

发动机进气歧管一三维耦合仿真研究

Study of 1D-3D Coupling Simulation of Engine Intake Manifold

单文诣, 贺燕铭, 刘系曷

(北京汽车动力总成有限公司)

摘 要: 本文利用 STAR-CCM+软件和 GT-POWER 软件对某增压汽油发动机的两种进气歧管的内流场进行了一三维耦合数值模拟, 并对这两种进气歧管的进气不均匀性进行了分析。结果表明入口端布置在进气总管中间比布置在进气总管一侧进气均匀性更好。

关键词: 增压发动机 进气歧管 进气不均匀性 一三维耦合仿真

Abstract: 1D-3D coupling simulation based on GT-POWER and STAR-CCM+ software is performed on the flow fields of two kinds of intake manifolds of some turbocharged gas engine and the intake air nonuniformity of the two kinds of intake manifolds has been analyzed. The results show that the uniformity of the manifold that the case of the inlet in the middle of intake manifold is better than that on the side of intake manifold.

Key Words: turbocharged engine; intake manifold; intake air nonuniformity; 1D-3D coupling simulation

1 引言

进气歧管是发动机进气系统最重要的部分之一, 进气系统性能的好坏决定着发动机进气效率和各个气缸充气均匀性的优劣, 对整机的性能有着非常大的影响^[1]。对进气歧管进行一三维耦合计算, 由于两者在计算中实时交换数据, 提高了三维流动区域边界的准确度, 能准确反应进气歧管的设计对发动机进气性能的影响, 结果更加稳定可靠。

本文通过对某增压汽油发动机横置和纵置两种进气歧管进行一三维耦合仿真, 分别对这两种进气歧管高速时引起的不均匀性进行了计算, 对进气不均匀性进行了评价, 为进一步优化设计提供理论依据。

2 进气歧管一三维耦合模型

2.1 建立模型

横置进气歧管和纵置进气歧管基于 GT-POWER 和 STAR-CCM+ 的一三维耦合模型如图 1、图 2 所示，横置进气歧管入口在进气总管中间，纵置进气歧管模型的进气入口在进气总管的左侧。

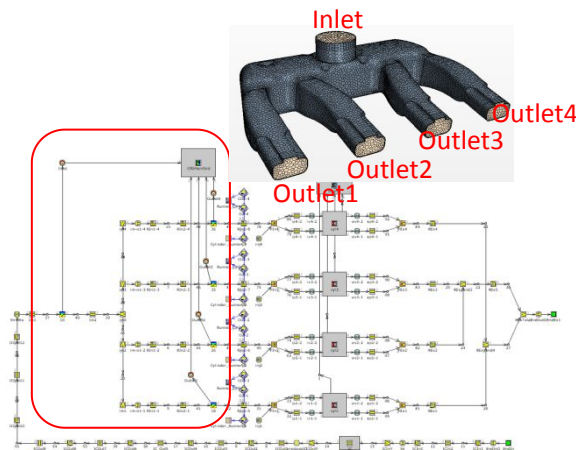


图 1 横置进气歧管一三维耦合模型

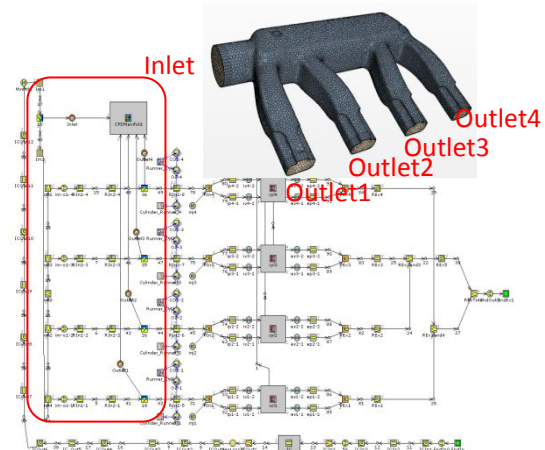


图 2 纵置进气歧管一三维耦合模型

2.2 计算方法

随着发动机转速的增加，进气不均匀性增加，因此本计算选择 5600rpm 工况下对进气歧管不均匀性与流通性进行分析。网格采用多面体网格，进出口进行 4 层拉伸层网格，作为与 GT-POWER 交换数据的区域，大小采用最小 2.5mm，最大 5mm 尺寸的网格，网格数目分别为 78896 和 79473 个。计算过程为 GT-POWER 单独计算 30 个循环，使一维计算结果达到收敛，然后通过耦合单元将流量边界条件传递给 STAR-CCM+ 进行耦合计算，5 个循环达到计算收敛。

3 计算结果分析

3.1 进气不均匀性评价参数^[2]

发动机进气不均匀性用最大进气不均匀度 E 来评价，其值越小代表越均匀。一般要求进气歧管的最大进气不均匀度在 5% 以内。

进气歧管最大进气不均匀度 E 的计算公式如下所示：

$$E = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{mean}}} \times 100\%$$

式中, $Q_{\max}$ 为 4 个气缸中进气量最大的气缸的进气流量;

$Q_{\min}$ 为 4 个气缸中进气量最小的气缸的进气流量;

Q_{mean} 各缸进气量的平均值。

3.2 两种进气管进气不均匀度分析

两种进气歧管各缸进气量及进气不均匀度见表 1.

表 1 5600rpm 横置进气歧管各缸进气量及不均匀度

	1 缸进气量	2 缸进气量	3 缸进气量	4 缸进气量	平均值	不均匀度
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	
横置进气歧管	47.9	46.9	46.5	47.4	47.175	2.97%
纵置进气歧管	49.2	48.3	47.6	48.5	48.4	3.31%

从表 1 可以看出, 5600rpm 时, 横置进气歧管的最大进气不均匀度为 2.97%, 要比纵置进气歧管的最大进气不均匀度 3.31% 小, 但是都在允许的最大不均匀度 5% 以内, 差别很小, 进气量横置进气歧管要比纵置的小 2.53%。

横置进气歧管 2 缸和 3 缸进气量比 1 缸和 4 缸进气量小, 影响了进气均匀性; 纵置进气歧管 3 缸进气量最小。

3.3 进气歧管内流场和流线分析

图 3 和图 4 是横置进气歧管和纵置进气歧管在各缸进气流量最大时进气歧管内的流线图。

从图 3 中可以看出不同气缸的进气流动轨迹。横置进气歧管 1、2 缸和 3、4 缸呈对称分布, 从图中可以看出 1、4 缸进气流程中较为平缓, 在总管与稳压腔和支管与稳压腔接合处的曲率都较 2 缸和 3 缸小, 2 缸和 3 缸进气时在进气流程上有一个较大的拐弯, 导致 2 缸和 3 缸在上述两处部位压损较 1 缸和 3 缸大, 1 缸和 4 缸, 2 缸和 3 缸流动情况相似。

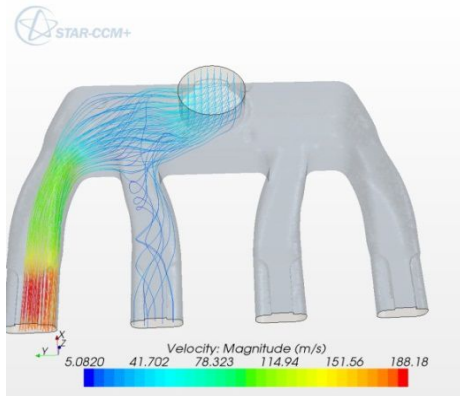


图 3a) 1 缸进气流量最大时进气歧管流线图

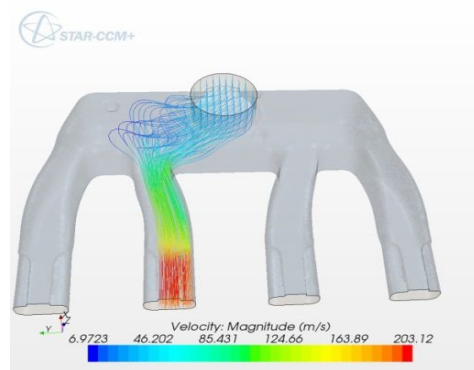


图 3b) 2 缸进气流量最大时进气歧管流线图

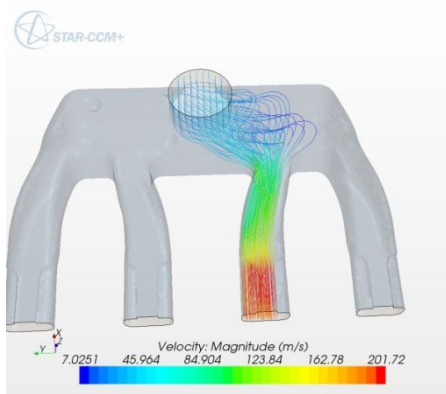


图 3c) 3 缸进气流量最大时进气歧管流线图

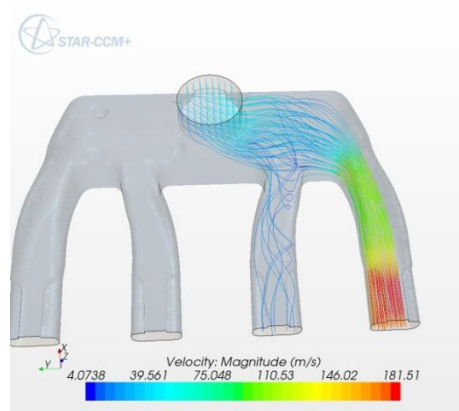


图 3d) 4 缸进气流量最大时进气歧管流线图

纵置进气歧管各缸的进气流程长度不一，1 缸最短，4 缸最长。从图 4 中可以看出，3 缸进气支管与稳压腔接合处角度较小成锐角，曲率较大，使得此处压损较大，加上进气流程较 1 缸和 2 缸长，进气量偏小，而 4 缸虽然进气流程最长，但 4 缸进气支管与稳压腔的夹角较大，拐角处曲率较小，此处压损要比 3 缸小，流动比较顺畅。建议适当减小支管 3 与稳压腔接合处的曲率，增大支管与稳压腔进气侧的夹角，减小压力损失，以适当增加 3 缸进气量。

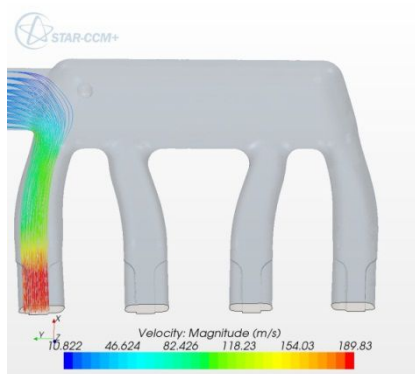


图 4a) 1 缸进气流量最大时进气歧管流线图

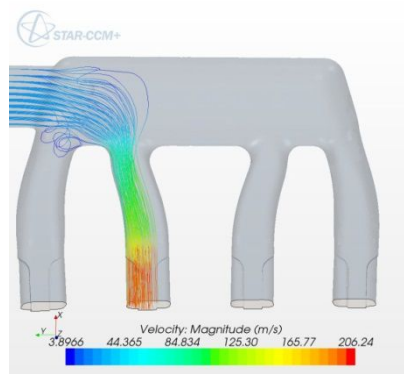


图 4b) 2 缸进气流量最大时进气歧管流线图

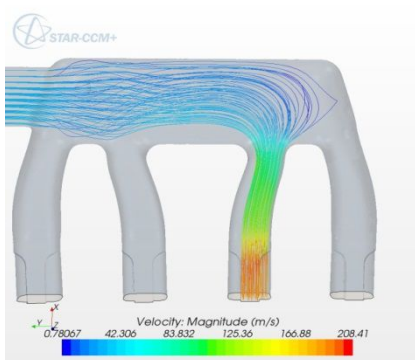


图 4c) 3 缸进气流量最大时进气歧管流线图

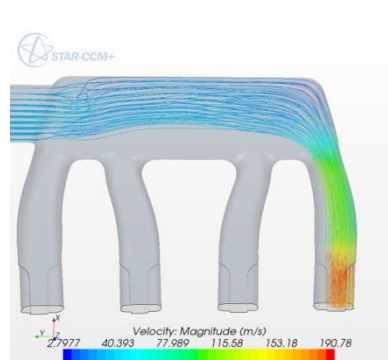


图 4d) 4 缸进气流量最大时进气歧管流线图

图5和图6为横置进气歧管和纵置进气歧管在各缸进气流量最大时进气歧管截面压力云图。从图中可以看出歧管内部的压力分布，特别是压降较大的区域。纵置进气歧管支管2和支管3与稳压腔接合处出现压降较大的低压区，压力损失较大。横置进气歧管支管2和支管3与稳压腔接合处出现低压区，压力损失较大。

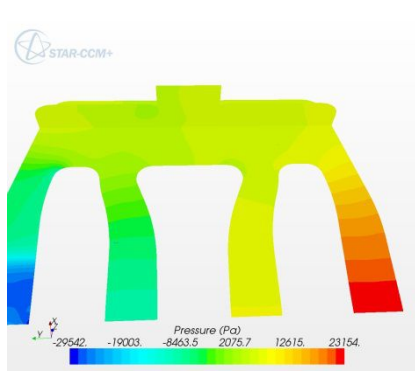


图 5a) 1 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

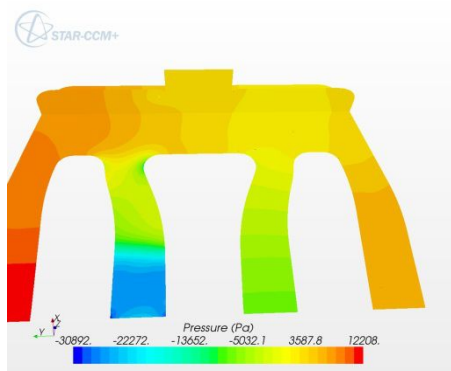


图 5b) 2 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

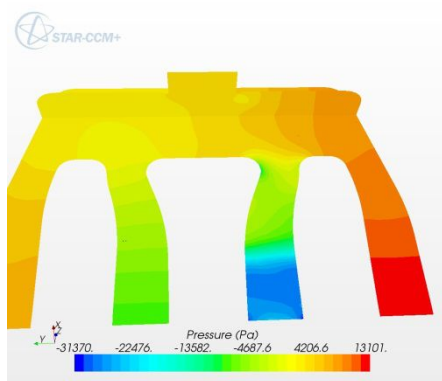


图 5c) 3 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

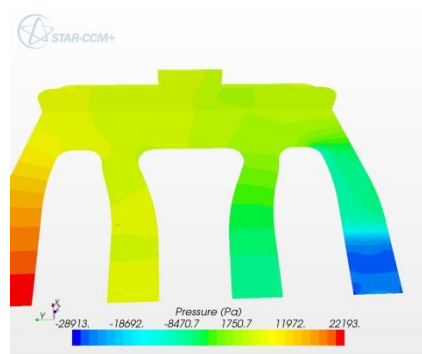


图 5d) 4 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

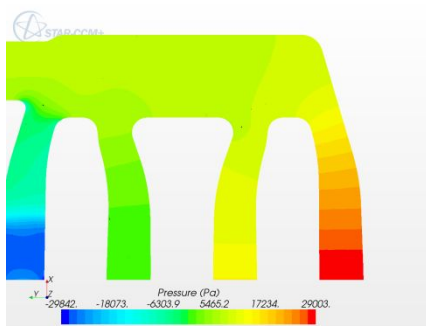


图 6a) 3 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

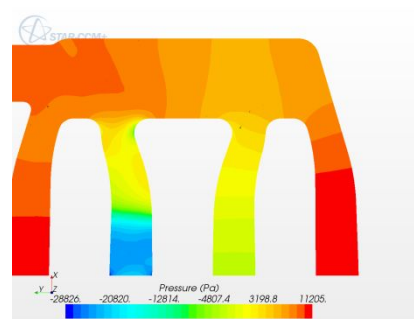


图 6b) 3 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

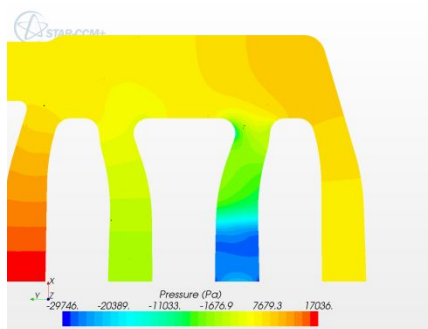


图 6c) 3 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

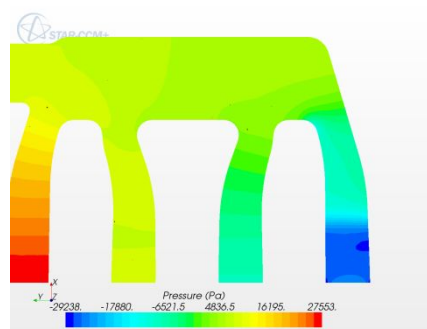


图 6d) 3 缸进气流量最大时进气歧管压力云图

从上述对横置进气歧管和纵置进气歧管内的流动轨迹和截面压力云图来看，流速较大，压力较小的区域基本都在歧管和稳压腔的交汇处，且此处的压力损失较大，对整个进气歧管总成的压力损失起主要作用。纵置进气歧管，支管 3 与来流方向成锐角，且曲率较大，使得歧管 3 入口处压力损失较大，3 缸进气量偏小。横置进气歧管，支管 2 和支管 3 流体流动轨

迹较陡峭，在支管入口处曲率较大，压力损失较支管 1 和 4 小，进气量小。

4 结论

通过以上计算分析可知：

横置进气歧管改为纵置进气歧管后，进气量略有增加，进气不均匀性前者比后者要小，均在设计要求的 5%以内。进气歧管内的压差损失最大的部位均在各缸进气支管和稳压腔相接的部位，适当修改各支管与稳压腔接合处的角度及弧度，可以进一步减小压差损失，使进气不均匀性降低。

5 参考文献

- [1] 黄征宏等. 汽车进气管改型的数值模拟机优化设计[J]. 模具技术, 2007, (3): 1-2.
- [2] 杜巍等. 发火顺序对增压柴油机进气不均匀性性影响的研究[J]. 内燃机工程, 2011, (8): 89.