

GT-SUITE在RDE上的应用分析

一汽 研发总院

动力总成所

张宇璠 马赫阳

目录

CONTENT

01 研究背景

02 仿真建模及校核

03 排放仿真结果

04 总结

01

研究背景

一、研究背景

1.1 RDE法规

- 2020年7月1日全国实施国6a，2023年7月1日全国实施国6b及RDE检测
- 欧洲RDE法规不断升级，越来越严格。主要变化为：CF系数不断加严，由2.1变为1.5（PN）和1.43（NOX）；将冷启动排放计入最终结果，权重为1；数据处理方面将移动平均窗口法更改为累积排放除以里程的方法

项目	C6	Package3	Package4
NO _x (CF)	2.1(2022.7评估调整)	2.1 (2017.9.1-2020.1.1)	/
PN(CF)		1.43 (2020.1.1-)	
冷启动	不包含冷启动	1.5 (2017.9.1-)	/
数据处理	MAW	所有包含冷启动数据的窗口权重都为1	/
数据有效性	基本公差tol1=±25%	MAW , Power Binning	累积排放除里程乘以一定的系数
窗口P1、P2、P3系数	1.2 - 1.1 - 1.05	上公差30% 下公差25%	/
		/	1 - 1 - 1

一、研究背景

1.2 研究意义

- **利用一维模拟仿真手段进行RDE的排放模拟仿真研究，建立预测RDE排放趋势能力，支持面向RDE的动力总成标定技术研究，减少试验工作量，为产品开发提供指导。**

一、研究背景



让理想飞扬

1.3 主要工作

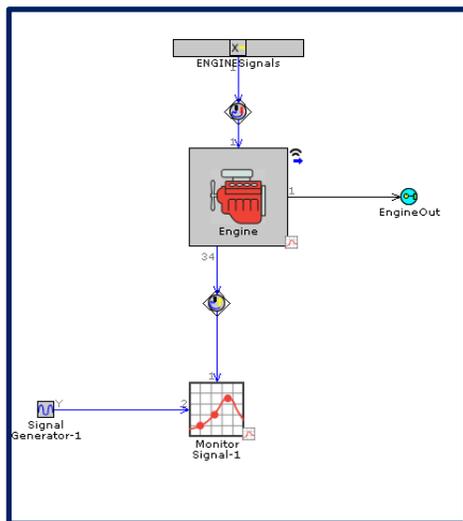
序号	工作内容	时间
1	整车快速运算模型建模及校验	1个月
2	发动机万有特性模型建模及校核	3个月
3	预测燃烧模型建模及校核	3个月
4	发动机原排神经网络模型建模及校验	3个月
5	RDE整车完整模型建模、校验及优化	2个月

二、仿真建模及校核



让理想飞扬

2.1 整车建模-发动机



Attribute	Unit	Object Value
Emissions Maps (X: Eng Speed [RPM], Y: BMEP [bar])		
NOx Map (RPM, LOAD)		nox-ppm...
Reference Molecular Weight for NOx PPM		ign...
HC Map (RPM, LOAD)		HC-PPM...
Reference Molecular Weight for HC PPM		ign...
CO Map (RPM, LOAD)		CO-PPM...
Reference Molecular Weight for CO PPM		ign...
CO2 Map (RPM, LOAD)	PPM	ign...
Reference Molecular Weight for CO2 PPM		ign...
Soot Map (RPM, LOAD)		PN-1...

Attribute	Unit	Object Value
Initial Speed		0...
Initial Angular Position	deg	0...
Load Request		
<input checked="" type="radio"/> Accelerator Position	%	0...
<input type="radio"/> Engine Load (BMEP)	bar	
<input type="radio"/> Engine Load (Brk.Torque)	N-m	
Primary Engine Maps		
Mechanical Output Map (RPM, AcceleratorPos)		BMEP-MAP...
Engine Friction Map (RPM, BMEP)		FMEP-MAP...

Attribute	Unit	Object Value
Y-Axis (LOAD) Units for Maps		BMEP(bar)
Secondary Engine Maps (X: Eng Speed [RPM], Y: BMEP [bar])		
Fuel Consumption Map (RPM, LOAD)		Engine-BSFC...
Heat Rejection Map (RPM, LOAD)	%Fuel...	ign...
Air Flow Map (RPM, LOAD)	Vol.Eff	ign...
Exhaust Enthalpy Map (RPM, LOAD)	kW	ign...

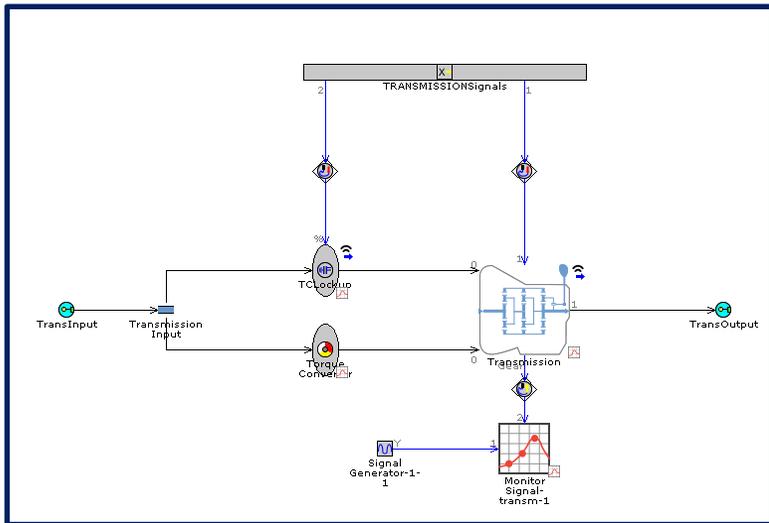
step S	step Y	step X	...
1	750.0	0.0	0.0
2	750.0	0.5	0.5
3	750.0	1.0	1.0
4	750.0	1.5	1.5
5	750.0	2.0	2.0
6	750.0	2.5	2.5
7	750.0	3.0	3.0
8	750.0	3.5	3.5
9	750.0	4.0	4.0
10	750.0	4.5	4.5
11	750.0	5.0	5.0
12	750.0	5.5	5.5
13	750.0	6.0	6.0
14	750.0	6.5	6.5
15	750.0	7.0	7.0
16	750.0	7.5	7.5
17	750.0	8.0	8.0
18	750.0	8.5	8.5
19	750.0	9.0	9.0
20	750.0	9.5	9.5
21	750.0	10.0	10.0
22	1000.0	10.0	10.0
23	1000.0	10.5	10.5
24	1000.0	11.0	11.0
25	1000.0	11.5	11.5
26	1000.0	12.0	12.0
27	1000.0	12.5	12.5
28	1000.0	13.0	13.0
29	1000.0	13.5	13.5
30	1000.0	14.0	14.0
31	1000.0	14.5	14.5
32	1000.0	15.0	15.0

step S	step Y	step X	...
1	750.0	0.0	0.0
2	750.0	0.5	0.5
3	750.0	1.0	1.0
4	750.0	1.5	1.5
5	750.0	2.0	2.0
6	750.0	2.5	2.5
7	750.0	3.0	3.0
8	750.0	3.5	3.5
9	750.0	4.0	4.0
10	750.0	4.5	4.5
11	750.0	5.0	5.0
12	750.0	5.5	5.5
13	750.0	6.0	6.0
14	750.0	6.5	6.5
15	750.0	7.0	7.0
16	750.0	7.5	7.5
17	750.0	8.0	8.0
18	750.0	8.5	8.5
19	750.0	9.0	9.0
20	750.0	9.5	9.5
21	750.0	10.0	10.0
22	1000.0	10.0	10.0
23	1000.0	10.5	10.5
24	1000.0	11.0	11.0
25	1000.0	11.5	11.5
26	1000.0	12.0	12.0
27	1000.0	12.5	12.5
28	1000.0	13.0	13.0
29	1000.0	13.5	13.5
30	1000.0	14.0	14.0
31	1000.0	14.5	14.5
32	1000.0	15.0	15.0

用油耗、BMEP、摩擦功和排放map搭建发动机map模型。

二、仿真建模及校核

2.1 整车建模-变速器



Forward Gears										Neutral Gear	Reverse Gear
Attribute	Unit	Gear #1	Gear #2	Gear #3	Gear #4	Gear #5	Gear #6	Gear #7	Gear #8		
Main											
Gear Ratio		4.845...	2.84...	1.864...	1.437...	1.217...	1...	0.816...	0.672...		
In-Gear Efficiency		def (=1)...	NEW-tr...	NEW-3-map...	NEW-4-map...	NEW-5-map...	NEW-6-map...	NEW-7-map...	NEW-8-map...		
Friction Torque	N-m	ign...	ign...	ign...	ign...	ign...	ign...	ign...	ign...		
Inertias											
Input Moment of Inertia	kg-m ²	0.034...	0.034...	0.034...	0.034...	0.034...	0.034...	0.034...	0.034...		
Output Moment of Inertia	kg-m ²	0.055...	0.035...	0.073...	0.073...	0.073...	0.073...	0.073...	0.035...		
Gear Transitions											

续表1 (续完)

档位	油温 (°C)	输入转速 (r/min)								
		1200	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
2档	80	0.50	0.66	1.09	1.64	2.26	3.06	3.68	4.37	5.29
	90	0.55	0.73	1.23	1.87	2.59	3.49	4.18	4.89	6.02
3档	80	0.78	1.00	1.57	2.27	3.08	4.04	4.93	5.85	7.09
	90	0.87	0.94	1.50	2.32	3.30	4.55	5.78	7.06	8.72
4档	80	0.82	1.06	1.66	2.43	3.22	4.26	5.10	6.00	7.19
	90	0.68	0.88	1.48	2.28	3.19	4.37	5.43	6.59	8.17
5档	80	0.79	1.00	1.62	2.63	3.68	4.90	6.50	--	--
	90	0.79	1.00	1.62	2.63	3.68	4.90	6.50	--	--

表2 2档40°C传动效率试验结果 (%)

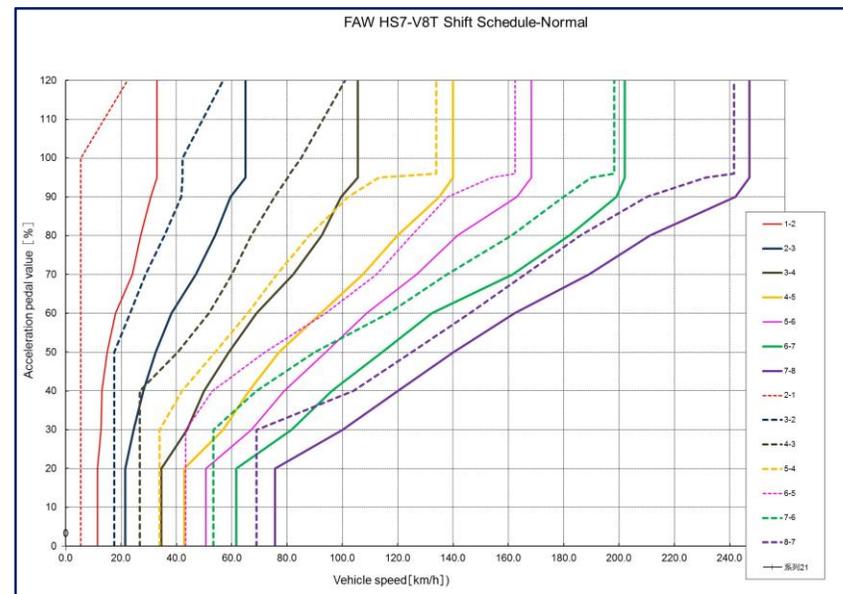
输入扭矩 (Nm)	输入转速 (r/min)				
	1200	1500	2000	2500	3000
20	58.72	56.43	51.64	45.22	41.83
60	81.01	79.98	80.59	79.09	73.58
100	85.97	85.38	85.90	85.52	85.05
200	89.58	89.40	89.80	89.97	89.89
300	90.26	90.17	90.74	90.87	91.19
400	90.42	90.41	90.64	90.82	91.09

表3 3档40°C传动效率试验结果 (%)

输入扭矩 (Nm)	输入转速 (r/min)				
	1200	1500	2000	2500	3000
20	55.71	55.61	49.20	41.89	36.22
60	82.72	82.90	80.91	79.24	77.78
100	87.92	88.11	87.24	86.40	85.56
200	91.84	91.91	91.99	91.59	91.14
300	92.60	92.62	92.75	92.82	92.95
400	92.73	92.70	92.74	92.81	92.92

表4 4档40°C传动效率试验结果 (%)

输入扭矩 (Nm)	输入转速 (r/min)				
	1200	1500	2000	2500	3000
20	51.62	46.76	45.24	38.81	31.14
60	81.91	80.93	79.73	79.01	77.26
100	87.83	87.07	86.91	86.63	85.21
200	92.02	91.89	92.15	92.01	91.41
300	92.97	93.04	93.31	93.46	93.45
400	93.11	93.17	93.51	93.62	93.65



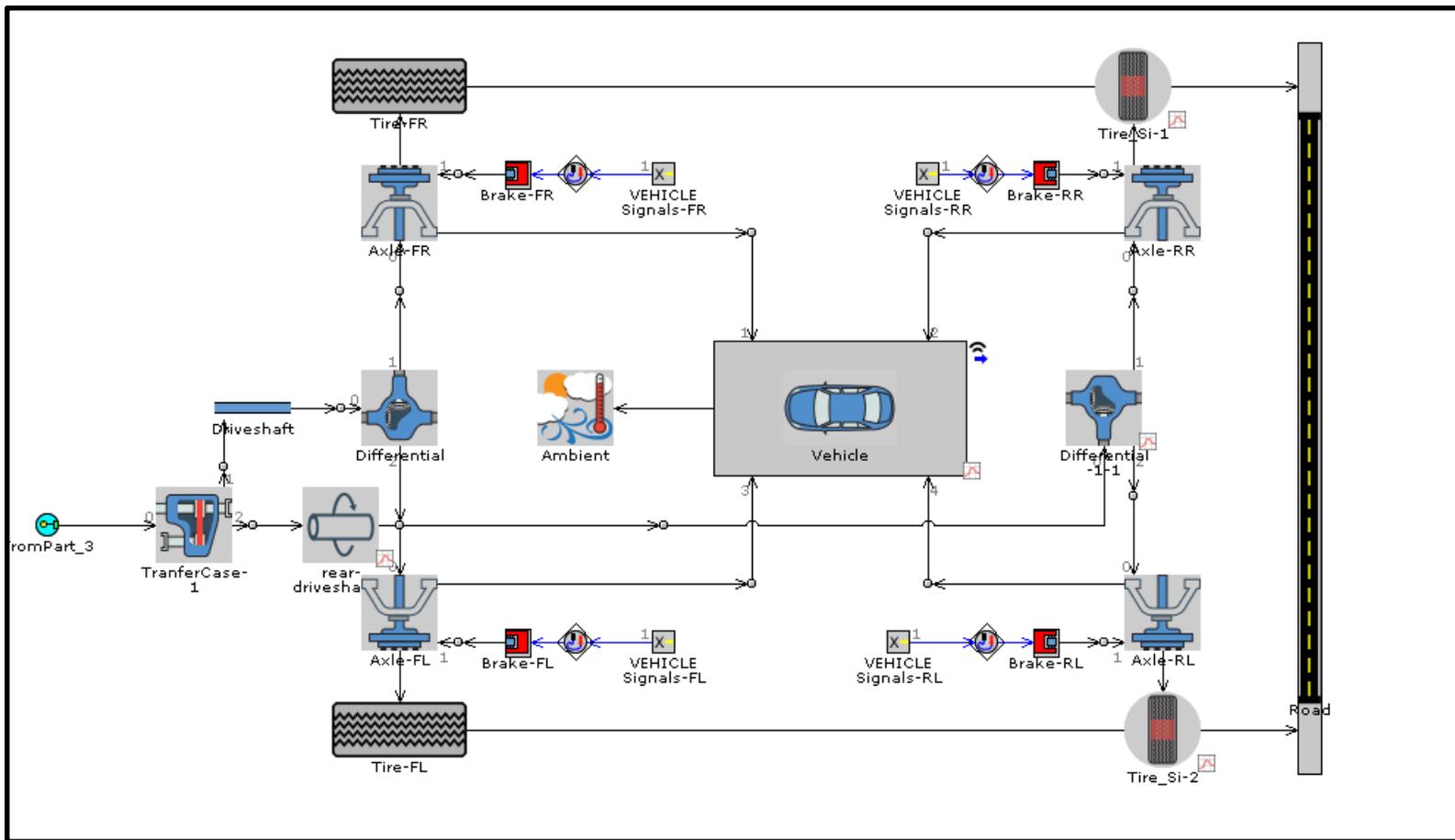
■ 将换挡曲线、不同油温下传动效率等信息输入变速器模块，构建变速器模型。

二、仿真建模及校核

2.1 整车建模-车身

- 主减速器惯量
- 车轴惯量
- 车轮制动半径
- 滑行阻力曲线
- 整备质量
- 环境温度、压力、海拔、经纬度

○ ○ ○ ○



■ 将整车相关参数输入车身模块，构建变速器模型，滑行阻力曲线是车以120km/h车速自由滑行到停止的曲线，代表整车负载。

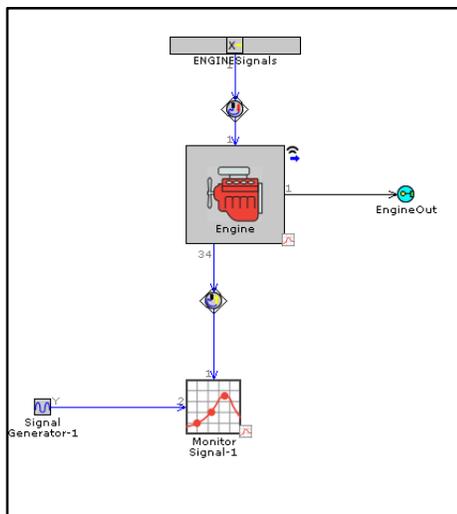
二、仿真建模及校核



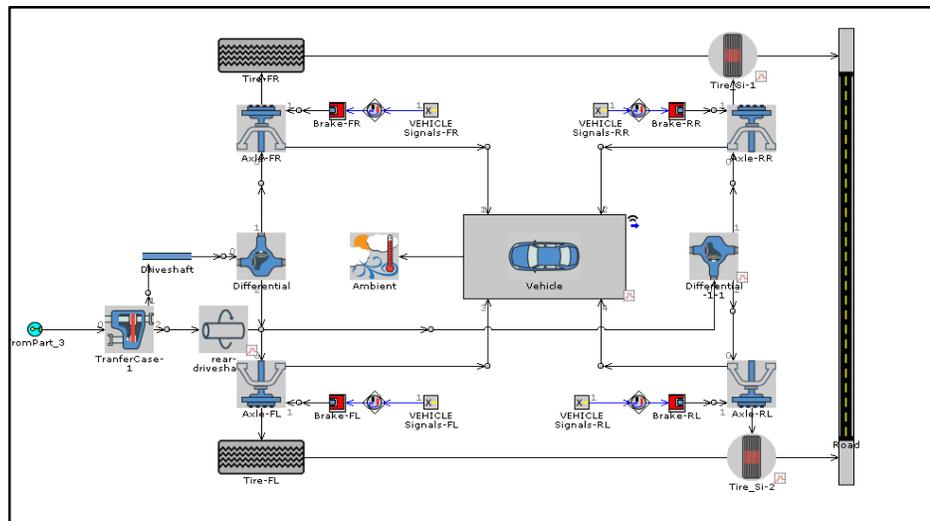
让理想飞扬

2.1 整车建模

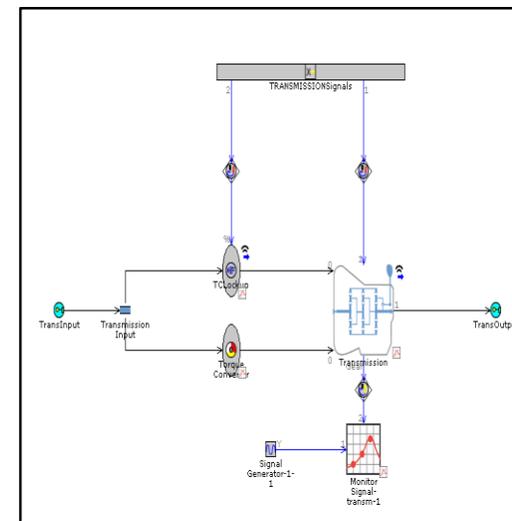
发动机(map)



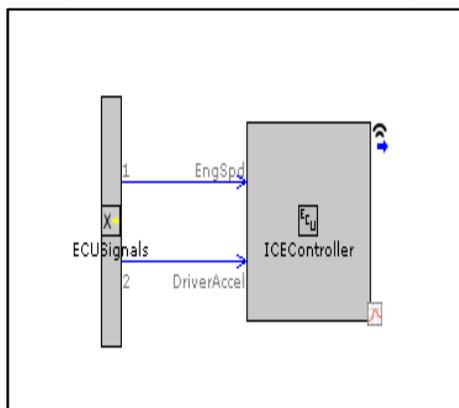
车身



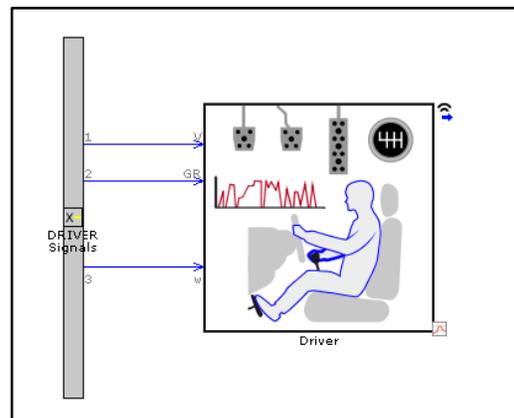
变速器



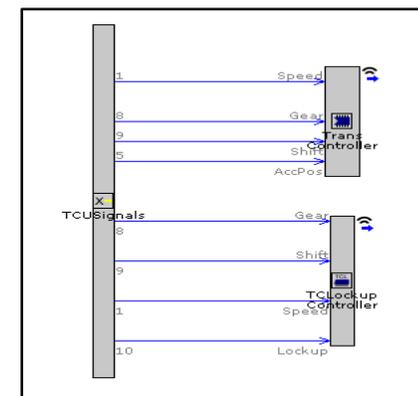
ECU



驾驶员



TCU



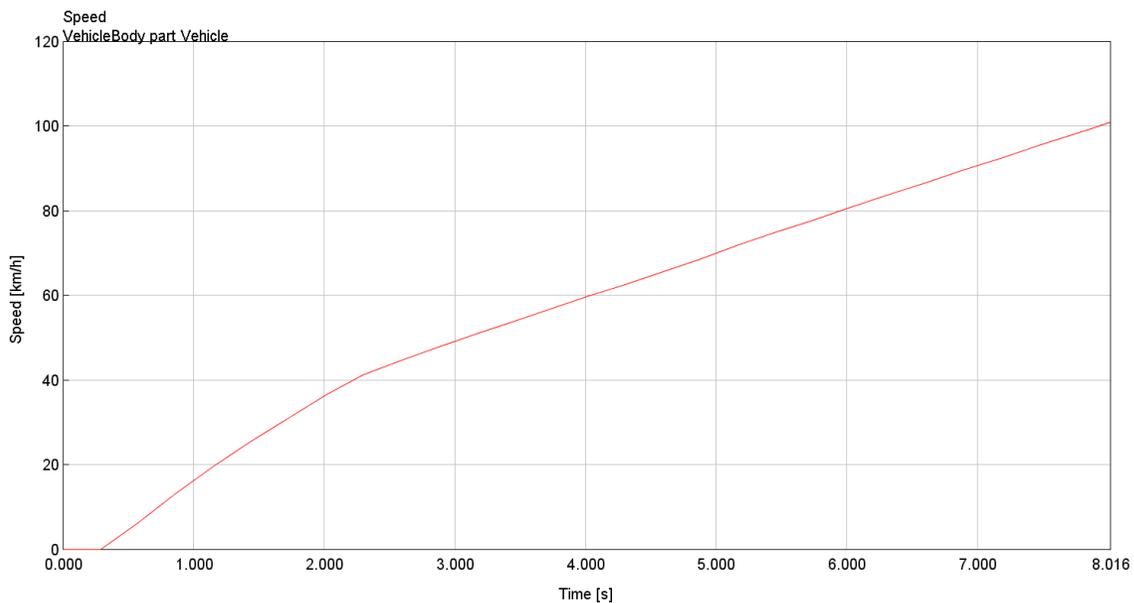
二、仿真建模及校核



让理想飞扬

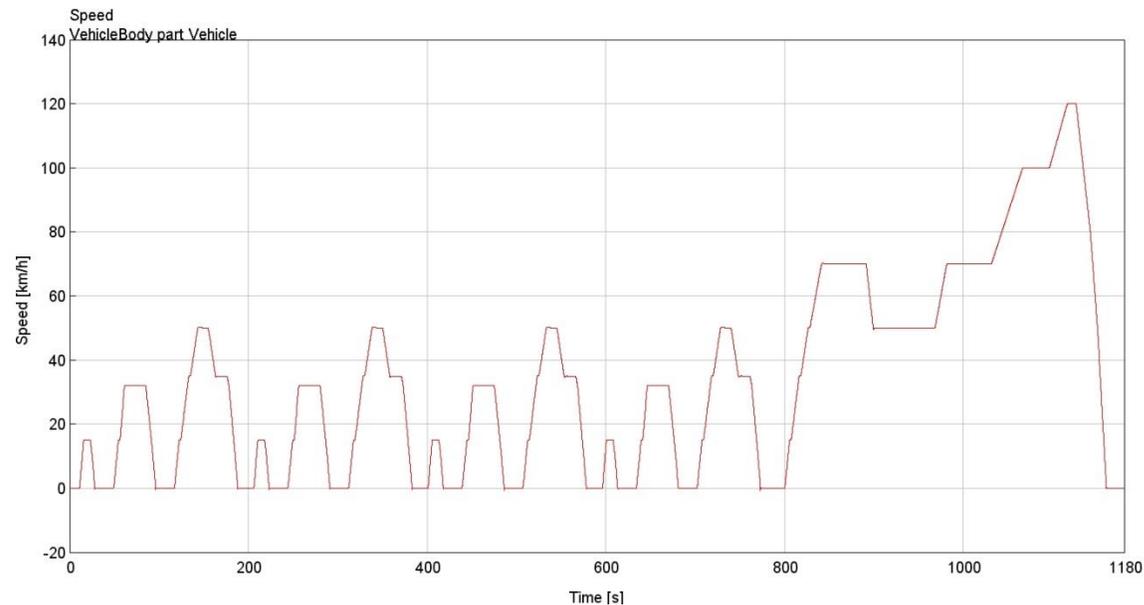
2.1 整车建模

百公里加速仿真



仿真结果：7.9s
试验结果：7.8s

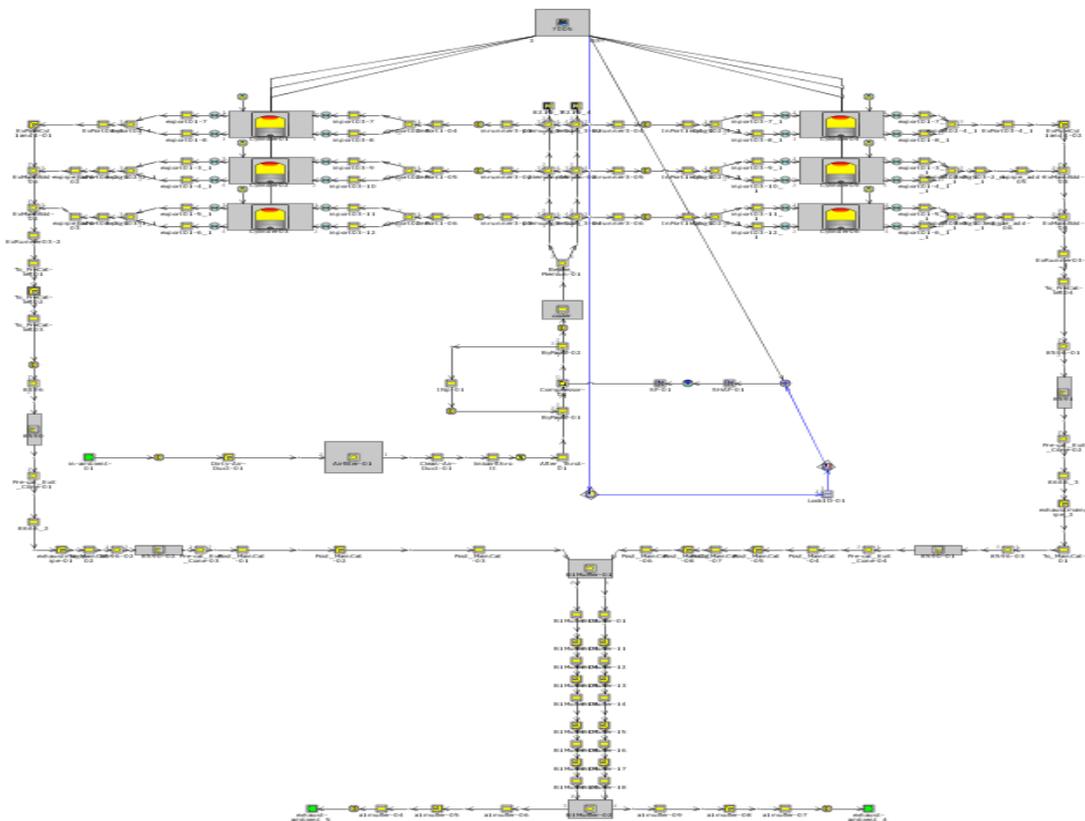
NEDC循环仿真



仿真结果：11.3L/km
试验结果：10.9L/km

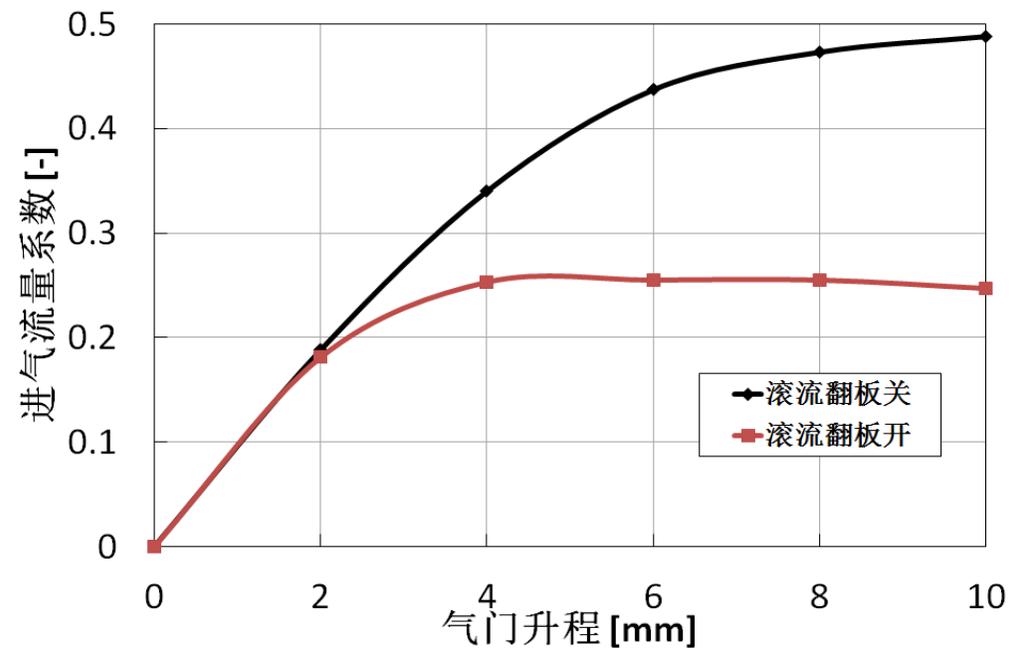
二、仿真建模及校核

2.2 发动机万有特性模型-边界条件



□ 滚流

进气流量系数有带滚流翻板之分;



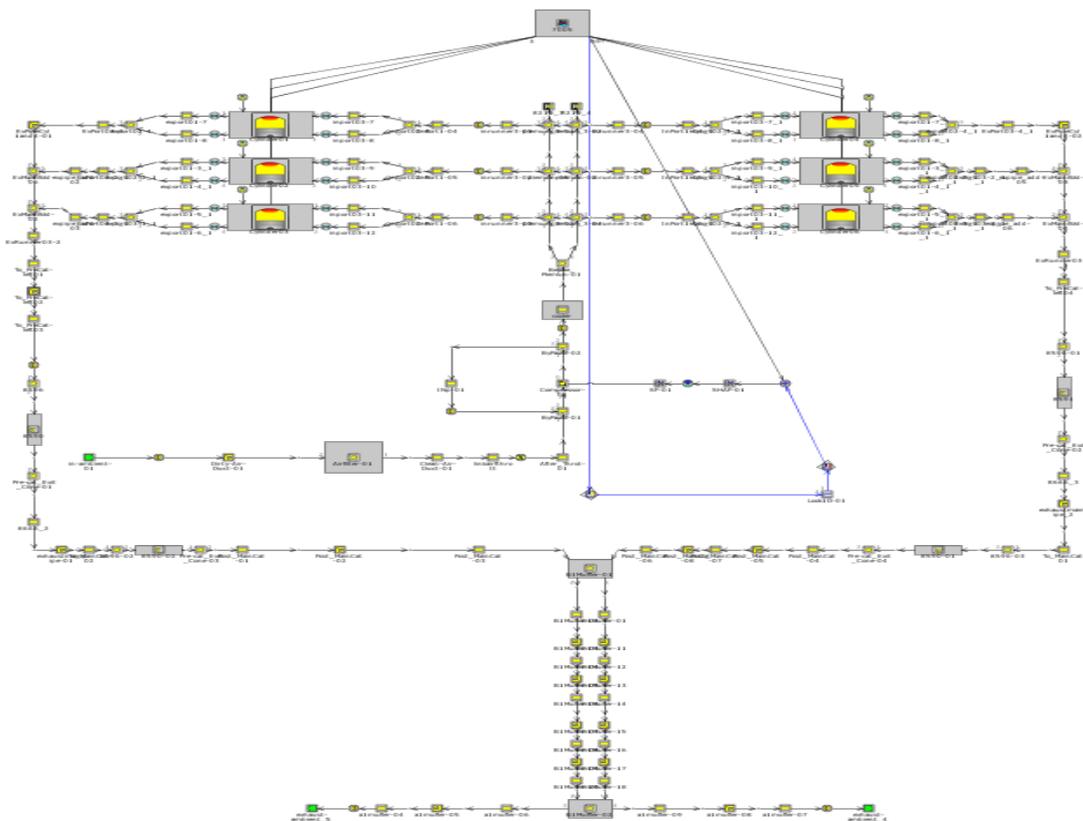
■ 转速小于3000rpm采用滚流翻板

二、仿真建模及校核



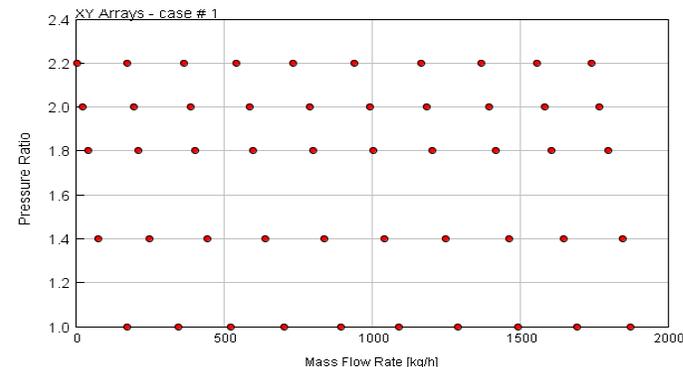
让理想飞翔

2.2 发动机万有特性模型-边界条件

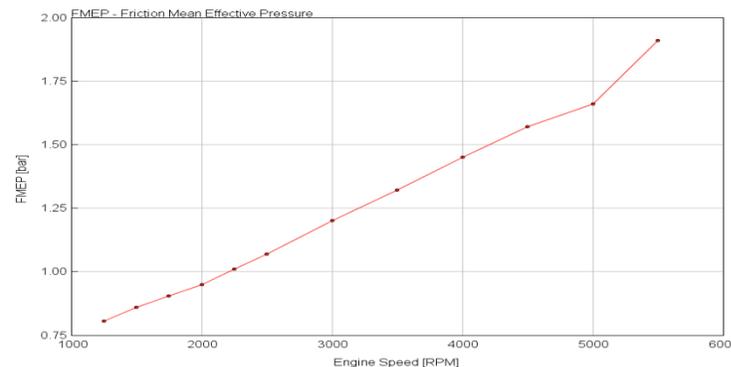


增压器

Speed	Mass Flow Rate	Pressure Ratio	Isentropic Efficiency	Total Shaft Power
RPM	kg/h		%	kW
2000.0	176.0	1.0	7.0	0.3
2000.0	76.9405	1.4	55.0	2.0
2000.0	41.4295	1.8	46.0	4.0
2000.0	23.674	2.0	38.0	6.5
2000.0	5.9185	2.2	30.0	8.0
4000.0	349.3	1.0	10.3	0.7
4000.0	251.0	1.4	62.6	4.0
4000.0	213.2	1.8	55.2	7.4
4000.0	197.6779	2.0	49.0	10.0
4000.0	174.6039	2.2	43.0	12.0
6000.0	523.4	1.0	14.4	1.5
6000.0	444.0	1.4	69.6	6.1
6000.0	405.6	1.8	63.8	11.0
6000.0	389.0	2.0	59.9	13.4
6000.0	367.0	2.2	55.0	16.0
8000.0	703.9	1.0	16.3	2.7
8000.0	639.1	1.4	71.5	8.3
8000.0	600.3	1.8	68.8	14.6
8000.0	587.2	2.0	66.6	18.0



FMEP

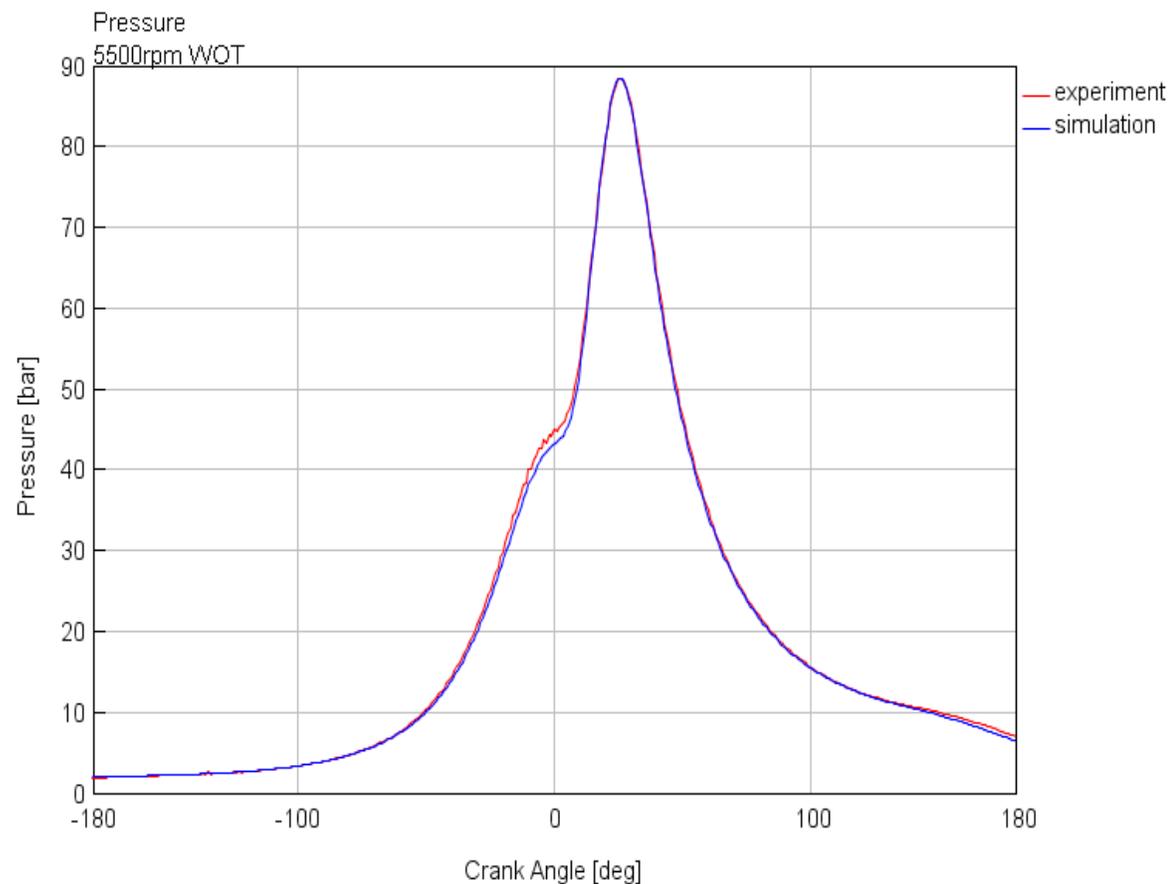


- FMEP输入的是摩擦功试验数据
- 增压器map为供应商提供实测数据

二、仿真建模及校核

2.2 发动机万有特性模型-边界条件

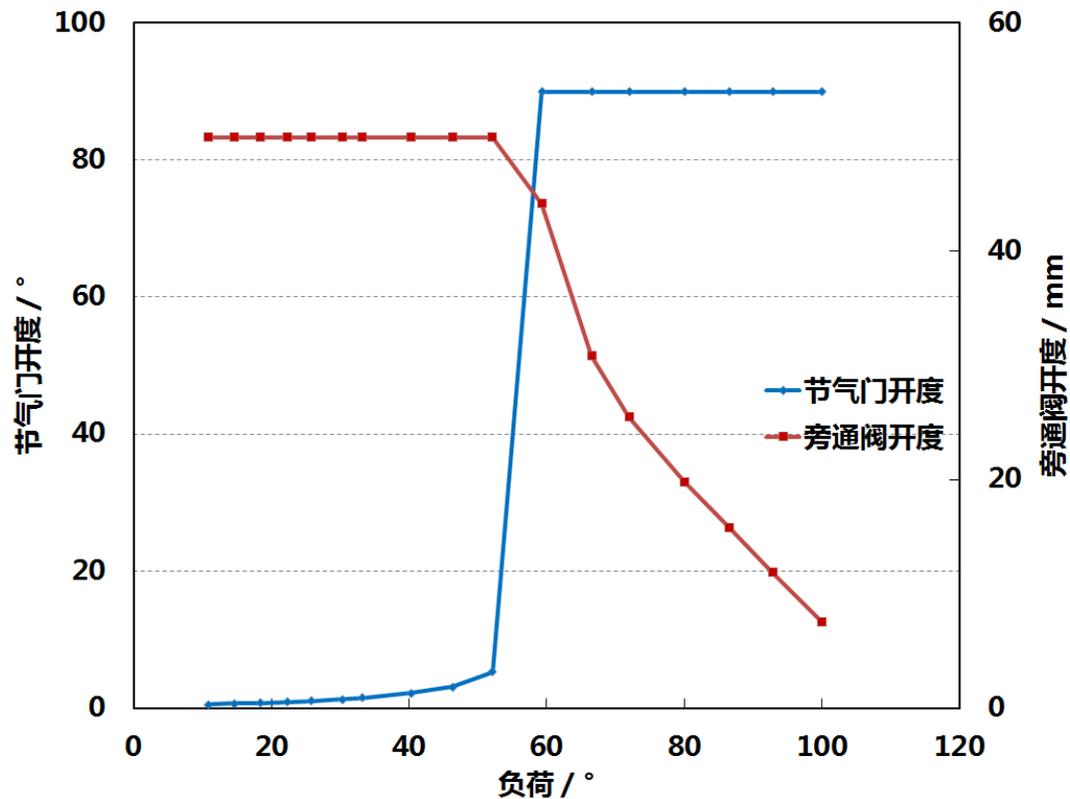
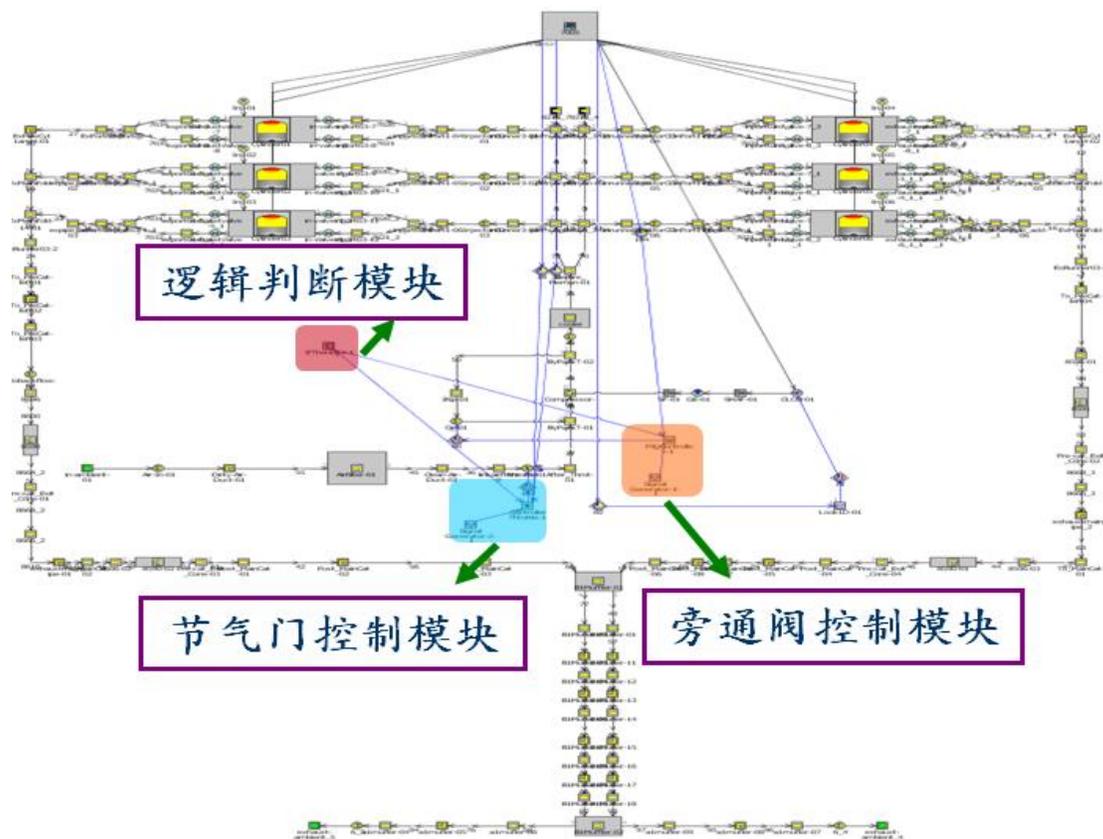
□ 燃烧



- 输入试验缸压曲线，得到计算缸压及放热率曲线
- 计算得到的缸压曲线与试验值拟合较好
- 将缸压试验曲线带入模型作为燃烧边界

二、仿真建模及校核

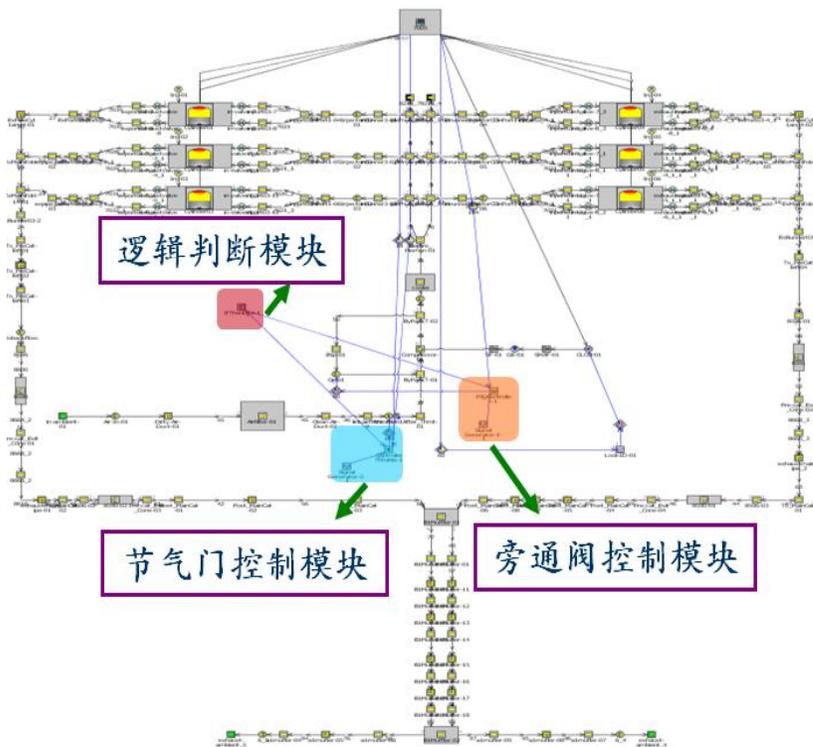
2.2 发动机万有特性模型-万有特性模型建立



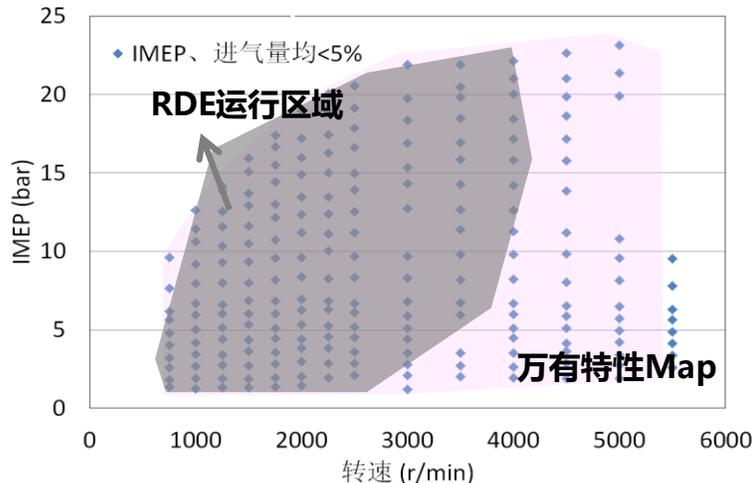
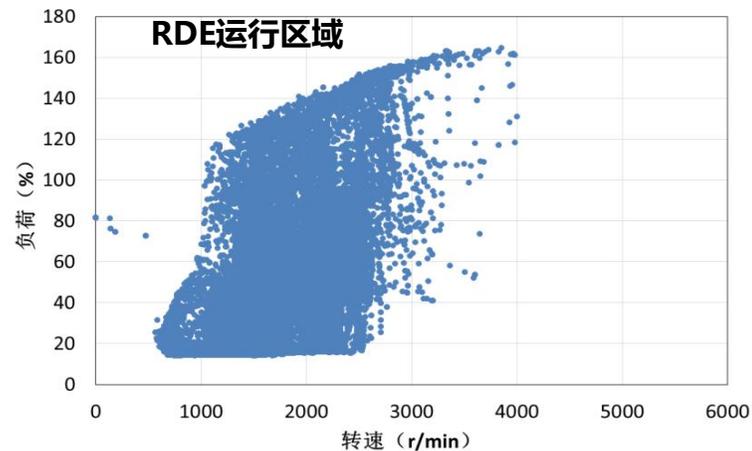
■ 建立全模型，建立负荷控制模块，按照发动机实际控制策略进行模拟仿真

二、仿真建模及校核

2.2 发动机万有特性模型-万有特性结果



SPEED r/min	IMEP bar	进气量试验值 kg/h	IMEP仿真值 bar	进气量仿真值 kg/h	IMEP偏差 %	进气量偏差 %
5500	9.52	441.94	9.69	430.70	1.82	2.54
5500	7.78	371.83	7.92	359.04	1.77	3.44
5500	6.28	308.81	6.41	298.02	2.13	3.50
5500	5.63	281.51	5.76	270.86	2.24	3.78
5500	4.86	249.67	4.99	240.82	2.62	3.55
5500	4.13	219.39	4.26	211.87	3.22	3.43
5500	3.37	187.11	3.48	181.82	3.36	2.83
5500	2.61	155.42	2.69	152.69	3.22	1.75
5000	23.14	947.86	23.29	956.21	0.63	0.88
5000	21.37	861.66	21.54	868.45	0.80	0.79
5000	19.89	796.10	20.01	799.25	0.59	0.40
5000	10.79	447.70	10.97	437.09	1.70	2.37
5000	9.56	400.79	9.75	391.32	1.97	2.36
5000	8.15	347.00	8.32	338.86	2.09	2.34
5000	6.47	283.98	6.64	277.56	2.66	2.26
5000	5.7	255.01	5.86	249.01	2.88	2.35
5000	4.93	226.65	5.10	221.32	3.43	2.35
5000	4.21	199.89	4.39	194.85	4.16	2.52
5000	3.42	169.28	3.53	163.69	3.20	3.30
5000	2.75	143.77	2.86	139.71	4.02	2.82
5000	1.91	114.52	1.99	114.12	4.01	0.35
4500	22.63	825.83	22.77	828.68	0.62	0.35
4500	21.02	756.16	21.14	763.83	0.58	1.01
4500	11.19	409.58	11.31	403.21	1.10	1.56
4500	9.86	362.52	9.96	357.78	1.01	1.31
4500	8.03	302.05	8.14	297.89	1.35	1.38
4500	6.52	250.77	6.60	248.46	1.20	0.92
4500	5.87	229.72	5.98	227.19	1.92	1.10
4500	5.1	203.28	5.20	201.11	1.92	1.07
4500	4.12	173.35	4.25	169.94	3.24	1.96
4500	3.62	155.48	3.71	152.72	2.47	1.78
4500	2.88	129.11	2.97	128.89	3.12	0.17
4500	1.92	100.97	1.99	101.14	3.86	0.16



■ 211个工况点满足IMEP<5%、进气量偏差<3%，并满足RDE运行工况需求

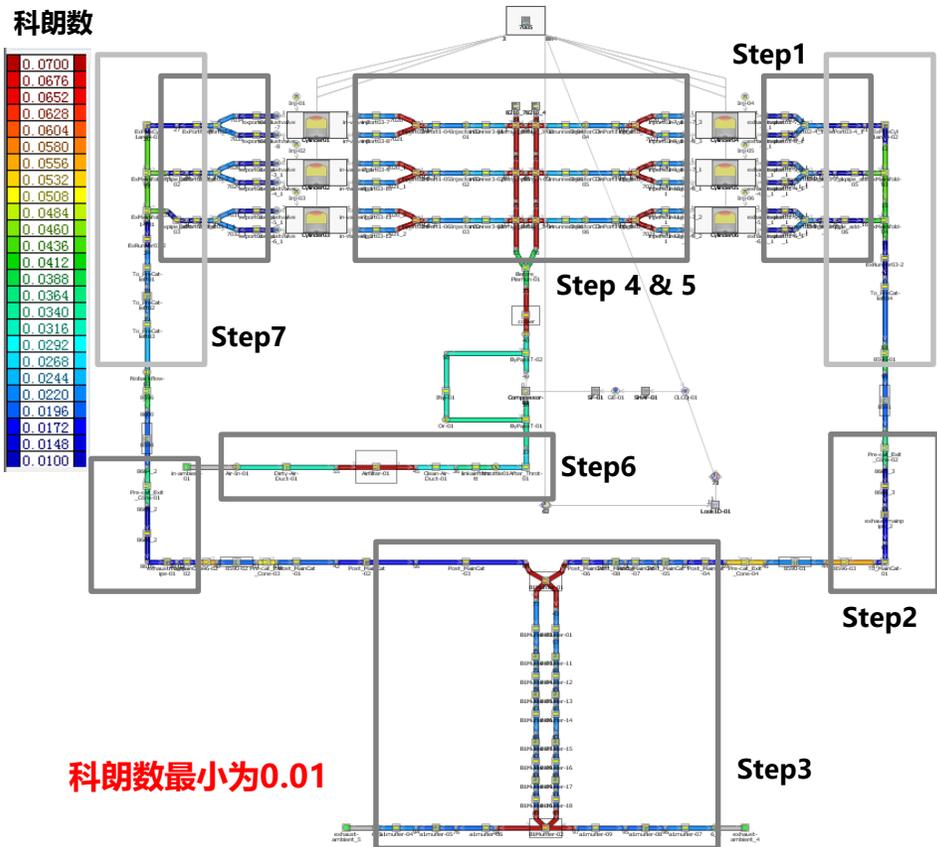
二、仿真建模及校核



让理想飞扬

2.2 发动机万有特性模型-快速运算模型

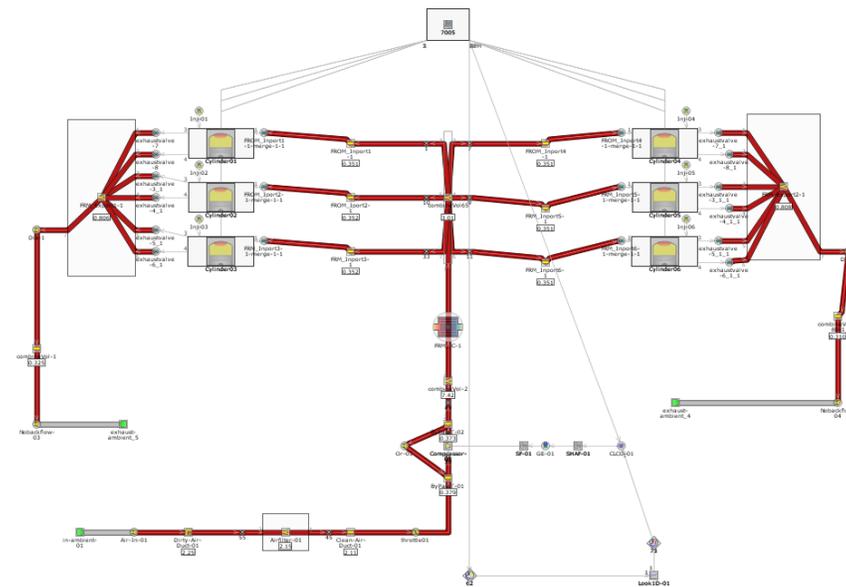
原始万有特性模型



转化步骤

- Step1: 排气歧管&排气道
 - Step2: 三元和GPF中间管路
 - Step3: GPF后整车排气管路
 - Step4: 进气歧管&进气道
- ➔
- Step5: 进气总管
 - Step6: 增压器前进气管路
 - Step7: 排气总管

转化后快速运算模型

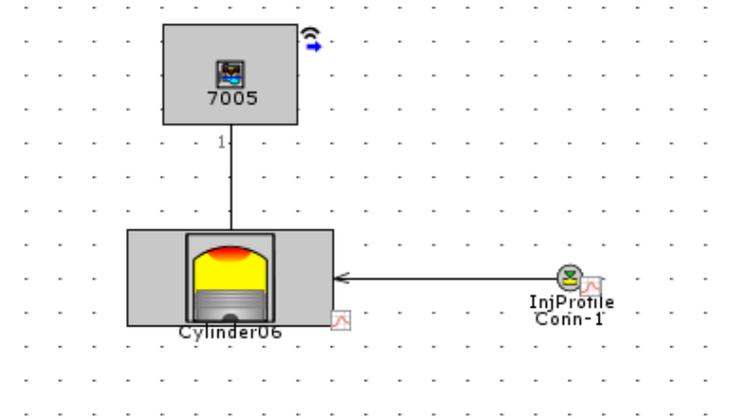


- 科朗数越小，运算速度越慢，根据科朗数对管路进行简化，提高运算速度
- 转化过程至少需要7步，每一步均要对万有特性Map的211个工况点进行管路参数（摩擦、换热系数等）优化
- 科朗数最小值由0.01提升至0.33，计算速度提升33倍

二、仿真建模及校核

2.3 预测燃烧模型建模-单缸建模

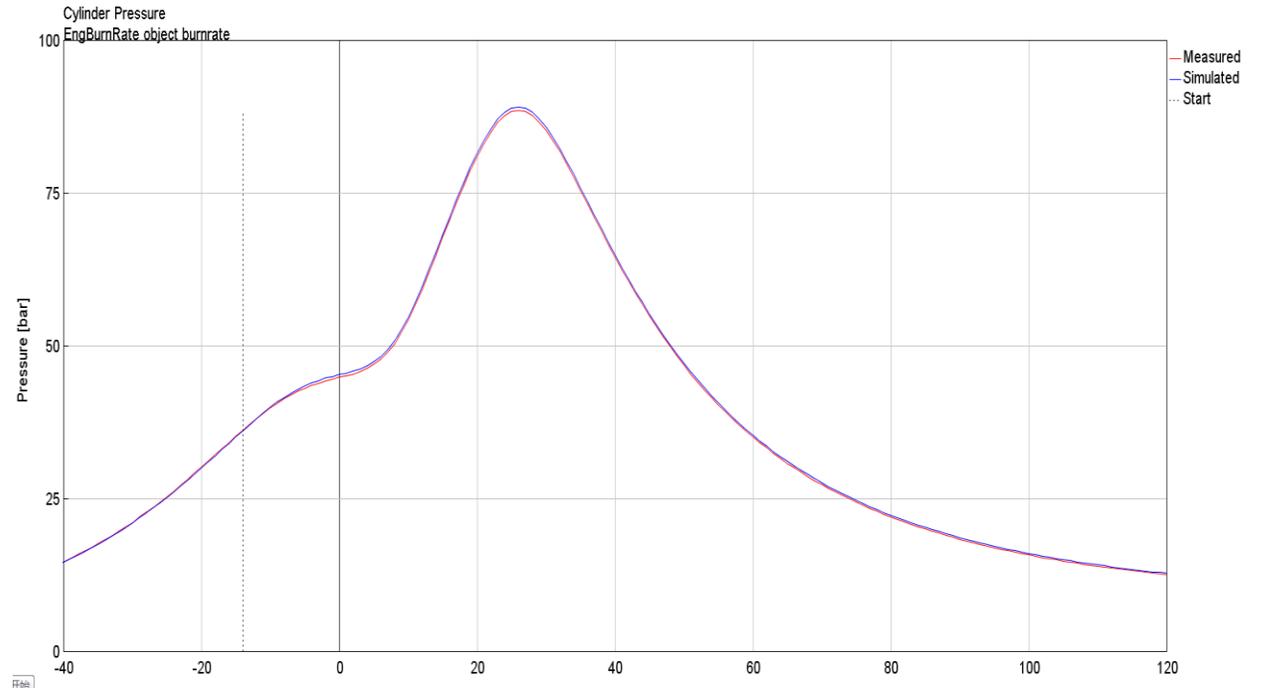
□模型



✓ Main

Attribute	Unit	Object Value
Air Mass at IVC		
Air Object		air...
Air Volumetric Efficiency	See C...	[air-efficiency]...
Air Trapping Ratio		[trapped-air]...
Fuel Mass at IVC		
Fuel Object		indolene-liqi...
Trapped Fuel Mass	See C...	[trappedfuel]...
Trapped Fuel Vapor Fraction		1...
Residual Gas at IVC (includes EGR)		
Residual Gas Fraction	See C...	[residualgas]...
Air-to-Fuel Ratio of Residual Gas		def...

□缸压标定结果



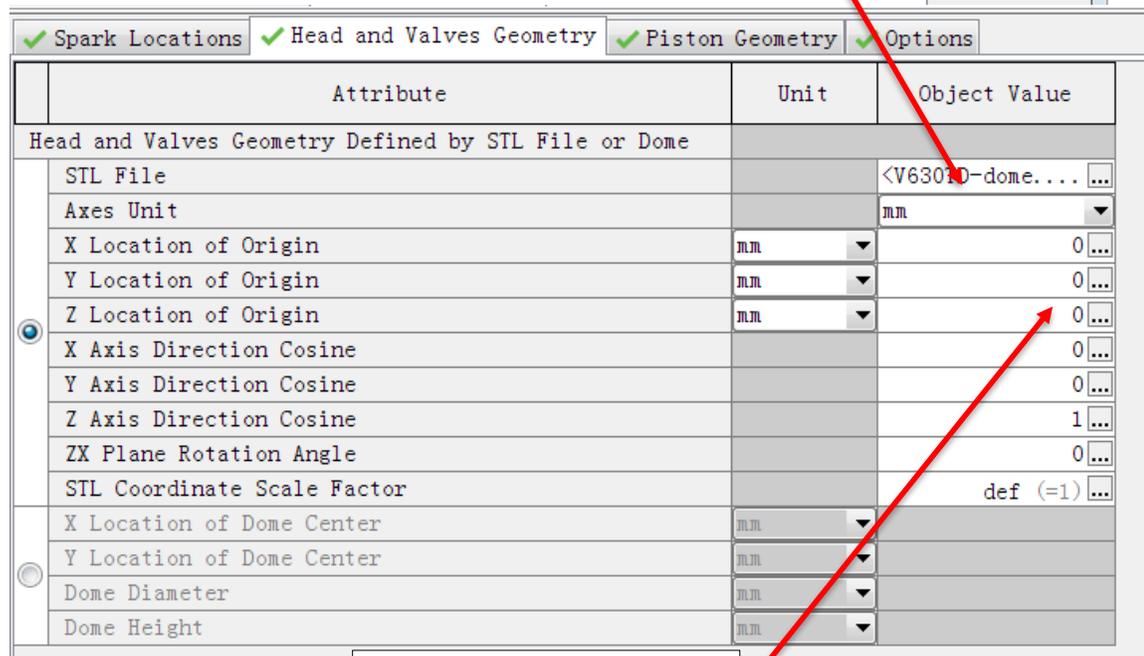
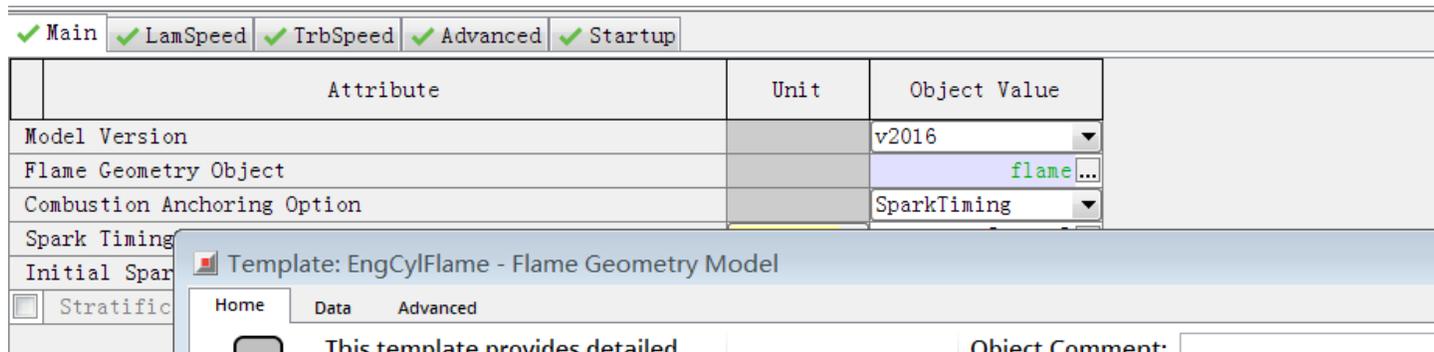
■在多缸机经过第一轮气量校核后，取多缸机其中一个缸（实测缸压的那一个缸），用计算得到的缸内初始状态（充气效率，残余废气），以及实验相关喷油控制（持续期，喷油时刻），输入缸内初始状态（定义为IVC时刻缸内状态）。

二、仿真建模及校核

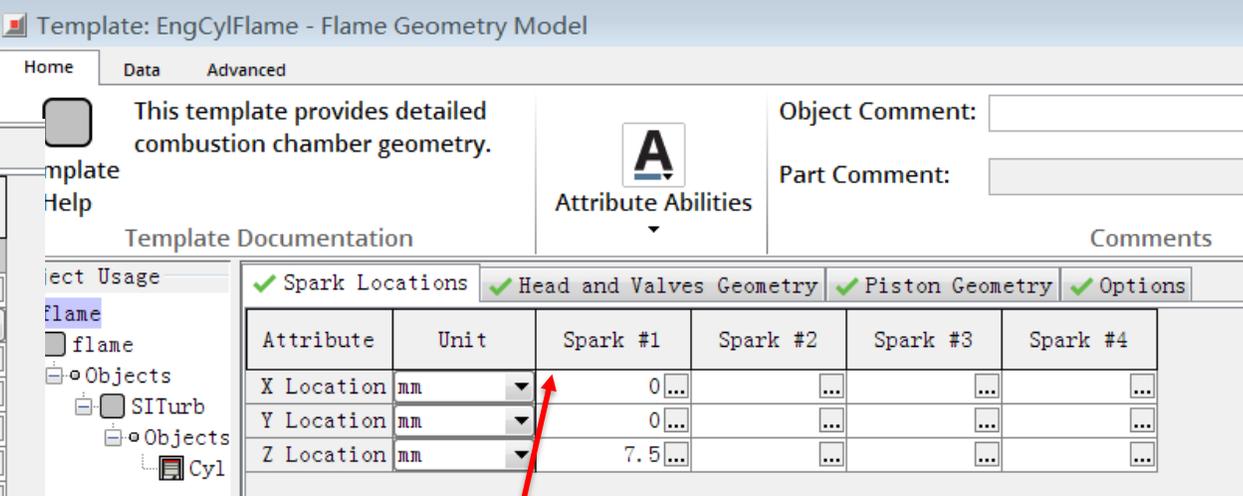
2.3 预测燃烧模型建模-导入三维

SI Turb, flame需要输入三维结构，导入STL格式的缸盖和活塞顶

导入STL文件



STL坐标和GT坐标偏差



火花塞空间坐标，以缸盖坐标为准

二、仿真建模及校核

2.3 预测燃烧模型建模

Attribute	Unit	Object Value
Laminar Flame Speed Model Type		standard
Fuel Name for Laminar Speed		gasoline
Maximum Laminar Speed	m/s	def...
Laminar Speed Roll-off Value	m/s	def...
Equivalence Ratio at Maximum Speed		def...
Temperature Exponent		def...
Pressure Exponent		def...
Dilution Effect Multiplier		[Dilution_Eff]...
Allow Multiple Fuels		<input type="checkbox"/>

影响层流火焰参数

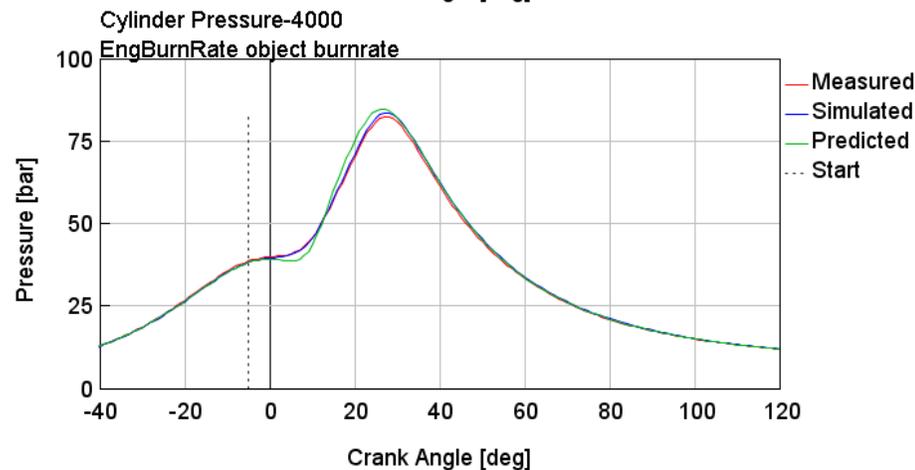
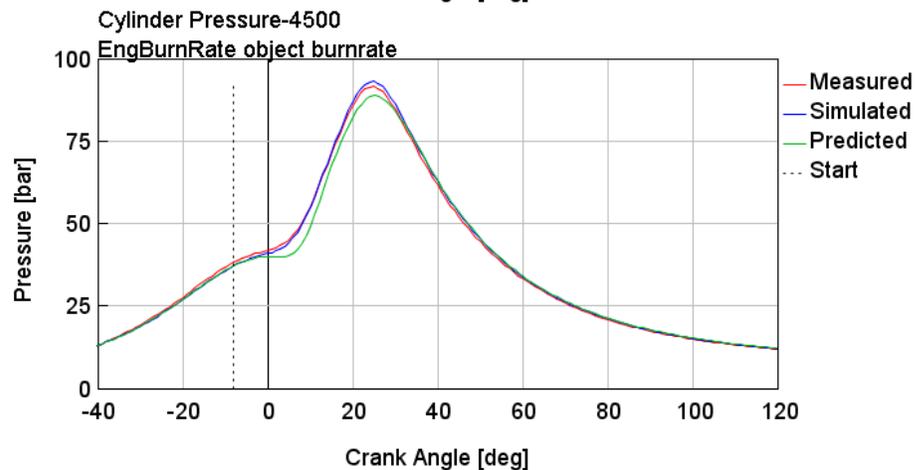
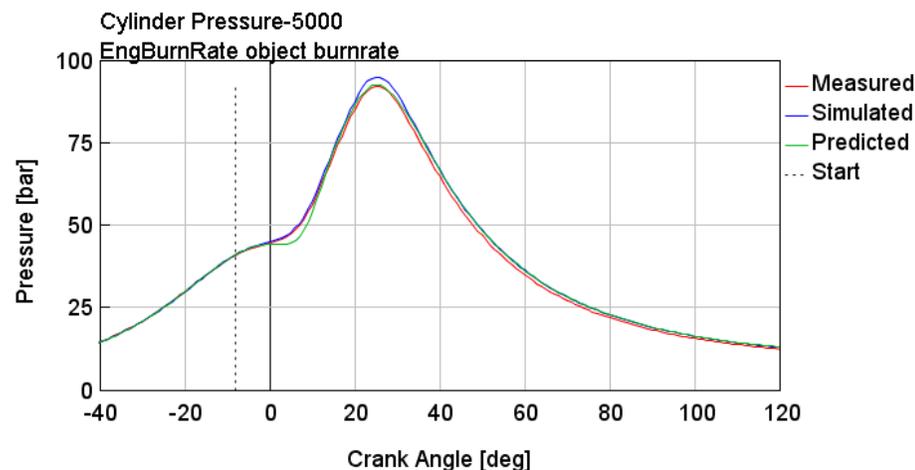
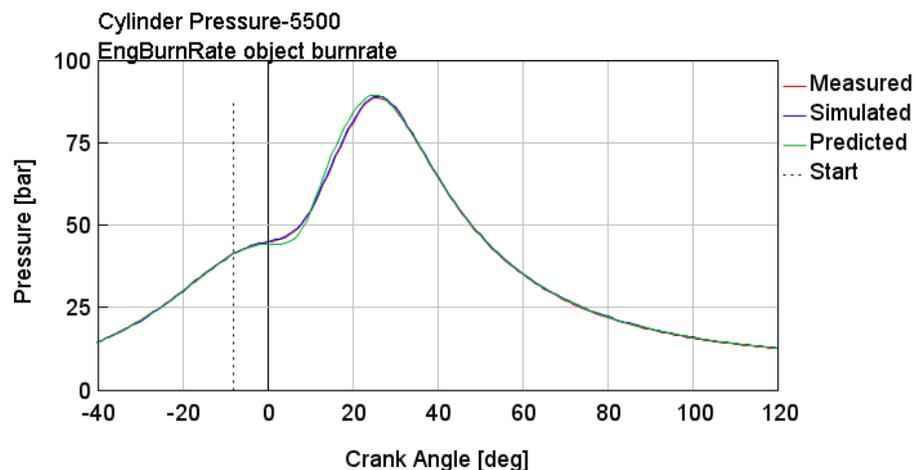
Attribute	Unit	Object Value
Turbulent Flame Speed Model Type		standard
Flame Kernel Growth Multiplier		[Kera_eff]...
Turbulent Flame Speed Multiplier		[Tur_eff]...
Taylor Length Scale Multiplier		[Tay_Leng]...

影响湍流火焰参数

四个影响燃烧的变量，优化这四个参数使得预测燃烧缸压与计算缸压和实验缸压吻合

二、仿真建模及校核

2.3 预测燃烧模型建模

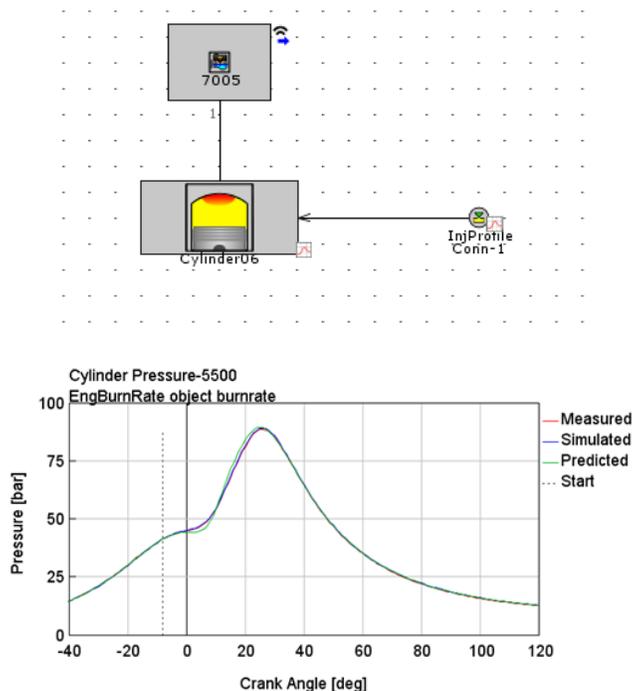


■ 预测燃烧缸压与计算缸压和实验缸压吻合

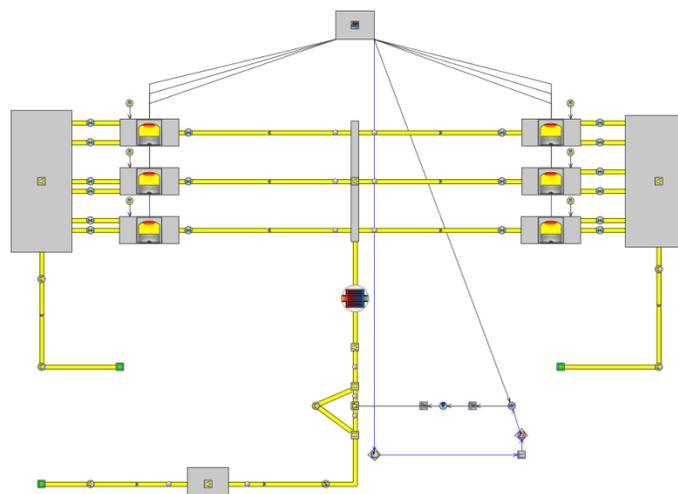
二、仿真建模及校核

2.3 预测燃烧模型建模-FRM模型校核

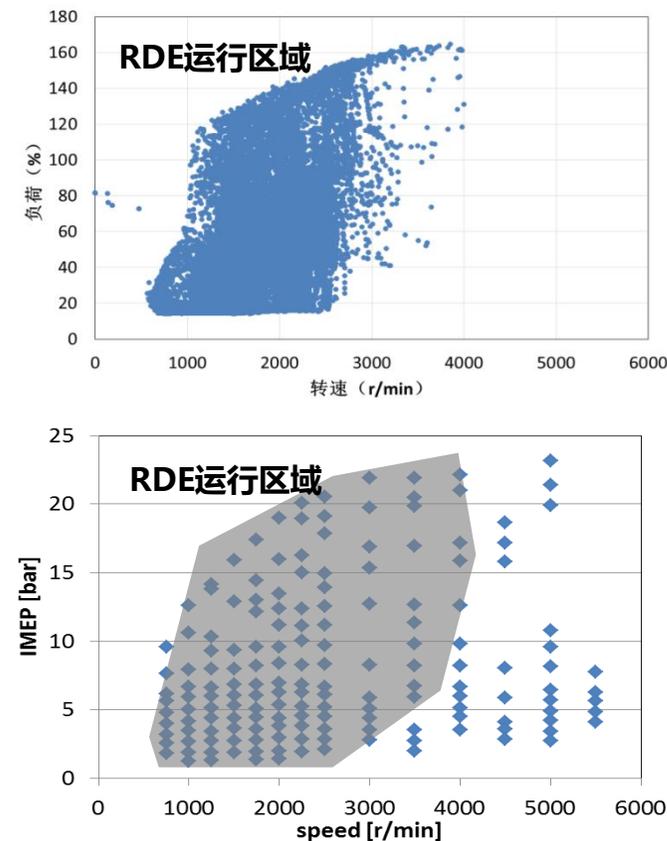
SITurb 预测燃烧模型



FRM模型



结果



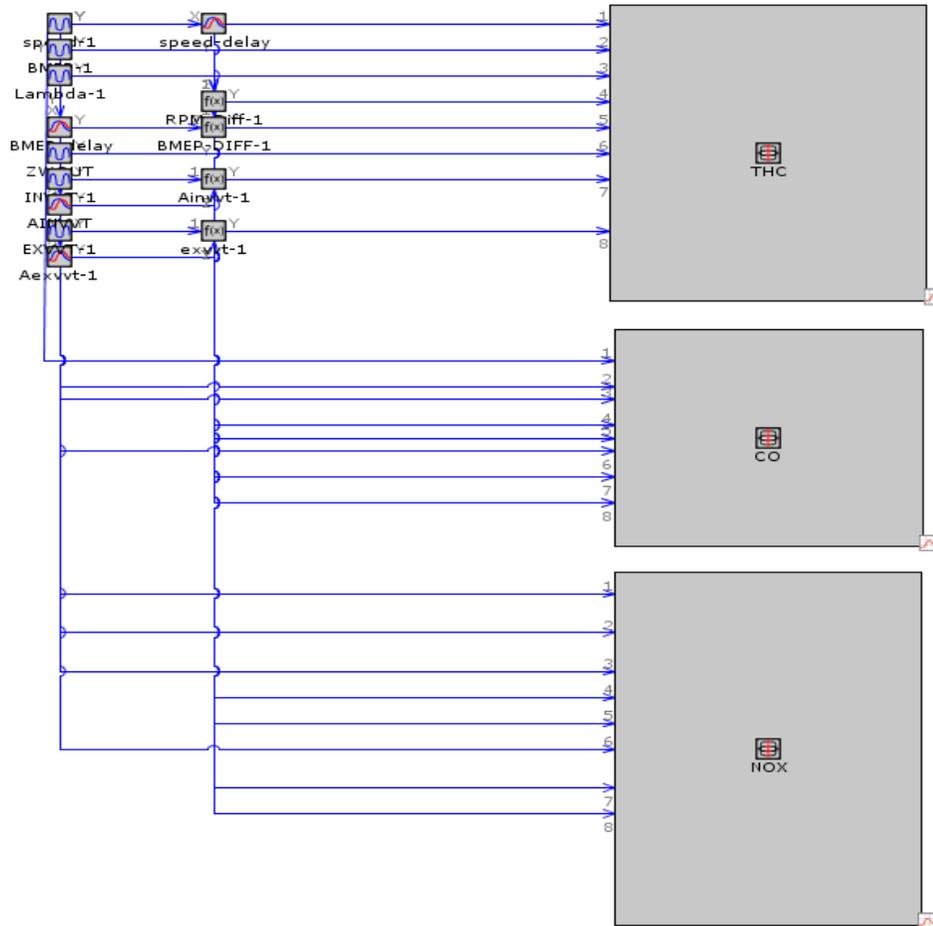
■ 预测燃烧模型带入FRM快速运算模型

■ 万有特性Map中165个工况满足IMEP偏差<5%、进气量偏差<5%，满足RDE运行需求

二、仿真建模及校核

2.4 神经网络模型建模及校核-建模

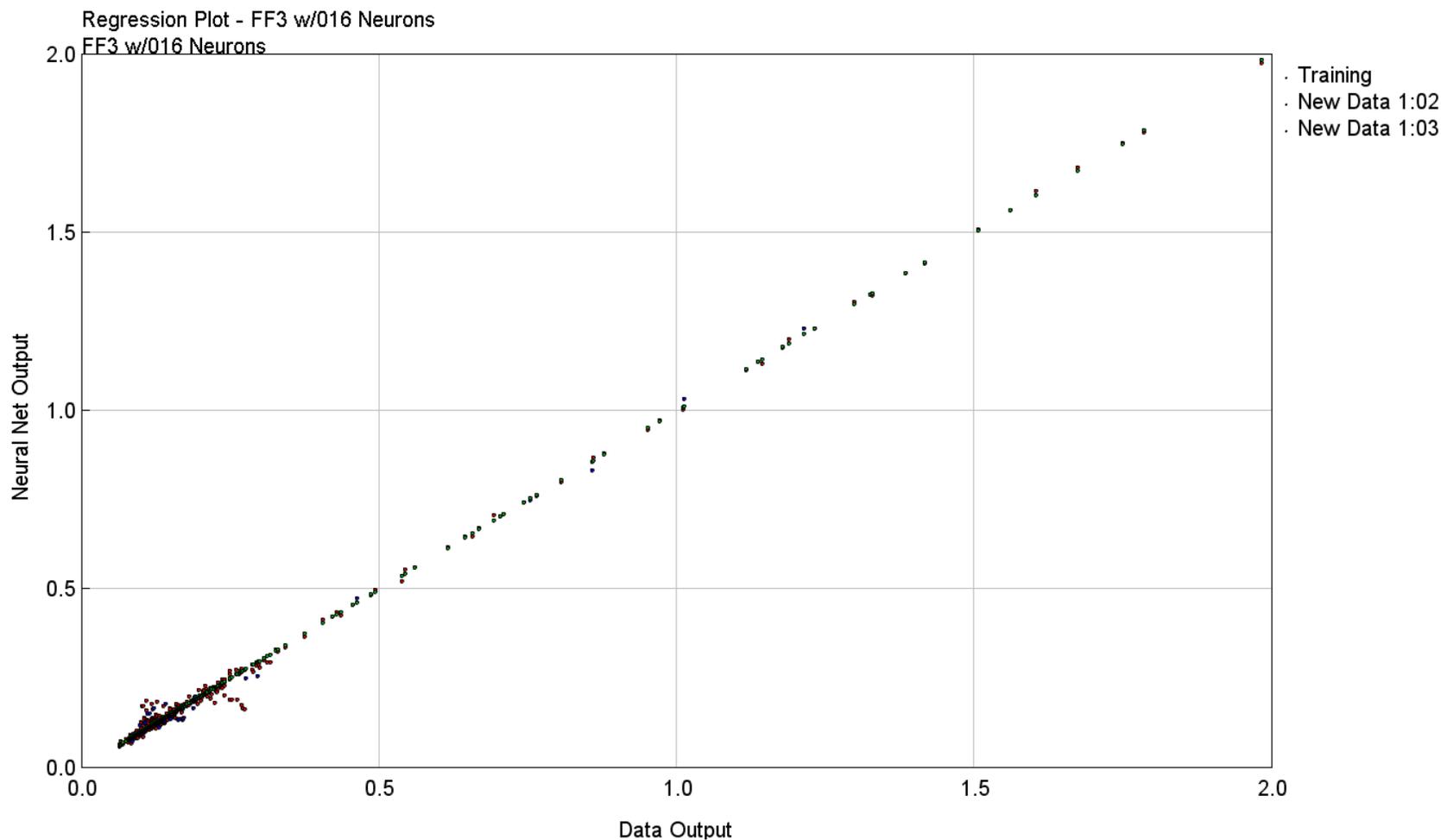
- 发动机转速
- 发动机转速变化率
- IMEP
- IMEP变化率
- 点火角
- 空燃比
- 进排气相位
- ○ ○ ○



■ 利用神经网络方法，通过实验数据，不断训练优化得出上述自变量和排放的关系。

二、仿真建模及校核

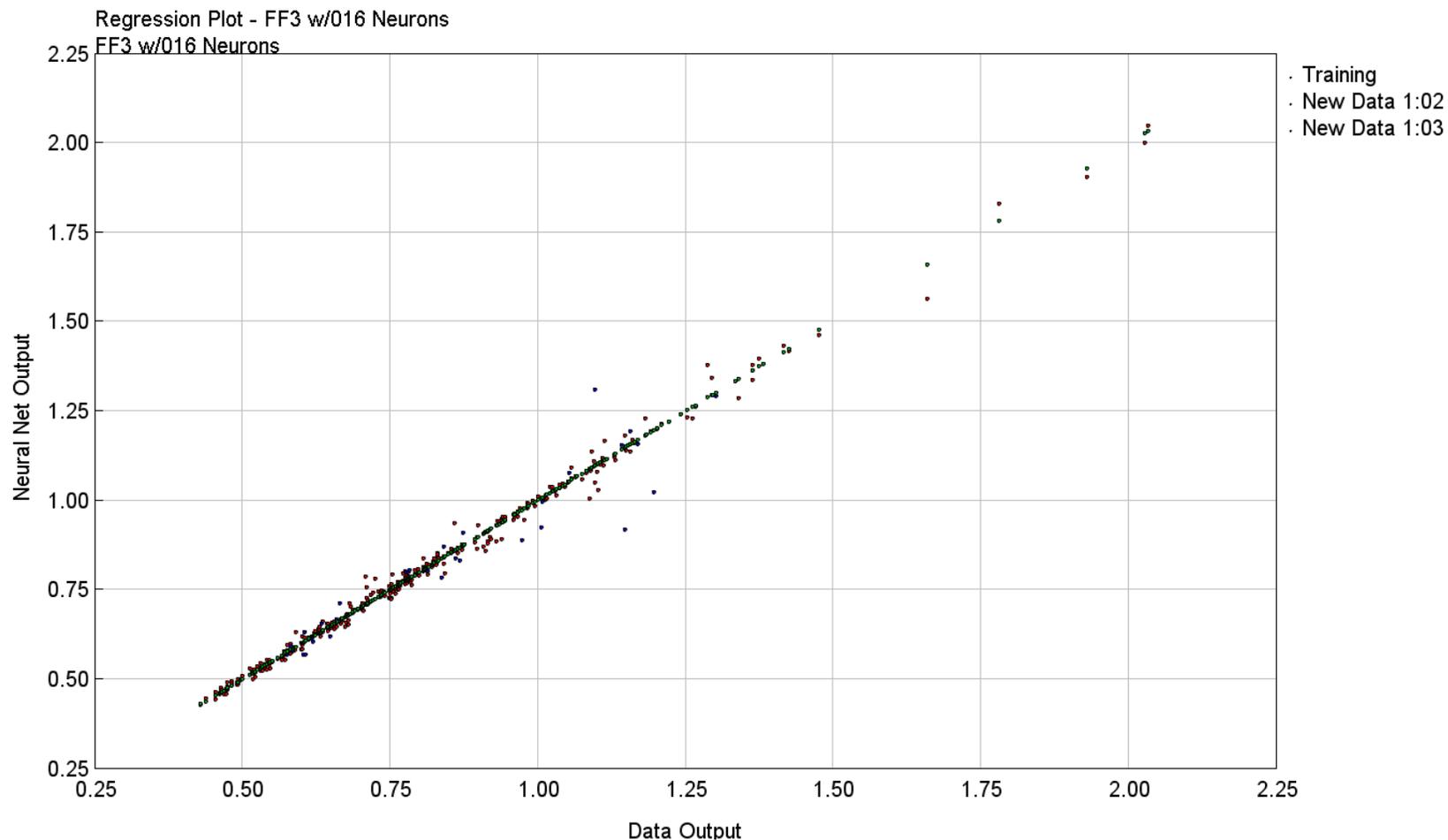
2.4 神经网络模型建模及校核-CO训练结果



■ 蓝色点为验证点，棕色点为训练点，训练点和验证点大体收敛至同一条线，证明数据训练效果较好

二、仿真建模及校核

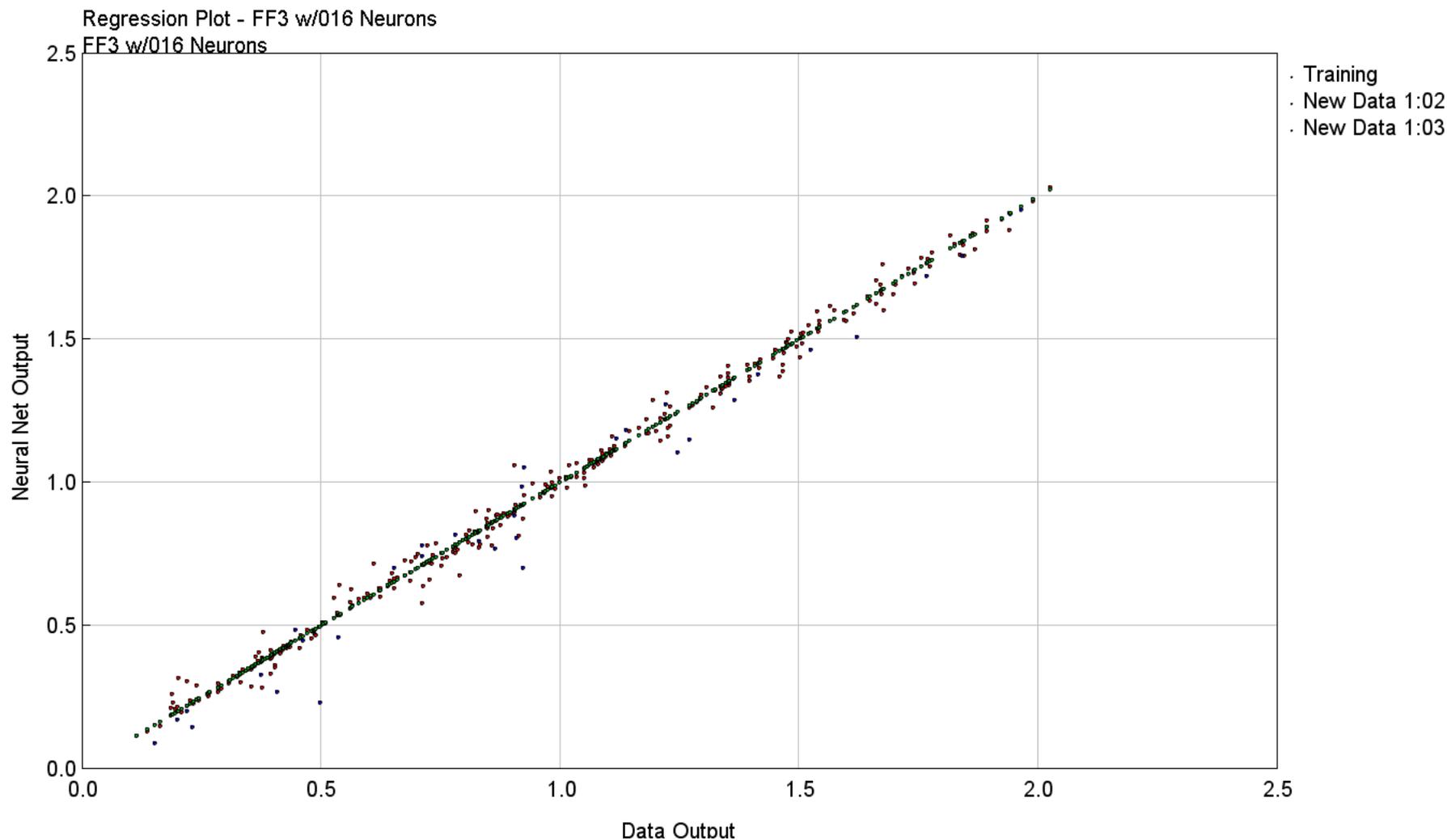
2.4 神经网络模型建模及校核-THC训练结果



■ 蓝色点为验证点，棕色点为训练点，训练点和验证点大体收敛至同一条线，证明数据训练效果较好

二、仿真建模及校核

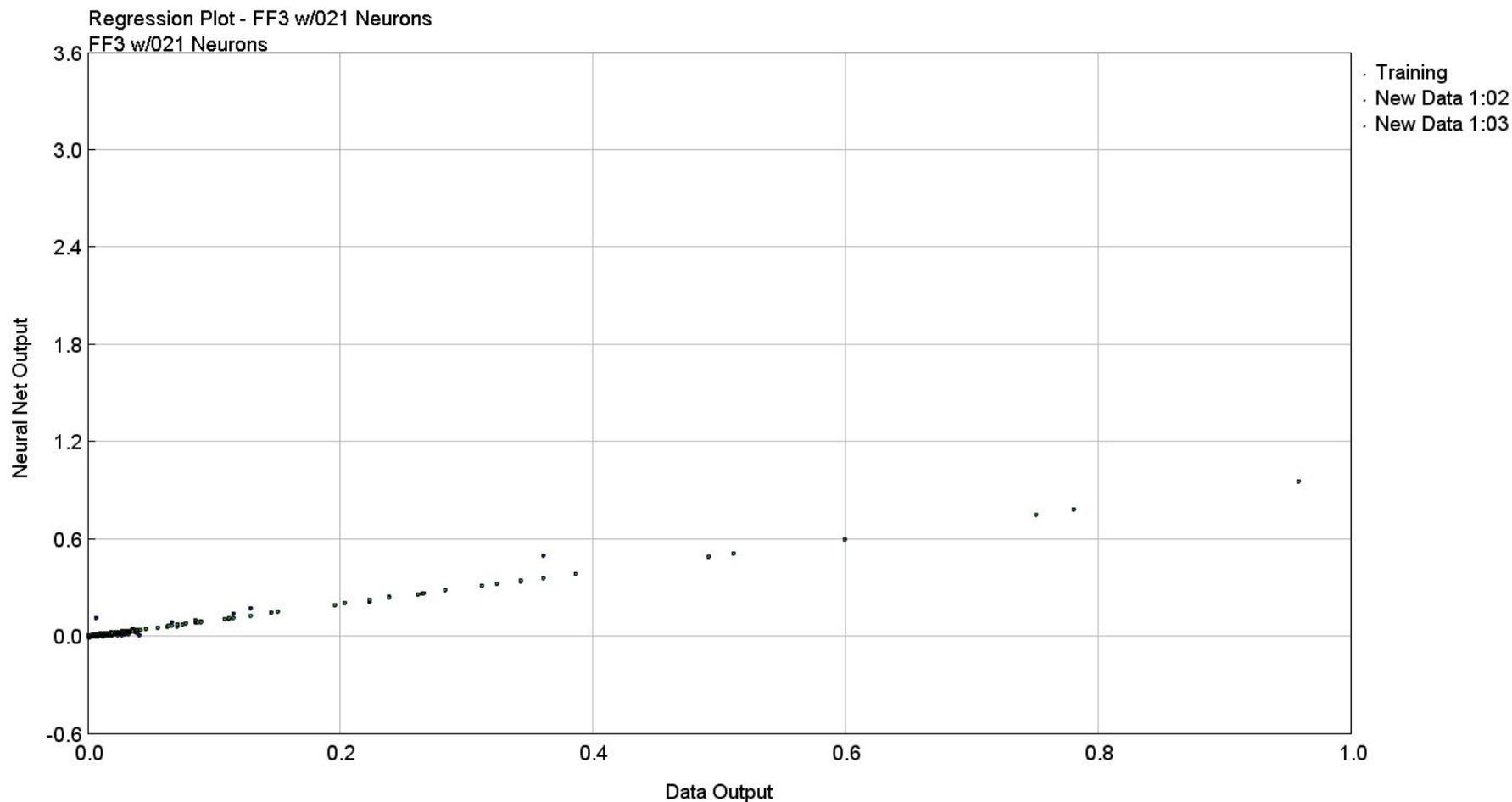
2.4 神经网络模型建模及校核-NOx训练结果



■ 蓝色点为验证点，棕色点为训练点，训练点和验证点大体收敛至同一条线，证明数据训练效果较好

二、仿真建模及校核

2.4 神经网络模型建模及校核-PN训练结果



■ 蓝色点为验证点，棕色点为训练点，训练点和验证点大体收敛至同一条线，证明数据训练效果较好

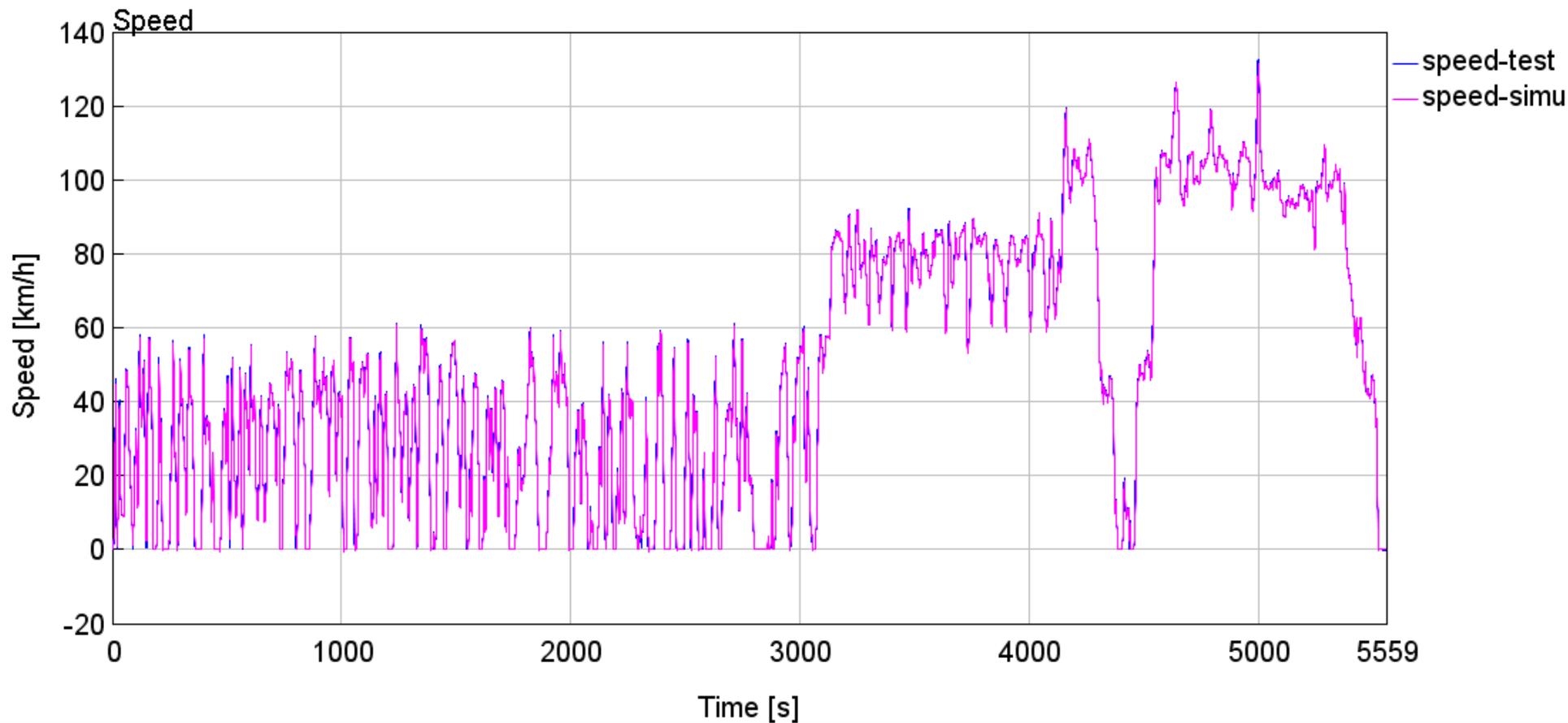
三、排放仿真结果



让理想飞扬

3.1 RDE循环

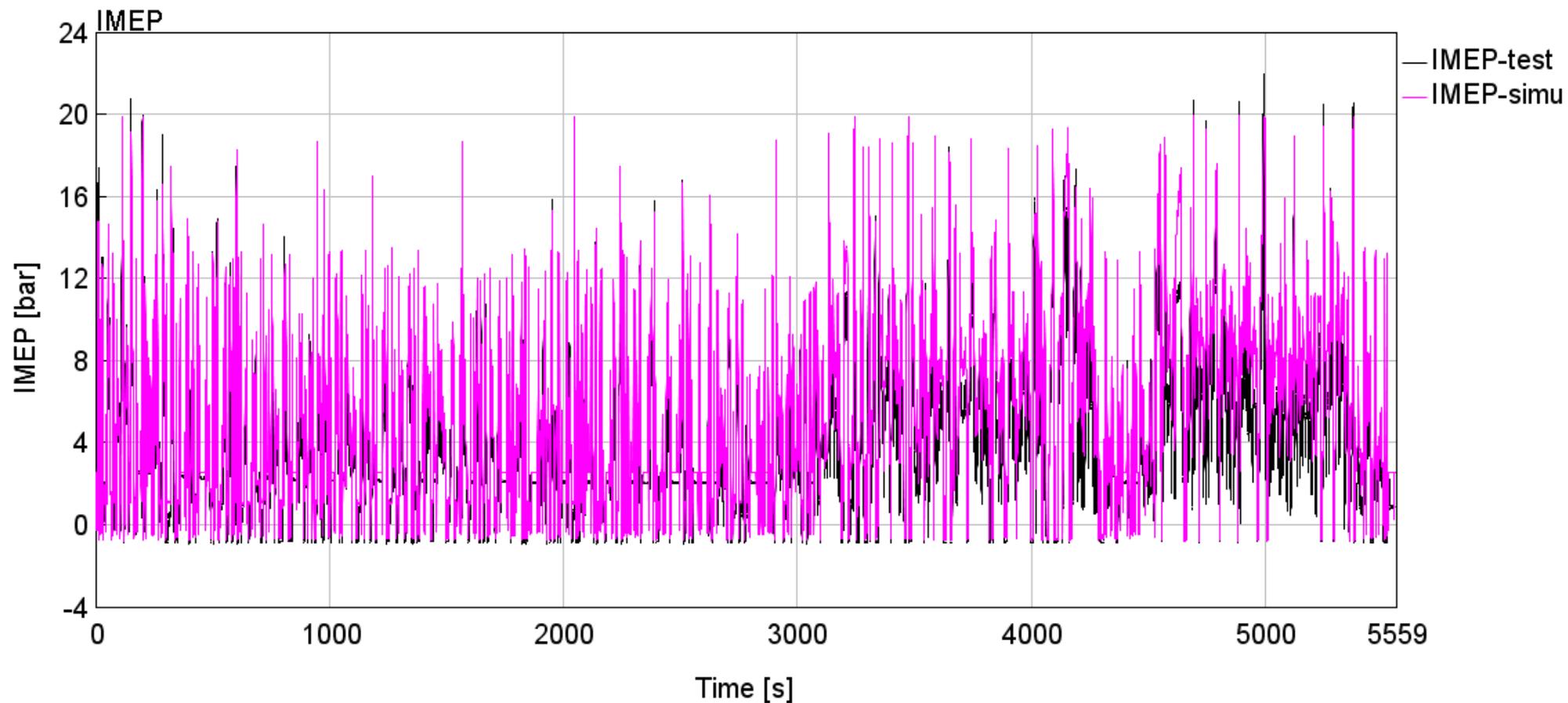
■ 车速



三、排放仿真结果

3.1 RDE循环

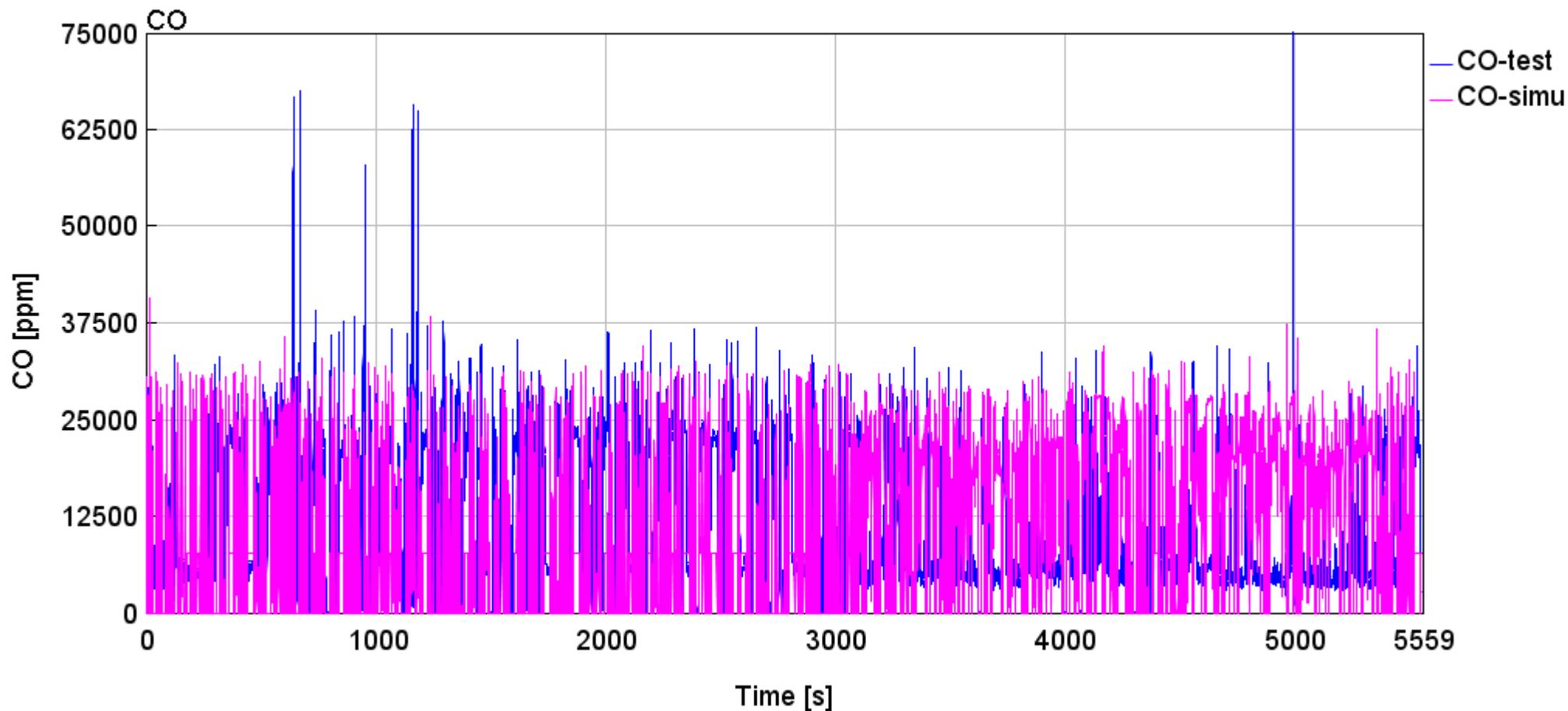
■ IMEP



三、排放仿真结果

3.1 RDE循环

■ 排放-原排-CO



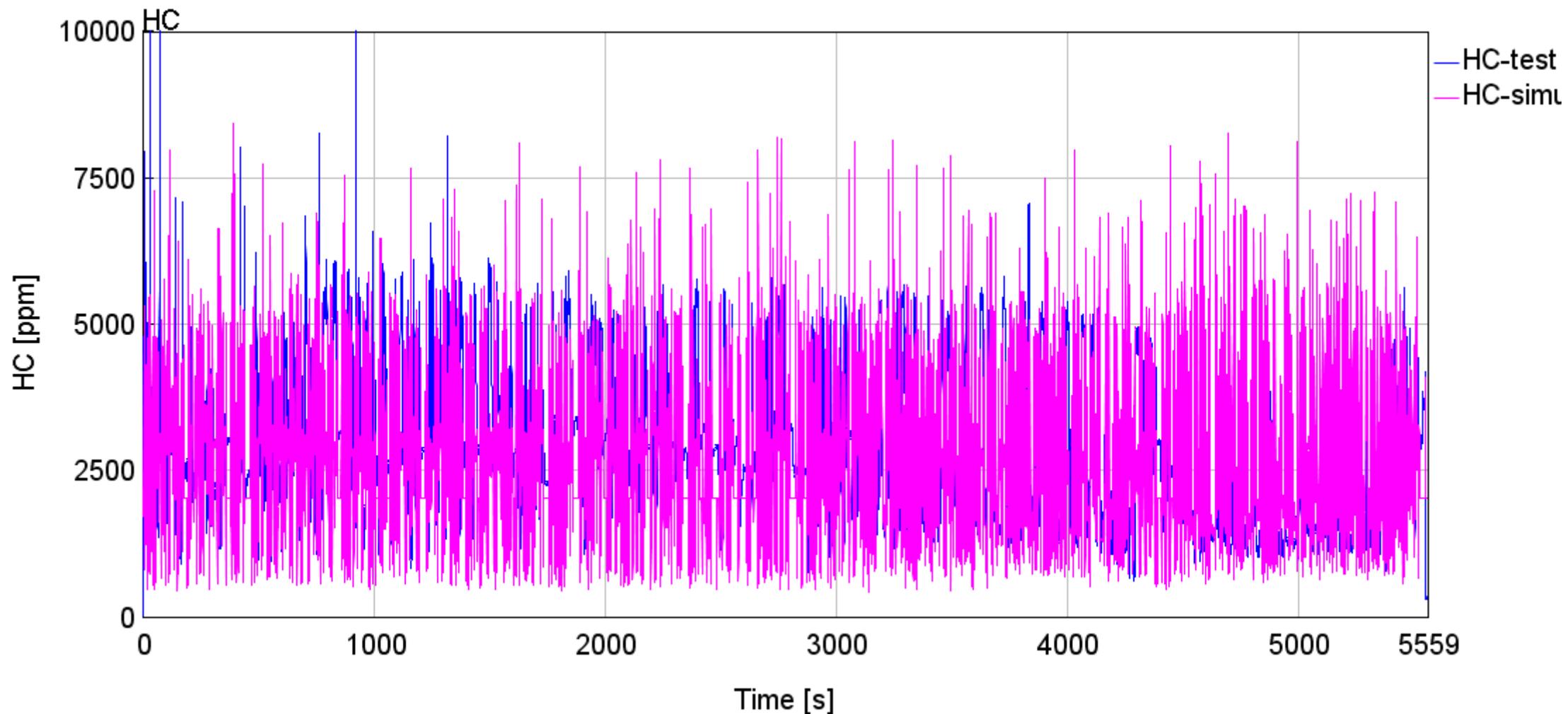
三、排放仿真结果



让理想飞扬

3.1 RDE循环

■ 排放-原排-HC



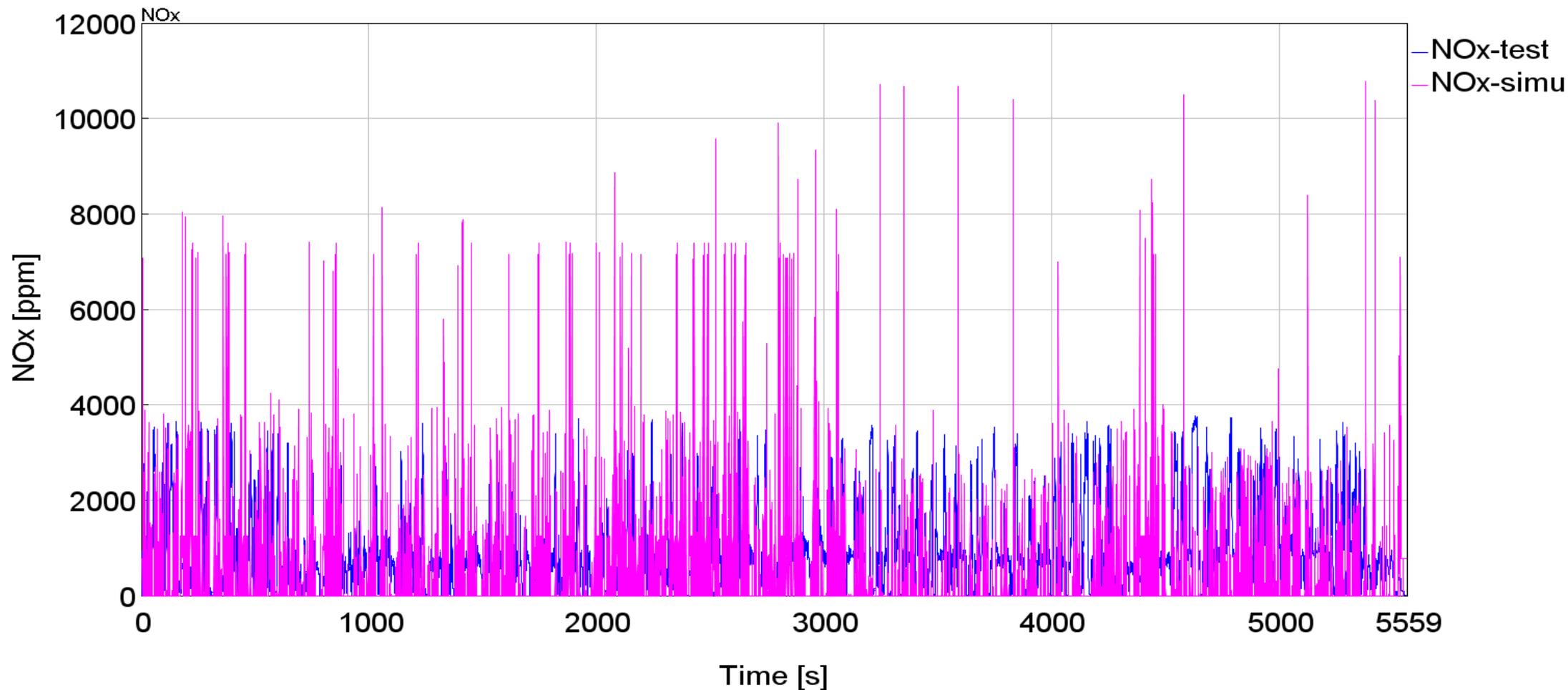
三、排放仿真结果



让理想飞扬

3.1 RDE循环

■ 排放-原排-NO_x



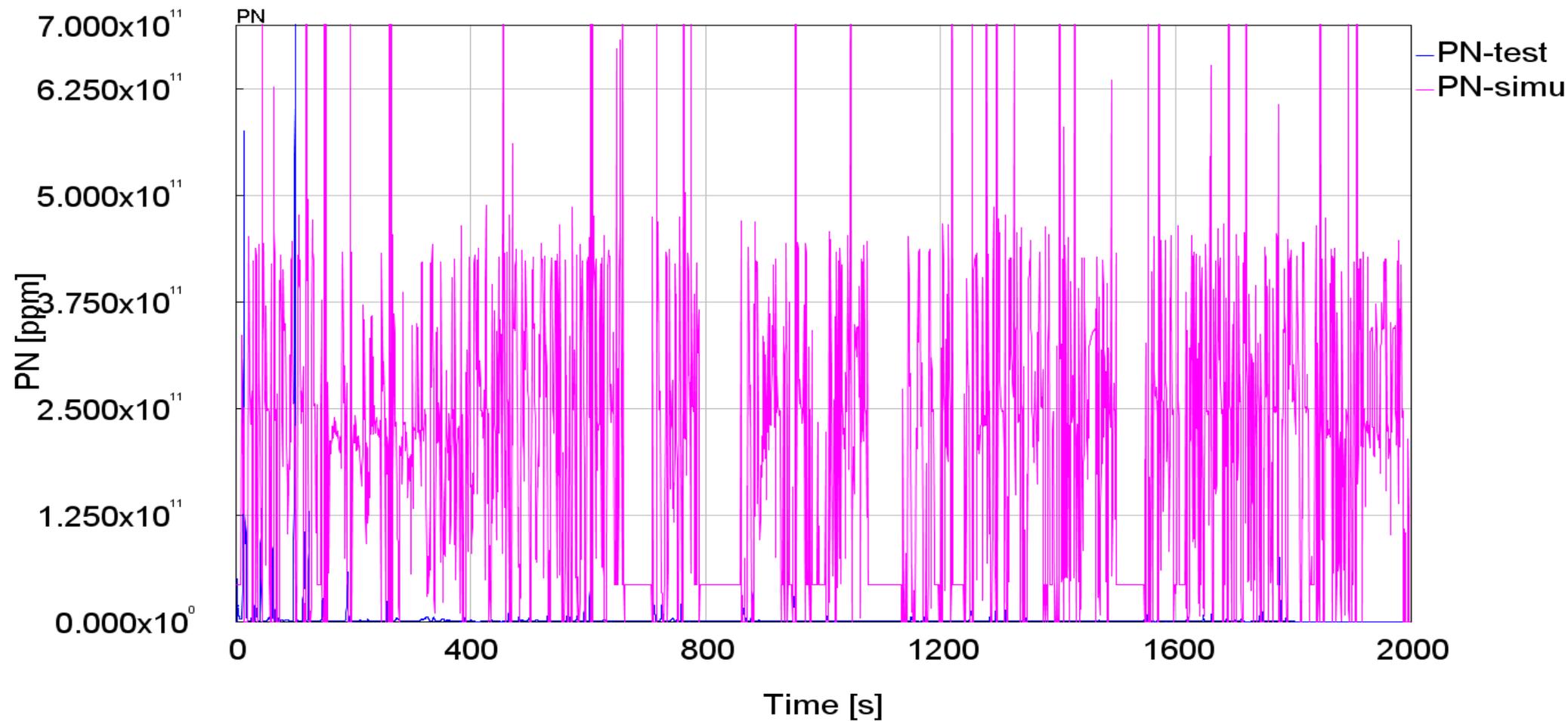
三、排放仿真结果



让理想飞扬

3.1 RDE循环

■ 排放-原排-PN

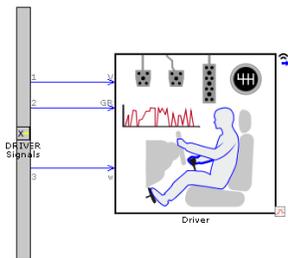


三、排放仿真结果

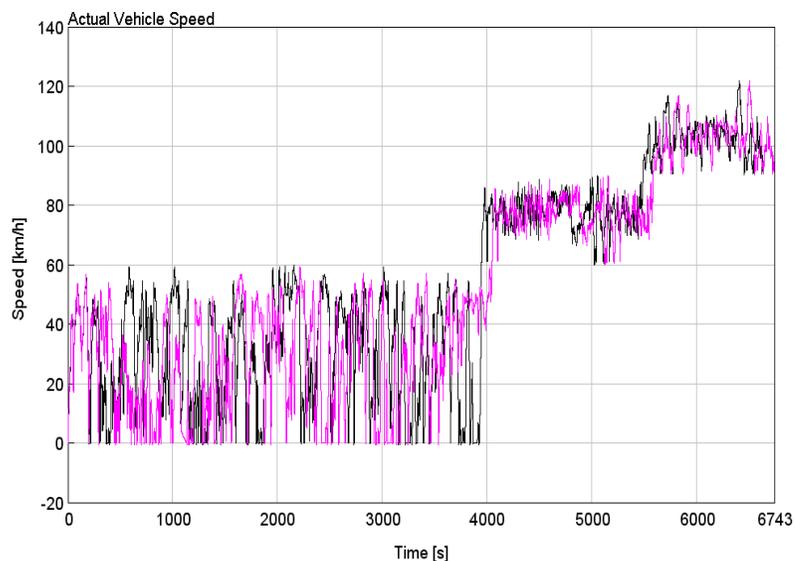


让理想飞扬

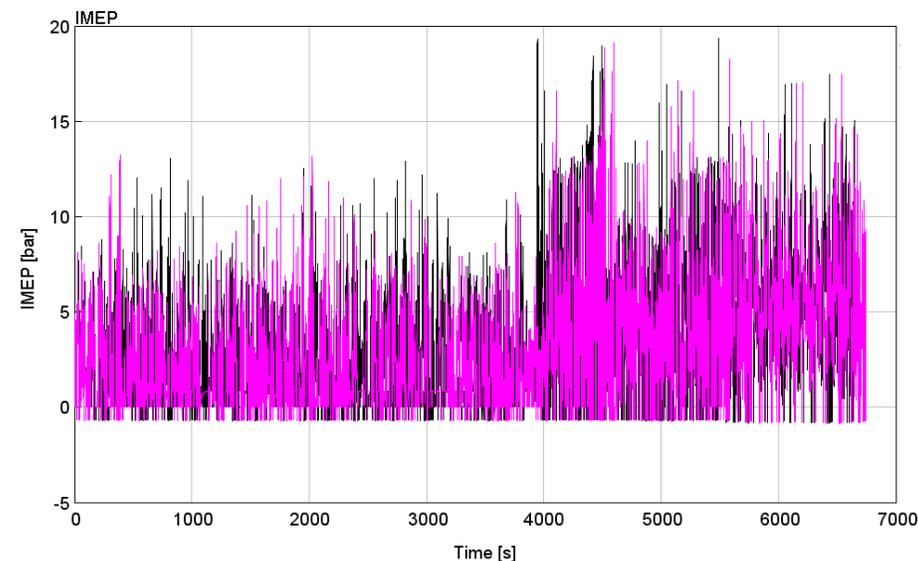
3.2 RDE扩展条件结果-驾驶员行为



		CASE 1	CASE 2
城市路段 加/减速度平均目标	m/s ²	1	2.5
城市路段 加/减速度方差	m/s ²	1.2	2.3
郊区路段 加/减速度平均目标	m/s ²	4	1.7
郊区路段 加/减速度方差	m/s ²	2.3	2
高速路段 加/减速度平均目标	m/s ²	3	1.7
高速路段 加/减速度方差	m/s ²	3	2.7



车速



IMEP

■ 驾驶员行为通过城市、乡村及高速路段的加减速速度平均值、加速度方差等参数进行表征

■ RDE Profile使车速满足RDE法规需求

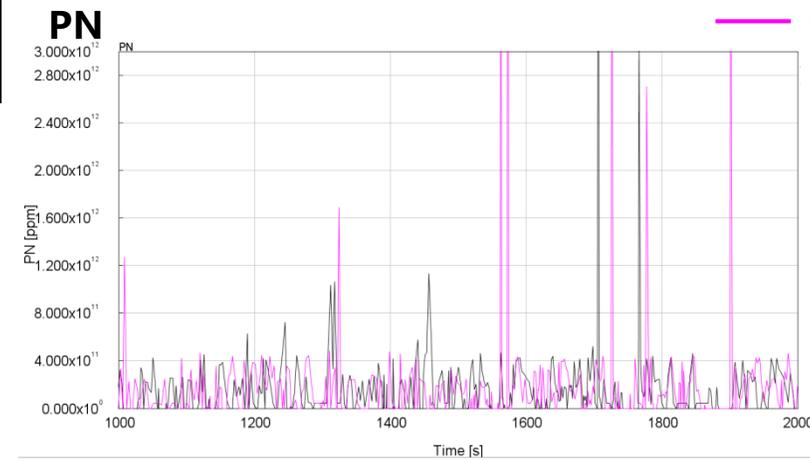
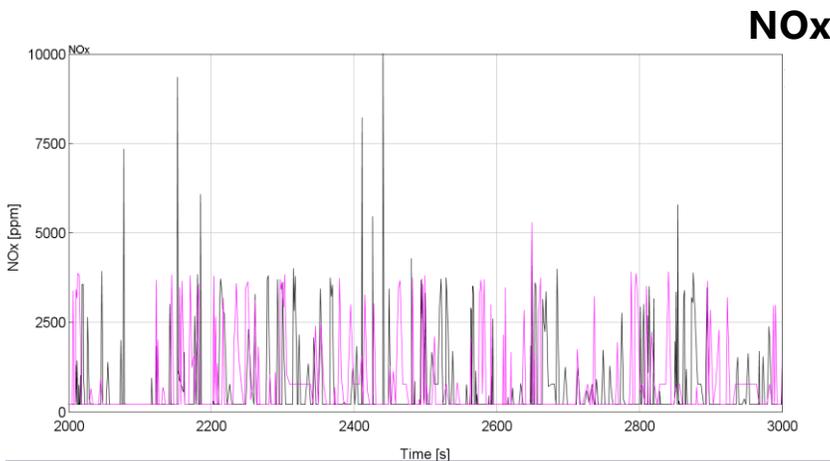
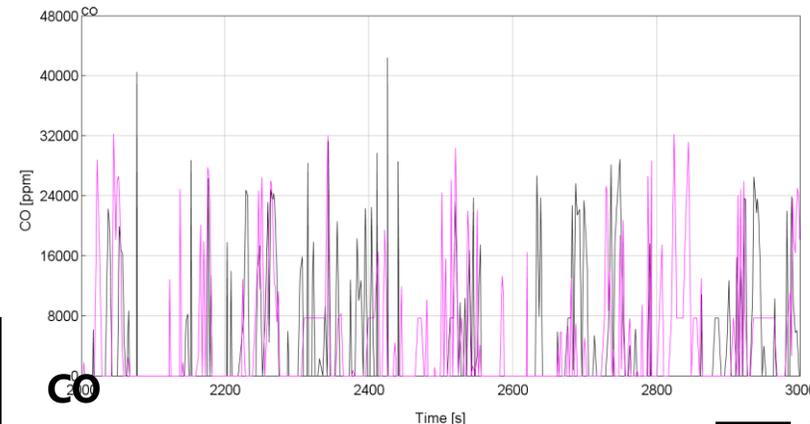
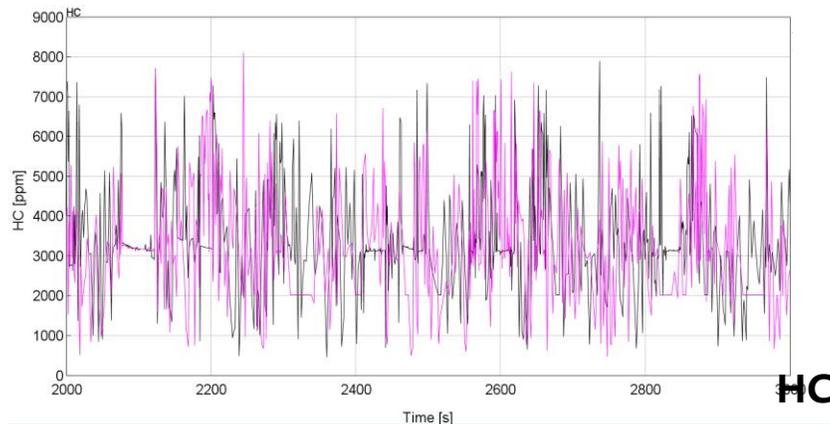
三、排放仿真结果



让理想飞扬

3.2 RDE扩展条件结果-驾驶员行为

		CASE 1	CASE 2
城市路段 加/减速度平均目标	m/s ²	1	2.5
城市路段 加/减速度方差	m/s ²	1.2	2.3
郊区路段 加/减速度平均目标	m/s ²	4	1.7
郊区路段 加/减速度方差	m/s ²	2.3	2
高速路段 加/减速度平均目标	m/s ²	3	1.7
高速路段 加/减速度方差	m/s ²	3	2.7
CO	mg/km	28459	27711
HC	mg/km	3727	3900
NOx	mg/km	2765	2407
PN	个/km	1.31E+13	1.35E+13



— CASE 1
— CASE 2

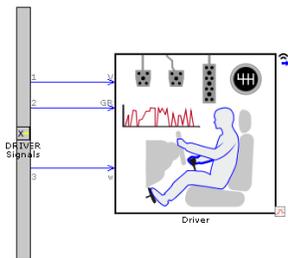
- 驾驶员行为通过城市、乡村及高速路段的加减速平均、加速度方差等参数进行表征
- 可计算不同驾驶员行为对排放的影响

三、排放仿真结果

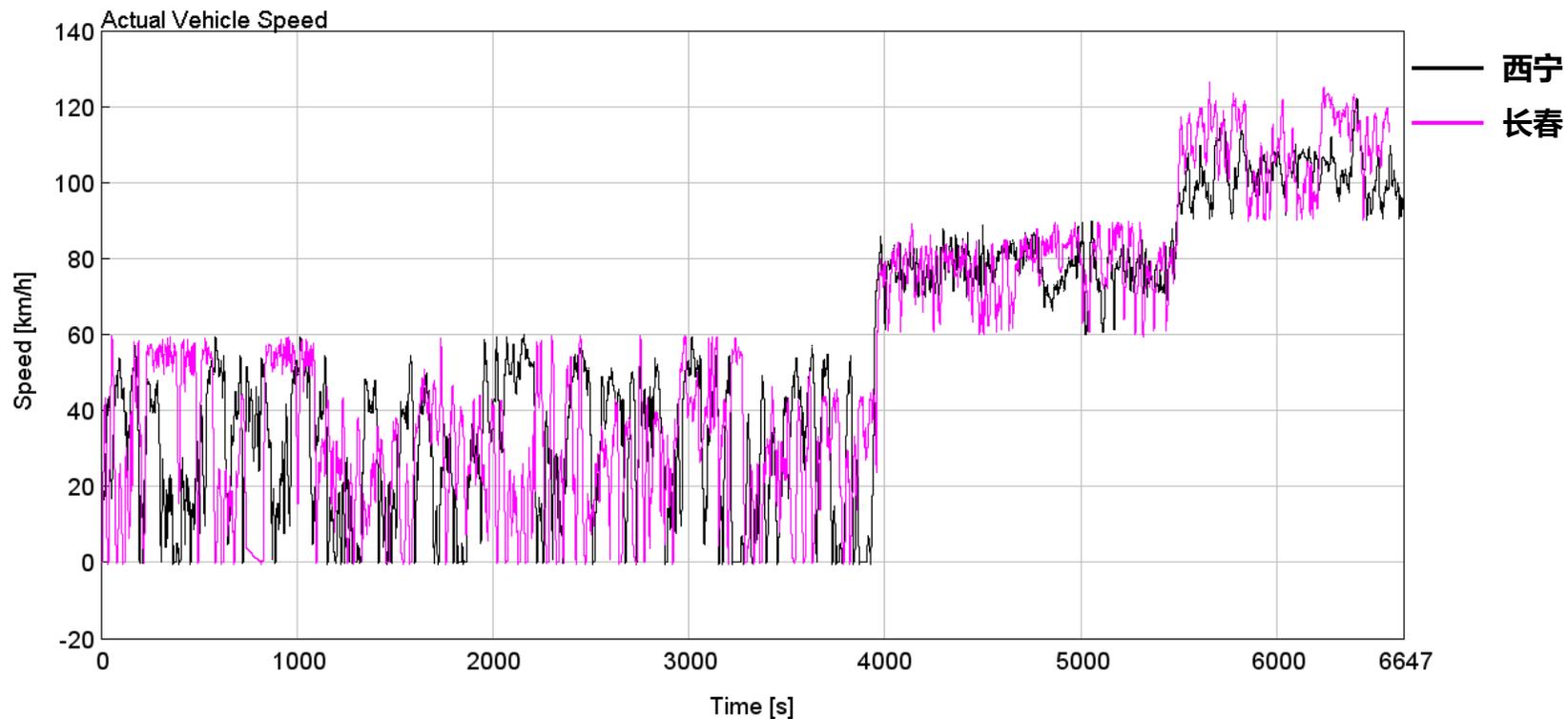


让理想飞扬

3.2 RDE扩展条件结果-路谱



Data Source	
Driving Cycle Data Source File	<RDE_Snippet_file_... ..>
Output Plots of Route	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Generate New Cycle for Each Case	



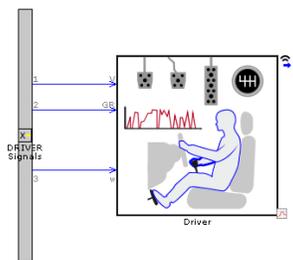
■ 将道路的经度、纬度和海拔信息输入到GT中，可形成不同的路谱

三、排放仿真结果



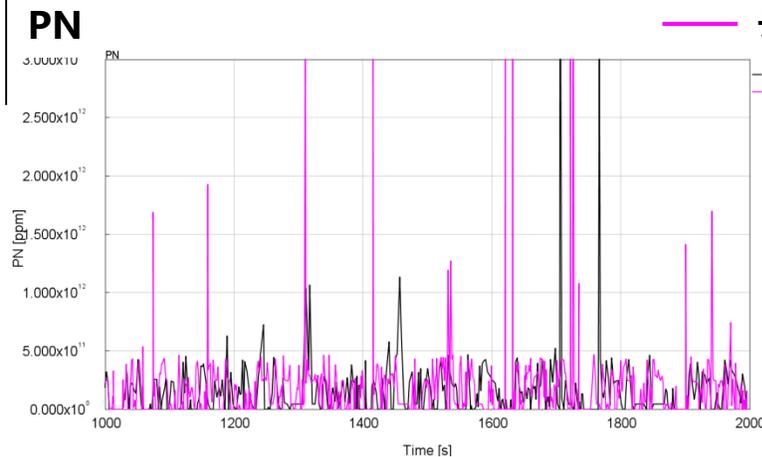
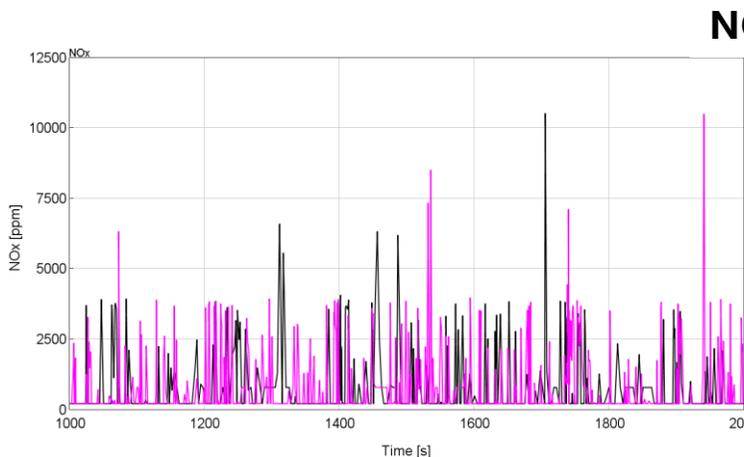
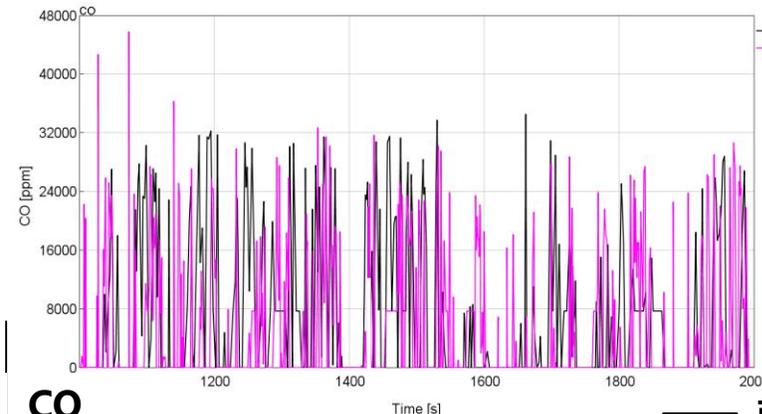
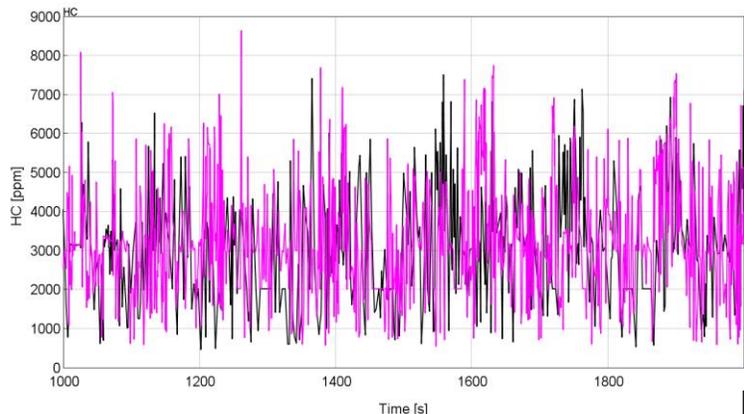
让理想飞扬

3.2 RDE扩展条件结果-路谱



Data Source		
Driving Cycle Data Source File		<RDE_Snippet_file_... >
Output Plots of Route		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Generate New Cycle for Each Case		

		西宁	长春
CO	mg/km	28459	27795
HC	mg/km	3727	3643
NOx	mg/km	2765	2385
PN	个/km	1.31E+13	1.36E+13

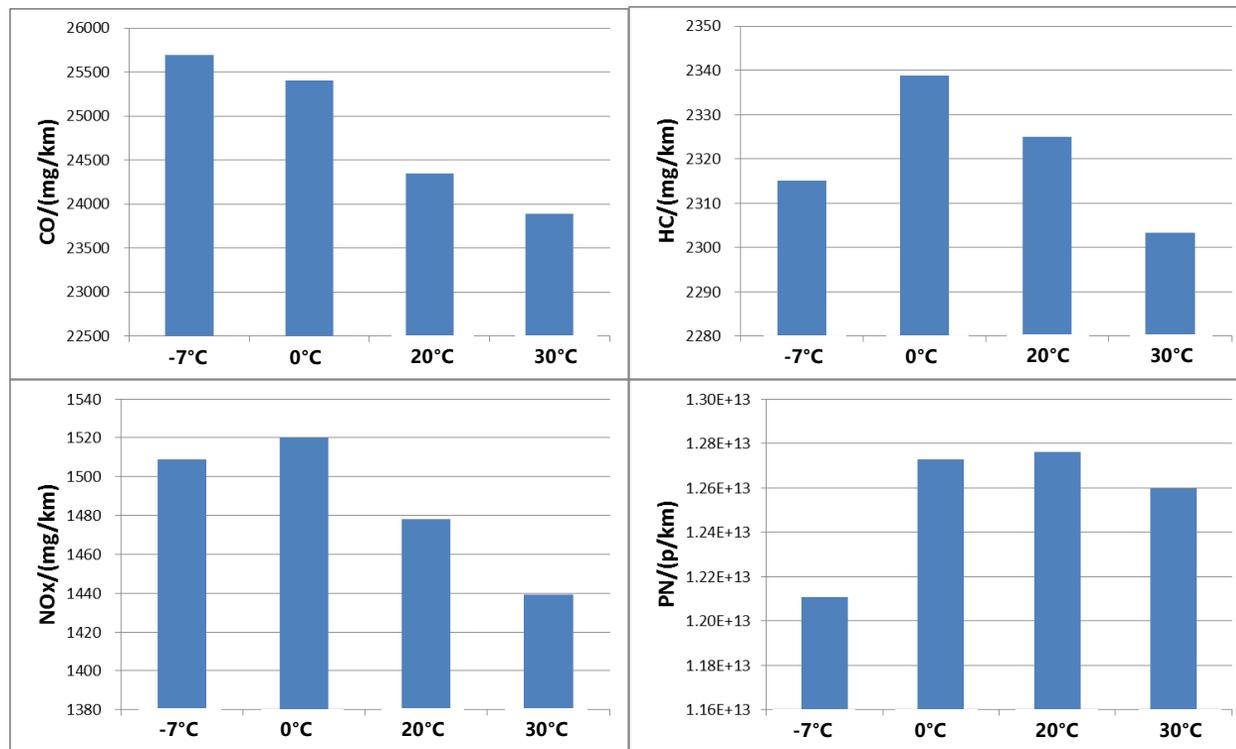
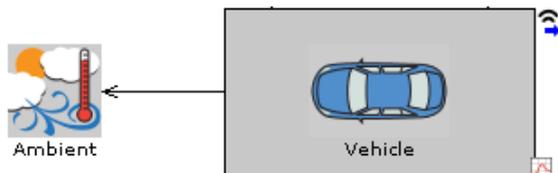


— 西宁
— 长春

通过计算可反映不同路谱时的排放变化

三、排放仿真结果

3.2 RDE扩展条件结果-温度-原排



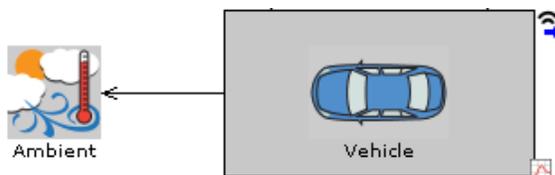
环境变量 101kPa	CO mg/km	HC mg/km	NOx mg/km	PN \uparrow /km
-7°C	25692.1	2315.0	1508.8	1.211E+13
0°C	25399.1	2338.8	1520.1	1.273E+13
20°C	24404.3	2261.3	1478.0	1.276E+13
30°C	23894.7	2303.3	1439.3	1.260E+13

■ 改变环境温度、压力边界表征环境变化

四、总结

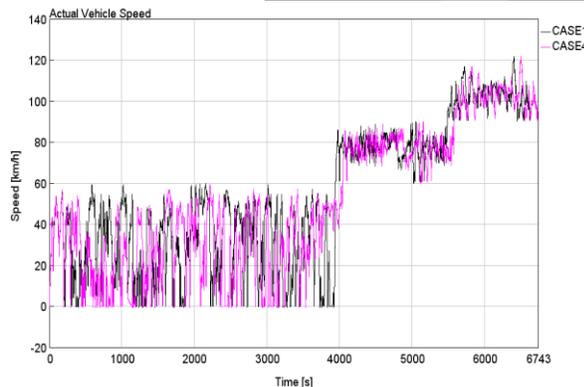
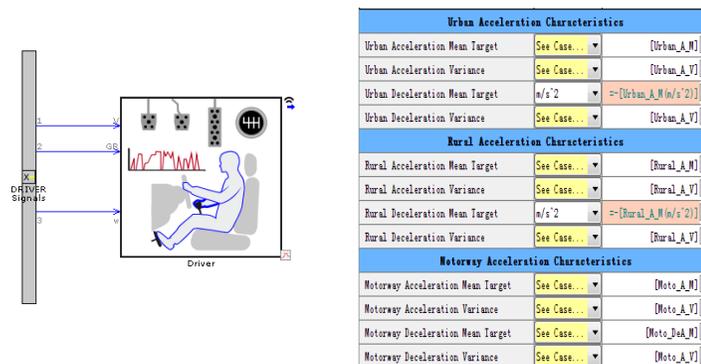
4.1 RDE仿真现状

环境变量

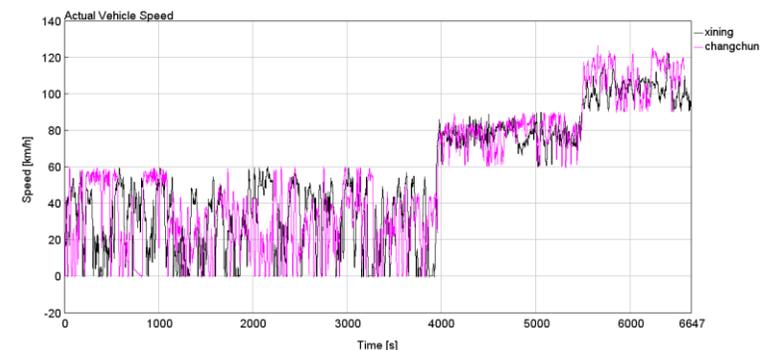
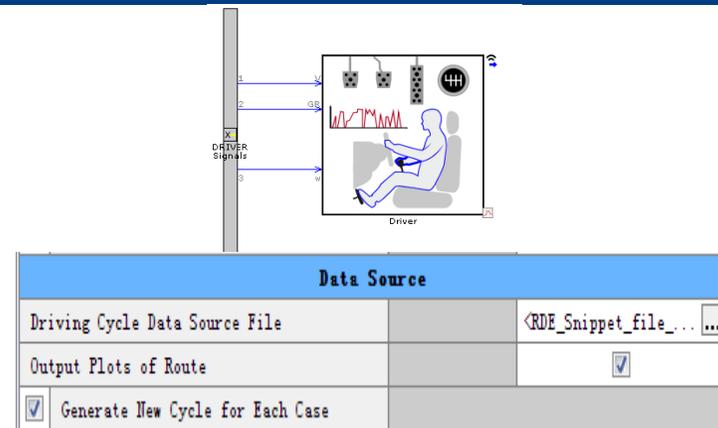


环境变量 101kPa	CO mg/km	HC mg/km	NOx mg/km	PN ↑/km
-7°C	25692.1	2315.0	1508.8	1.211E+13
0°C	25399.1	2338.8	1520.1	1.273E+13
20°C	24404.3	2261.3	1478.0	1.276E+13
30°C	23894.7	2303.3	1439.3	1.260E+13

驾驶员行为



路谱



- 建立整车、发动机、排放模型实现RDE模拟仿真的能力
- 可研究环境变量、驾驶员行为及路谱对RDE排放的影响

四、总结

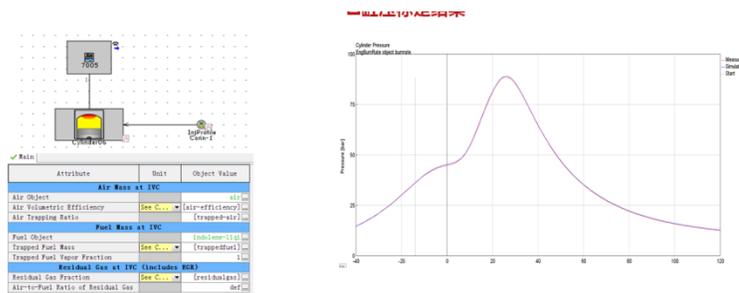


让理想飞扬

4.2 未来研究方向

SITurb排放预测

- 现阶段SITurb可预测燃烧，稳态结果满足精度要求



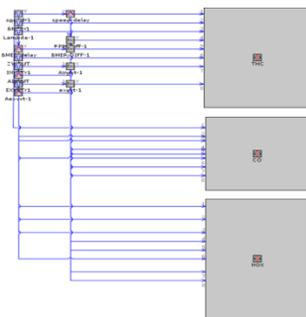
- 下阶段可用SITurb预测排放，需要根据排放物的反应机理标定大量参数

Emission Model	
NOx Reference Object	NOx Model
CO Reference Object	NOx Calibration Multiplier
HC Model Reference Object or Crevice Vol. Fraction	H2 Oxidation Rate Multiplier
Burned Zone Kinetics Object	H2 Oxidation Activation Energy Multiplier
	N Oxidation Rate Multiplier
	N Oxidation Activation Energy Multiplier
	OH Reduction Rate Multiplier
	Stratified Burned Zone Approach

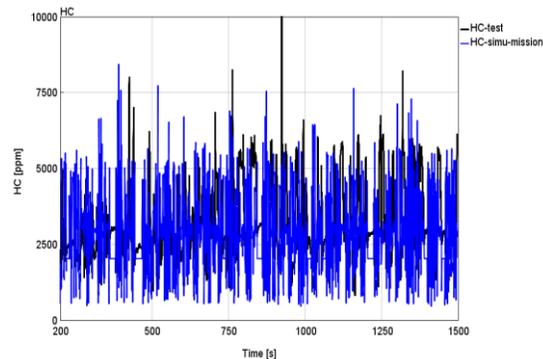
神经网络精度提升

- 现阶段神经网络的输入不够准确，考虑变量不够完善

- 发动机转速
- 发动机转速变化率
- IMEP
- IMEP变化率
- 点火角
- 空燃比
- 进排气相位
- • •

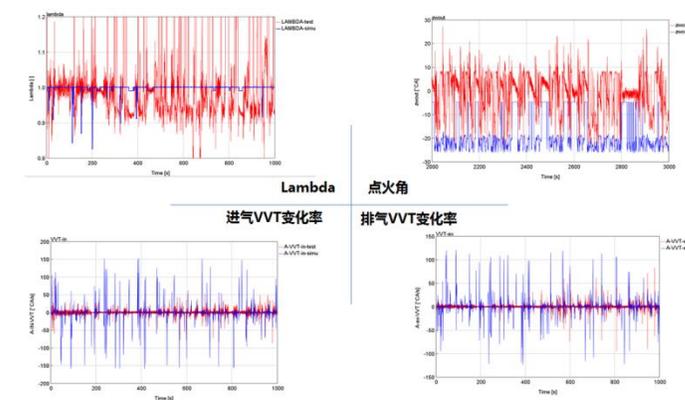


- 需进一步提高神经网络精度



ECU逻辑控制

- 现阶段控制基于稳态map差值



- 需完善加减速、外界环境变化等工况的逻辑控制

