



利用正向开发理念、建立正向开发流程， 实现某发动机升级及满足国6排放标准

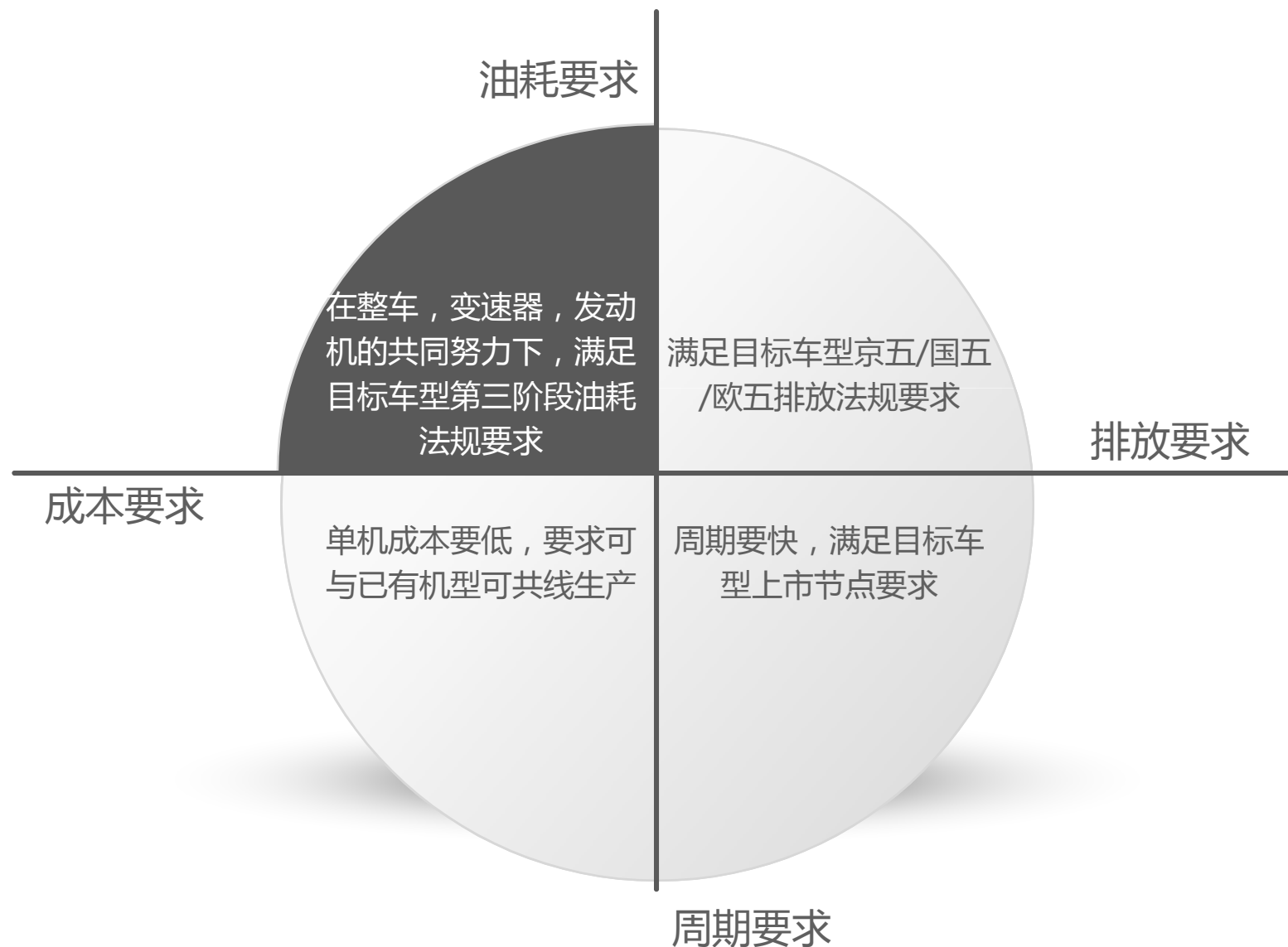
**北京汽车动力总成有限公司
BAIC POWERTRAIN CO.LTD**

黄 华

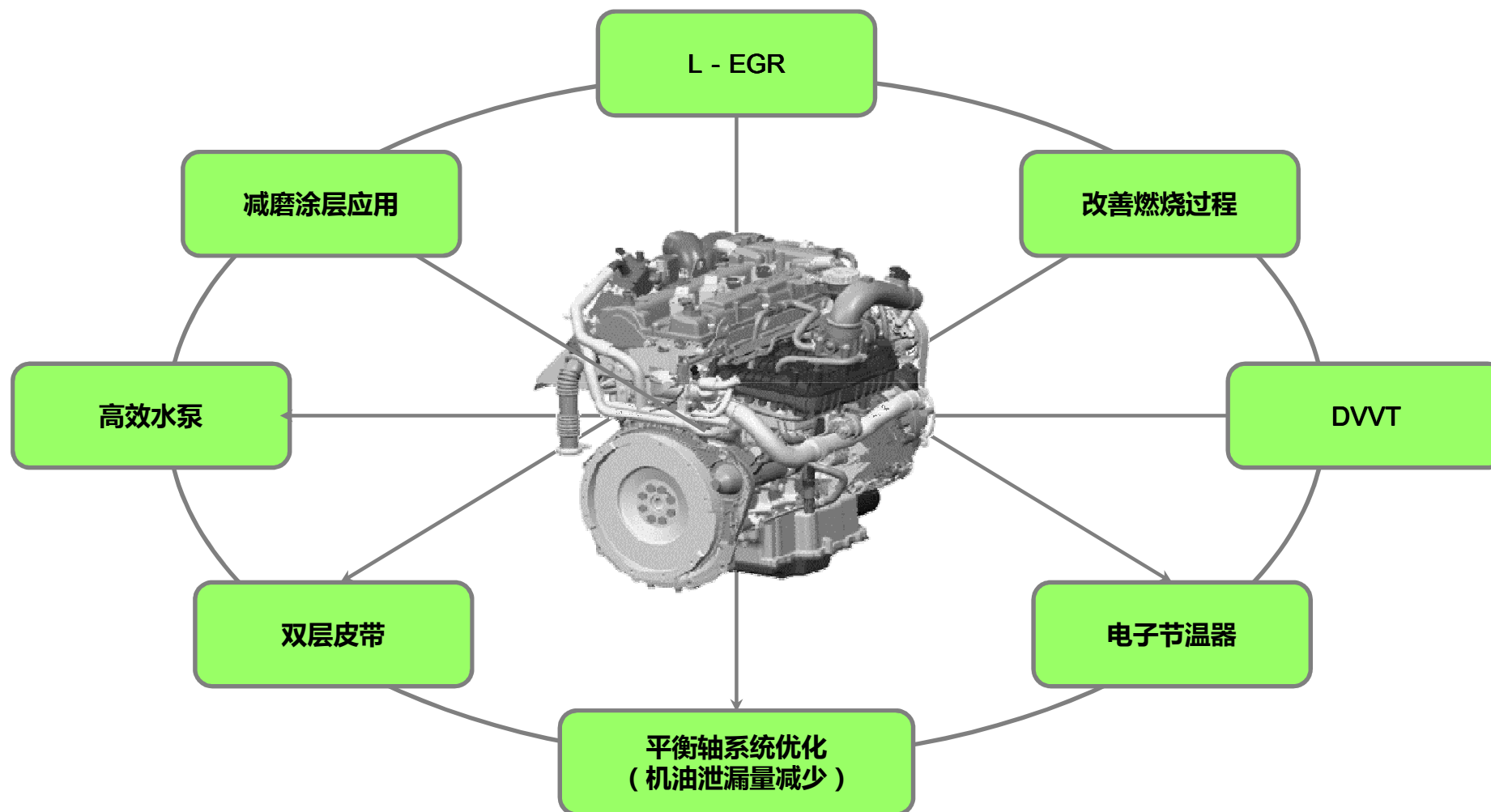
- 1. 项目背景**
- 2. 产品技术路线**
- 3. 气道喷射增压发动机开发结果**
- 4. 针对国6排放的对策**
- 5. 结论**

项目背景

需满足的整车布置要求：



该系列发动机技术改进路线图



世界排放法规认证时间

世界各地乘用车排放法规实施时间(认证时间)									
时间	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
欧洲	欧4			欧5					欧6
北美	Tier2 (bin8)			Tier2 (bin5)					
日本	新长期法规JP05			后新长期法规JP09					
中国/北京	国2	国3		国4		国5			

CO2排放法规建议案实施时间

(对欧盟汽车产业的减排，提出了巨大的挑战；也是对全球汽车产业提出的严重挑战)

欧盟 (2007年12月19日在布鲁塞尔发布)	2012年-2015年，欧盟境内新售乘用车，平均排放量控制在130g/km以下。 即燃油耗：汽油4.6L/100km，柴油4.2L/100km。 目前，英国已有236个车型排放在130g/km以下。
-----------------------------------	---

中国排放法规认证时间

全国范围

新认证车型

+ OBD (M1类汽油车)

+ OBD (其他轻型车)

国2	国3			国4						国5			
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
国2	国3			国4						国5			

在生产车型

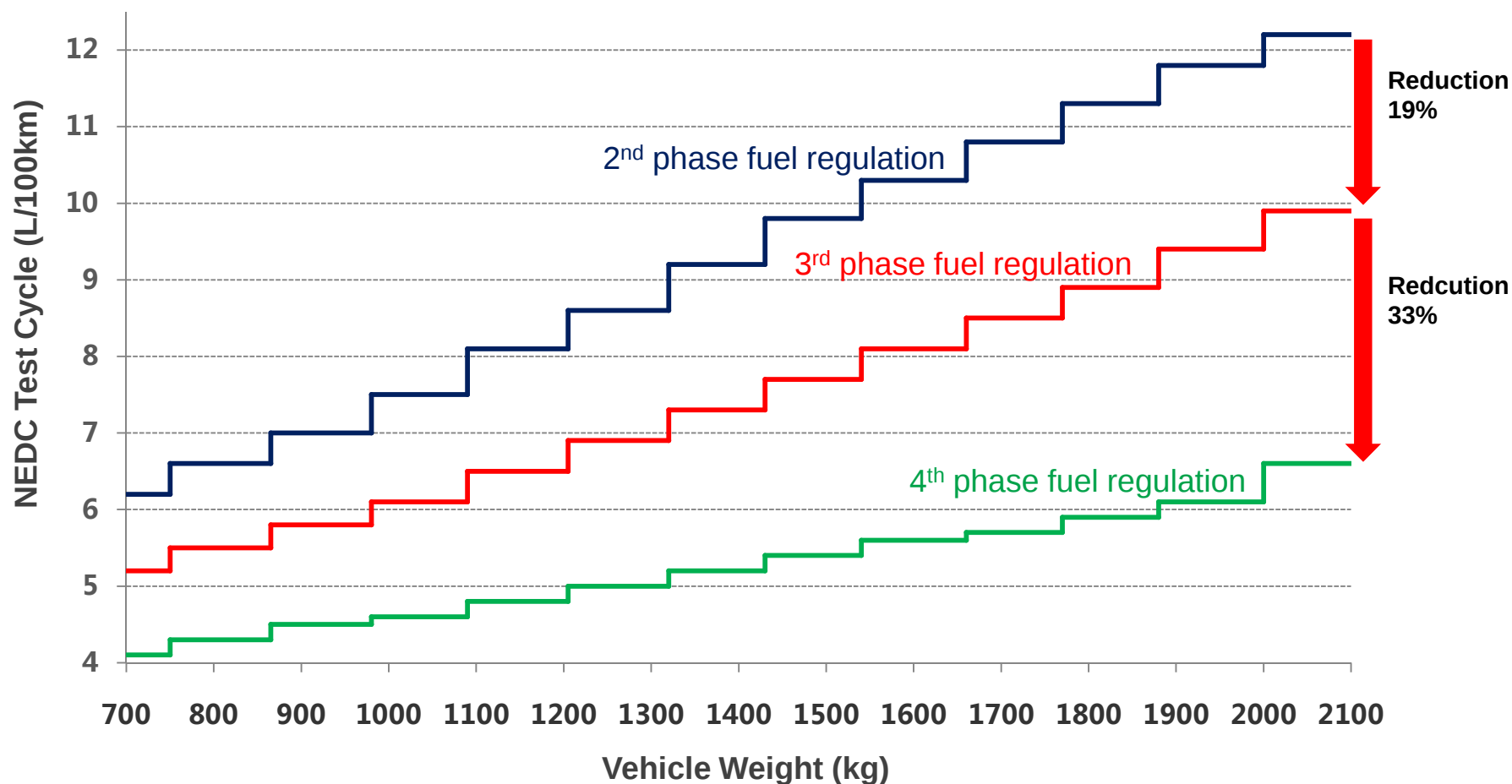
+ OBD (其他轻型车)

+ OBD (M1类汽油车)

地区	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
北京	京5			国6（ 待定 ）				
上海	国4	国5			国6（ 待定 ）			
广州								
深圳								
全国	国4					国5		

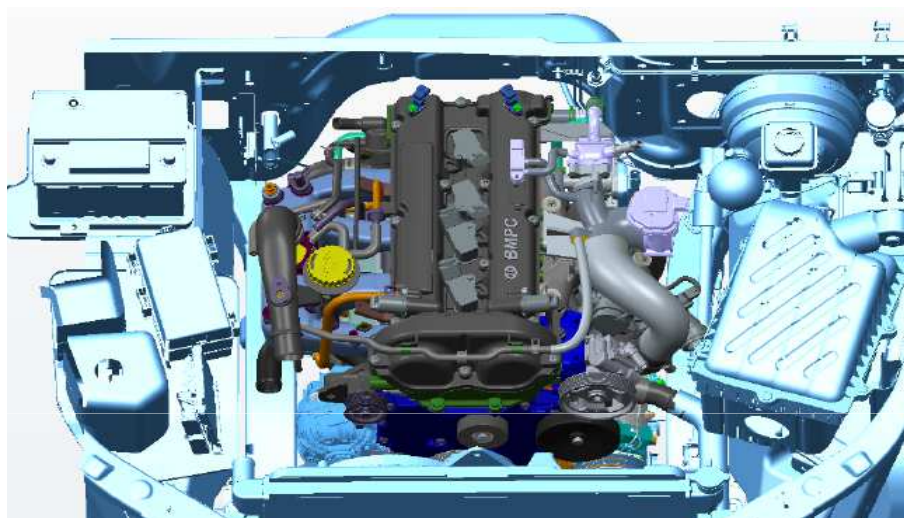
二阶段、三阶段、四阶段的油耗法规：

油耗规定：由2009年的二阶段到2015年的三阶段，油耗减少20%，在2020年的四阶段还要减少33%。在这样的压力下，每个阶段要实现降低接近30%的发动机油耗的技术升级。



产品技术路线

满足整车机舱布置



正向开发理念

- 采用正向开发发动机的理念，敢于开发、使用世界领先技术（低压EGR系统、优化燃烧过程、高效水泵、滚针轴承等等）。其中高效水泵是我公司在中国首次开发，低压EGR系统在中国为首次使用。
- 降低燃油消耗率和改善发动机性能目标的技术路线的分解，落实主要系统和部件降低比例分配和得失（成本、工艺、开发周期等等），选用合理的降低油耗的手段和措施。
- 充分分析了解各项降低油耗和改善发动机性能的手段和措施对发动机工作状态的影响（某项单独作用、多项同时作用、发动机不同的工作循环等等）。
- 利用CAE时间短、成本低、结果准确、原因清楚的特点，充分分析各项降低油耗和改善发动机性能目标的手段和措施，在CAE计算可以满足开发目标的基础上，落实各项技术手段和措施。

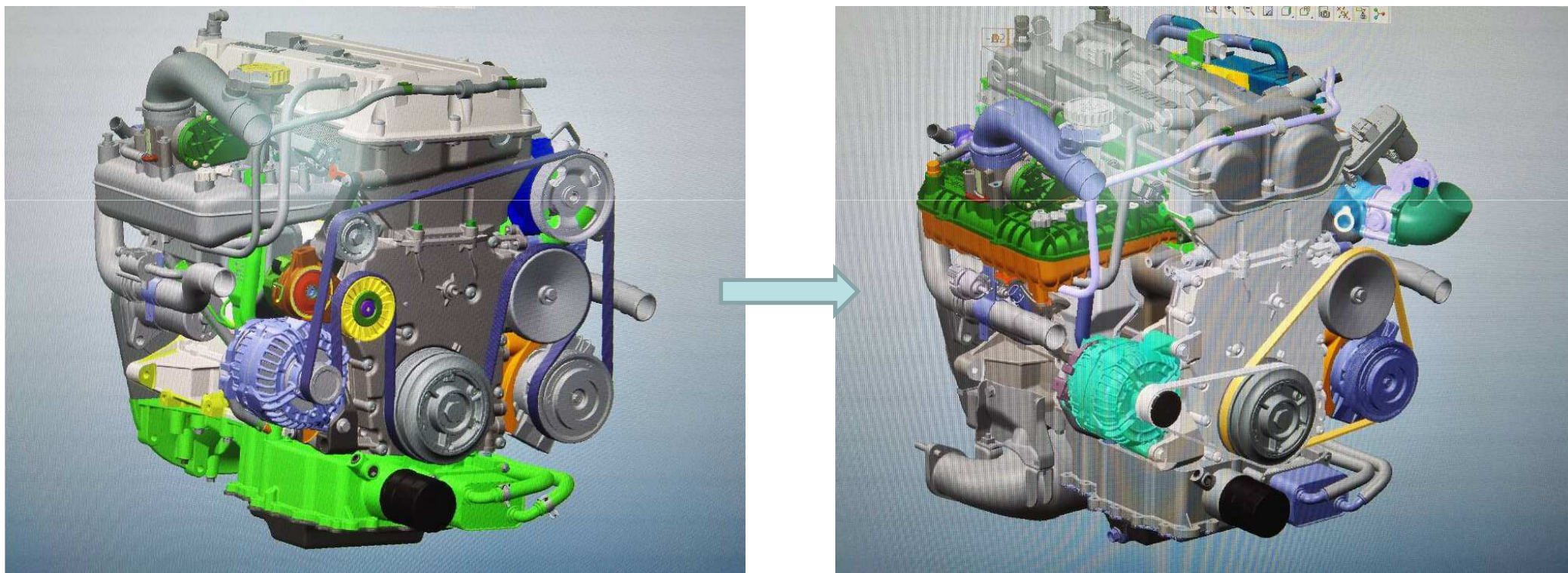
升级发动机油耗改进技术方案

降油耗方案	降油耗比例
L-EGR+DVVT	5~6%
水泵效率提高至60%	0.7%
平衡轴滚动轴承	0.5%
电子节温器	0.5~1.0%
凸轮轴中空减重+挺住采用DLC涂层	0.5~1.0%
燃烧过程优化	1.0%
活塞、连杆、曲轴、活塞环减摩	1.5~2%
轮系双层皮带减摩擦	
总计	9.7~12.2%
S-S 起动机	2-3%

综合估计：升级发动机的油耗改善比例为9.7~12.2%左右（不含S-S起动机），本报告主要分析升级发动机经济性目标。

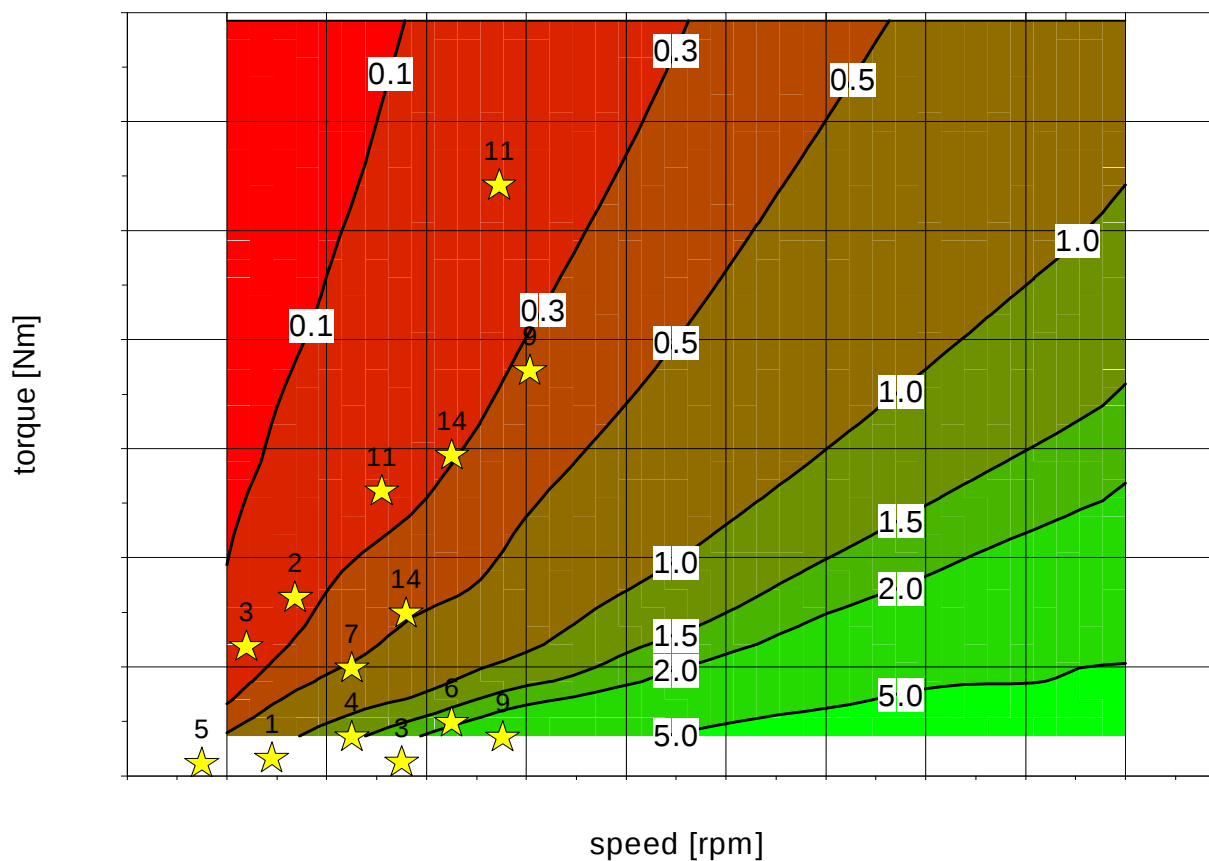
轮系减摩擦分析

- 图为基础发动机与升级机型的前端轮系对比图。皮带的有效接触长度由2029mm减少为1634mm，可以有效地降低摩擦。



水泵效率提高对油耗影响

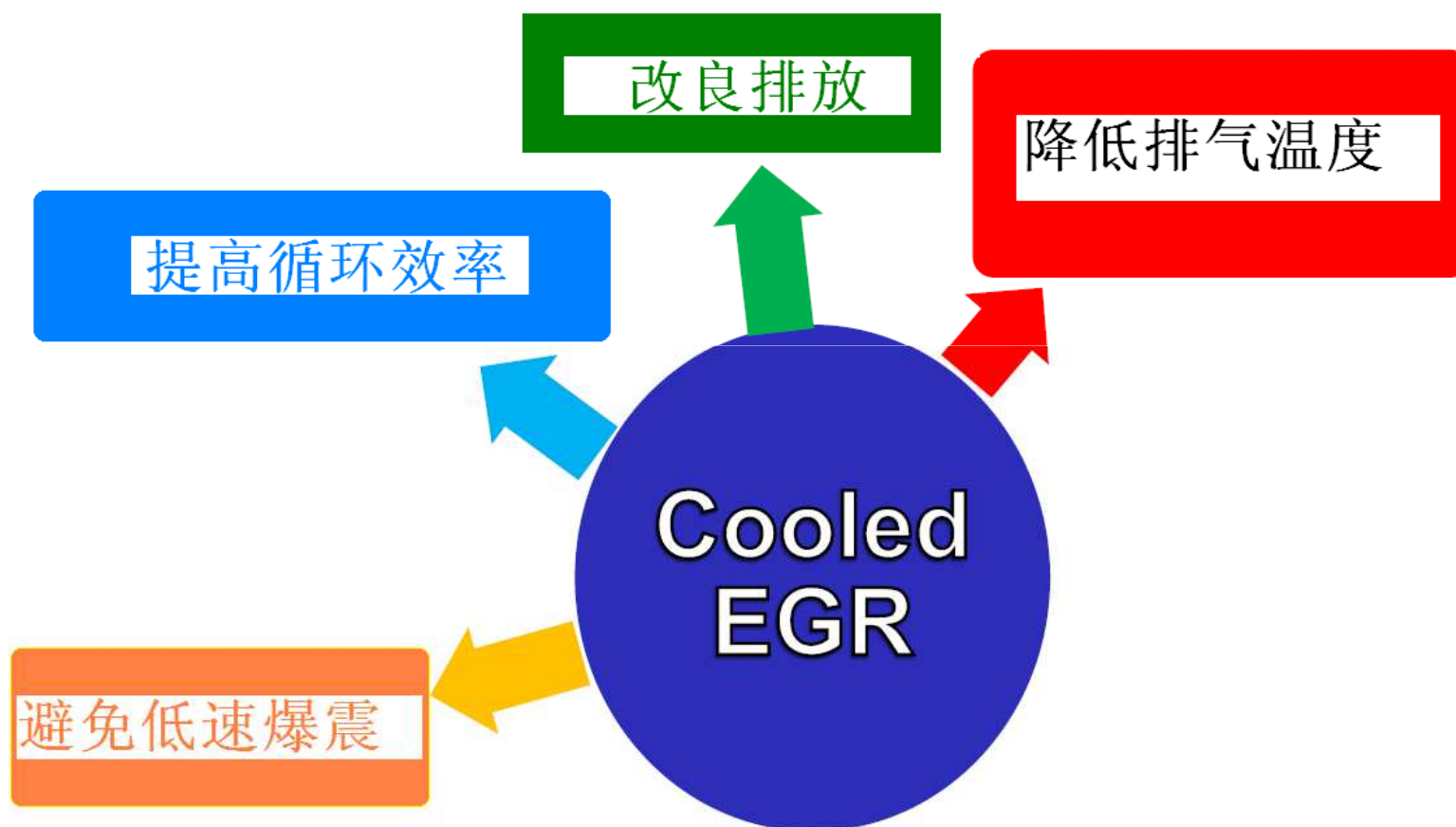
下图为水泵效率由30%提高至60%后对油耗的影响MAP图。综合考虑，整机油耗可降低0.7%。



电子节温器对油耗影响

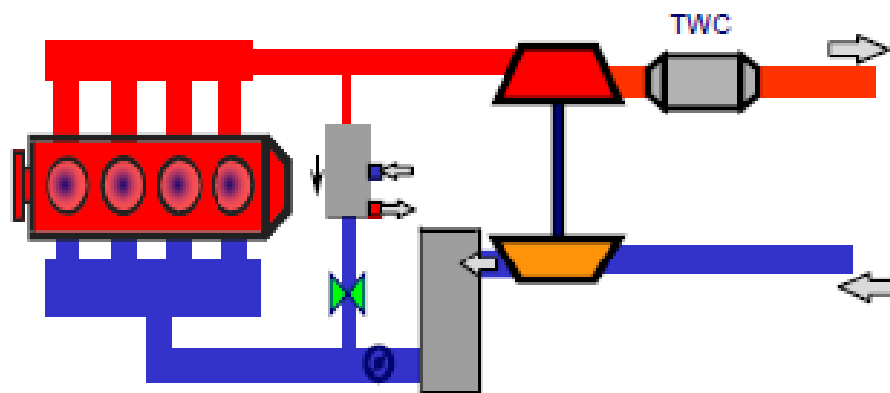
- 与机械节温器对比，安装电子节温器的车辆发动机水温明显处于更合理的工作范围内，有助于降低发动机油耗。

LP-EGR系统

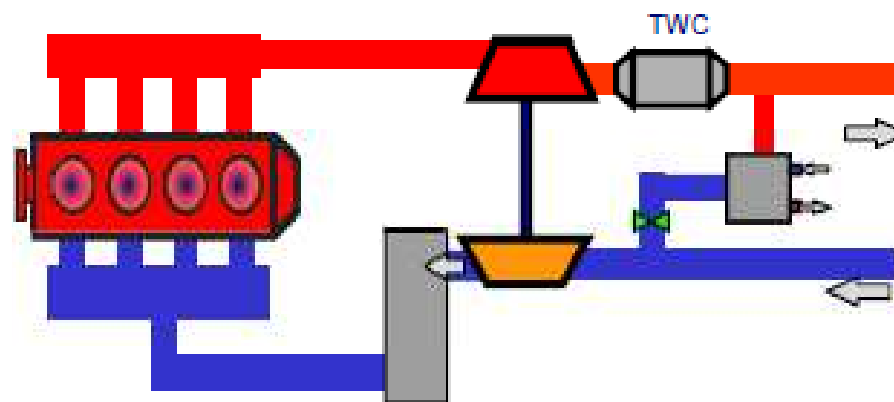


汽油机中的 HP-EGR 与 LP-EGR

High pressure EGR



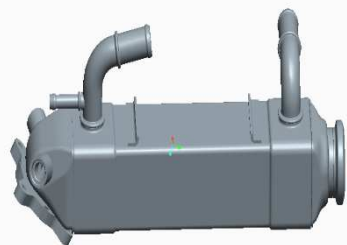
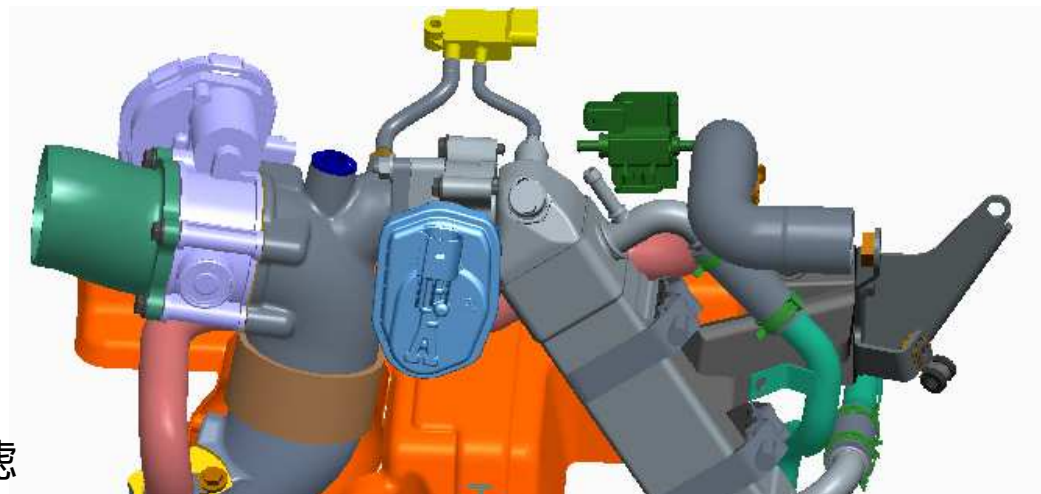
Low pressure EGR



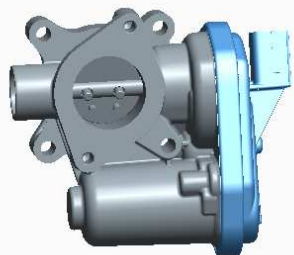
NO.	System	HP-EGR	LP-EGR
1	EGR Rate	Worse	Better
2	EGR mixing and distribution	Worse	Better
3	EGR transient response	Better	Worse
4	Fouling CAC & Compressor	Better	Worse
5	Turbo transient response	Worse	Better

EGR系统及包装组件

- 实现了LP-EGR，EGR取气在催化器之后；
- EGR冷却器倾斜设置，避免了冷凝水的风险；
- EGR过滤器安装于EGR冷却器出口，用于过滤排气颗粒，保护压气机。

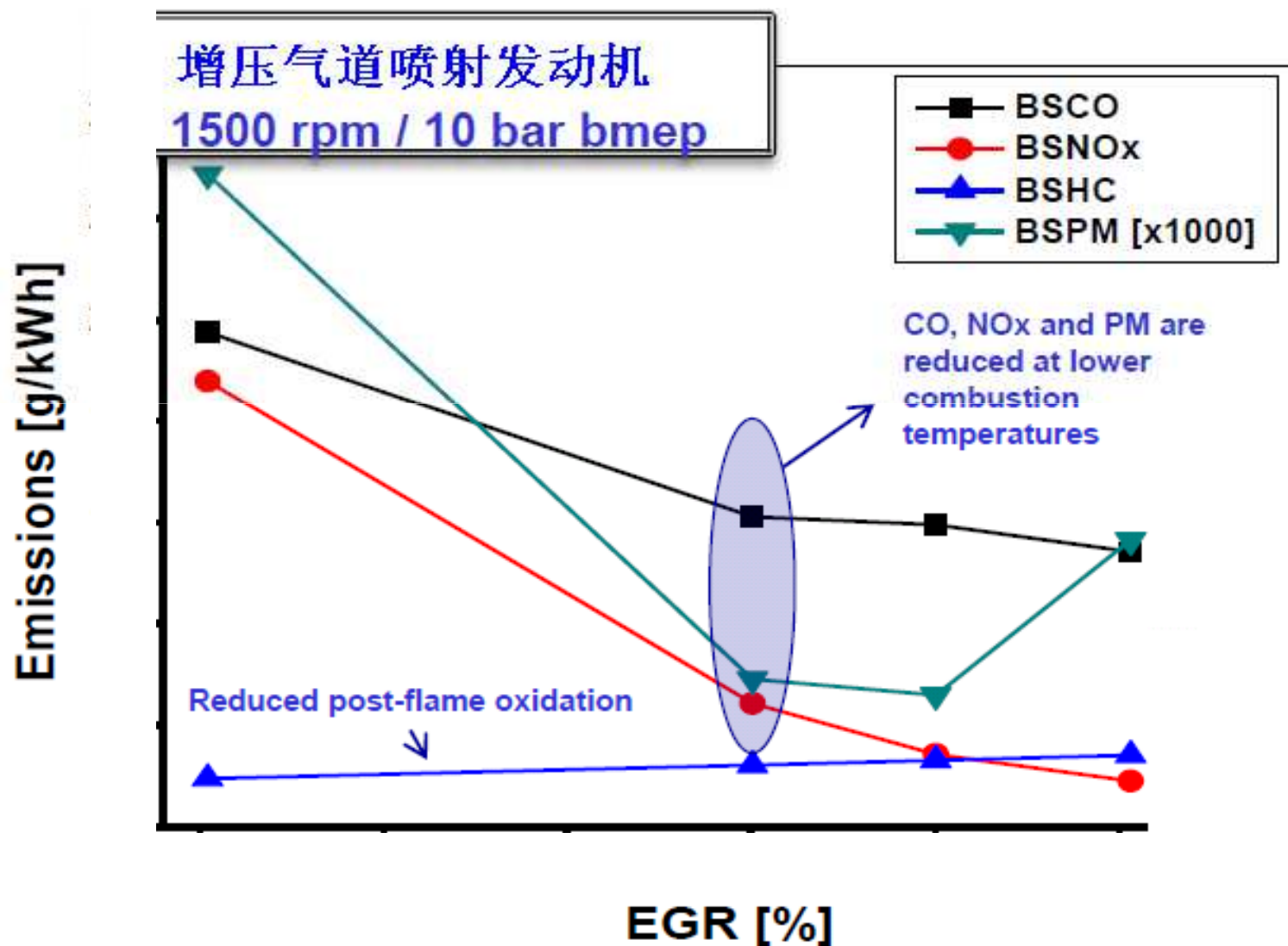


EGR mass flow	EGR Inlet Temp.	EGR outlet Temp.	Cooler pressure drop	EGR flow inlet temp.	EGR cooling efficient
120kg/h	700℃	125℃	Max 10kpa	90-95℃	Min90%

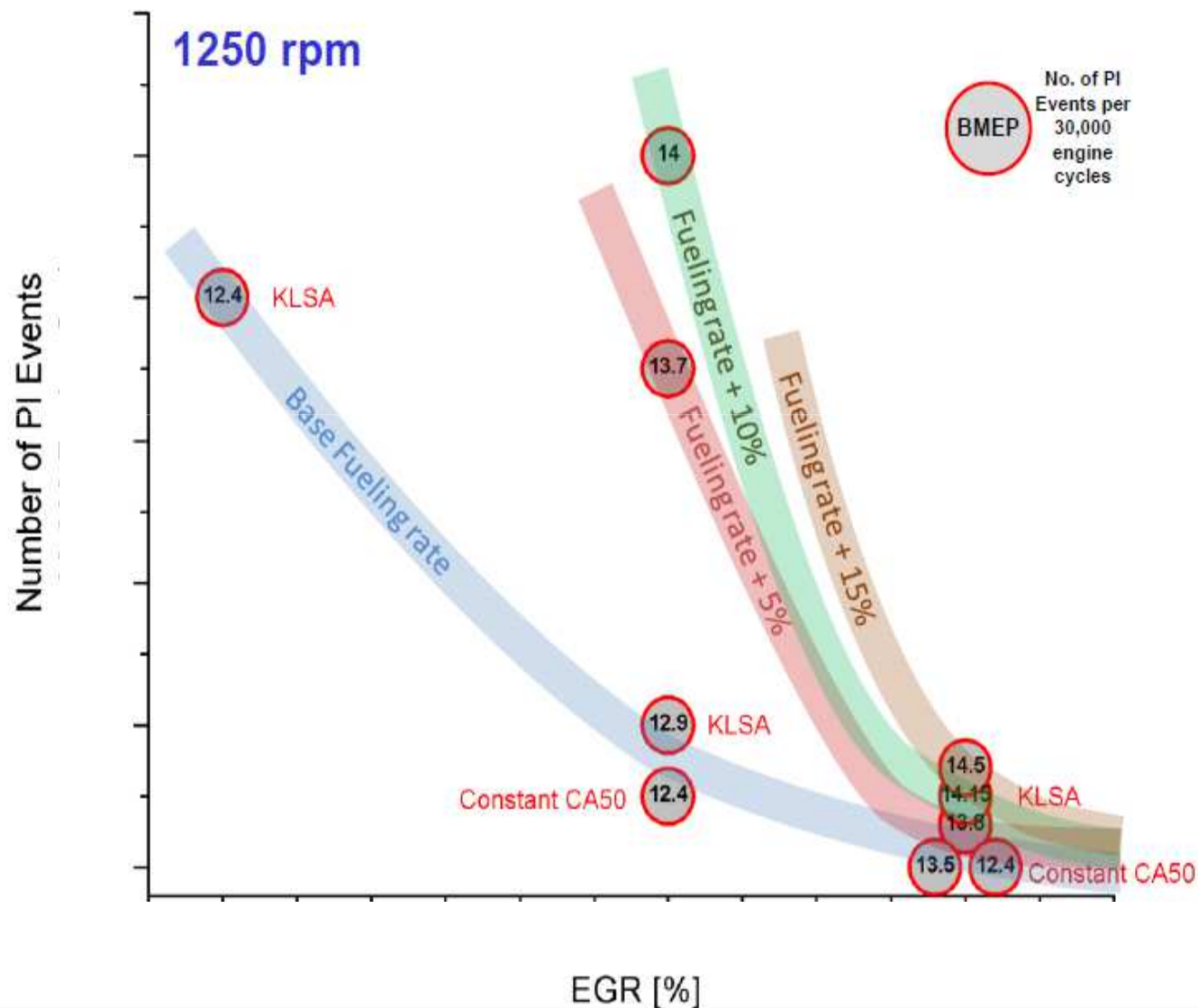


Items	Response Time	Working Temp.	Full mass Flow	Max. Temp.	Diameter
Data	< 100 msec	-40~140℃	120 kg/h @ 50mbar	250℃	32mm

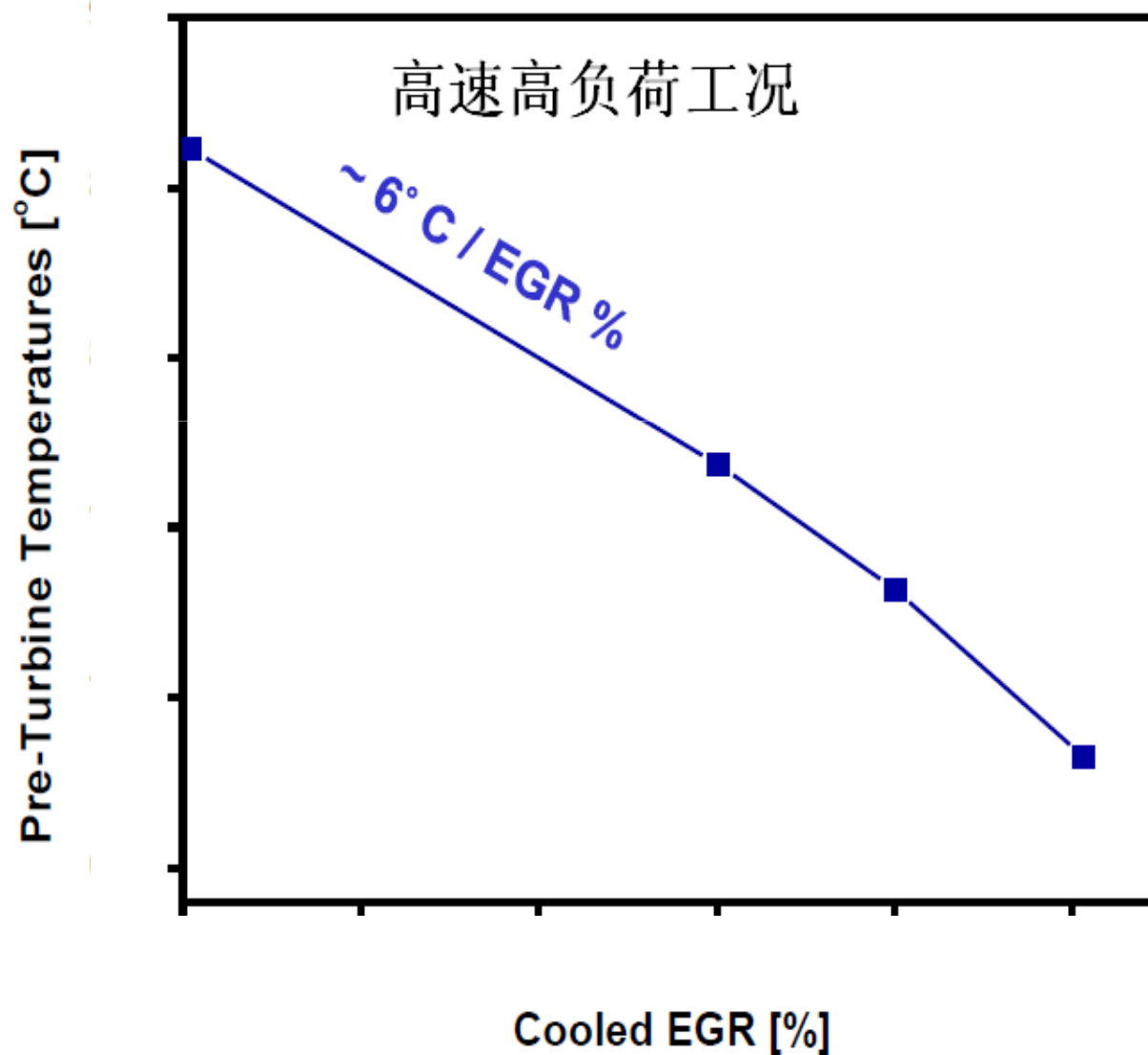
改良排放



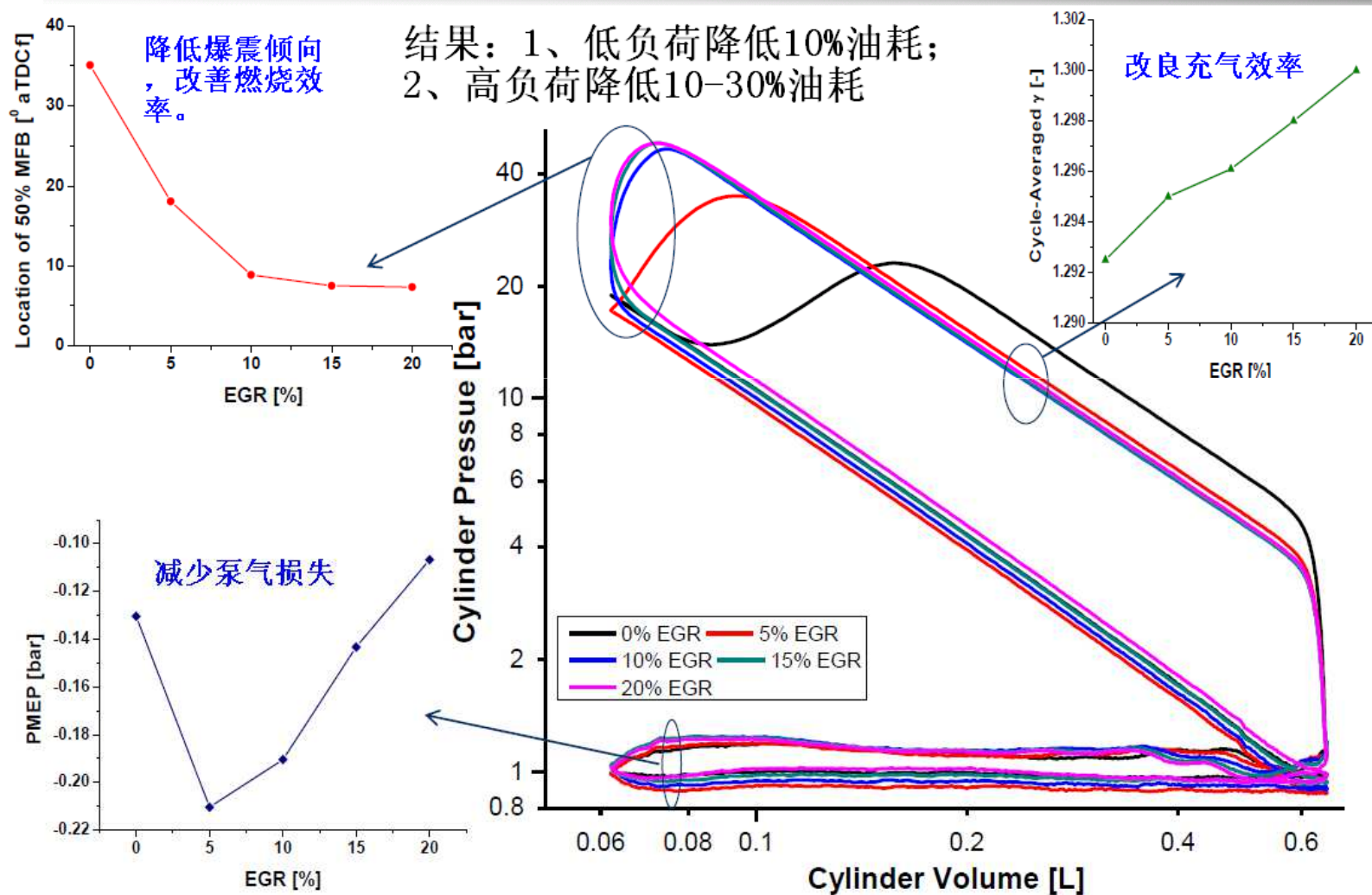
有效避免低速爆震



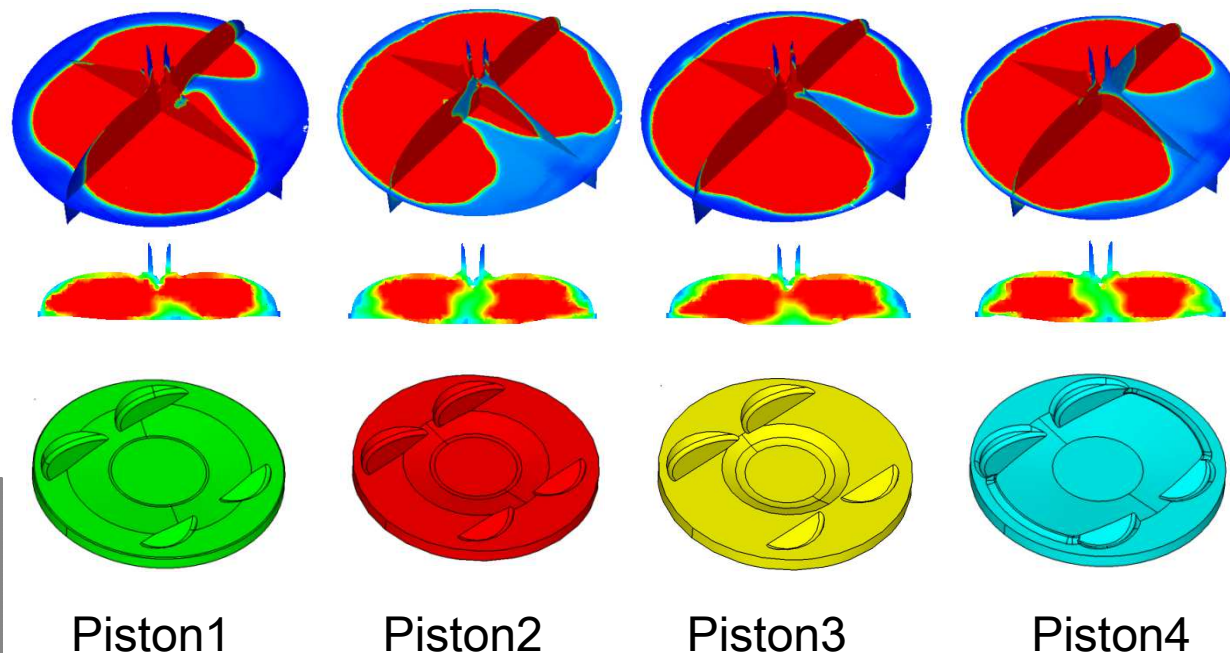
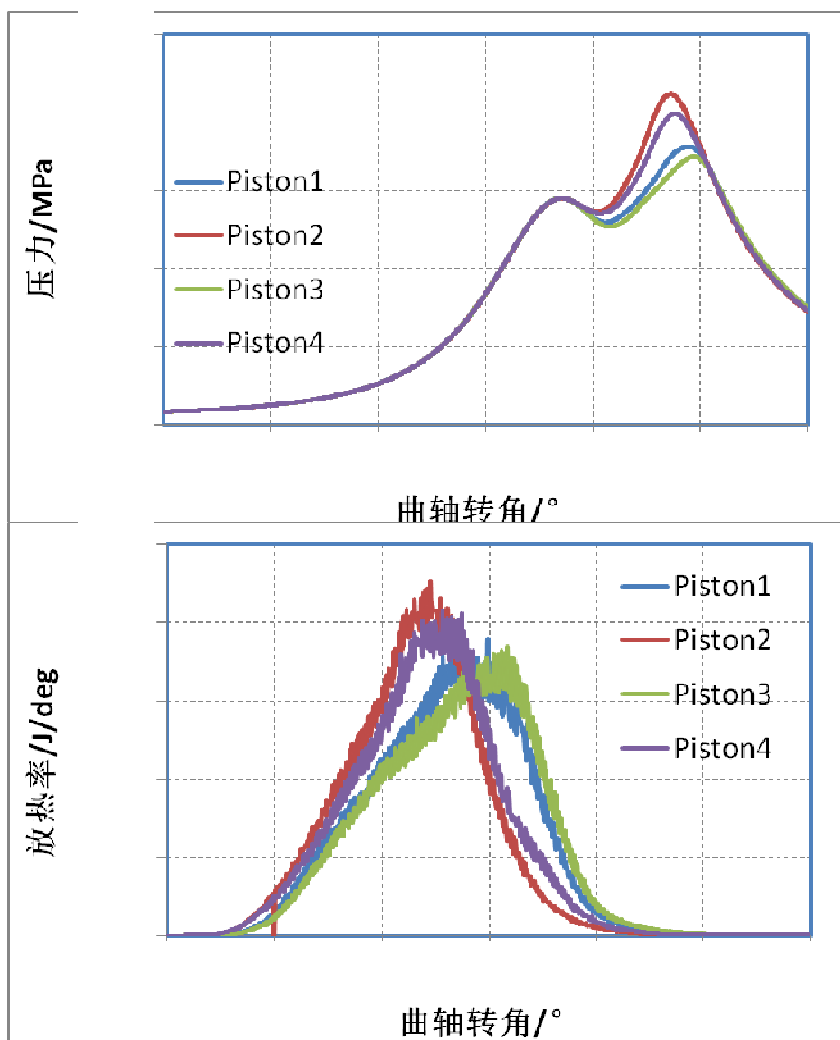
降低排气温度



提高循环效率



改善燃烧过程及增加压缩比（ $CR=11$ ），油耗最大改善1.0~1.5%



湍动能分析：在点火时刻附近

Piston1≈Piston3>Piston2 ≈Piston4

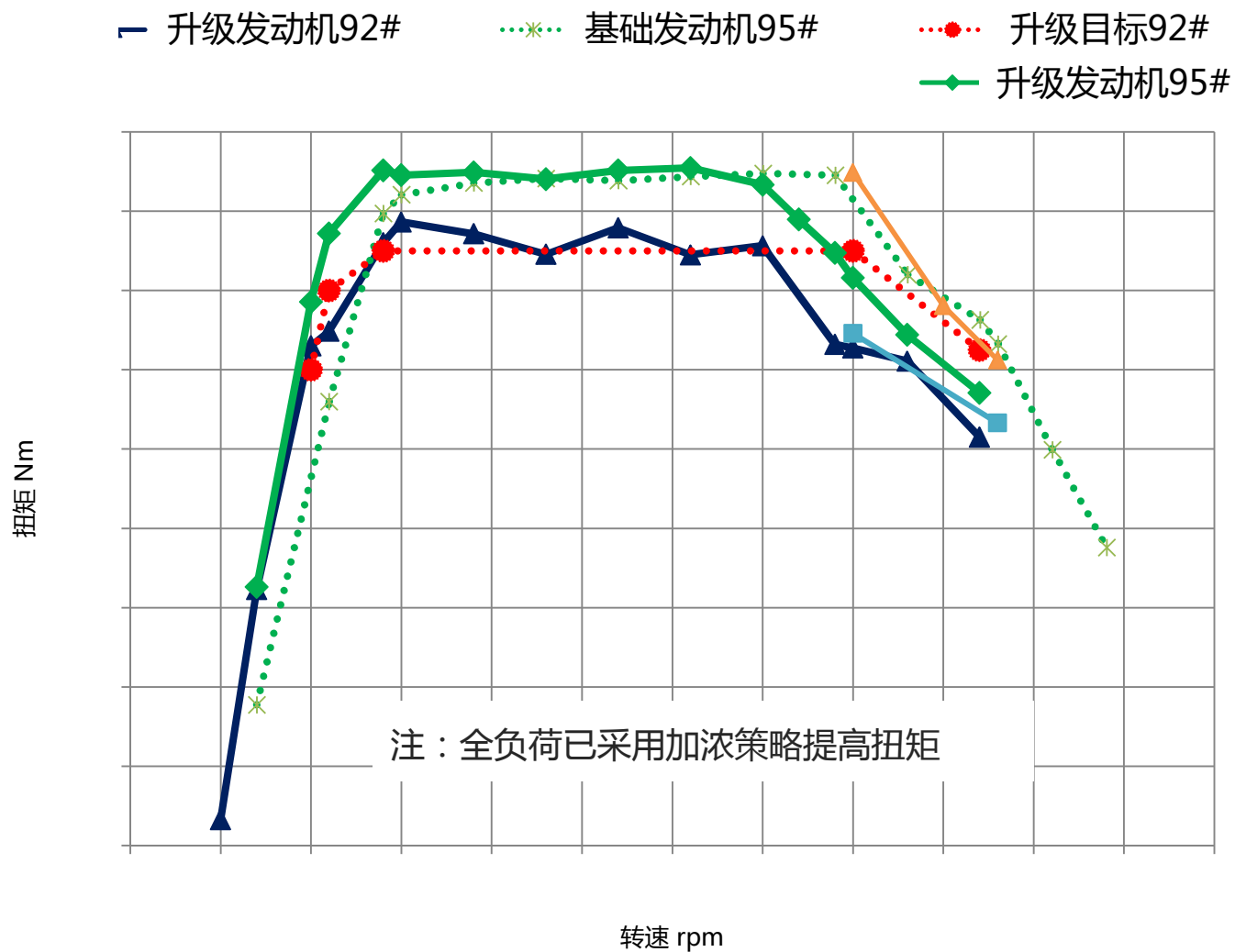
火焰传播：Piston2活塞方案的火焰传播最快且较均匀，其次是Piston4，Piston1和Piston3较慢

双VVT：中低速区域的力矩增大10%以上（实现良好驾驶性能）；怠速时降低发动机转速变动幅度，油耗最大改善4.8%。

运行状态	VVT的动作与效果
怠速时	减小气门重叠，防止气流向进气侧回流。 保证怠速稳定
轻负载区	减小气门重叠。 确保发动机的安定性
中负载区	增大气门重叠，降低泵气损失,提高内部EGR率。 降低油耗，减小NOxHC
高负载 中转速区	加快进气气门关闭时机，提高体积效率。 提高低中速力矩
高负载 高转速区	减缓进气气门关闭时机，提高体积效率。 提高最高输出功率
低温时	气门重叠将为最小，防止气流向进气侧回流。 降低油耗，保证怠速稳定
启动时	气门重叠将为最小，防止气流向进气侧回流。 提高启动性

升级发动机开发结果

升级发动机在95#燃油的开发结果



部分负荷油耗目标及开发结果

试验工况	单位	基础发动机	升级发动机			
			目标值	CR11 92#	CR10 92#	CR10 95#
5200rpmWOT	kW	170	166	147	154	160.2
1900-4500rpmWOT	Nm	350	330	321@3200rpm 326@3600rpm 308@4400rpm	350@1900~4000/ 306.4@4500rpm	350@1900~4000/ 323@4500rpm
1500rpm@3.5bar	g/kWh	305.4	285	282.3	283.4	282.9
2000rpm@2bar	g/kWh	385.7	360	343.9	358	357.2
2000rpm@5bar	g/kWh	278.1	252	254.2	257.8	255.3
3000rpm@3bar	g/kWh	339.9	323	313.8	314.2	311.3
3000rpm@11bar	g/kWh	267.7	230	229	229.5	229
万有最低油耗率	g/kWh	248.0	220	221.4	223.7	221.8

部分负荷油耗目标及开发结果

试验工况	单位	基础发动机	升级发动机			
			目标值	CR11 92#	CR10 92#	CR10 95#
5200rpmWOT	kW	170	166	147	154	160.2
1900-4500rpmWOT	Nm	350	330	321@3200rpm 326@3600rpm 308@4400rpm	350@1900~4000/ 306.4@4500rpm	350@1900~4000/ 323@4500rpm
1500rpm@3.5bar	g/kWh	305.4	285	7.56%	7.20%	7.37%
2000rpm@2bar	g/kWh	385.7	360	10.84%	7.18%	7.39%
2000rpm@5bar	g/kWh	278.1	252	8.59%	7.29%	8.19%
3000rpm@3bar	g/kWh	339.9	323	7.68%	7.56%	8.42%
3000rpm@11bar	g/kWh	267.7	230	14.46%	14.27%	14.46%
万有最低油耗率	g/kWh	248.0	220	10.73%	9.81%	10.57%

针对国6排放的对策

- ❖ 气道喷射采用18孔喷油器
- ❖ 点火系统130mJ点火能量
- ❖ 增加二次空气喷射技术
- ❖ 曲轴箱强制通风结构，实现豁免
- ❖ 耐高温增压器的使用
- ❖ 催化器贵金属配比和涂覆优化，增加目数
- ❖ 现有增压发动机脱附管路是一路真空源，无法保证在任何工况下都有真空源，需发动机进行更改，提供第二条脱附通道。
- ❖ 排气后处理系统增加颗粒捕捉器GPF

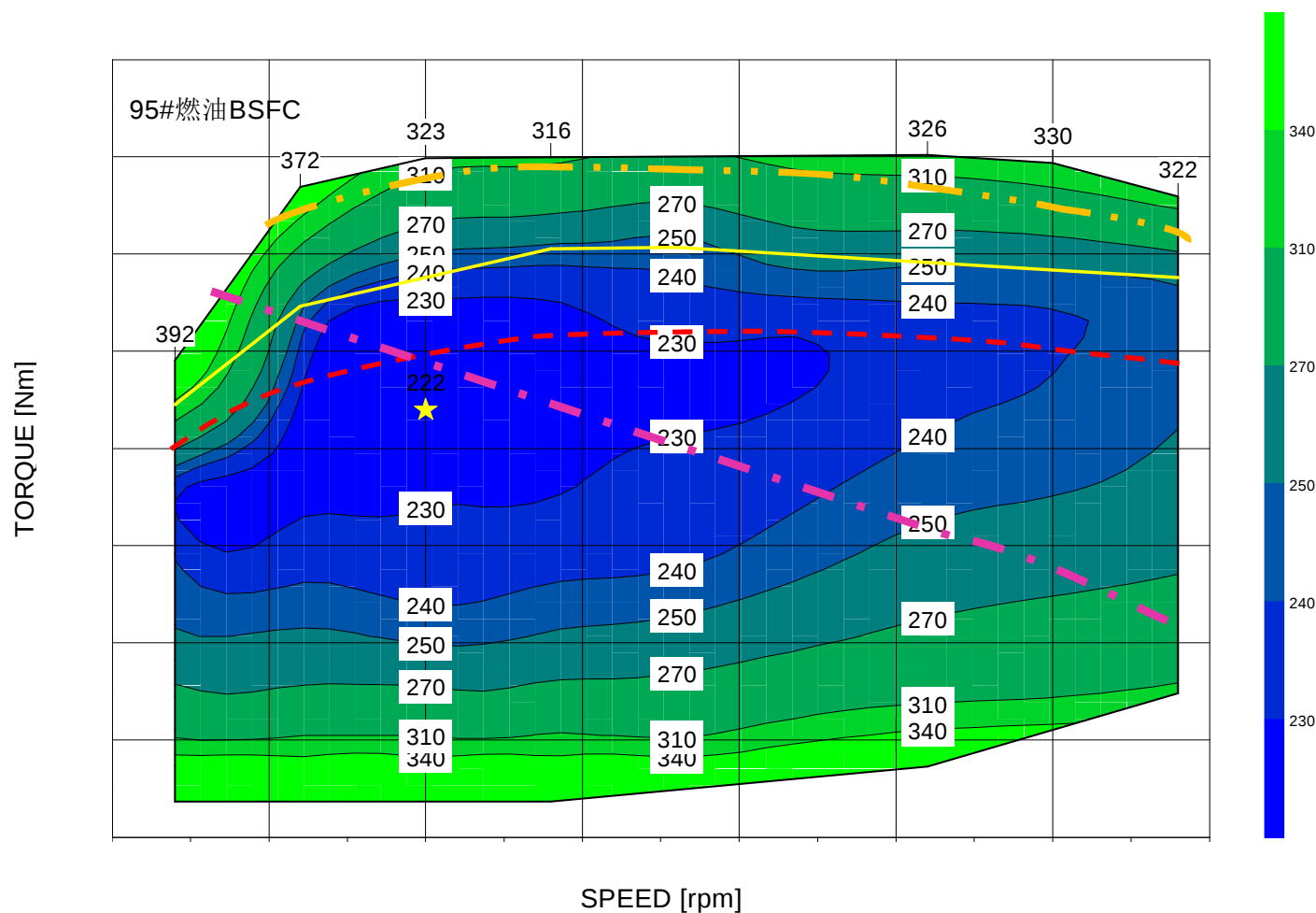
耐高温增压器的使用，减少加浓区间

— · — · — 升级：95#高温增压器加浓线

—— 升级：95#燃油加浓线

- - - 基础：95#燃油加浓线

- - - 升级：92#燃油加浓线



耐高温增压器的使用，减少加浓区间

LAMBDA调整对比：由于排温限值升高，1050℃排温下的燃油加浓区域大幅减小，加浓程度也相应降低，具体对比如下：

BMEP		0.94	0.89	0.85	0.82			
		0.98	0.95	0.92	0.94	0.80		
		1	1	1	1	0.94	0.80	0.82
						1	0.91	0.85
						1	0.96	0.91
							0.99	0.97
							1	1
950℃	SPEED							

BMEP		1	1	1	0.97			
		1	1	1	1	0.95		
		1	1	1	1	1	0.95	0.95
						1	1	1
						1	1	1
							1	1
							1	1
1050℃	SPEED							

耐高温增压器的使用，减少加浓区间 计算结果对比-涡前排温

BMEP		926	923	923	925			
		921	922	924	923	922		
		890	904	914	900	921	920	922
						919	924	922
						897	919	924
							926	927
							910	905
950°C	SPEED							

BMEP		959	983	1011	1022			
		927	944	969	956	1020		
		890	904	914	900	950	1019	1020
						919	976	1012
						897	940	971
							926	937
							910	905
1050°C	SPEED							

气道喷射采用18孔喷油器及点火系统130mJ点火能量：

优化喷雾，改善燃烧，加大点火能量，保证燃烧稳定性，减少加浓，减少颗粒物排放。

增加二次空气喷射技术：

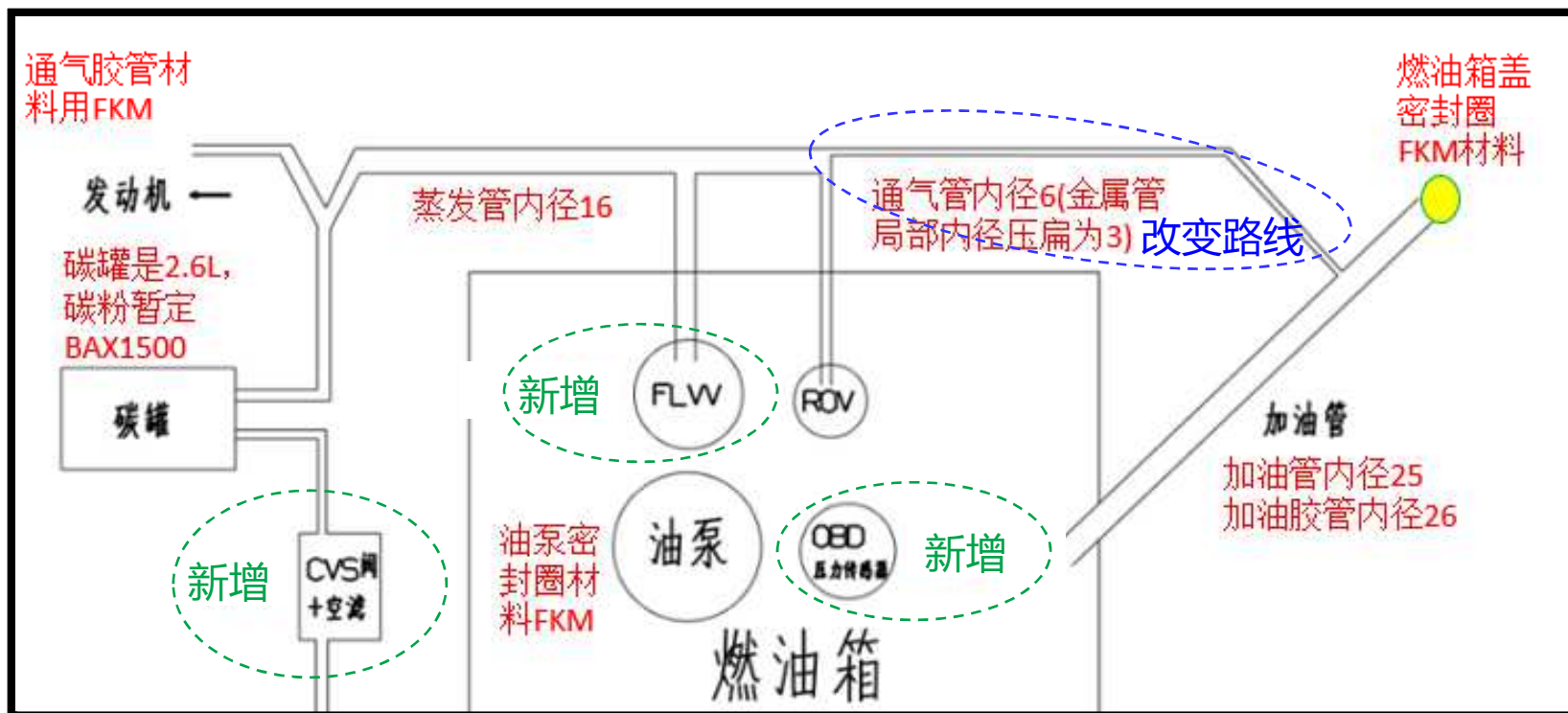
减少冷启动时混合气加浓对排放的影响，减少颗粒物排放。

内置曲轴箱强制通风结构，实现豁免

催化剂贵金属配比和涂覆优化，增加目数

优化催化剂性能，保证后处理效果，减少颗粒物排放。

现有增压发动机脱附管路是一路真空源，无法保证在任何工况下都有真空源，提供第二条脱附通道：



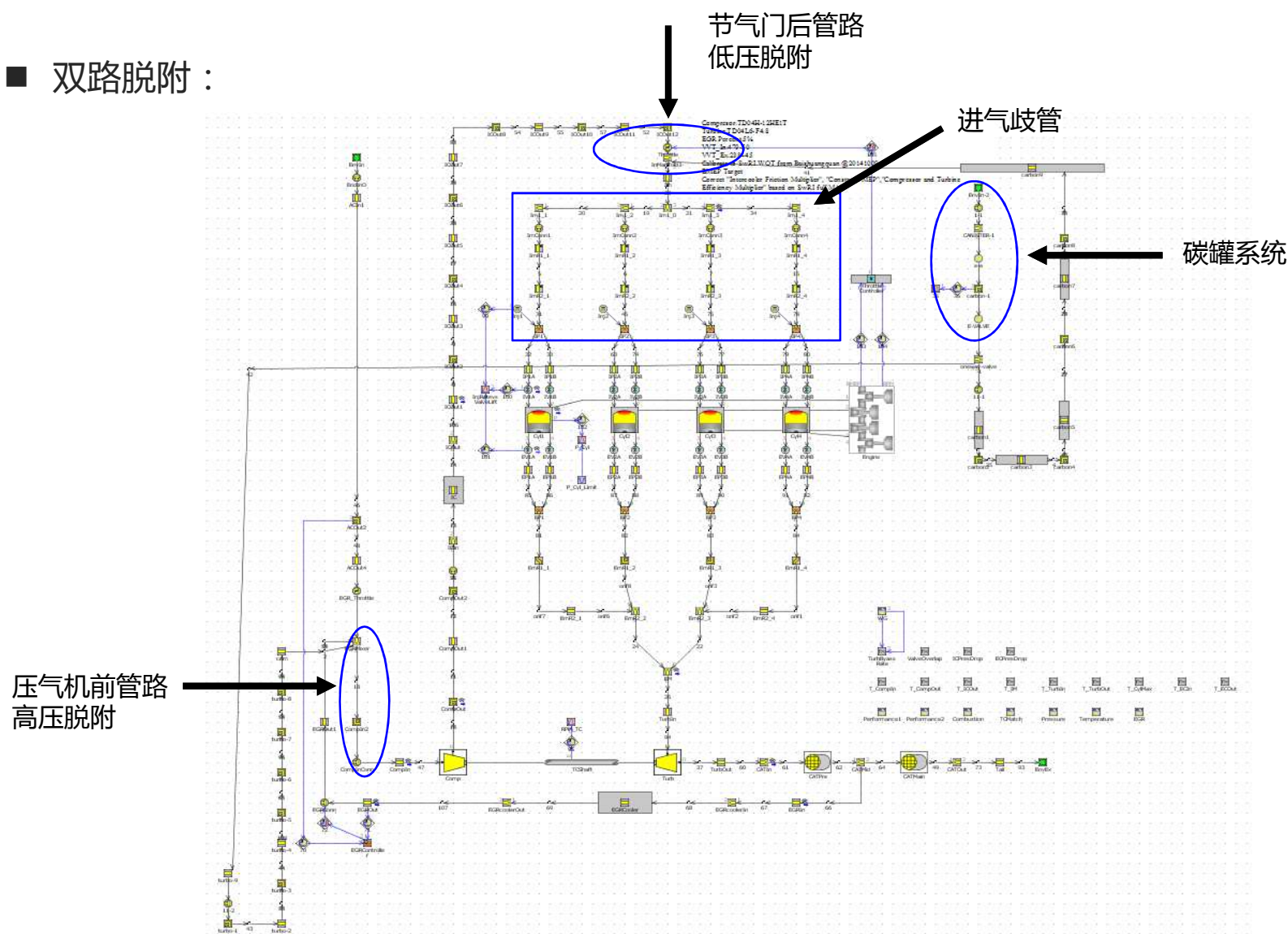


针对国6排放的对策-双路脱附 GT-Power 计算模型

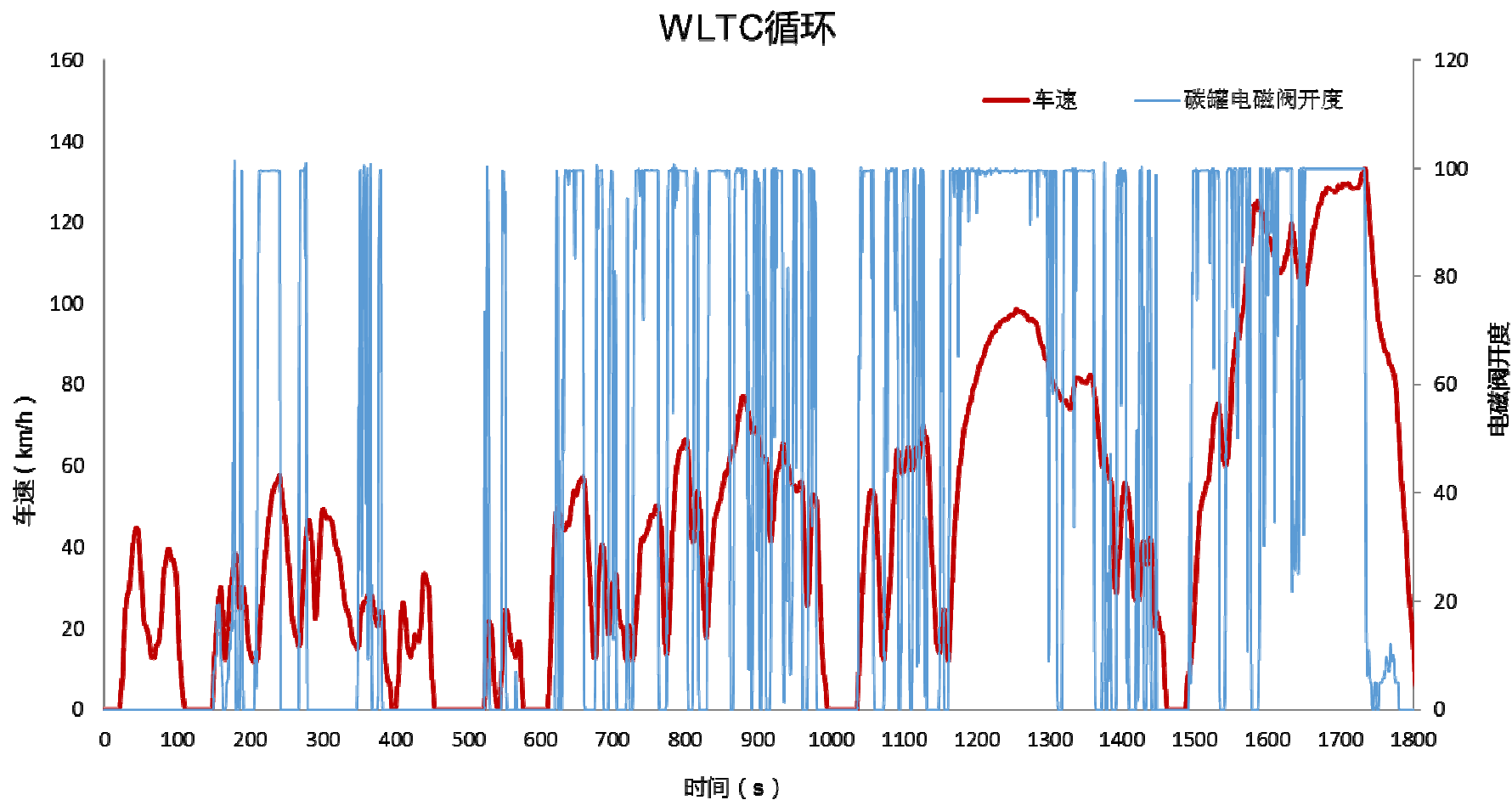


北京汽车
BAIC MOTOR

■ 双路脱附：



- WLTC循环分为四段循环：低速（589s）、中速（433s）、高速（455s）、超高速（323s）；
- WLTC循环碳罐电磁阀开启规律如下：



针对国6排放的对策-双路脱附分析结论



- 当碳罐系统的介质含燃油蒸汽比例不同时，脱附量结果如下；
- 按照整车要求，IV型试验脱附要求520L，VII型试验脱附要求1040L；

碳罐燃油蒸汽比例100%	需求量 (L)	单路脱附总量 (L)	双路脱附总量 (L)	改善比例	双路脱附总量-文丘里 (L)	改善比例
WLTC循环低速段	158.5	46.5	48.3	3.9%	48.2	3.7%
WLTC循环中速段	116.5	120.9	127.8	5.7%	133.2	10.2%
WLTC循环高速段	122.5	106.3	121.6	14.4%	135.1	27.1%
WLTC循环超高速段	57.9	32.6	51.9	59.5%	97.6	199.7%
IV型试验	520.0	379.9	419.4	10.4%	451.7	18.9%
VII型试验	1040.0	872.7	972.1	11.4%	1106.0	26.7%

碳罐燃油蒸汽比例80%	需求量 (L)	单路脱附总量 (L)	双路脱附总量 (L)	改善比例	双路脱附总量-文丘里 (L)	改善比例
WLTC循环低速段	158.5	53.5	55.7	4.1%	55.2	3.2%
WLTC循环中速段	116.5	138.8	148.7	7.1%	152.0	9.5%
WLTC循环高速段	122.5	122.7	146.5	19.4%	153.6	25.2%
WLTC循环超高速段	57.9	37.5	60.3	60.9%	108.3	188.8%
IV型试验	520.0	437.7	497.5	13.7%	514.4	17.5%
VII型试验	1040.0	1004.4	1138.4	13.3%	1255.7	25.0%

碳罐燃油蒸汽比例40%	需求量 (L)	单路脱附总量 (L)	双路脱附总量 (L)	改善比例	双路脱附总量-文丘里 (L)	改善比例
WLTC循环低速段	158.5	77.5	79.4	2.5%	78.9	1.8%
WLTC循环中速段	116.5	201.0	211.3	5.1%	217.8	8.4%
WLTC循环高速段	122.5	176.9	198.6	12.3%	215.4	21.8%
WLTC循环超高速段	57.9	53.8	78.6	46.1%	142.7	165.2%
IV型试验	520.0	632.3	688.0	8.8%	727.4	15.0%
VII型试验	1040.0	1451.9	1585.4	9.2%	1764.1	21.5%

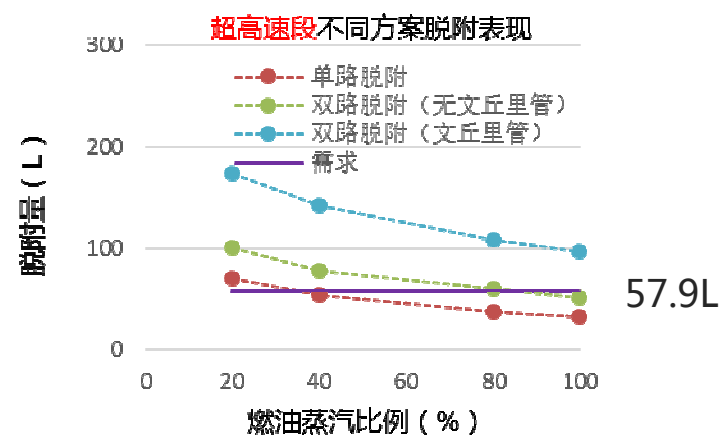
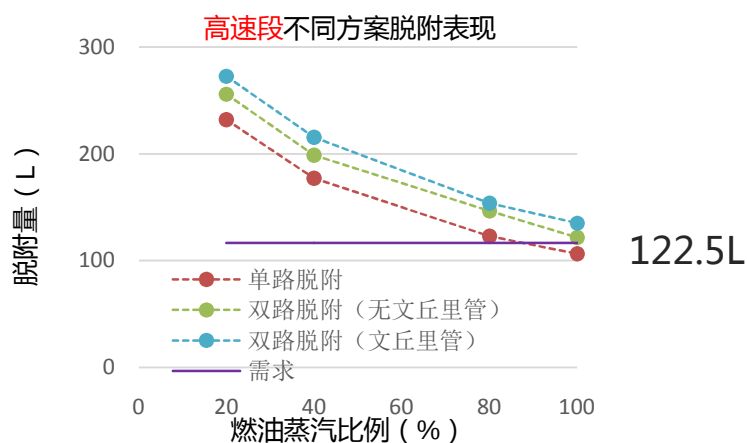
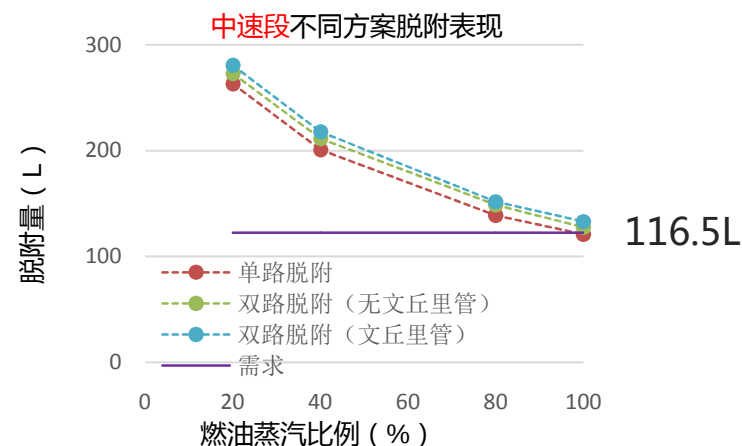
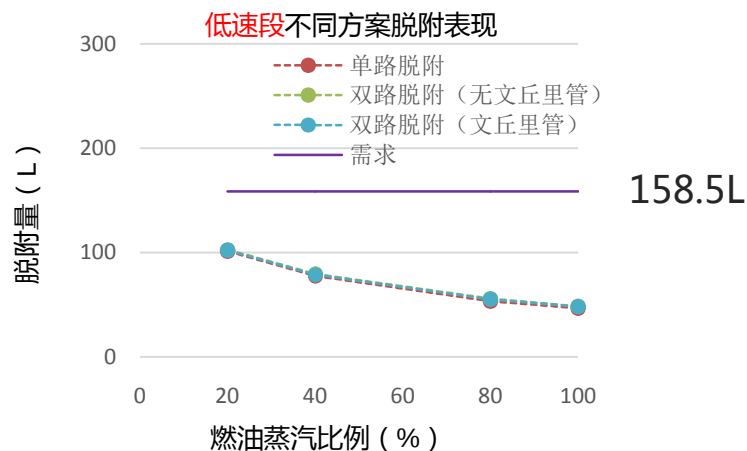
碳罐燃油蒸汽比例20%	需求量 (L)	单路脱附总量 (L)	双路脱附总量 (L)	改善比例	双路脱附总量-文丘里 (L)	改善比例
WLTC循环低速段	158.5	101.1	102.9	1.8%	102.1	1.0%
WLTC循环中速段	116.5	263.1	272.7	3.6%	280.6	6.7%
WLTC循环高速段	122.5	232.0	256.1	10.4%	272.8	17.6%
WLTC循环超高速段	57.9	70.0	101.0	44.1%	173.5	147.6%
IV型试验	520.0	828.2	887.7	7.2%	928.3	12.1%
VII型试验	1040.0	1899.0	2046.7	7.8%	2244.9	18.2%

针对国6排放的对策-双路脱附分析结论



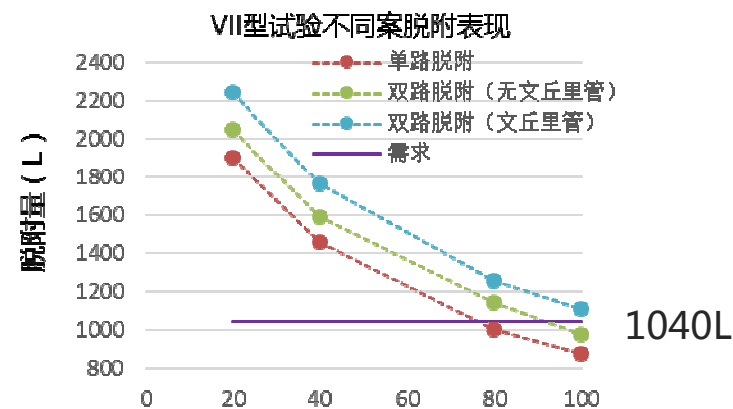
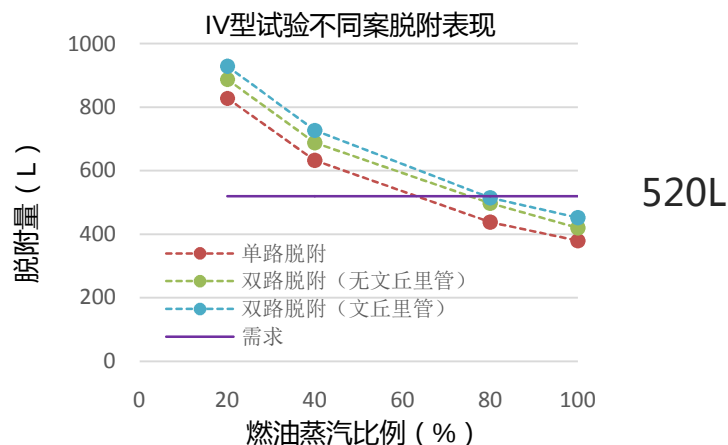
- 脱附量随燃油比例降低而升高；
- 不同方案脱附量如下：

	低速段 (L)	中速段 (L)	高速段 (L)	超高速 (L)	总量 (L)
IV型试验需求	158.5	116.5	122.5	无	520
VII型试验需求	105.6	77.6	81.6	57.9	1040



不同方案脱附量如下：

	低速段 (L)	中速段 (L)	高速段 (L)	超高速 (L)	总量 (L)
IV型试验需求	158.5	116.5	122.5	无	520
VII型试验需求	105.6	77.6	81.6	57.9	1040



注：

- 四型试验：低速 + 中速 + 高速 + 高速
- 七型试验：低速 + 中速 + 高速 + 超高速
+ 低速 + 中速 + 高速 + 超高速
+ 低速 + 低速 + 中速 + 低速

结论

- ◆ 升级发动机通过采用LP-EGR、VVT、高效水泵、双层皮带等措施，实现了提高低速扭矩、降低油耗的目标。
- ◆ LP-EGR技术可以有效地降低排放、改善油耗，是达到国6排放标准的重要手段。
- ◆ 为了达到国6排放标准，最好增加二次空气喷射技术，内置曲轴箱强制通风结构。
- ◆ 排气后处理系统中增加颗粒捕捉器GPF，是达到国6排放标准的最后防线。



Thank You