

# 柴油机微粒捕集器流动数值模拟

## Numerical simulation of DPF flow

李会收, 胡玉平, 罗公海

山东大学内燃机研究所

**摘要:** 微粒捕集器是主要的机外净化技术之一, 要充分发挥多孔介质的吸附性能必须要有一个流速均匀, 压力稳定的流场, 为保证良好的流通性, 又不能有过大的压力损失, 所以研究捕集器内流场的流动情况对捕集器的再生有重要意义。本文针对某结构的微粒捕集器, 数值模拟内部流场, 对其结构的改进指明了方向。

**关键词:** 微粒捕集器, 多孔介质, 数值模拟, 均匀流场

**Abstract:** Diesel particulate filter is one of the most important after-treatment technology. It is necessary to get a uniform and steady pressure flow. But the premise is that pressure exhausts not too much. Then the liquidity is good. So it plays a very important role to study the status of the DPF flow for its regeneration. We simulate the flow of some DPF and then give some ideas for its improvement.

**Key words:** diesel particulate filter, porous medium, numerical simulation, uniform flow-field

### 绪言

由于柴油机具有功率范围宽广、燃料经济性好、工作可靠等优点, 因此在重型汽车中应用的越来越多。然而, 柴油机的排气中含有许多微粒, 其中的某些成分具有强烈的致癌性。另外, 由于车用柴油机的排放源距离地面很近, 而排气微粒为亚微米级粒子, 能够长期悬浮在大气中, 因此很容易被人吸入肺部, 对人体健康造成危害。因此, 应该在改进柴油机燃烧过程以降低排放的同时, 开发出能显著降低排放微粒的排气微粒过滤器。

柴油机微粒捕集器 (DPF) 被公认为是目前最为有效的微粒净化后处理技术, 也是目前商用前景最好的后处理技术之一。只有了解气流在捕集器内部的流动规律, 才能有针对性的布置过滤材料, 及其结构进行优化设计。

人们可以用数值模拟的方法来研究微粒捕集器内部流场分布和压力损失等问题, 为微粒捕集器的优化设计打下基础, 从而减少试验工作量, 缩短设计周期。我国对 DPF 的研究相对落后, 缺乏有效的设计方法和理论指导, 对 DPF 流场的研究还处于起步阶段。

### 一、模型概述

本文选用某型号的颗粒捕集器, 作为数值模拟对象。分析了整个 DPF 的内部流动规律, 应用 STAR-CD 仿真计算软件研究了捕集器内部流动的速度场和压力场。

## 二、网格划分

选取尾气流场作为计算域。主要包括混合管、板孔道、外围流场、多孔介质等4个区域，而后对计算域进行计算网格划分。由于混合管、外围流场轴向对称，选取它们的一个过中心轴线的二维剖面，各区域的网格均采用四边形结构网格。大体依据流场分布做一套规则，均匀的平面网格，以期能更快速收敛得到更精确结果。对导流板附近单元单独选取以方便在STARCD里baffle单元的选取。

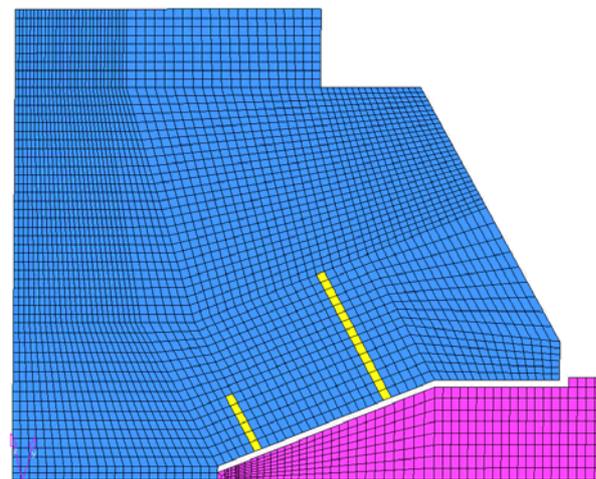


图 1 混合管、外围流场 2 维网格

绕轴线旋转 3 个部分的 2D 网格，生成主体流场网格。连接两个流场的小孔部分流场单元和多孔介质区域单元分别单独做出。又因多孔介质区的速度梯度和压力梯度相对较小，所以其网格划分相对稀疏。图 2 就是计算网格单元，单元数大约 20 万。

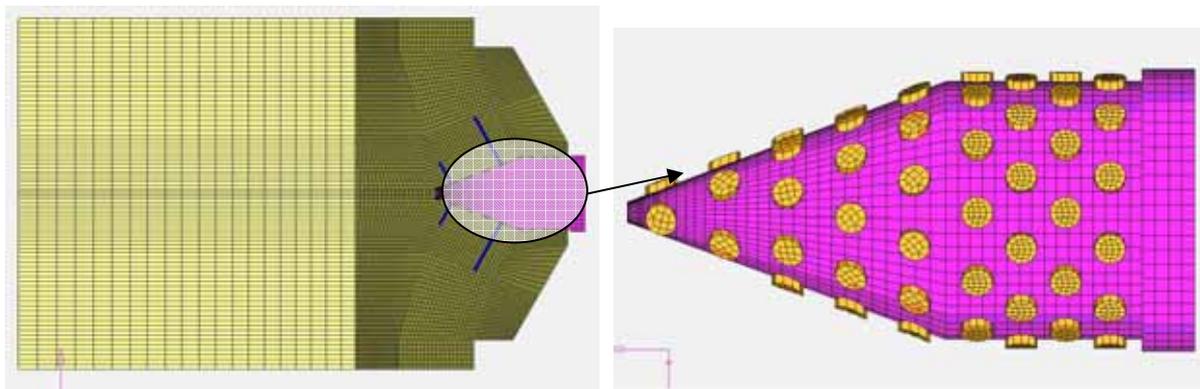


图 2 DPF 整体 3D 网格

## 三、建立模型

在 STAR CD 中设定蓝色单元集的外侧为 baffle 单元，作为导流板，为混合管、外围流场分别和孔单元建立 couple，设定流体为空气，可压缩，除多孔介质区域外，其余各区域均为连续流体。采用高雷诺数湍流模型，设置计算域的边界，入口流速为 25m/s，自然流出，壁面定义为无滑移。

## 四、计算及结果分析

由于多孔介质区域的流场分布是我们主要关心的，所以分别计算了加多孔介质前后两种情况。

## 1、未放多孔介质

由于混合管前端锥形部分 5 层孔的个数周向分布不均匀。随着锥管直径的减小，通孔个数减小，空气流速增大。图 3 是混合管上小孔附近流速分布：

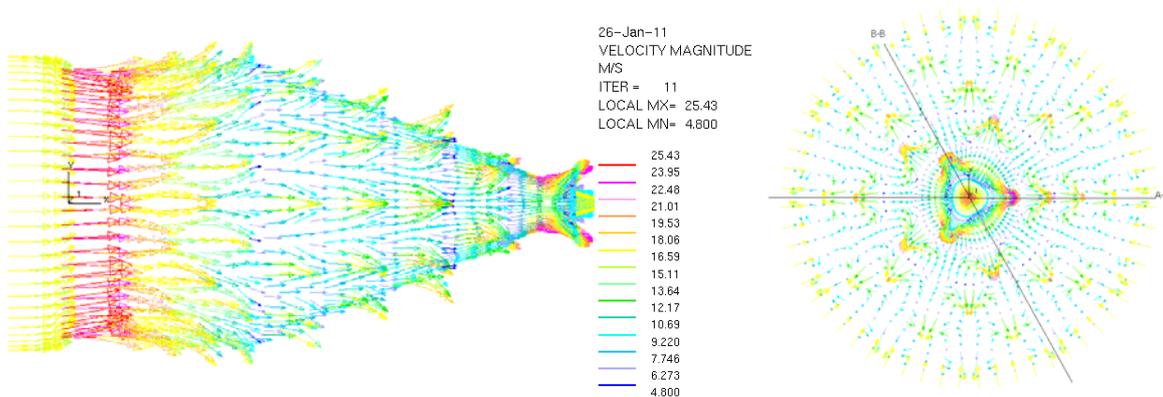


图 3 混合管外流速分布

由图 3 可看出由于混合管前端锥形部分结构轴向不对称，导致各截面的流速分布是有差别的。但总体上基本上一致，下面仅列出两个比较由代表性的截面 A 和 B。

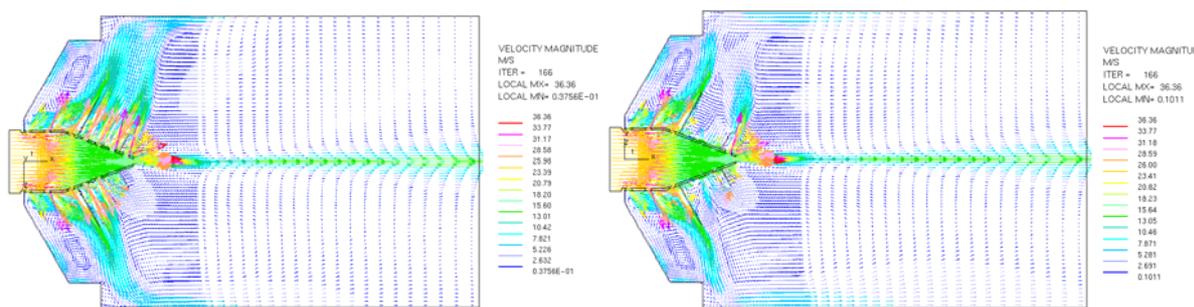


图 4 A、B 截面上的流速分布

气体流进多孔介质区（现在还没有加）的流场速度分布并不太均匀，特别是在贴近壁面附近，由于导流板的倾斜角度以及两个突变截面，导致速度变化剧烈，这是结构本身问题造成。但总体来看流速分布已相对均匀。

## 2、加入多孔介质后

多孔介质属性由公式确定：

$$-\frac{dp}{L} = Av^2 + Bv$$

其中 L 为多孔介质长度，v 为流体速度，A、B 分别设定为 30，300

提交计算可得流场速度和压力分布情况：

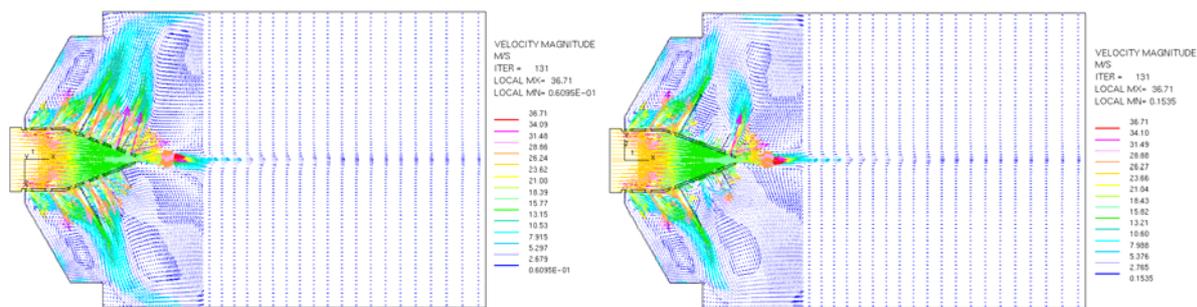


图 5 A、B 截面流速分布

尽管速度场各截面不是轴向对称，有少许差别。对比加入多孔介质前后，流速分布均匀性有了明显改观，而且主要是该区域前端空间的缓冲作用，产生了尺度较大的涡，会有比较大的流动损失，同时也不能有效的利用 PDF 流场空间。

### 3、分析改进：

(1)外部流场肩部区域，气体通过混合管以后，在导流板处受阻而改变流动方向形成旋涡，导致驻流。

改进建议：改变外围流场外部结构，尽量减少混合管第一排孔与出口间流场空间；若保持装置外围结构不变，改变导流板长度或改变导流板倾斜角度以顺应流体流动方向，加速流体的流出。

(2)外部流场与多孔介质交接部位区域，此处产生旋涡的主要原因在于流场空间相对较大，混合管附近流速变换较大形成流动死区。

改进建议：使导流板截面形状与外形相似，把较大的流场空间划分成较小区域，以减少大漩涡的产生。

(3)混合管尖口附近流速变化较大，而且由轴线上孔出流的流体流速很大，不利于整个多孔介质区的流场均匀分布。

改进建议：可增大混合管末端孔的直径减小出流速度。

多孔介质区的流速分布的差异主要是由于混合管尖端出口流速较大引起，导致多孔介质区轴线速度和速度梯度较大，而幅值差别并不明显。该区速度差别最大的截面也应该是在区域入口处。该截面速度分布如图 6 所示。

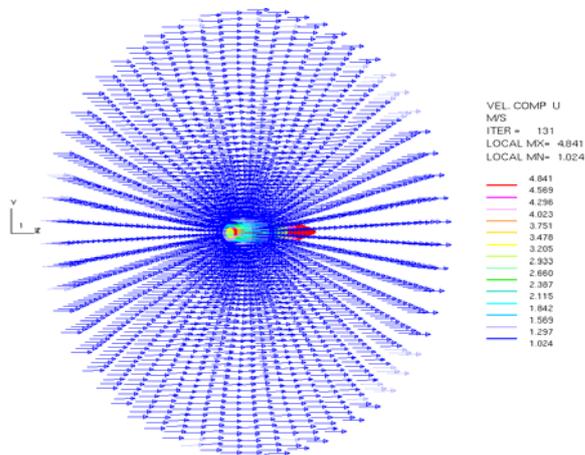


图 6 多孔介质进口截面速度幅值

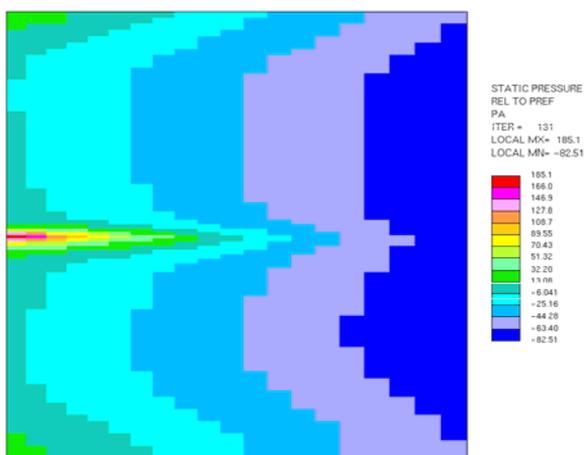


图 7 多孔介质 A 截面压力分布

多孔介质流场前后截面的压差约为 98pa，压力损失较小，有利于排气通畅。我们也从图 6 看出径向速度分布沿周向几乎是一致的，所以我们取某一径向的轴向速度，看其具体变化情况。由图 7 看来轴向速度的分量要比速度幅值均匀性更好，有利于 DPF 的再生间隔的增长。

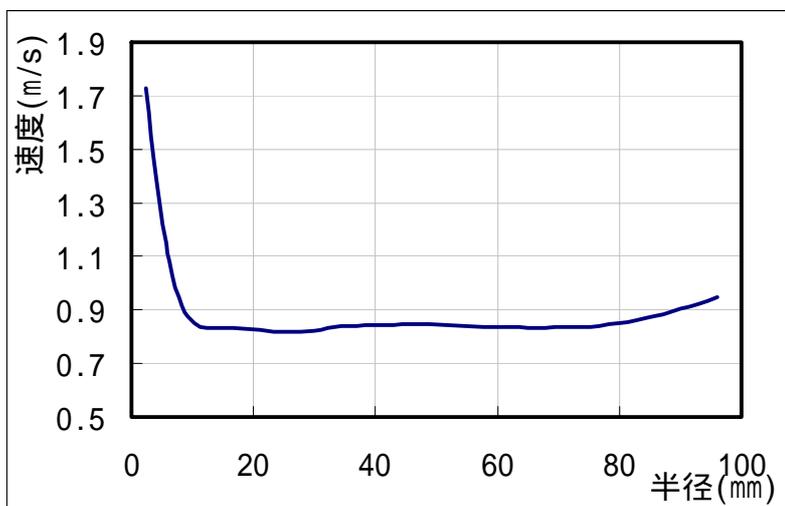


图 7 多孔介质入口截面速度半径图

## 五、结论

根据流场模拟情况，可知在多孔介质中流速分布相对均匀，有利于多孔介质充分利用和延长再生时间间隔。由于导流管和外围流场间的小孔是为流场均匀而设，但同时也造成了局部流速很大。在整个微粒捕集器的轴向有几个突变截面也是造成流速分布不均、产生漩涡的重要原因。因此可通过改进捕集器内导流板长度、倾斜角度和结构，以及外围结构，使之更符合流线型设计，来减少流动损失。这也为下一步工作指出了方向。

## 参考文献

- [1] 宋金瓯 柴油机排气微粒过滤器的一维流体动力学模型 内燃机学报, 2001
- [2] 资新运 柴油机微粒捕捉器的研究现状及发展趋势 车用发动机, 2000