

# 一、选题背景

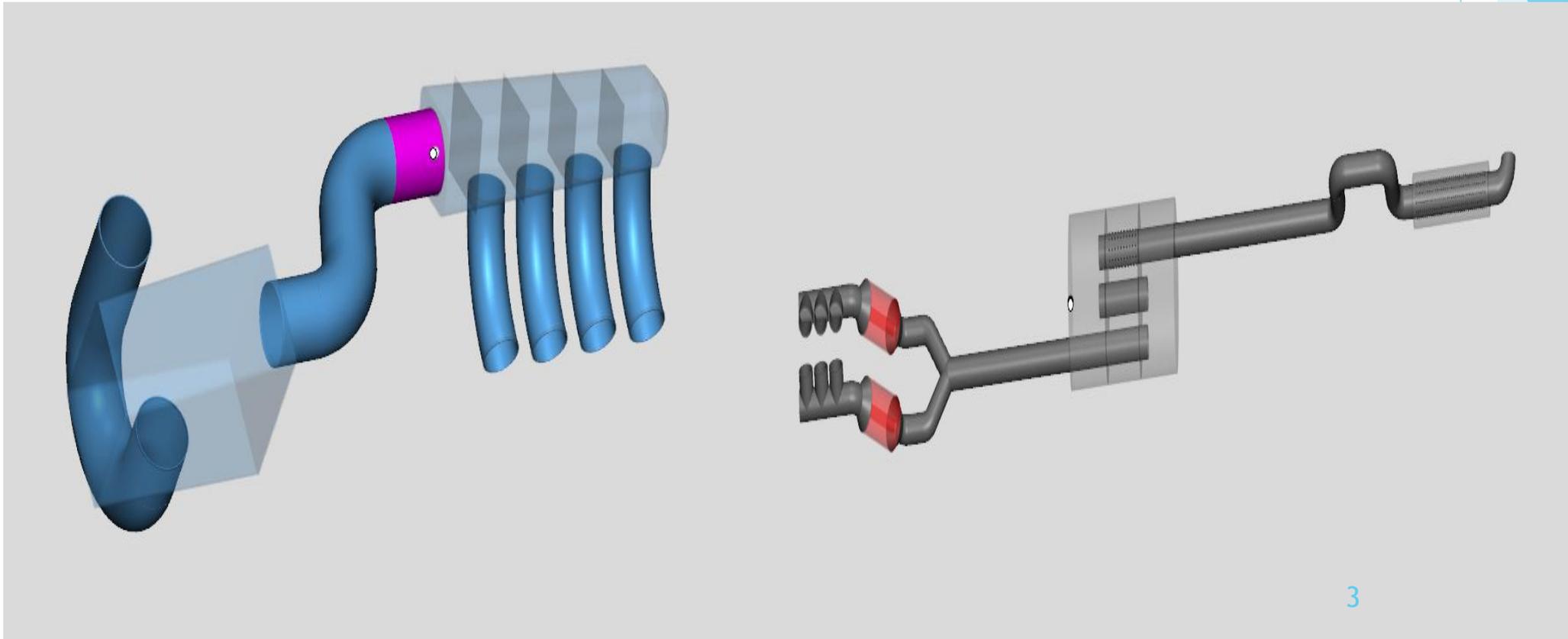
- ▶ 汽车在动力、经济和排放等性能上的需求不断提高，发动机的设计优化是提高汽车各项性能的核心与关键。
- ▶ 相比与传统内燃机设计，计算机模拟仿真技术的优点：
  - 1) 代替许多难以或无法实施的实验；
  - 2) 解决一般方法难以求解的大型系统问题；
  - 3) 降低投资风险，节省研究开发成本；
  - 4) 避免实际实验对人身、财产的危害。

- ▶ 某型汽油机要提高性能，日照双港活塞厂要为其设计提供相应的活塞。
- ▶ 在主机厂给予的汽油机状况要求下，对某型汽油机进行性能仿真计算，用以提供燃烧室周边零部件热负荷、机械负荷计算的边界条件数据，为活塞的设计做好准备工作。

## 二、模型的建立与验证

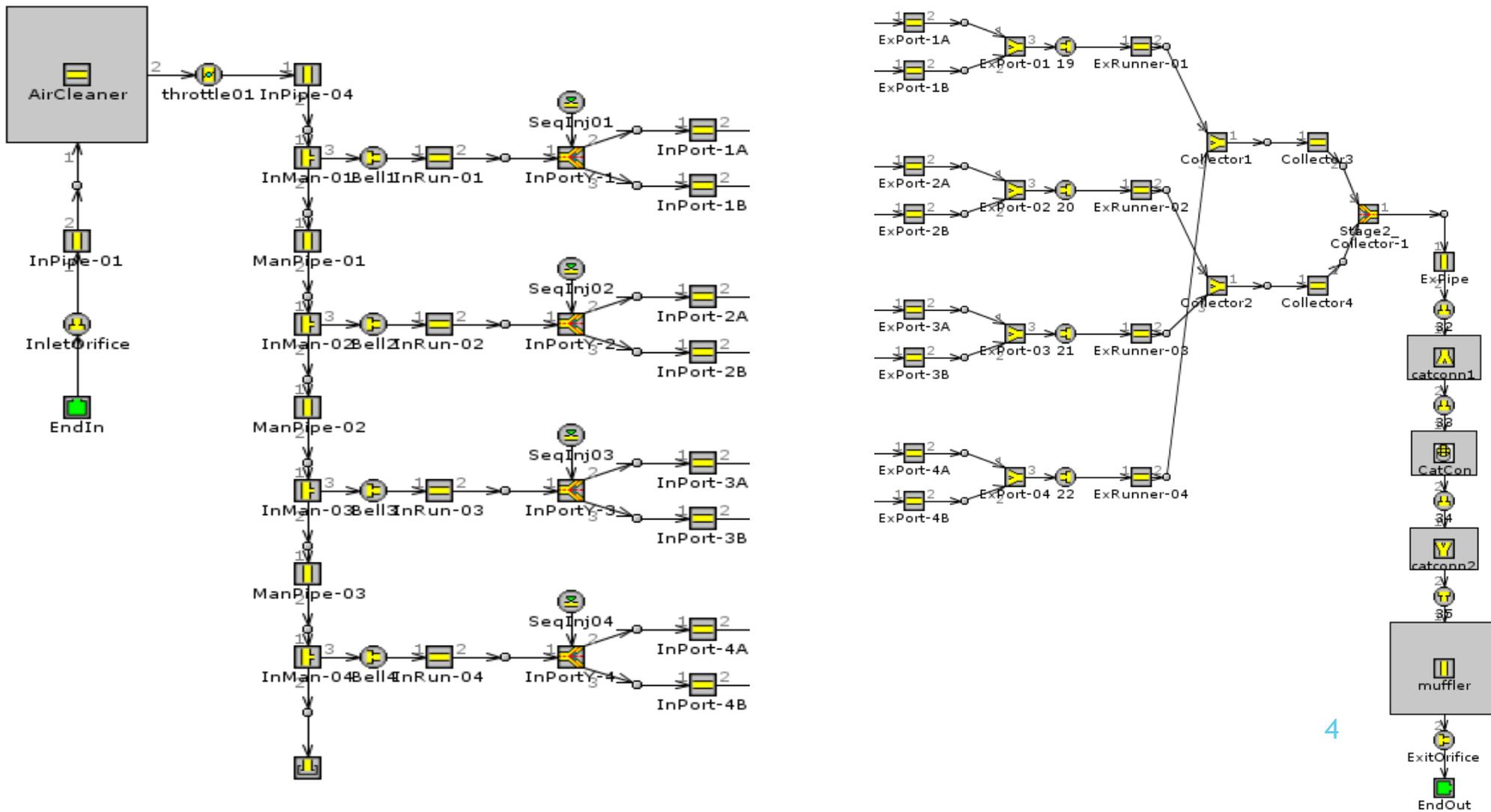
▶ 利用GT-POWER，基于内燃机热力系统的划分，进行建模

### 1) 进、排气系统建模



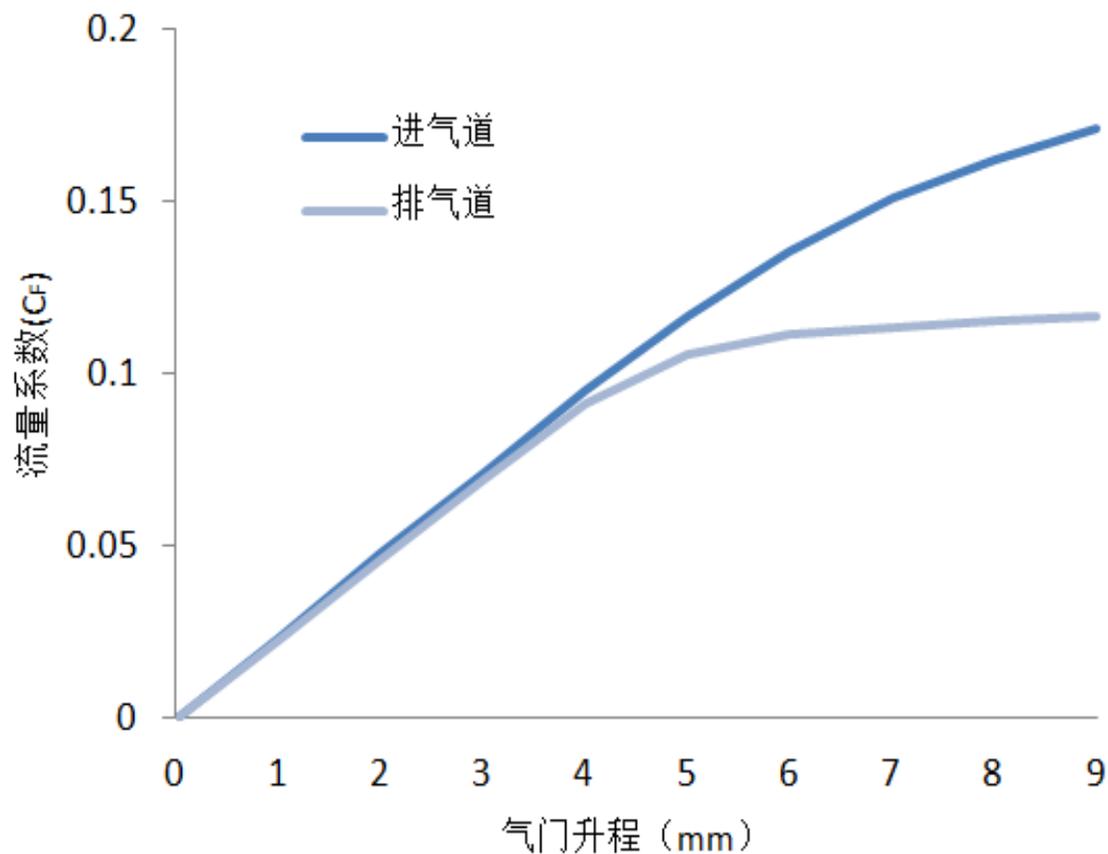
# GT-POWER 中建模情况

对于空气滤清器、消音器等部件，仅模拟其流量阻力特性

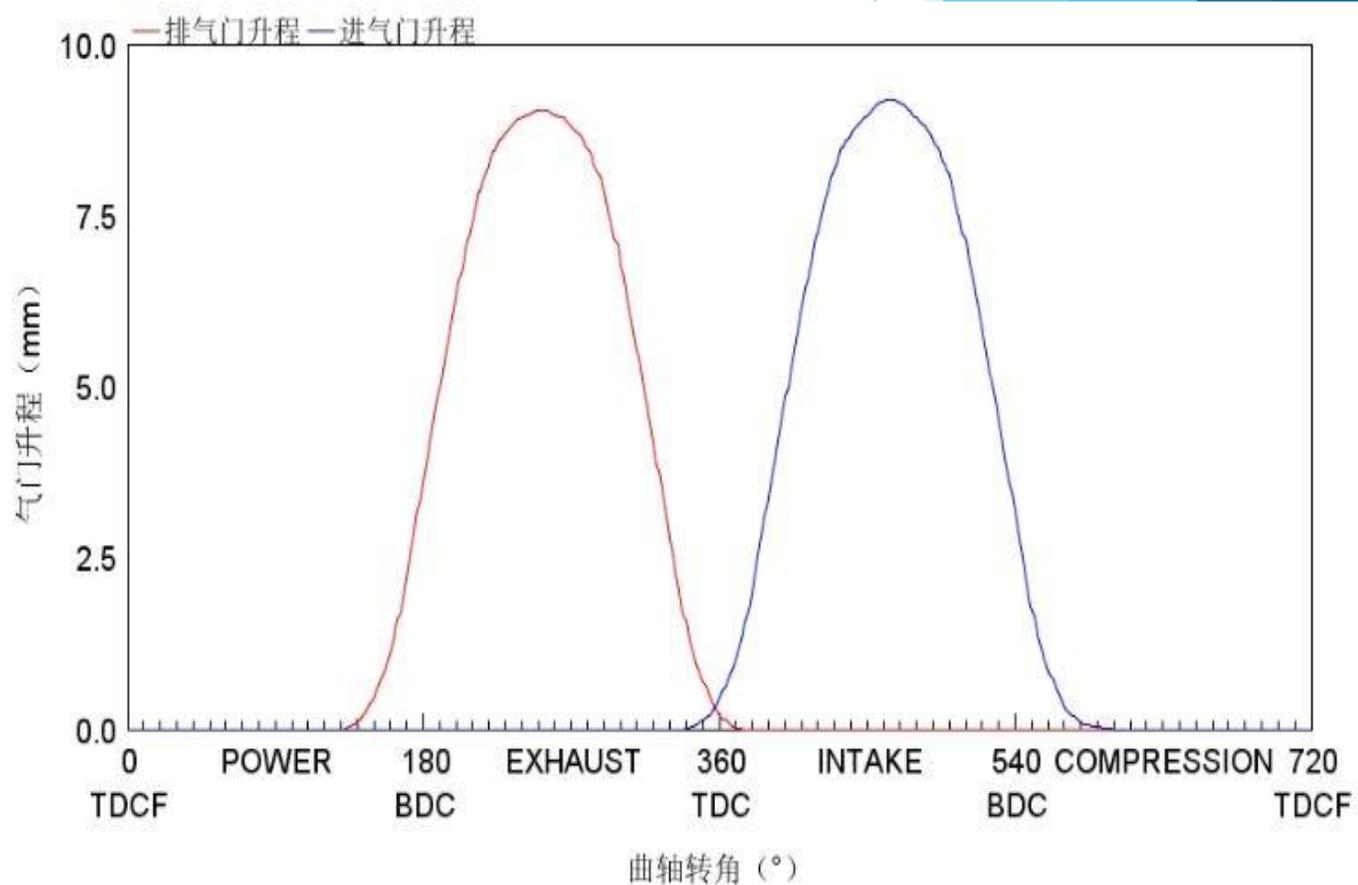


# 配气相位设定

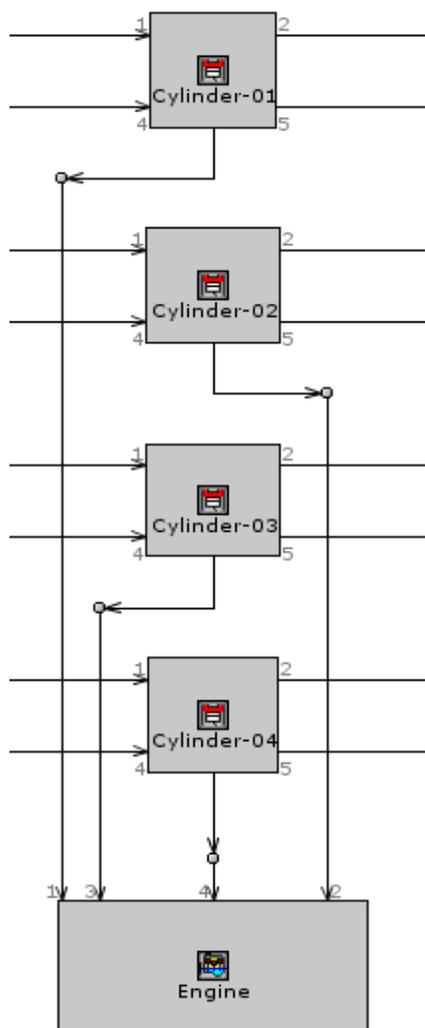
## 流量系数随气门升程变化曲线



## 气门升程随曲轴转角的变化曲线



## 2) 气缸、曲轴箱建模 GT-POWER 中建模情况



Template: EngCylinder Part: Cylinder-01

Object: Cylinder Create Parameter Object Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Initial State Object		IntakeInit	...
Wall Temperature Object		IWall	...
Heat Transfer Object		Woschni	...
Flow Object		ign	...
Combustion Object		SiWiebe	...
Cylinder Combustion Mode		independent	No Override
Measured Cylinder Pressure Analysis Object		ign	...
Cylinder Pressure Analysis Mode		off	...

Template: EngineCrankTrain Part: Engine

Object: Engine Create Parameter Object Edit Object

Object Comment:

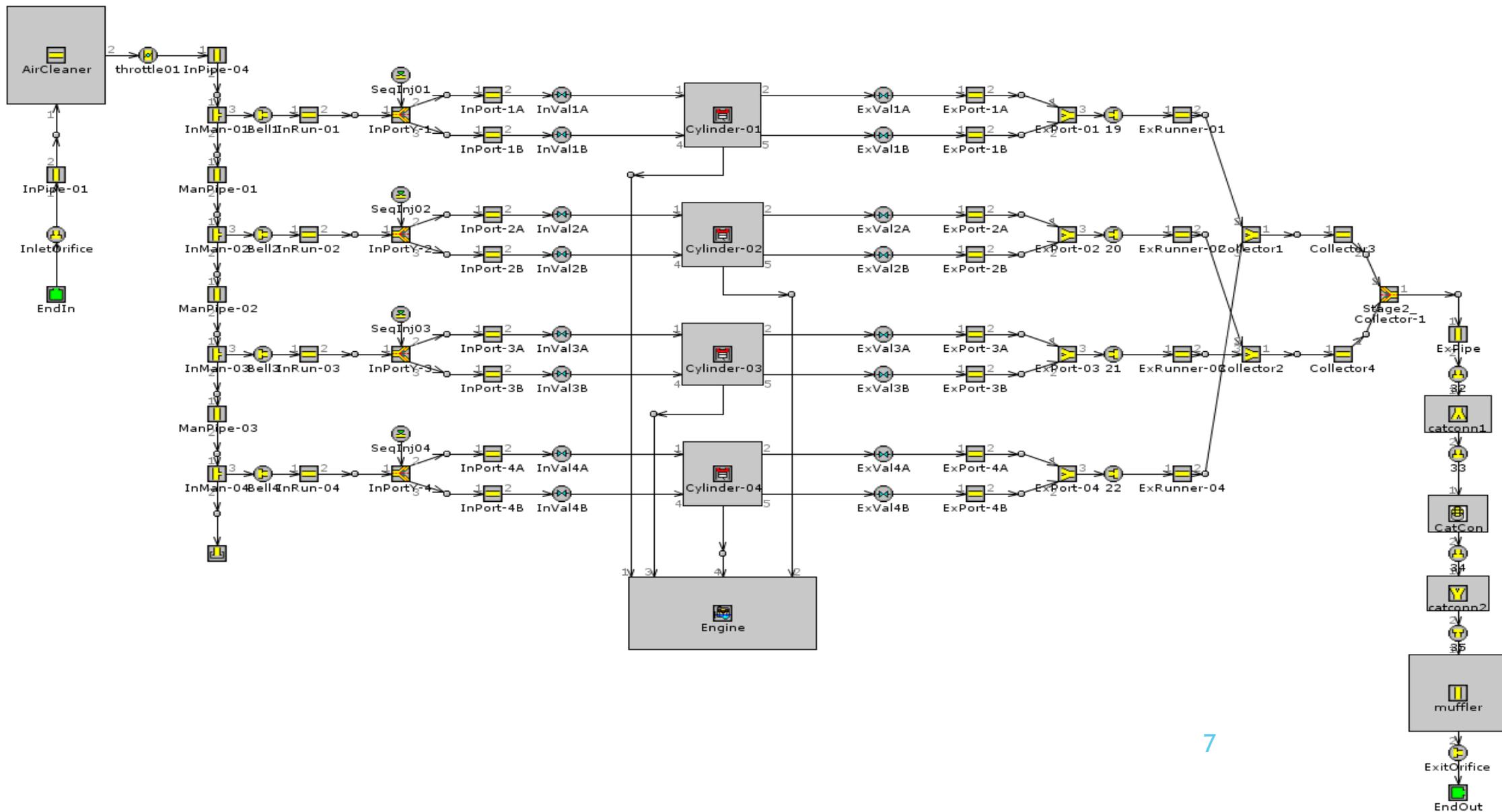
Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Engine Type		4-stroke	...
Speed or Load Specification		speed	...
Engine Speed	RPM	[rpm]	...
Engine Friction Object or FMEP		Friction	...
Start of Cycle (CA at IVC)		-90	...

缸内的燃烧模型、  
传热模型

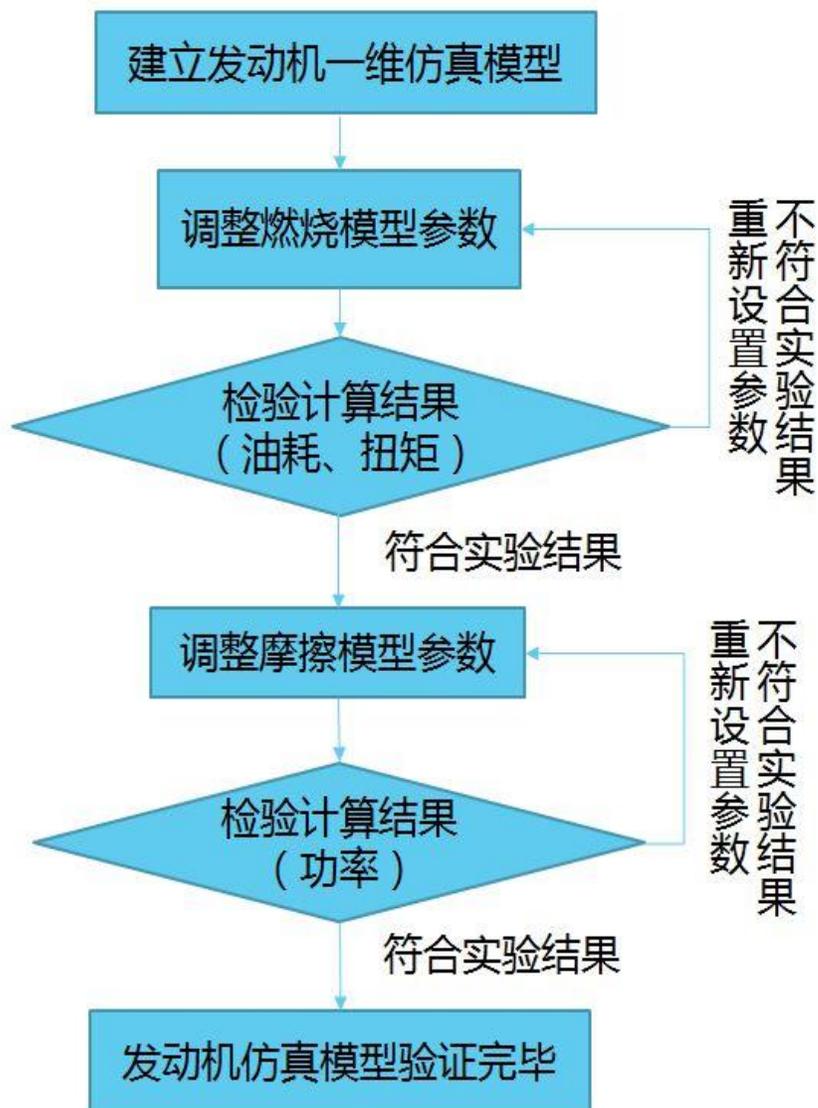
气缸形状、  
点火顺序、  
研究工况、  
摩擦模型

# 整机模型



## ▶ 模型验证

### 仿真模型校核流程图



Template: EngCylCombSIWiebe

Object: SiWiebe

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Anchor Angle (def = 50% burn)		5 ...
Duration (def = 10% to 90%)		25 ...
Wiebe Exponent		2.5 ...

燃烧模型

Template: EngFrictionCF

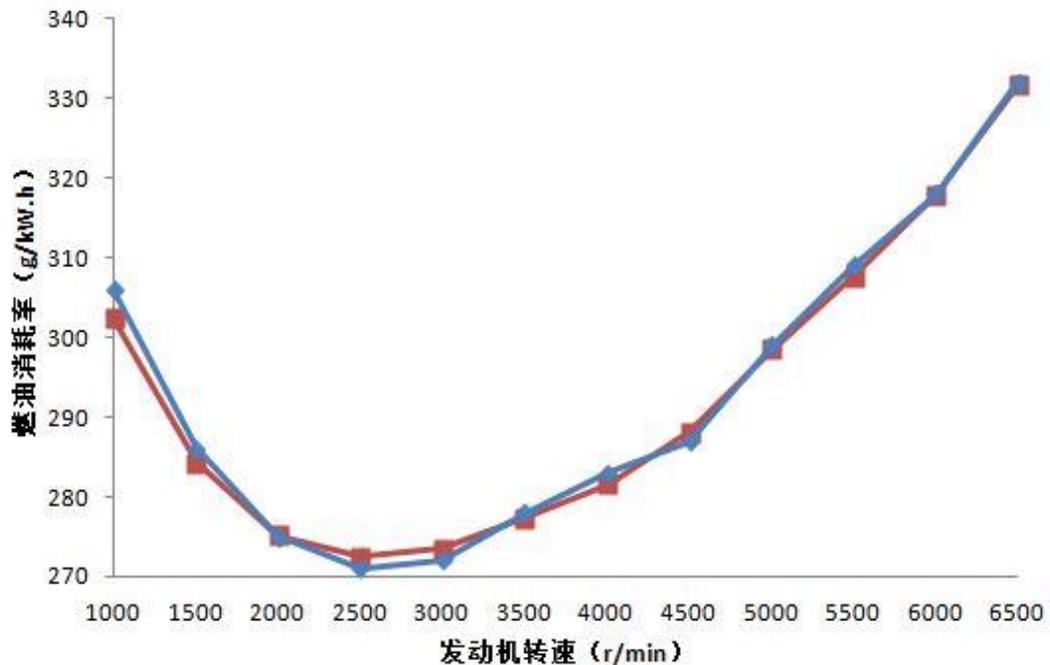
Object: Friction

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Constant part of FMEP	bar	0.4 ...
Peak Cylinder Pressure Factor		0.006 ...
Mean Piston Speed Factor	bar/(m/s)	0.09 ...
Mean Piston Speed Squared Factor	bar/(m...)	0.0009 ...
Engine Speed Upon Entering Friction Transition Band	RPM	0 ...

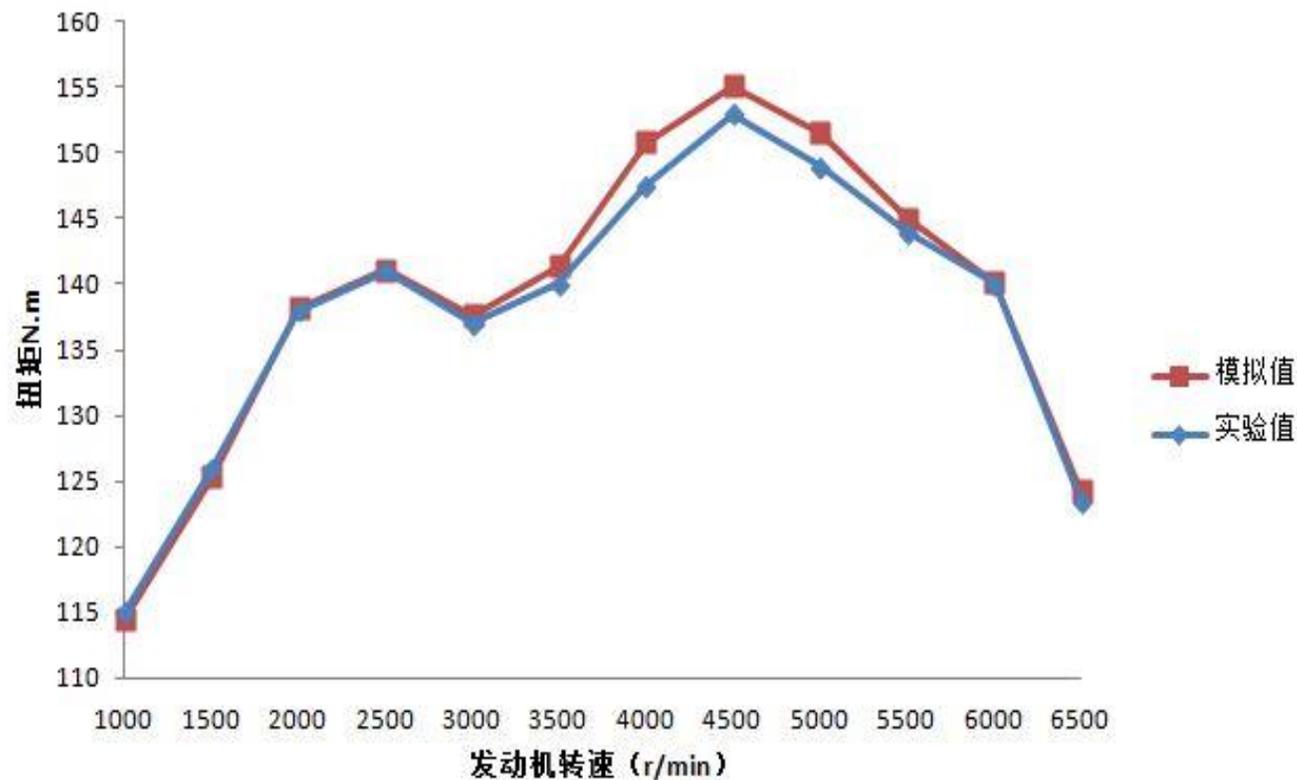
摩擦模型

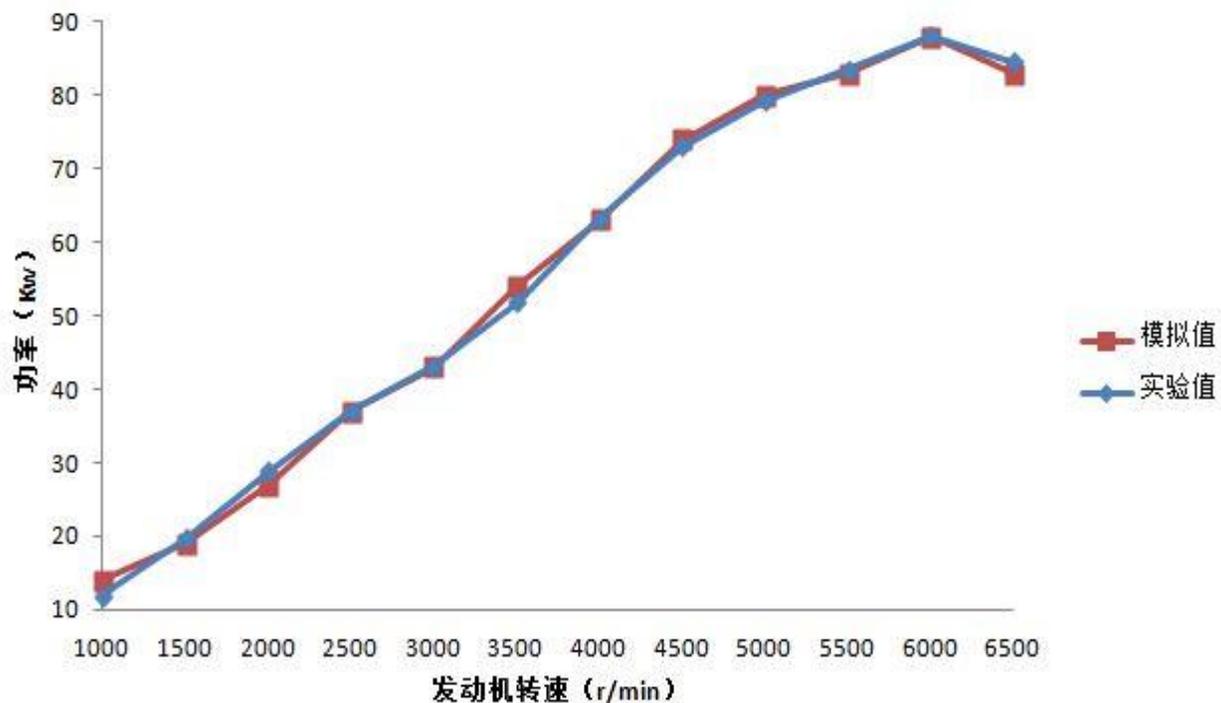
## ▶ 模拟值与实验值对比情况



## 燃油消耗率模拟值与实验值对比

## 扭矩模拟值与实验值对比





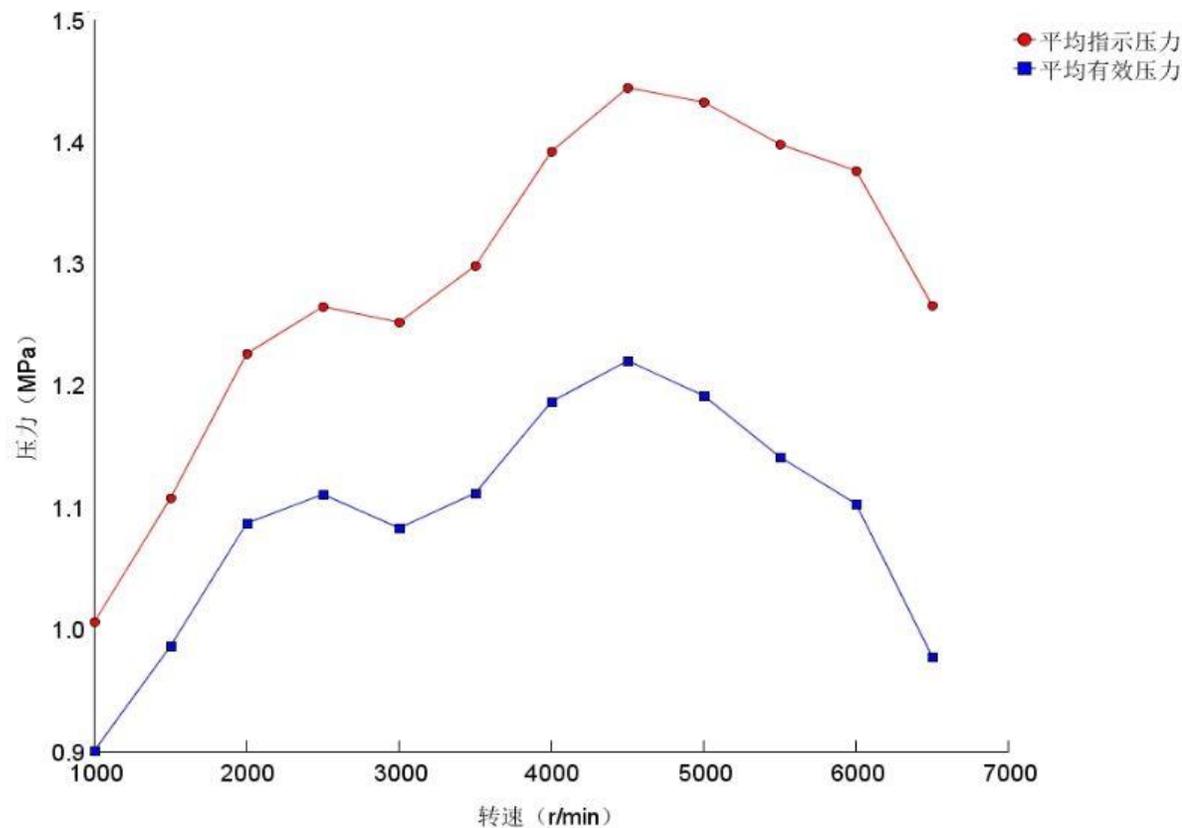
## 功率模拟值与实验值对比

所有工况点的误差均在2%以下，没有超过模拟计算所允许的最大误差5%，满足模拟计算的精度要求。

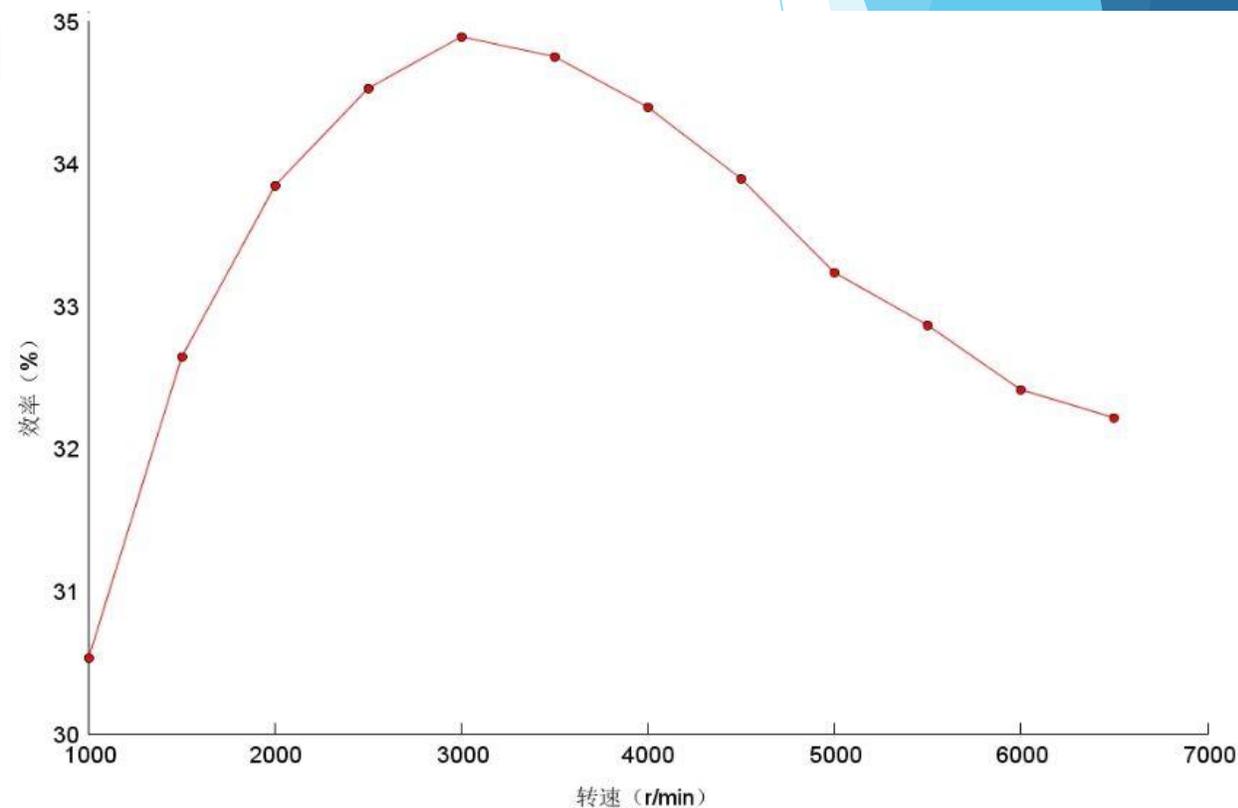
### 三、性能模拟与研究

#### ▶ 不同工况对汽油机的性能影响

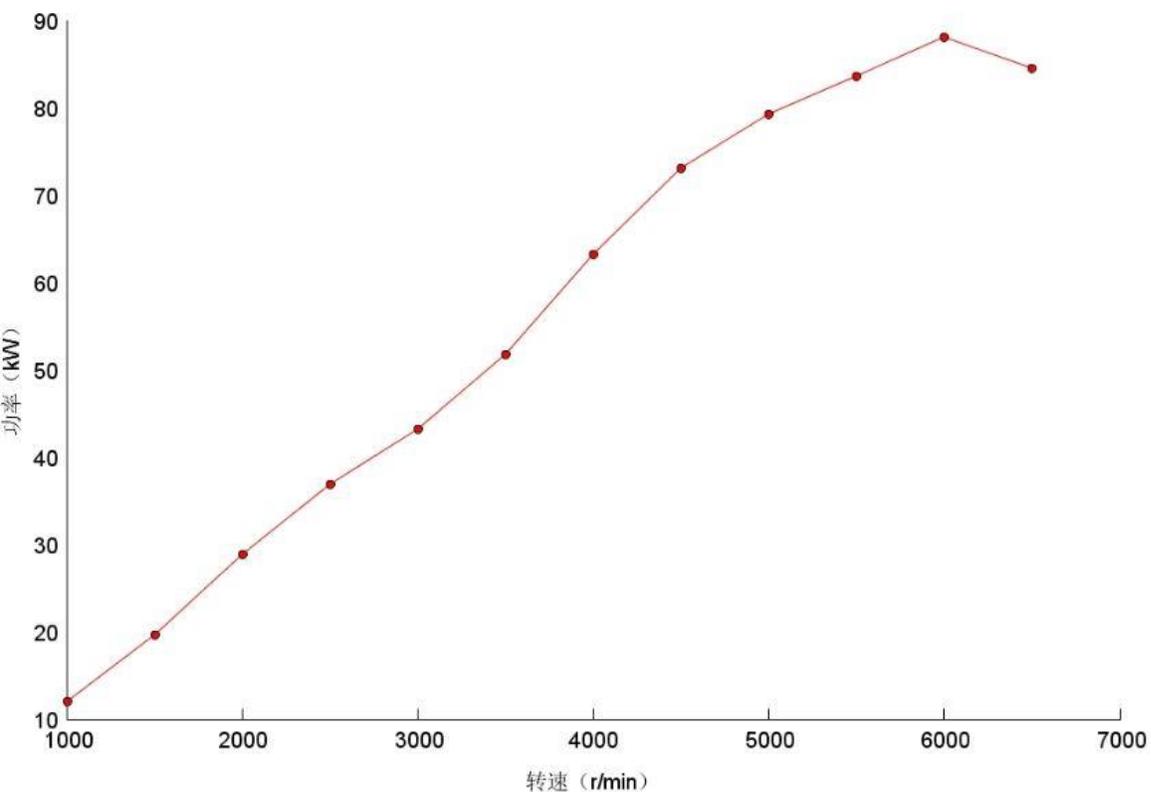
##### 1) 动力性：平均指示压力、平均有效压力、指示功率、指示扭矩



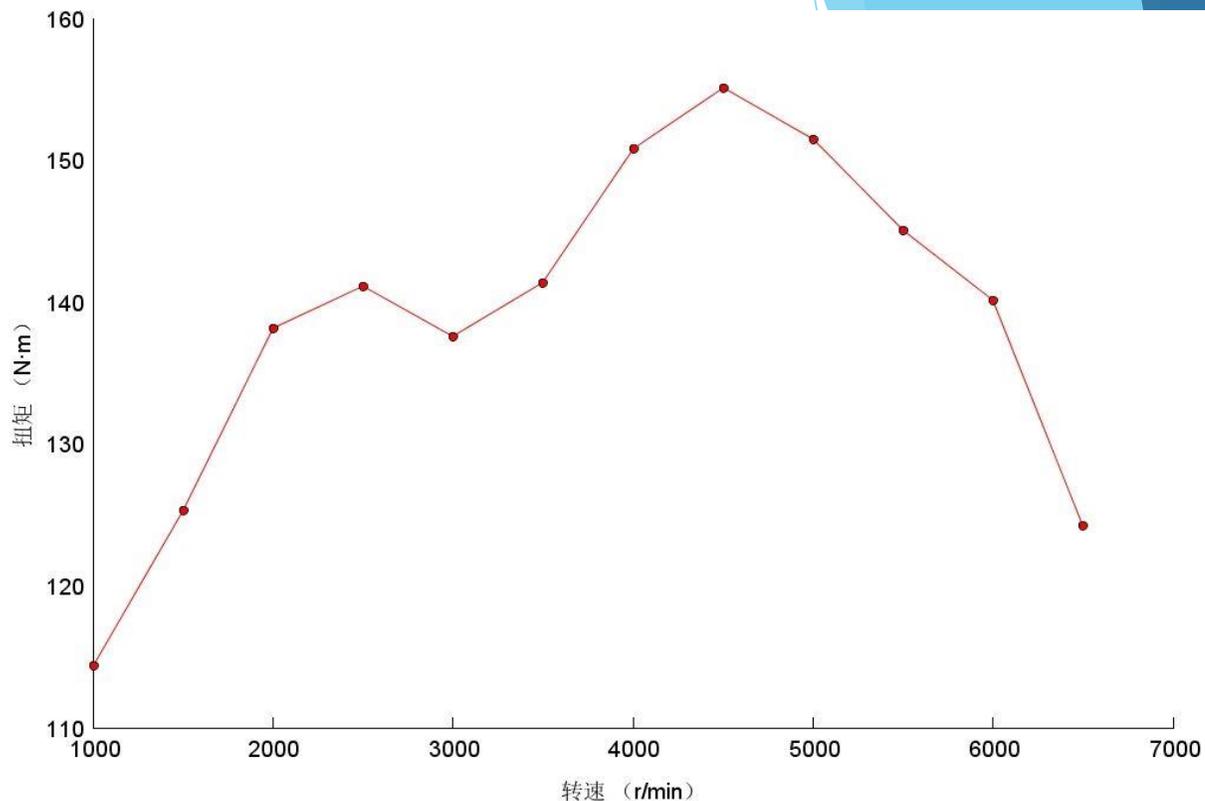
平均指示压力和平均有效压力变化曲线



机械效率随转速的变化曲线



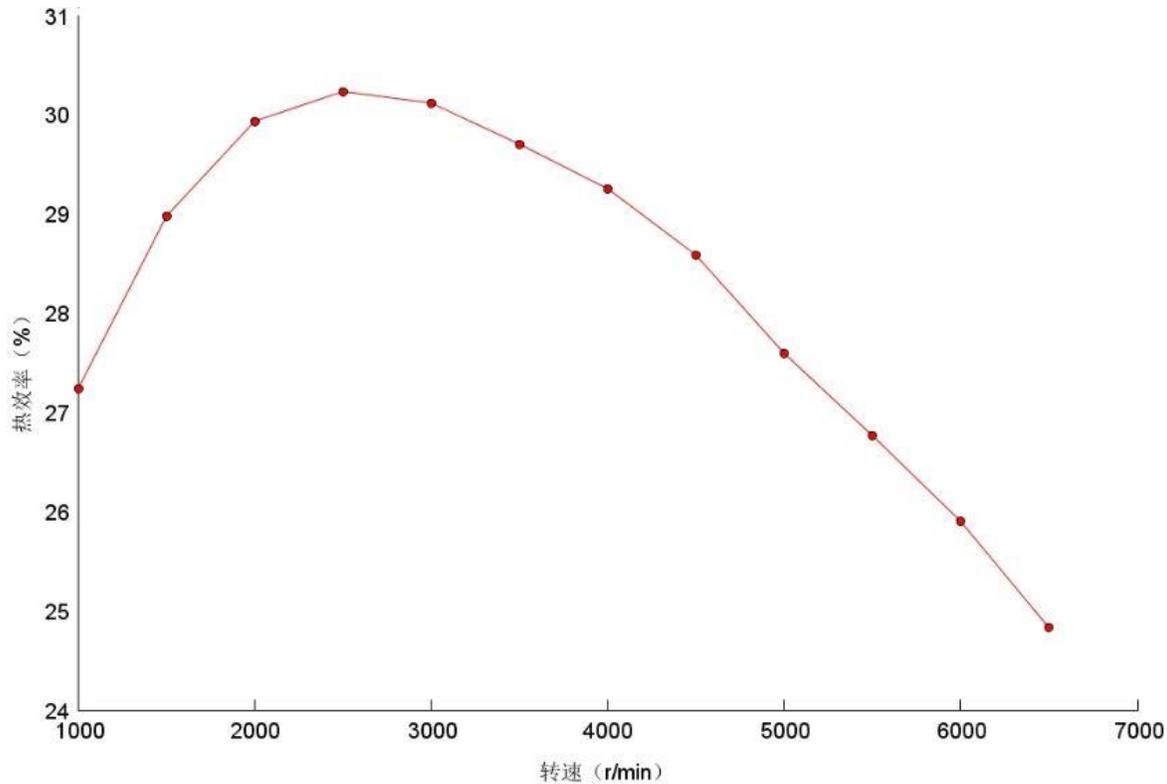
功率随转速的变化曲线



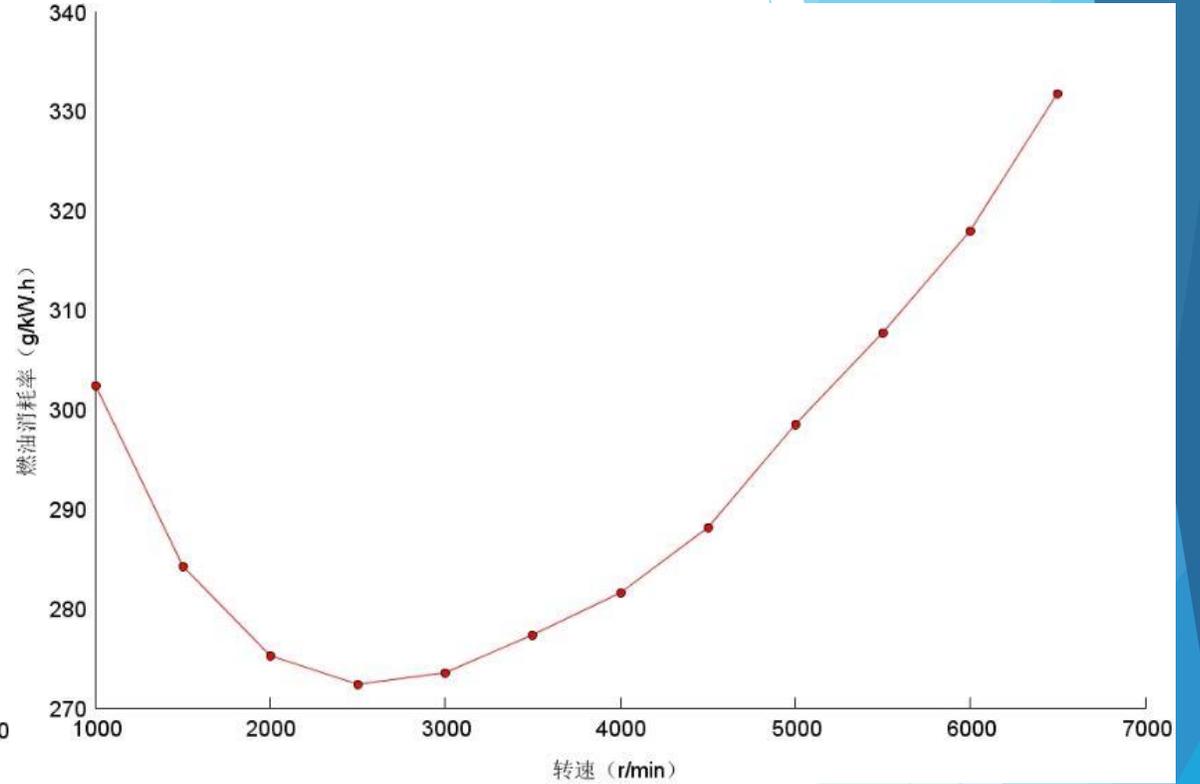
扭矩随转速的变化曲线

此发动机在4000~5000r/min时，动力性能最好，在2000~3000r/min的市区常用转速时，动力性能也处于良好的情况。且在超过额定转速6000r/min时，动力性能开始有较大下降。

## 2) 经济性：有效热效率与有效燃油消耗率



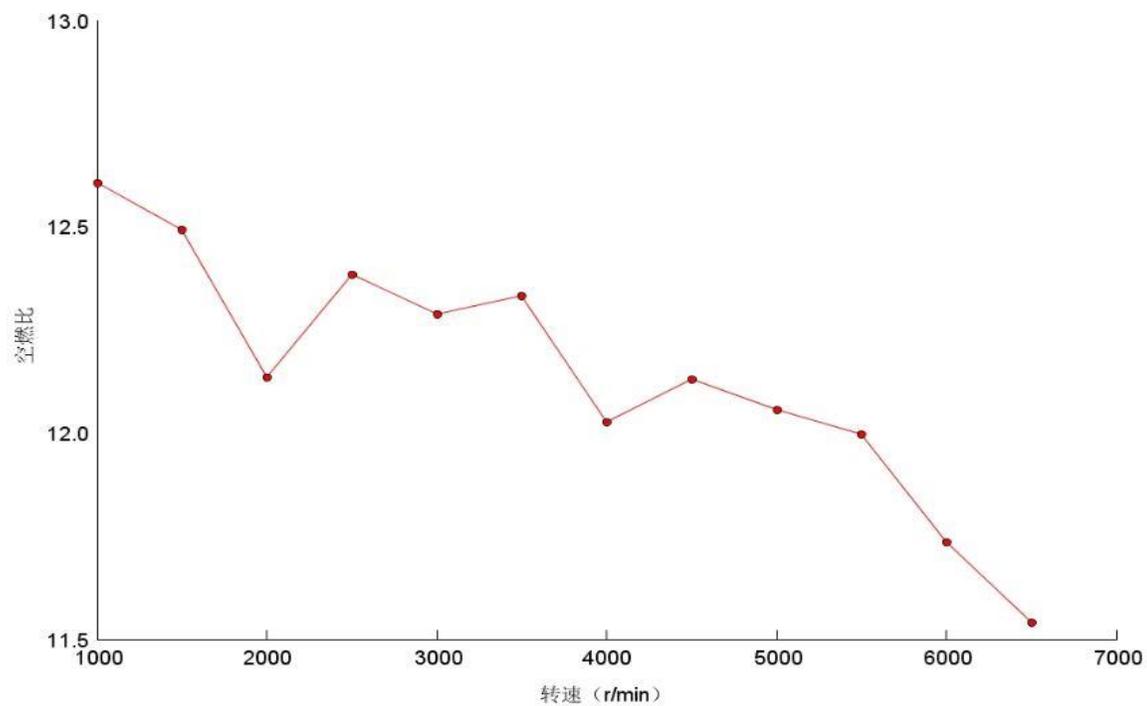
热效率随转速的变化曲线



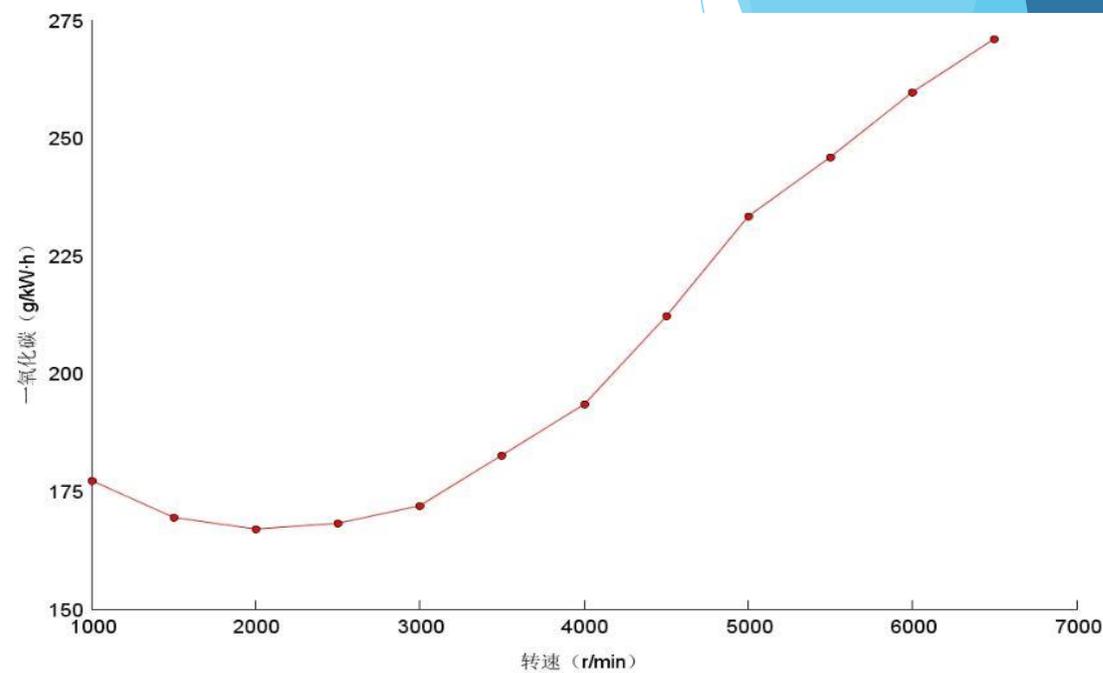
燃油消耗率随转速的变化曲线

有效热效率与有效燃油消耗率是成反比的。此汽油机在2000~3000r/min附近工作时的经济性能最好，超出该范围经济性变差，且相比于高转速，低转速经济性能变差速度更快。

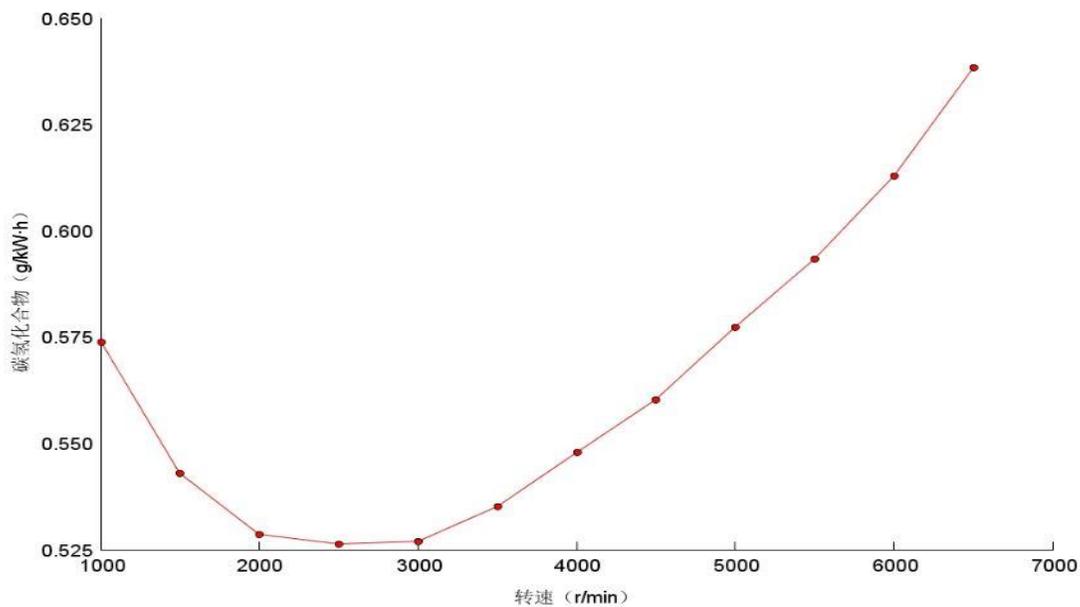
### 3) 排放性: CO、HC、CO<sub>2</sub>



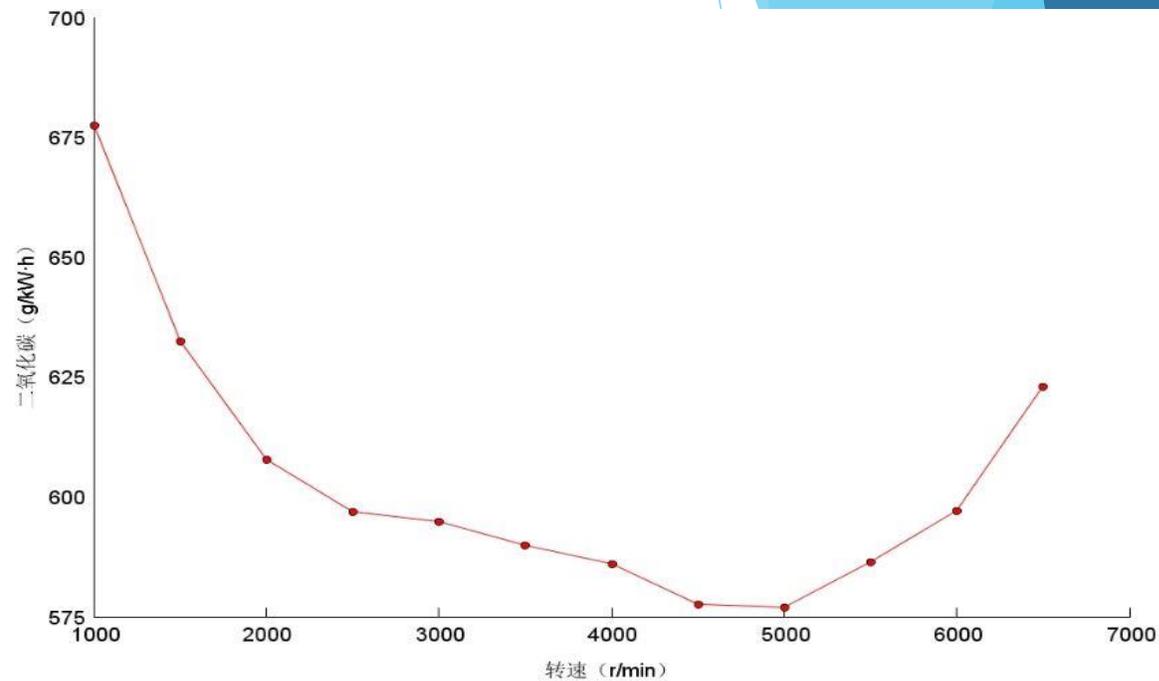
空燃比随转速的变化曲线



CO排放量随转速的变化曲线



HC排放量随转速的变化曲线

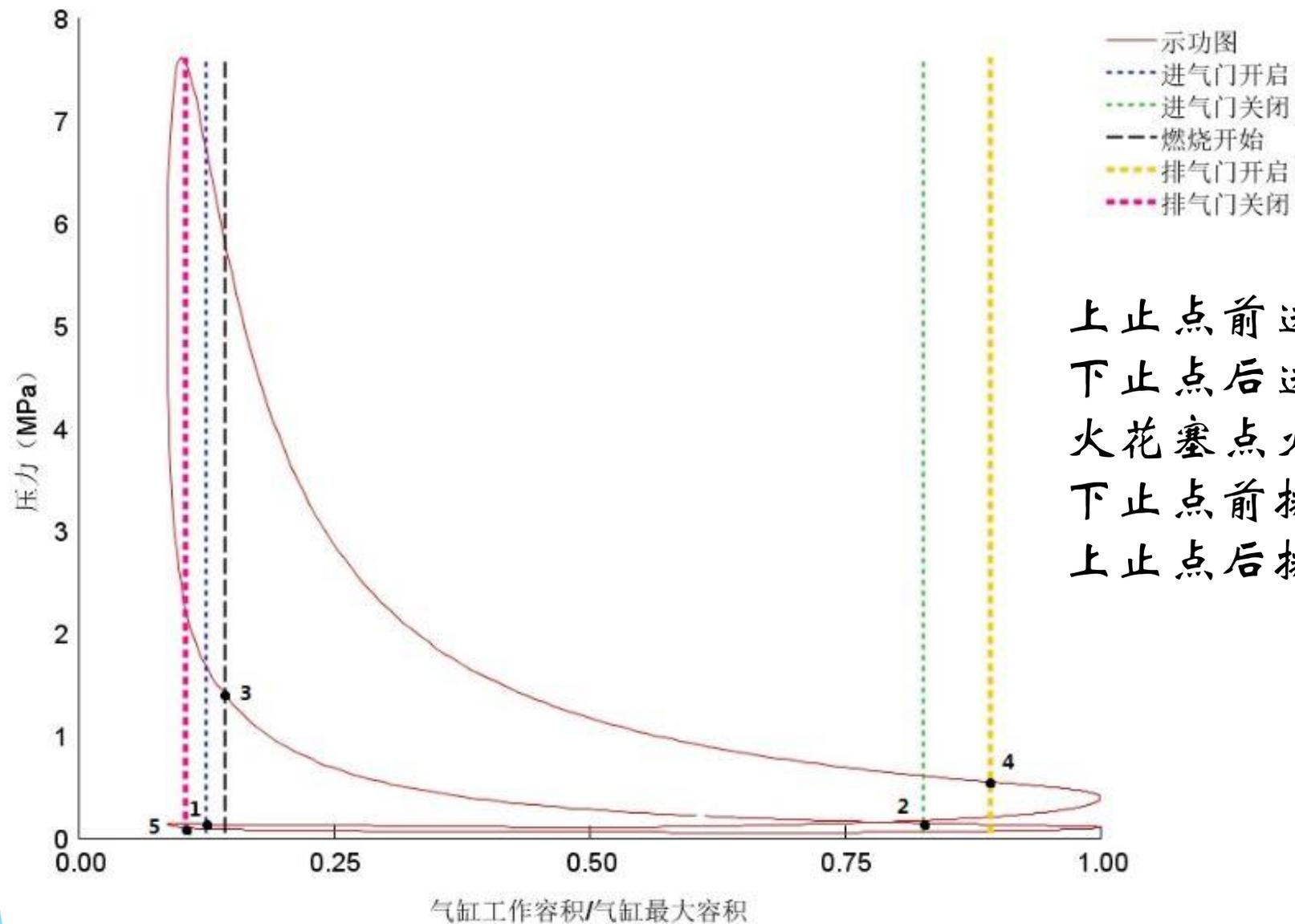


CO2排放量随转速的变化曲线

可知该汽油机在2000~3000r/min附近工作时的排放性能相对较好，其余转速区间排放性能较差，尤其是5000r/min以后的高转速区间

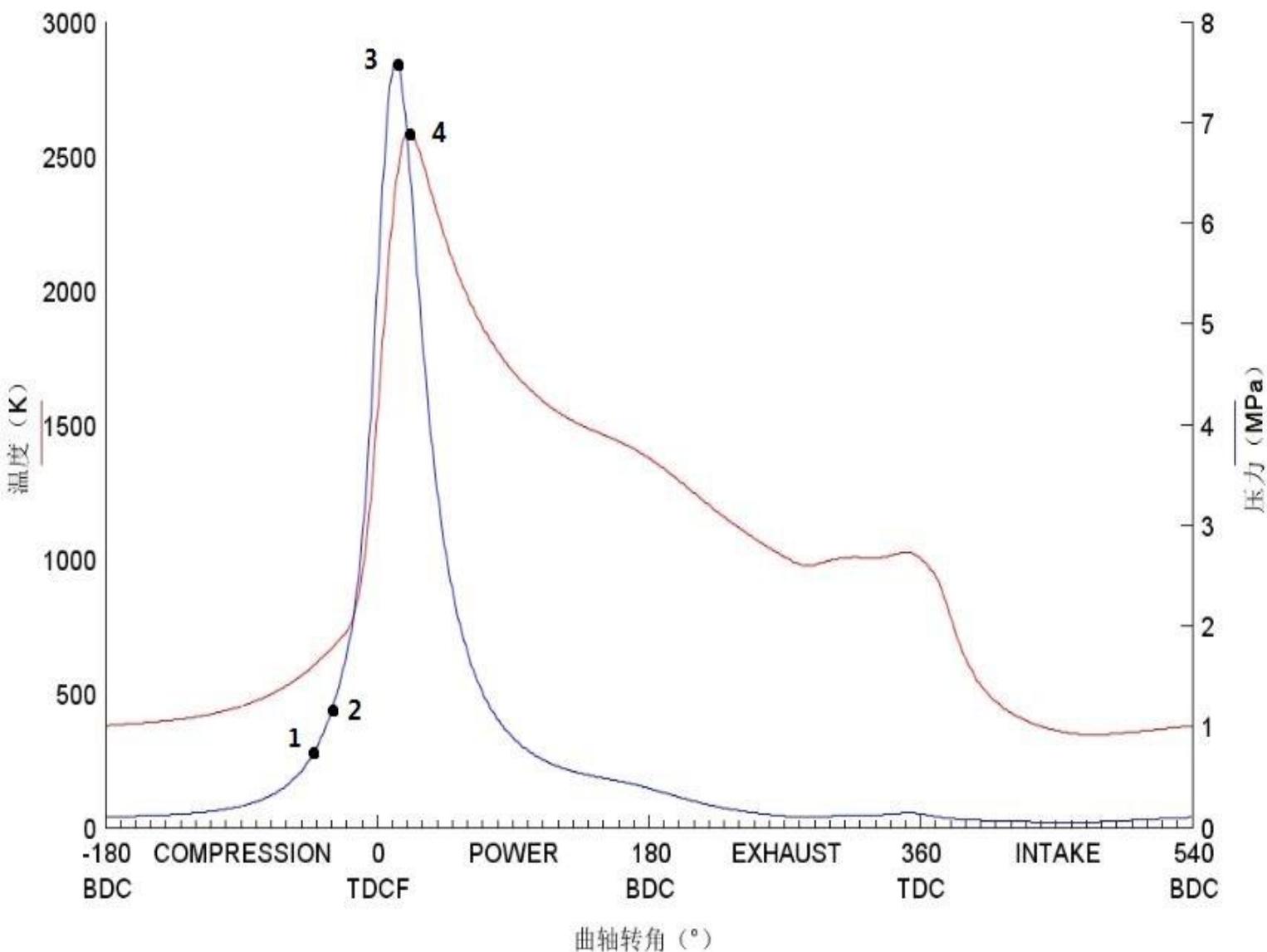
## ► 汽油机缸内过程的变化情况

### 1) p-V示功图



上止点前进气门开启 (点1) ;  
下止点后进气门关闭 (点2) ;  
火花塞点火, 开始燃烧 (点3) ;  
下止点前排气门打开 (点4) ;  
上止点后排气门关闭 (点5) 。

## 2) 缸内燃烧过程



着火延迟期:

从电火花点火开始 (点1) 到火焰中心出现 (点2)

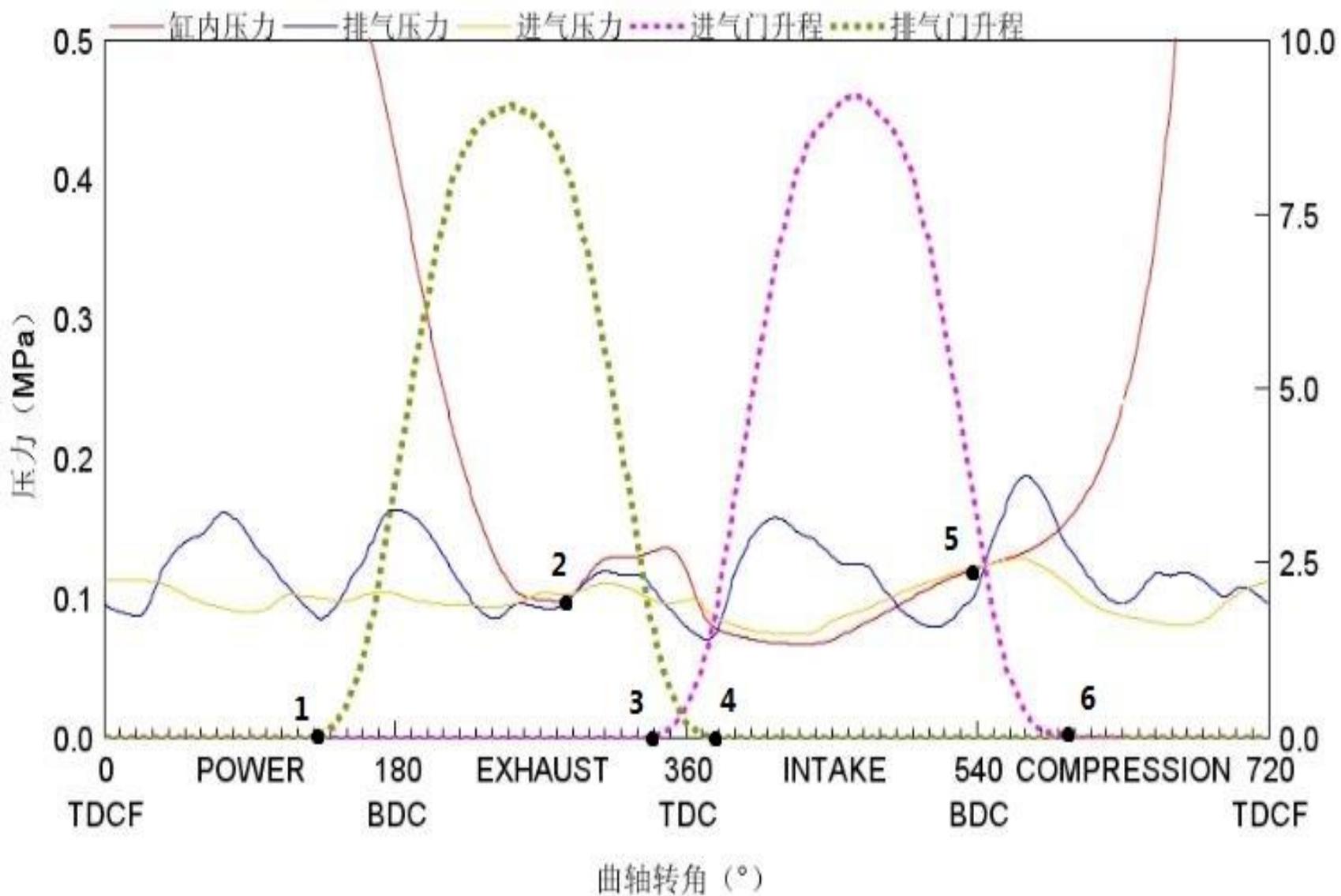
急燃期:

从第一阶段结束 (点2) 到缸内压力达到最高值 (点3) 或缸内温度达到最高值 (点4)

后燃期:

从第一阶段结束 (点3或点4) 开始, 至燃料基本燃烧完为止

### 3) 缸内换气过程



自由排气阶段:

从排气门开启 (点1) 至缸内压力与排气管内压力相等时 (点2)

强制排气阶段:

从 (点2) 开始至排气门关闭 (点4)

气门重叠阶段:

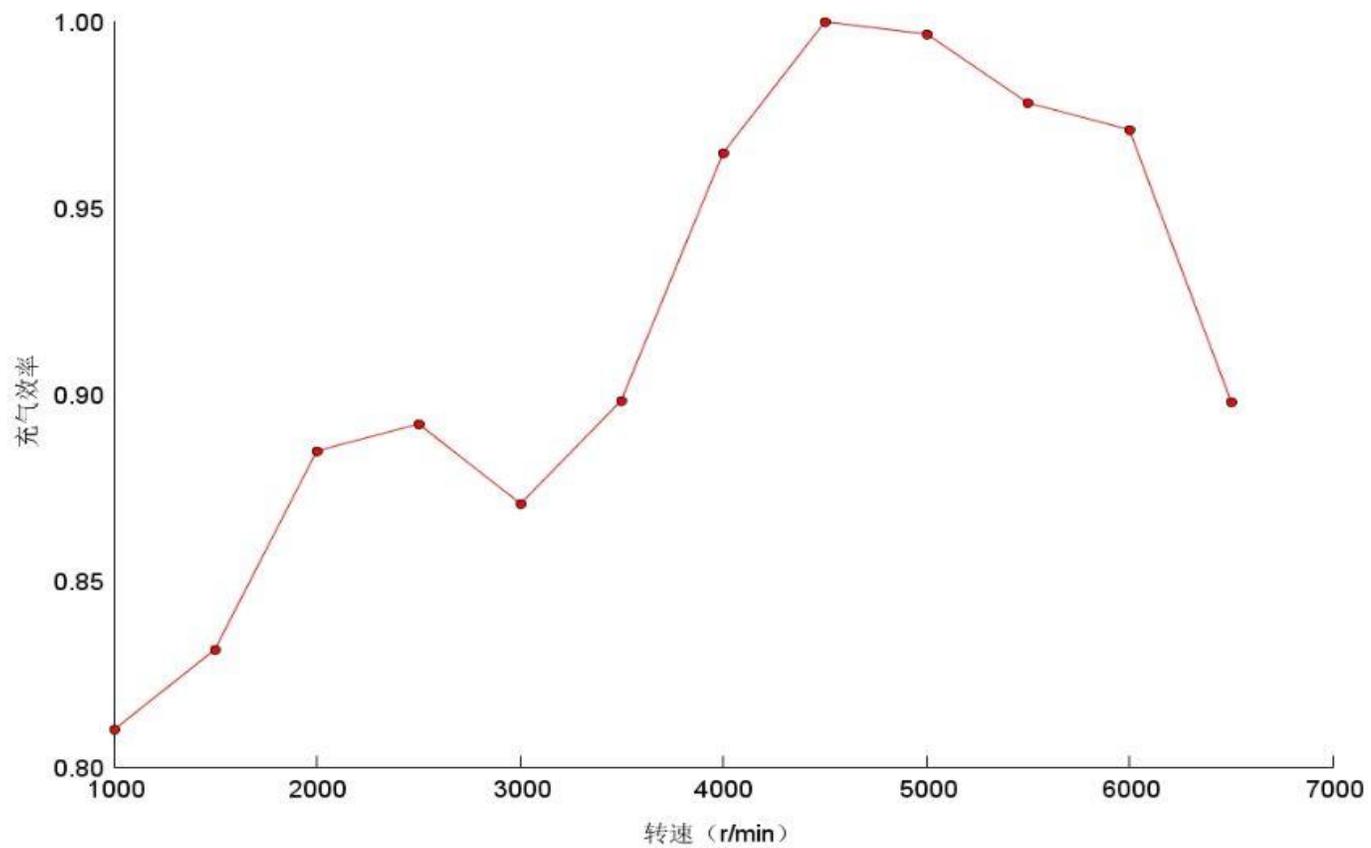
为在上止点附近时进、排气门同时开启的时间

充气阶段:

从进气门开启 (点3) 至下止点时 (点5)

后充气阶段:

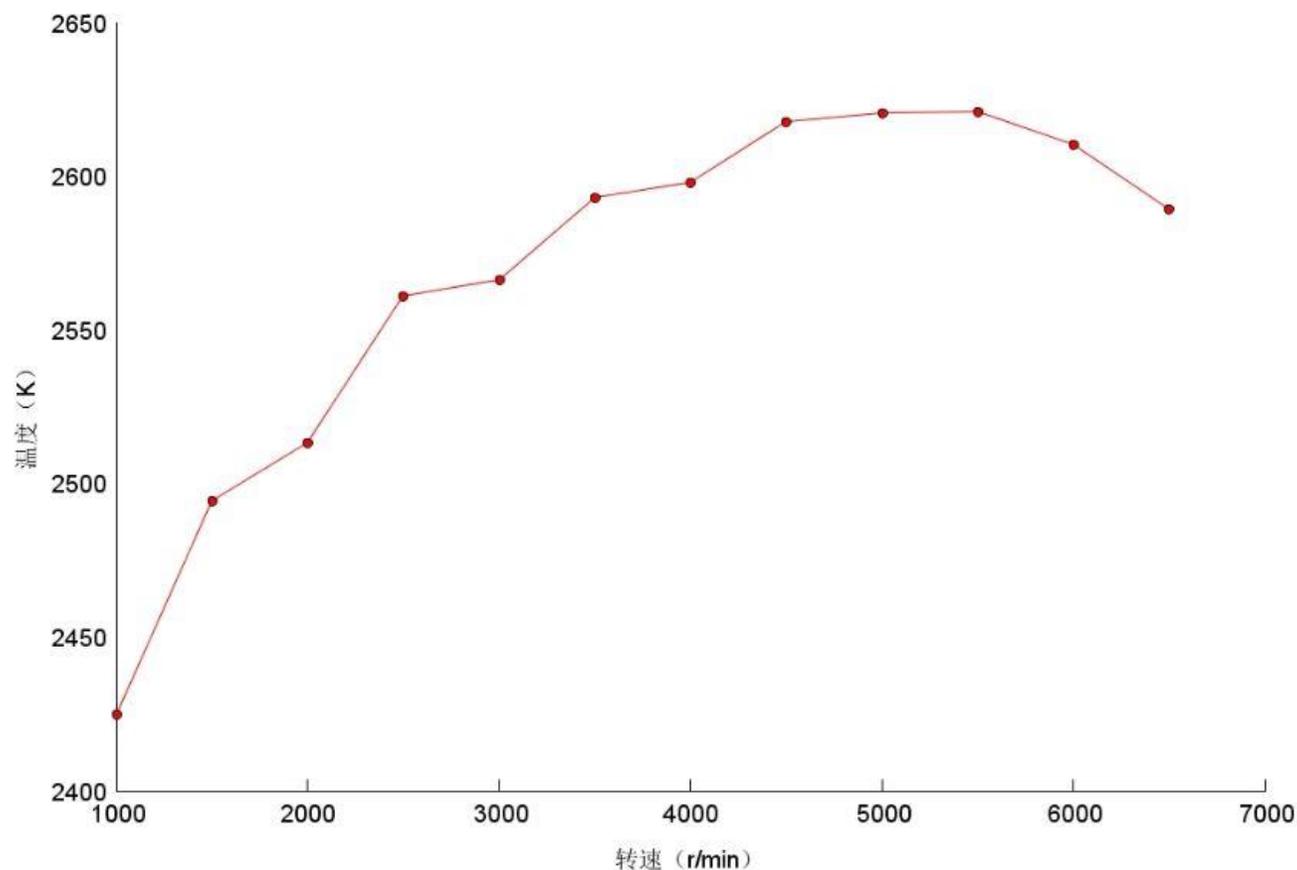
从下止点时开始 (点5) 至进气门关闭 (点6)



充气效率随转速的变化曲线

## ▶ 燃烧室周边零部件热负荷、机械负荷计算的边界条件数据

### 1) 热负荷边界条件

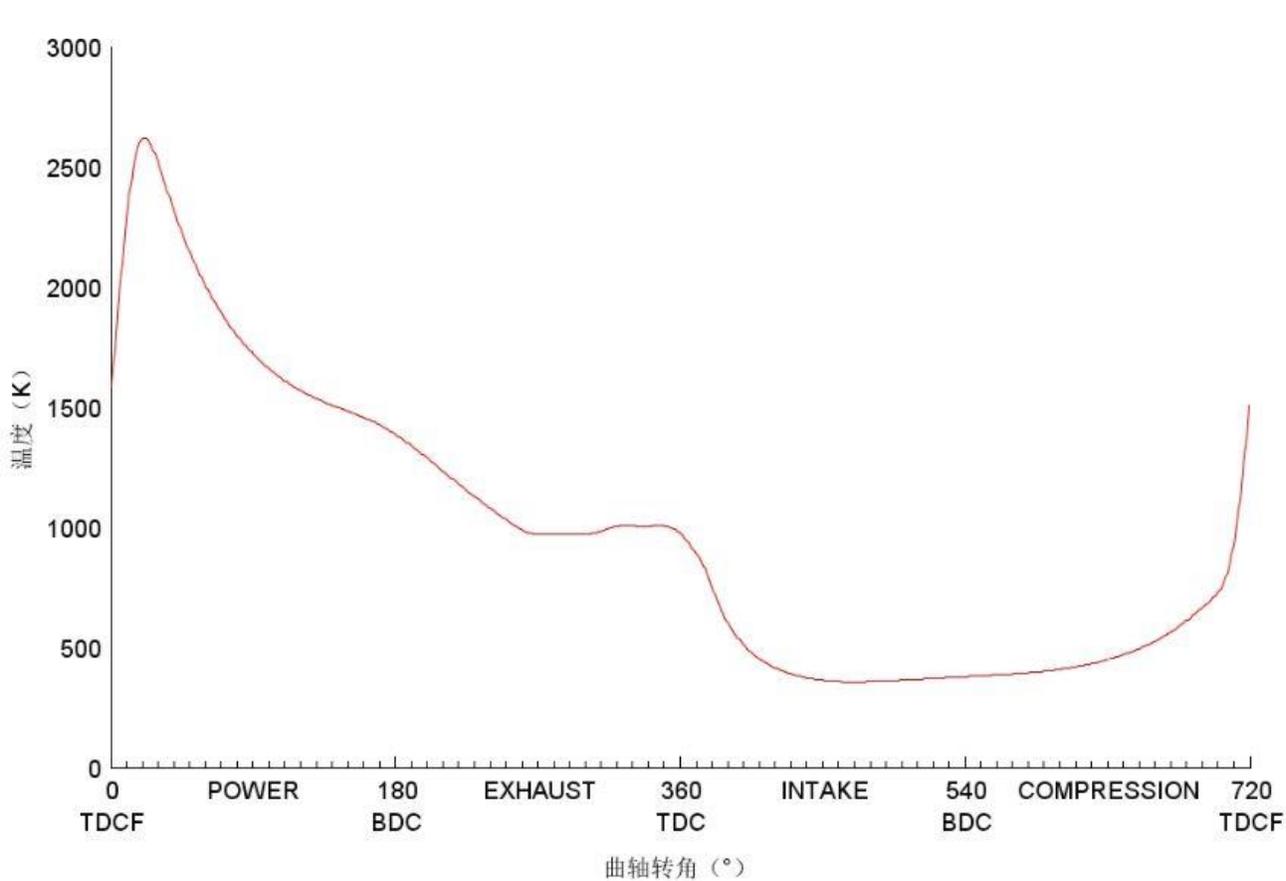


缸内平均最高温度随转速的变化曲线

5500r/min时，  
达到最高温度为2621.02K；

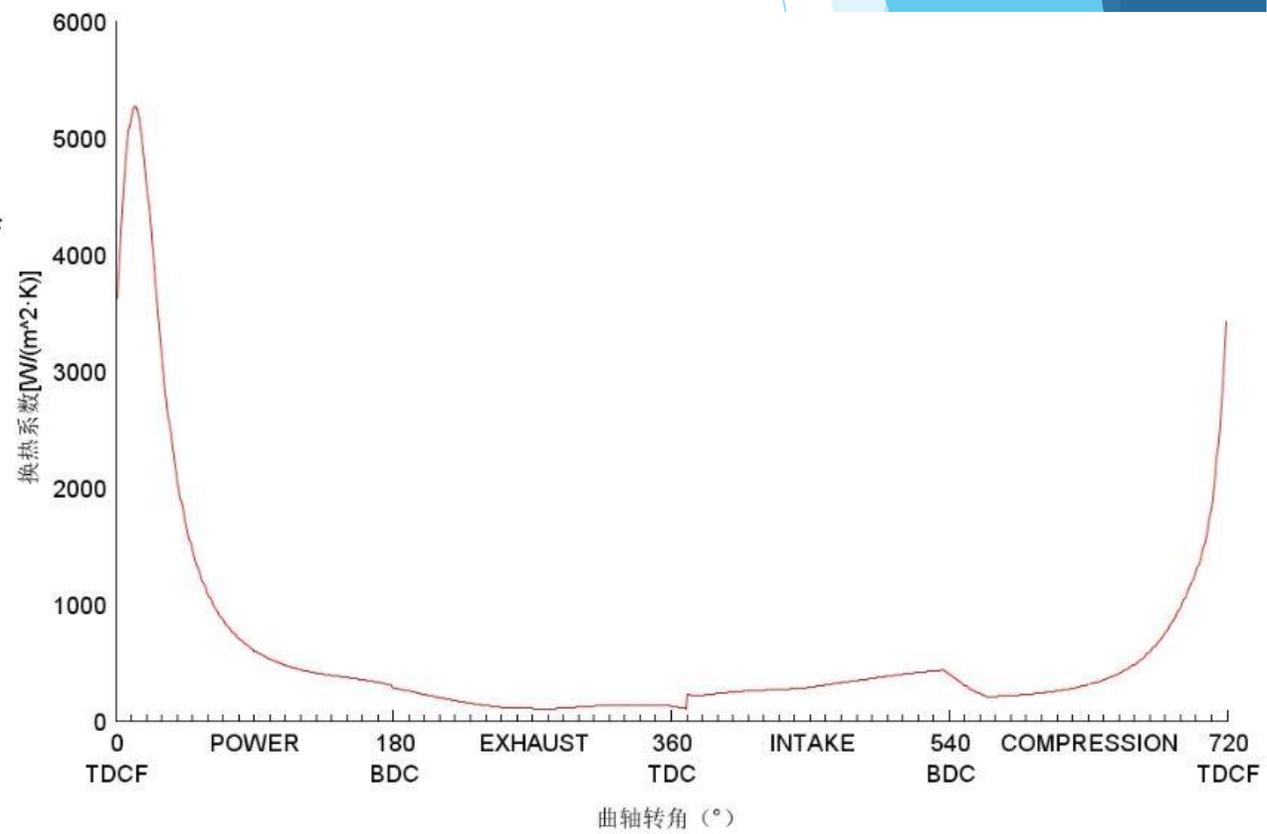
在额定转速下，  
平均最高温度为2610.52K；

在2000~3000r/min，  
平均最高温度在2500~2600K  
之间变化。

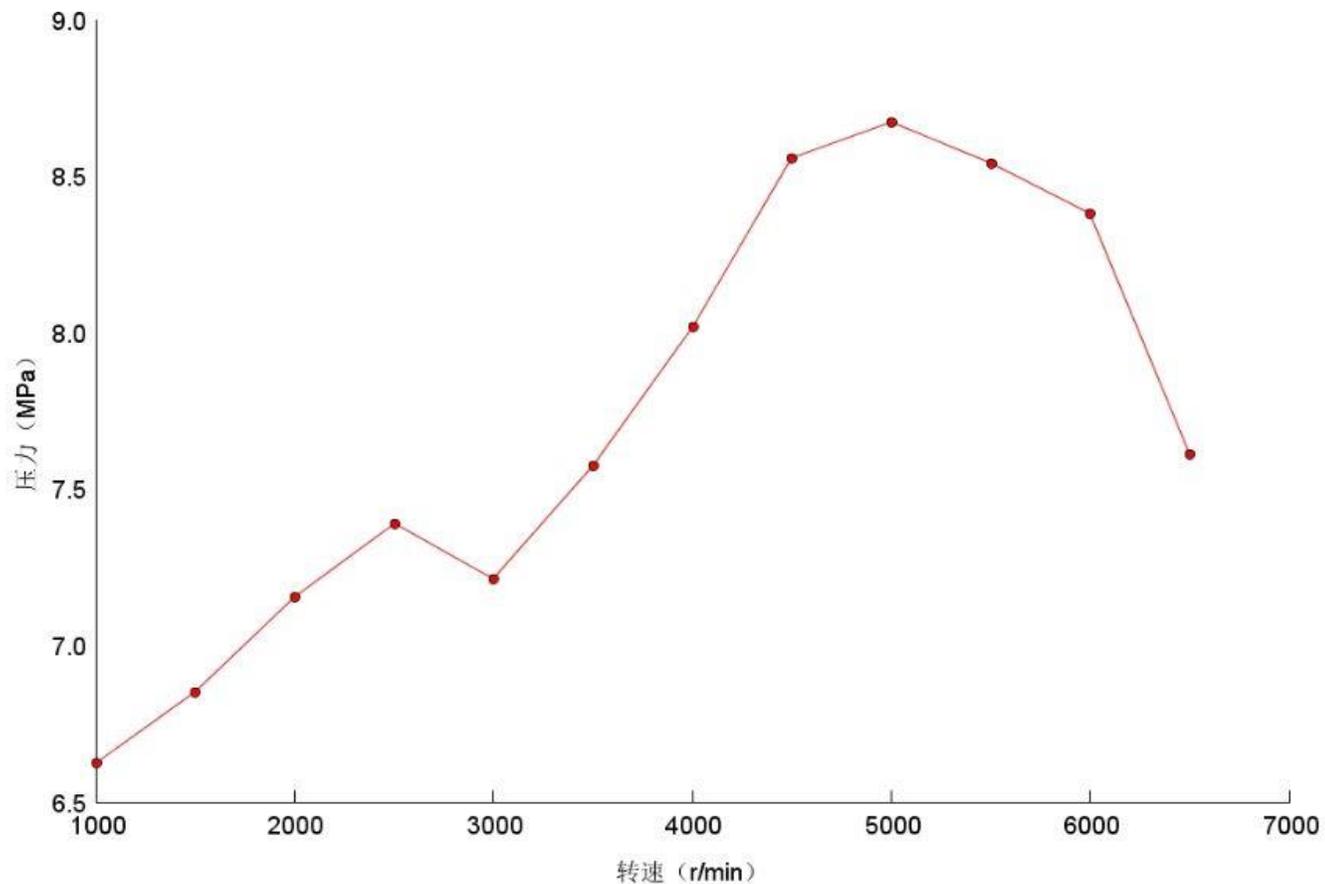


5500r/min缸内平均温度  
随曲轴转角的变化曲线

5500r/min时换热系数  
随曲轴转角的变化曲线



## 2) 机械负荷边界条件

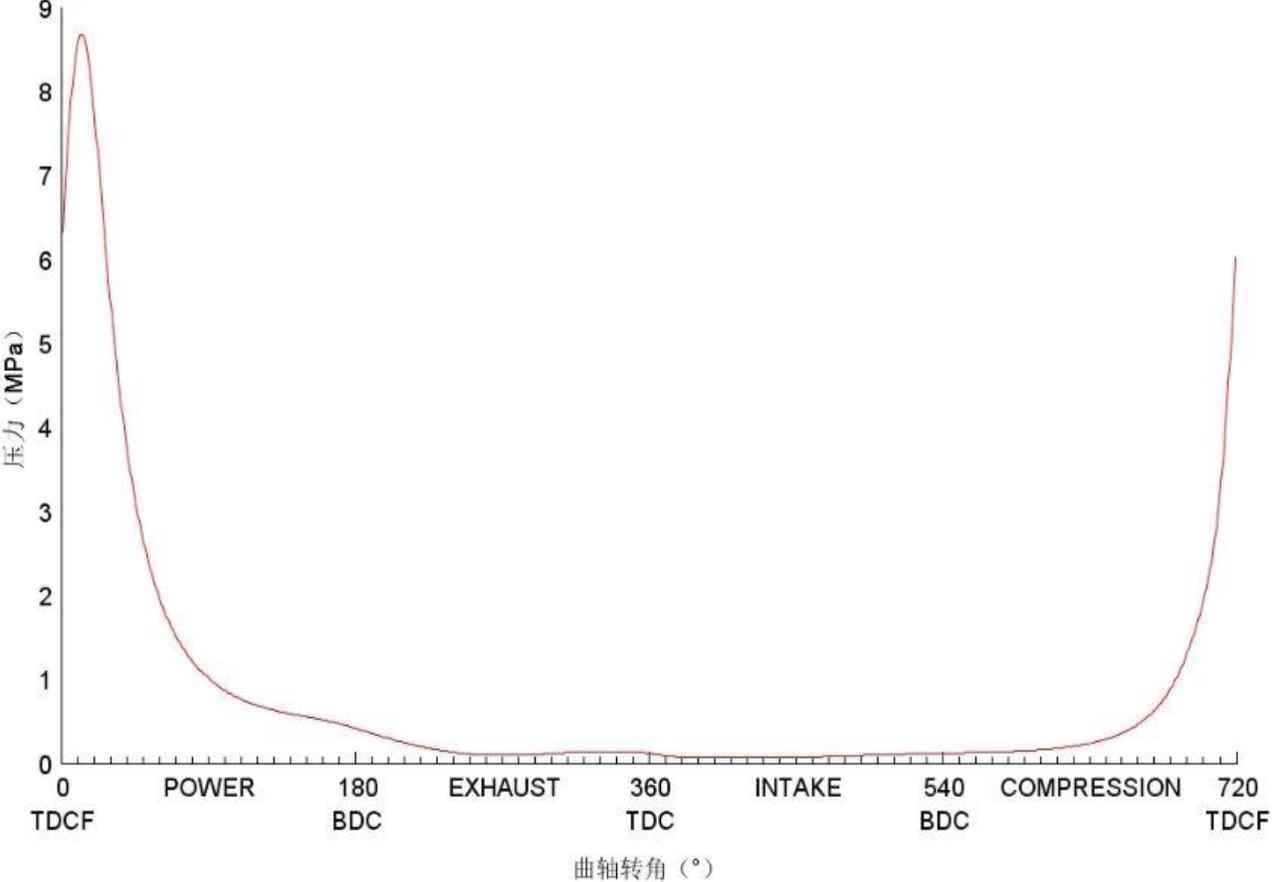


缸内最高燃烧压力随转速的变化曲线

5000r/min附近时，  
达到最大值为8.67MPa；

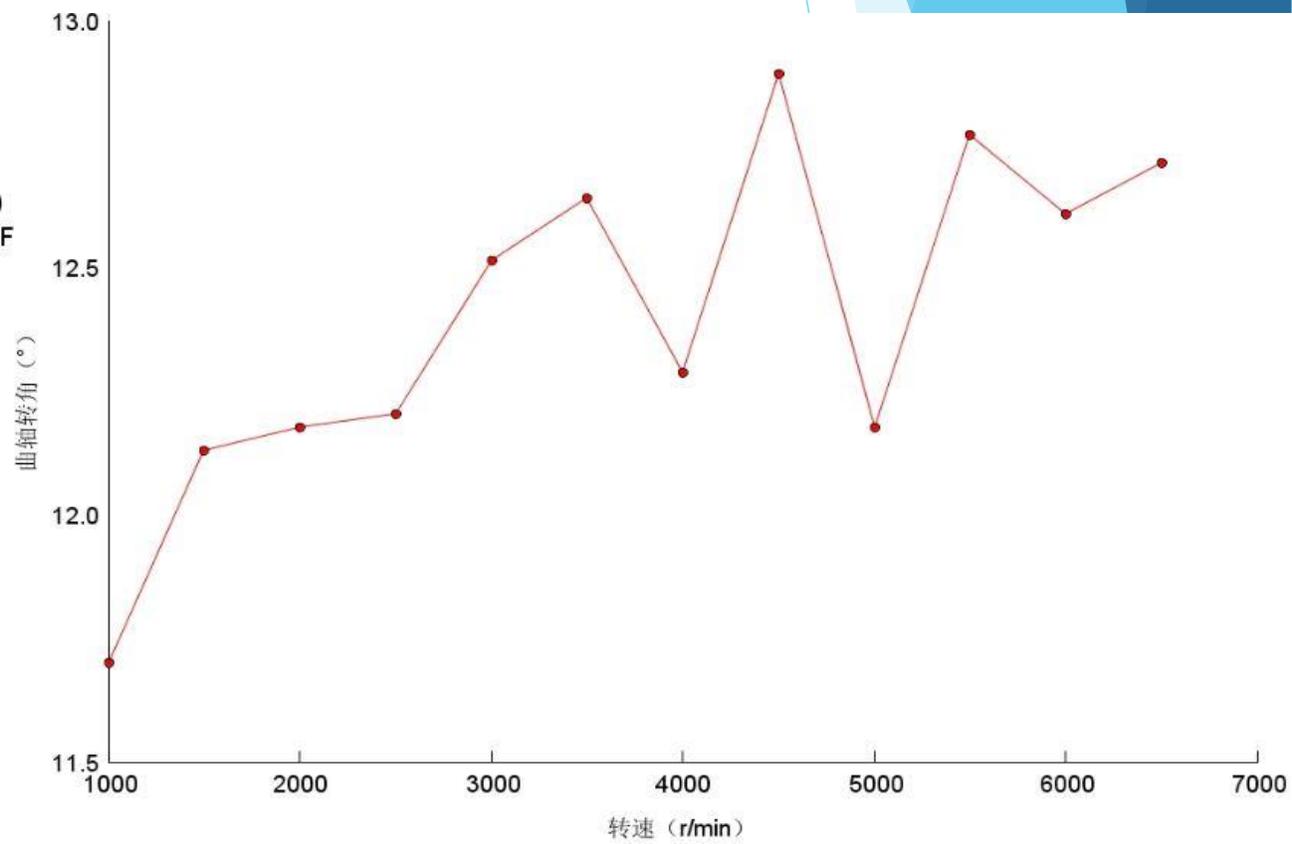
在额定转速下，  
最高燃烧压力为8.37MPa；

在2000~3000r/min，  
最高燃烧压力在7.1~7.4MPa  
之间变化。



5000r/min时缸内压力  
随曲轴转角的变化曲线

缸内最高燃烧压力出现时间的变化曲线



## 四、总结

- 1) 该发动机的动力性能在高转速的工况下最好，在2000~3000r/min的较低转速工况下，也有较好的动力性能。经济性能和排放性能在2000~3000r/min的较低转速工况下最好，高转速区间会变得很差，经济性能与排放性能受工况变化的影响较大；
- 2) 发动机缸内的燃烧与换气情况较好；
- 3) 缸内的平均最高温度为2600K，综合考虑燃气的平均温度为1000K，燃气的当量换热系数平均为 $850 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。缸内最高燃烧压力为8.67MPa，不同工况下出现的时间差异较小。