的温度, 陶瓷过滤器和金属多孔材料应运而生, 成为在

高温条件下取代布袋除尘器的新型介质过滤技术。陶瓷过滤器具有很好的耐高温和抗腐蚀性, 但它韧性差, 抗热、抗震性仍有待进步提高。而金属多孔过滤材料具有良好的耐高温性和优良的机械性能, 良好的韧性和导热性。使其具有很好的抗热、抗震性还具有良好的加工性能和焊接性能。这些优良的性能使得金属多孔过滤材料在高温除尘过滤介质应用方面具有更好的适用性和优越性^[1]。

本文选择烧结金属丝网除尘器作为研究对象, 对多个滤袋组成的过滤单元进行数值模拟, 总结出高温含尘气体在烧结金属除尘器内部的流场特性, 并分析改进除尘器流场均匀性和提高除尘器效率的方法。

1 计算方法

1.1 三维模型

本文的数值模拟对象为 35 个烧结金属丝网袋式除尘器组成的过滤单元。由上箱体、下箱体、灰斗、金属滤袋等组成。模型的结构尺寸选用了李勇^[5]等设计的脉冲袋式除尘器, 上箱体长 1542mm, 宽 1123mm, 高 500mm; 下箱体长 1542mm, 宽 1123mm, 高 2100mm。灰斗

1) 基金资助项目: 国家高技术研究发展计划“863”项目(批准号: 2006AA05Z253); 中国科学院知识创新工程重要方向项目资助(项目编号: KGCX2-YW-3212)

2) Email: zhangwanjing@imech.ac.cn

为四棱锥形，上底面长 1542mm，宽 1123mm，下底面长 200mm，宽 200mm，灰斗高度 1100mm。进风口位于灰斗中部，截面为长方形，长 500mm，宽 300mm。出风口位于上箱体中部，与进风口垂直，截面为长方形，长 500mm，宽 300mm。下箱体中设置 5 排滤袋，每排 7 条，滤袋规格为 $\phi 150\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 。在 Gambit 中建立三维模型并生成网格如下，网格均采用六面体/楔形结构化网格，网格数量为 329559。滤袋分布情况如图 1、2 所示。

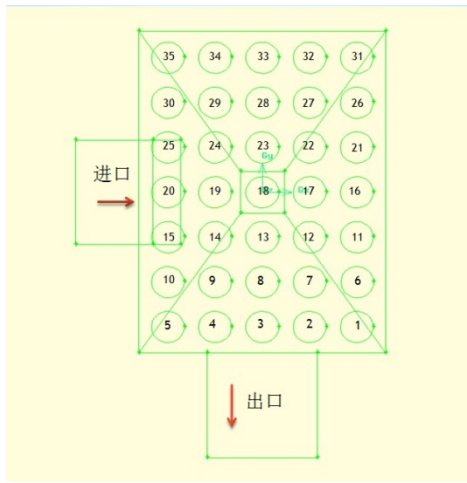


图 1 滤袋分布示意图

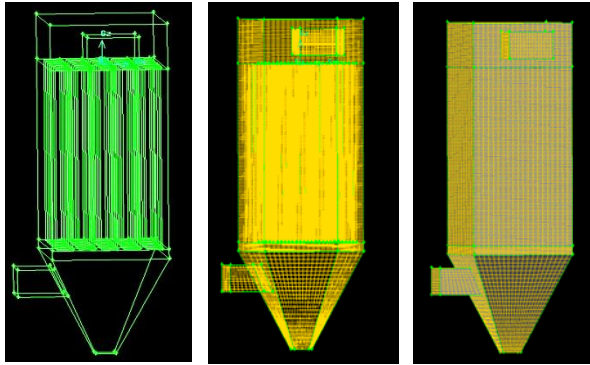


图 2 除尘器三维模型及网格划分

1.2 边界条件

除尘器的进口采用速度进口边界条件，湍流强度为 10%，水力直径 375mm；出口采用压力出口边界条件，湍流强度为 10%，水力直径 375mm。壁面为静止壁面，绝热，无滑移，采用标准壁面函数。过滤用金属丝网简化为多孔介质，在 Gambit 中采用多孔跳跃边界条件，厚度为 3mm，颗粒在滤料表面全部被收集

(trap)。该简化模型可以模拟速度（压降）特性均为已知的薄膜，比完整的多孔介质模型更可靠、更容易收敛。通过薄膜的压力变化定义为 Darcy 定律和附加内部损失项的结合：

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_{22} \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m$$

$$v = -e \cdot \Delta p$$

入口烟气温度为 600°C (873K)，密度 0.404kg/m^3 ，定压比热 $1.114\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ，导热系数 $0.0622\text{W/m}^\circ\text{C}$ ，动力粘度 $3.91\text{e-}5\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

由于燃煤烟气中固体体积分数远小于 10%，可以忽略颗粒与颗粒之间的相互作用和颗粒体积分数对连续相的影响，因此计算时选用气固两相流中的拉格朗日离散相模型。空气作为连续相，粉尘作为离散相。在建模时需要作以下假设：流体作定常流动；整个流动过程为等温过程；滤袋为张紧的圆柱体，在工作过程中无变形；流体做不可压缩的定常流动。计算过程中采用非耦合隐式求解法。颗粒轨道的计算时基于连续相的流场计算结果得到的。

连续相计算时采用标准 $k - \epsilon$ 湍流双方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + G_{2\epsilon} \frac{\epsilon}{k} + (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \end{aligned}$$

G_k 为由层流速度梯度产生的湍流动能， G_b 为由浮力产生的湍流动能； k 为紊流脉动动能； Y_M 为在可压缩湍流中过渡扩散产生的波动能量， k ，不可压缩流动时取值为 0； ρ 为流体密度 (kg/m^3)； ϵ 为紊流脉动动能的耗散率； u 为流体相速度 (m/s)； μ 为流体动力粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)； $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 、 $C_{3\epsilon}$ 为常量， $C_{1\epsilon} = 1.44$ ， $C_{2\epsilon} = 1.92$ ， $C_{3\epsilon} = 0.09$ ； σ_k 和 σ_ϵ 是 k 方程和 ϵ 方程的湍流普朗特数。

对于上升流，重力起到的是一种负作用，且效果并不明显，所以在研究时经常被简化

掉，除非是粉尘粒子比较大的情况需要考虑一下^[6]。

1.2.1 进口速度

除尘器运行中控制烟气通过滤料的速度是影响过滤效率和滤袋寿命的关键因素，通常称为过滤速度，传统布袋除尘的过滤速度一般取为 0.5—2m/min^[7]。烧结金属丝网过滤器具有良好的韧性和耐腐蚀性，不易变形，故尝试选用更高的过滤速度。过滤速度的计算公式如下：

$$v_{\text{进}} = \frac{Q}{S_{\text{滤}}}$$

Q 为处理风量， $S_{\text{滤}}$ 为过滤面积。此处的过滤速度代表气体通过除尘布袋的平均速度，也称为表观气流速度。

过滤速度体现着除尘设备清洁含尘气流的能力。当处理风量一定时，过滤速度太小，设计出的袋式除尘器的结构尺寸必然很大，与布袋实际应有的处理能力不相匹配，不能充分发挥除尘性能，导致除尘设备占地空间较大的同时，还严重降低了除尘效率。如果过滤速度过大，各条布袋受到的气流的冲击也较大，不利于初始粉尘层的形成，与滤布应有的过滤机理相违背，同时也会缩短布袋的使用寿命^[8]。袋式除尘器整体结构的尺寸、使用成本、除尘效果都受到过滤速度的制约，因此，过滤速度的合理选择是袋式除尘器研究中的重点内容。

对于圆形滤袋、方形进口的袋式除尘器，滤袋的过滤面积和除尘器进口面积的计算公式如表 2 所示。

$$S_{\text{滤}} = n \times \pi DL; \quad (n \text{ 为滤袋数量})$$

$$S_{\text{进}} = a \times b; \quad (a、b \text{ 为方形进口的边长})$$

除尘器进口速度：

$$v_{\text{进}} = \frac{Q}{S_{\text{进}}} = v_{\text{滤}} \times \frac{S_{\text{滤}}}{S_{\text{进}}}$$

数值模拟过程中，先假定除尘器的过滤风速为固定值，计算出除尘器的理论处理风量，并推算出除尘器的入口速度作为边界条件，检验该情况下除尘器中的速度场分布和压降情况，分析过滤速度的选择是否合理。详见表 1。

1.2.2 滤袋渗透率

不同的过滤孔径对应着不同的滤袋渗透系数，除尘器入口的烟气含尘颗粒浓度分布如表 2 所示。

表 1 用格林氏沉降法测量某窑炉的烟尘粒径分布^[9]

粒径 / μm	>10	10-5	5-2	2-1	<1
平均分布率%	0.25	0.75	8.00	38.00	53.00

表 2 过滤风速与进口速度对照表

	过滤风速 $v_{\text{滤}}(\text{m}/\text{min})$	滤网直径 D(m)	滤网长度 L (m)	滤网面积 S(m ²)	处理风量 Q(m ³ /h)	处理风量 Q (m ³ /min)	处理风量 Q (m ³ /s)	进口面积 S _进 (m ²)	进口速度 $v_{\text{进}}(\text{m}/\text{s})$
v1	0.5	0.15	2	32.97	989.1	16.485	0.27475	0.15	1.83
v2	1	0.15	2	32.97	1978.2	32.97	0.5495	0.15	3.66
v3	1.5	0.15	2	32.97	2967.3	49.455	0.82425	0.15	5.50
v4	2	0.15	2	32.97	3956.4	65.94	1.099	0.15	7.33
v5	2.5	0.15	2	32.97	4945.5	82.425	1.37375	0.15	9.16
v6	3	0.15	2	32.97	5934.6	98.91	1.6485	0.15	10.99
v7	3.5	0.15	2	32.97	6923.7	115.395	1.92325	0.15	12.82
v8	4	0.15	2	32.97	7912.8	131.88	2.198	0.15	14.65
v9	4.5	0.15	2	32.97	8901.9	148.365	2.47275	0.15	16.49
v10	5	0.15	2	32.97	9891	164.85	2.7475	0.15	18.32

根据某金属丝网加工厂的参数表，选择过滤孔径 10 μm 以下的三种渗透率（ 9.1×10^{-23} ， 2.2×10^{-22} ， 4.6×10^{-22} ）作为金属丝网滤料简化为多孔介质时的面渗透率参数。

1.2.3 入口气体温度

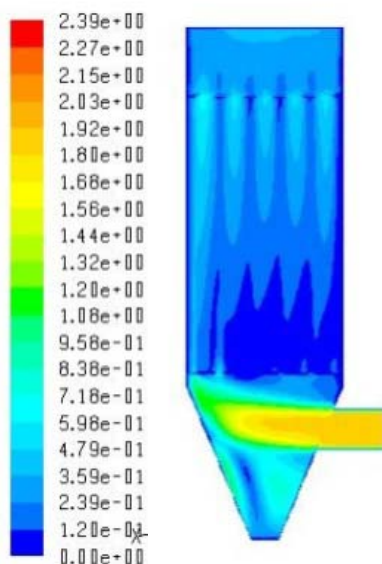
选择烧结金属丝网过滤器的一个重要原因就是这种滤料可以承受很高的气体温度，从而可以实现气体不冷却的情况下直接除尘，清洁后的高温气体又可以直接导入余热锅炉中得到再利用，大大的提高了能源利用率。

本文在 100℃—600℃ 范围内每隔 100℃ 选取一个节点，计算除尘器内部流场分布受入口气体温度变化的影响。

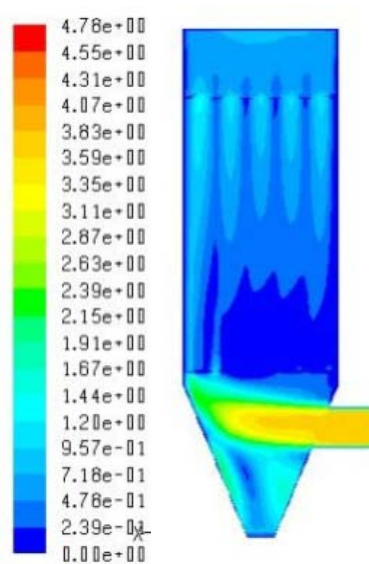
2 计算结果分析

2.1 入口速度变化对流场的影响

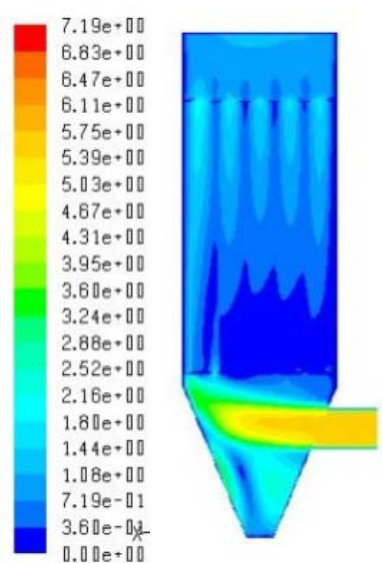
除尘器入口中心截面上的速度云图随入口速度变化的分布规律如图 3 所示。



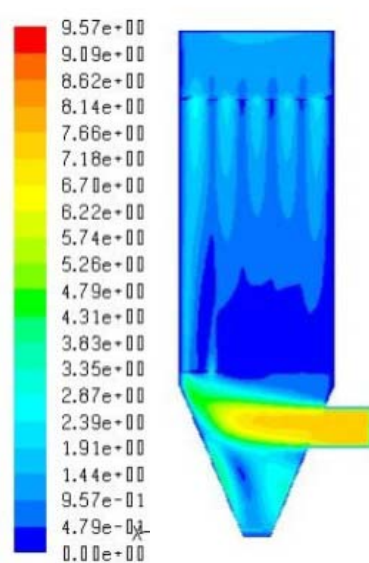
Inlet velocity=1.83m/s



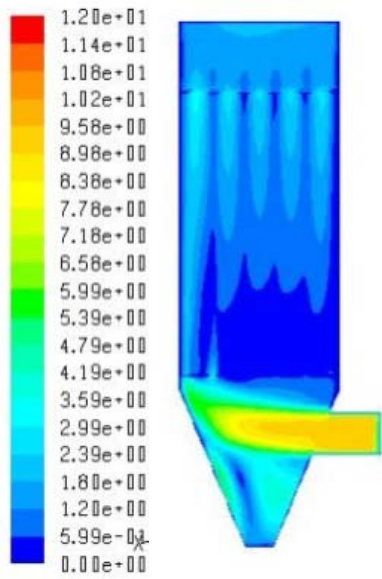
Inlet velocity=3.66m/s



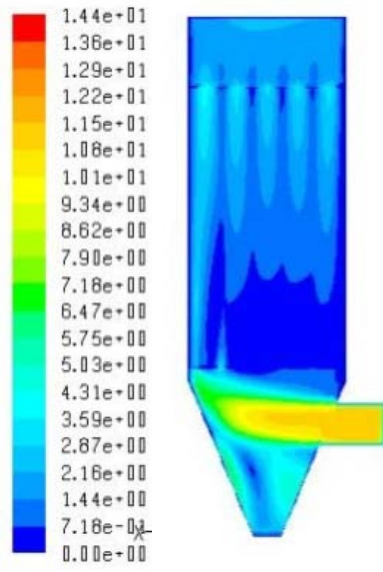
Inlet velocity=5.50m/s



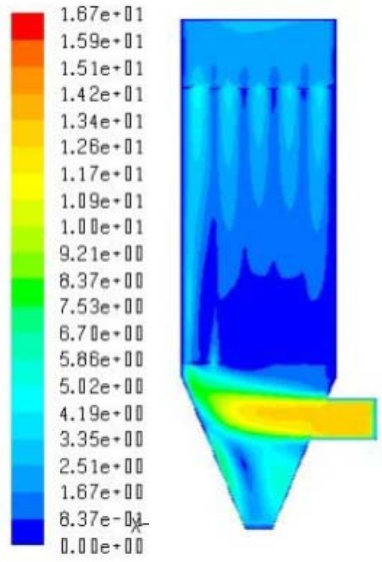
Inlet velocity=7.33m/s



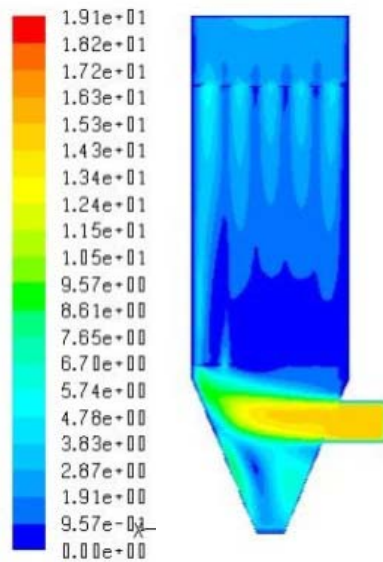
Inlet velocity=9.16m/s



Inlet velocity=11.00m/s



Inlet velocity=12.82m/s



Inlet velocity=14.65m/s

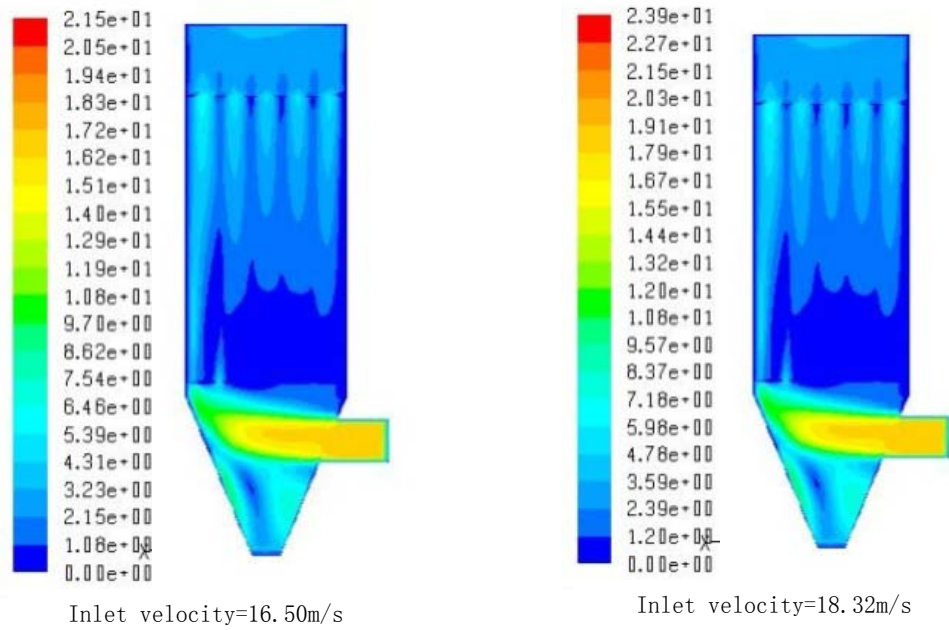


图 3 入口中心截面速度云图变化规律

由上图可见，随着入口速度的增加，也即除尘器处理风量的增加，除尘器入口中心截面的速度云图分布基本相似，但除尘器内部的整体速度在上升。同时进出口质量流量的差值结果如图 4 所示，质量流量不平衡率均在可接受范围内，除尘器 1.83-18.32m/s 的入口速度范围可以接受。从图中可以看出，除尘器内部速度最大的区域出现在进气口附近的灰斗处，入口气流在灰斗内形成射流，对除尘器距离入口最远处的一排滤袋底部冲击最大。选择除尘器出口中心截面上的速度云图进行对比如图 5 所示。

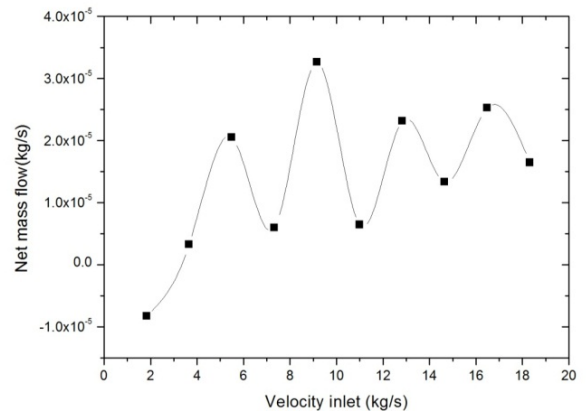
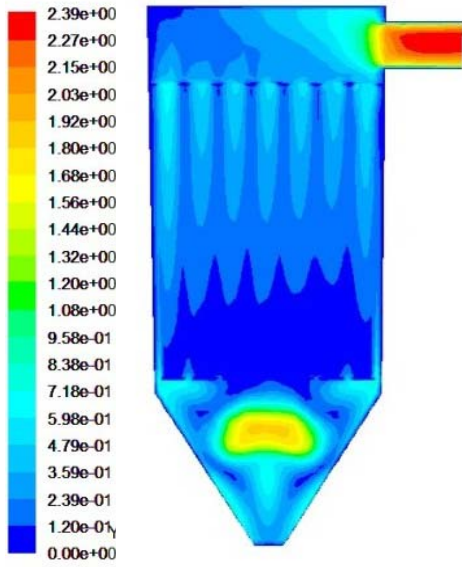
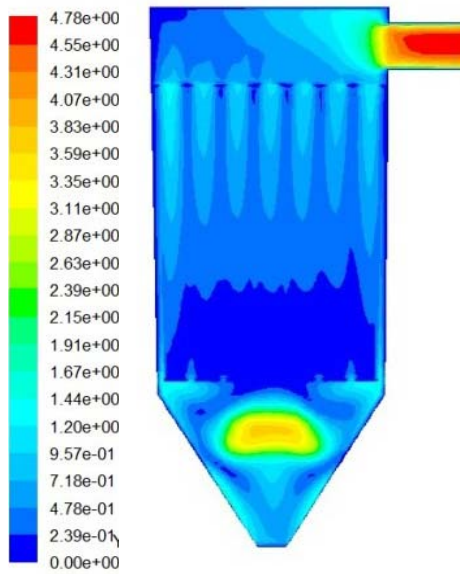


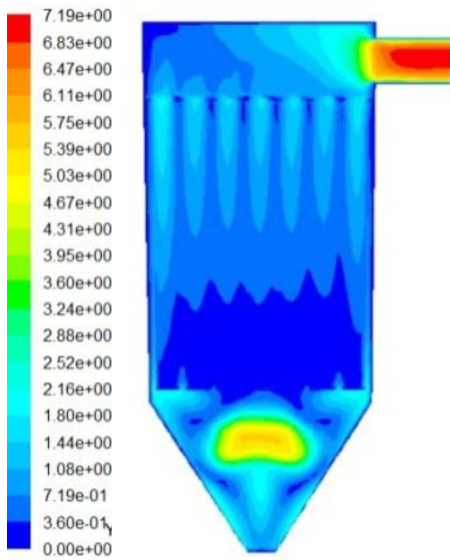
图 4 进出口质量流量差值随入口速度的变化曲线



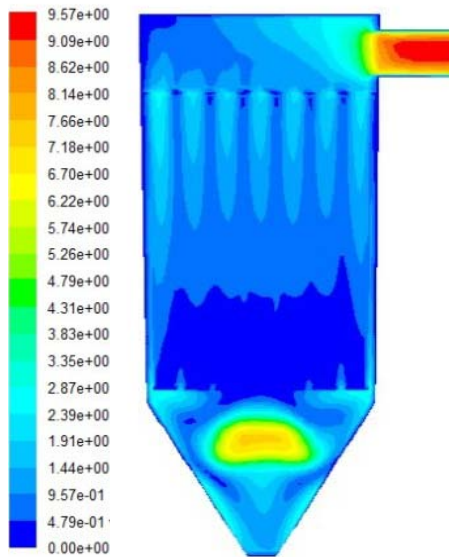
Inlet velocity=1.83m/s



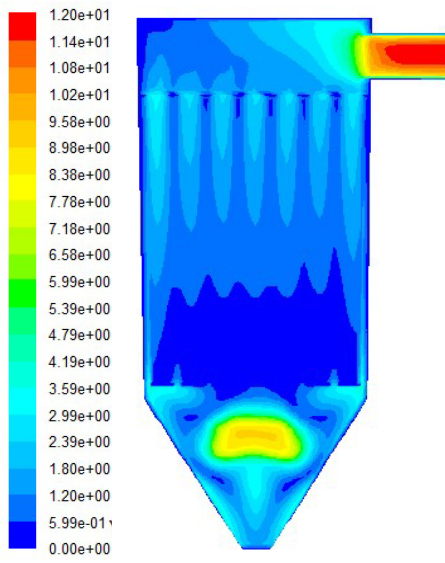
Inlet velocity=3.66m/s



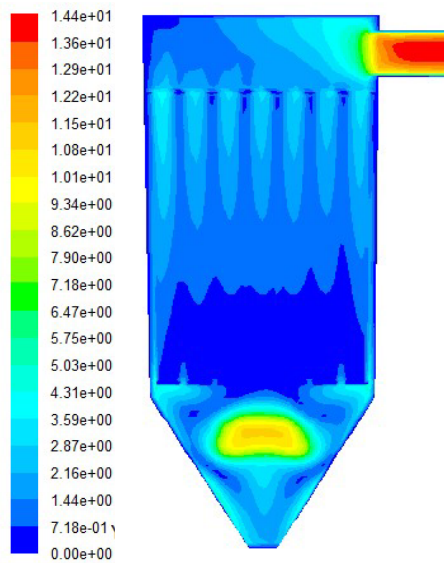
Inlet velocity=5.50m/s



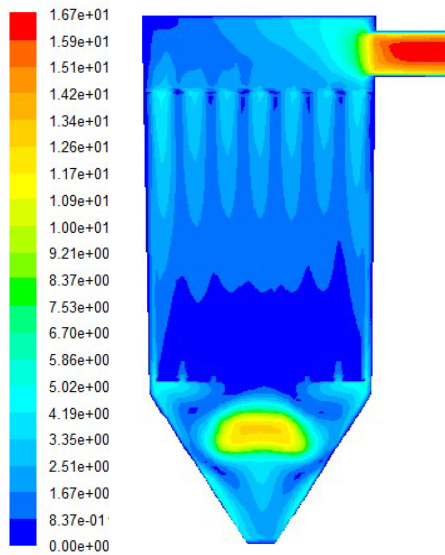
Inlet velocity=7.33m/s



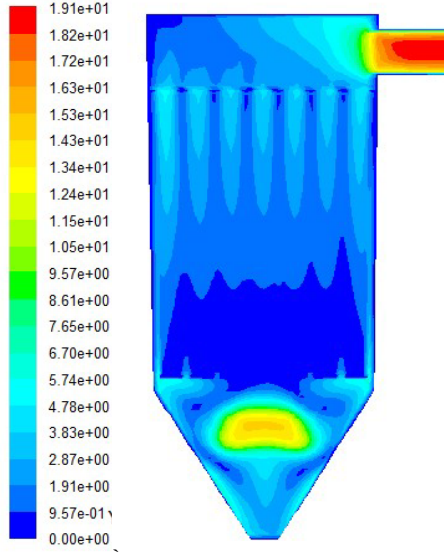
Inlet velocity=9.16m/s



Inlet velocity=11.00m/s



Inlet velocity=12.82m/s



Inlet velocity=14.65m/s

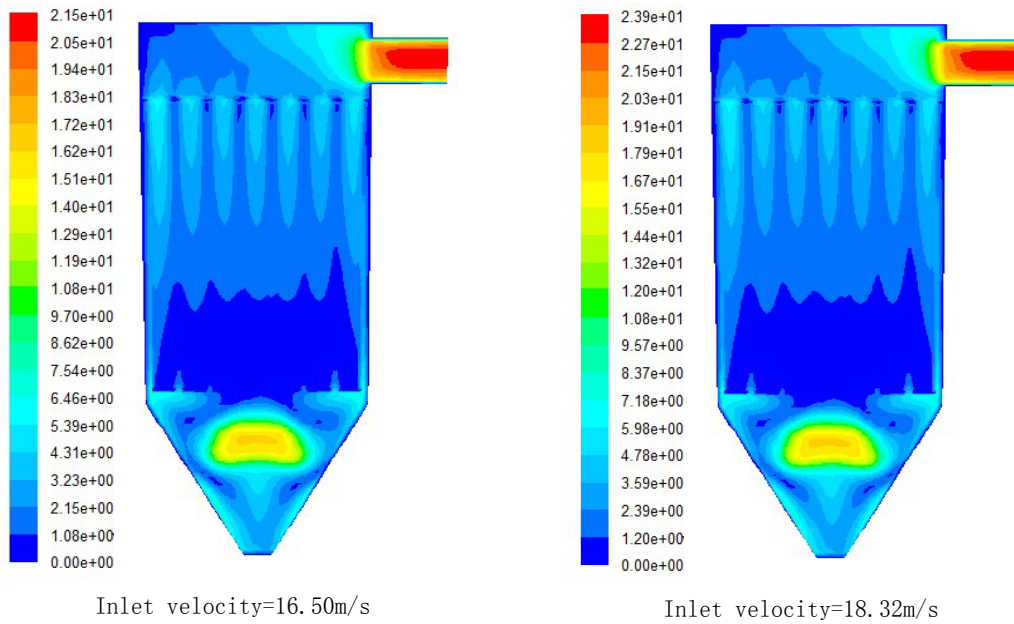


图 5 出口中心截面速度云图变化规律

从图 5 中可以看出，除尘器灰斗中心部分由于进口射流的影响，局部速度高；滤袋表面靠近上箱体花板处速度较高，下部较低，这是由于气流在上升过程中，流量逐渐增大，气流速度也随之增加，导致滤袋顶部速度要大于底部速度。气流经过滤袋顶部开口进入上箱体

后，从除尘器出口流出，除尘器出口处的气量要远大于其他部位，速度也最高，从出口截面速度云图可以明显看出。入口气流产生的射流直接冲击距离入口最远的一排滤袋，会导致这一排滤袋的磨损最为严重，与实际情况相符。

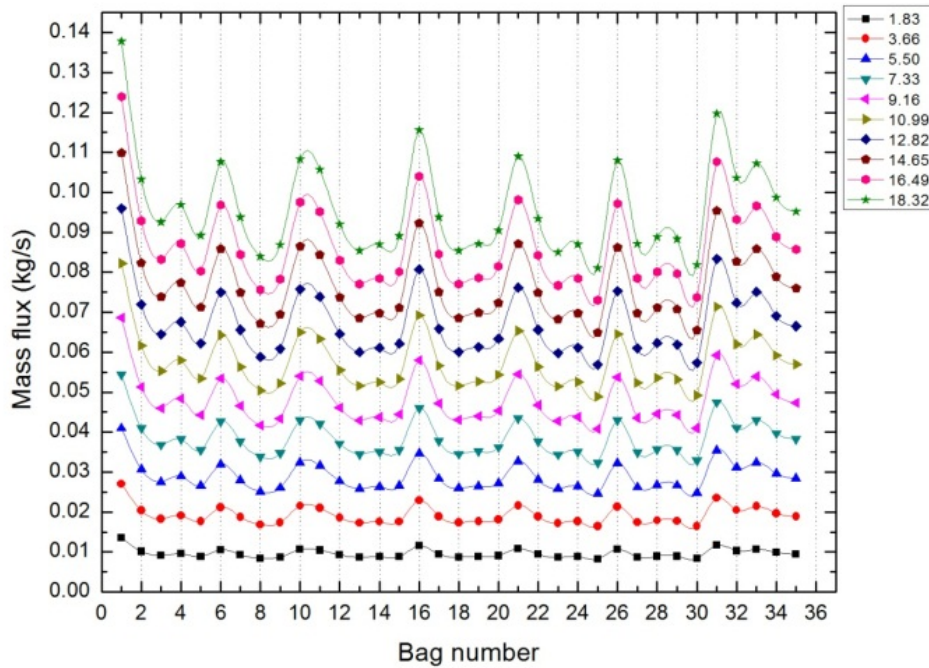
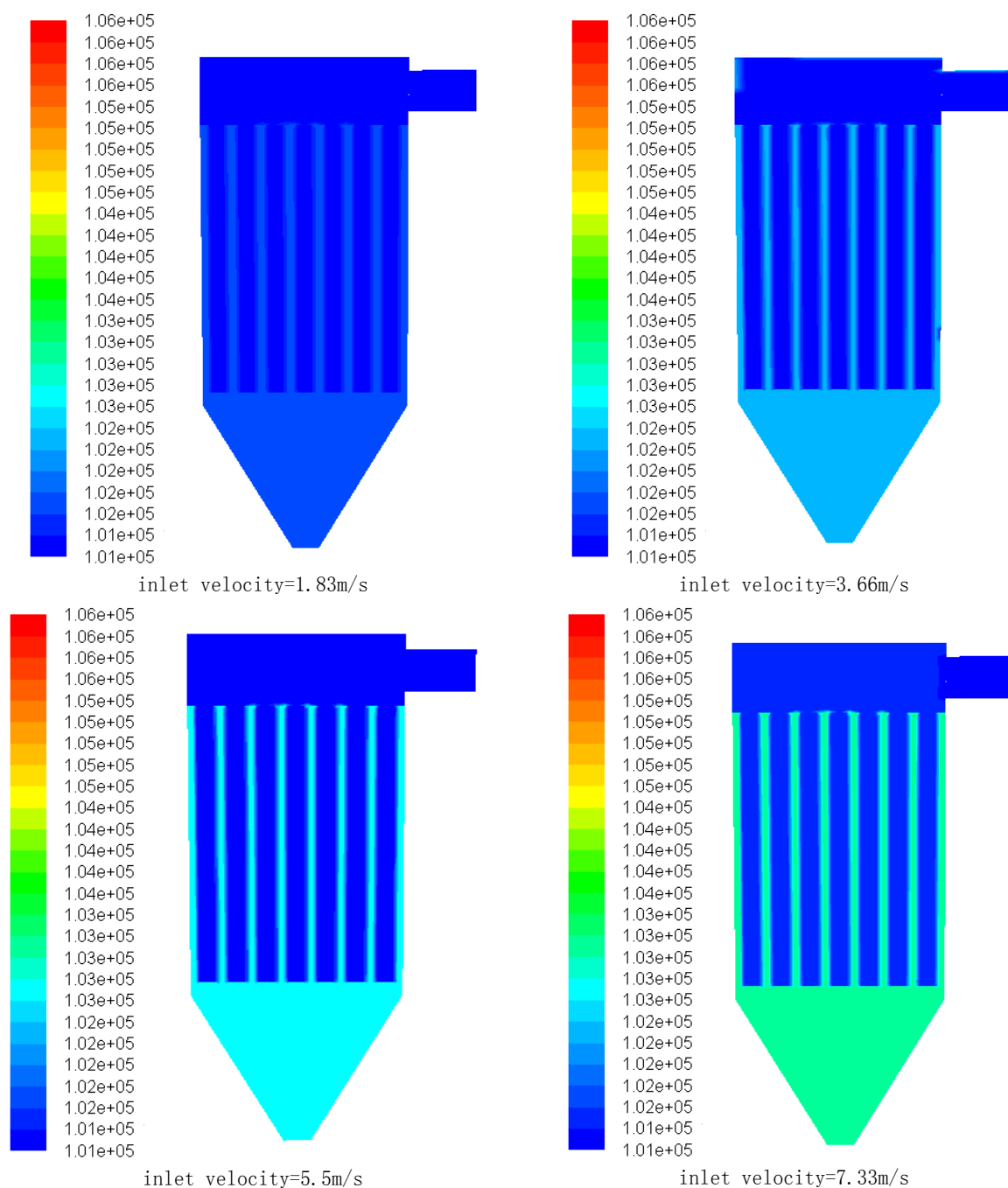


图 6 单条滤袋气体质量流量随入口速度变化的分布

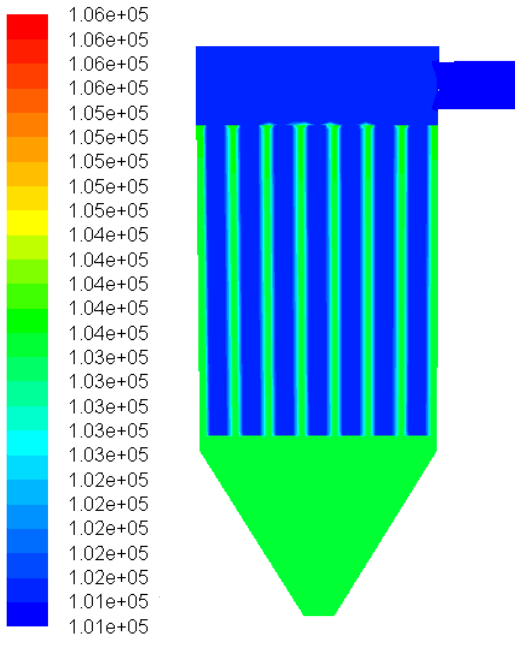
图 6 中所示的十条曲线分别代表了不同处理风量下单条滤袋的质量流量变化。横坐标为图 1 中对应的滤袋编号，纵坐标为单条滤袋的质量流量。可以看出距离出口最近的一排滤袋质量流量最高（编号 1、6、11、16、21、26、31），对应于图 6 中的曲线峰值。随着滤袋处理风量的增加，单条滤袋处理风量的不均匀程度逐渐增大，表现为从下到上曲线波动越来越

明显，并仍以最远处一排滤袋的流量最大。这说明处理风量较大时，除尘器内部的气流分布不均匀性明显增加，不同位置的滤袋处理风量不均匀，容易造成局部破损^[10]，是非常值得重视的除尘器改进方向。

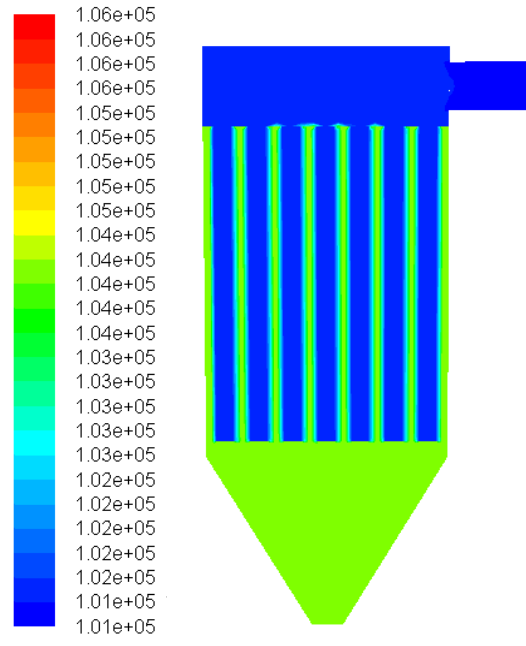
压力标尺统一后的除尘器出口截面的绝对压力云图变化如图 7 所示。



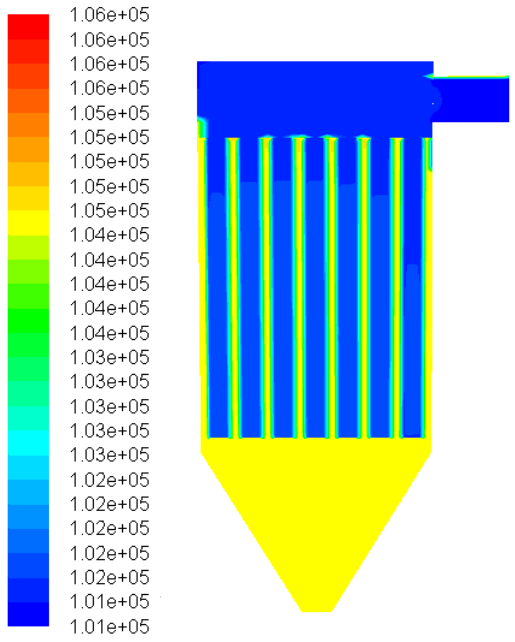
1) 基金资助项目：国家高技术研究发展计划“863”项目（批准号：2006AA05Z253）；中国科学院知识创新工程重要方向项目资助（项目编号：KGX2-YW-3212）
2) Email: zhangwanjing@imech.ac.cn



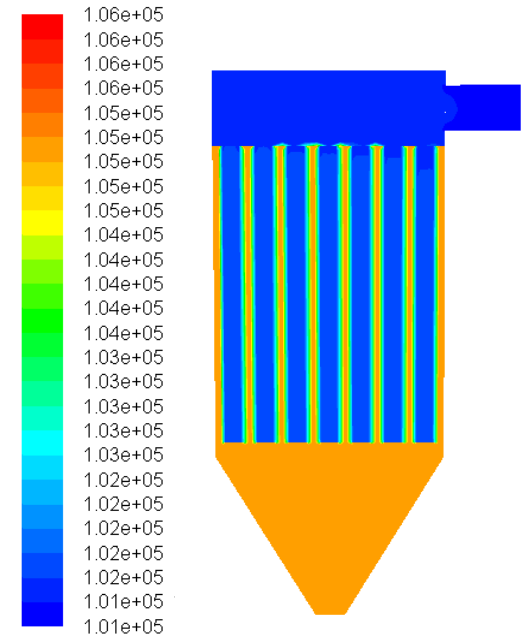
inlet velocity=9.16m/s



inlet velocity=11.00m/s



inlet velocity=12.82m/s



inlet velocity=14.65m/s

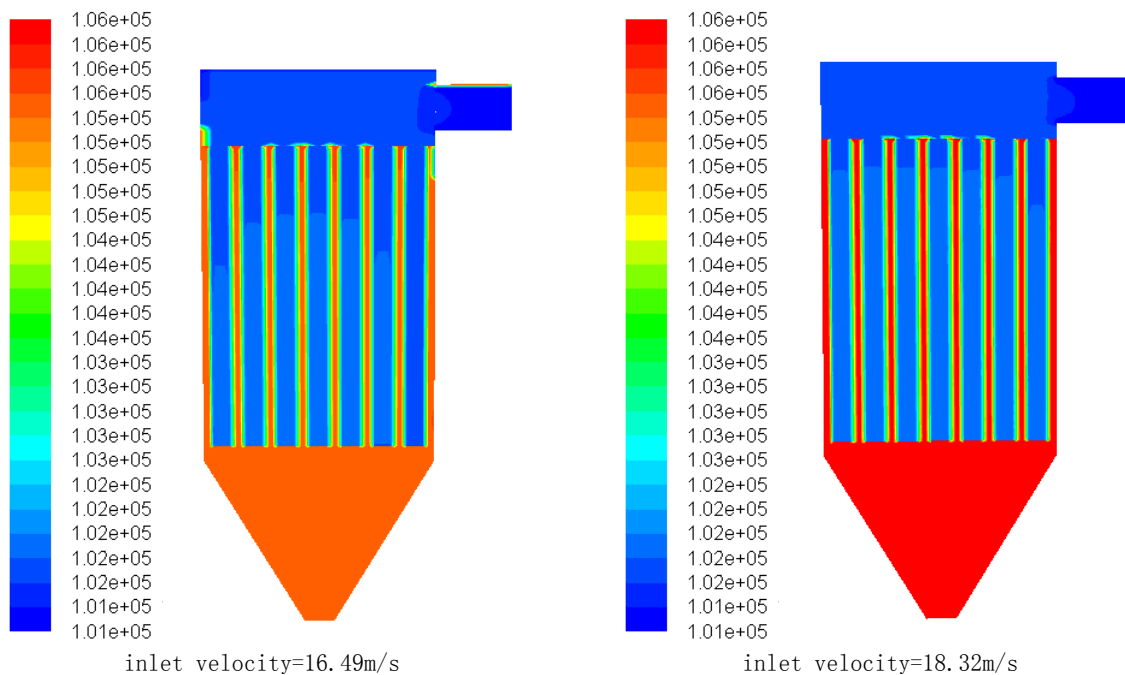


图 7 入口截面压力云图变化规律

从图 7 中可以看出，滤袋外部压力要明显大于滤袋内部，上箱体通过出口与外界连通，压力小于滤袋内部；灰斗部分和滤袋间隙区域的压力最大。随着过滤风速的增加，滤袋内外压差逐渐增大，处理风量最大时，压差达到 5000Pa，除尘器内的最大压力达到 106kPa，远小于烧结金属丝网的抗压强度和拉伸强度，滤袋可认为不变形，与假设条件相吻合，并且保证了滤袋的过滤面积不变，这一点也是烧结金属丝网过滤器优于传统布袋除尘器的一个方面。

选取 $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 和 $10\mu\text{m}$ 粒径作为研究对象，分别得到不同入口速度下的颗粒捕获率（每 100 个粒子中被捕获到的数量）绘制曲线如图 8 所示。

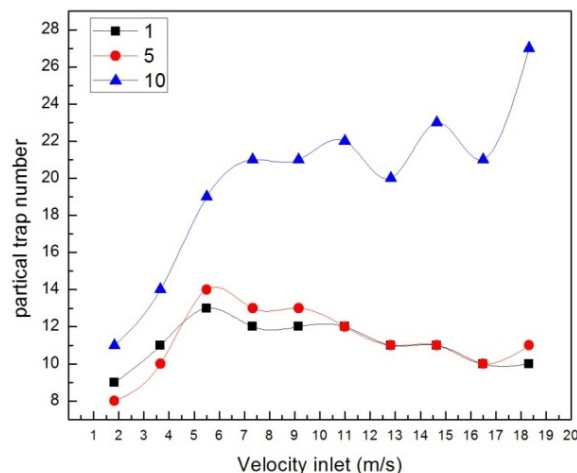
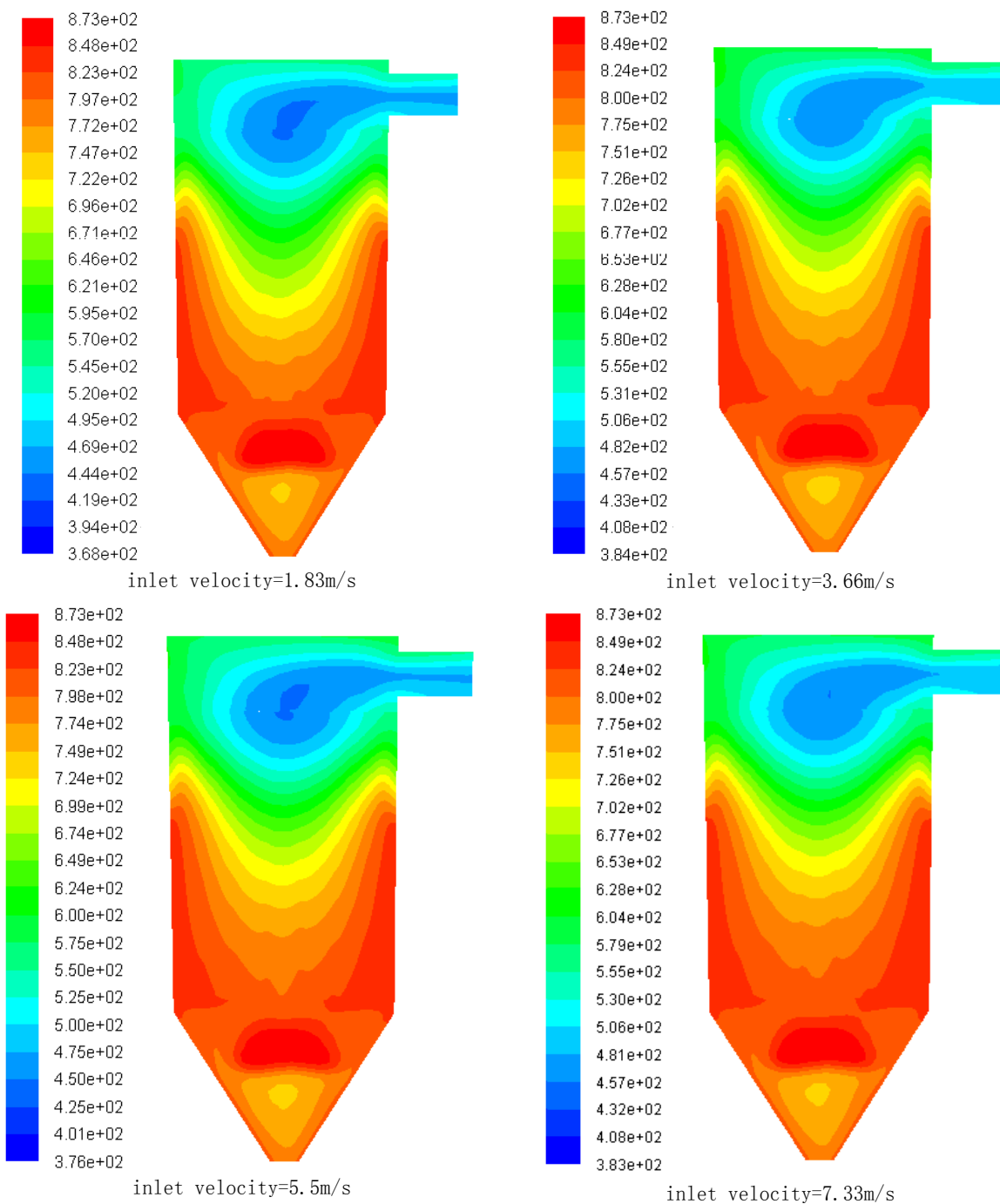


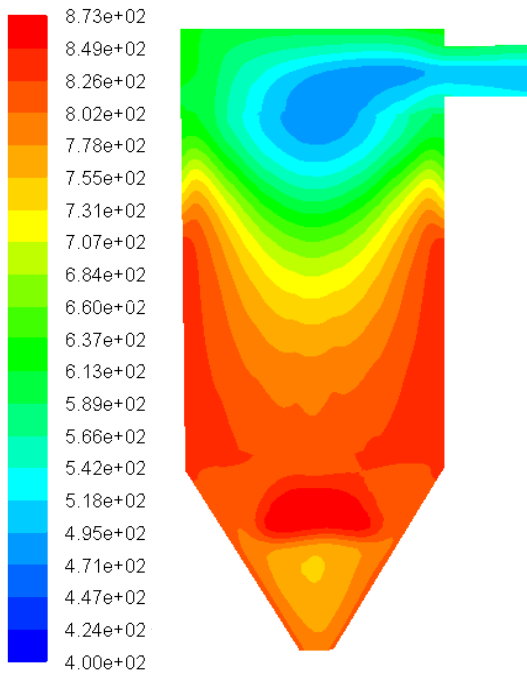
图 8 不同粒径颗粒的捕获率随入口速度变化曲线

由图 8 可知 $10\mu\text{m}$ 颗粒的捕获效率要远高于 $1\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 粒径颗粒，因为此时计算的滤料渗透率为 $9.1 \times 10^{-13} \text{m}^2$ ，对应孔隙率为 $3\mu\text{m}$ ，很容易拦截大粒径颗粒。值得注意的是， $1\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 粒径颗粒的捕获效率随着处理风量的增加先增加后减小，曲线在 5.5m/s 附近出现峰值，而 $10\mu\text{m}$ 粒径颗粒的捕获效率总体上随处理风量的增加而不断上升，处理风量较大时，曲线波动较大。前文指出，过滤效率的选择要综合考虑多方面因素，在合理的条件下尽可能的提高，但是提高到较大值时，各条布袋受到的气流的冲击也较大，不利于初始粉尘层的形

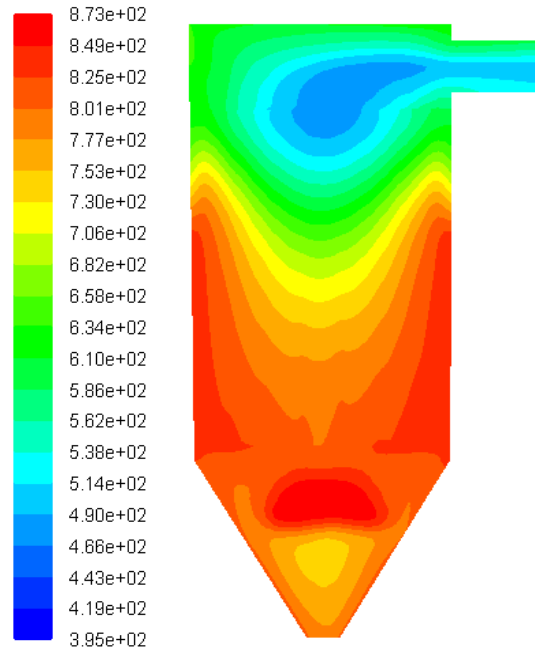
成，故而对于小粒径颗粒捕获效率反而下降，图中的曲线趋势正与这一点相吻合。

过滤速度对除尘器内部温度场分布的影响如图 10 所示。

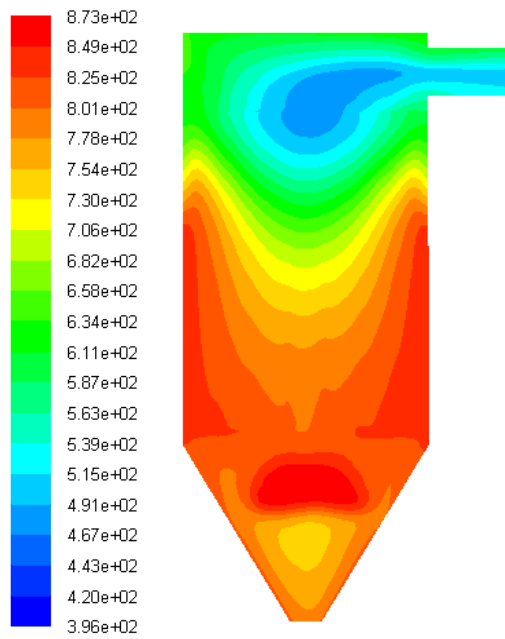




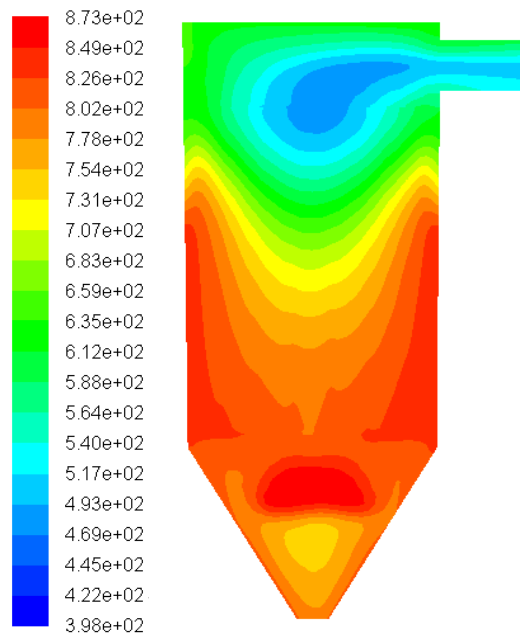
inlet velocity=9.16m/s



inlet velocity=11.00m/s



inlet velocity=12.82m/s



inlet velocity=14.65m/s

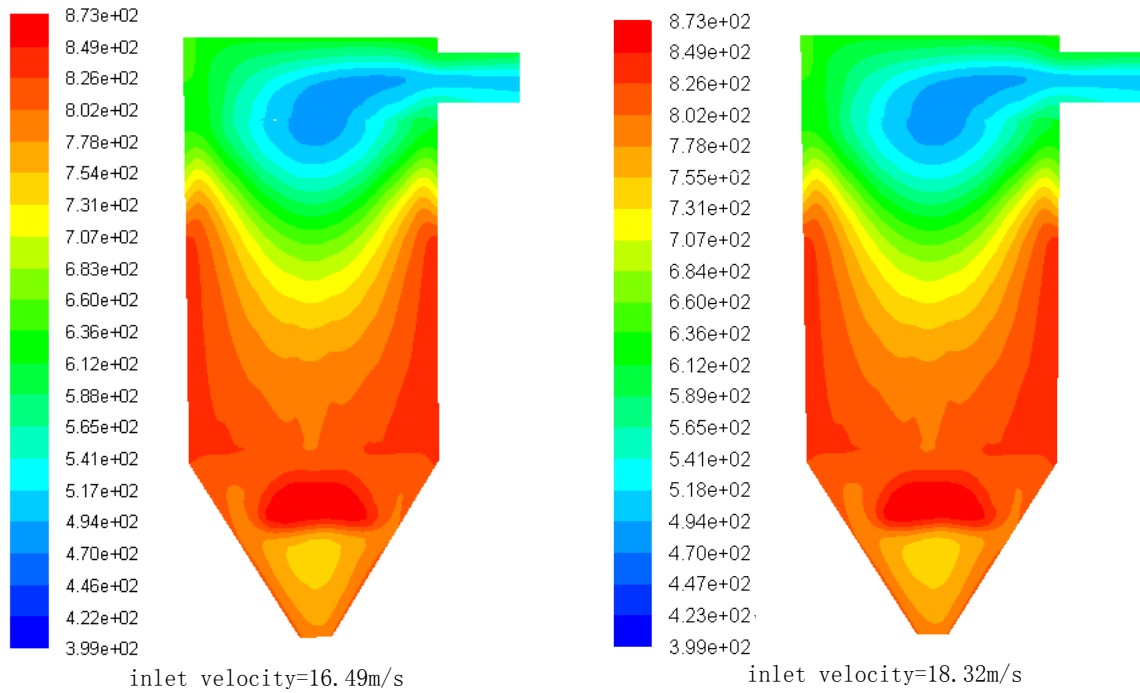


图 9 温度场分布随过滤速度的变化规律

图 9 中，进口气体温度同为 600°C 的条件下，随着过滤速度的增加，除尘器上箱体内的低温区逐渐减小，内部整体温差缩小，这对除尘器内部温度场均匀分布是有利的。除尘器下箱体和灰斗部分的温度明显高于上箱体，靠近壁面处的温度高于箱体中心区域的温度。因此外围滤袋表面温度高于内层滤袋，单条滤袋下部温度高于上部温度。这与进气口位于箱体下方有很大关系，可以考虑通过调整进气位置改善温度场的均匀性，同时对滤袋上下部分，除尘器内层和外层滤袋采用不同的过滤材料或过滤厚度，适当提高出口边界的温度等。

2.2 滤袋渗透率变化对流场的影响

滤袋渗透率是影响除尘器工作效率的关键因素。滤袋渗透率过低，颗粒拦截效果好，但是透气性差，易造成除尘器局部压力过高，影响系统安全；滤袋渗透率过高，透气性好，但是部分小粒径颗粒易透过滤料间隙随气流流出，降低除尘效率。本文选取了三种烧结金属丝网过滤器渗透率， $9.1\text{e-}13\text{m}^2$ ， $2.2\text{e-}12\text{m}^2$ ， $4.8\text{e-}12\text{m}^2$ ；分别对应着孔隙率 $3\mu\text{m}$ ， $5\mu\text{m}$ ， $10\mu\text{m}$ 。过滤速度均为 $1\text{m}/\text{min}$ ，对应入口速度为 $3.66\text{m}/\text{s}$ 。计算结果如图 10、11 所示。

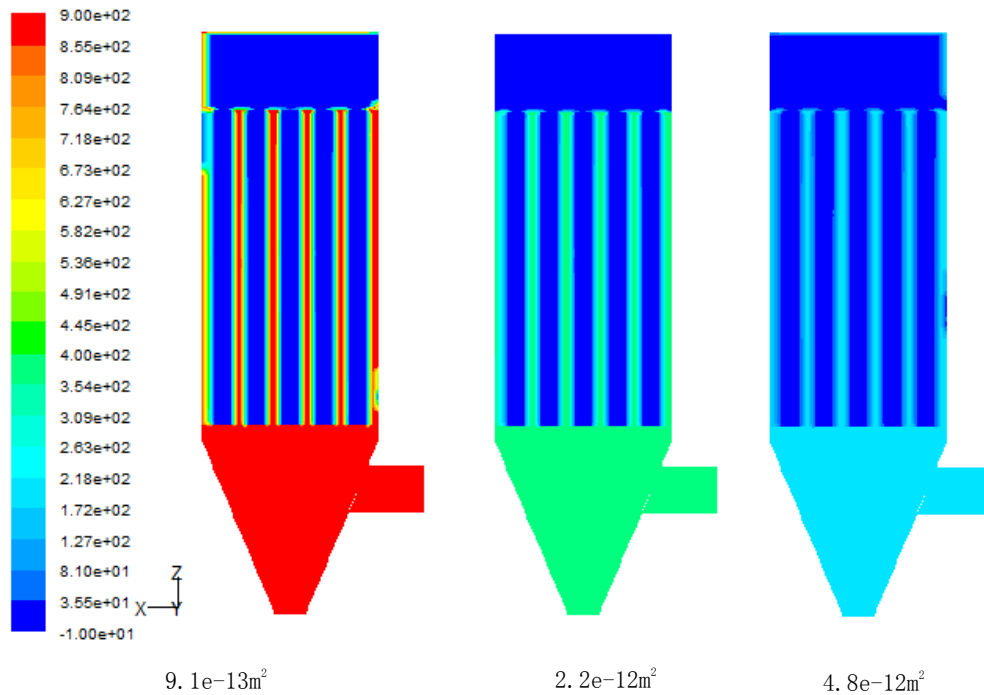


图 10 进口中心截面压力云图随滤料渗透率变化的分布

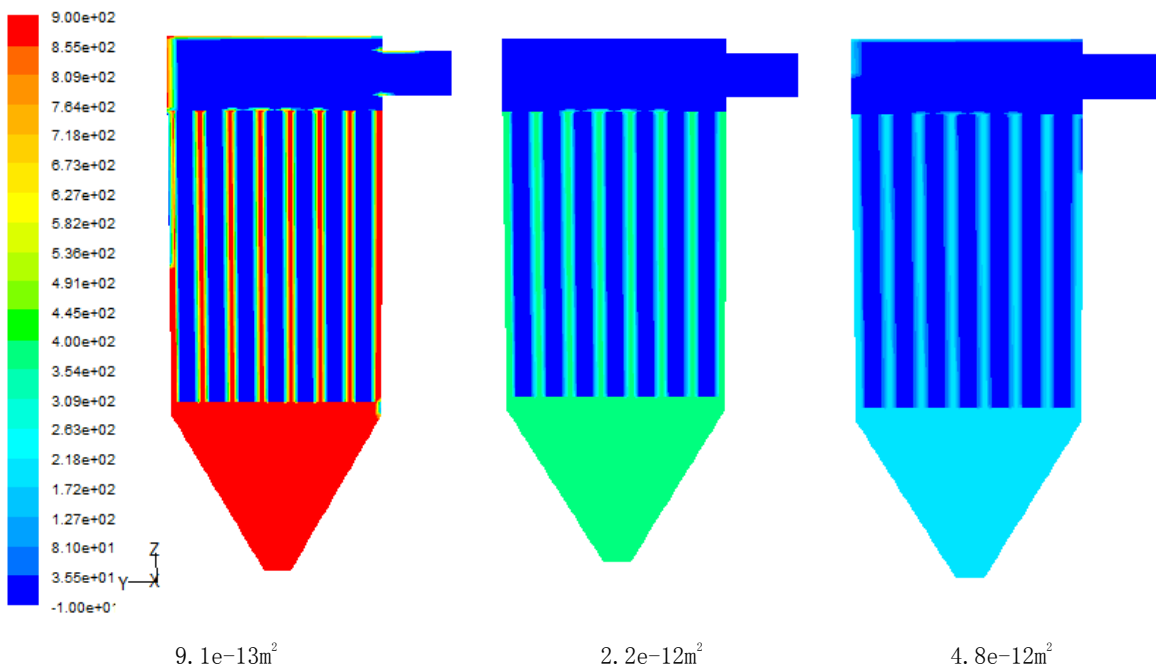


图 11 出口中心截面压力云图随滤料渗透率变化的分布

在相同的压力标尺下可以看出随着滤料渗透率的增大，即滤料孔径的增大，除尘器内部

的压力明显下降，尤其是灰斗和滤料间隙等压力集中区域，这与前文的描述相符合。

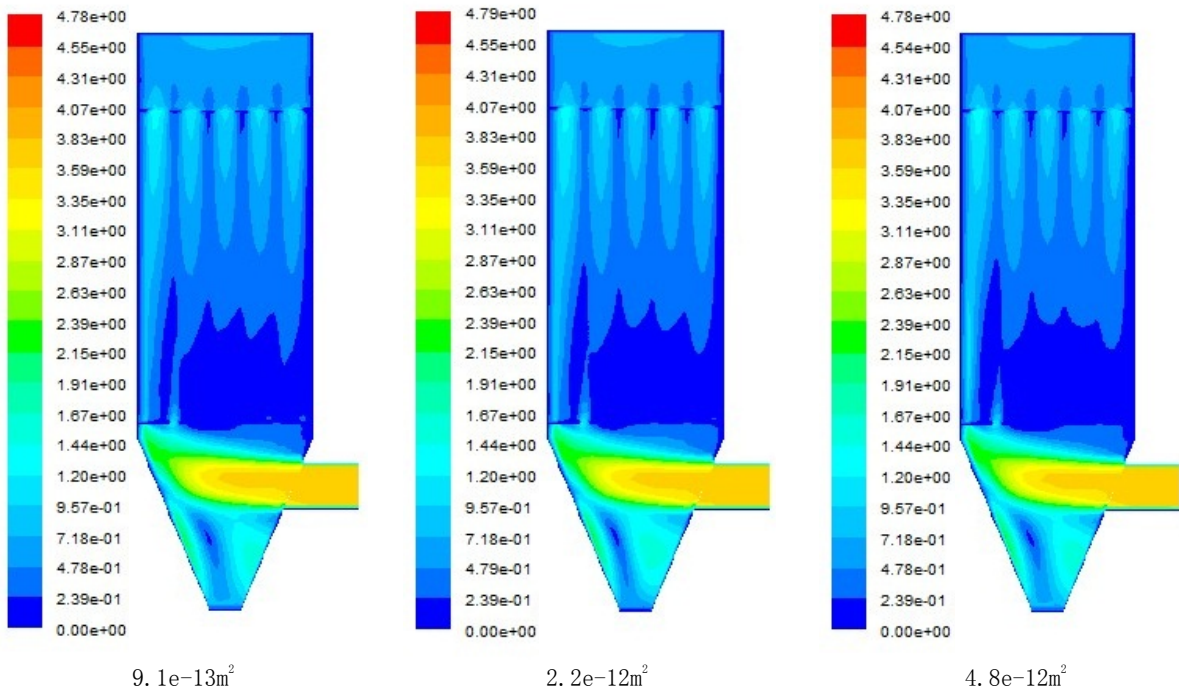


图 12 进口中心截面速度云图随滤料渗透率变化的分布

三种渗透率对应的速度云图几乎一致，可以认为滤料的渗透率对除尘器内部的速度场分布没有影响。

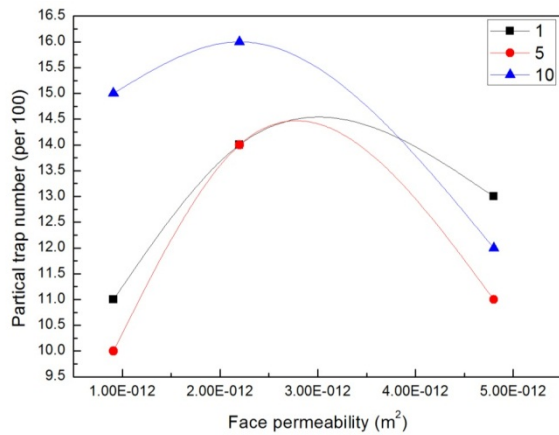


图 13 不同粒径颗粒的捕获率随滤料渗透率的变化曲线

图 13 中渗透率为 $2.2 \times 10^{-12} \text{m}^2$ 的滤料对应的颗粒过滤效率最高，说明滤料的渗透率可以适当选取比较大的值，有助于降低系统压降，且不会降低过滤效率。

2.3 入口温度变化对流场的影响

烧结金属丝网过滤器相比传统布袋除尘器的一个最大优势就是可以直接对高温含尘气体进行清灰，烧结金属丝网能够耐受高温气体的侵蚀而不变形，不损坏，从而使清灰后的含尘气体仍然保持了较高的温度，可以进行余热利用，提高了能源利用率。图 14 是除尘器入口和出口中心截面上的温度场分布。

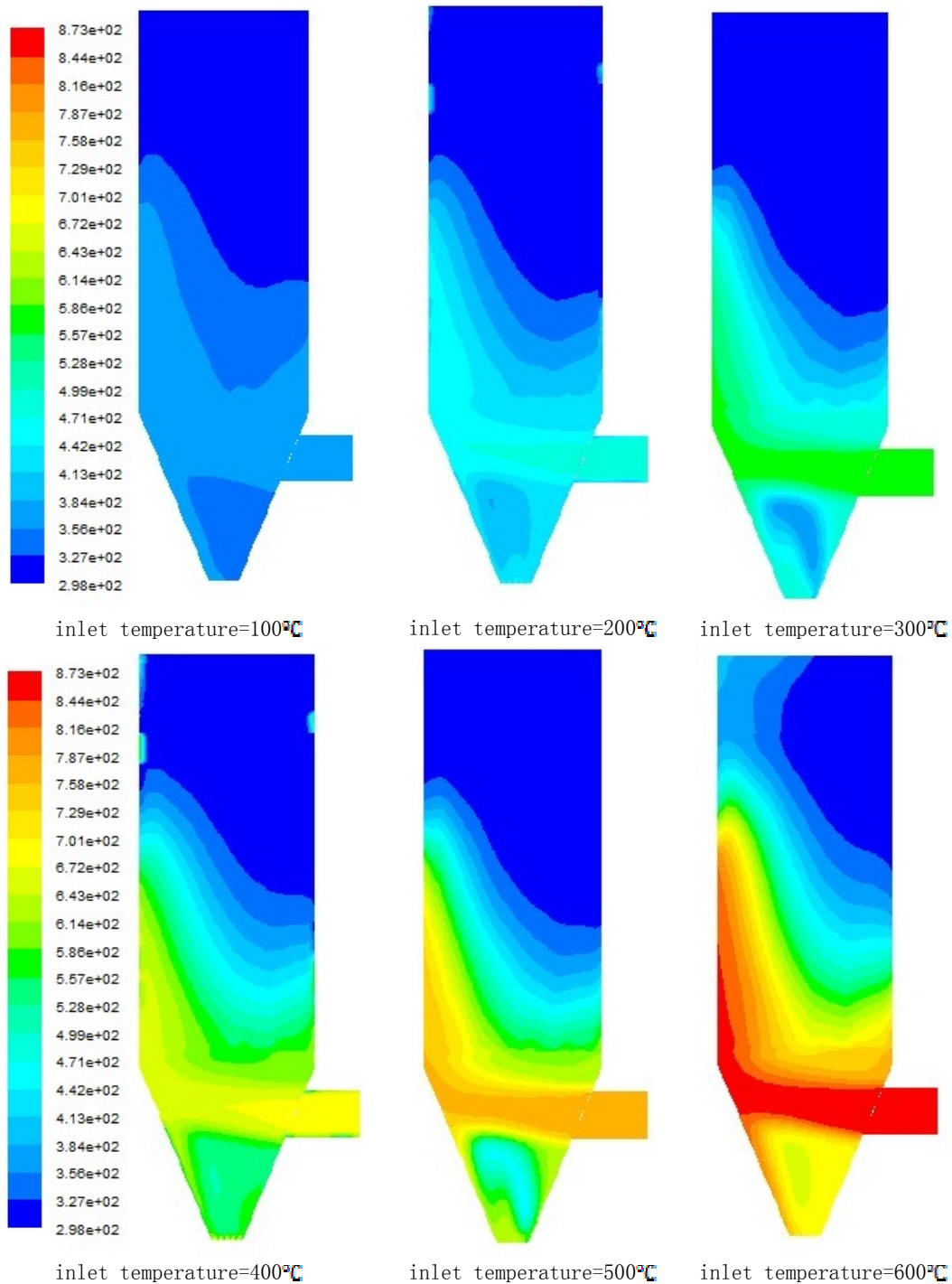
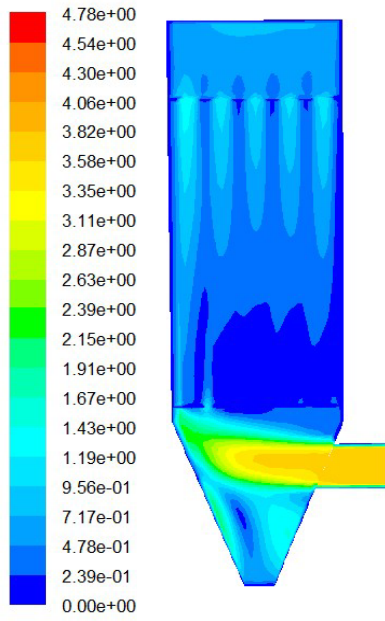


图 14 相同温度标尺下的进口截面温度分布

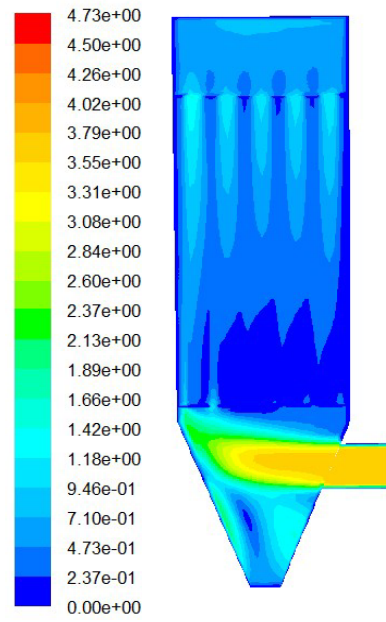
图 14 的温度场分布显示，除尘器在靠近上箱体的位置出现了低温区，由于模拟中假设出口边界条件为室温 298K，热量交换导致上箱体区域温度较低，随着入口温度的升高，低温区范围逐渐变小。灰斗和入口射流直接冲击的一排滤袋下部区域温度逐渐升高，磨损加重。外围滤袋的温度受进口气流温度升高的影响最

大，在实际设计中应分别考虑外围滤袋和内层滤袋的温度；单条滤袋从上至下的材料也可以有所不同。

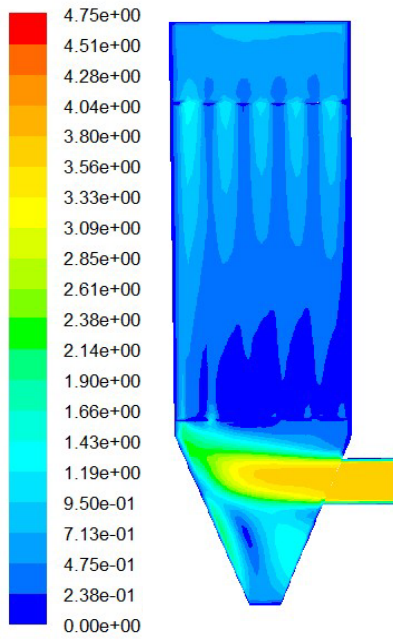
入口温度的变化导致气体参数改变，主要表现在密度减小，定压比热增大，导热系数升高，动力粘度增大等。这些参数的变化对除尘器内部速度场的影响我们比较关心的内容。



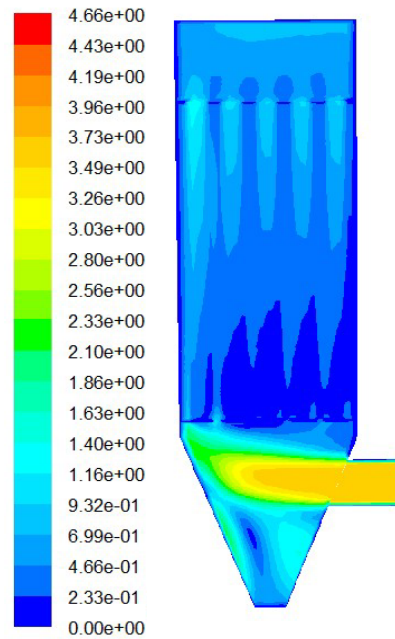
inlet temperature=100°C



inlet temperature=200°C



inlet temperature=300°C



inlet temperature=400°C

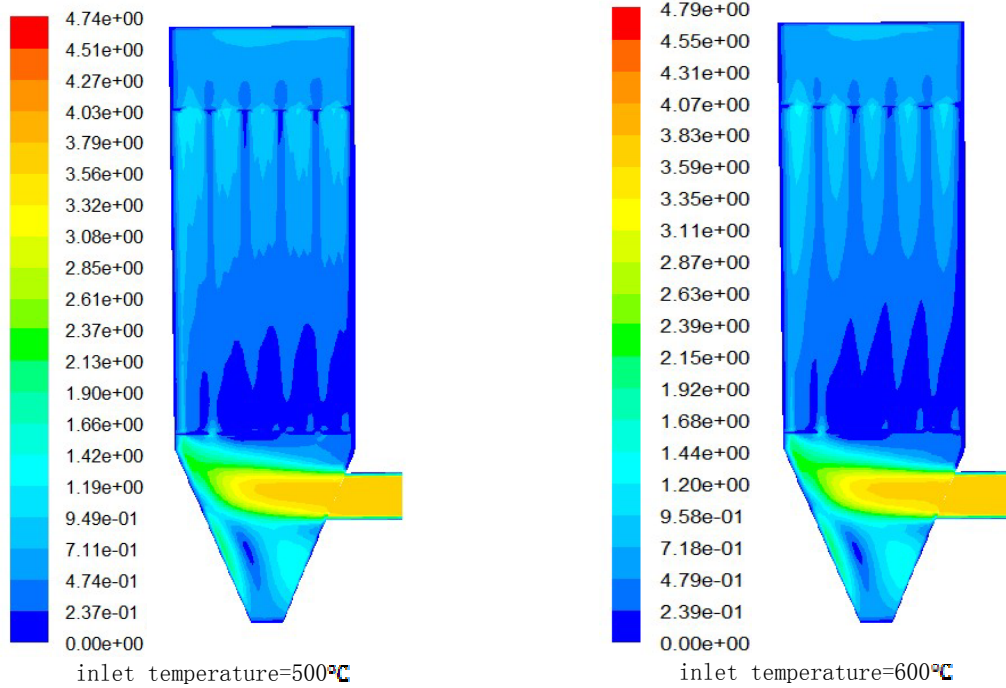


图 15 进口截面速度场分布随进口气体温度的变化

相同过滤速度的条件下，随着入口气体温度的升高，除尘器内部的气体最大速度有先减小后增大的趋势，同时滤袋底部的速度变大，低温区减小，一定程度上有利于滤袋内外速度差的减小。

3 小结

随着过滤风速的增加，也即除尘器处理风量的增加，除尘器内部的整体速度在上升。除尘器内部速度最大的区域出现在进气口附近的灰斗区域，同时入口气体形成的射流对距离入口最远的一排滤袋冲击最大，导致这一排滤袋的磨损最为严重。

随着过滤风速的增加，滤袋内外压差逐渐增大，处理风量最大时，压差达到 5000Pa，除尘器内的最大压力达到 106kPa，远小于烧结金属丝网的抗压强度和拉伸强度，符合滤袋不变形的假设条件。

随着过滤风速的增加，大颗粒的过滤效率总体呈上升趋势，但小粒径颗粒的捕获效率先增加后减小。这是因为过滤风速较大时，各条布袋受到的气流的冲击也较大，不利于初始粉尘层的形成，故而对于小粒径颗粒捕获效率反而下降，对于金属丝网袋式除尘器，过滤速度在 6-9m/min 较为适宜。

随着过滤风速的增加，除尘器上箱体内的低温区逐渐减小，内部整体温差缩小。除尘器下箱体和灰斗部分的温度明显高于上箱体，靠近壁面处的温度高于箱体中心区域的温度。因此外围滤袋表面温度高于内层滤袋，单条滤袋下部温度高于上部温度。这与进气口位于箱体下方有很大关系，可以考虑通过调整进气位置改善温度场的均匀性，同时对滤袋上下部分，除尘器内层和外层滤袋采用不同的过滤材料或过滤厚度，适当提高出口边界的温度等。

随着滤料渗透率的增大，即滤料孔径的增大，除尘器内部的压力明显下降，尤其是灰斗和滤料间隙等压力集中区域。滤料的渗透率可以适当选取比较大的值，有助于降低系统压降，且不会降低过滤效率。本文的数值模拟中，渗透率为 $2.2e-12m^2$ 的滤料对应的颗粒过滤效率最高

随着入口温度的升高，低温区范围逐渐变小。灰斗和入口射流直接冲击的一排滤袋下部区域温度逐渐升高，磨损加重。除尘器内部的温度场不均匀性更加严重，考虑提高出口边界的气体温度，提高上箱体温度，促进上下箱体气体温度不均匀性的降低。

随着入口气体温度的升高,除尘器内部的气体最大速度有先减小后增大的趋势,同时滤袋底部的速度变大,低温区减小,一定程度上有利于滤袋内外速度差的减小。

今后的研究方向中,我们可以考虑通过调整进气位置改善速度场和温度场的均匀

性,同时对滤袋上下部分,除尘器内层和外层滤袋采用不同的过滤材料或过滤厚度,适当提高出口边界的温度等。

参考文献

- 1 张健, 汤慧萍, 奚正平, 等. 高温气体净化用金属多孔材料的发展现状[J]. 稀有金属材料与工程, 2006(S2):438-441.
- 2 卢鑫, 马艳, 白皓, 等. 高温下粉尘在多孔介质中的分布试验研究[J]. 内蒙古科技大学学报, 2010(03).
- 3 况春江, 方玉诚. 高温气体介质过滤除尘技术和材料的发展[J]. 新材料产业, 2002(5):25-28.
- 4 吴晓风, 沈来宏. 烧结金属除尘技术的研究进展[J]. 化工装备技术, 2004(5):10-14.
- 5 李勇, 辛龙胜. 基于 Fluent 的脉冲袋式除尘器内气流流场的数值模拟[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2010(02).
- 6 沙洪伟. 袋式除尘器除尘技术试验研究[D]. 长安大学机械设计及理论, 2009.
- 7 刘敏丽. 锅炉烟气袋式除尘技术应用研究[J]. 内蒙古石油化工, 2010(18).
- 8 安海超. 袋式除尘器内部流场数值模拟与结构优化研究[D]. 长安大学工程机械, 2011.
- 9 Rubow Kenneth L., Stange Louise, Huang Billy. 应用烧结金属过滤介质的过滤技术进展[J]. 产业用纺织品, 2005(9):23-29.
- 10 赵汝海, 黄磊, 周朝晖. 袋式除尘器内部湍流流场数值模拟研究[J]. 选煤技术, 2011(1):15-17.

RESEARCH ON THE FLOW FIELD OF SINTERED METAL MESH FILTER FOR HIGH-TEMPERATURE GAS DEDUSTING

ZHANG Wanjing¹ WEI Xiaolin² LI Teng LI Sen

(Key Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, C A S, No.15 Beisihuanxi Road, Beijing 100190, China)

Abstract The modern industry has produced more and more high-temperature waste gas. Dedusting is a key technology to protect the environment and make rational use of the resource. The normal bag-filter is used to collect dust of gas that is below 300°C. However, the metal porous material is an advantage in this filed because of its high temperature resistance, mechanical properties and thermal conductivity. This article simulates a metal mesh filter in different cases of velocity, permeability and temperature. The research shows that a higher velocity could be used in the metal mesh filter. Higher temperature results in a worse flow distribution. The methods of improving the flow filed are promoted which try to use different permeability of material and different thickness of metal bag in the deduster.

Key words sintered metal mesh filter, high temperature gas deduster, gas-solid two-phase flow