



Your True Partner for
CAE × CFD
ICSC2016

IDAJ CAE
Solution
Conference



两级增压柴油机性能与高原能力分析

宝沃汽车（中国） 发动机性能与分析部

演讲人: 刘小平

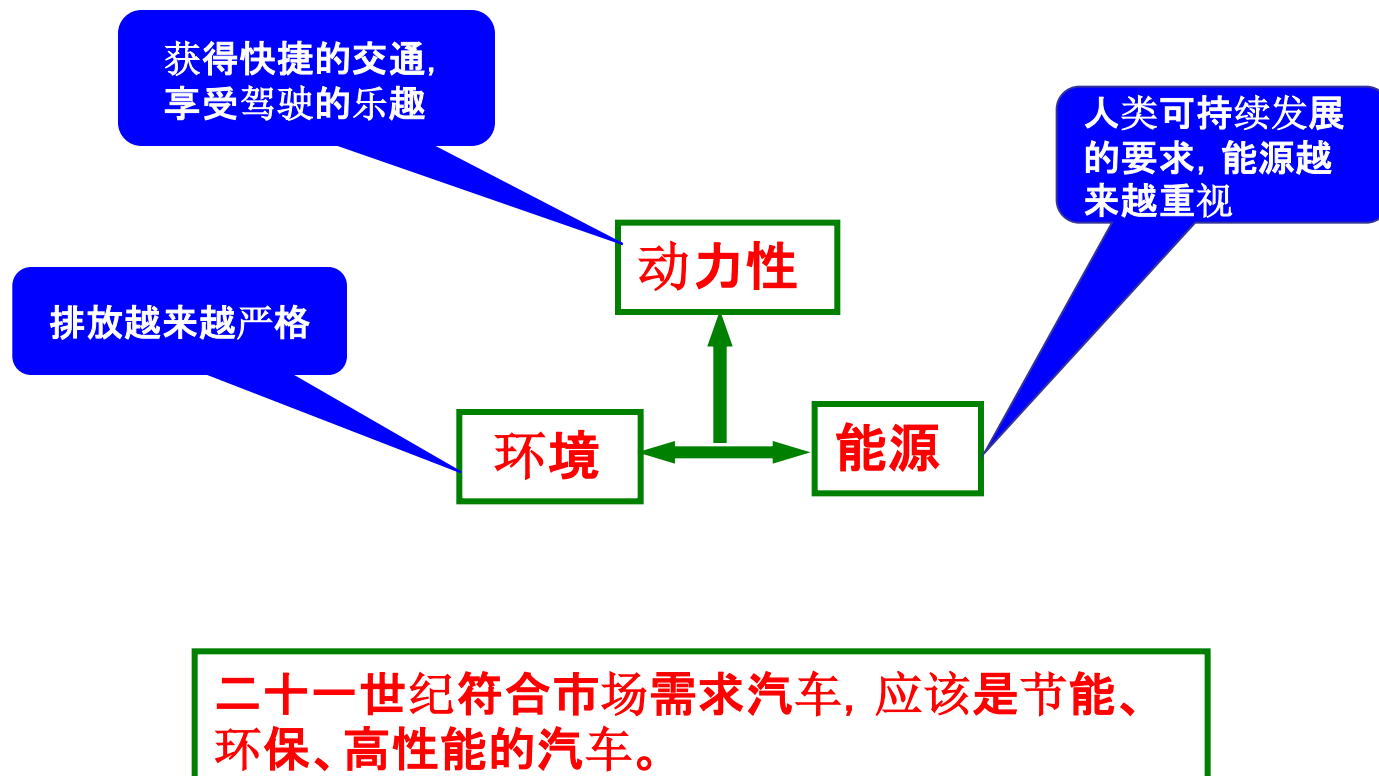


BORGWARD

目录

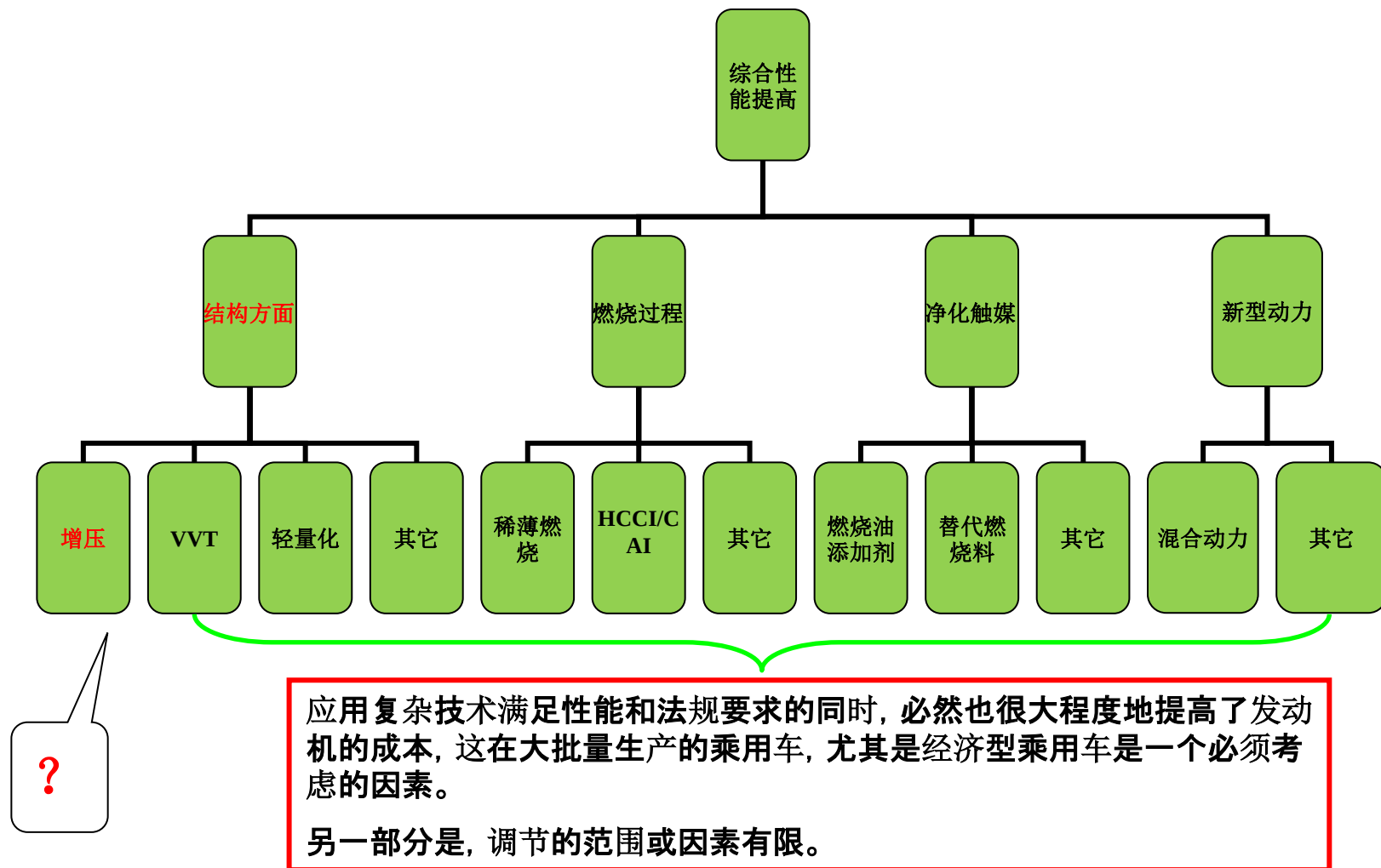
一	引言
二	方案选择
2.1	方案分析
2.2	确定方案
三	建模及分析
3.1	建模
3.2	控制策略分析
3.3	外特性性能
四	整机高原能力
五	整车高原能力
六	总结

一、引言

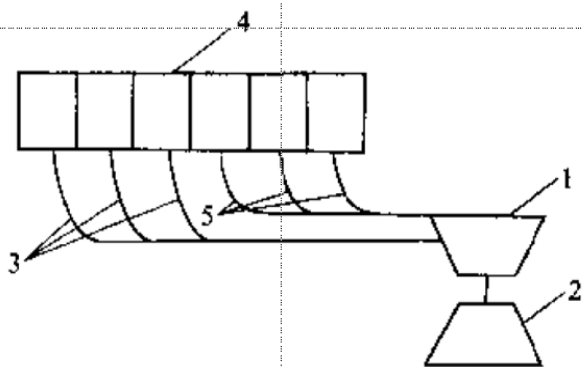




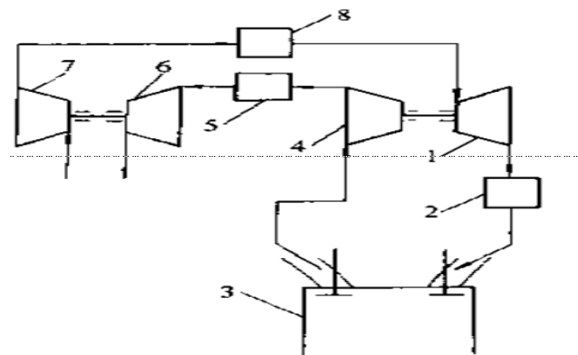
一、引言



一、引言



1—涡轮 2 压气机 3—1、2、3 缸排气歧管 4—发动机 5—4、5、6 缸排气歧管
单级增压



1—高压级压气机 2 高压压气机后的中冷器
3 - 发动机 4—高压级涡轮 5—排气稳压箱
6—低压级涡轮 7—低压级压气机
8—低压压气机后的中冷器

两级增压

	单级增压	两级增压
优点	充分利用内燃机废气能量，燃油经济性提高。其中，由废气能量回收可提高经济性3-4%，另外，再加上减小了机械损失和散热损失，提高了机械效率和热效率，增压后可降5-10%。	1) 综合利用了废气涡轮增压的优点； 2) 起动性能好； 3) 低速、低负荷时，仍能提供足够的增压压力；
缺点	加速性、瞬态响应性较差。	结构复杂。

二、方案选择

2.1 国内外方案综述

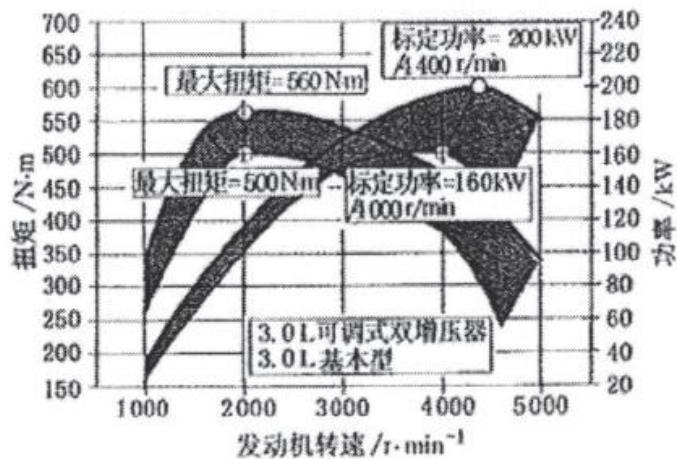
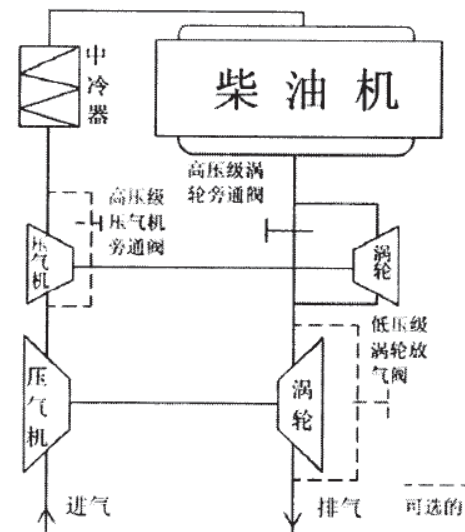


Table 2. The regulating two-stage (RTS) turbocharging system

mode	TBV	CBV	waste-gate valve
1	fully closed	closed	closed
2	regulated	closed	closed
3	fully open	open	closed
4	fully open	open	regulated

TBV-废气旁通阀;CBV-高压压气机旁通阀;Waste gate valve-低



国内外研究资料显示：

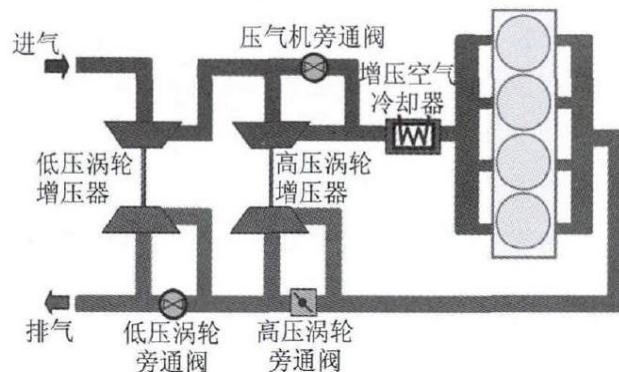
- 1、用二级增压系统的轿车用柴油机，与相应的采用单级VGT系统的柴油机的性能对比。可见可调二级涡轮增压系统在标定功率，最大扭矩以及全转速范围的外特性等性能参数上都比VGT系统有了大幅度提高。
- 2、两级增压发动机热力学分析难点是增压器控制策略的制定。



二、方案选择

2.2 确定方案

- 1、高压级增压器涡轮机配置废气旁通通路，通路控制阀开度可控；低压级涡轮机为主动式废气旁通阀。
- 2、低压级压气机两个出口，一路联接连接高压级压气机进口；另一路联接中冷器进口(具有单向阀控制开闭，主动可控式开关阀)。
- 3、高压级压气机出口联接中冷器进口。



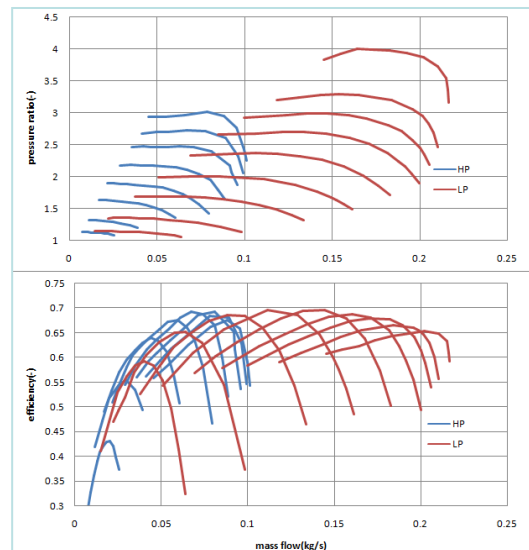
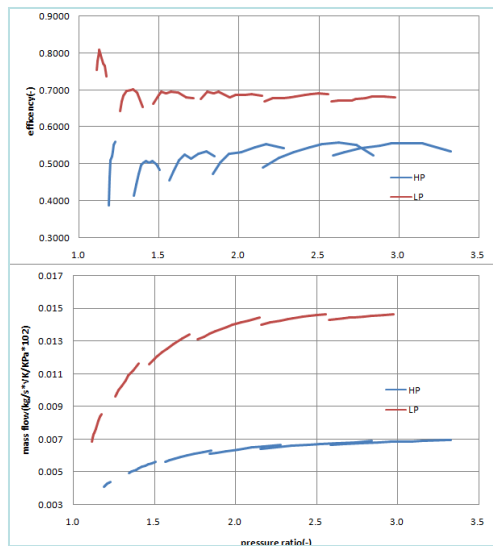
采用博格华纳两级增压器：

高压增压器：

Compressor : 037K75AL28B898R, Turbine:
035A89DN24B02GX

低压增压器C

ompressor : 2270 KGA, Turbine:
050G84EN22B05GG



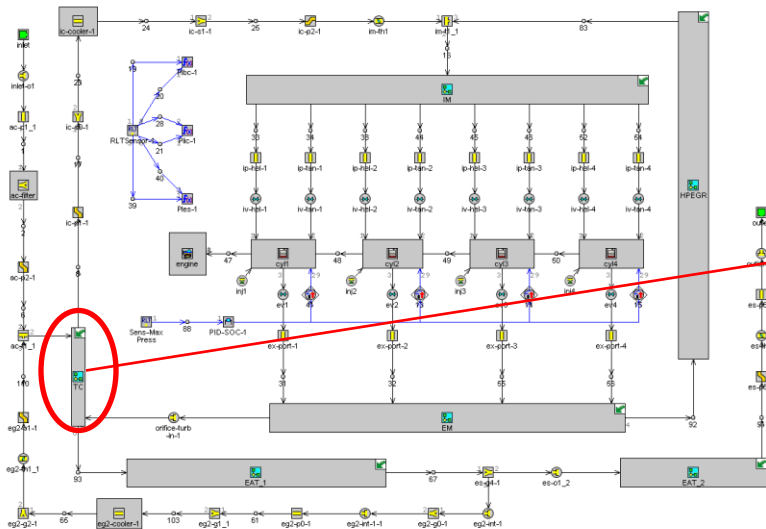
三、建模及分析

3.1 建模

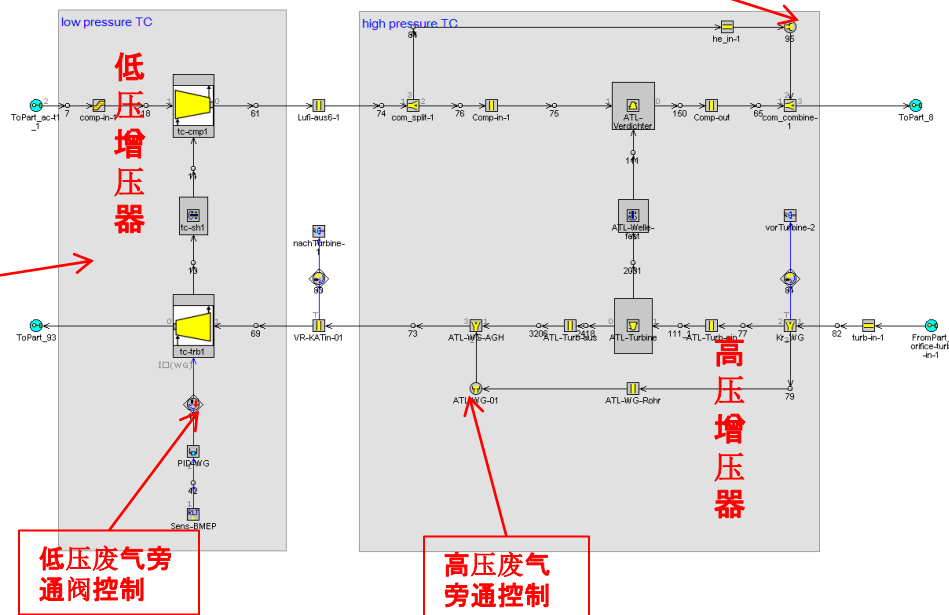
序号	参数名称	TGDI
	开发目标	
1	排量	2L
2	特征	IL4
3	燃油型号	国5 柴油
4	压缩比	16.5
5	缸径	--
6	冲程	--
7	行程缸径比	1.179
8	活塞偏置尺寸	-0.5
9	顶隙高度	0.8
10	额定功率	--
11	最大扭矩	--
12	BSFC/2000rpm2bar	--
13	功率点油耗	--
	主要限值	
14	涡前温度	--
15	限制平均最大缸压	180bar

三、建模及分析

3.1 建模



整机模型



增压器模型

模型充分体现方案两级增压方案，高低压使用主动式可调废气旁通阀，高压进气旁通回路按发动机排量合理设置，并带有开关式控制节点。

三、建模及分析

3.2 控制策略分析

计算思路：

1、采用优化分析，先采用DOE计算、再建立响应面和最后采用最优化算法分析的方法进行。

2、优化变量：高压废气阀开度、高压压气机旁通开关状态

优化目标：BSFC最低；

限制目标：扭矩满足开发目标。

3、研究工况：外特性各转速工况。

参数变量设置

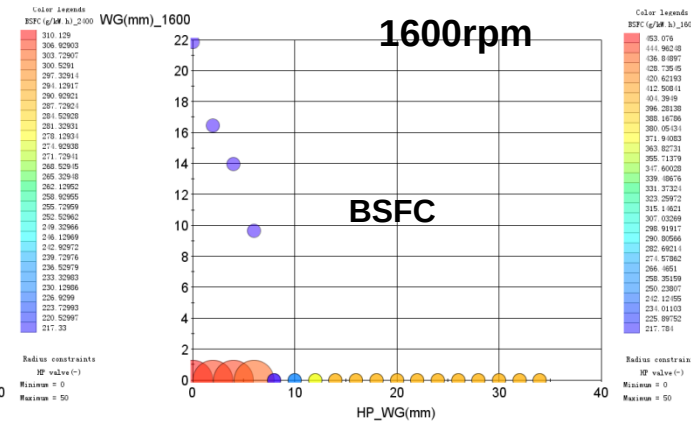
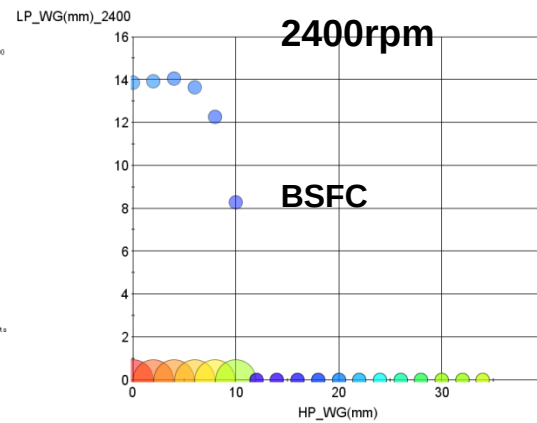
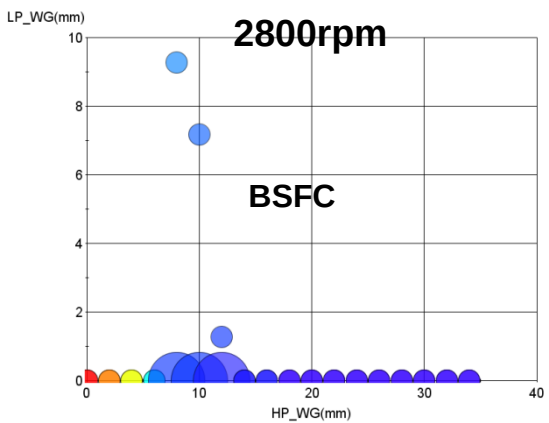
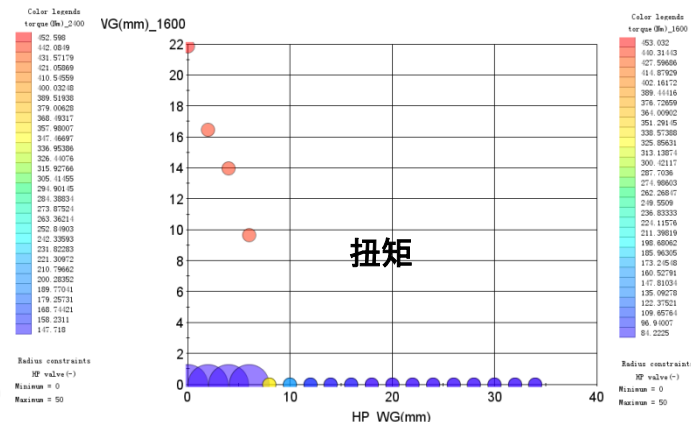
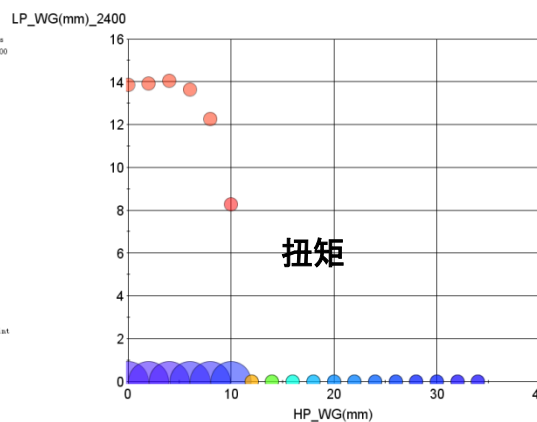
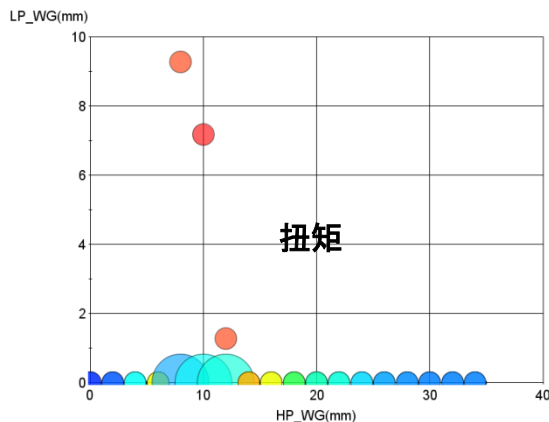
	Unit	Min	Max	level
HP-WG	mm ²	0	34	18
LP-WG	mm ²	Program control		
Compressor-valve	mm	0(关)	50 (开)	2

注：程序自动控制低压涡轮机废气旁通阀开度，达到目标扭矩。



三、建模及分析

3.2 控制策略分析

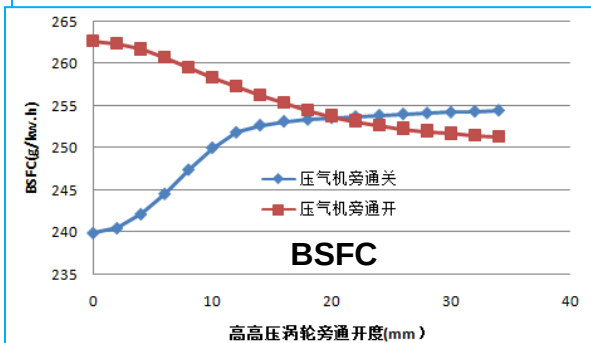
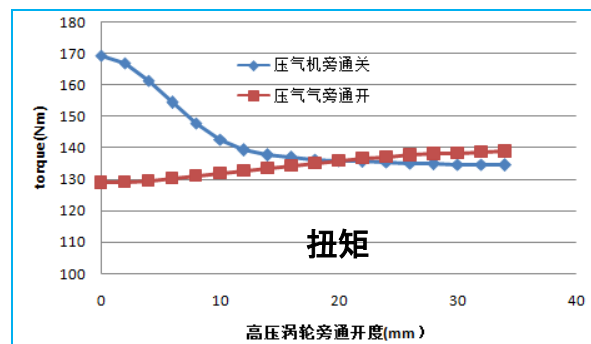


注:横坐标为高压涡轮旁通阀开度;纵坐标为低压涡轮旁通阀开度;

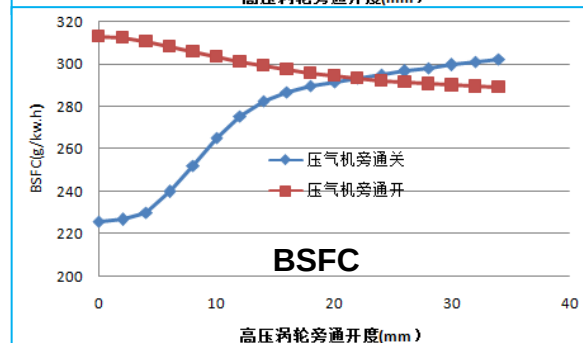
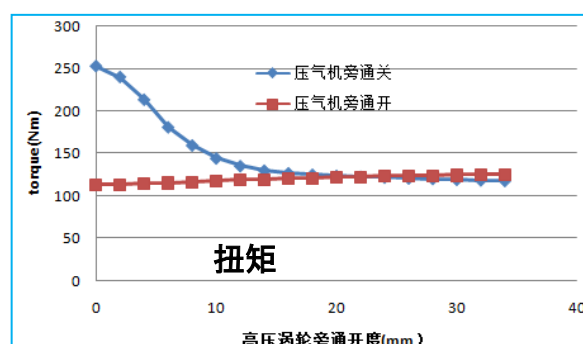
图形大小代表进气旁通阀开关状态;图形颜色代表扭矩或BSFC的数值大小

三、建模及分析

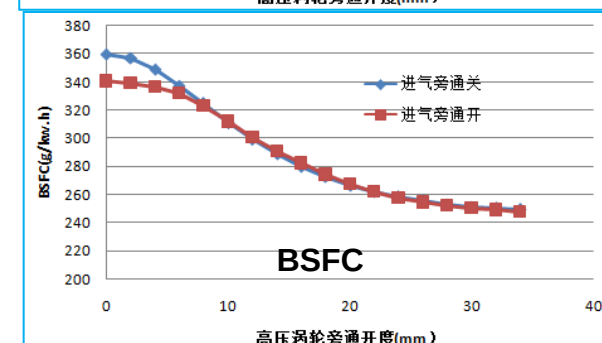
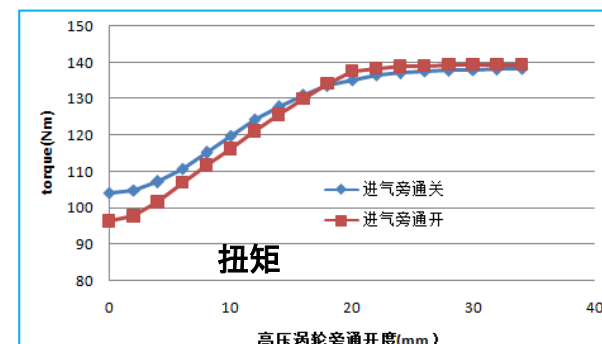
3.2 控制策略分析



1000rpm



1200rpm



4000rpm

三、建模及分析

3.2控制策略分析

优化的增压器控制策略

控制模式	适用转速	HP_WG	LP_WG	压气机旁通
1	1000rpm-1200rpm	全关	全关	全关
2	1600rpm-2800rpm	控制	控制	全关
3	3200rpm	全开	全关	全开
4	3400rpm-4000rpm	全开	控制	全开

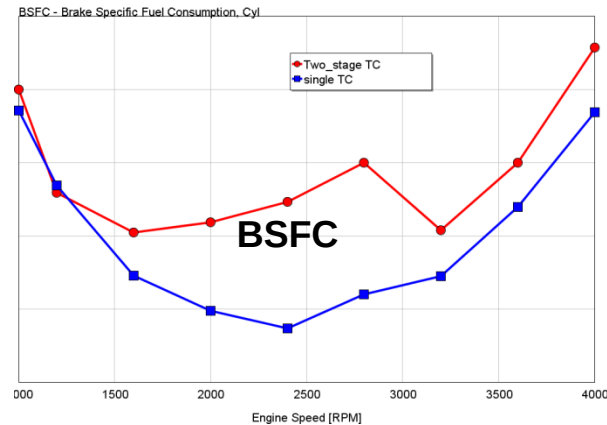
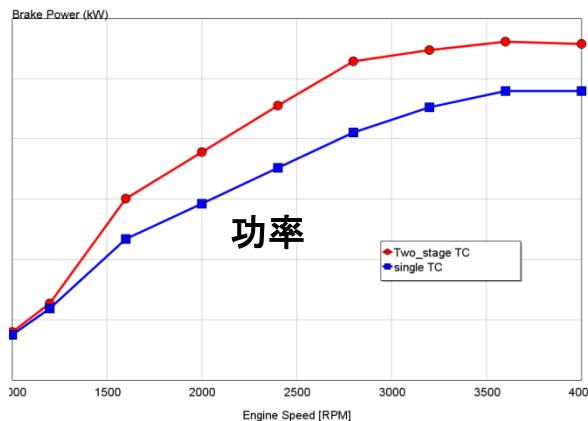
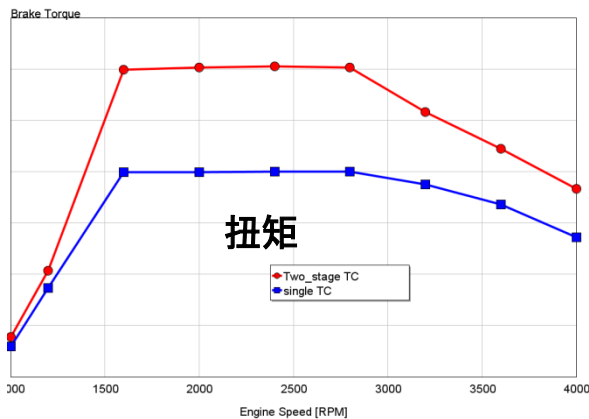
注: TBV-废气旁通阀;CBV-高压压气机旁通阀;Waste gate valve-低压废气旁通阀

- 1) 在模式1, LP和HP废气阀同时关闭, 动力性最大, 油耗最低;
- 2) 在模式2, 压气机旁通关闭, 分别调节LP和HP废气阀开度, 可使得整机动力性满足要求, 油耗最佳;
- 3) 在模式3和4,压气机旁通打开, HP废气阀全部打开, 调节LP废气阀开度满足开发目标;



三、建模及分析

3.3 外特性性能

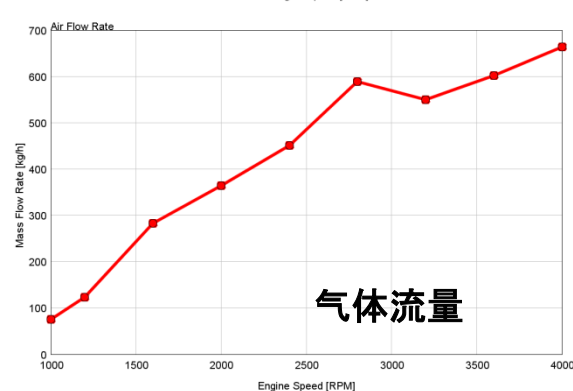
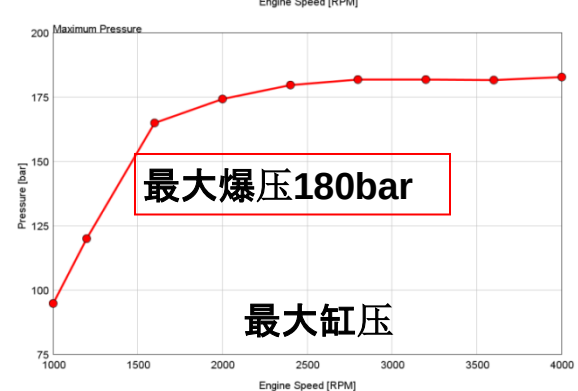
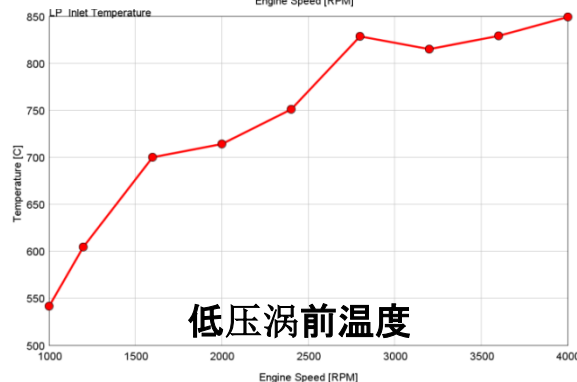
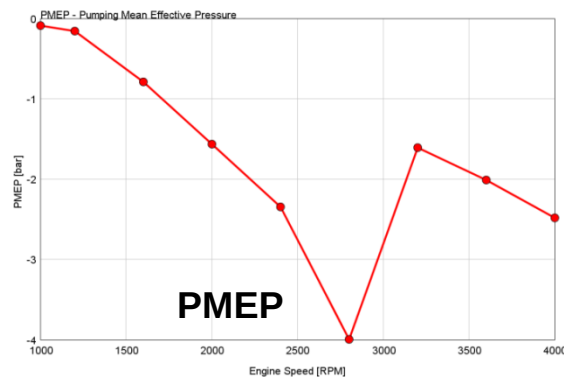
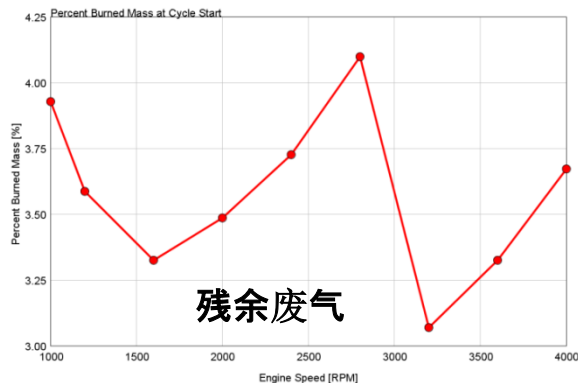
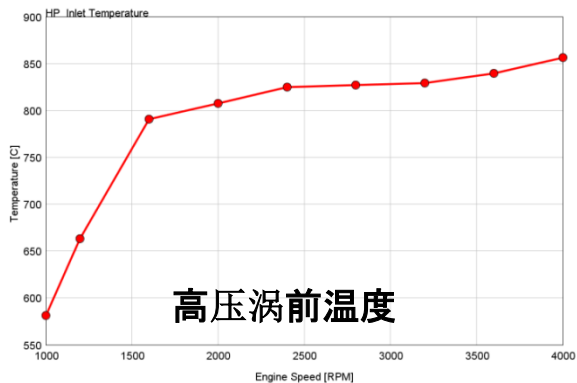


- 1、使用两级增压器，低端扭矩与开发目标差10Nm，其它动力性满足开发目标；
- 2、使用两级增压，1500rpm-2800rpm油耗恶化，主要是动力性增大，使的PMEP等增大所致。



三、建模及分析

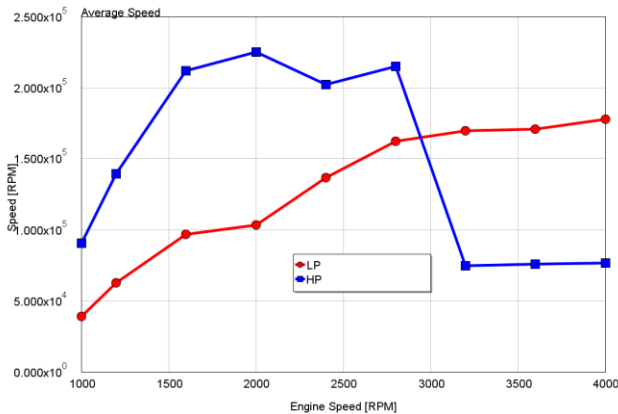
3.3 外特性性能



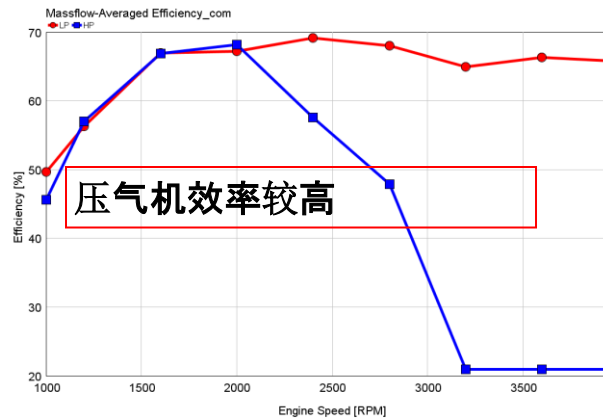
rpm存在较大的跳跃点，主要是因为高低压增压器同工作和低压增压器单独工作的切换转速，气体流量、背压共同作用的结果。

三、建模及分析

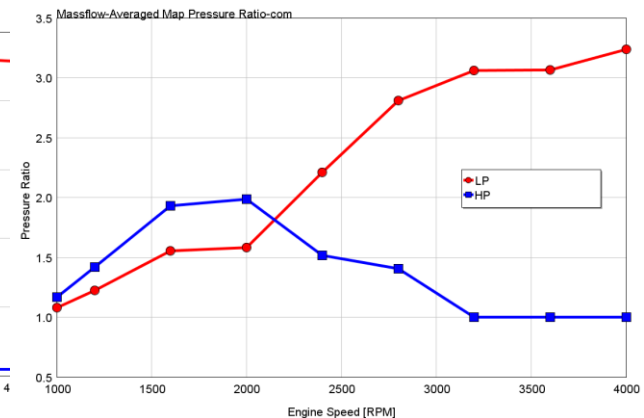
3.3 外特性性能



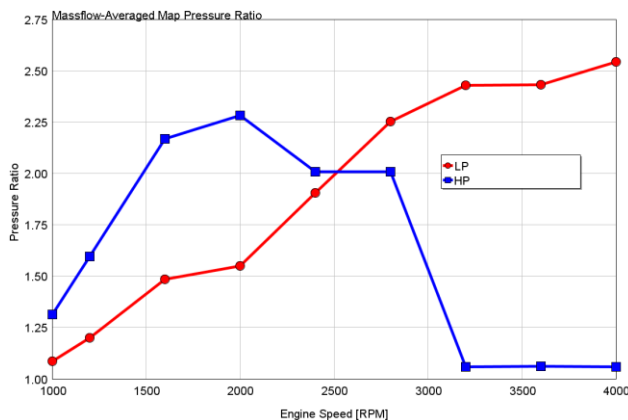
增压器转速



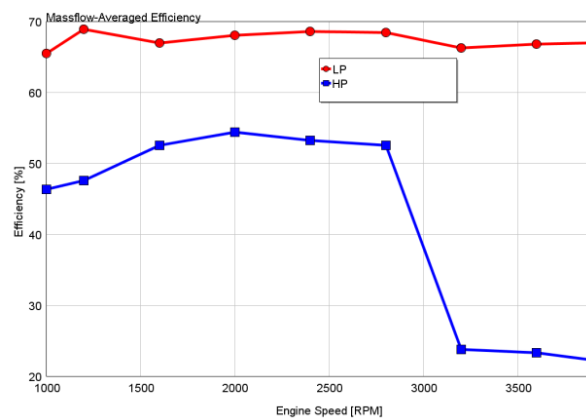
压气机效率



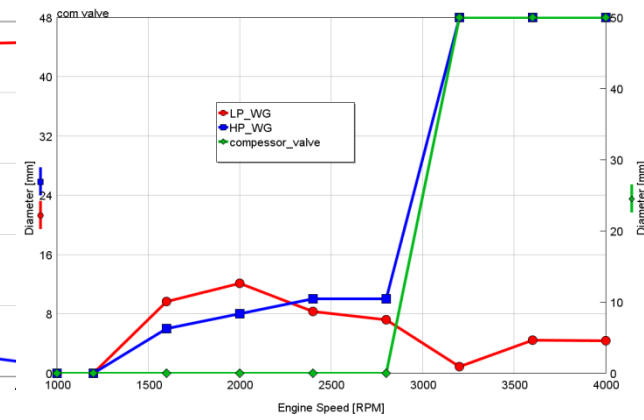
压气机压比



涡轮机膨胀比



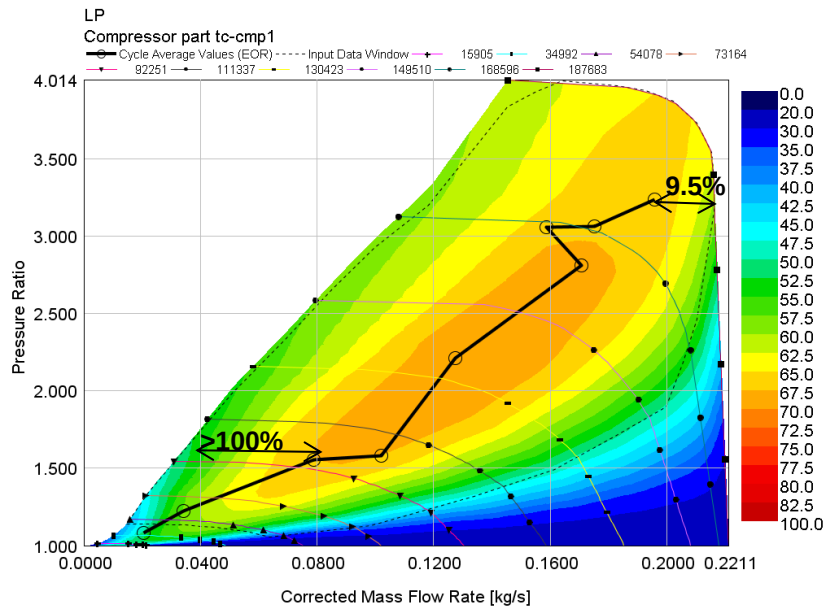
涡轮机效率



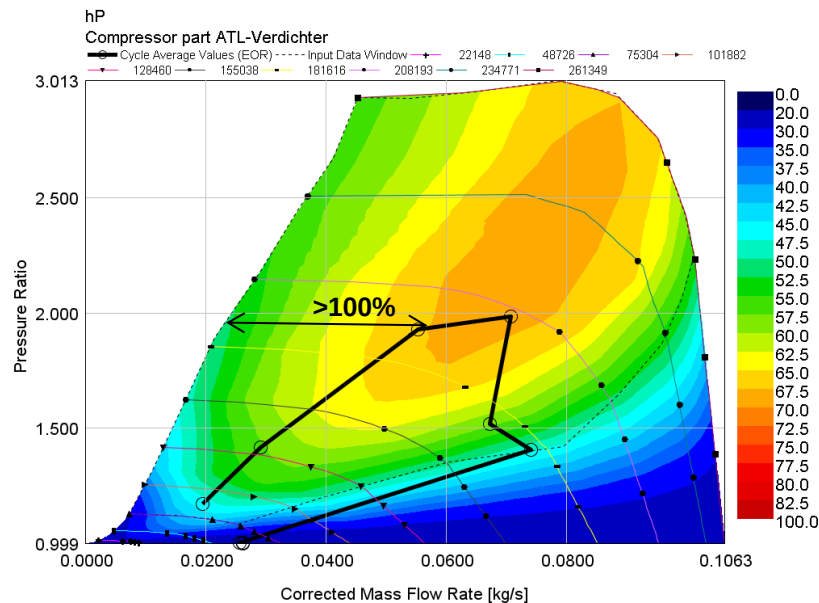
增压器控制策略

三、建模及分析

3.3 外特性性能



低压压气机



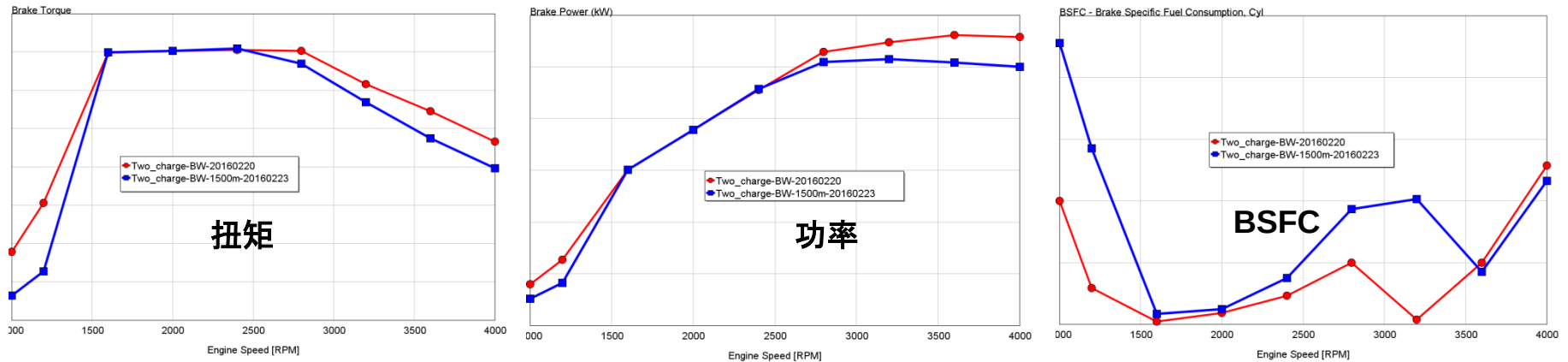
高压压气机

增压器	LP	HP
扭矩开始点喘振裕度%	>100%	>100%
功率点阻塞裕度%	-	9.5%

1、高压压气机在低转速时效率较高，中高转速穿过高效区，低端扭矩点、最大扭矩点喘振裕度和功率点阻塞裕度都很大；

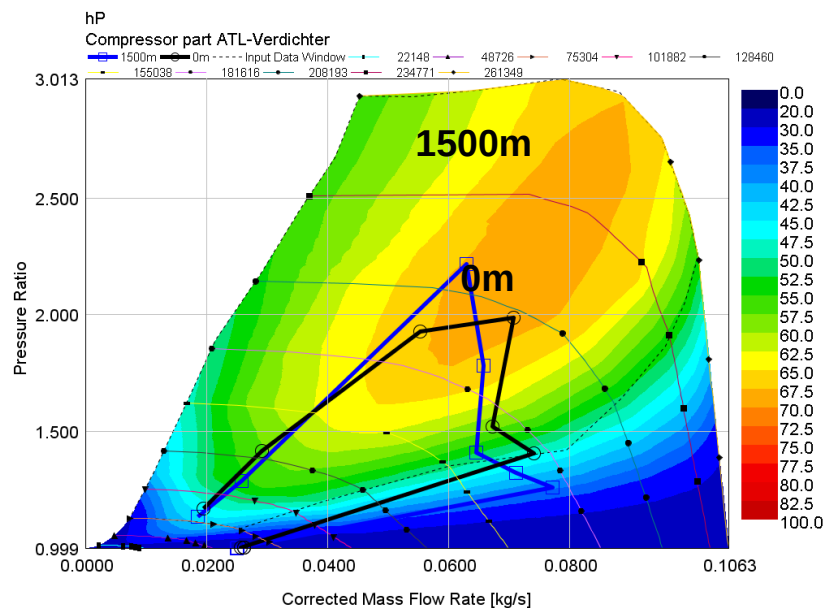
2、低压压气机在中高速穿过高效区，低端扭矩点和最大扭矩点喘振裕度大于100%，功率点阻塞裕度9.5%，

四、整机高原性能

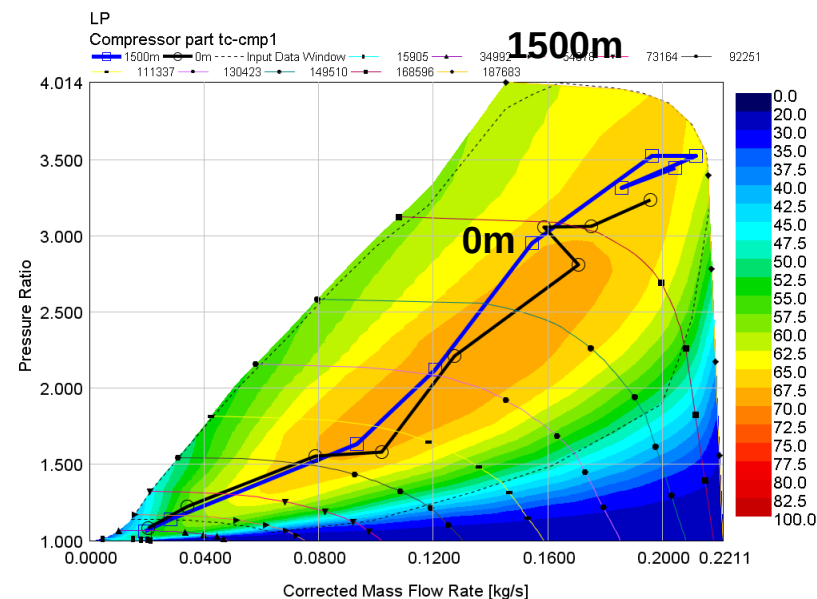


在海拔1500m高度，1600-2800rpm最大扭矩不下降，4000rpm额定功率有下降。

四、整机高原性能



高压压气机

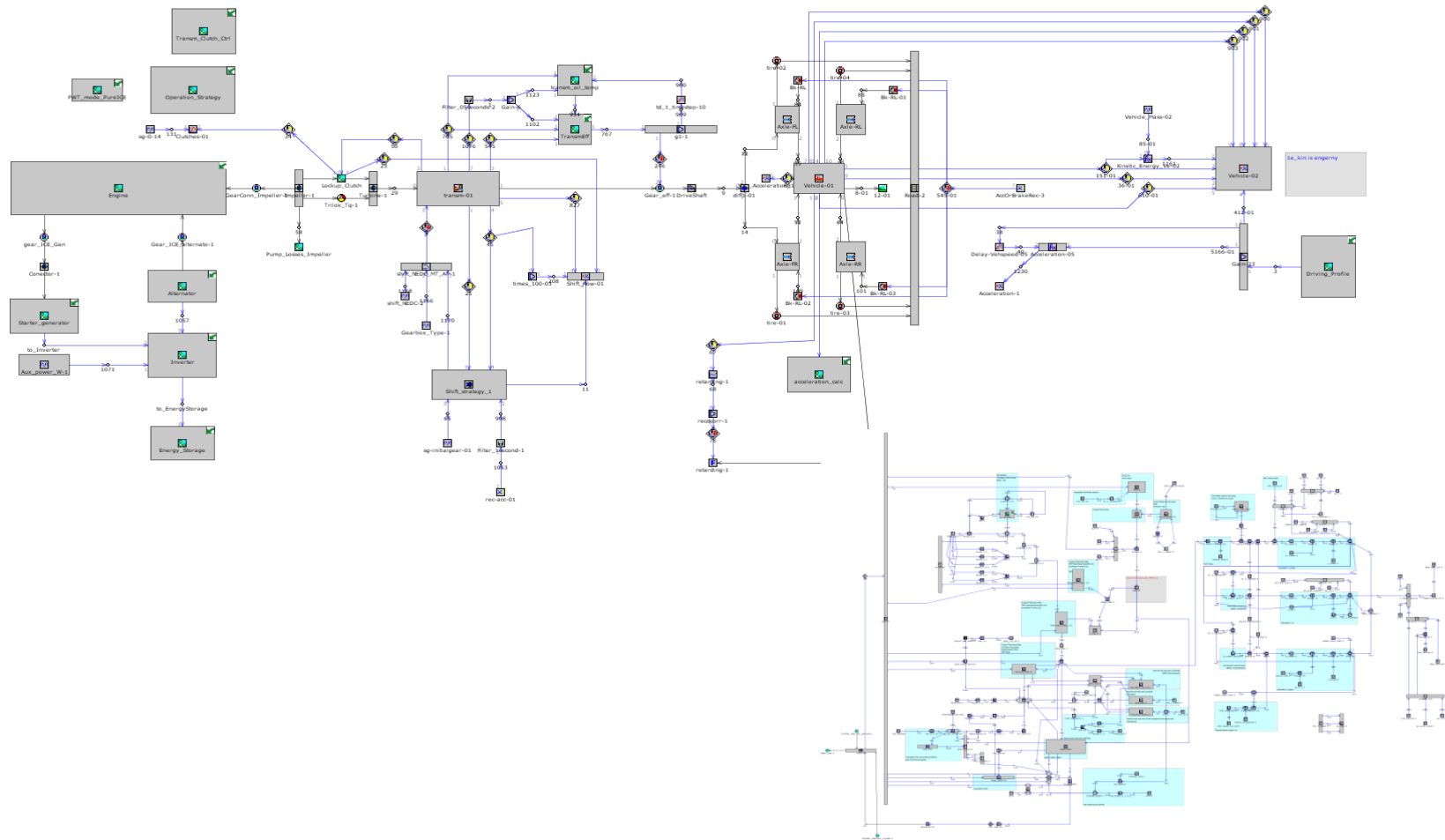


低压压气机

海拔1500m时，额定功率下降，主要因为废气能量不足，涡轮无法提供更高的能量。

五、整车高原能力

5.1 建模



五、整车高原能力

5.1 建模

Total vehicle mass总质量	F_0	F_1	F_2
1805 kg	- N	- N/(km/h)	- N/(km/h) ²

$$f_R = \frac{F_0}{m_{veh, total} * g}$$

$$f_{R, v} = \frac{F_1}{m_{veh, total} * g}$$

$$C_W = \frac{F_2}{0,5 * \rho_{Air} * A} * 3,6^2$$

g	9,81 m/s²
A	2,65 m²
ρ_{Air} ($T_{Air} = 25^\circ C$, $p_{Air} = 1bar$, rel. humidity = 0,5)	1,16141629 kg/m ³

$$F_{Resistance} = m * g * f_R + m * g * f_{R, v} * v + \frac{1}{2} * C_W * A * \rho_{Air} * v^2 = \text{function (mass)}$$

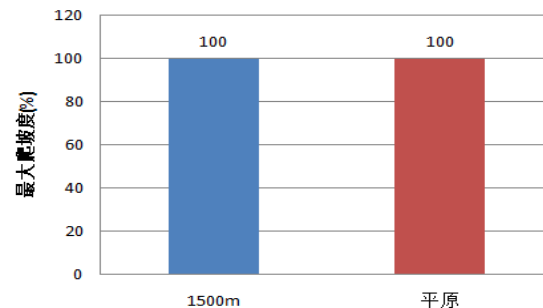
注：在整车高原能力分析时，需使用整车阻力系数，作为输入。



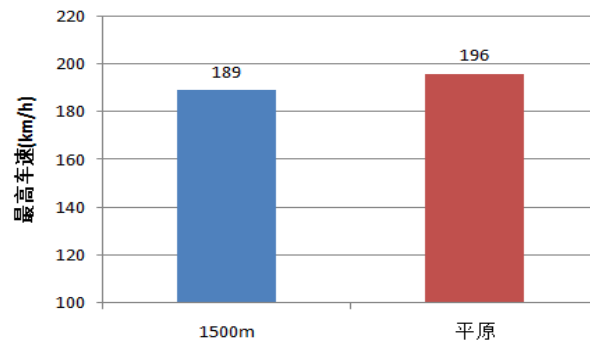
五、整车高原能力

5.2 整车高原能力

整车	某车	
增压器	平原	1500m
变速箱型号	8AT	
Final Drive Ratio [FDR] (-)	4.295	
Engine Displacement (cm3)	1969	
Max. Engine Operating Speed (RPM)	4000	
Tire type	235/55 R18	
Curb Weight (kg)	--	
Payload (kg)	--	
Dyn. Rolling Radius (m)	0.359	
最高车速(满载) Maximum speed(Full load)	196	189
最大爬坡度(%) (满载) Maximum gradeability(full load)	100	100



最大爬坡度



最高车速

1、在高原1500m高度，最大爬坡度为100%，和平原时爬坡度相同；最大爬坡度时，发动机转速为1556rpm，在高原1500m，发动机动力性没有下降，所有最大爬坡度没有变化。

2、在高原1500m高度，最高车速相对平原下降为3.5%；在最高车速时，对应的发动机转速范围为3600-4000rpm，这个范围发动机外特性扭矩相对平原时下降，所以最高车速不同。



六、总结

- 1、进行新技术在热力学分析中的应用分析，要研究新技术在国内外仿真分析的研究现状，热点及难点；
- 2、具体的新技术方案确定时，一定要考虑方案切实可行，成本及时间在可控和可接受范围内；
- 3、对新技术相应的模型部分，要充分反应具体结构，尽可能控制仿真精度；



BORGWARD