



东风商用车
DONGFENG TRUCKS

进气道性能优化分析

目录

1 项目背景

2 进气道模型

3 第一轮优化

4 第二轮优化

5 总结

背景:

- 内燃机缸内气体运动对混合气形成和燃烧过程有决定性影响，而进气过程中由进气道进入气缸的空气量和气体的速度分布等对于缸内气体流动有直接影响，因此发动机进气道的设计会影响到发动机的动力性、经济性和排放。
- 由于气道结构复杂、曲面较多，在设计开发中有很多因素都会对气道性能产生影响。目前，进气道开发主要还是基于设计经验，手动调整进气道模型，再进行分析计算。
- 本文采用CAESES和CFD方法，研究影响进气道性能的敏感参数，对进气道性能进行自动优化分析，获得进气道的最优性能。

目的:

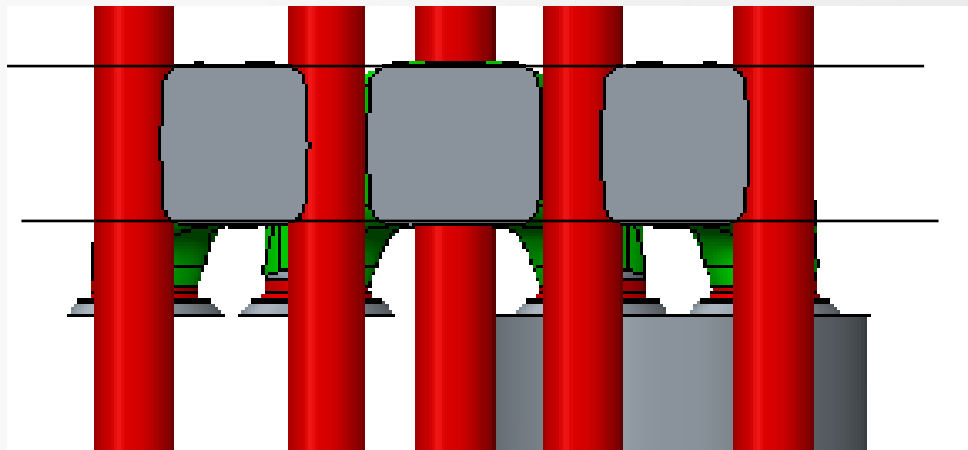
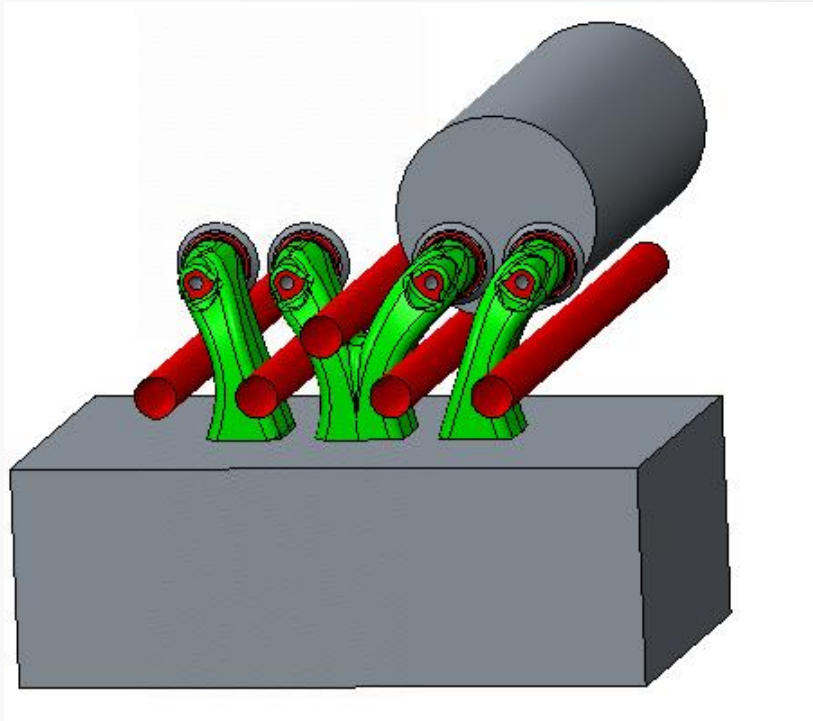
以提高流量为主要优化方向，保持涡流比不降低

气道模型:

两气门平行布置，在同一个缸内，其中一支气道为单支气道，另一支气道是位于相邻两缸中间，相邻两缸共用的跨缸气道。

几何约束:

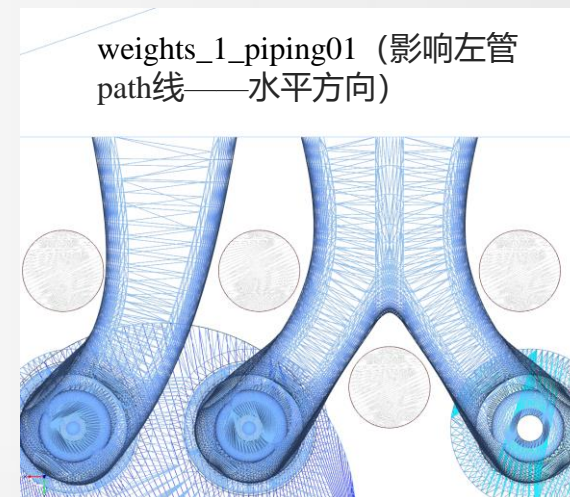
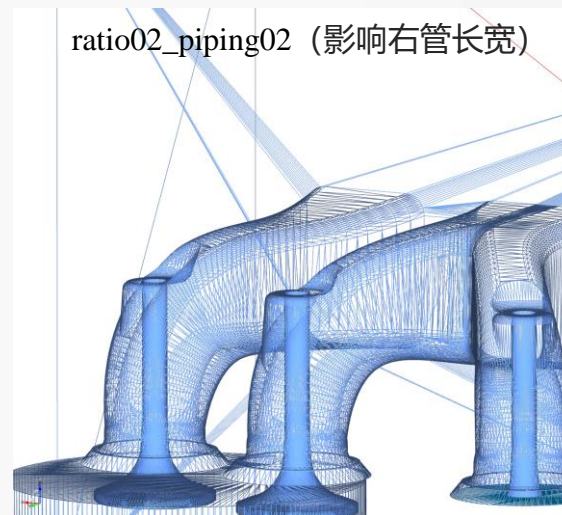
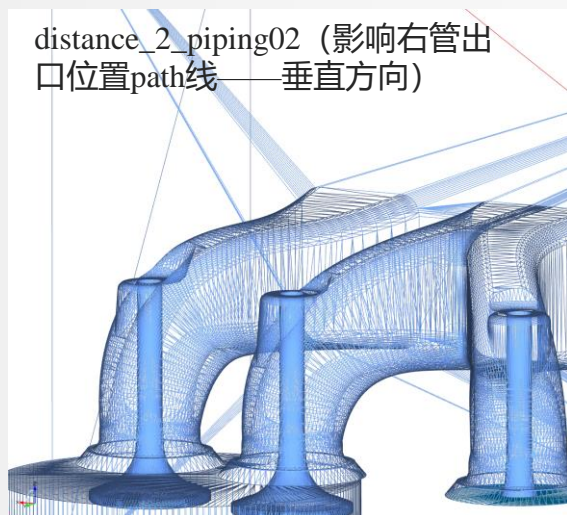
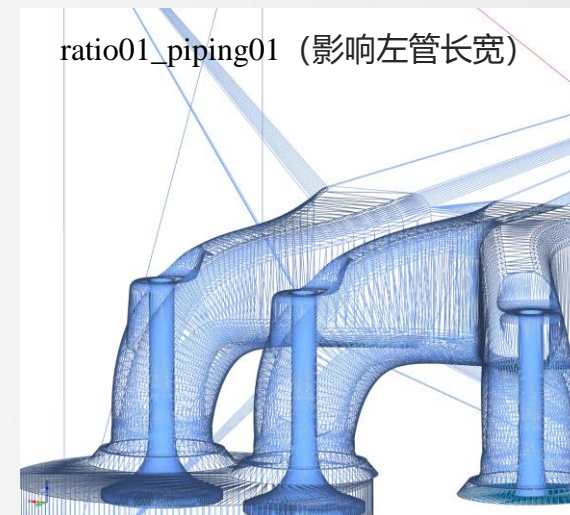
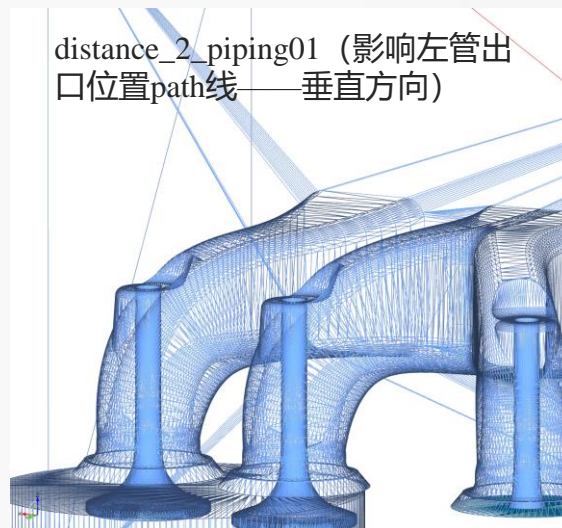
- 在气道上气阀导管安装平面高度不可变化
- 缸盖螺栓搭子位置和大小不可变化
- 气道高度方向上的边界不可变化
- 气门相对缸心的位置不可变化
- 气门、阀座配合尺寸不可变化



第一轮优化计算以提升大升程的进气道进气流量为目标。

设计变量	最小值	最大值
distance_2_piping01	60	75
distance_2_piping02	60	80
ratio01_piping01	0.8	2
ratio02_piping02	0.8	2
weights_1_piping01	1.5	2

3.1 设计变量选择



3.2 参数化建模

- 优化计算开始后，每一个变体生成前，都会检查气道模型是否与缸盖螺栓搭子干涉，确保无干涉后，才会导出模型进行CFD计算

根据该不等式约束判断起模型与缸盖螺栓搭子是否干涉（0表示不干涉，1表示干涉），若干涉，跳过该计算（如des0003）

	piring02	ratio01_piping01	ratio02_piping02	weights_1_piping01	eval_massflow	eval_SR	InequalityConstraint
Sobol02_02_des0000	70	1.4	1.4	2.25	-0.15740746	-0.3239834	0
Sobol02_02_des0001	65	1.7	1.1	2.625	-0.15649364	-0.95091194	0
Sobol02_02_des0002	75	1.1	1.7	1.875	nan	nan	0
Sobol02_02_des0003	67.5	1.55	0.95	2.8125	nan	nan	-1
Sobol02_02_des0004	77.5	0.95	1.55	2.0625	-0.15950975	0.034509023	0
Sobol02_02_des0005	62.5	1.25	1.25	1.6875	-0.15707939	-0.16351703	0

不合适的参数组合会导致模型生成失败，跳过该计算

3.3 CFD方法

CAESES参数化建模后，耦合CFD软件进行仿真，以进气流量比作为优化目标，进行优化计算。

采用AVL评价方法来设置计算公式：

1. 流量系数 $\mu\sigma$ ：

$$\mu\sigma = \frac{m_{actual}}{m_{theo}}$$

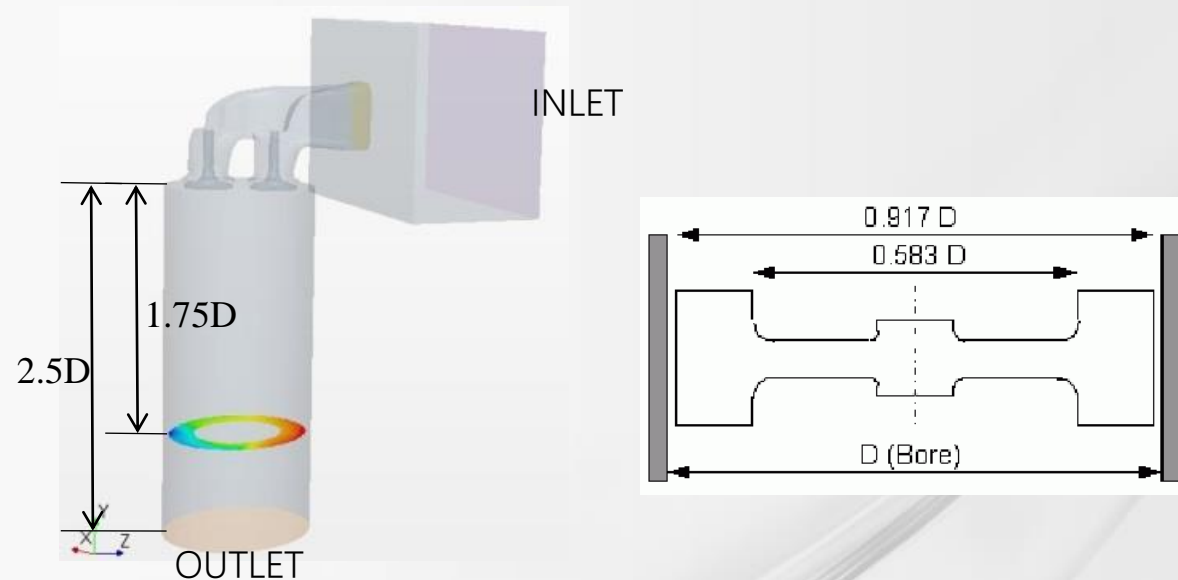
2. 涡流比 S_R ：

$$S_R = \frac{n_{padd}}{n_e} = \frac{\rho AS}{30m} n_{padd}$$

- 气缸内充量的旋转速度 n_{padd} 是由叶轮风力计测得
- 叶轮布置在距缸盖1.75倍缸径的位置
- 叶轮的內径为0.583D，外径为0.917D

	边界条件	值
INLET	进口总压	100kPa
OUTLET	静压	97.5kPa

	Conditions
介质	空气
物理模型	可压缩
湍流模型	K-epsilon
求解精度	二阶



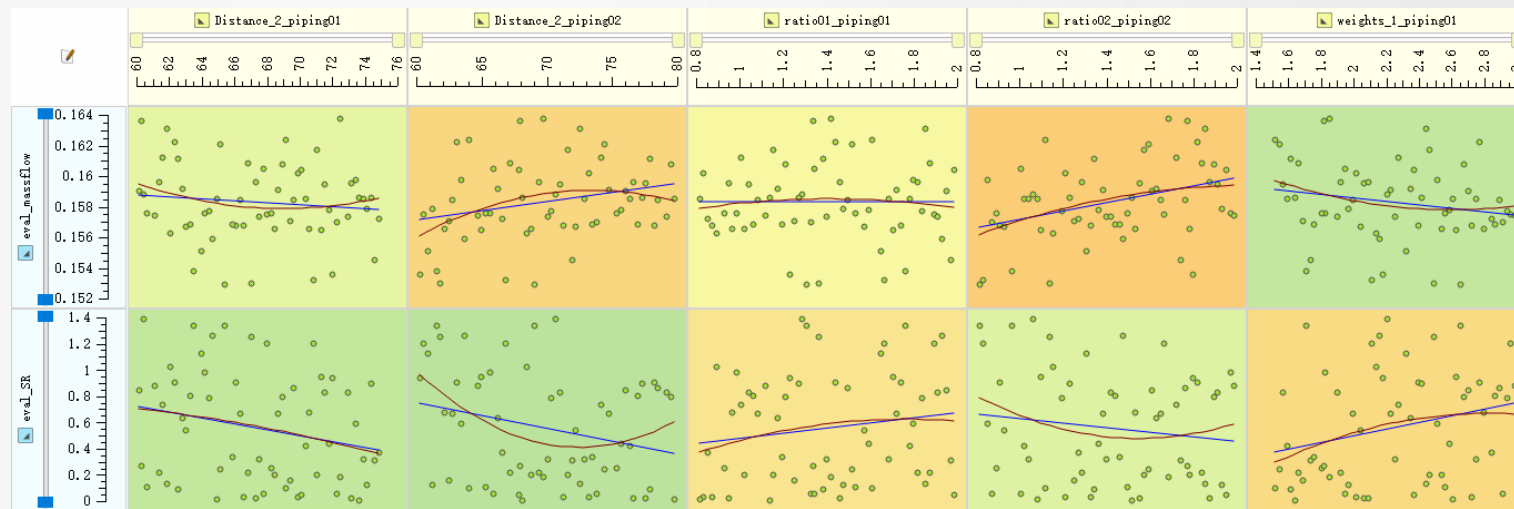
3.4设计变量对进气道性能的敏感度分析

分别以distance_2_piping01、distance_2_piping02、ratio01_piping01、ratio02_piping02和weights_1_piping01作为设计变量，对气道进行DOE优化，由敏感度散点图可知，在设计范围内

- 受限于气道进出口尺寸以及螺栓搭子的空间约束，ratio01_piping01的对流量的影响较小，ratio02_piping02对于流量的影响相对较大，总体上流量的改善空间较小；
- distance_2_piping01、distance_2_piping02和ratio02_piping02对涡流比SR的影响较大

Case	Distance_2_piping01	Distance_2_piping02	ratio01_piping01	ratio02_piping02	weights_1_piping01	eval_massflow	eval_SR
Sch02_2_result002	60.234375	75.9375	1.94375	1.60625	2.6953125	-0.1595782	-0.84532686
Sch02_2_result003	60.351642	67.96875	1.334375	1.76625	1.81440625	-0.16358495	-0.278252495
Sch02_2_result004	60.46875	79.625	1.2875	1.0625	2.203125	-0.16898491	-0.3025844
Sch02_2_result005	60.703125	68.3125	1.83125	1.49375	2.656875	-0.1574137	-0.11426981
Sch02_2_result006	60.9375	78.75	1.425	1.175	1.78125	NaN	NaN
Sch02_2_result007	61.171875	64.46875	1.11875	1.96125	2.978625	-0.15749027	-0.87918843
Sch02_2_result008	61.40625	69.375	1.8125	1.2875	1.921875	-0.1624031	-0.22904328
Sch02_2_result009	61.640625	74.0625	1.71875	2.274375	2.274375	-0.16123176	-0.736319
Sch02_2_result010	61.875	72.5	1.85	1.85	2.4375	-0.16037948	-0.14194489
Sch02_2_result011	62.109375	68.4375	0.89375	1.15625	2.1326125	-0.15633153	-0.10100838
Sch02_2_result012	62.34375	63.125	1.4375	1.8125	2.78625	-0.16221117	-0.90043977
Sch02_2_result013	62.578125	77.8125	1.38125	1.34375	1.6171875	-0.16132004	-0.10114262
Sch02_2_result014	62.8125	68.25	1.115	1.425	2.34375	-0.15921024	-0.62062897
Sch02_2_result015	63.046875	71.1875	1.56875	0.9125	2.0390625	-0.15612144	-0.54576993
Sch02_2_result016	63.28125	76.875	1.0625	1.4375	2.859375	-0.15689092	-0.80318643
Sch02_2_result017	63.515625	61.5625	1.78625	0.96875	1.7109375	-0.15386369	-1.320232
Sch02_2_result018	63.75	75	1.1	1.7	1.875	NaN	NaN
Sch02_2_result019	63.984375	60.9375	1.64375	1.30625	2.3203125	-0.15813377	-1.1202856
Sch02_2_result020	64.21875	65.625	0.9875	1.9425	1.828125	-0.15789782	-0.96161783
Sch02_2_result021	64.453125	70.3125	1.83125	1.19375	2.926875	-0.15777891	-0.79068961
Sch02_2_result022	64.6875	63.75	1.925	1.475	2.15625	-0.15599469	-1.2592847
Sch02_2_result023	64.921875	78.6875	1.0125	1.60625	1.601625	-0.1565927	-0.02605295
Sch02_2_result024	65.15625	74.375	1.5125	1.6875	1.546875	-0.16037047	-0.24872317
Sch02_2_result025	65.390625	69.0625	1.30625	0.81875	2.4484375	-0.15300541	-1.3341362
Sch02_2_result026	65.625	67.5	0.95	0.95	2.8125	NaN	NaN
Sch02_2_result027	65.859375	73.4375	1.19375	1.45625	1.7578125	-0.15685395	-0.34515111
Sch02_2_result028	66.09375	78.125	1.7375	0.9125	2.390625	-0.15680517	-0.90170899
Sch02_2_result029	66.328125	62.8125	1.08125	1.64375	1.9921875	-0.15846302	-0.6691783
Sch02_2_result030	66.5625	71.25	0.875	1.325	2.71875	-0.15683041	-0.02687562
Sch02_2_result031	66.796875	67.1875	1.68875	1.83125	1.6640625	-0.16000902	-0.22378794
Sch02_2_result032	67.03125	61.875	1.3625	1.125	2.406375	-0.15511333	-0.2509653
Sch02_2_result033	67.265625	76.5625	1.45625	1.88875	2.099375	-0.15844389	-0.03430086
Sch02_2_result034	67.5	70	1.4	1.4	2.25	-0.1574746	-0.3239834
Sch02_2_result035	67.734375	65.9375	1.34375	1.00625	1.9453125	-0.16048802	-0.06904639
Sch02_2_result036	67.96875	60.625	1.8875	1.4625	2.953125	-0.1575325	-1.1921136
Sch02_2_result037	68.203125	75.3125	0.89375	1.8046875	1.8046875	-0.15760638	-0.2504125
Sch02_2_result038	68.4375	68.75	1.025	1.775	2.53125	-0.15687193	-0.21333761
Sch02_2_result039	68.671875	74.6875	1.71875	1.38125	2.228625	-0.15910894	-0.67008918
Sch02_2_result040	68.90625	79.375	1.2125	2.671875	2.671875	-0.16078858	-0.79791289

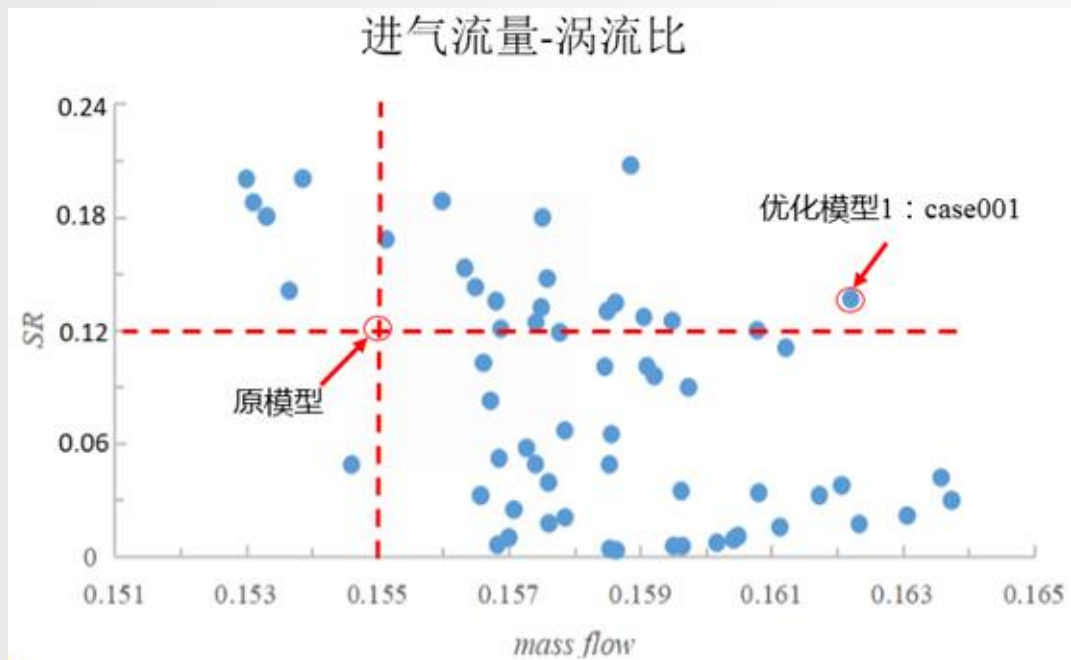
计算列表



敏感度

3.5 二维结果分析

根据计算结果，绘制Pareto图，得到Pareto前沿上的优化模型：case001



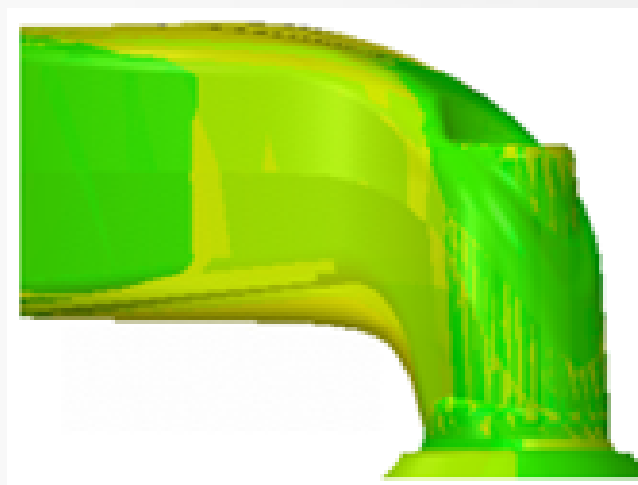
算例	进气流量[kg/s]	SR
原模型	0.155	0.119
case001	0.162	0.135

3.6 三维模型对比

黄色为原方案气道模型，绿色为优化方案case001气道模型。

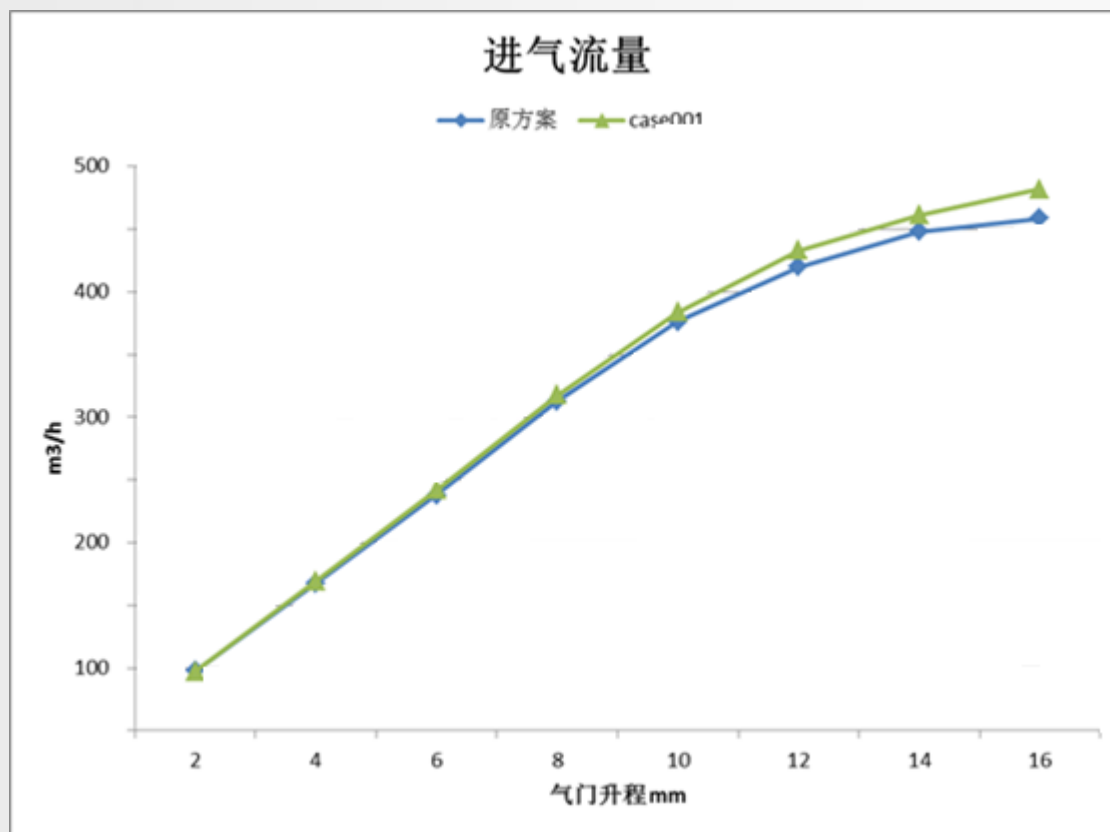
相比原方案，优化模型case001主要变化有：

- 单支气道走向与跨缸气道走向更趋于一致
- 单支气道截面积变大
- 单支气道和跨缸气道的下部从接近水平过渡改为向上收缩再进入喉口段



3.7 优化模型性能对比

对优化前后的进气道模型进行全升程计算，和原方案的进气流量做对比。从图中可看出，模型优化后，在气门升程10mm以上时流量均有提升。



气门升程/mm	进气流量提升幅度
10	2%
12	3.2%
14	2.9%
16	4.5%

4.1背景:

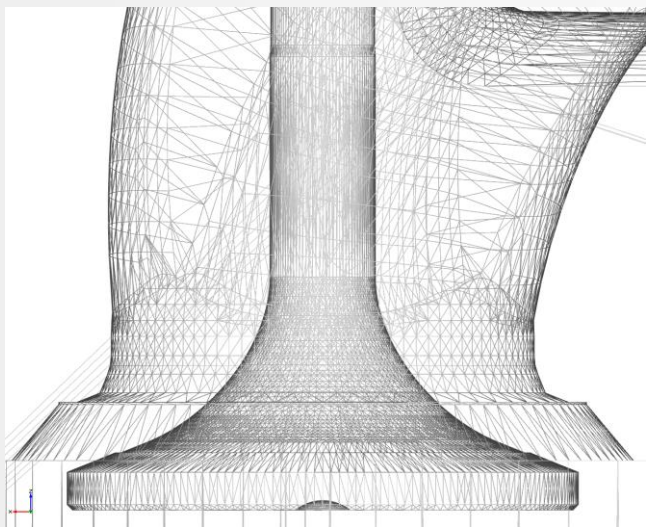
第一轮优化后（对气门最大升程16mm进行优化），最优模型比原模型在升程10mm以上时流量有提升，最大升程流量增加5%，流量系数增大1.7%，涡流比略有提升。

基于第一轮优化模型，对升程6mm为代表的小升程进行优化。

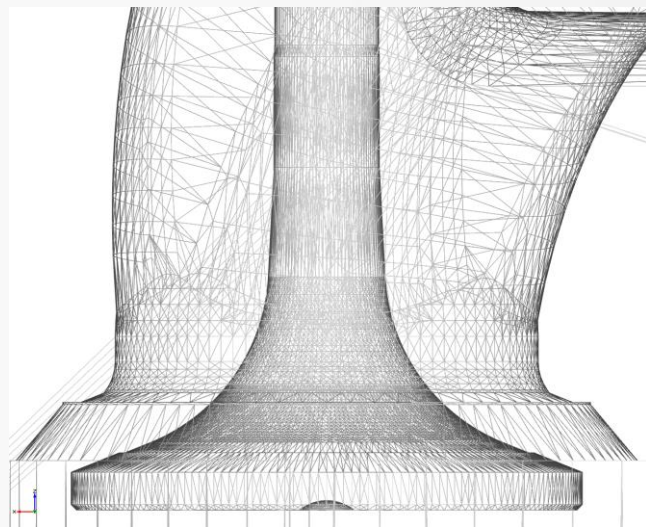
4.2 参数化建模

- 主要考虑对喉部进行优化

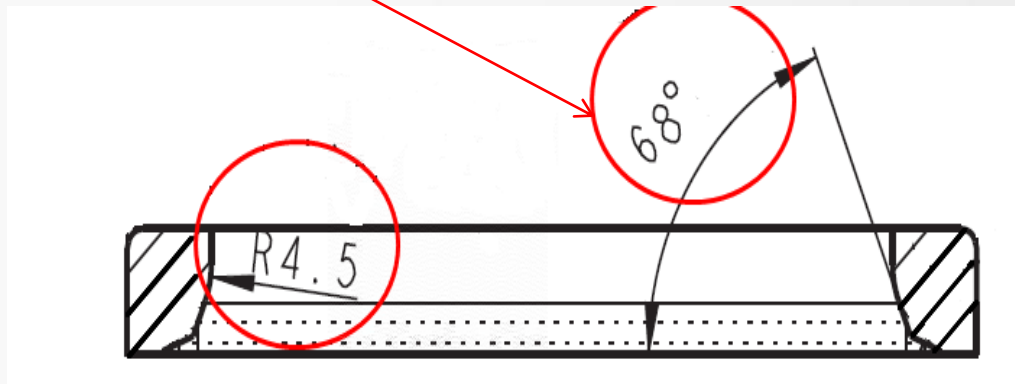
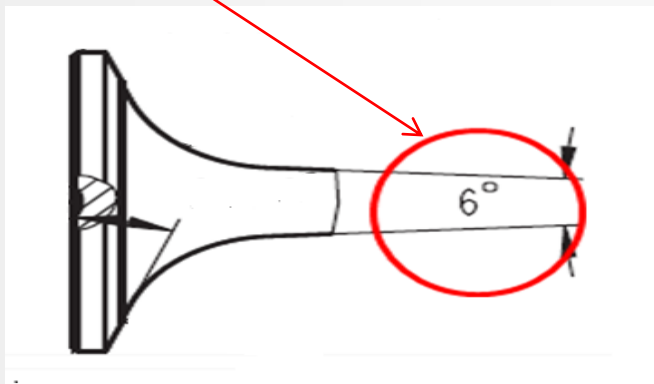
设计变量	最小值	最大值
valve_angle	0	8
seat_angle	55	71



valve_angle (影响气门形状)



upAng (影响气道喉部形状)



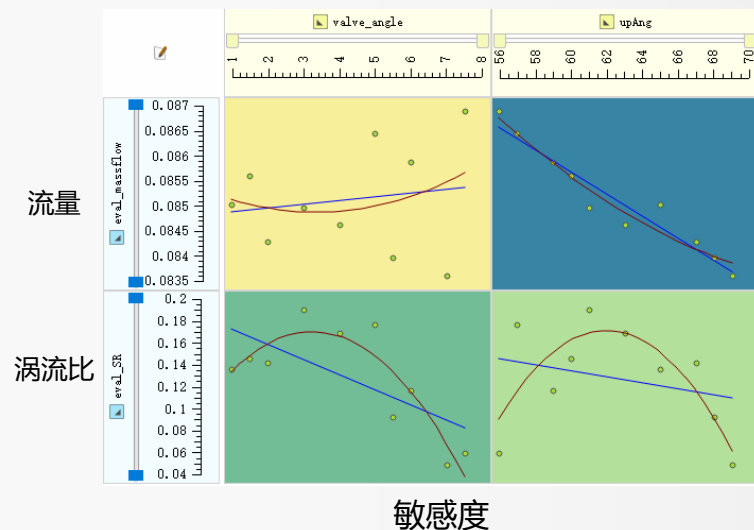
4.3设计变量对进气流量的敏感度分析

以valve_angle和seat_angle作为设计变量，对气道进行DOE优化，由敏感度散点图可知，在设计范围内：

- 随着valve_angle的增大，流量略有增大，涡流比明显减小；
- 随着seat_angle的增大，流量明显减小，涡流比略有减小。

	valve_angle	upAng	eval_massflow	eval_SR	Ine
Sob...0000	4	63	-0.084637866	0.16810136	0
Sob...0001	6	59	-0.085870607	-0.11689413	0
Sob...0002	2	67	-0.084294193	0.1418422	0
Sob...0003	3	61	-0.084977404	0.18940038	0
Sob...0004	7	69	-0.083630547	0.049473524	0
Sob...0005	5	57	-0.086425186	0.17650136	0
Sob...0006	1	65	-0.085025928	0.13575277	0
Sob...0007	1.5	60	-0.085601578	0.14574821	0
Sob...0008	5.5	68	-0.083990384	0.092979514	0
Sob...0009	7.5	56	-0.086868675	0.060018641	0

计算列表

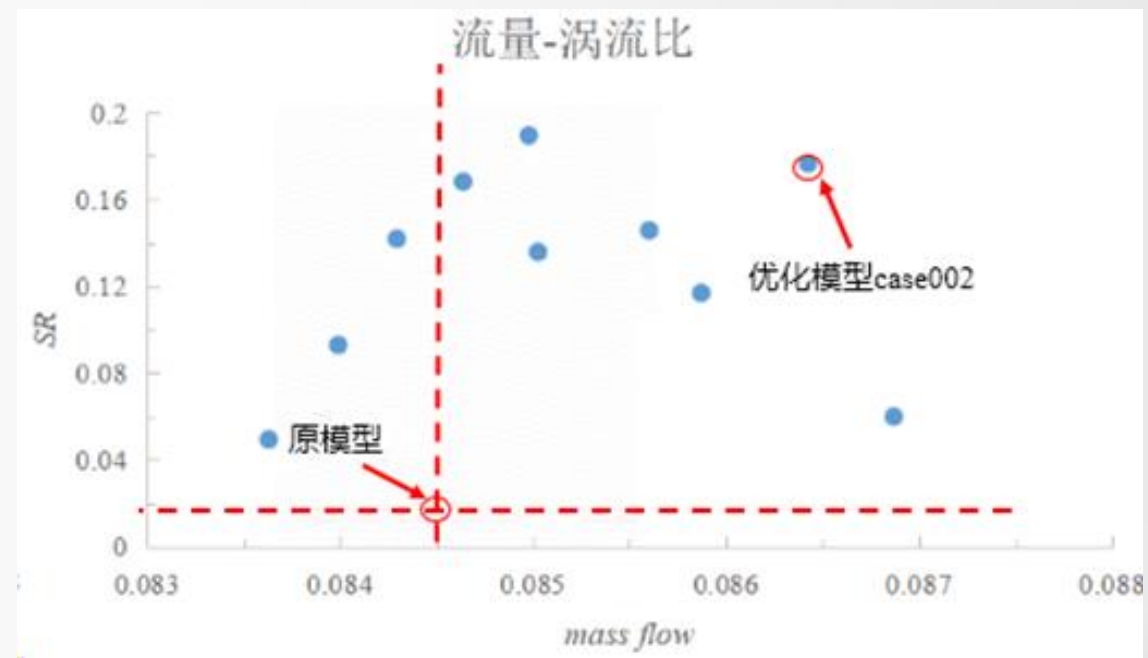


敏感度

4.4 二维结果分析

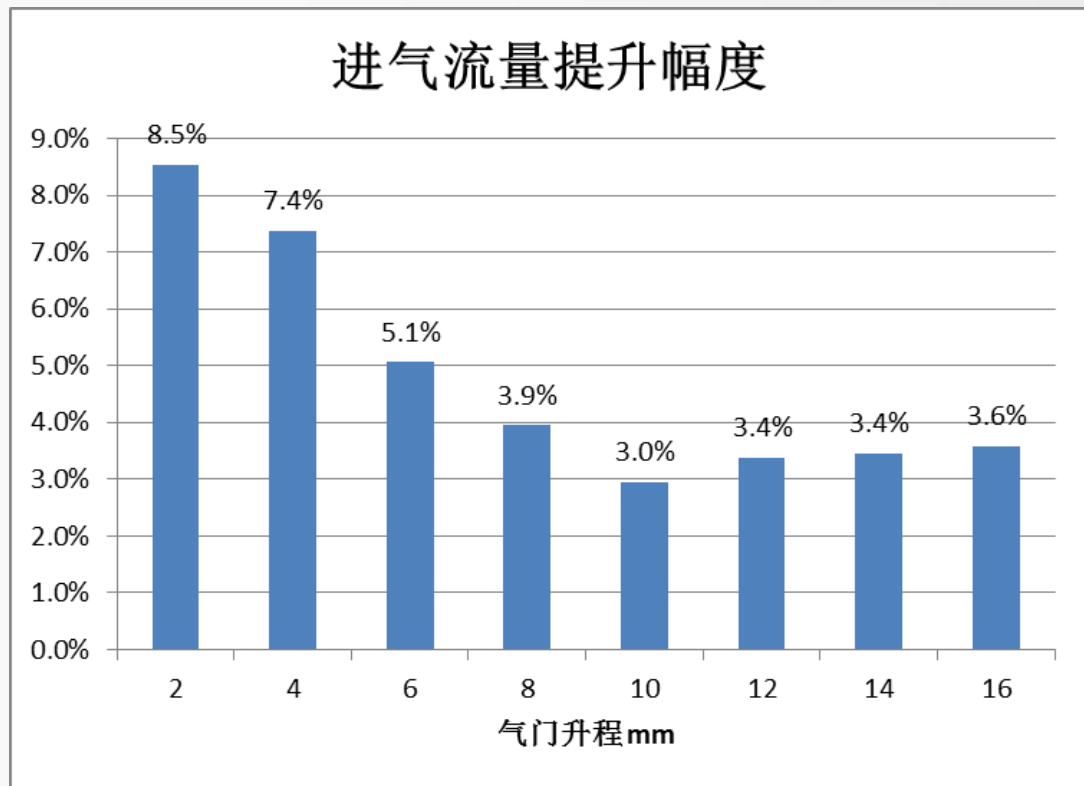
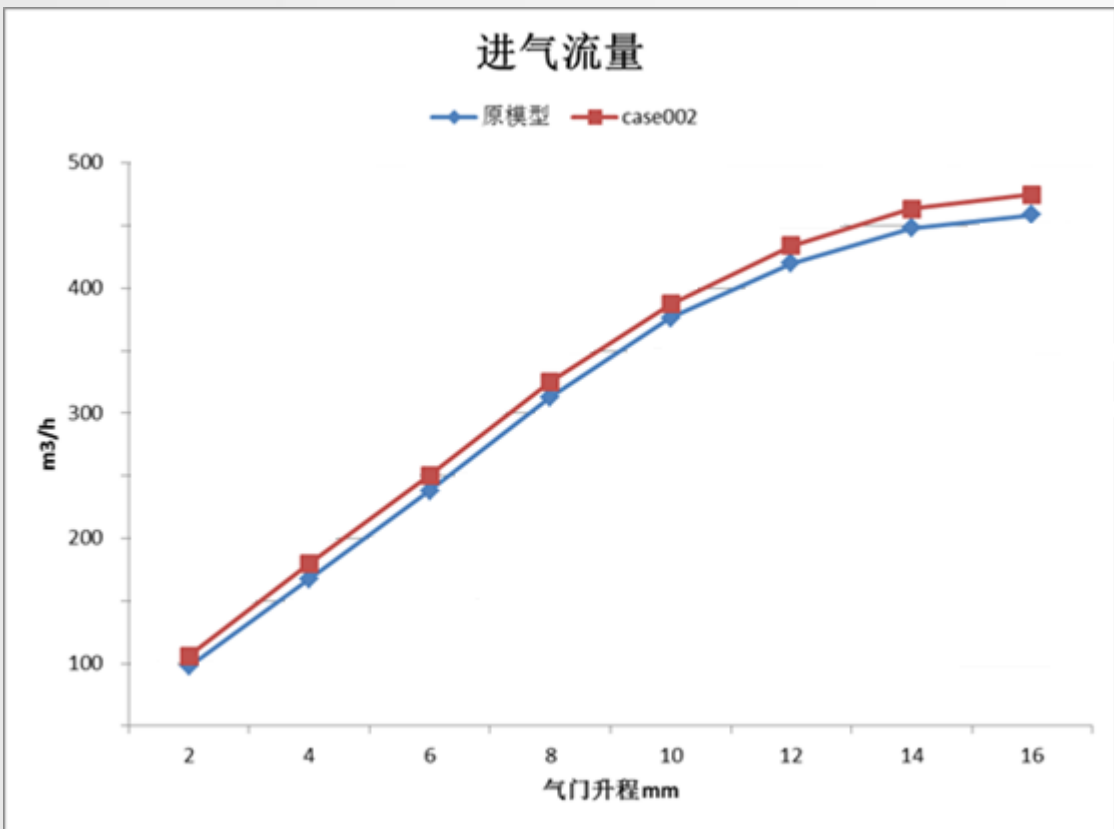
根据Sobol计算结果，绘制Pareto图，得到优化模型

算例	valve_angle	seat_angle	进气流量 [kg/s]	SR
原模型	6	68	0.0845	0.0142
第二轮优化模型	5	57	0.0864	0.1765



4.5 优化前后进气道性能对比

对第二轮优化模型进行全升程CFD计算，和原方案的进气流量做对比。经过两轮优化，整个升程的进气流量都有明显提升。



- 采用CAESES软件对进气道进行参数化建模。
- 通过CAESES驱动CFD软件对模型进行优化，找出设计变量对进气流量的影响：
 1. 大升程时，受限于气道进出口尺寸以及螺栓搭子的空间约束，五个参数对进气道进气流量的影响都不是太明显。但综合各个因素，优化气道型线、扩大进气道截面积，对于进气道大升程的进气流量还是有提升效果。
 2. 小升程时，随着气阀杆锥角的增大，流量略有增大，涡流比明显减小；随着阀座过渡角的增大，流量明显减小，涡流比略有减小。
- 通过进气道优化，整个升程的进气流量都有明显提升。



一切源于可靠
It's All About Reliability