



中国一汽技术中心

基于伴随求解器的某汽油机进气歧管优化分析



Your True Partner for
CAE × CFD
ICSC2016



姓名：张志强
单位：一汽技术中心
时间：2016年11月23日

1

背景简介

2

基于伴随求解器的进气歧管优化分析

3

结论

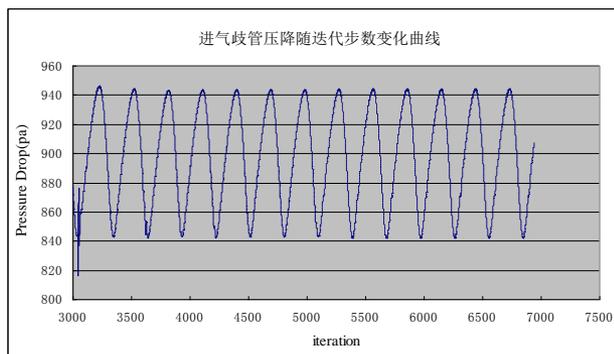
进气歧管简介

➤进气歧管主要功能是将洁净空气尽可能均匀地分配到各个气缸，进气歧管结构设计的合理性会影响到发动机的充气效率和换气损失，因此进气歧管的设计必须使得压力损失尽可能小，同时保证各缸进气均匀性。

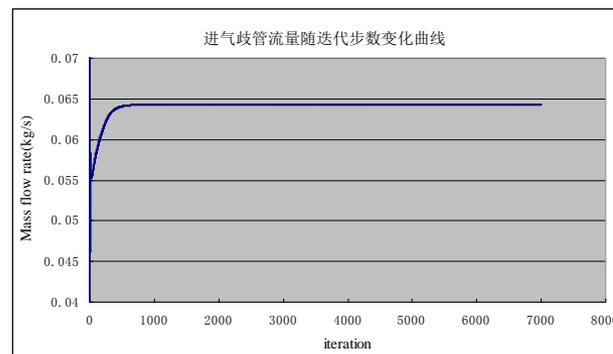
➤目前的评价方法：

1.定流量，评价压降不均匀性，与试验不可比，且计算收敛时压降可能存在波动，对网格质量要求较高；

2.定压差，评价流量不均匀性，与试验可比性较好。

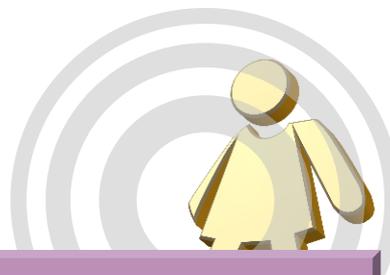
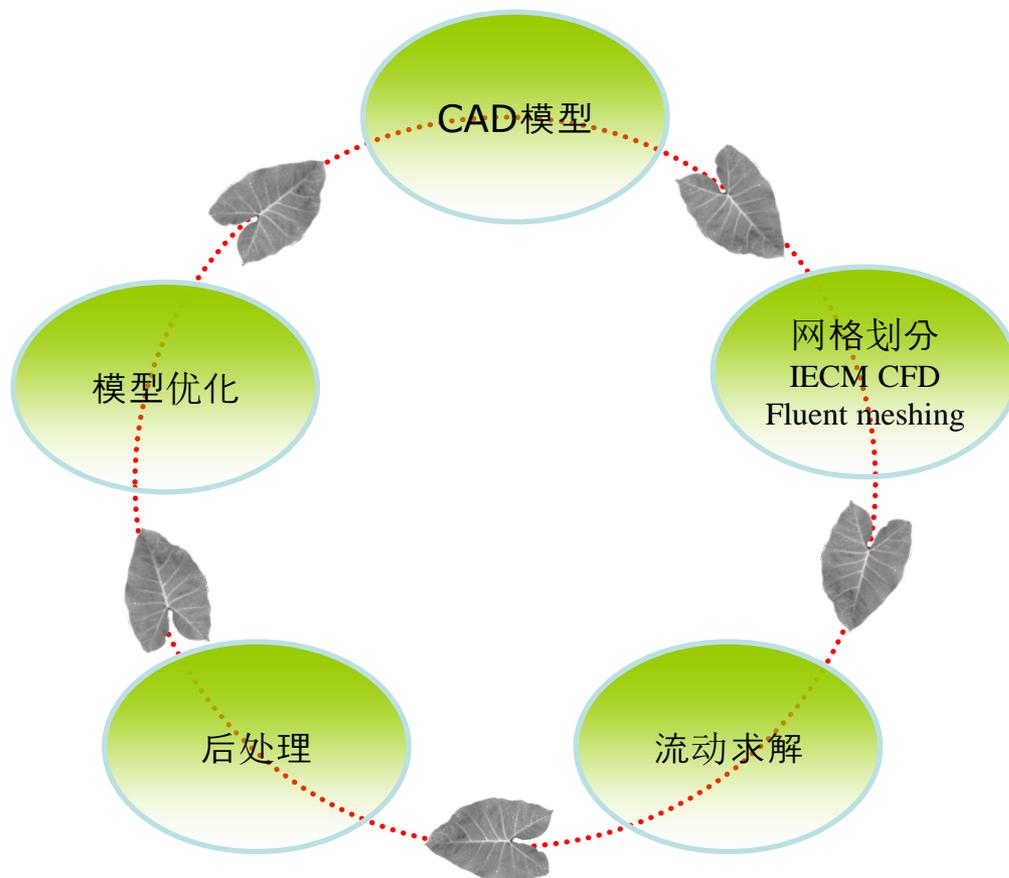


定流量法某缸压降变化曲线



定压差法某缸流量变化曲线

传统的进气歧管优化方法



优缺点

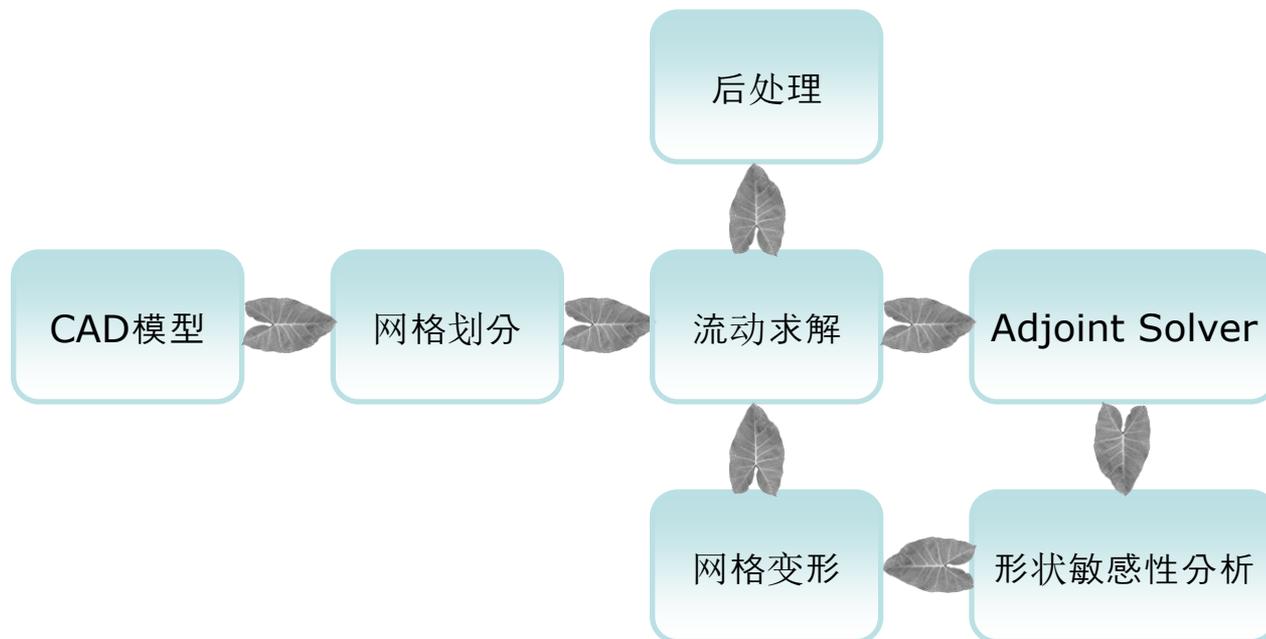
优点:

- 可以采用优化工具建立一个自动化的分析流程
- 可以直接使用最优的CAD模型

缺点:

- 只能对指定的参数进行优化
- 需要重复多次的流动求解

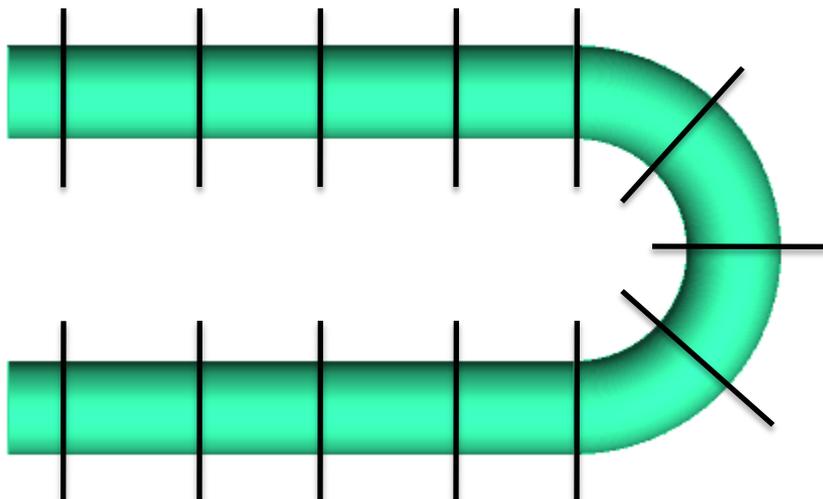
基于Adjoint Solver的进气歧管优化方法



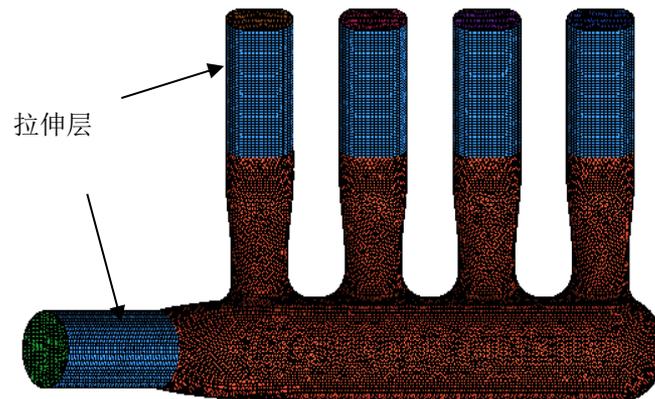
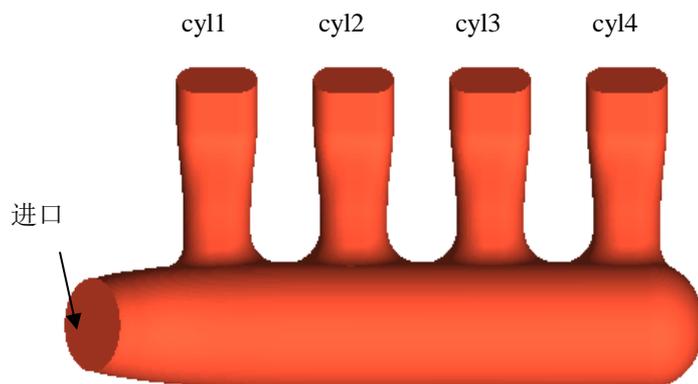
优点：基于体网格的模型自由变形，不需要重新划分网格，在求解器内完成优化
缺点：不能直接得到**CAD**模型，不方便于生产，需借助逆向工程等方法（**ANSYS SCDM**）

网格模型到CAD模型的转换

- ✓将最终优化模型转换为**stl**格式，导入到**ANSYS SCDM**
- ✓截取不同几何位置处的轮廓线
- ✓将轮廓线依次按照顺序进行放样（**Loft**），生成光滑曲面
- ✓生成**CAD**实体模型



几何模型及网格处理



几何模型	基于3D ProE模型
网格划分工具	ICEM CFD
网格类型	四面体网格+边界层+拉伸层
网格数量	53万

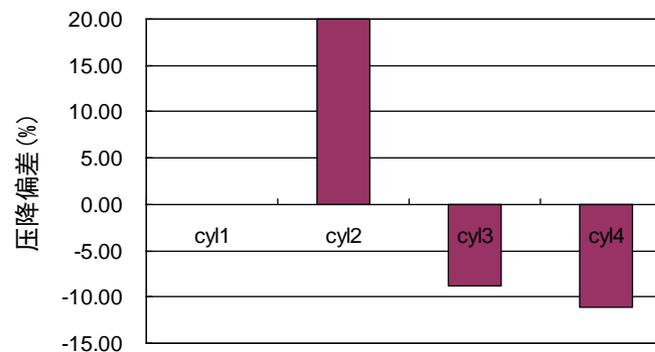
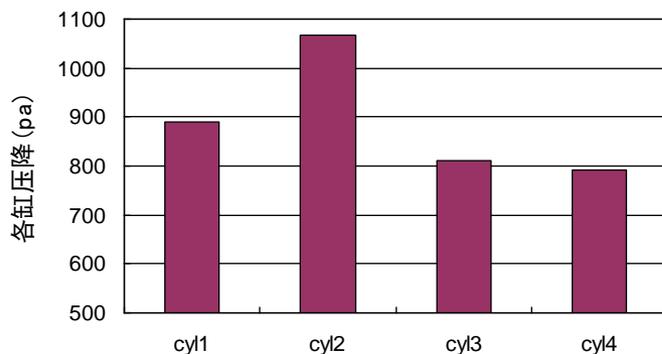
物理模型及边界设置

计算工具	Fluent 15.0
计算类型	稳态
物理模型	<ul style="list-style-type: none">■ 不可压缩■ 湍流流动 (k-ε模型)
流体物性	空气： <ul style="list-style-type: none">■ 密度：1.2 kg/m³，动力粘度：1.79e-5kg/(m·s)
边界条件	<ul style="list-style-type: none">■ 定流量，进口为速度入口，速度为31.3m/s，出口为压力出口

注：Adjoint Solver在15.0版本仅限于以下边界-Wall、Velocity inlet、Pressure outlet、Symmetry、Rotational and translation periodic。

原方案结果分析

原方案	cyl1	cyl2	cyl3	cyl4
各缸进气时总压降 (pa)	889	1067	811	791
各缸压降平均值 (pa)	889.5			
压降偏差 (%)	-0.06	19.96	-8.83	-11.07



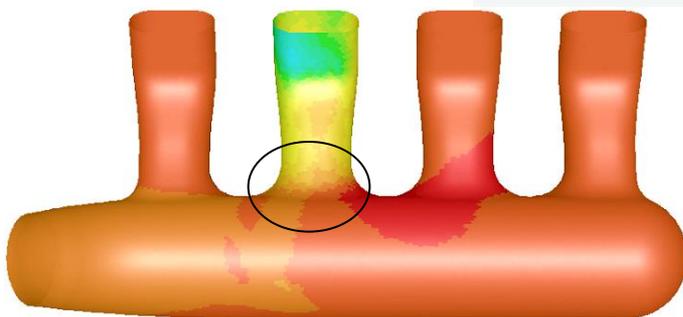
进气歧管压降不均匀性需满足压降偏差±5%的标准。

原方案结果分析-流场分析

主要对策：进气歧管根部

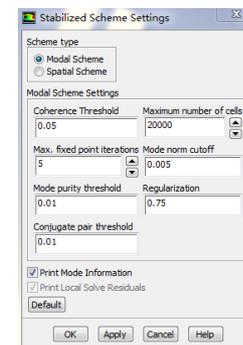
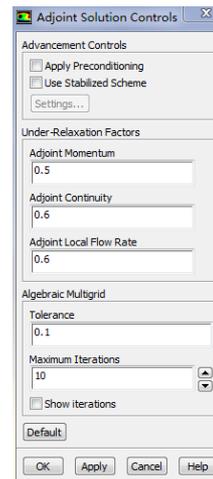
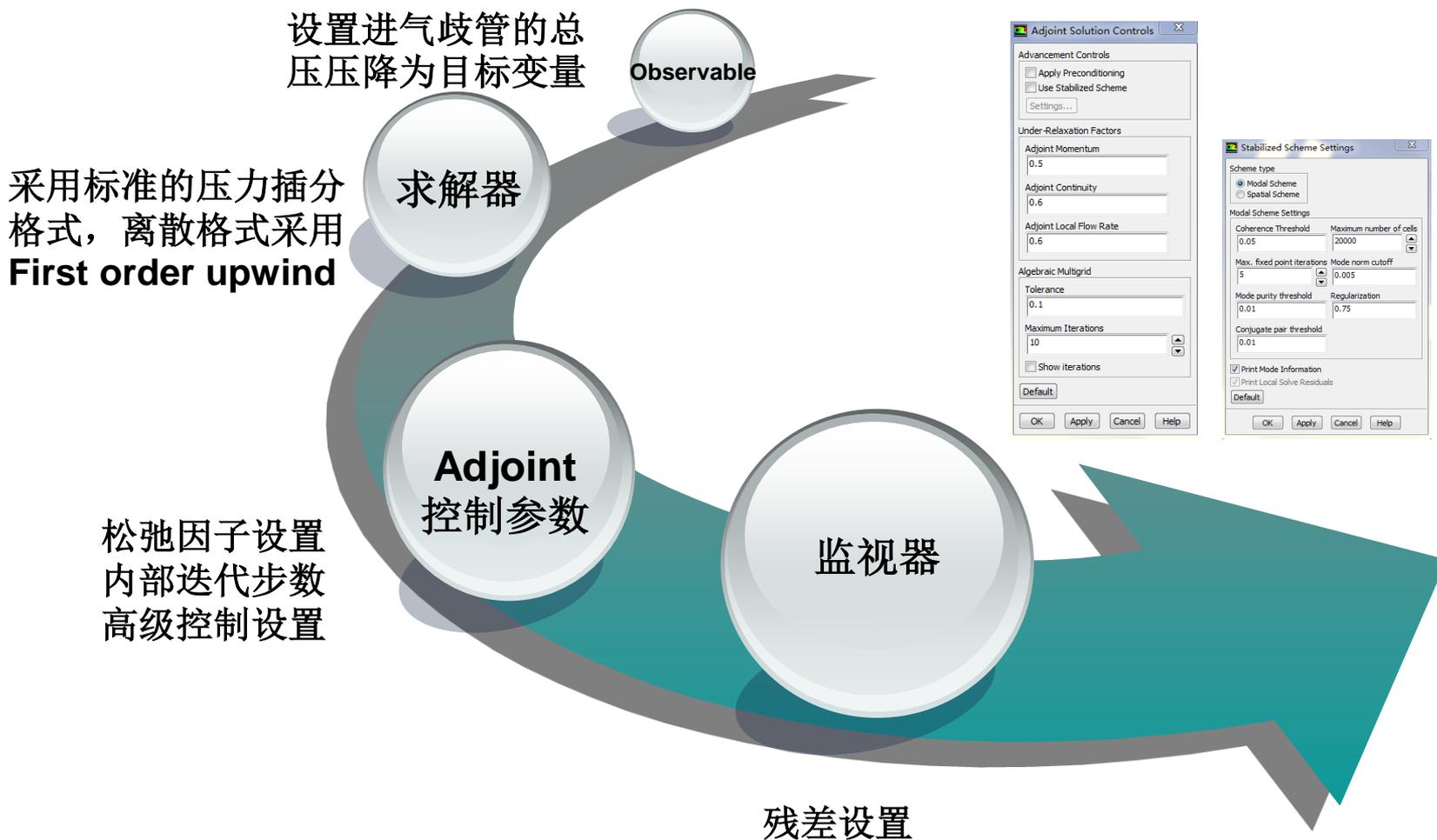
主要问题：

- 进气歧管根部压力变化大
- 进气存在流动分离和旋涡



根据原方案2缸的分析结果，对进气歧管进行改进仍需要多次优化，无法量化反馈给设计工程师。

伴随求解器设置



运用Adjoint Solver进行敏感性分析

形状敏感性：压降相对于网格节点位置的敏感性

$$\delta(\text{pressure} - \text{drop}) = \sum_{\text{mesh}} \underline{w}^n \cdot \underline{\delta x}^n$$

Node displacement

Shape sensitivity coefficients:
Vector field defined on mesh nodes

节点位移的确定-梯度算法

位移正比于局部的敏感性

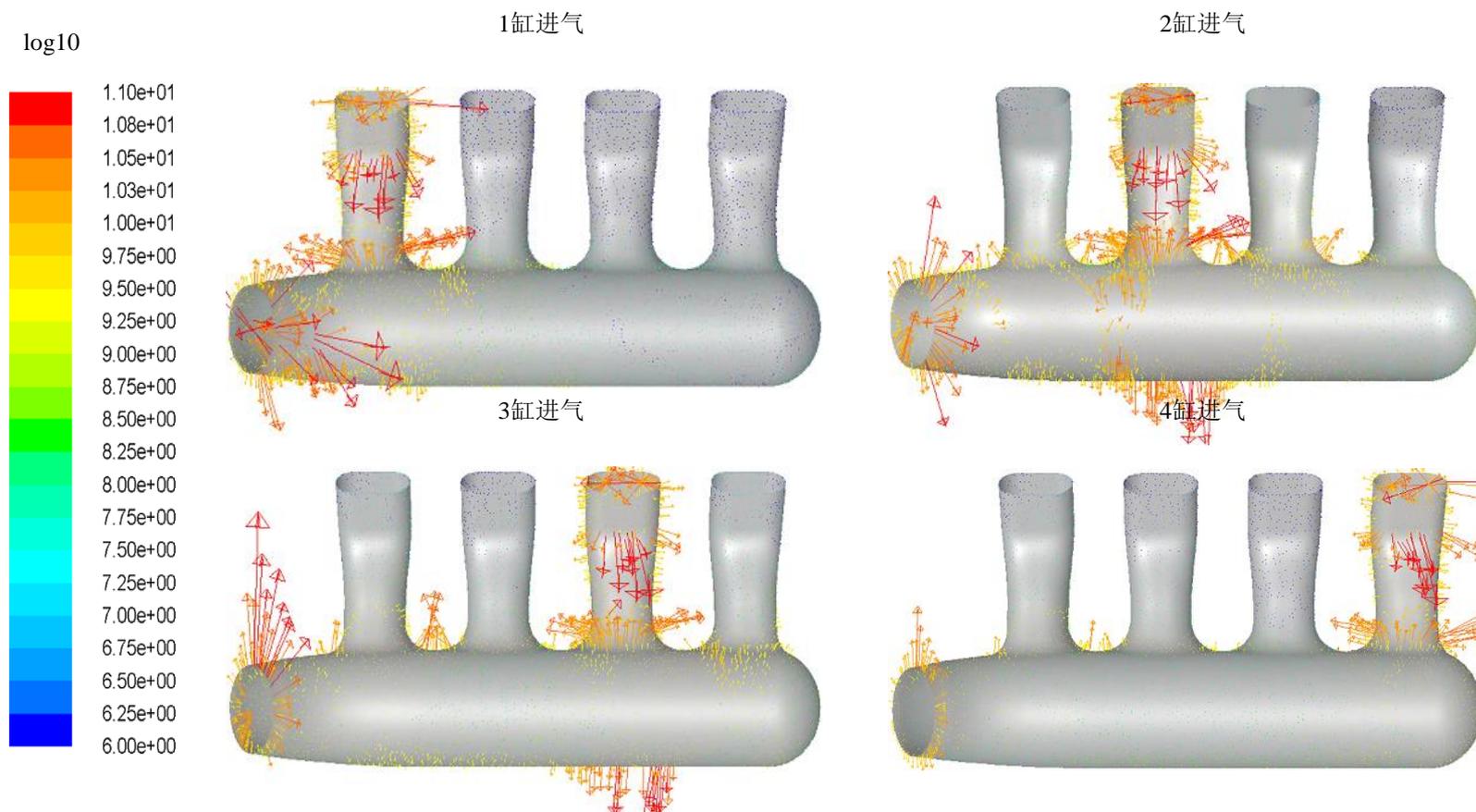
$$\underline{\delta x}^n = -\mu \underline{w}^n$$

网格变形比例因子，用户指定

网格变形之前，提供目标压降随着网格变形而导致的变化值的一阶估计

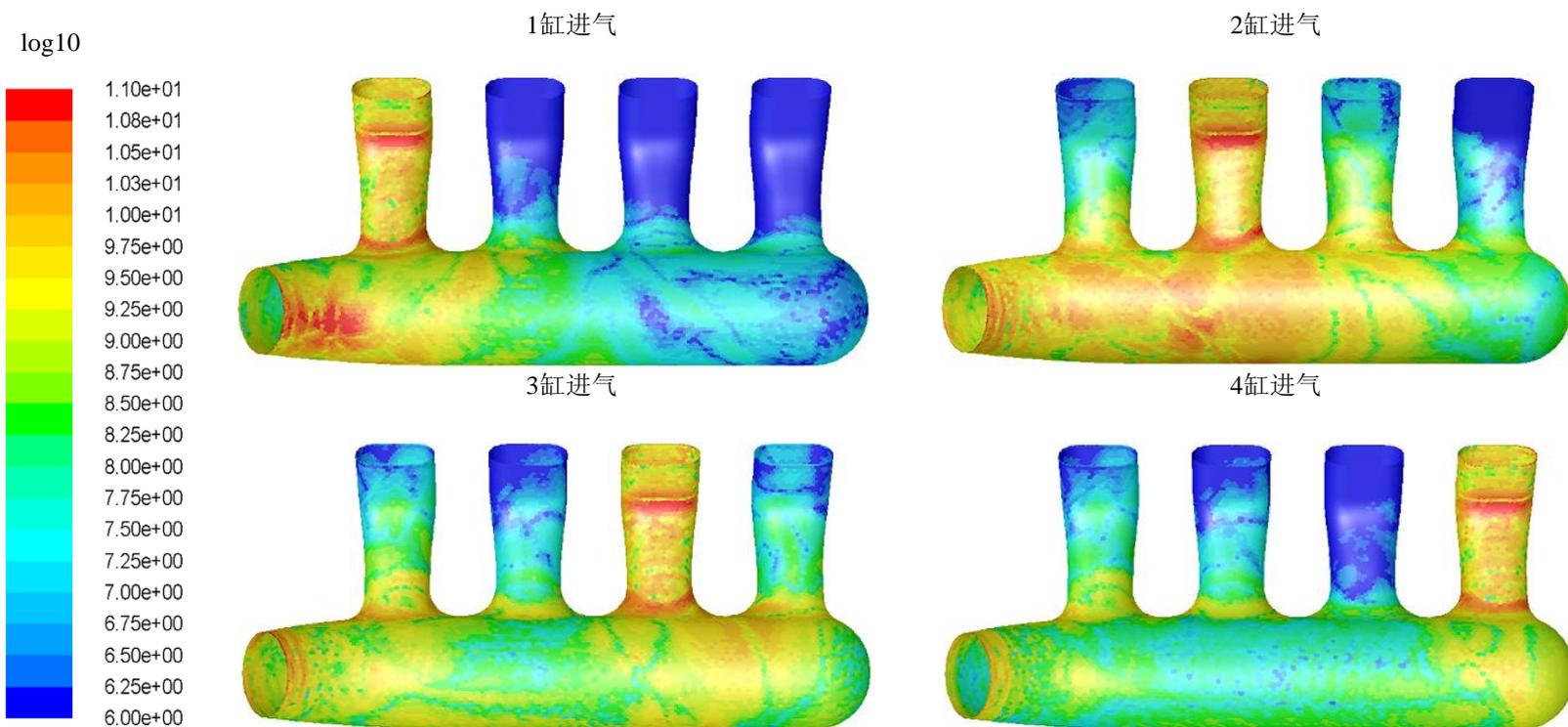
$$\delta(\text{pressure} - \text{drop}) = -\mu \sum \underline{w}^n \cdot \underline{w}^n$$

运用Adjoint Solver进行敏感性分析



□图中矢量场可以清晰地显示出对压降比较敏感的区域,改变这些位置的形状会对压降造成明显的影响。

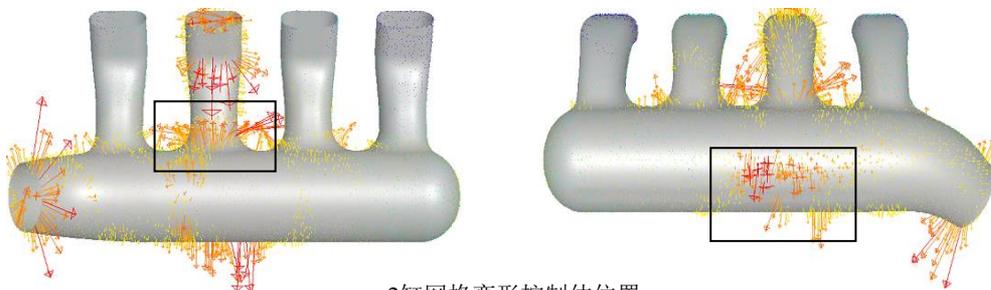
运用Adjoint Solver进行敏感性分析



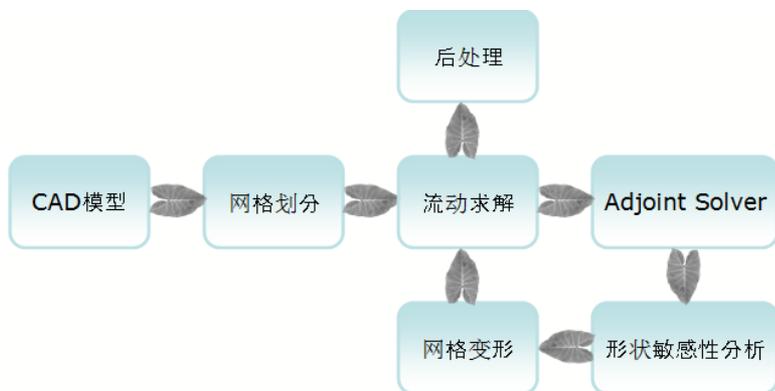
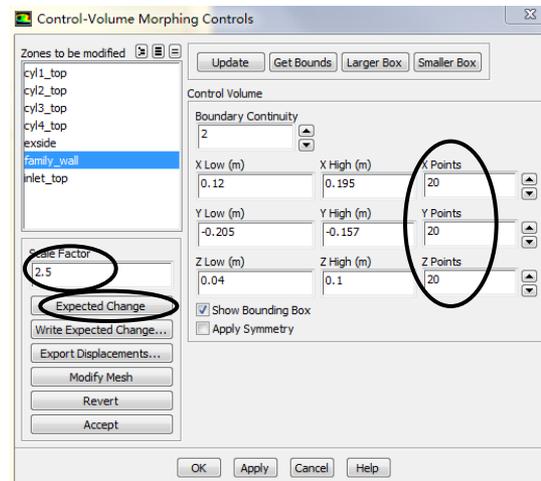
- 除了矢量场，可以使用云图方式显示；
- 形状敏感性只对指定的目标量和当前的流动状态。

方案优化

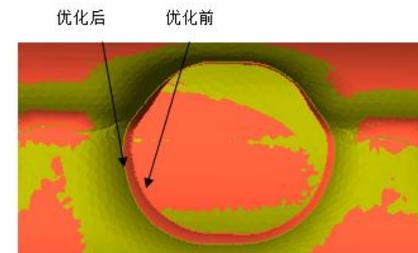
控制体设置及网格变形



2缸网格变形控制体位置



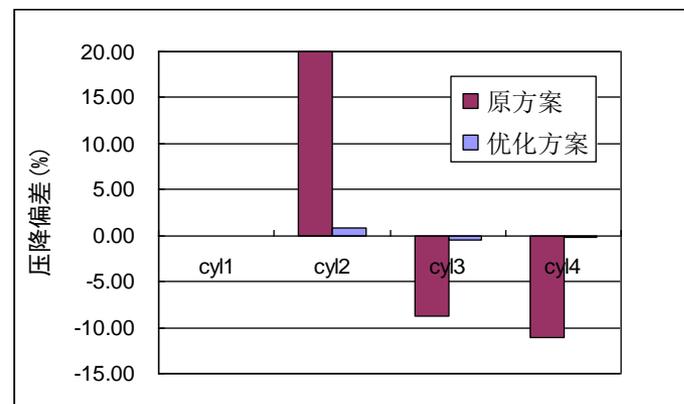
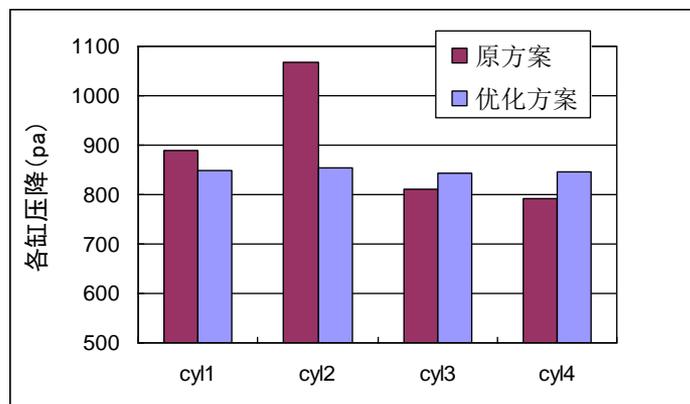
优化后进气歧管模型



2缸优化前后进气歧管根部横切面对比

最终优化结果

原方案	cyl1	cyl2	cyl3	cyl4
各缸进气时总压降 (pa)	848	855	844	847
各缸压降平均值 (pa)	848.5			
压降偏差 (%)	-0.06	0.77	-0.53	-0.18



- 1) 运用伴随求解器，对进气歧管形状进行敏感性分析，可以找到对压降比较敏感的部位，进而有针对性进行优化分析；
- 2) 通过对压降敏感部位进行优化，可以降低进气歧管的压降，且最大不均匀性也由原方案的**19.96%**降低到了**0.77%**，满足设计目标，保证汽油机各缸进气均匀性；
- 3) 采用伴随求解器的优化方法，不仅可以为方案改进提出明确的优化方向，而且快速确定优化方案，指导结构设计。



关爱自然 服务社会

CARE THE NATURE AND SERVE THE SOCIETY

——让汽车更清洁 更节能

Contribute cleaner and more energy saving vehicles

