
8170 柴油机进气道流量系数模拟计算

8170 Diesel Engine Inlet Port flow coefficient simulation

李会收 胡玉平

山东大学能源与动力工程学院

摘要：利用大型数值模拟软件 STAR CD，以 8170 柴油机为例，进行进气道稳流试验数值模拟，计算结果和试验结果基本吻合。利用流量系数这一重要流动参数，验证利用软件实现数值模拟的可行性。为进一步分析气道内流场及各种参数提供可靠依据。

关键字：数值模拟 STAR CD 气道 流量系数 CFD

Abstract：Use of large-scale numerical simulation software STAR CD. in 8170 Diesel example, carry out numerical simulation for the intake port steady flow ,and find that the simulate results are very closed with experimental results . Flow coefficient is a very important parameters, because of its veracity, we can make the use of numerical simulation feasibility .Further analysis of other flow parameters also be got ,and provide a reliable basis for simulation.

Key words: numerical simulation STAR CD port CFD

1 前言

CFD 数值模拟计算成为当前课题研究的主流方式^[1]。文章利用 CFD 通用软件 STAR CD，以 8170 直喷式船用柴油机为例，开展 8170 柴油机在进气过程中进气道—气门—气缸内气体流动的三维数值模拟研究。根据计算结果取出数值，利用流量系数计算公式（伯努利方程）计算气道进气流量系数，并与实验结果对比。

2 模型前处理

8170 柴油机进气—压缩过程三维瞬态数值模拟的计算区域选定为进、排气道和燃烧室部分。燃烧室部分的计算区域随着进气门、排气门和活塞的运动而改变。在实验中，分别将气门升程以 1mm 为间隔从 1mm 提升到 12mm，得到试验数据。在这次模拟计算中，为了和试验数据对比，分别在气门升程 2、5、7、10、12mm 时建立模型，并得到各升程下的计算结果。

2.1 几何模型

首先，根据图纸尺寸利用几何建模软件得到如图 1 所示的 CAD 模型。为保证气道计算模型与实物完全一致，利用激光扫描仪对气道实物进行扫描，然后利用曲面造型软件对扫描数据进行造型处理，得到标准气道模型。考虑到计算的收敛性和流场的稳定性，代替气缸的圆柱体长度为 2.5 倍的缸径。另外，为了避免在气道进口处产生湍流，气道入口处加稳压箱，并且稳压箱与气道交界处采用圆弧过渡。

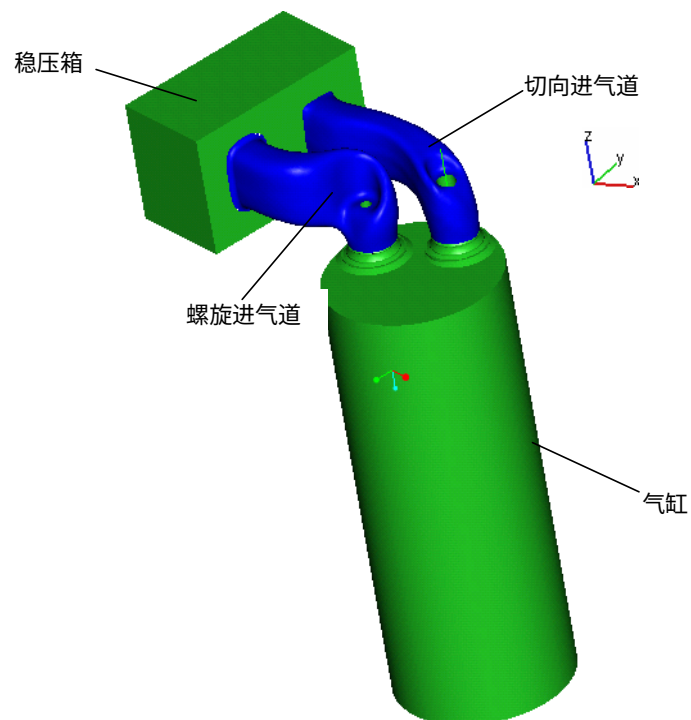


图 1 气道几何模型

2.2 计算网格

利用 STAR CD 自带的网格划分工具 Proam 模块, 分别对不同气门升程下的几何模型划分网格。如图 2 所示。为保证计算精度和收敛, 稳压箱和气缸内部采用较稀疏的网格, 而对于流动非常敏感的气道以及气门等部位作了细化, 图 3 显示了不同气门升程下气门座圈处的网格情况。同时, 在模型壁面处设置边界层网格, 提高计算精度^[2]。

在划分网格的过程中, 利用 proam 可以实现对要求部位的细化, 可以方便的控制网格质量和密度分布, 网格过渡也比较均匀。经过细化后, 各种升程下的网格数量在 32 万左右。满足计算精度的要求。

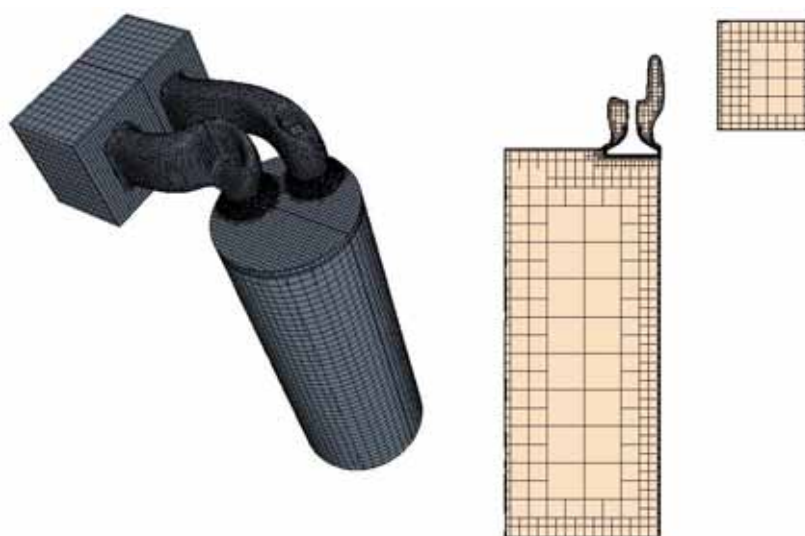


图 3 气道计算网格模型及界面

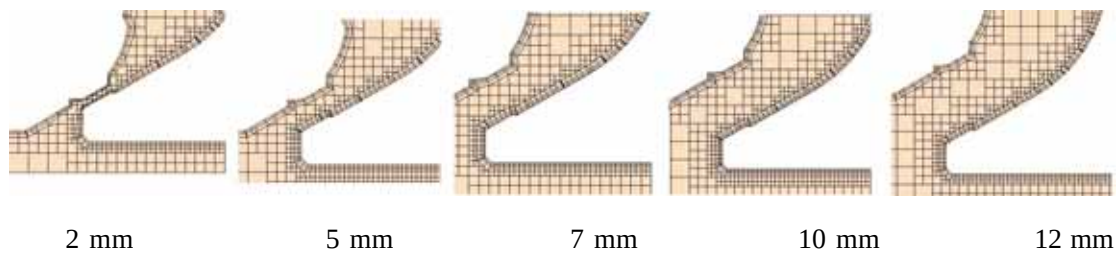


图 3 气门处不同升程下的网格

2.3 边界条件

在气道试验台上利用稳压箱等保持气道压降 ΔP 不变，测量孔板流量计前后的压差 ΔH 来计算流量系数。因此，在模拟计算中，进出口采用压力边界；壁面温度采用绝热边界条件，固定温度为 293.15K，壁面速度采用无滑移边界条件，对边界层采用湍流壁面进行处理。

流体采用可压缩的理想气体（空气）作为流动介质。湍流模型采用 $k-\varepsilon$ 方程。计算迭代 1000 步，各种残差降到 10^{-4} 数量级，判断计算收敛。

3 结果分析

在模型上建立各种截面，显示截面上得速度及压力分布云图。可以清晰的看到气道内部流场状态和压力分布。利用 STAR CD 软件中获取数据的相关模块，结合流量系数计算公式得到各升程下的流量系数。

3.1 气道流场结果

以气门升程 12 mm 时的计算结果为例，显示气道内速度流场及压力分布情况。图 4 显示了气道截面上的速度流场以及气道内的涡流现象。图 5 为气道气门截面压力分布云图。

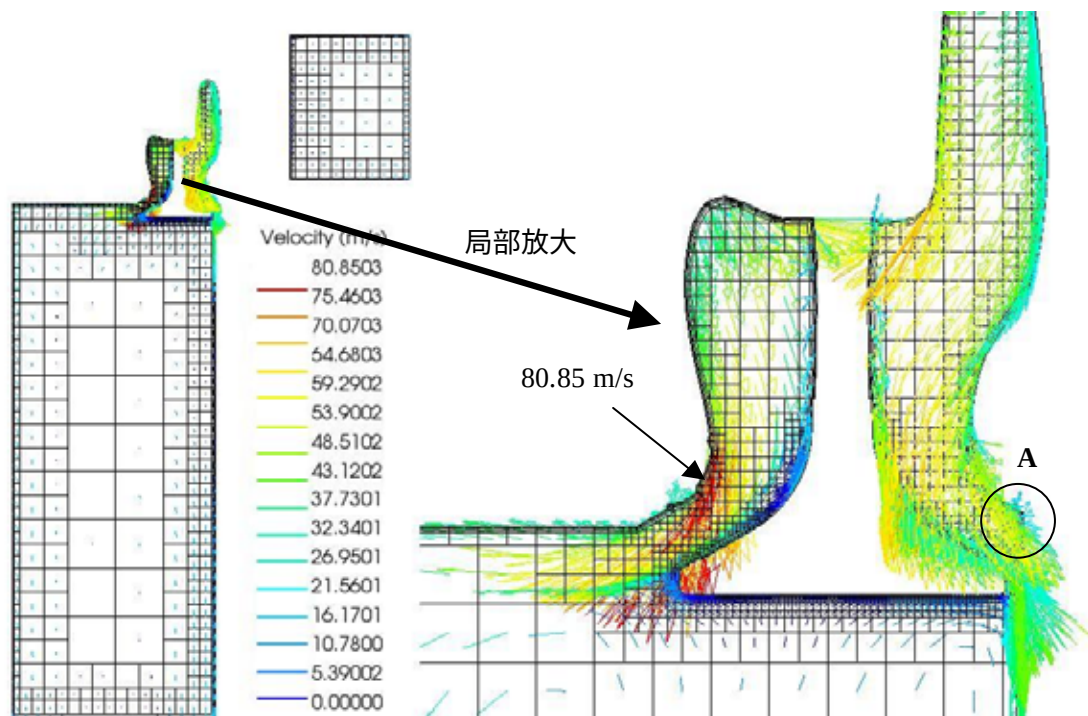


图 4 螺旋气道截面上的速度流场

从图 4 中可以看出，整个气道流场中，在气门座圈处流动速度最大，达到 80.850 m/s。由速度矢量图可以看出截面上 A 区等一些部位出现倒流现象。因此存在气道形状进一步改进的可能性。

气缸和稳压箱里明显出现涡流现象。门下方存在一些轴线与气缸轴线垂直的涡流（即横轴涡流，也称为滚流^[3]），产生原因主要是气门下方没有外界气体直接流入，从而形成一低压区，周围气体补充到该区域，便在此处形成了滚流。

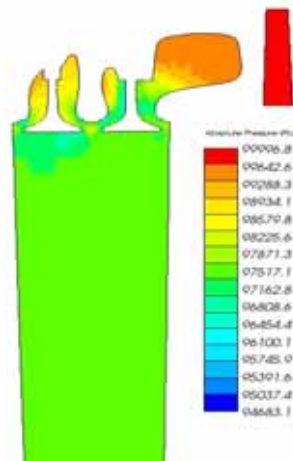


图 5 气道内部气门截面压力分布

从图 5 可以明显看出在气门座圈附近，由于气门的截流作用，导致气门上部压力较大，而气门下方压力较小，即低压区。

3.2 流量系数计算

Ricardo 方法是目前我国内燃机行业应用的比较多的方法^[4]。

Ricardo 无量纲流量系数 C_F ：

$$C_F = \frac{Q}{nA_v V_0}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad A_v = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4}$$

式中， Q —试验测得的实际空气体积流量， m^3/s ；

n —进气门数目；

V_0 —理论进气速度或速度头， m/s ；

A_v —气门座内截面积， m^2 ；

d_v —气门座内径， m ；

ΔP —进气道压差， Pa ；

ρ —气门座处气体的密度， kg/m^3 。

利用软件，可以提取出实际空气体积流量，然后提取进气道各部位处的压力、流速等参数，计算不同升程下的流量系数。

3.3 试验结果及对比

利用气道试验台对标准气缸盖（符合设计要求的气缸盖）进行稳流试验后，得到 12 种不同气门升程 L ($L=1\sim 12\text{mm}$) 下的流量系数 C_F 。经过计算，将得到的不同气门升程下的流量系数。分别将计算模拟数据和试验数据绘成曲线，并作对比，结果如图 5 所示。

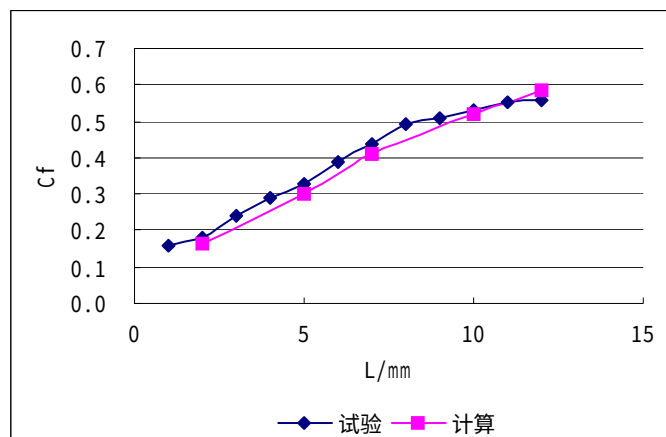


图 6 流量系数 C_F 模拟结果与试验结果对比

图 6 中可以看出，流量系数 C_F 模拟结果与试验结果均随着气门升程 L 的增大而增大。随着气门升程 L 的增大，气体进入气缸的流通截面积增大，进气量增多，因此流量系数 C_F 随气门升程 L 的增大而增大。

除了在气门升程 12mm 时计算流量系数大于试验值外，其余各升程下的均小于试验值。模拟结果所得当量流量系数为 0.47，而试验结果所得当量流量系数为 0.46，两者相差 0.01，约为 2.16%。

总的来说，170 柴油机标准进气道对应的流量系数 C_F 数值模拟结果与稳流试验结果基本吻合，数值模拟结果具有较好的可信度。为进一步分析进气道内部流场提供可靠依据。

4 结论

(1) 在计算中，STAR CD 求解器自适应性比较好，收敛效果好，可以很快的降低残差至 10^{-4} ，实现计算收敛。

(2) 采用同气道稳流试验相同的边界条件以及评价方法，对 170 柴油机标准气道流动特性进行了数值模拟。从模拟结果与试验结果的对比来看，两者基本吻合，从而证明了本章数值模拟结果的正确性。

(3) 对气道内部流场的分析表明，进气最大速度均发生在气道沿程最小截面（气道喉口附近）处，并且这个区域形成了整个流动区域中质量和动量交换最为强烈的区域，虽然气道中存在气体倒流现象，但它对气道的流通能力削弱不大。

(4) 切向气道气门座孔加工出的偏心倒角，对气道形成涡流能力的影响比较大，尤其是在气门小开度下，其偏心倒角可使气道产生相对较大的涡流比。

(5) 采用数值模拟可以获得稳流试验中难以得到的气道内部流动信息，从而为气道的改进设计提供更全面、有力的依据。

5 参考文献

- [1] 罗马吉,黄震,蒋炎坤,等.内燃机进气过程多维数值模拟的研究[J].车用发动机,2003(5):11~14.
- [2] STAR CD Help Tutorial.proam_tut.prostar_tut.
- [3] 赵振武.内燃机气道的稳流试验研究[M].天津:天津大学,2003:11~16.
- [4] 周龙保.内燃机学[M].北京:机械工业出版社,1996.