



中国一汽无锡油泵油嘴研究所

Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute, FAW, China

基于GT-Power的 发动机虚拟标定平台开发

一汽无锡油泵油嘴研究所

2016年11月



主要内容

一

背景

二

发动机虚拟标定平台系统设计

三

多软件耦合和程序运行控制方法

四

发动机启动工况计算

五

结论

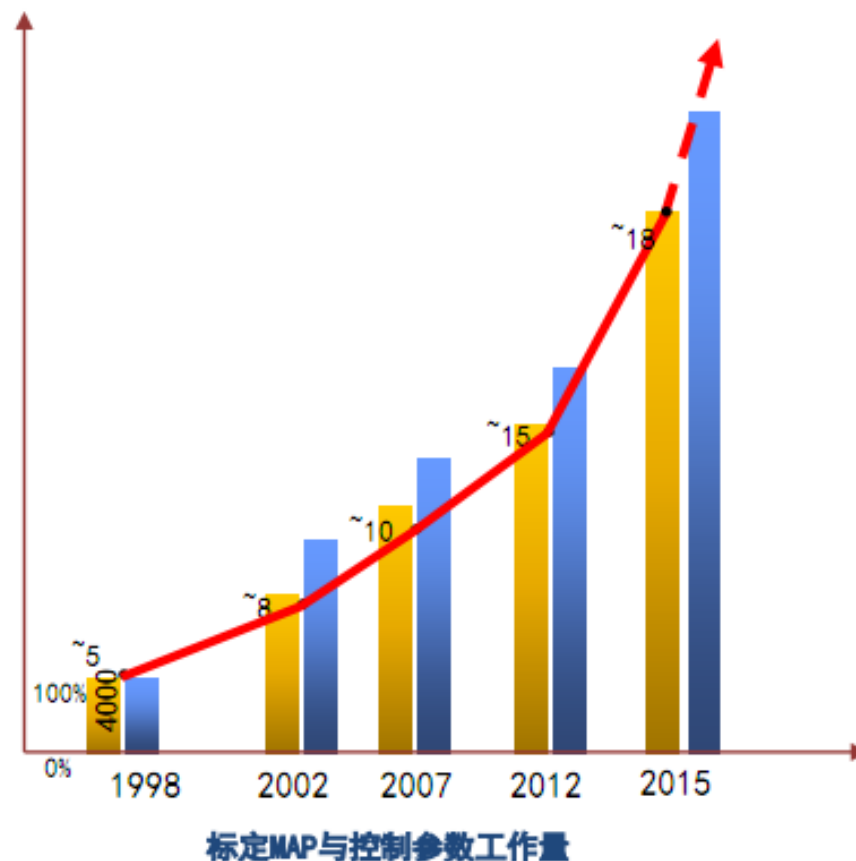
一. 背景



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

随着节能减排要求的不断提高，共轨柴油机需要标定的参数越来越多，使得发动机标定的工作量呈指数增加（实验工况点的矩阵为：10个转速、10个负荷）。

N年份	98	02	07	10	12	15
标定参数个数	5	8	10	12	15	18
试验点	10^7	10^{10}	10^{12}	10^{14}	10^{17}	10^{20}

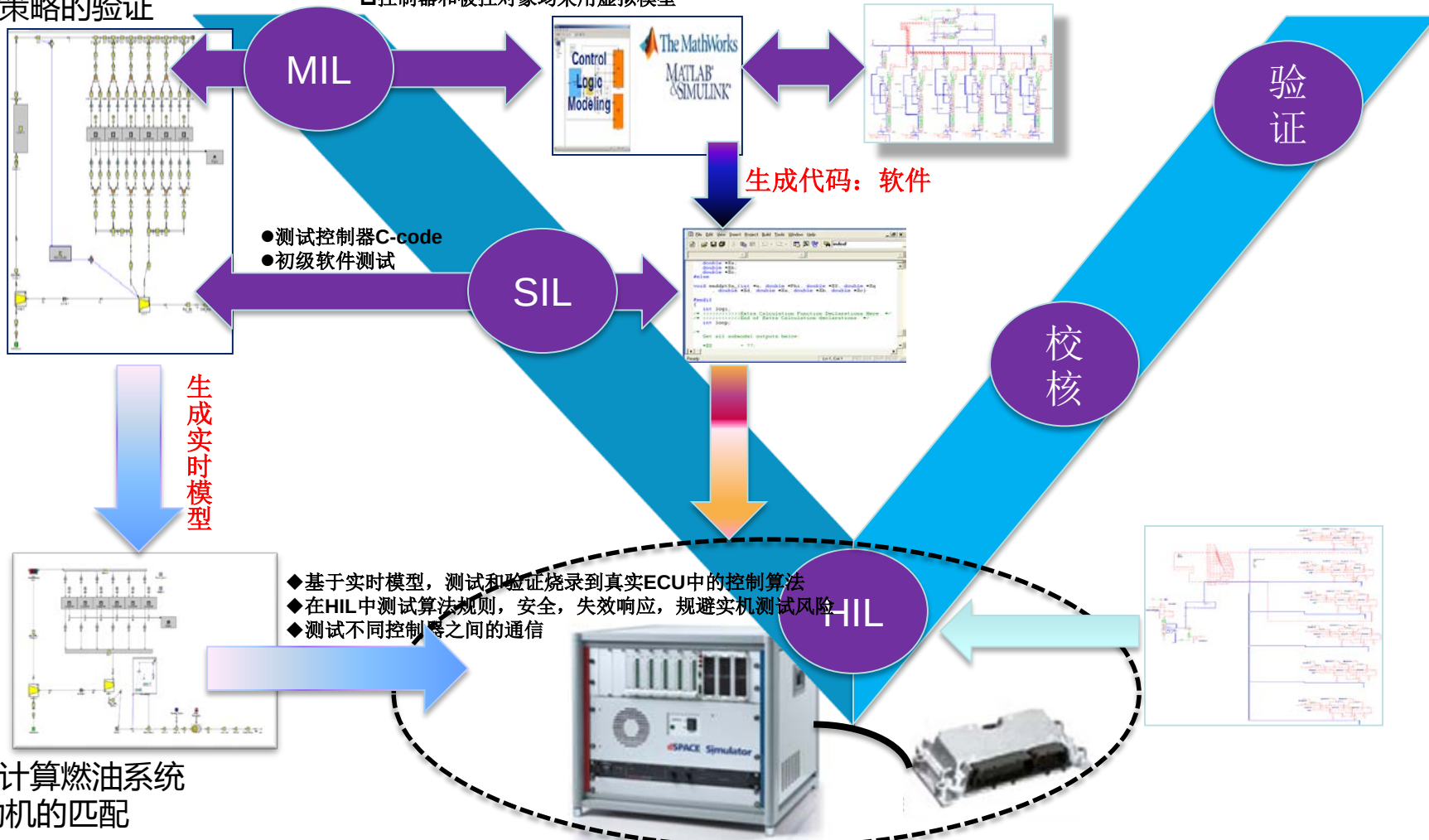




平台的不同复杂度发动机模型及燃油系统模型

- ✓燃油系统概念设计
- ✓控制策略的验证

- 基于发动机模型设计控制算法（功能设计）
- 控制器和被控对象均采用虚拟模型



1、启动界面

启动界面分为三部分：数据库管理、标定界面、虚拟发动机控制界面。

基于模型的共轨柴油机虚拟标定平台

数据库管理

标定界面

虚拟发动机控制界面

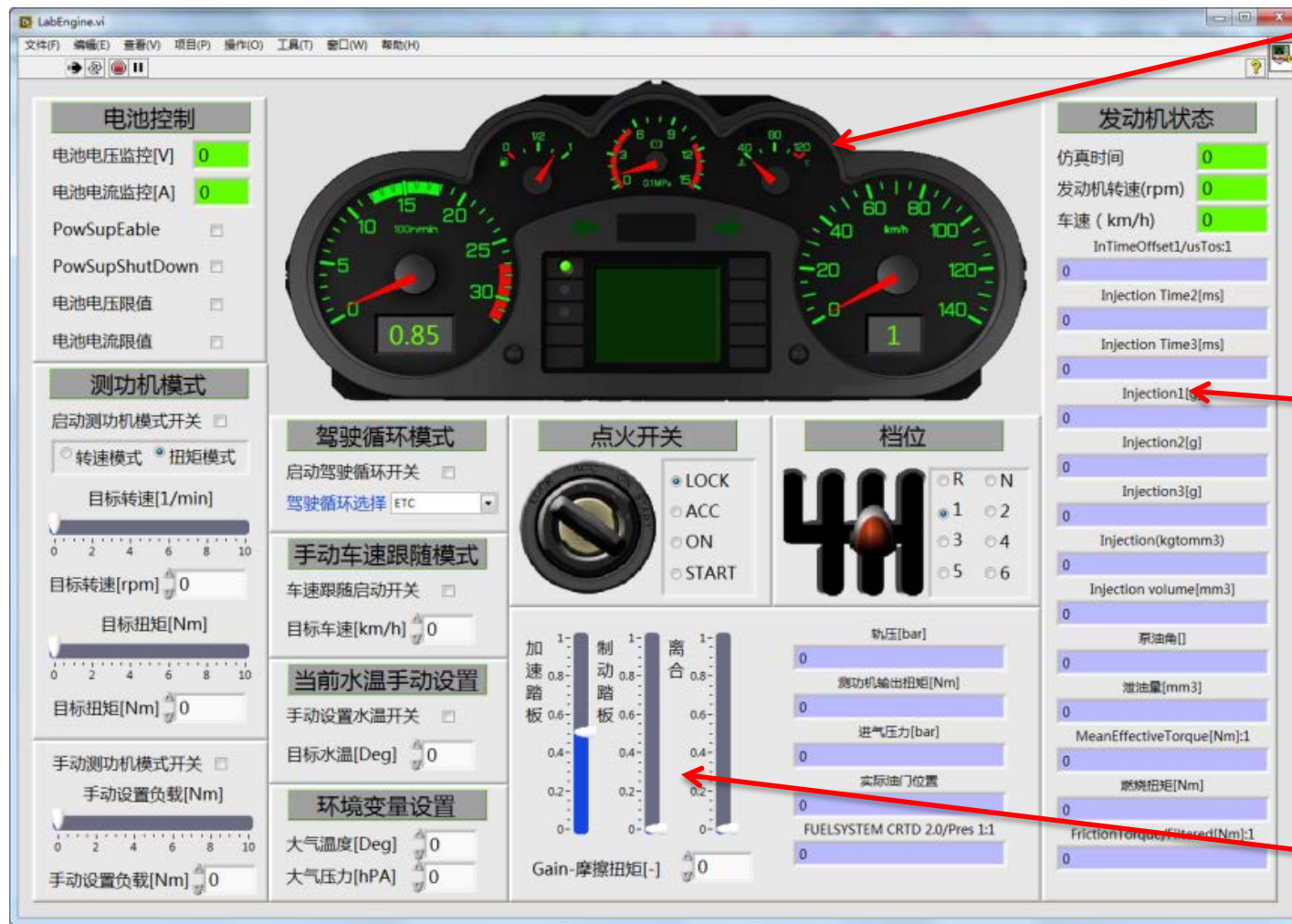
数据库管理

标定界面

虚拟发动机控制界面



虚拟发动机控制界面

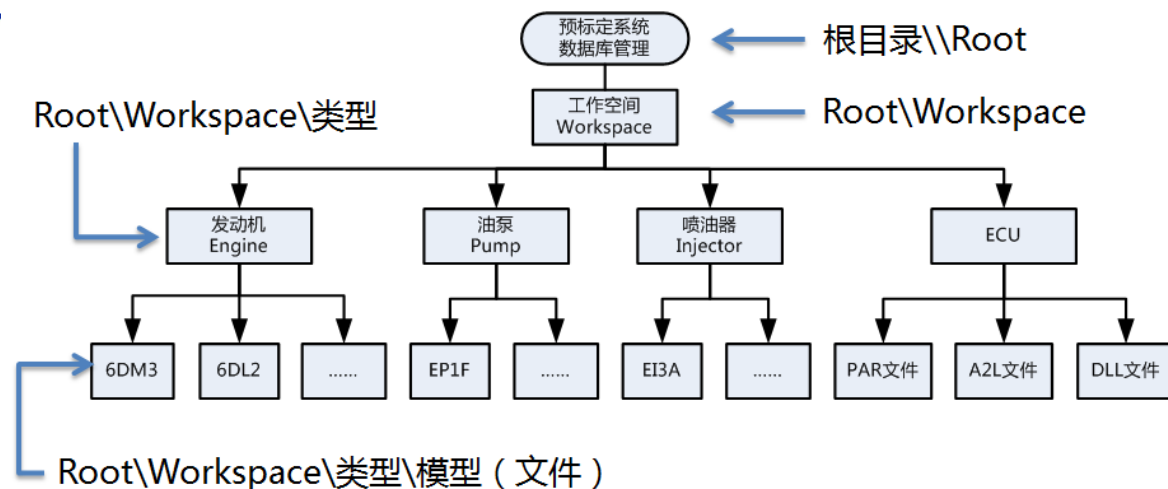


状态显示

详细性能
参数显示

控制参数设置

虚拟标定平台发动机控制界面



基于模型的共轨柴油机预标定系统

数据库管理

A2L文件	HPCR.a2l	▼
Par文件	bus_withNolimiter_an	▼
控制模型	ECU_MIL.dll	▼
发动机模型	6DM3	▼
供油系统模型	EP1F	▼
喷油器模型	EI3A	▼



有效MAP个数：50 | 有效测量点个数：8 | 模型配置正确

space

U

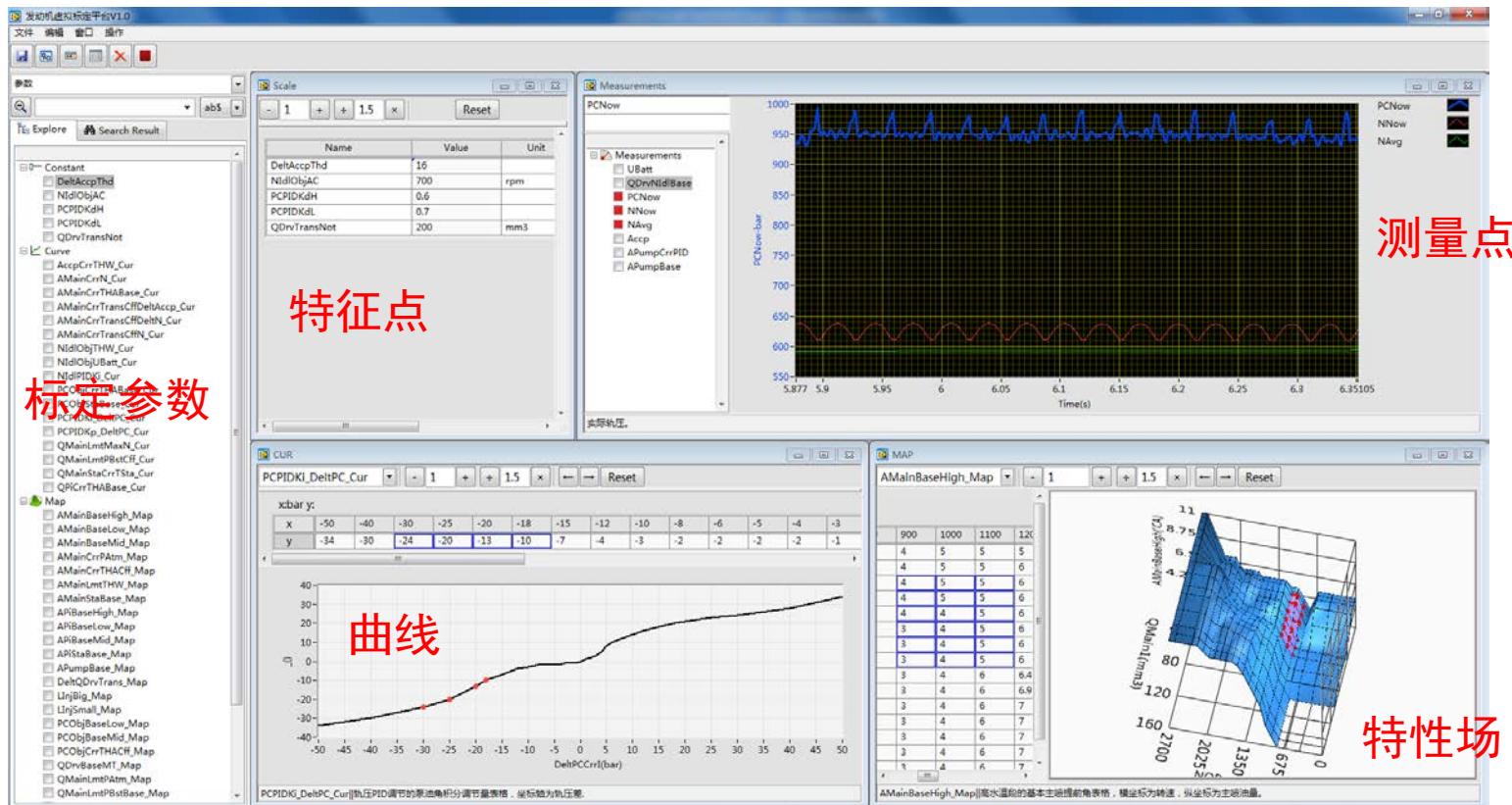
bus_withNolimiter_andPCvi_1.par
bus_withNolimiter_andPCvi_2.par
bus_withNolimiter_andPCvi_3.par
bus_withNolimiter_andPCvi_20150921.par
ECU_MIL.dll
ECU_MIL1.dll
ECU_MIL2.dll
ECU_MIL3.dll
HPCR.a2l
HPCR1.a2l
HPCR2.a2l

Engine
6DL2
6DM3
Injector
6DL2
EI3A
Pump
6DL2
EP1F



标定界面

- 人机交互界面。标定界面使用方便、便于上手、数据管理更加便捷有效。
- 集成了三种标定窗口（MAP、CUR、SCALE）和测量点显示窗口。

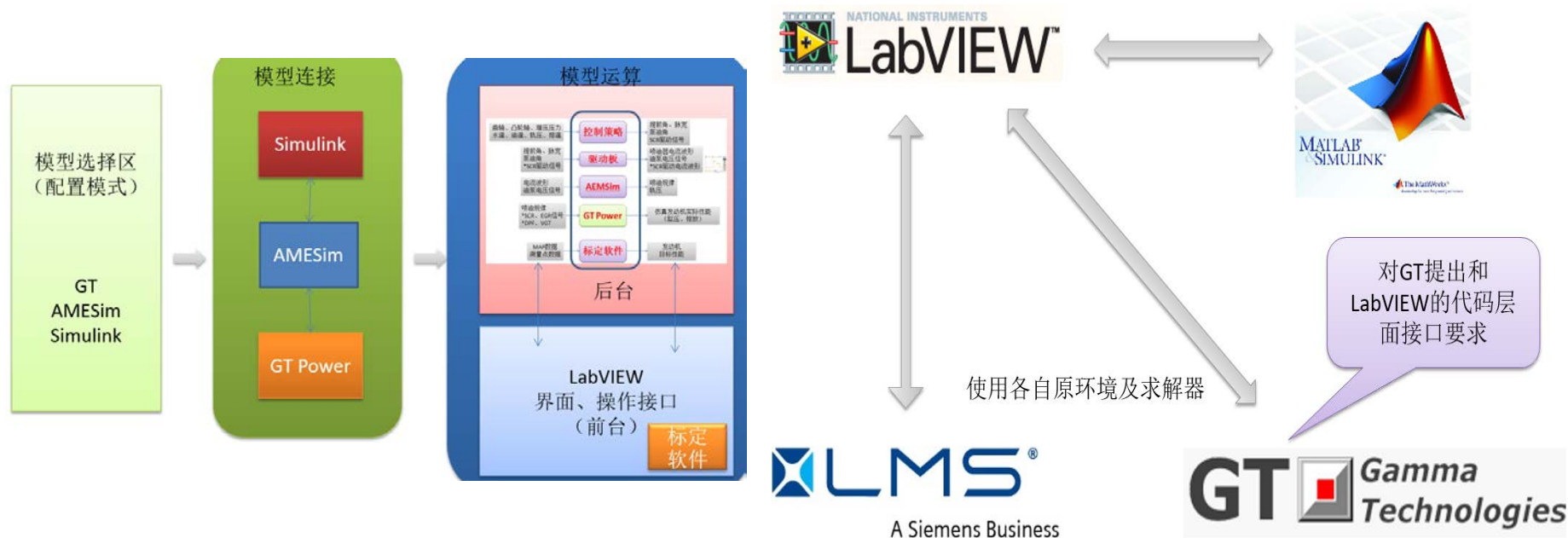


2、预标定平台解决方案



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

虚拟标定平台解决方案

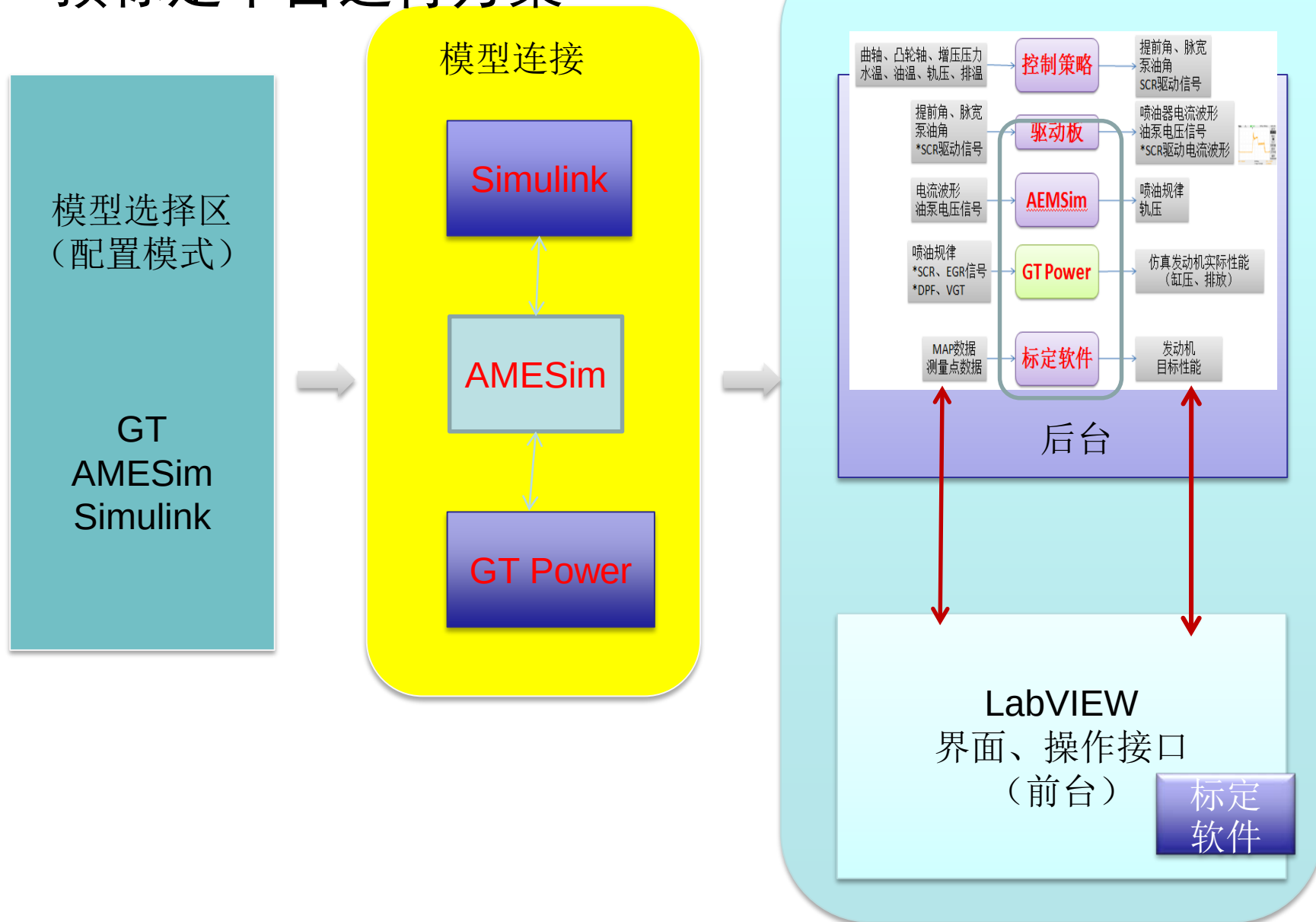


联合仿真模式

LabVIEW平台具有开放性、图形化和便于系统集成的特点，在LabVIEW平台上通过GT-POWER软件和LabVIEW软件底层代码对接开发发动机虚拟标定平台。

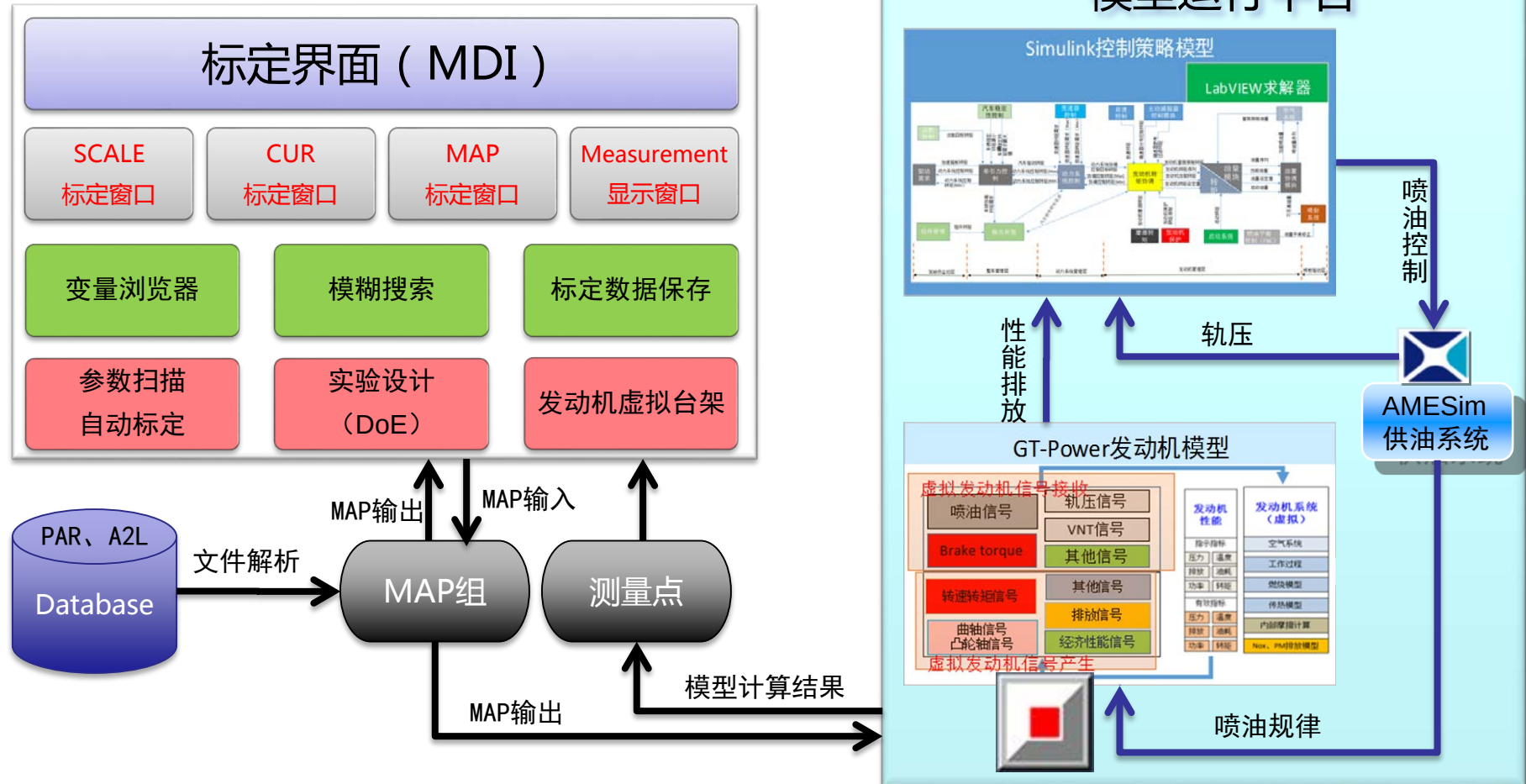


预标定平台运行方案





虚拟标定平台系统设计



虚拟标定平台各模块功能和数据交换



虚拟标定平台实现的功能

1、多软件耦合同步运行

- ◆ 在LabVIEW平台下，集成AMESim、GT、Simulink三个软件。
- ◆ 各模型数据交换需要同步进行。

2、标定数据库和模型数据库管理

- ◆ 标定MAP解析。
- ◆ 发动机相关模型数据库的管理。

3、多窗口运行 (MDI)

- ◆ 标定数据和测量点支持多文档界面。

4、模糊搜索

- ◆ 标定MAP和测量点的模糊搜索。

5、标定用户界面 (GUI)

- ◆ 开发用户界面。

6、试验设计 (DoE) 功能

- ◆ 试验工况点设计

7、自动扫值的优化设计

- ◆ 集成优化软件中的优化算法。

8、排放测试循环控制

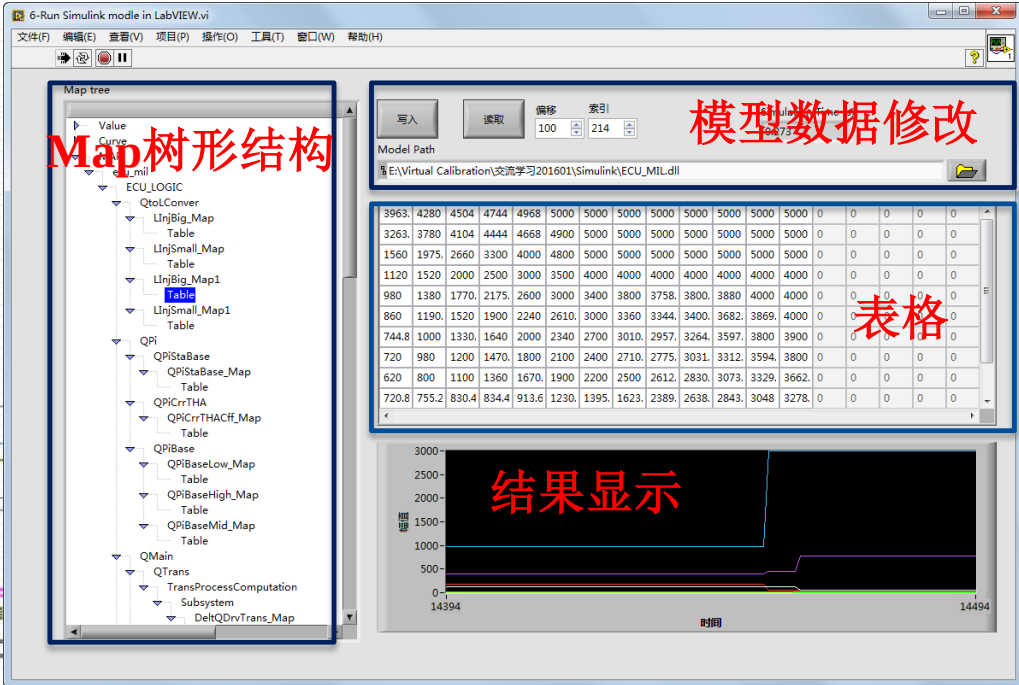
- ◆ 按照 ETC、WHTC循环，实现自动运行。

9、虚拟台架

- ◆ 发动机虚拟台架标定。



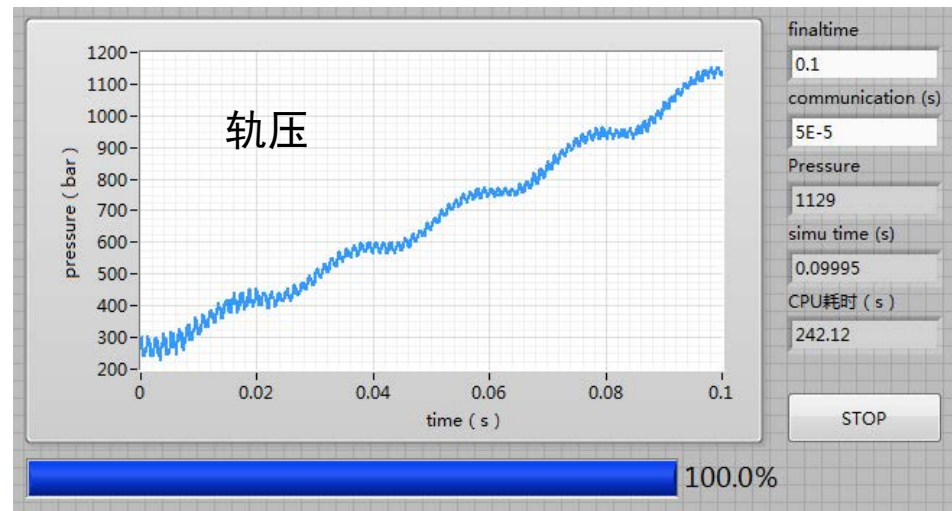
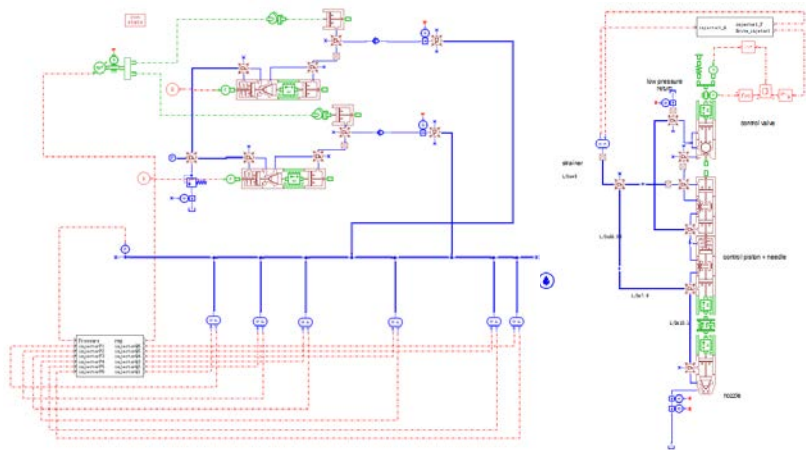
1、 LabVIEW与Simulink的接口程序开发



- 通过DLL方式实现LabVIEW和Simulink的接口数据传递。
- 仿真时间步长由Simulink模型控制，LabVIEW通过循环次数控制总仿真时间。
- Map数据以树形结构和表格进行直观显示。

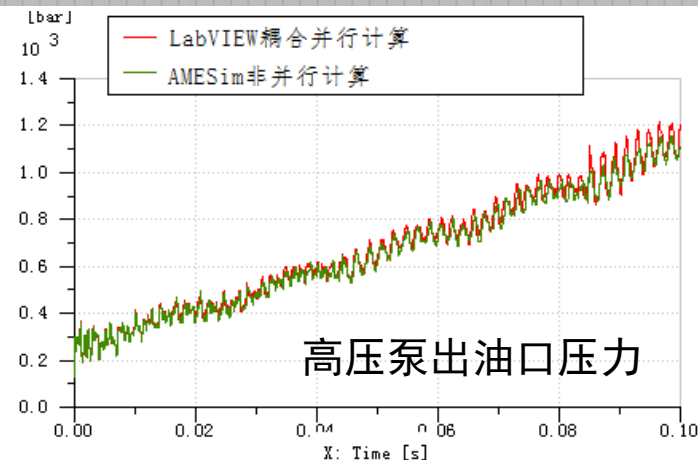


2、LabVIEW与AMESim子模型耦合计算

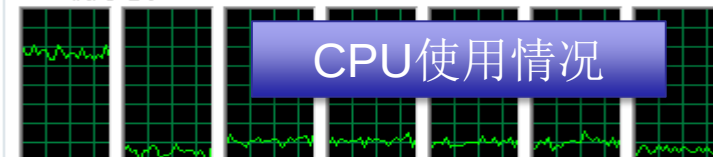


高压泵和轨（主模型） 喷油器（6支）

- 模型为实际共轨系统AMESim模型，包含高压泵、轨和6支喷油器；
- 实现了6支喷油器并行计算，高压泵和轨模型与喷油器的交换步长（communication step）为 5×10^{-5} s（50ms）。

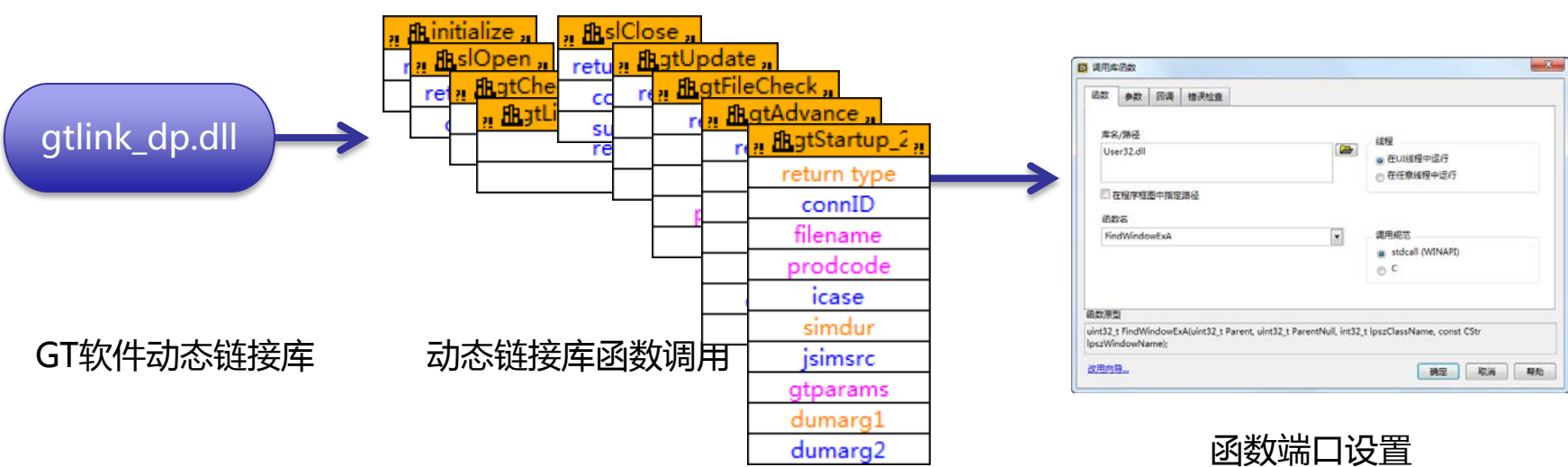


CPU 使用记录



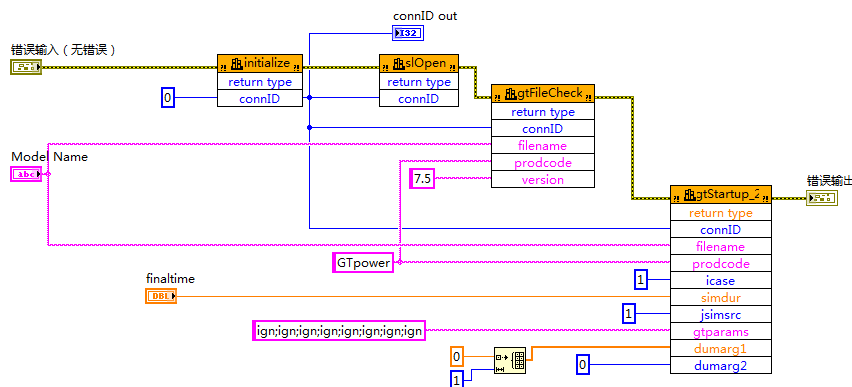
GT-POWER接口调用方法

- 通过GT-POWER的SimulinkHarness接口，实现与LabVIEW软件的数据交换。
- LabVIEW通过GT软件动态链接库（gtlink_dp.dll）来实现GT求解器的调用。
- 主要步骤为：初始化GT→运行GT模型→计算结果更新→结束GT软件

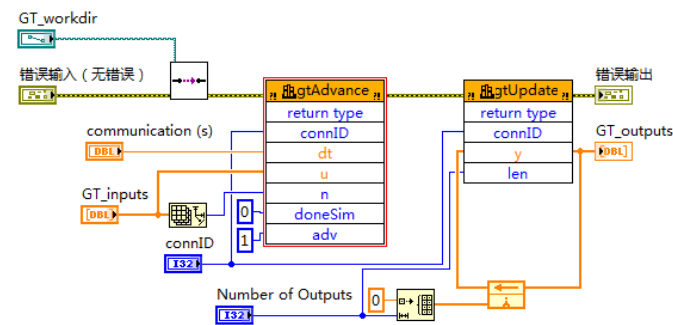




GT-POWER接口程序开发

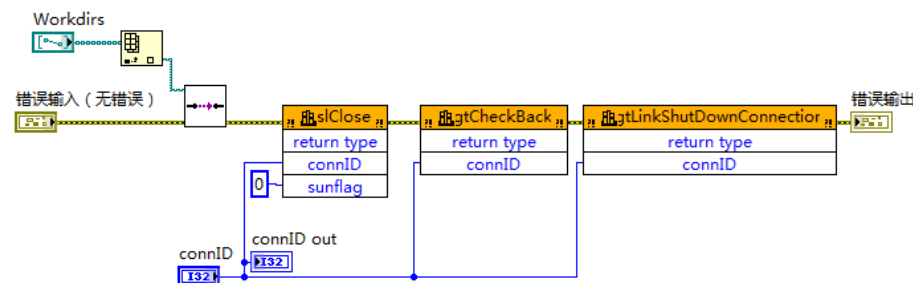


初始化GT



运行GT求解器和数据更新

- 虚拟标定平台上集成GT需要三个子函数（初始化GT、运行GT求解器和数据更新、结束GT）。
- 求解器运行及数据更新在LabVIEW循环中可以单个步长的计算。



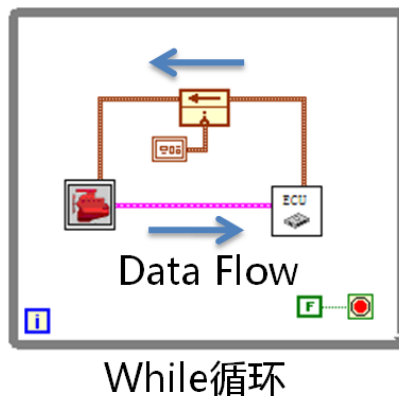
结束GT

虚拟标定平台调试主界面

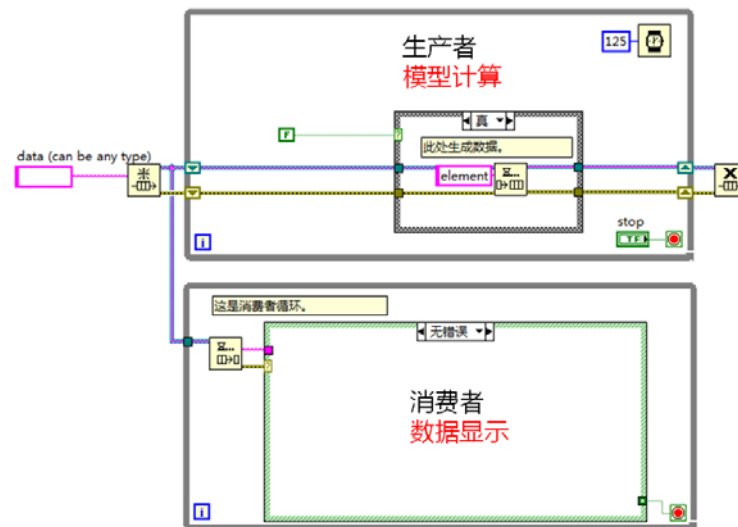


4、模型同步耦合计算方法

- 同步一：各模型之间输入和输出的同步。
 - 1、在同一个While循环中，基于LabVIEW的数据流执行方式可实现不同计算模型之间数据交换的同步。
- 同步二：模型计算和结果显示的同步。



同步一：模型数据交换同步方式



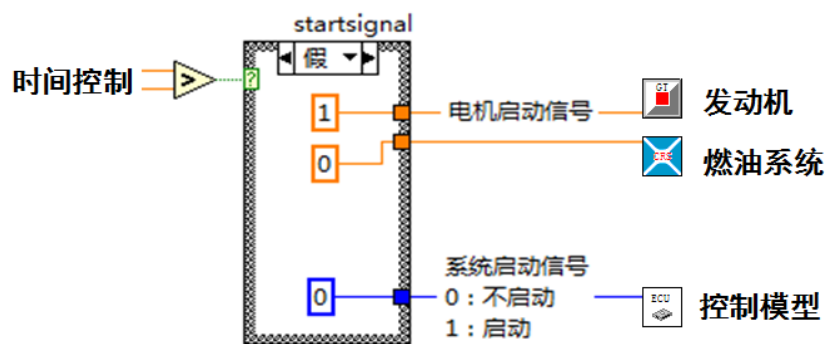
同步二：模型与计算结果架构



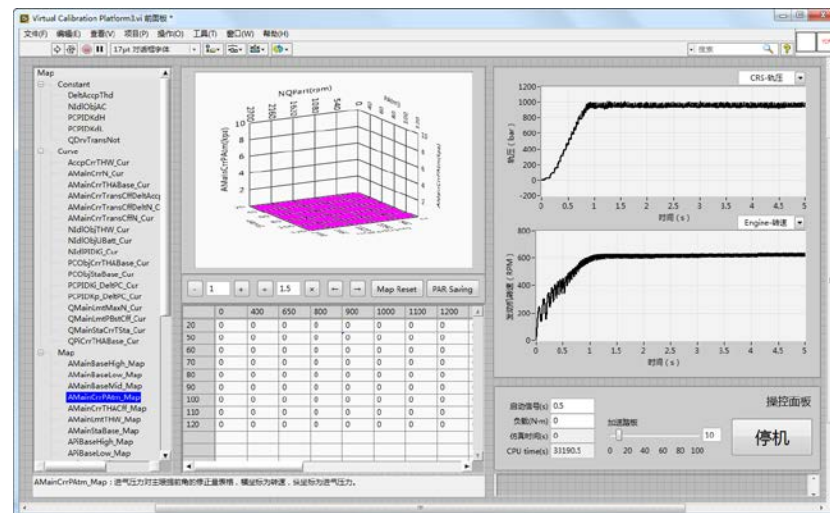
四、发动机启动工况计算

研究不同油门开度对发动机启动完成后怠速工况的影响，记录了整个启动过程的发动机瞬时转速、轨压波动、缸压及增压压力的瞬时变化。

- 启动控制：（1）发动机在时长0.5s启动信号下开始启动。（2）在0.5s启动信号过程中，喷油器不喷油，即控制驱动电流始终为0。启动信号结束后，喷油器开始喷油。
- 目的：验证启动过程控制策略有效性。



LabVIEW控制程序

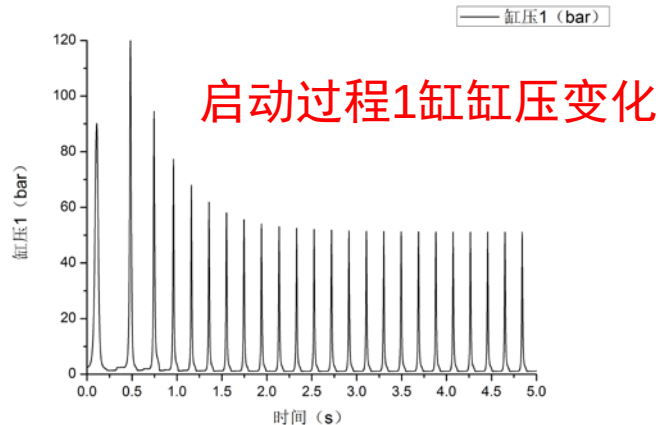
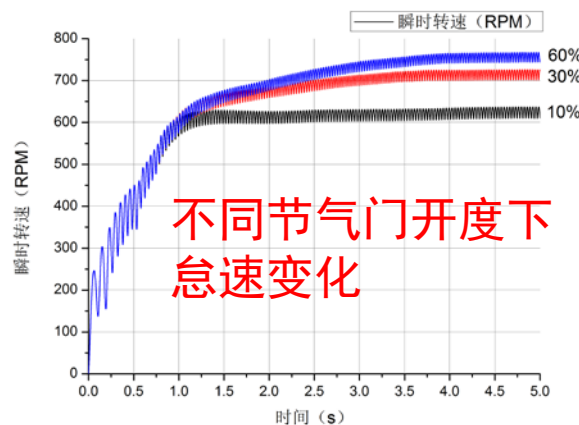
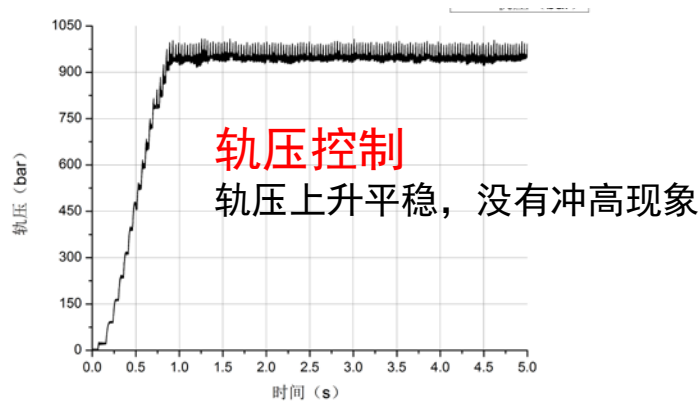
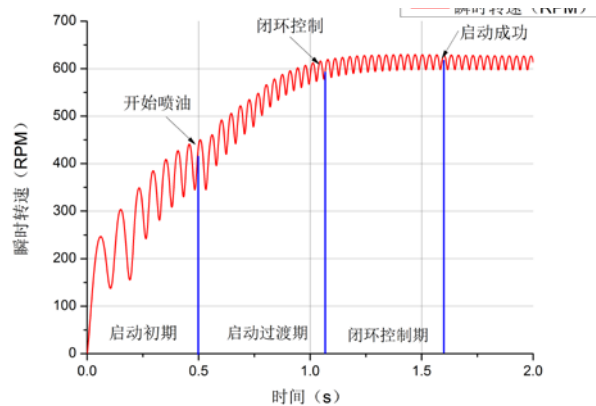


平台调试开发界面



发动机启动完成后，不同油门开度对怠速工况的影响。

- 随着油门开度的增加，发动机启动完成后转速逐渐增加，转速在600~800rpm范围内变化。





五. 结论

- 1 LabVIEW可以集成Smulink、GT-Power、AMESim等软件进行平台化开发
- 2 根据不同的需求，平台可以集成不同复杂程度的GT-Power、AMESim子模型
- 3 虚拟标定平台不仅可以用于发动机的虚拟标定，也可以用于研究各控制测量系统、喷油系统参数、进气系统参数对发动机性能的影响
- 4 发动机虚拟标定平台可以方便地扩展到整车虚拟标定

致 谢！



中国一汽无锡油泵油嘴研究所

Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute, FAW, China