

# 国六车用发动机高原台架试验与标定

——梁磊 2020.7

# 目录

CONTENTS

**01** 高原台架标定的必要性

**02** 高原台架标定流程

**03** 高原台架标定案例

# 01 高原台架标定的必要性-海拔对燃烧的影响

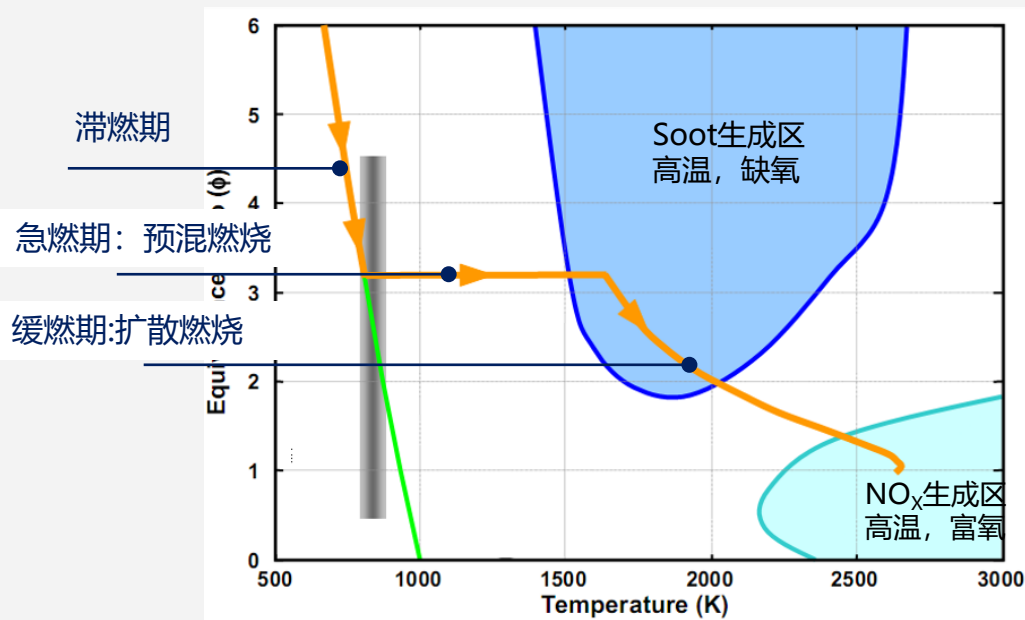
$$PV = nRT = \frac{m}{M}RT = mR_gT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{R_gT}$$

高原气候的主要特点：大气压力低，空气越稀薄，气温低，下表所示为不同海拔高度下的大气参数

海拔高度 (m)	大气压力 (kPa)	大气温度 (K)	空气密度 (kg/m <sup>3</sup> )	氧气密度 (kg/m <sup>3</sup> )	水沸点 (°C)
0	101.3	288	1.1981	0.251	100
1000	90	282	1.1117	0.226	96.8
2000	81	275	0.9733	0.204	93.8
3000	70.1	268	0.8919	0.187	91.2
4000	61.6	261.5	0.8063	0.169	88.8
5000	53.5	254	0.7263	0.152	86.7



由上表所示，海拔高度每升高1000m，大气压力下降约10kPa。海拔5000米时，氧气密封仅为0.152kg/m<sup>3</sup>，只有平原低压的一半左右。

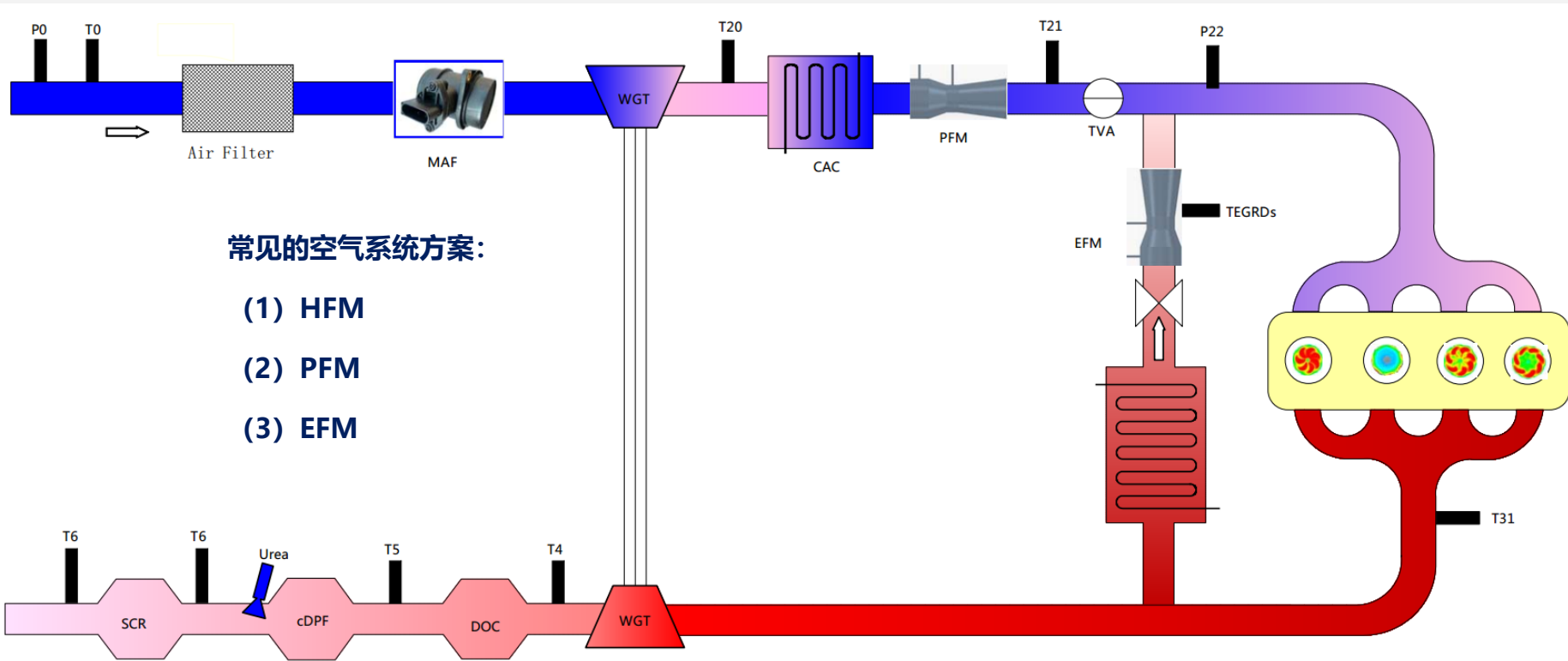


$\Phi$ -T图 (燃烧路径控制)

柴油机燃烧是以预混燃烧为辅，扩散燃烧为主的燃烧方式。其中在扩散燃烧阶段，油气的混合速率决定着燃烧速率。

高海拔时，发动机进气少，这对预混合燃烧的影响不大，但在扩散燃烧进行时，由于缸内氧气少，混合速率慢，混合气较浓，燃烧恶化，燃烧速率慢，后燃严重，散热多，从而导致PM增大，排温升高，油耗升高，指示热效率减小等。

因此必须从标定方面进行燃烧参数的调整。



常见的空气系统方案:

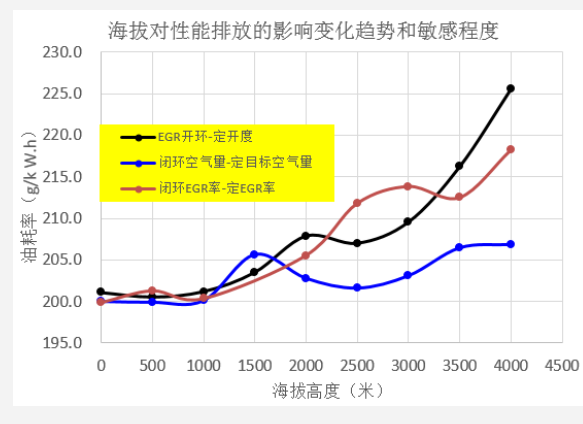
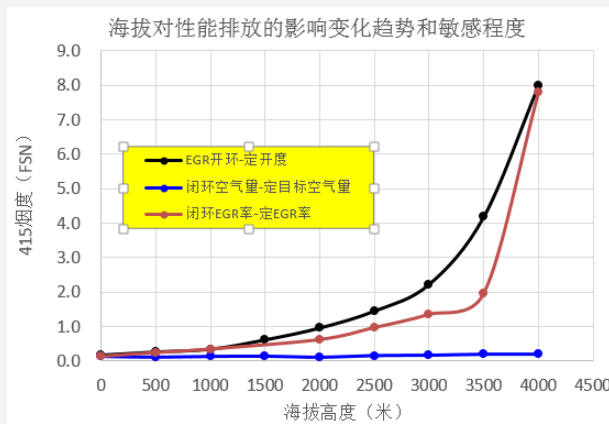
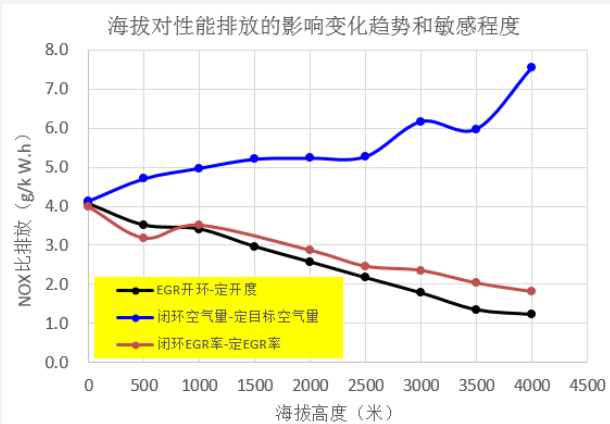
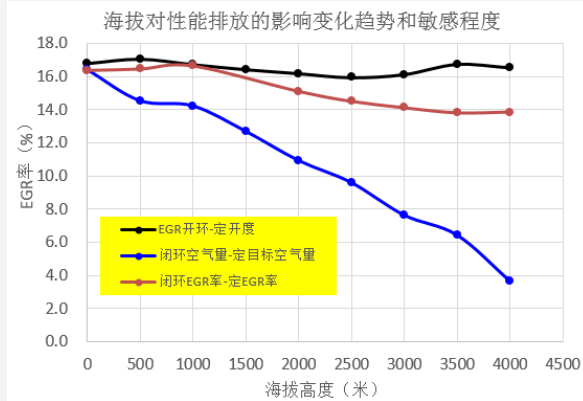
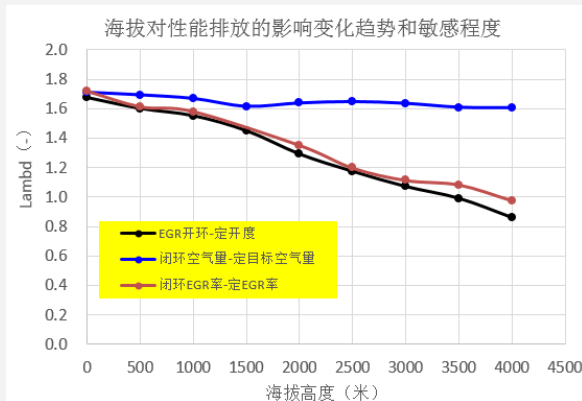
- (1) HFM
- (2) PFM
- (3) EFM

# 01 高原台架标定的必要性-海拔对控制系统的影响

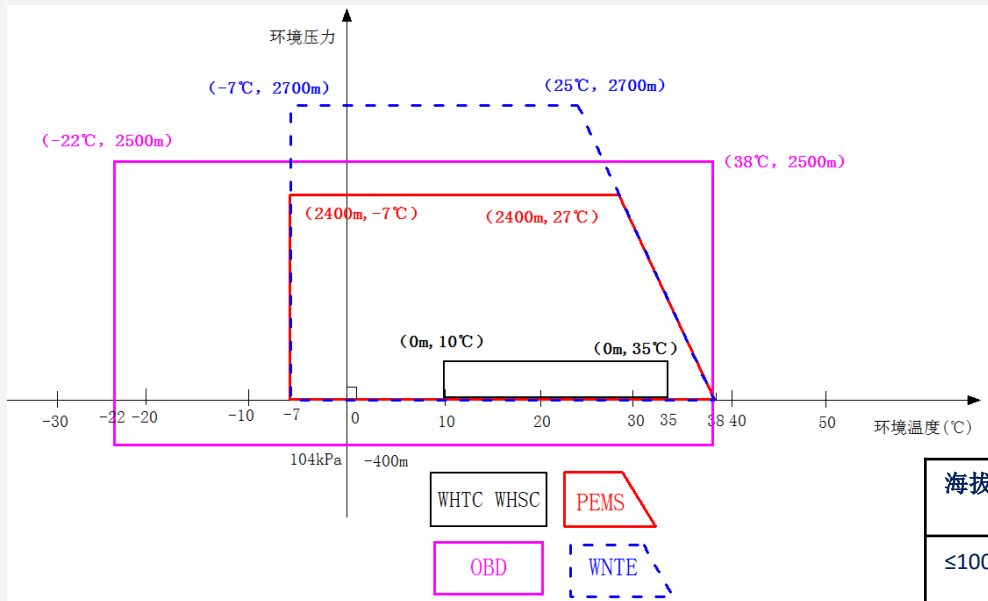
normal模式——2600r/min,250Nm时，EGR不同控制策略时，海拔对性能排放影响变化趋势和敏感程度的测试结果如图所示。

结论：无论何种空气系统控制策略，平原和高原的标定数据不能通用，必须进行高原的修正标定。

- EGR闭环空气量
- EGR闭环EGR率
- EGR开环控制



# 01 高原台架标定的必要性-性能排放监控法规要求的变化



海拔	法规要求	标定优化依据	运行模式构架及标定策略	AES
≤1000米	WHTC,WHSC,PEMS,WNTE,OBD	NOX,PM	Normal RHU	无
1000米~2400米	PEMS,WNTE,OBD	NOX, PM	Normal RHU	APS
2400米~2500米	WNTE,OBD	NOX↑	Normal RHU	APS
2500米~2700米	WNTE	NOX↑↑	关闭RHU Normal_EGR闭环	APS
>2700米	--	动力性,安全性	关闭RHU Normal_关闭EGR	APS

	优点	缺点
高原整车标定	成本低	1) 运行工况点有限，不能全工况覆盖； 2) 标定粗糙，不精准。很难兼顾经济性，动力性，排放性的平顺和平衡； 3) 不同整车都要重新标定，工作任务存在重复
高原台架标定	1) 整个万有特性，各个模式都可以扫点标定； 2) 标定精准。兼顾经济性，动力性，性能排放平顺与平衡； 3) 完成台架标定后，匹配不同整车的高原标定工作大大减少，多是验证性的工作。	成本高



1 传感器、执行器标定

2 运行模式的逻辑构架

3 法规的工况分析

4 DOE性能排放摸底

5 初步制定排放目标与目标分配

6 初步制定性能排放控制策略

7 基于算法制定标定方法并标定出初版数据

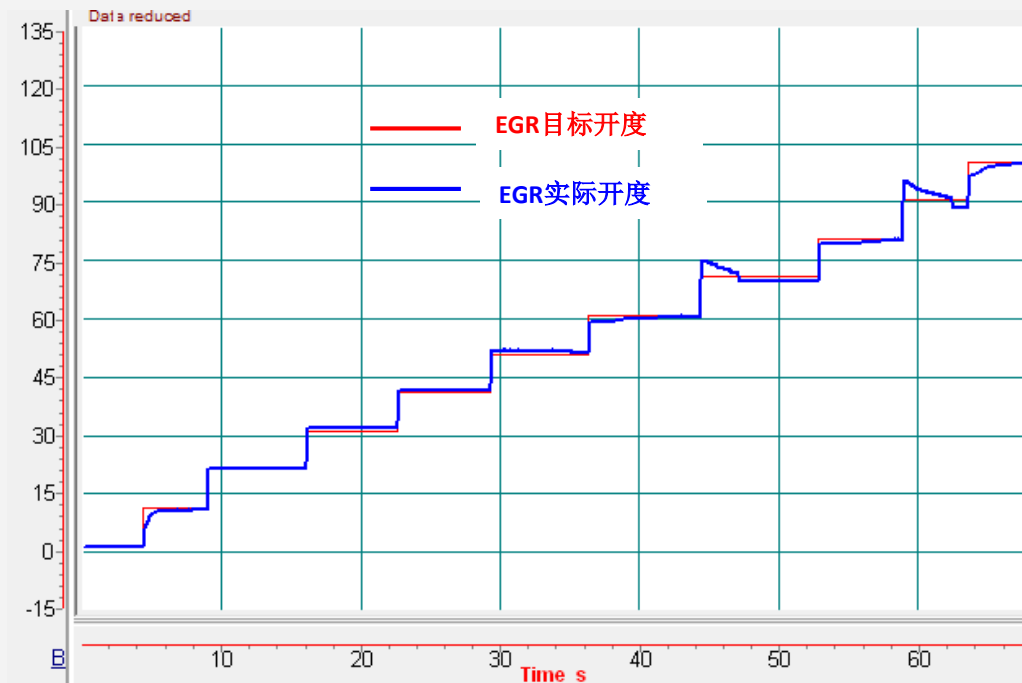
8 基于优化依据进行优化

9 性能排放的鲁棒性

10 整车试验及调整

传感器的标定：温度传感器，压力传感器，NOX传感器，lambda传感器，空气流量传感器等

执行器的标定：EGR, TVA,VNT/VGT



## 02 高原台架标定流程-运行模式的逻辑构架 (2)

欧六后处理系统比较复杂，运行模式的控制也相对复杂，因此我们需要定义和划分这些模式从而进行各模式下的燃烧参数的标定和策略应用。

运行主模式	运行子模式	CoEOM_numOpMdeAct	CoEOM_numStageAct		主要评价依据
正常模式	100001h	Normal	Stage_0	非起动, 非EGTM, 非再生, 非HCIMon	性能排放
启动模式	80100100h	EngStrt	Stage_0	停车上电起动过程	冷起动, 常温起动和高温起动的的时间
排气加热模式 (EGTM) (RHU)	100001h	Normal	Stage_0	非起动, 非EGTM, 非再生, 非HCIMon	性能排放
	410080h	EGTM	Stage_2	18°C<水温<45°C	SCR进口温度, 尾管nox排放, NH3泄漏等
	210080h	EGTM	Stage_1	水温>45°C T6温度<220°C进入 T6温度>250°C退出	
行车再生模式	100001h	Normal	Stage_0	水温低于50°C	性能排放
	1010002h	PFlt_Rgn1	Stage_4	水温=50°C-60°C	原机HC排放
	810002h	PFlt_Rgn1	Stage_3	水温>60°C	DOC进口温度, 原机HC排放
	410002h	PFlt_Rgn1	Stage_2	水温>60°C T4>250°C	DOC进口温度, 原机HC排放, 氧气浓度, 烟度
	210002h	PFlt_Rgn1	Stage_1	水温>60°C T4>300°C	DOC出口温度
原地服务 再生模式	1010004h	PFlt_Rgn2	Stage_4	Cool Down, 怠速: 1200rpm	DOC进口温度, HC排放
	810004h	PFlt_Rgn2	Stage_3	Heat_Up_1, 怠速: 2000rpm	DOC进口温度, HC排放
	410004h	PFlt_Rgn2	Stage_2	Heat_Up_1, 2100rpm	DOC进口温度, HC排放
	210004h	PFlt_Rgn2	Stage_1	Regenerate, 怠速Dia: 2200rpm	DOC出口温度
NSC再生		NSC			

## 02 高原台架标定流程-分析法规要求的运行工况和边界条件 (3)

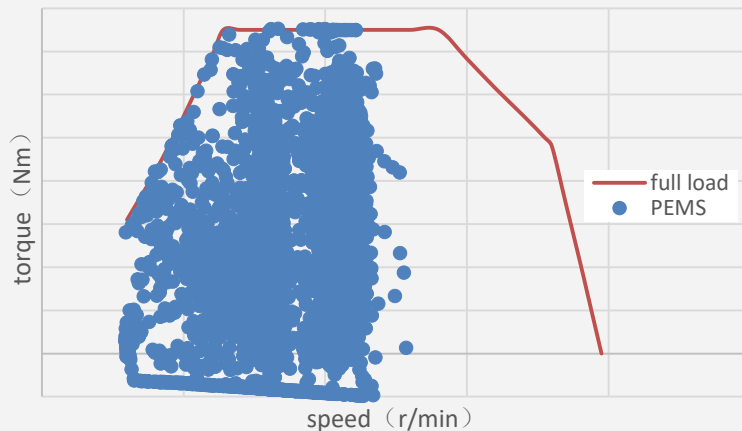
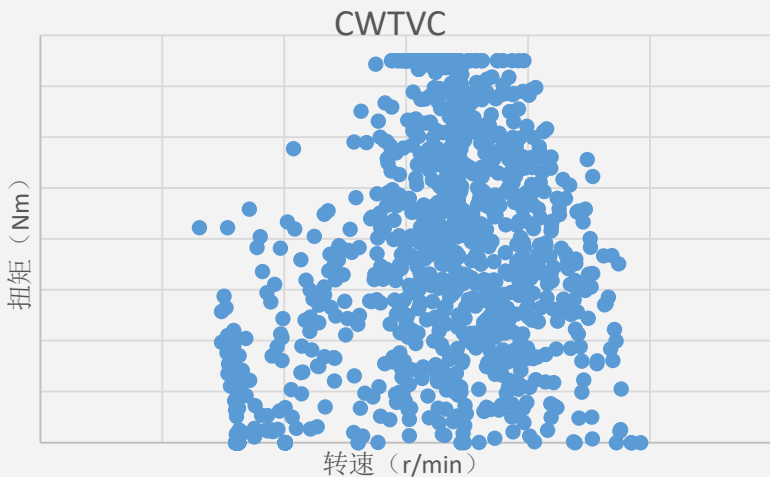
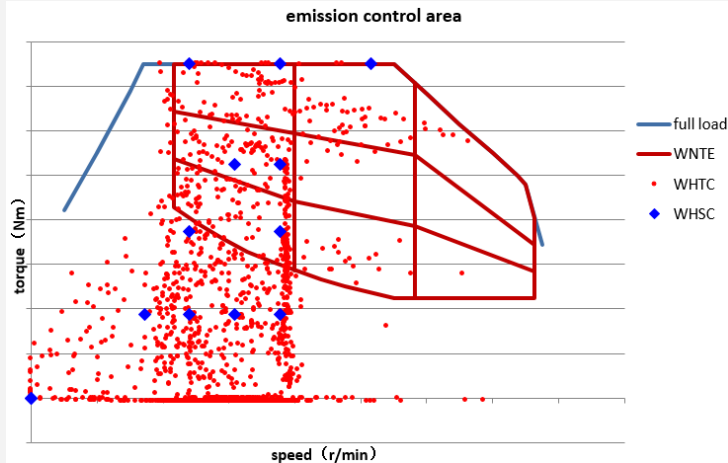
国六法规工况包括:

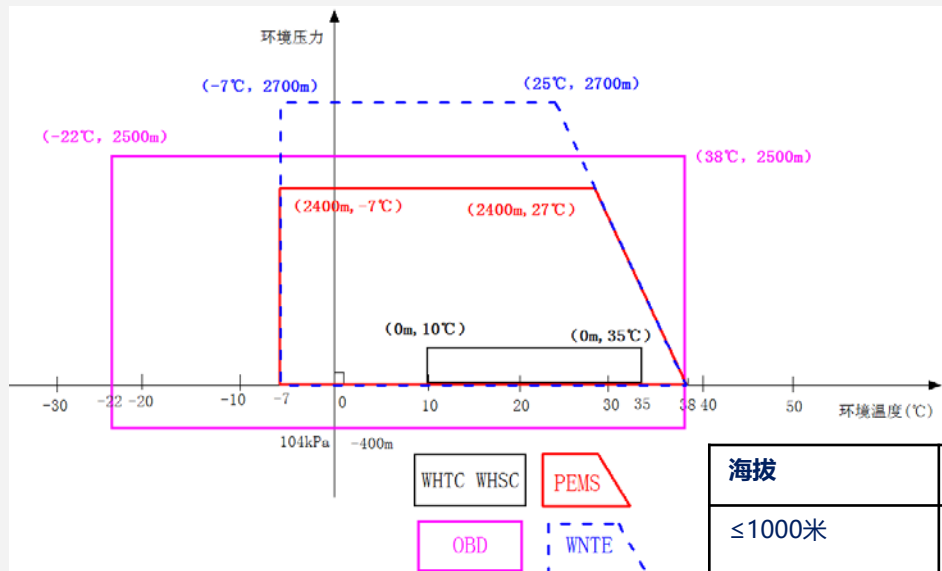
台架: WHSC,WHTC,WNTE

整车排放: PEMS

整车油耗: CWTVC

实际路谱: 统计实际运行的工况, 明确了工况点从而标定策略莫下基础。





海拔	法规要求	标定优化依据	运行模式构架及标定策略	AES
≤1000米	WHTC,WHSC,PE MS,WNTE,OBD	NOX,PM	Normal RHU	无
1000米~2400米	PEMS,WNTE,OBD	NOX, PM	Normal RHU	APS
2400米~2500米	WNTE,OBD	NOX↑	Normal RHU	APS
2500米~2700米	WNTE	NOX↑↑	关闭RHU Normal_EGR闭环	APS
>2700米	--	动力性, 安全性	关闭RHU Normal_关闭EGR	APS

通过DOE试验明确各个燃烧参数对性能排放的影响变化趋势和敏感程度，从而为标定策略奠定基础。

调查参数：稳态，瞬态：轨压，主喷正时，多次喷射，EGR率，节气门，VNT

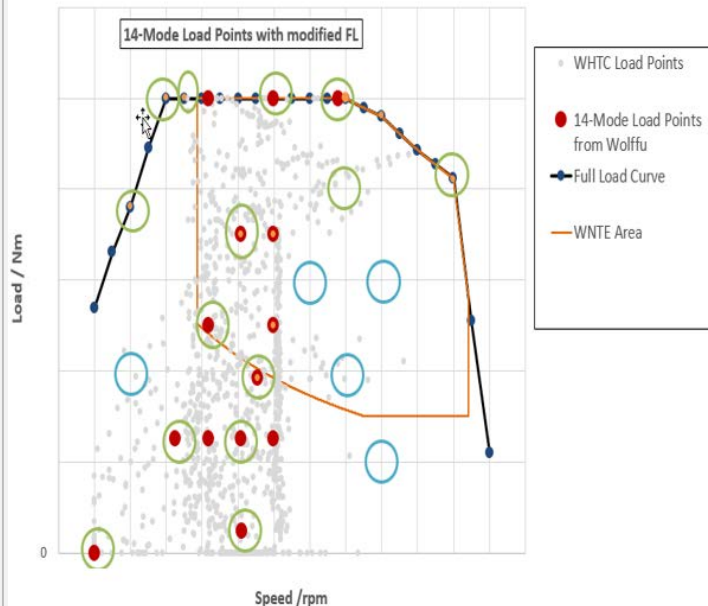
瞬态：烟限以及以上参数的瞬态修正

调查的工况：(1)单点调查;(2)全局调查;(3)循环调查;(4)模拟整车实际驾驶

调查的方法：(1)单参数:正时，轨压，EGR率等

(2)双参数组合：进行定NOX或定油耗或定烟度等调查  
(EGR,VNT) (EGR和正时) (EGR和轨压) (EGR和TVA)

(3)多参数组合：



## 02 高原台架标定流程-初步制定排放目标及目标的分配(5)

对于柴油机来说，主要排放目标：NOX和PM。

(1) 初步制定NOX和PM的目标值——后续基于优化依据进一步优化目标值

(2) 目标的值分配——以whtc的原排NOX为例，rhu和normal模式如何分配NOX，每个模式下在engine map上如何分配NOX，这都需要通过试验基于优化依据进一步的优化。

排量 (L)	Whtc原排nox	Whtc尾排nox	SCR效率	PM	优化依据	问题描述
升	g/kW.h	g/kW.h	%	g/kW.h	-	-
2.0升	3.5~4.0	冷0.6/热0.25	92.8%~93.8%	PM:0.05~0.07	(1) 法规要求的排放指标  (2) 用户关心的指标: 2.1) 动力性 2.2) 碳加载里程 2.3) 油耗	原排NOX越高，尿素喷射量越大，结晶的风险也越大
2.5升	3.5~4.0	冷0.6/热0.25	92.8%~93.8%	NOX/PM>60		
3升	3.5~4.0	冷0.6/热0.25	92.8%~93.8%	NOX/PM>80		
4升	4.0~4.5	冷0.6/热0.25	93.8%~95.8%	NOX/PM>80		
5升	4.5~5.0	冷0.6/热0.25	95.8%~96.2%	NOX/PM>100		
6升	5.0~5.5	冷0.6/热0.25	95.5%~95.5%	NOX/PM>100		
7升	5.5~6.0	冷0.6/热0.25	95.5%~95.8%	NOX/PM>120		
8升~9升	6.0~6.5	冷0.6/热0.25	95.8%~96.2%	NOX/PM>120		
10升~11升	6.5~7.0	冷0.6/热0.25	96.2%~96.4%	NOX/PM>120		
12升~13升	7.0~7.5	冷0.6/热0.25	96.4%~96.7%	NOX/PM>120		
14升	7.5~8.0	冷0.6/热0.25	96.7%~96.9%	NOX/PM>120		

标定策略是在完成模式构架后在每个模式下的标定策略，主要包括以下内容：

以RHU为例

### 1) 各模式稳态策略——空气系统策略

空气系统策略

运行模式	EGR	TVA	常见策略应用说明
RHU	开环	闭环P22	RHU,RGN
	开环	闭环空气量	RGN (很少用RHU)
	开环	开环	暂时不用
	闭环空气量	开环	RHU(常用)
	闭环空气量	闭环P22	暂时不用

- 2) 各模式瞬态策略：
- (1) 瞬态识别策略——基于油门，油量，扭矩变化率识别瞬态；基于烟限识别瞬态；  
基于参考增压压力识别瞬态；
  - (2) 瞬态修正——轨压，正时，EGR阀，VNT,TVA的瞬态修正



基于前期的运行模式的逻辑构架，排放目标值和标定策略制定并根据逻辑算法制定详细的标定方法。

基于前面的初步的模式构架，原排目标和标定策略形成第一版结果，基于排温，油耗，烟度，NOX等主要技术目标进行评价并基于“优化依据”进行优化。



产品从试验室走向市场还有重要的一个环节：就是保证线生产产品性能排放的一致性，为此需要进行性能排放的鲁棒性试验，内容包含边界条件和性能排放相关零部件的鲁棒性。

边界条件鲁棒性试验目的：（1）明确边界条件变化对性能和排放的影响变化趋势和敏感程度，从而制定合适的辅助排放控制策略，即APS,ATS,ETS,CTS修正策略；

（2）作为零部件保养和更换依据

零部件的鲁棒性试验目的：（1）明确每个零部件的技术参数范围，部件供应商以此作为产品是否合格的判定依据；

（2）主机厂选择质量控制点；

鲁棒性试验内容	测试项目	测试方法	基于试验结果的处理
边界条件	进气压力	台架模拟	基于结果进行环境压力的修正，为三高验证做基础。
	进气温度	台架模拟	基于结果进行环境温度的修正，为三高验证做基础。
	进气湿度	台架模拟	只做验证，为故障分析做依据，必要时可增加相应控制逻辑
	进气阻力	台架模拟	只做验证，为空滤的保养维修提高试验依据
	中冷温度	台架控制	基于结果进行环境温度的修正，为三高验证做基础。明确中冷器的冷却能力
	中冷压降	台架模拟	明确中冷器的阻力要求,为中冷器设计提供依据
	排气背压	排气蝶阀控制	为后处理的选型以及考虑DPF碳含量提供依据

鲁棒性试验内容	测试项目	零部件	基于试验结果的处理
性能排放 相关部件	油	喷油器: 选择上下限流量@ 模拟耐久件	明确可接受的喷油器上下偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
		油嘴伸出量: 基于尺寸链计算出伸出量的上下偏差来模拟	为质量控制提供依据, 甚至作为一个质量控制点。
		正时: 通过正时模拟曲轴和凸轮轴信号偏差	指出曲轴信号和凸轮轴信号的安装允许偏差
	气	增压器: 厂家提供放气阀开启压力上下限增压器	明确可接受的增压器上下偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
		空气流量传感器: 模拟流量计的偏差	明确可接受的传感器偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
		EGR和节气门	一般目前EGR和TVA都参有空气流量, 压力的闭环, 故可不做该实验
		进气歧管压力传感器: 模拟压力传感器的偏差	明确可接受的传感器偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
		EGR冷却器: 提供冷却能力上下限的冷却器	明确可接受的冷却器能力的偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
		缸盖: 从生产线上挑选涡流比均匀性最好和最差的	明确可接受的缸盖涡流比及其均匀性的偏差, 以此为产品质量控制和验收依据
	室	燃烧室: 厂家提供燃烧室容积上下偏差的活塞	明确可接受的燃烧室容积偏差, 以此为产品质量控制和验收依据

### 如何提高鲁棒性？

- (1) 通过燃烧开发硬件选型使得燃烧对性能排放相关零部件偏差具有可接受的敏感度；
- (2) 性能排放相关部件的精度控制；
- (3) 通过标定：
  - a) 合理的制定原排，尾排的控制策略，包括BES,AES和限制策略，满足需要的前提下，策略不易复杂。
  - b) 性能排放相关部件要工作线性区，即敏感度要适中。例如VNT的开度，EGR率的压差
  - c) 性能排放相关MAP要标定的尽可能的平顺，减少梯度

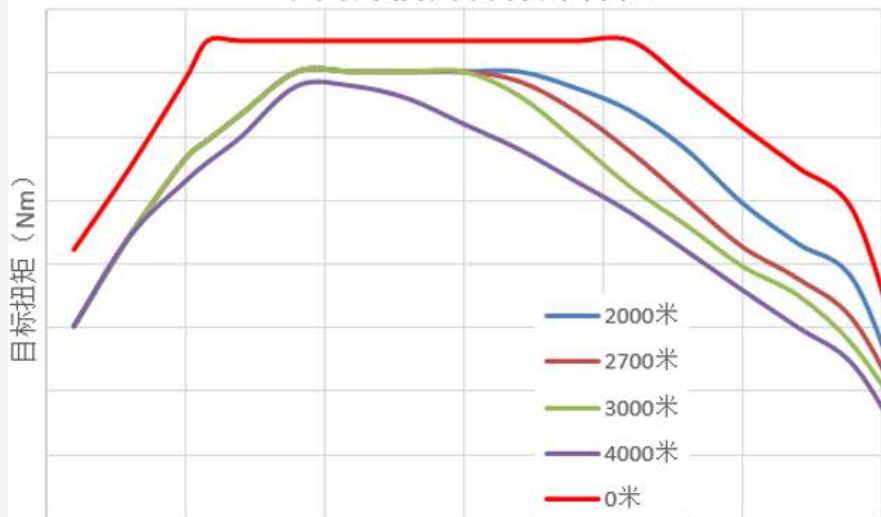
鲁棒性完成后则可进行后续的整车标定。

高原台架标定结束后，用该数据进行整车的试验验证，主要验证项目：

- (1) 外特性增压温度，涡前温度和增压器转速的验证
- (2) 瞬态加速的增压器超速验证；
- (3) 动力性、舒适性验证
- (4) SCR尿素结晶试验
- (5) DPF碳加载里程验证
- (6) 高原PEMS验证

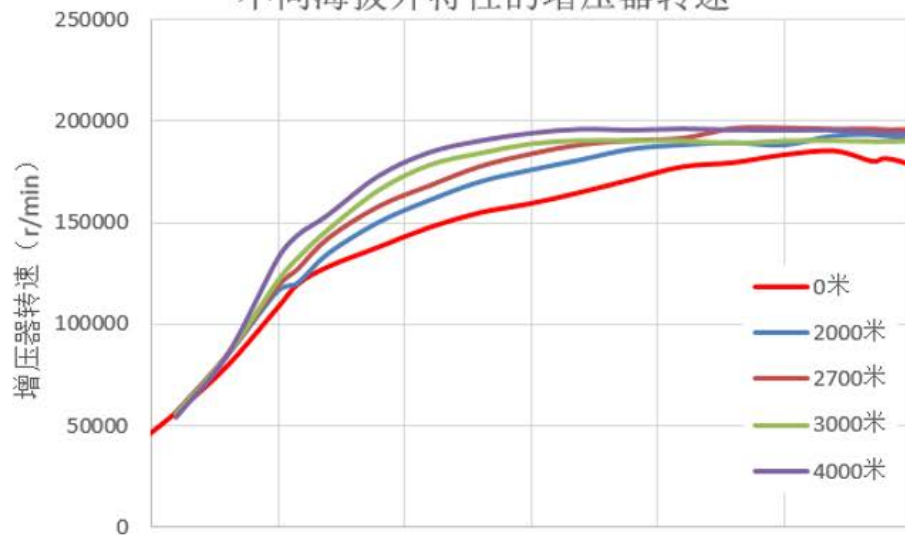
基于验证结果进行再次的调整，必要时调整后的数据再进行台架的反馈优化，即整车和台架不断反馈进行迭代优化。

#### 不同海拔的目标外特性



转速 (r/min)

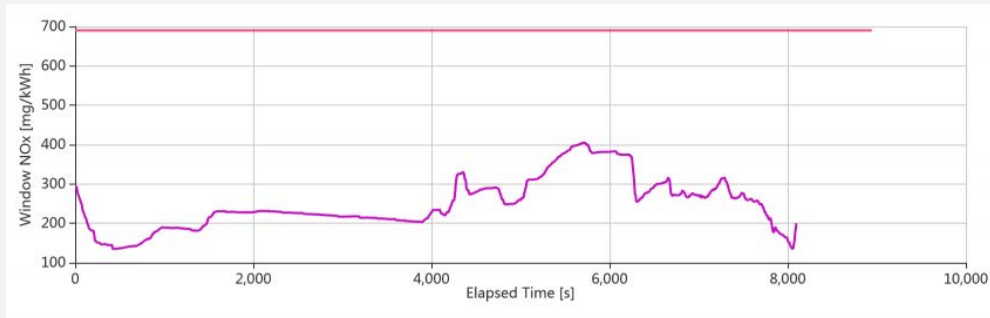
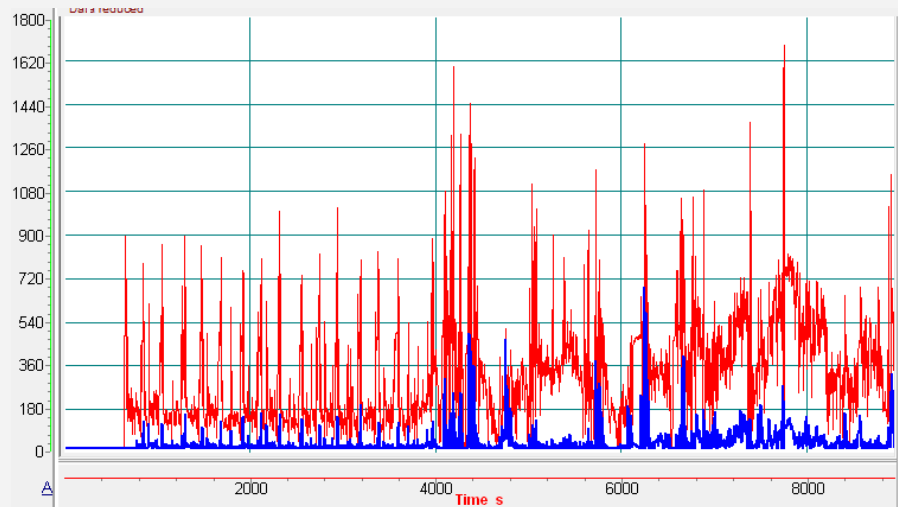
#### 不同海拔外特性的增压器转速



转速 (r/min)

# 03 高原台架标定实例-PEMS验证

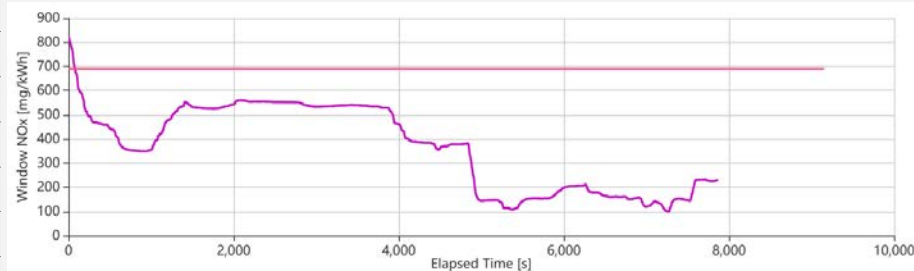
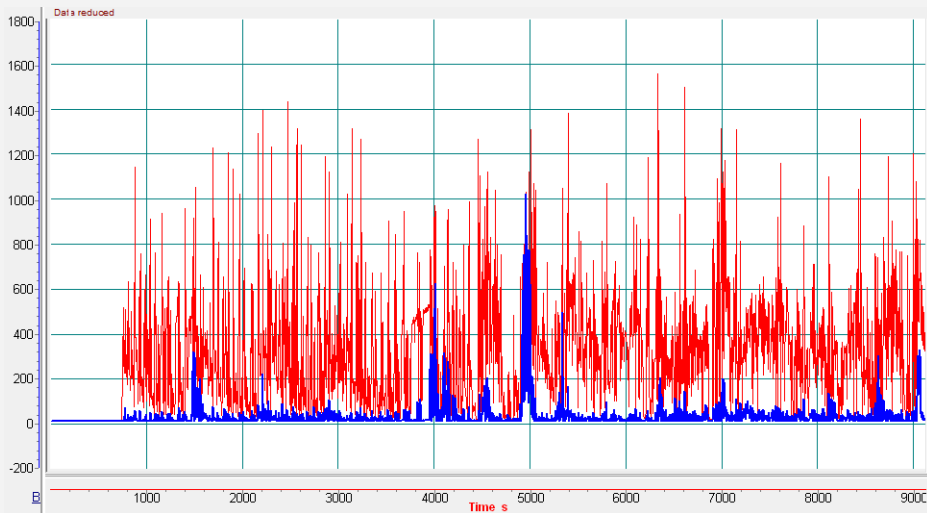
海拔2000米, 10%负荷, 常温28°C, N2 truck PEMS



Emission Result	Effective Window Ratio	NOx≤500ppm Percentage Points(%)	BSCO≤0.6g/kW.h Effective Window Ratio	BSNOx≤0.69g/kW.h Effective Window Ratio	PN≤1.2*10 <sup>12</sup> #/kW.h Effective Window Ratio
-	%	%	%	%	%
Regulatory	≥50	≥95	≥90	≥90	≥90
Test Result	53.30@15%	100.00	100.00	100.00	100.00
Work Condition Result	Pass		Emission Result	Pass	



西宁，海拔2400米，10%负荷，常温26°C，N2 truck PEMS

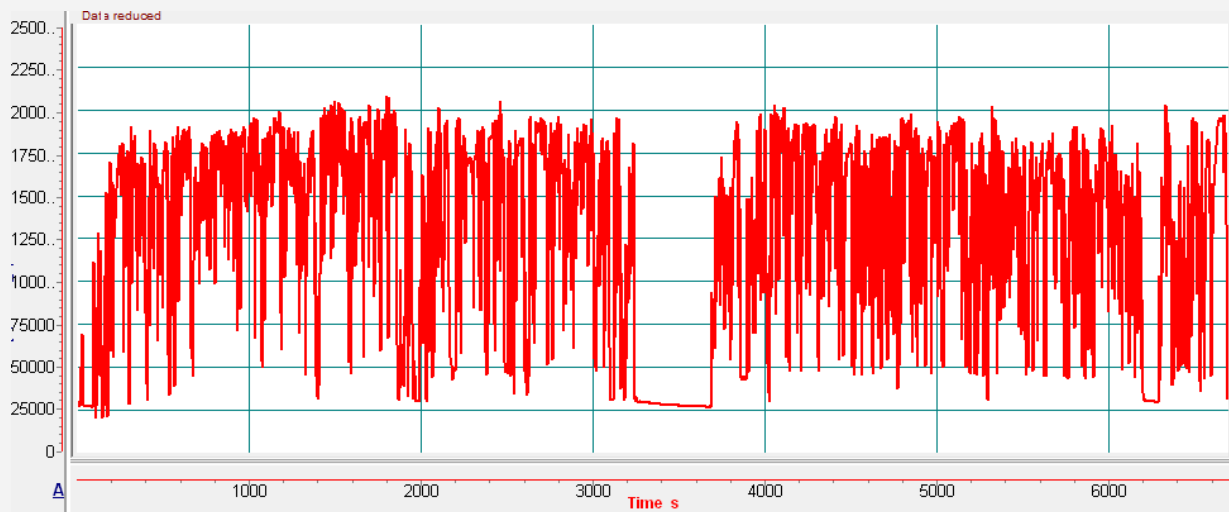
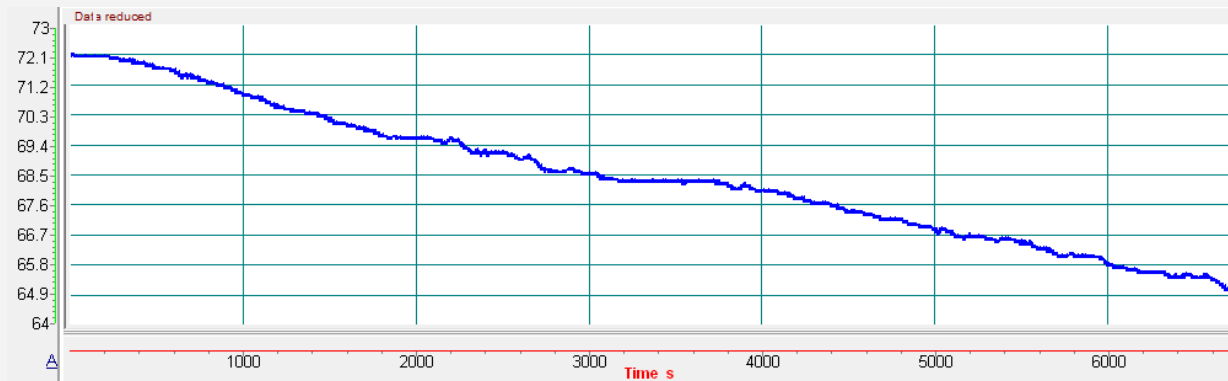


Emission Result	Effective Window Ratio	NOx≤500ppm Percentage Points(%)	BSO≤0.6g/kW.h Effective Window Ratio	BSNOx≤0.69g/kW.h Effective Window Ratio	PN≤1.2*10 <sup>12</sup> #/kW.h Effective Window Ratio
-	%	%	%	%	%
Regulatory	≥50	≥95	≥90	≥90	≥90
Test Result	51.74@14%	99.69	100.00	100.00	100.00

满载爬山测试

2800米到3600米

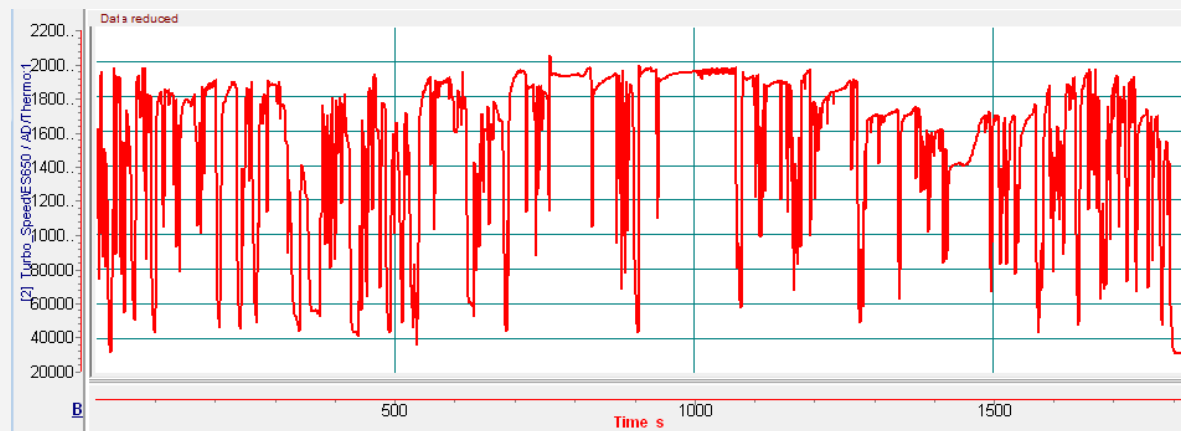
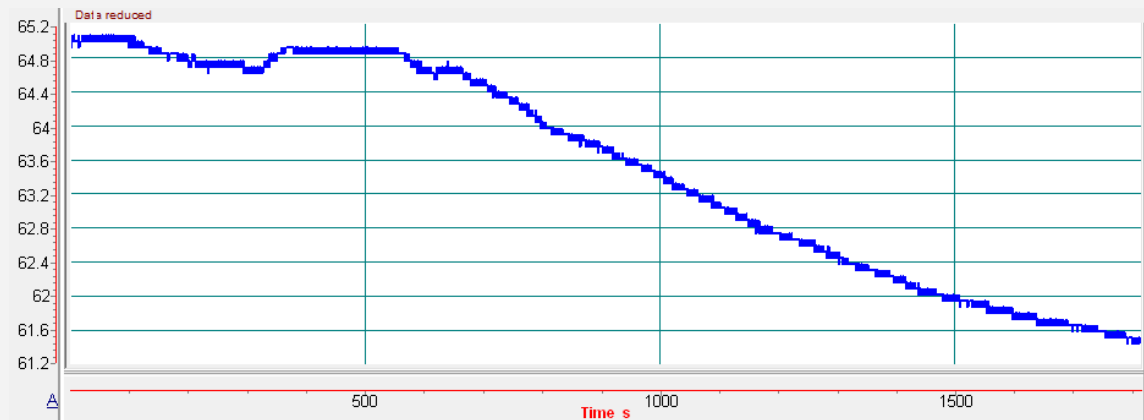
增压器转速未超速



满载爬山测试

3600米到4200米

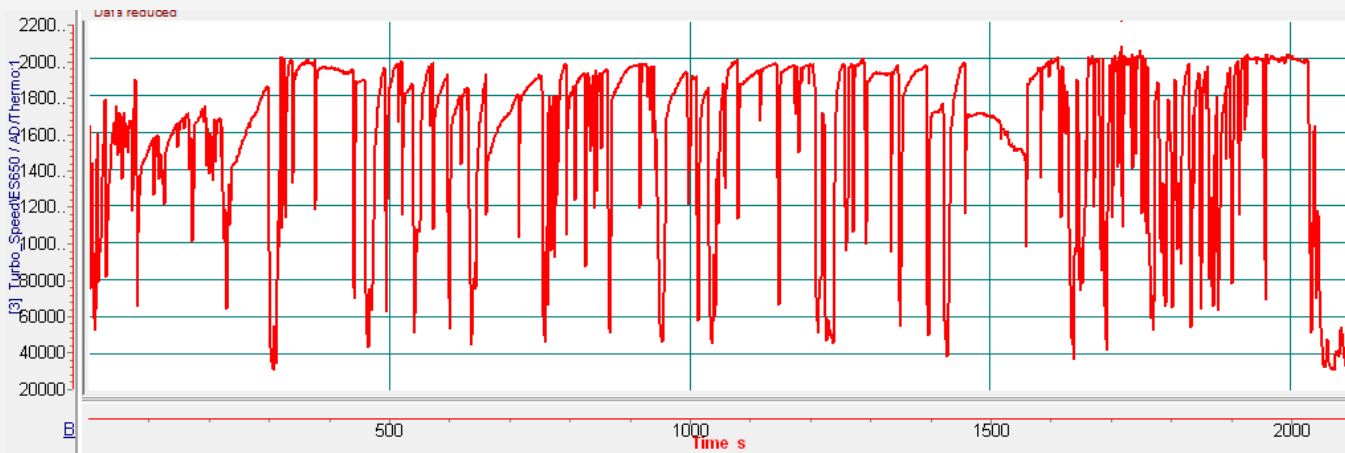
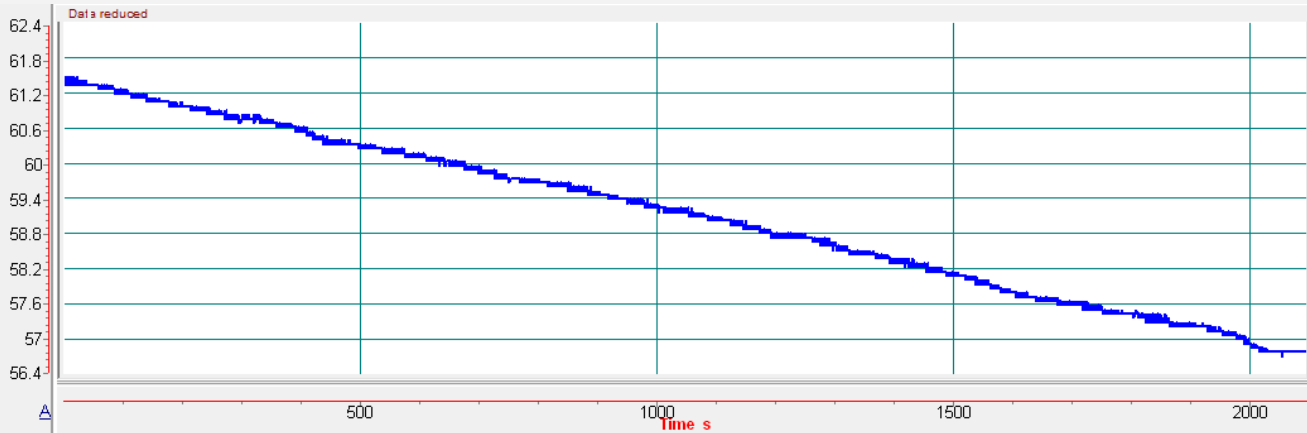
增压器转速未超速



满载爬山测试

4200米到4800米

增压器转速未超速



# 公司介绍



**2014**

公司在无锡成立



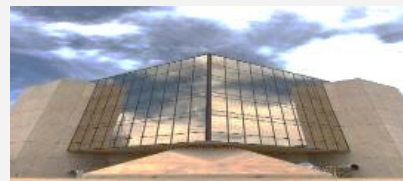
**2015**

双鸟基地投入使用



**2017**

成都试验中心投入使用



**2019**

苏州研发测试中心投入  
运转

**不断发展壮大中**

**2016**

风电园基地投入使用



**2018**

新的办公大楼正式运转





- 20+ 发动机测试台架
- 2 转毂台架
- 1 NVH 半消音试验室
- 2 整车冷启动仓
- 2 PEMS
- 2 发动机冷启动仓
- 5 电机动力总成台架
- 1100m 整车测试跑道

## 试验服务

- 客户服务 – 以客户为中心, 提供数据的安全管理, 台架远程监控及控制, 台架数据实时分项
- 流程化 – 完善的试验室管理系统, 标准化, 提供给最好的试验解决方案

## 内燃机设计

- 柴油发动机
- 汽油发动机
- 可替代燃料(CNG/LPG, 甲烷等)

## 整车应用开发

- 车用发动机及非道路发动机
- 整车匹配搭载设计
- 附件选型布置设计
- PTO设计
- 电气设计
- 通讯设计

## 控制策略和控制器的开发

- 发动机控制器开发
- 后处理控制器开发
- 变速箱控制器开发
- 其它功能模块开发

## NVH 能力

- 仿真+测试
- 发动机NVH
- 动力总成NVH
- 整车匹配NVH

## CAE仿真

- 动力总成匹配仿真
- 性能计算
- CFD仿真
- 强度和疲劳仿真
- 多体动力学计算
- NVH仿真计算

## 虚拟标定

- 物理+虚拟发动机模型+仿真后处理模型+仿真整车模型
- 离线标定,
- 离线PEMS/RDE 仿真分析
- 为客户节约时间和开发成本

## 发动机及整车标定

- 柴油发动机标定
- PEMS/RDE OBD
- 汽油发动机标定
- AMT/AT/DCT 标定
- 混合动力标定
- 非道路T3/T4标定

## 燃烧开发&机械开发

- 结合线上线下仿真试验设计以及模型化的标定优化获取最佳的性能和排放
- 丰富的台架资源
- 稳定的运转率和科学的分析方法为客户提供可靠的服务

## 后处理集成及应用开发

- 结合仿真+集成设计+标定优化+OBD策略
- 满足国6/欧VII以上法规要求的后处理集成和应用的开发
- AT满足非道路国3/4以上法规要求的后处理集成和应用的开发







**手机: 13755650854**

**联系人: 李微斐**

---

**无锡沃尔福汽车技术有限公司**

**地址: 无锡市惠山区创惠路5号一号楼六楼**

**网址: [www.wolffu.com](http://www.wolffu.com)**

**电话: 0510-8015-0642/8015-0667**

**销售热线: 18006179066**