

ICSC 2017

CAE for virtual product
CAE for innovation
CAE for process transformation

IDAJ CAE Solution Conference

基于GT-Suite的发动机虚拟标定

IDAJ中国

技术部 GT-SUITE产品组

刘建雄

目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟标定的背景及意义

● 背景

- 国六排放法规限值加严
- 国六系统复杂、部件升级
- OBD监测内容激增，标定变量数目多，逻辑复杂
- 台架资源有限、开发周期长
- 性能件方案多、组合多
- 标定过程繁琐、任务量重
- 台架测试、标定的效率和准确性受设备和技术员影响

虚拟标定的背景及意义

● 意义

- 将台架上大部分测试、标定工作前置到办公室环境进行
- 减轻台架工作量，较少开发成本、提高开发效率
- 能考虑更多方案组合，寻找最优方案
- 计算结果准确、客观
- 建立发动机模型库，有助于大数据库建立，为新机型的开发和预测提供数据支持

虚拟标定的背景及意义

● 台架试验仿真

- 增压器选型
- 凸轮型线优化
- 喷油器选型
- 燃烧室选型
- 均匀性分析
- 进气歧管优化
- EGR选型
- 三高性能预测
- 新机平原性能预测
- 燃烧分析
- 发动机状态评估
- 排放评估
- 原排优化
- 后处理选型
- 油量MAP标定
- 正时MAP标定
- 轨压MAP标定
- 摩擦、扭矩、进气量
相关MAP标定

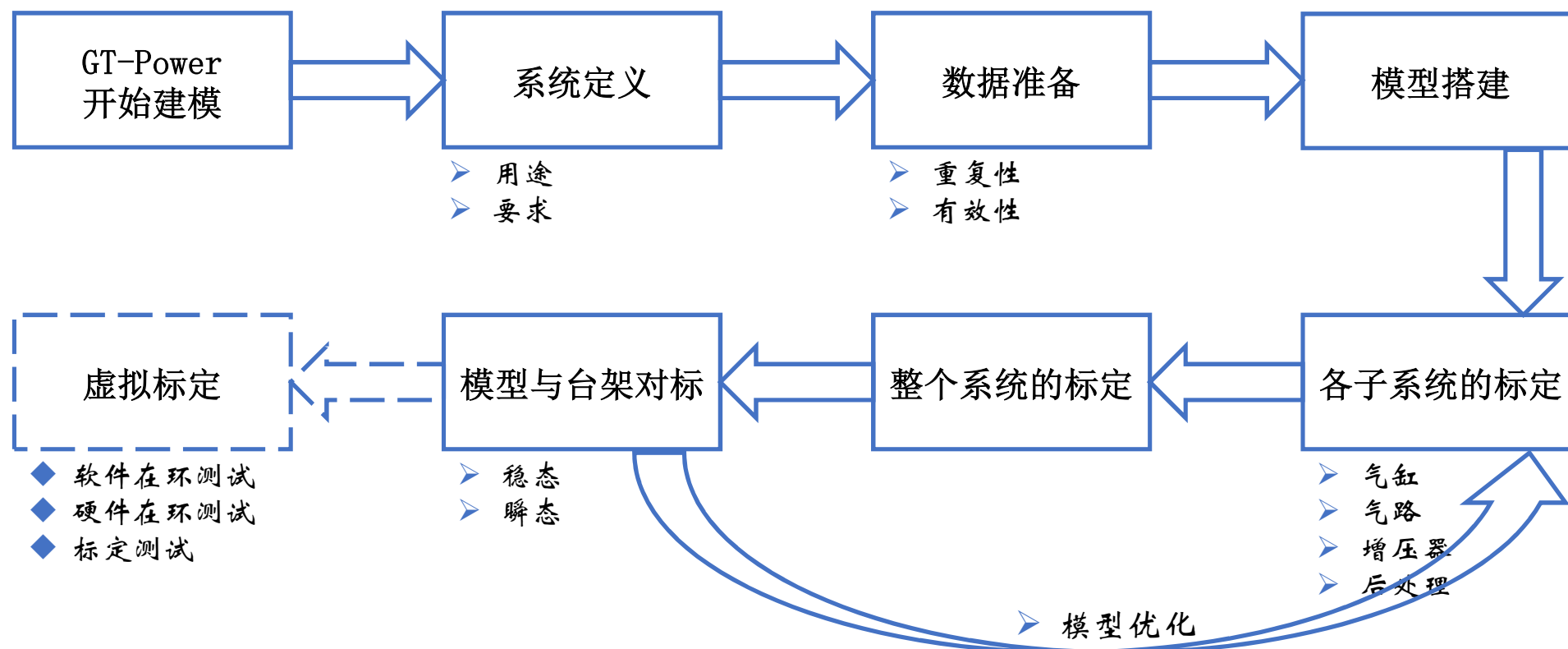
GT-Power搭建的发动机虚拟模型能完成大部分台架性能试验

目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟模型建模流程及标定方法

● 发动机虚拟模型建模流程：

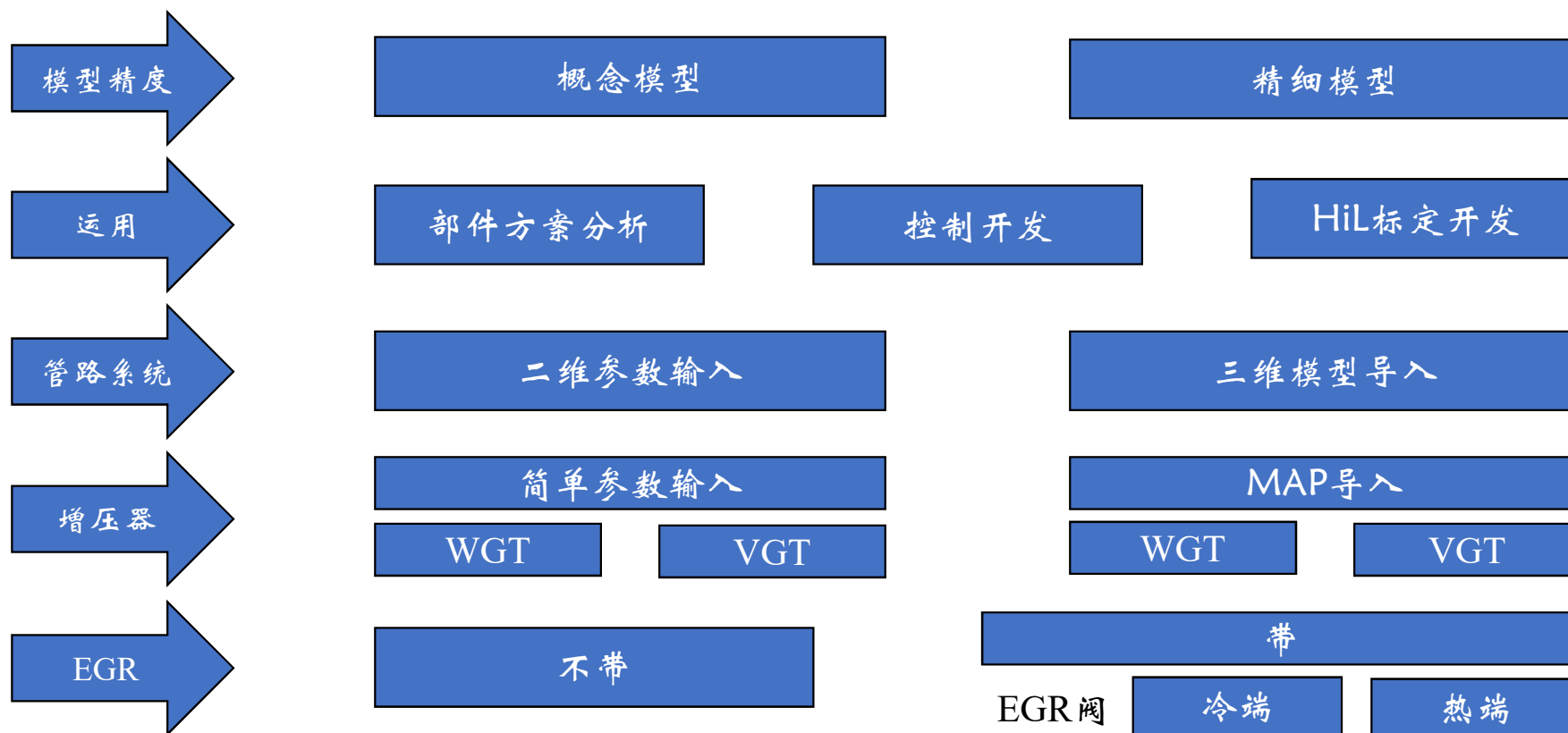


目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
- ✓ 系统结构定义
- ✓ 数据准备
- ✓ 各子模型标定
- ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

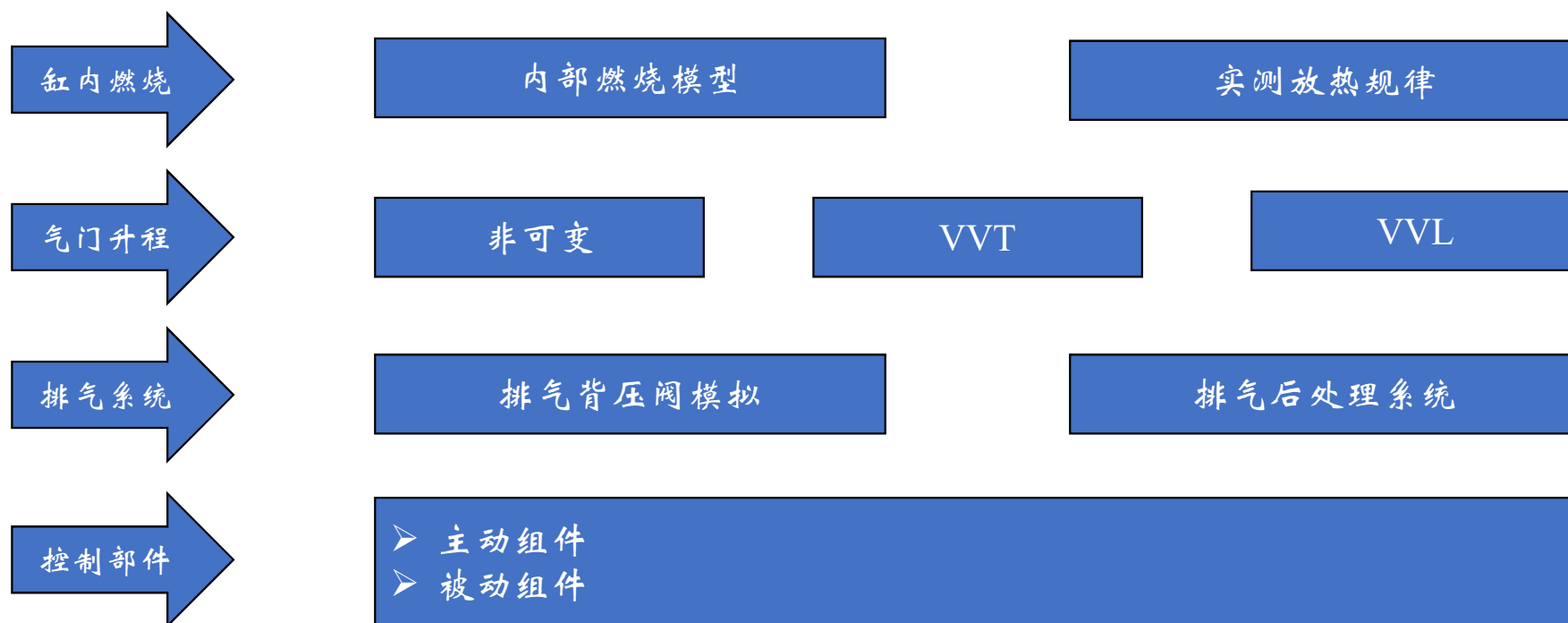
虚拟模型建模流程及标定方法

● 系统结构定义



虚拟模型建模流程及标定方法

● 系统结构定义



目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ **数据准备**
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟模型建模流程及标定方法

● 数据准备（模型输入）

环境：

- 实验环境温度、压力

增压器：

- 涡轮图谱
- 增压器图谱
- 传动轴转动惯量

进气系统：

- 进气管路3D模型（空滤、1/4波长管）
- 中冷器
- 进气管路材料、涂层
- 进气道3D模型
- 节气门大小、单体试验流量系数

喷嘴：

- 喷油规律曲线
- 循环喷油量
- 喷油正时

气缸：

- 气缸结构（缸径、行程、连杆长度、压缩比、余隙高度）
- 缸内空气侧的面积（用于计算散热，需要气缸盖和活塞气体侧面积）

进排气门：

- 进排气门升程曲线
- 进排气门结构（参考直径、冷态间隙）
- 进排气门流量系数
- 进排气门正时

排气系统：

- 排气管道3D模型
- 排气管路3D模型
- 排气管路材料、涂层
- 排气管路中的消声器、催化器结构

虚拟模型建模流程及标定方法

● 数据准备（模型标定）

稳态测试数据：

- 万有特性（台架、ECU、燃烧）

作用：

- 发动机管路、部件的压力损失
- 中冷器、EGR冷却器的冷却效率
- 管路的热损失
- 压气机与涡轮机效率的精细化修正
- 压气机与涡轮机流量的精细化修正
- 执行器的线性化输出（ECU信号转换成模型位置）

瞬态测试数据：

- 自由加速
- 定速加载
- ETC
- WHTC

作用：

- 调整增压器转动惯量
- 温度传感器模型参数化
- 部件质量的精细化修正（发动机热机过程、排气管的热惯性等）

虚拟模型建模流程及标定方法

● 数据准备（数据检测）

➤ 数据的可重复性：

检查同一工况点数据能否重现，比如“低速→高速”拉外特性和“高速→低速”拉外特性的结果是否接近。

➤ 数据的合理性：

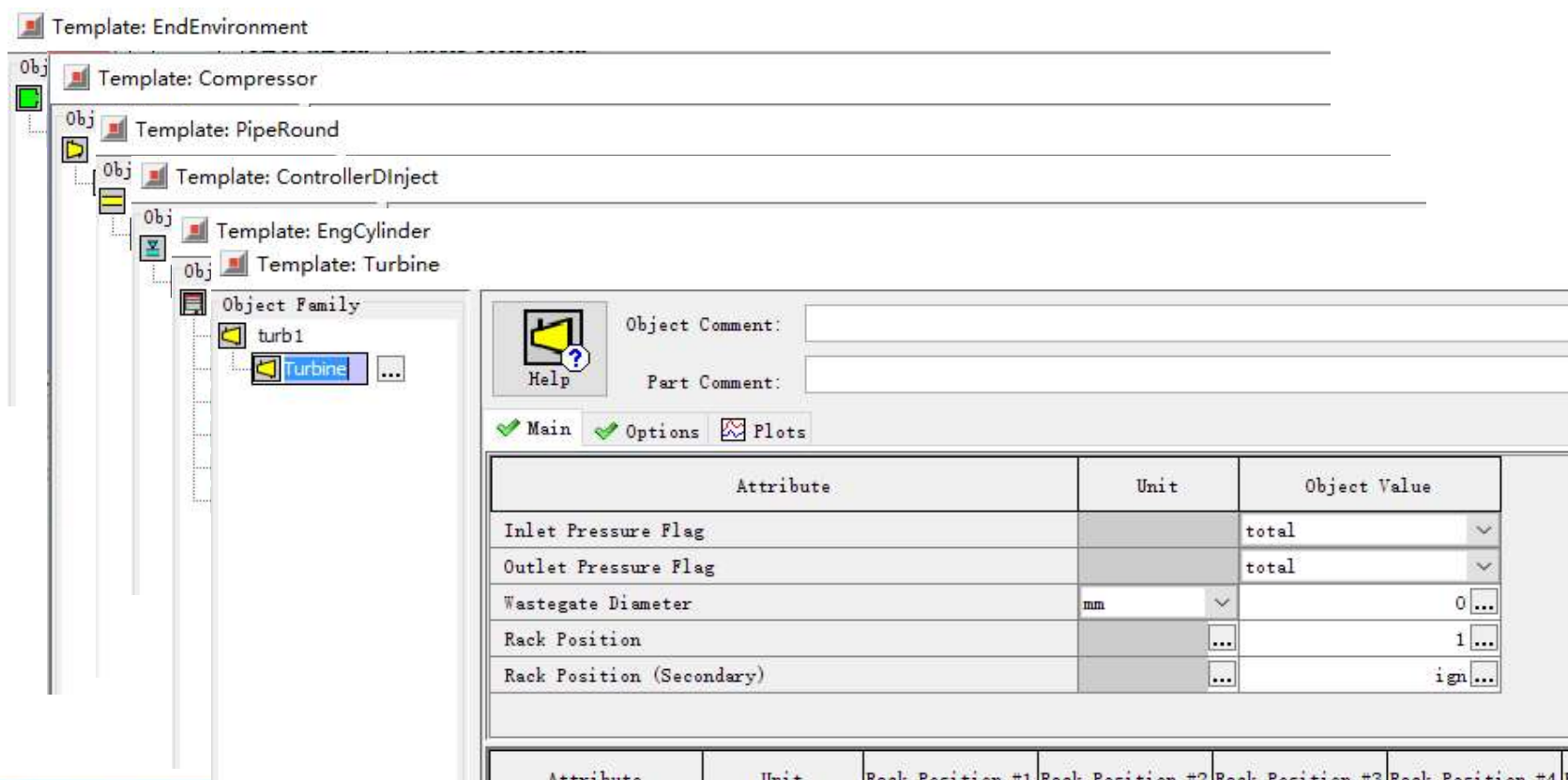
如过量空气系数、进气流量、供油量能否吻合，压端与涡端效率、流量是否合理，以及根据热力学理论、经验和数据的连续性判断数据是否合理等。

目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟模型建模流程及标定方法

● 各子模块标定（各子模块参数设置）



Object Comment:

Part Comment:

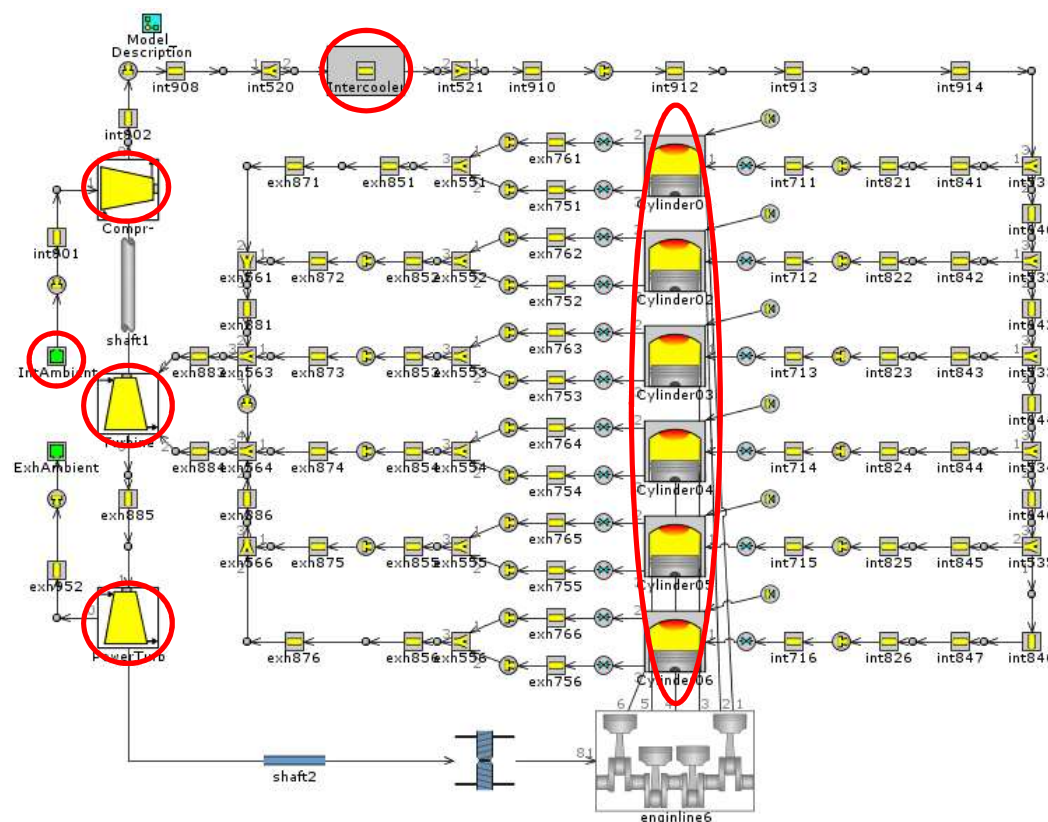
Help ?

✓ Main ✓ Options Plots

Attribute	Unit	Object Value
Inlet Pressure Flag		total ▼
Outlet Pressure Flag		total ▼
Wastegate Diameter	mm ▼	0 ...
Rack Position	...	1 ...
Rack Position (Secondary)	...	ign ...

虚拟模型建模流程及标定方法

● 各子模块标定（系统模型的搭建）



虚拟模型建模流程及标定方法

● 各子模块标定

空滤

- 前后压力、温度
- 压降、流量

压气机

- 前后压力、温度
- 进气流量
- 压比、效率

中冷器

- 前后压力、温度
- 压降、效率

节气门

- 前后压力、温度

进气总管

- 前后压力、温度
- 进气流量

气缸

- 功率、扭矩、比油耗
- 缸压、缸内温度
- 放热规律、喷油规律
- 气缸壁面温度

排气总管

- 前后压力、温度
- 总排气流量

EGR

- 前后压力温度
- 流量

涡轮

- 前后压力、温度
- 排气流量、放气量
- 膨胀比、效率

消声器

- 前后压力、温度
- 压降

催化器

- 各段前后压力、温度
- 各段前后气体组份
- 各段压降
- 尿素喷射

目录

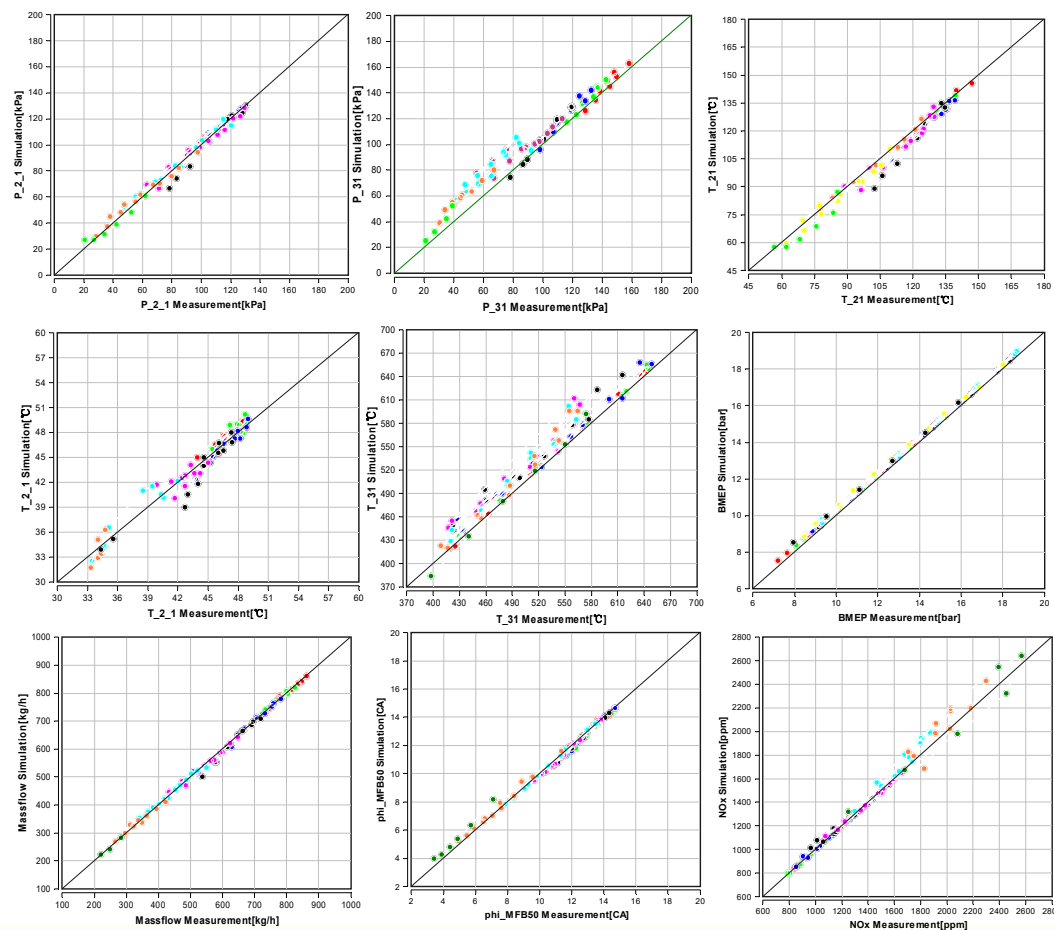
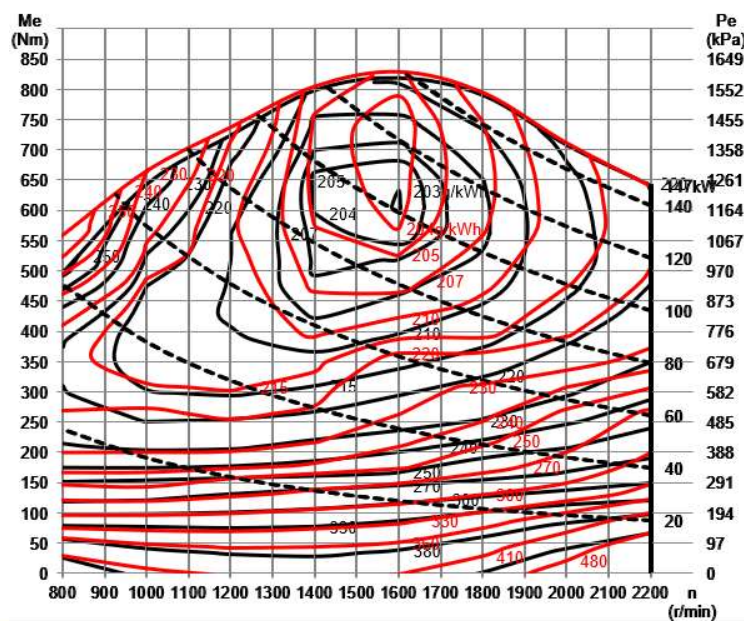
- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟模型建模流程及标定方法

● 模型台架对标(稳态)

台架测试数据对标:

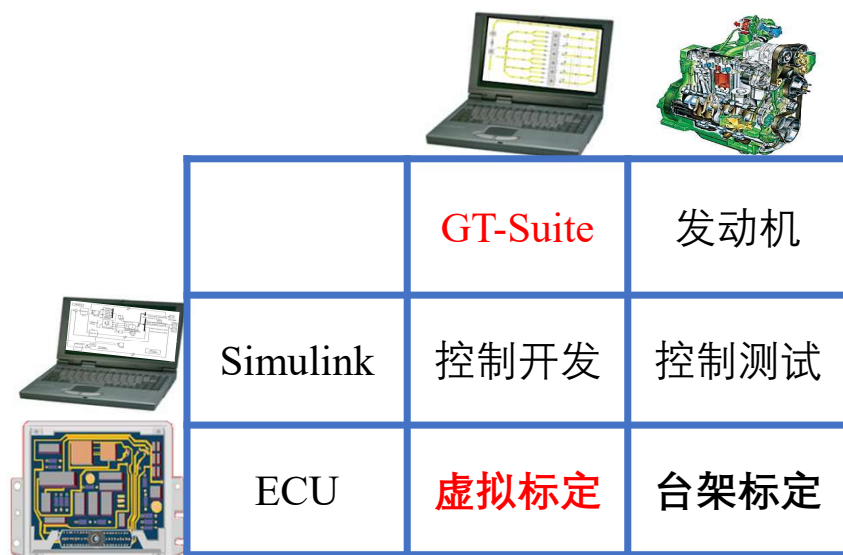
- 万有特性 (台架、ECU、燃烧)
- 万有特性 (仿真)



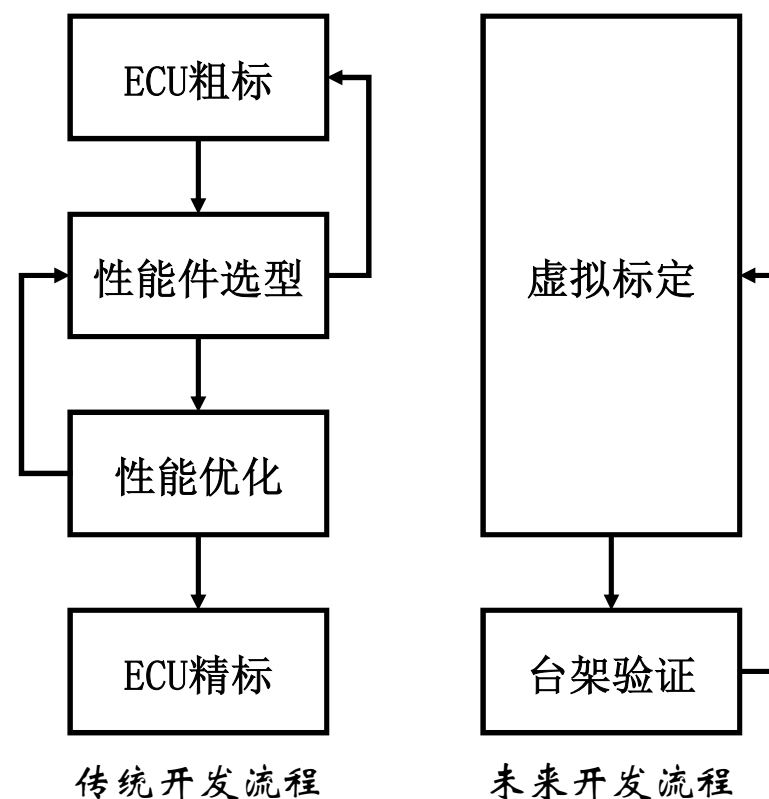
目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

虚拟标定

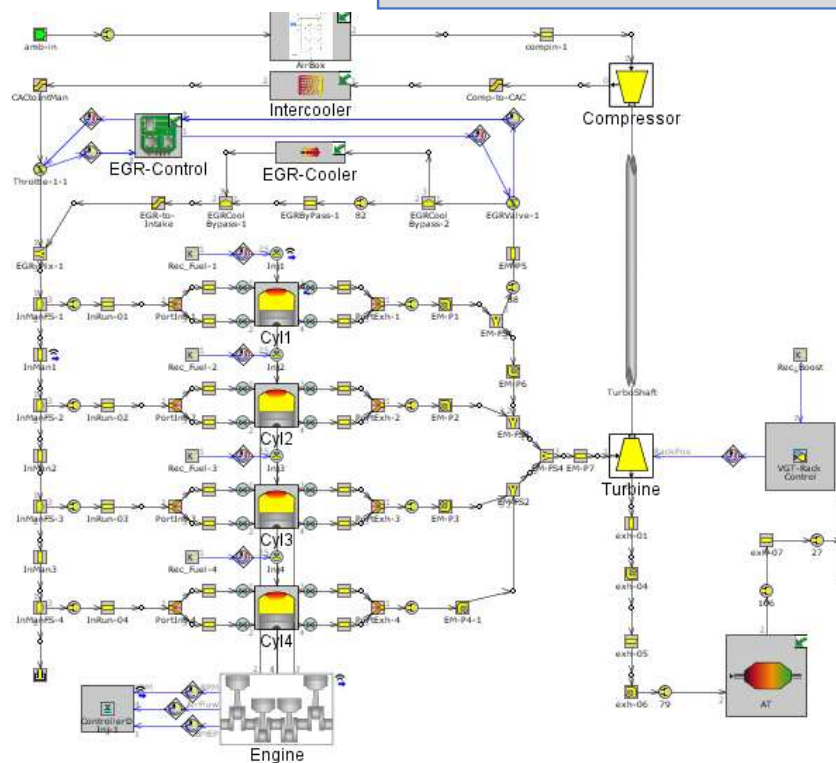


- 用虚拟发动机模型代替实际发动机
- 在虚拟环境下进行实体ECU标定

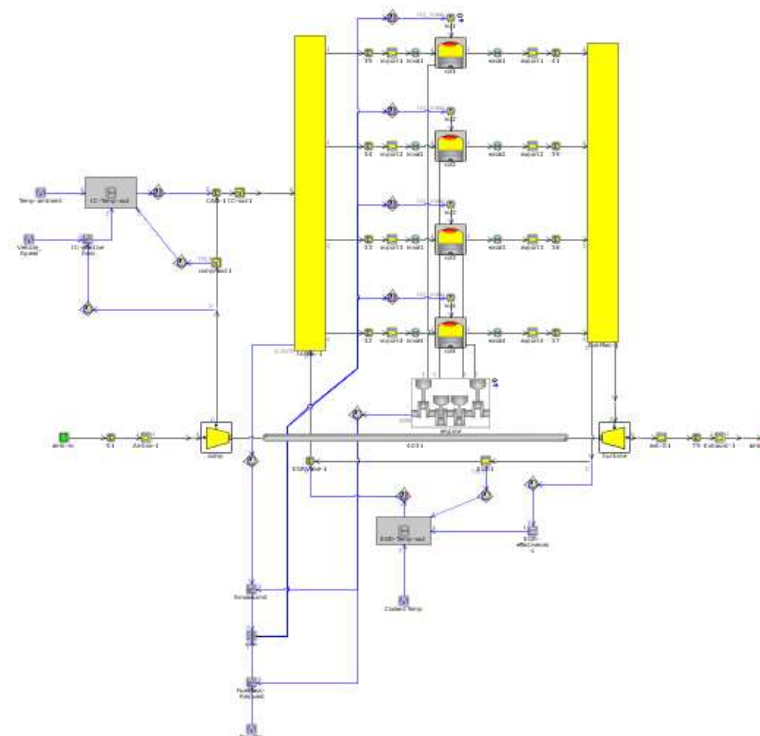


● 模型转换

高精度高实时性的发动机虚拟模型 (RT模型) 是虚拟标定能否成功的关键之一

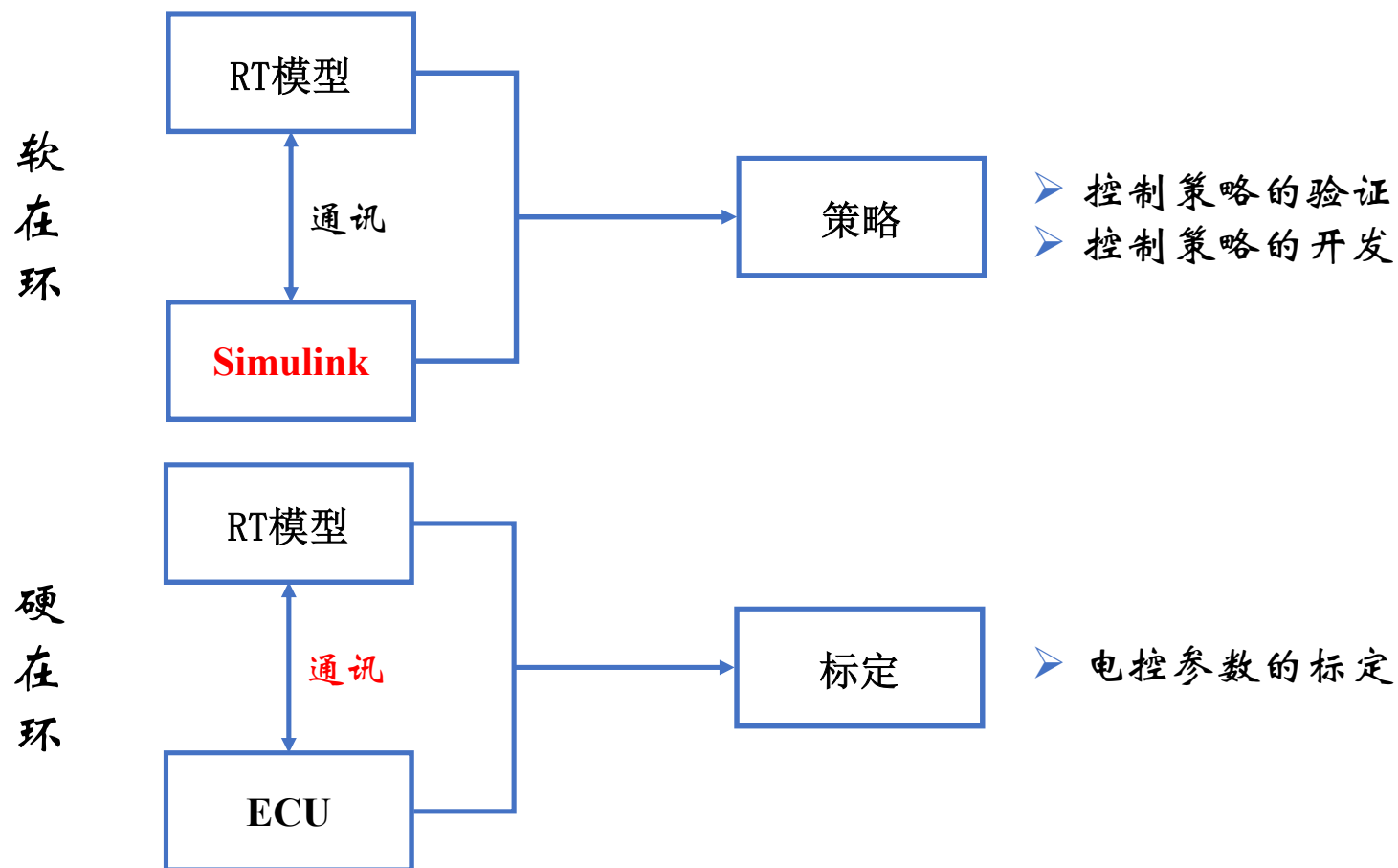


详细发动机模型



发动机FRM模型

虚拟标定



虚拟标定

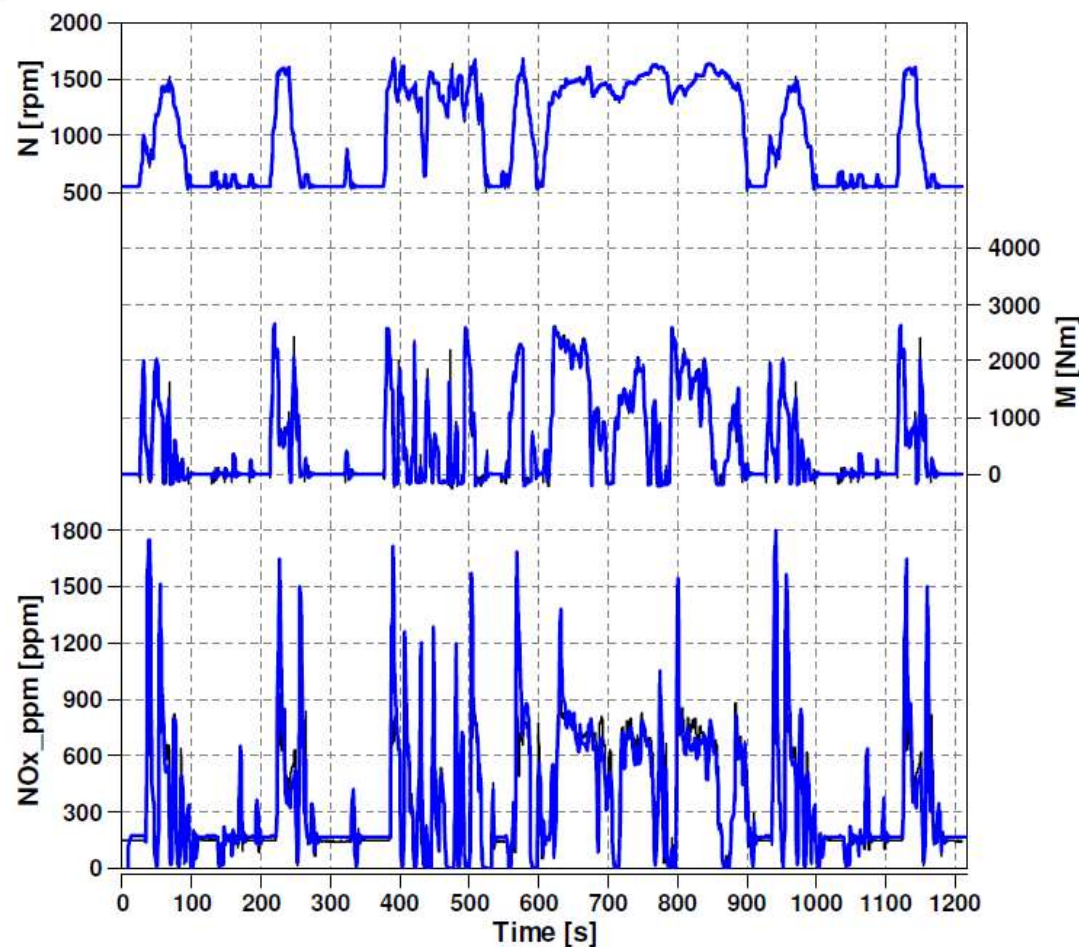
● 模型台架对标

稳态台架测试数据对标:

- 万有特性 (台架、ECU、燃烧)
- 万有特性 (仿真)
- ESC (台架、ECU、燃烧)
- ESC (仿真)

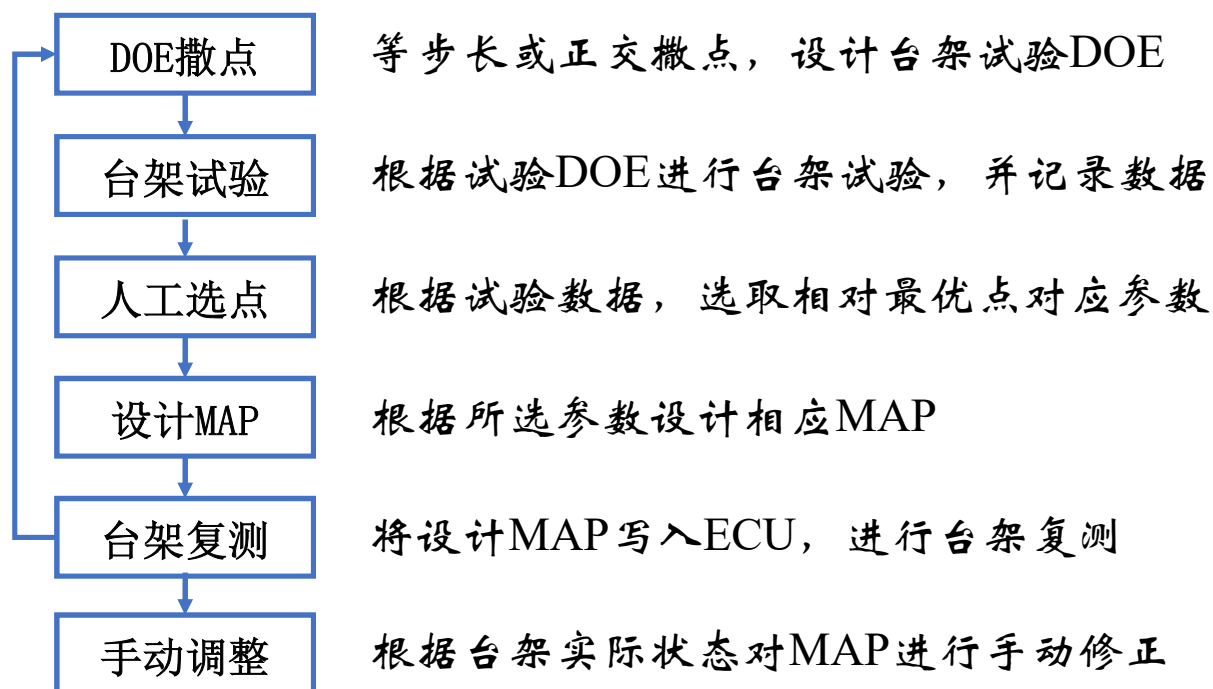
瞬态台架测试数据对标:

- WHTC (台架、ECU、燃烧)
- WHTC (仿真)
- ETC (台架、ECU、燃烧)
- ETC (仿真)



虚拟标定

● 标定方式优化（人工标定）



传统标定流程

以轨压map、正时map标定为例：
DOE：转速间隔200（800~2600rpm）
负荷（100%，80%，60%，40%，20%）
轨压三个
正时5个（间隔2°）
一个点用时按30s

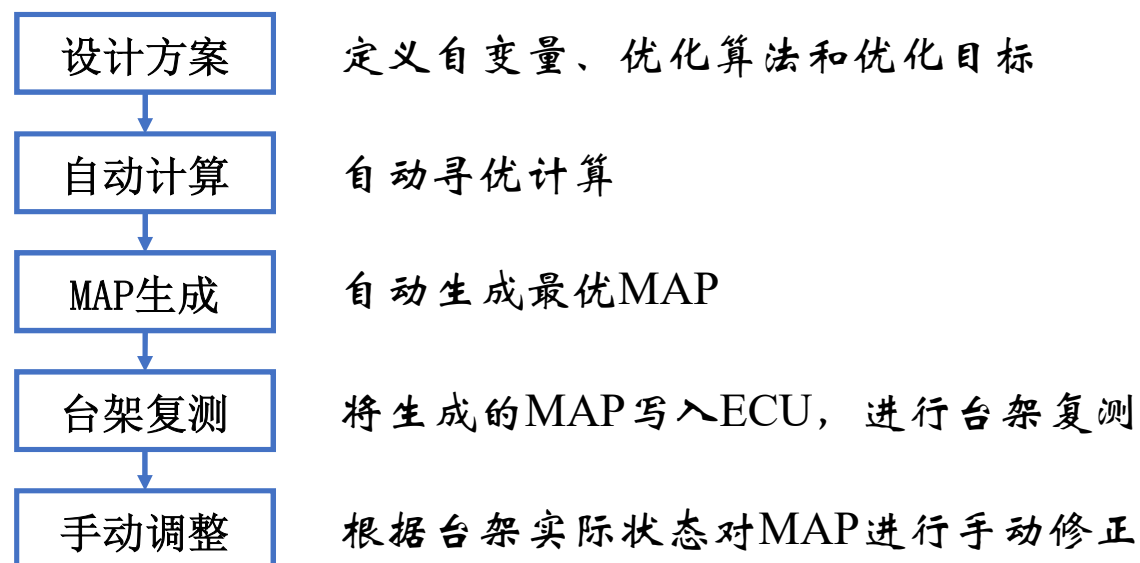
10*5=50个工况点
50*3*5=750组数据
750*0.5=375min≈6h
选点、设计map、平顺map：2h
手动调整：1小时

保守用时9h

虚拟标定

● 标定方式优化（自动标定）

GT-Suite+mFC



自动标定流程

mFC – modeFRONTIER for Calibration

- 由IDAJ+estco+丰田共同开发
- 针对发动机自动标定、map优化
- 支持台架在线标定和office离线标定

以轨压map、正时map标定为例：

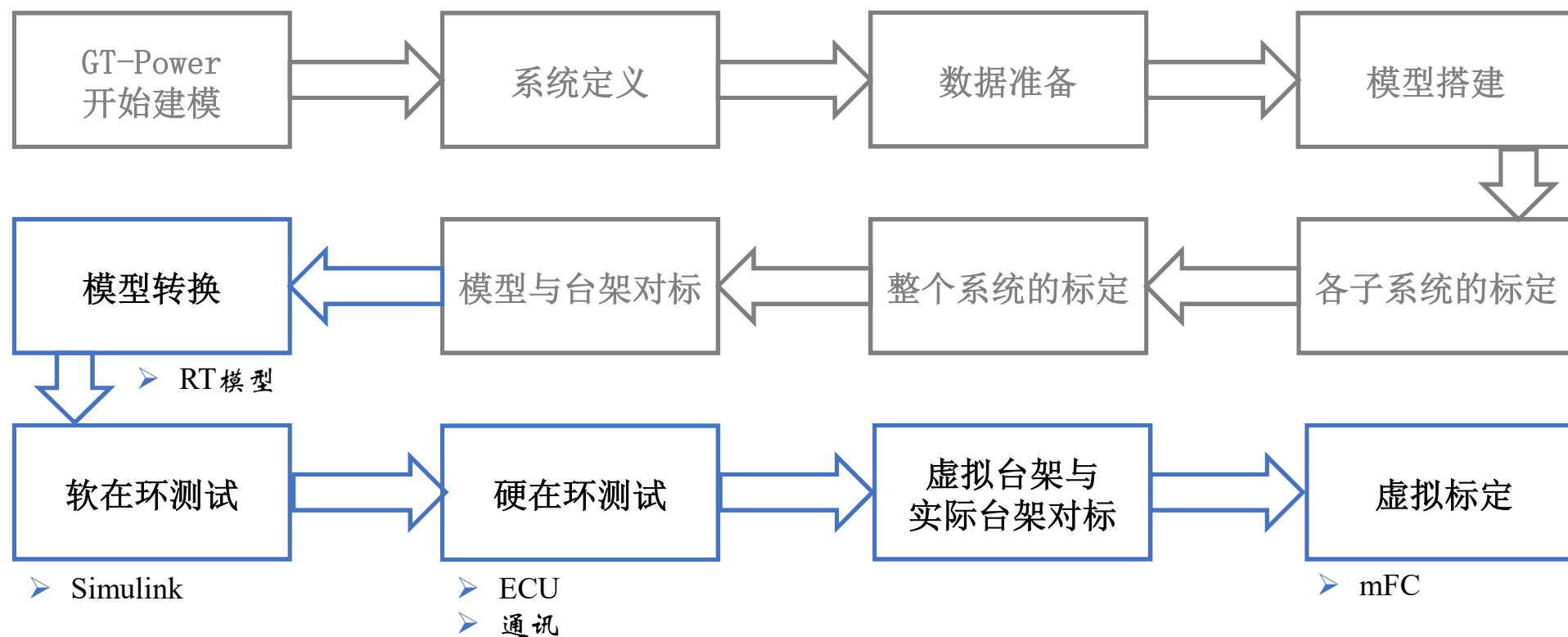
工况点 $>10^4$

计算耗时 $<6h$

手动调整：1小时

虚拟标定

● 虚拟标定流程



目录

- 虚拟标定的背景及意义
- 虚拟模型建模流程及标定方法
 - ✓ 系统结构定义
 - ✓ 数据准备
 - ✓ 各子模型标定
 - ✓ 模型台架对标
- 虚拟标定
- 总结

总结

- 行业竞争越来越大，仿真技术地位日益提高
- 虚拟标定能将台架上大部分测试、标定工作前置到办公室环境进行
- 虚拟标定能将大幅提升开发效率、减少开发成本、提高开发精度
- 高精度高实时性的发动机虚拟模型是虚拟标定能否成功的关键之一
- 在mFC的帮助下，能进一步发挥虚拟标定的优势

During the evaluation, it is easy to stop mFC and change the DOE. Given certain scenarios, with this technique we can reduce the number of evaluation by 50%.

Mr. Goh

Project manager, TMC Laboratory
Automation System, Toyota TD

Thank You!



关注微信公众号，推送年会报告早知道