

基于 STAR-CCM+某重型车进气系统仿真分析

Fluid simulation and analysis for certain Heavy-duty truck intake systems based on STAR-CCM+

梁江波

(陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200)

摘要: 文章针对某重型车进气系统,在 Hyperworks11.0→Engineering Solutins11.0-CFD 中对其进行含边界层的非结构网格划分,借助 STAR-CCM+软件对其进行了流体动力学仿真分析,得到了额定工况下进气系统流场的分布和不同工况下的进气阻力及空滤阻力。最后由空滤器仿真结果与试验结果的比较,进一步验证了仿真结果的准确性。

关键词: 进气系统; Hyperworks11.0; STAR-CCM+ v6.04; 进气阻力; 空滤阻力;

Abstract: To certain Heavy-duty truck intake systems, in Hyperworks11.0→Engineering Solutins11.0-CFD as to it's carried on containing the boundary layer non- structure mesh demarcation, asking for help the software of STAR-CCM+ as to it's carried on the hydrodynamics to imitate true analysis, getting flowing the field distribution of the intake systems and entering air resistance under different work condition, air filter gauze resistance .In the end ,comparing air filter gauze simulation result with experiment result of comparison, further verification simulation result of accuracy.

Key words: intake systems; Hyperworks11.0; Star_CCM+6.04; entering air resistance; air filter gauze resistance;

1 引言

重型车进气系统是控制空气进入燃烧室的系统。进气系统的功能是使更多的冷却的空气进入发动机燃烧室并充分燃烧以获得更清洁的排放及更大的功率,同时还要过滤进气空气中的沙尘保证进入气缸的空气清洁以改善燃烧和排放性能。进气系统的性能影响着发动机和整车的性能。不合理的进气系统设计导致进气阻力较大,发动机燃油经济性变差。该重型车进气系统包括进气扁管、软管1、进气连接管1、进气连接管2、空滤器及增压器进气管,如图1所示。

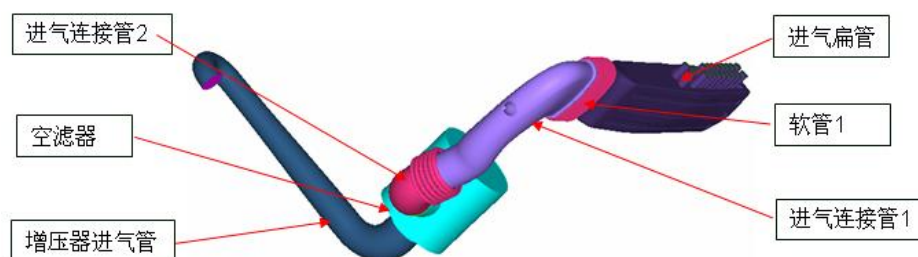


图1 进气系统模型

表 1 空滤器实验阻力特性

空气流量 $Q(m^3/h)$	1210	1375	1490	1565	1620	1900	2000	2100	2200	2300
空滤阻力(Pa)	850	900	1100	1200	1250	1500	1600	1850	2050	2200

2 进气系统网格模型

在 Hyperworks11.0→Engineering Solutins11.0-CFD 中对进气系统模型全部管道内腔划分边界层网格，边界层设置为 5 层，增长比为 1.2，第一层厚度为 0.2，边界层采用三棱柱网格，其余采用全四面体非结构网格，网格数量为 218 万左右。网格划分结果如图 2 至图 4 所示。

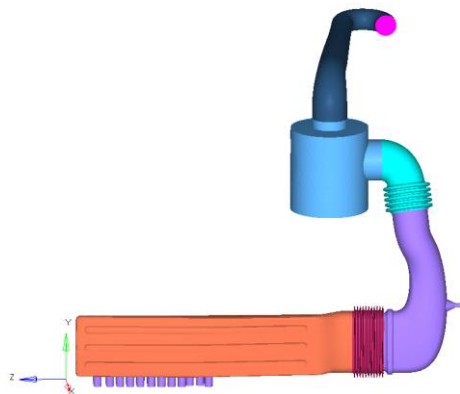


图2 进气系统网格划分结果

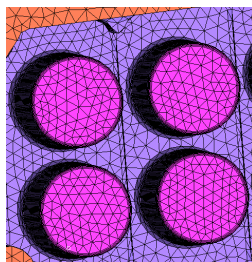


图3 入口处局部网格划分结果

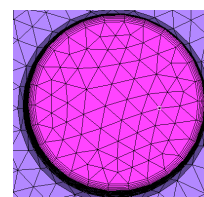


图4 局部网格放大

3 进气系统边界条件定义

材料参数：环境压力为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ ，环境温度为 20°C ；入口条件：根据进气系统进气量，定义进气系统入口速度；出口压力为大气压力。

空滤器特性以多孔挡板(porous baffle)进行模拟。原因在于空滤处的进出口不在同一个方向上，用多孔介质(porous media)不能够确定气流在其中的流程情况，故采用在空滤和下游连接管处设置多孔挡板(porous baffle)的方法进行处理

由空滤出口处速度及实测空滤阻力，应用最小二乘法对空滤的阻力特性进行曲线的拟合，得到曲线方程，如图 5 所示。

结合 STAR-CCM+中，多孔 Baffle 流速和压力损失的关系 $\Delta P = \rho \alpha V^2 + \rho \beta V$ 及进气系统空滤部分实际，最终确定合理的粘性阻力系数 α 及惯性阻力系数 β 值。其中： ΔP 为压力损失， ρ 为密度， V 为速度， α 、 β 为阻力系数。

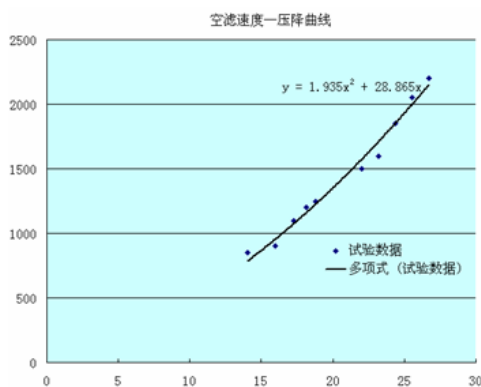


图 5 空滤器速度压降曲线

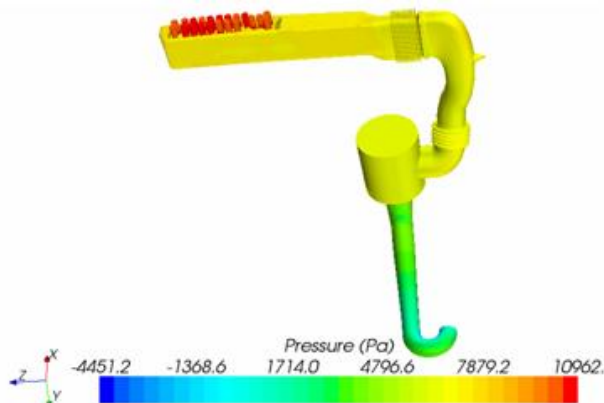


图 6 额定工况进气系统压力分布

4 额定功率工况下，入口空气流量为 $2200\text{m}^3/\text{h}$ 仿真结果及分析

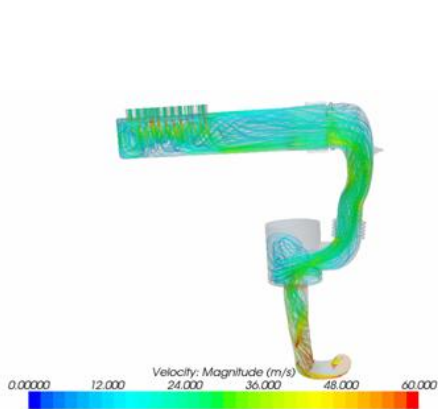


图7 额定工况进气系统流线图

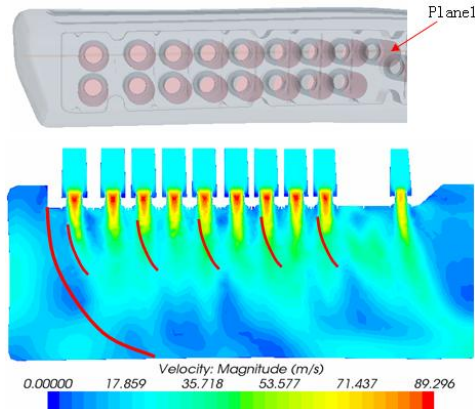


图8 进气扁管切面处速度分布

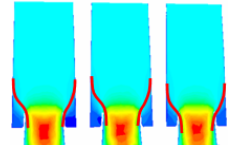


图9 入口处局部放大

由上面云图可以看出，进气扁管内部存在较多区域的涡流，局部结构需要进一步优化，可考虑在图示位置增加导流板,或者改进结构。

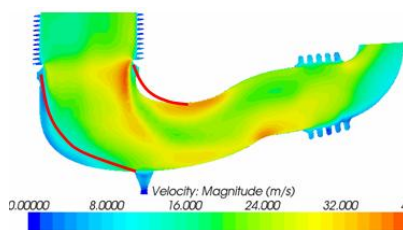


图10 进气接管1切面处速度分布

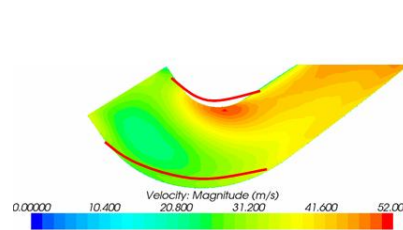


图11 增压器进气管入口切面处速度分布

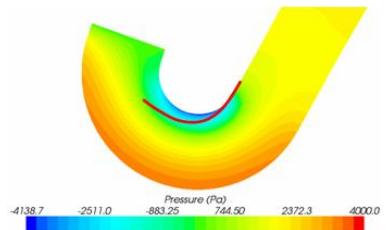


图12 增压器进气管出口切面处速度分布

由上面云图可以看出，在管子拐角处都存在不同程度的流动分离及低压区，建议在进气接管1及增压器进气管拐角处采用较大半径的圆弧过渡，使速度分布趋于均匀，减少流动分离。

额定功率工况下，空气流量为 $2200\text{m}^3/\text{h}$ 时进气系统各部分压损结果如表2所示。

表2 额定工况下，进气系统各部分压损结果

进气系统	静压压降 (Pa)	比例	总压压降	比例
进气扁管	3395.53	32.44%	3483.12	47.92
软管1	239.55	2.29%	31.66	0.44%
进气接管1	270.48	2.58%	333.10	4.59%
进气接管2	-47.36	-0.45%	41.39	0.57%
空滤器	2077.52	19.85%	1850.76	25.46%
增压器进气管	4531.82	43.29%	1529.32	21.04%
合计	10467.5	1	7269.35	1

额定功率工况下，进气系统的总压损失为 7.27kPa ，进气扁管的总压损失占整个系统的 47.92% 。进气扁管结构复杂，压降变化大有多方原因。查看进气扁管的压力梯度分布，可以看出压力变化较大的部位在小进气管和进气系统主腔道联接的小凸台部位。空滤器的压降由其自身空滤特性引起。增压器进气管弯管附近压力梯度变化较大，其自身结构-管道截面小，转弯角度大是造成压降大的主要原因。

5 进气系统不同流量下计算结果

采用与上一章相同的计算方法，设置不同的进口速度，计算进气系统在不同入口速度条件下的压降及空滤器压降，如表 3 所示。

表 3 进气系统不同流量压损计算结果

流量 (m ³ /h)	入口速度 (m/s)	系统静压压降 (Pa)	系统总压压降 (Pa)	空滤器压降 (Pa)
1210	12.87	3340.08	2367.31	774.26
1375	14.62	4271.21	3010.22	962.70
1490	15.85	5008.41	3523.49	1104.94
1565	16.64	5489.88	3856.34	1197.14
1620	17.23	5860.60	4111.31	1271.15
1900	20.21	7978.90	5580.01	1670.97
2000	21.27	8790.98	6135.24	1792.56
2100	22.33	9584.83	6663.36	1928.58
2200	23.40	10467.54	7269.35	2077.52
2300	24.46	11364.54	7881.04	2222.80

采用最小二乘法对计算结果进行拟合，得到进气系统静压与入口流量的关系式为： $\Delta P=0.002Q^2+0.3969Q$ ；进气系统总压与入口流量的关系式为： $\Delta P=0.0013Q^2+0.3683Q$ 。应用此公式可方便的进行任意流量下进气阻力的计算。

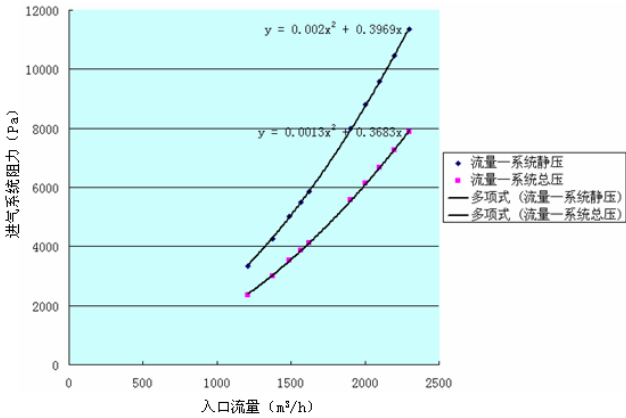


图 13 进气系统入口流量与系统压损拟合曲线

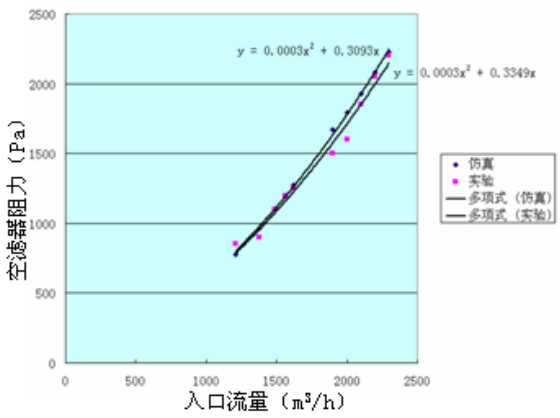


图 14 空滤器仿真结果与实验值比较

6 空滤器压降仿真与实验值比较

表 4 空滤器阻力仿真与实验比较

流量 (m ³ /h)	1210	1375	1490	1565	1620	1900	2000	2100	2200	2300
仿真空滤器压降	774.26	962.70	1104.94	1197.14	1271.15	1670.97	1792.56	1928.58	2077.52	2222.80
二次多项式理论计算空滤器压降	786.53	952.87	1077.19	1161.98	1226.02	1576.49	1711.55	1851.82	1997.30	2147.99
实测空滤器压降	850	900	1100	1200	1250	1500	1600	1850	2050	2200
仿真与理论差值	-12.26	9.83	27.75	35.16	45.13	94.48	81.01	76.76	80.22	74.81
试验与理论差值	63.47	-52.87	22.81	38.02	23.98	-76.49	-111.55	-1.82	52.70	52.01
仿真误差	-1.56%	1.03%	2.58%	3.03%	3.68%	5.99%	4.73%	4.15%	4.02%	3.48%
实验误差	8.07%	-5.55%	2.12%	3.27%	1.96%	-4.85%	-6.52%	-0.10%	2.64%	2.42%

仿真计算最大误差为 5.99%，将仿真所得空滤器流量与阻力关系与试验值进行对比分析，由图 14 可以看出，在空滤器正常工作范围内，仿真结果和试验结果有很好的一致性，表明多孔 Baffle 边界设置的阻力系数比较符合实际。

结束语

文章借助 STAR-CCM+软件对某重型车进气系统进行了流体动力学仿真分析,得到了额定工况下流场的分布和不同工况下的进气阻力及空滤阻力。对进气系统进气扁管、进气连接管及增压器进气管提出改进建议。计算得到进气系统不同入口流量与进气阻力关系式,此关系式可方便的进行任意流量下的进气阻力计算。由空滤器仿真结果与试验结果很好的一致性,进一步验证了仿真结果的准确性。

参考文献:

- [1] 陈家瑞.汽车构造.北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 贾彦龙.基于三维紊流数值模拟的空气滤清器结构优化设计[D].济南:山东轻工业学院,2008.
- [3] 李楚琳.HyperWorks 分析应用实例.机械工业出版社,2008.
- [4] 钱耀义,李云清.进气系统的简化数学模型与参数的优化程序.内燃机学报,1988(3),258~264.
- [5] 陈材侃.计算流体力学[M].重庆:重庆出版社,1992.
- [6] 罗马吉,黄震.内燃机进气过程多维数值模拟的研究[J].车用发动机,2003,(5):11-15.