

内燃动力智能控制算法挑战赛

练习平台说明

为凝聚社会各界智力资源，促进产学研、跨学科、跨领域的合作与人才培养，助力内燃动力行业关键共性控制难题的突破与产业革新，由中国内燃机学会与中国自动化学会联合主办，中国内燃机学会内燃动力智能技术分会承办的“内燃动力智能控制算法挑战赛”将于 2022 年 10 月在天津举行。

挑战赛由仿真测试与汇报答辩两大环节组成，设置金奖、银奖、铜奖等奖项，并设奖金。首届比赛题目设定为“增压 EGR 直喷发动机空气系统智能控制算法开发”，采用模型在环仿真形式，量化评测各赛队算法的控制精度、响应速度、抗干扰能力等综合指标。

一、被控对象模型

1. 发动机基本配置

赛题所用直喷发动机为当量燃烧（空燃比 14.7），主要特性参数见表 1，外特性曲线见表 2。

表 1 发动机主要特性参数

参数名称	参数值
基本构型	直列 4 缸
排量	1.5L
额定功率/转速	120kW/6000rpm
最大扭矩/转速	242N.m/2000rpm

表 2 发动机外特性

转速 (rpm)	扭矩 (N.m)
1000	124
1100	150
1200	182
1300	200
1400	240
1500	239.9194
2000	242.5126
2500	219.7712
3000	217.524
3500	208.8861
4000	209.2998
4500	210.352
5000	211.478
5500	201.897
6000	190.897

赛题发动机对象模型采用 GT-POWER 建模，其模型如图 1 所示。为减少赛队安装 GT-POWER 软件的不便，赛题提供方将 GT-POWER 模型转换为通用的 FMU (Functional Mock-up Unit) 格式，FUM 模型详细使用方法见第三节。

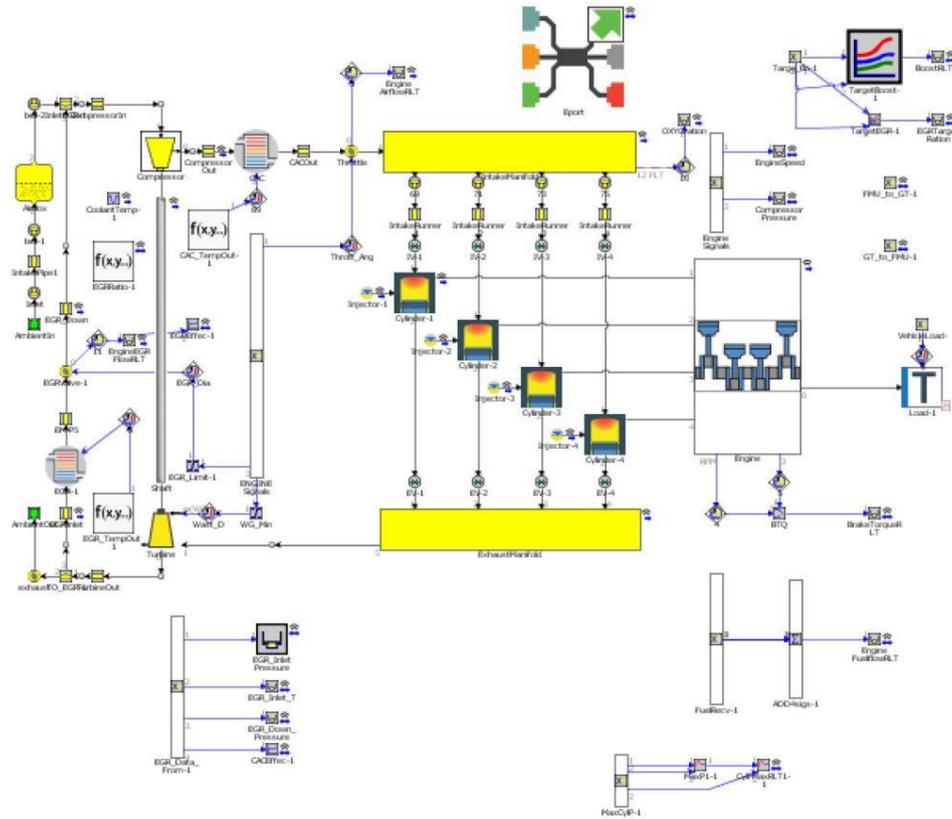


图 1 被控发动机 GT-POWER 模型

2. 空气系统结构示意图

空气系统结构如图 2 所示。其中，控制输入为电子节气门开度、增压器涡轮放气阀 (WG) 等效流通直径及废气再循环控制阀 (EGR 阀) 的开度，输出为进气歧管压力及 EGR 率 (可由进气氧浓度信号计算)。

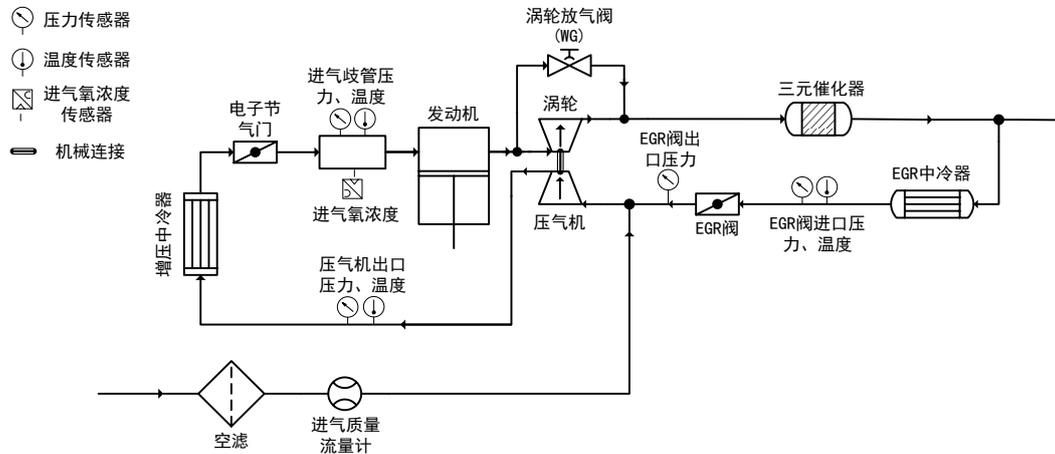


图 2 发动机空气系统结构示意图

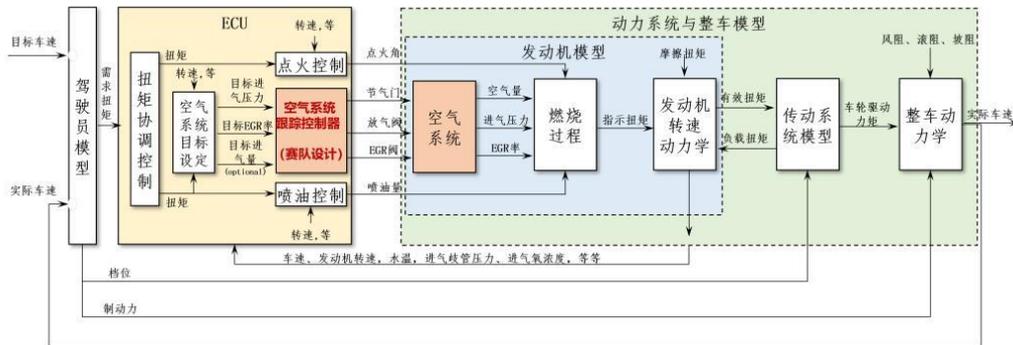
3. 仿真平台车辆参数

表 3 车辆参数

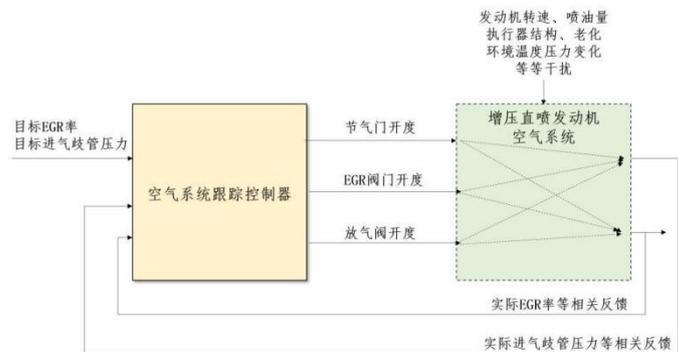
参数名称	参数值
车重	1540kg
车轮滚动半径	334mm
滚动阻力系数	0.01
迎风面积	2.3m ²
风阻系数	0.33
主减速比	2.77
变速箱各挡位速比	1 挡: 4.484 2 挡: 2.872 3 挡: 1.842 4 挡: 1.414 5 挡: 1 6 挡: 0.742

二、总体控制结构

比赛仿真平台总体控制结构及空气系统控制器局部放大如图 3 所示。



(a) 总体控制结构简化示意图



(b) 空气系统控制器局部放大

图 3 仿真系统总体架构及主要接口

参赛队伍需自主设计空气系统跟踪控制器，其他部分由赛题提供方设计并封装。控制器设计的目标为：满足车速跟随的条件下，使进气歧管压力和 EGR 率快速、准确、平滑地跟踪设定值；执行机构动作响应在约束范围内，无振颤、能耗低；在发动机变工况或受到干扰时，能够保持良好的控制品质。

三、仿真环境

1. 模型在环仿真平台

模型在环仿真基于 MATLAB 平台（建议使用 r2022a 及以上版本），对象模型封装为 FMU 格式，并预留输入、输出接口，参赛队伍自行搭建控制策略，通过预留接口与对象 FMU 模型实现模型在环仿真。

注：练习平台是理想系统，未考虑零部件散差、老化、污损、噪声等干扰，比赛时会切换为类真实系统，增加相应的干扰。

具体操作流程如下：

1) 将组委会提供的比赛文件夹加入到 MATLAB 的路径 (path) 中(图中文件夹供参考)，具体如图 4 所示。

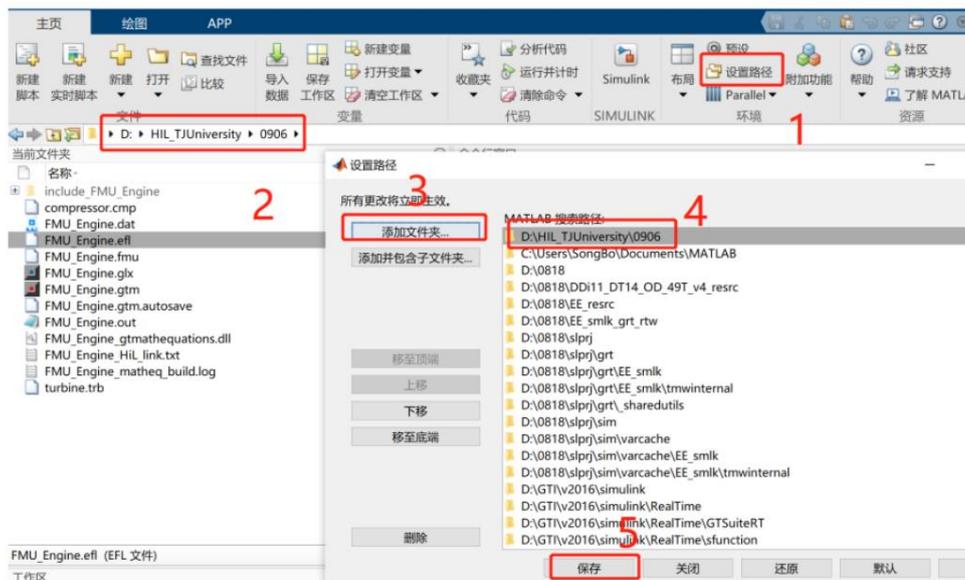


图 4 仿真路径设置方法

2) 将组委会提供的文件夹设定为 MATLAB 的当前文件夹，具体如图 5 所示。

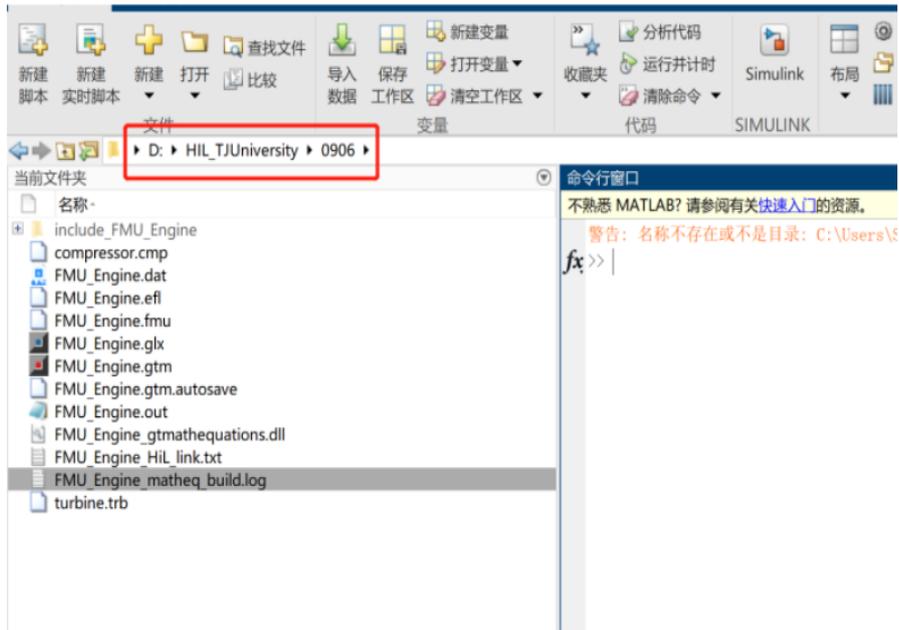


图 5 当前文件夹设定方法

3) 新建 SIMULINK 模型，从库浏览器中添加 FUM 模块，具体如图 6 所示：

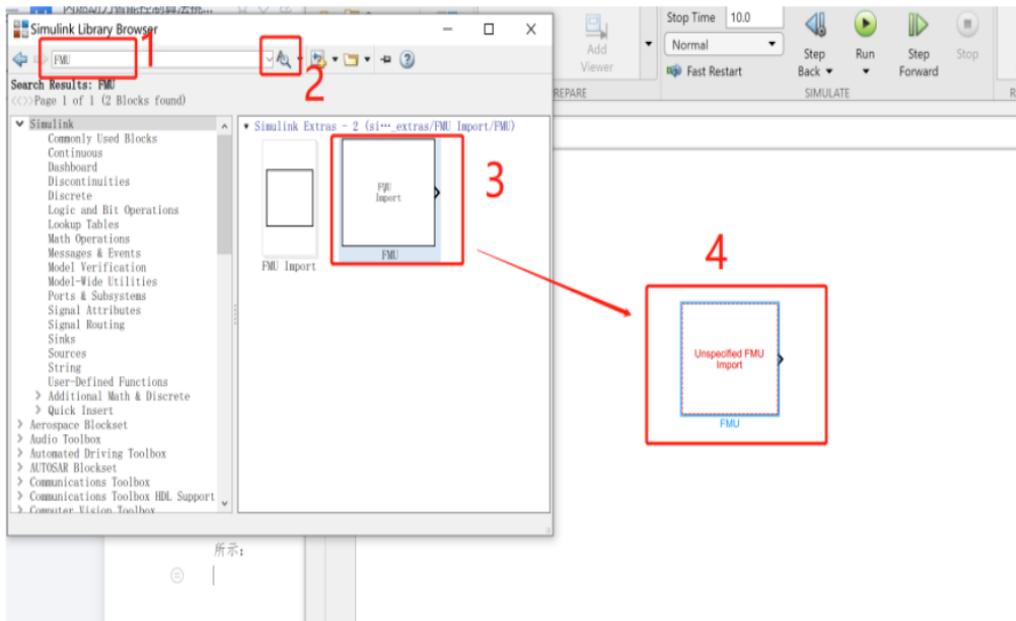


图 6 新建*.slx 文件并添加 FUM 模块

4) 双击添加的 FUM 模块，打开并导入给定的 FMU 文件，具体如图 7 所示：

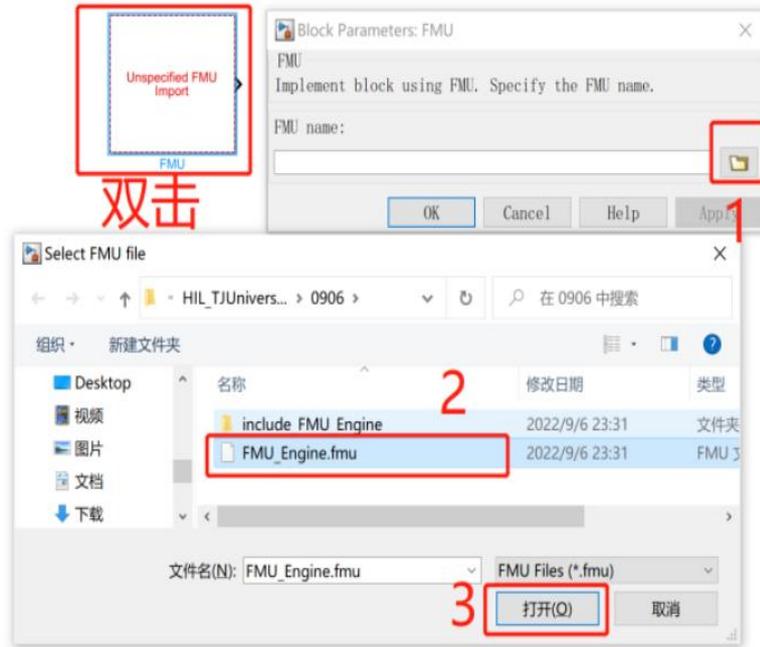


图 7 导入 FUM 模型

5) 导入后的模型如图 8 所示：

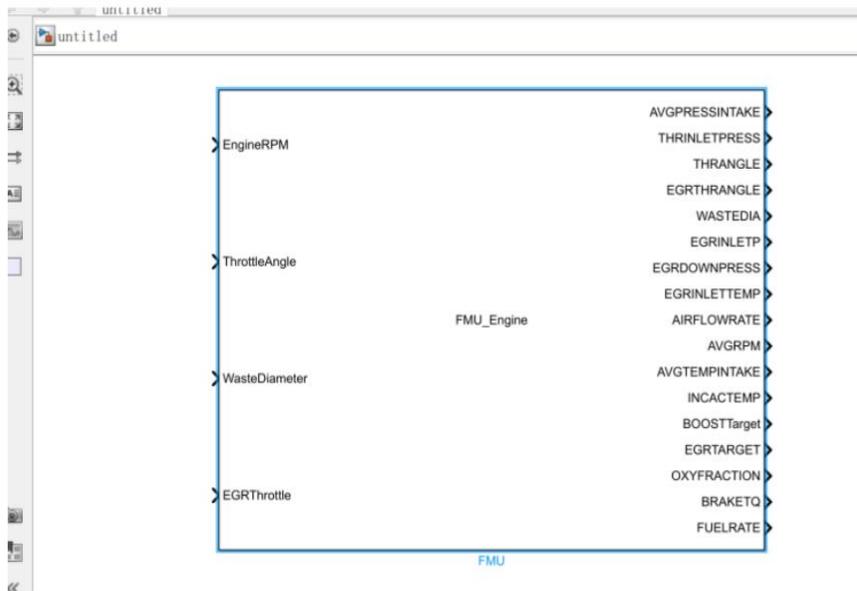


图 8 导入成功，显示 FMU 模型名称及接口

6) FMU 控制模式设置

控制模型设置只适用于 FMU_Vehicle_Engine.fmu 模型。

双击 SIMULINK 中导入的 FMU 模型，打开设置，具体如图 9 所示：

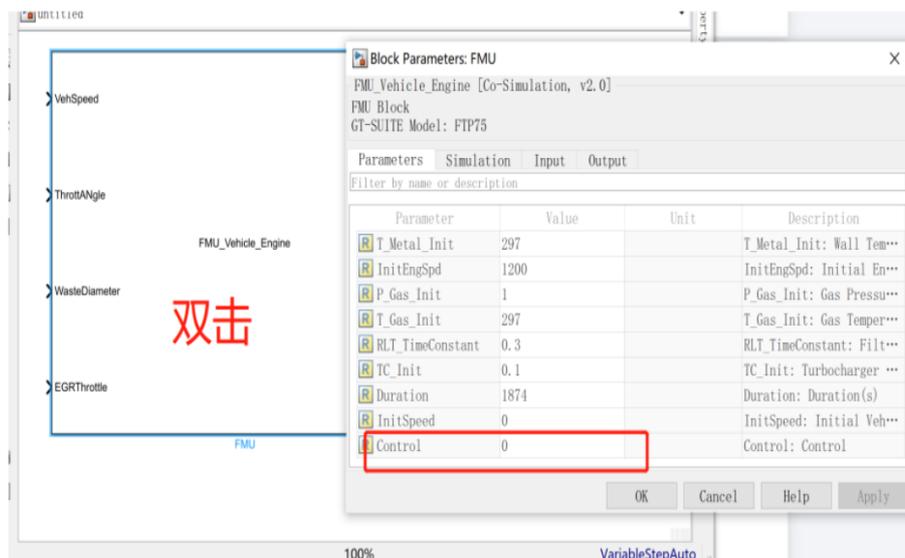


图 9 FMU 控制模式设置

通过“Control”参数可调整 FMU 模型的控制模式：当为 0 时，采用 FMU 内部示例控制，目标车速来自内部设定的循环工况，此时目标车速输入端口不起作用；当输入 1 时，FMU 模型使用外部输入的目标车速，各赛队可自行设定目标车速。

2. 发动机模型与整车模型

赛题提供方将提供两个对象模型：

1) 耦合了被控发动机、传动链和整车的对象模型 (FMU_Vehilce_Engine)，用于控制算法在实车变工况条件下的测试与验证；

2) 独立的被控发动机对象模型 (FMU_Engine)，提供定转速控制接口，模拟发动机台架标定的边界条件，赛队可通过该模型进行稳态实验来辨识发动机空气系统特性。

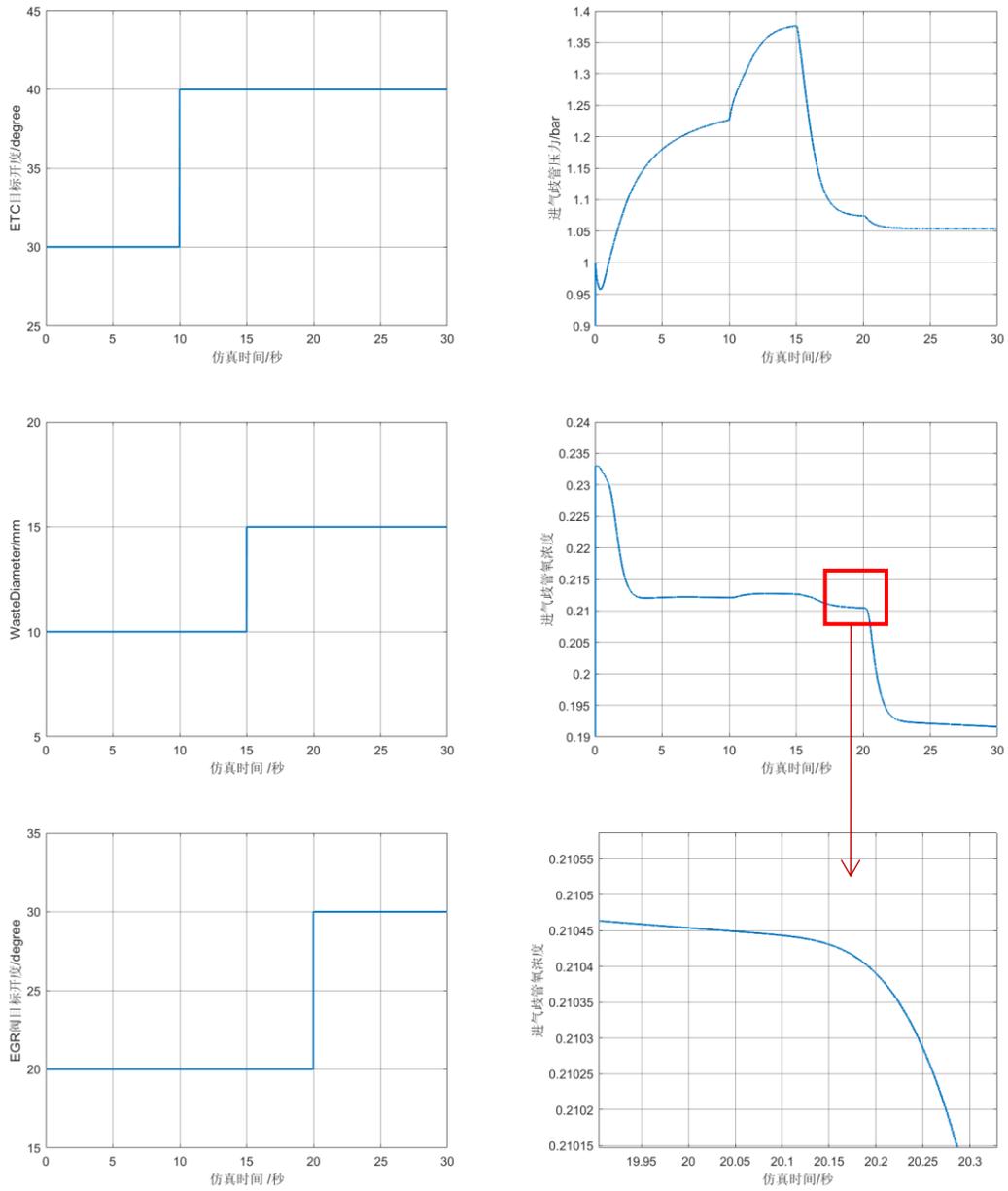
3) 两个对象模型中，发动机部分的配置参数完全一致。

4) 比赛使用整车对象模型 (FMU_Vehilce_Engine)。

四、响应特性

增压-LP EGR 系统是一个典型的多变量、强耦合、非线性、带有时滞的动态系统。如图 3 所示，3 个控制输入对 2 个被控输出均有影响，且受到发动机转速和喷油量等工况条件、环境温度和压力等环境条件，以及执行机构结垢老化等干扰的影响。为了让赛队直观的了解被控对象的动态特征，给出一组执行机构的阶跃响应测试曲线。

如图 10 所示，发动机转速固定在 2000rpm，分别在 10 秒、15 秒和 20 秒进行节气门、放气阀以及 EGR 阀门的阶跃测试。从对应的进气歧管压力和 EGR 率的响应曲线中，可以明显观察到耦合、时滞以及非线性特征。



(a) 执行器动作

(b) 输出量

图 10 执行机构的阶跃响应测试曲线

五、接口变量

FMU 模型主要接口变量解释见表 5 至表 8。

表 5 FMU_Engine 输出信号列表

信号名称	单位	含义	物理范围
AVGPRESSINTAKE	bar	进气歧管压力	[0, 2.3]
THRINLETPRESS	bar	节气门前压力	[0.5, 4]
THRANGLE	degree	电子节气门开度	[0, 90]
EGRTHRANGLE	degree	EGR 阀开度	[0, 90]
WASTEDIA	mm	增压器放气阀等效流通直径	[0, 25]
EGRINLETP	bar	EGR 阀入口压力	[1, 3]
EGRDOWNPRESS	bar	EGR 阀出口压力	[0.2, 1.2]
EGRINLETTEMP	K	EGR 阀入口温度	[300, 800]
AIRFLOWRATE	kg/h	新鲜空气流量	[0, 720]
AVGRPM	rpm	发动机转速	[0, 7500]
AVGTEMPINTAKE	K	进气歧管温度	[300, 400]
INCACTEMP	K	中冷器入口温度	[300, 400]
BOOSTTarget	bar	目标增压压力	[0.2, 2.6]
EGRTARGET	%	目标 EGR 率	[0, 40]
OXYFRACTION	fraction	进气歧管氧浓度	[0, 0.23]
BRACKETQ	N.m	实际扭矩 (FMU_Engine Only)	[0, 242]
FuelRate	kg/h	燃油消耗量	[0, 51.5]

表 6 FMU_Vehilce_Engine 输出信号列表

信号名称	单位	含义	物理范围
AVGPRESSINTAKE	bar	进气歧管压力	[0, 2.3]
THRINLETPRESS	bar	节气门前压力	[0.5, 4]
THRANGLE	degree	电子节气门开度	[0, 90]
EGRTHRANGLE	degree	EGR 阀开度	[0, 90]
WASTEDIA	mm	增压器放气阀等效流通直径	[0, 25]
EGRINLETP	bar	EGR 阀入口压力	[1, 3]
EGRDOWNPRESS	bar	EGR 阀出口压力	[0.2, 1.2]
EGRINLETTEMP	K	EGR 阀入口温度	[300, 800]
AIRFLOWRATE	kg/h	新鲜空气流量	[0, 720]
AVGRPM	rpm	发动机转速	[0, 7500]
AVGTEMPINTAKE	K	进气歧管温度	[300, 400]
INCACTEMP	K	中冷器入口温度	[300, 400]
BOOSTTarget	bar	目标增压压力	[0.2, 2.6]
EGRTARGET	%	目标 EGR 率	[0, 40]
OXYFRACTION	fraction	进气歧管氧浓度	[0, 0.23]
VehicleSpeed	km/h	实际车速	[0, 240]
FuelRate	kg/h	燃油消耗率	[0, 51.5]

表 7 FMU_Engine 输入信号列表

信号名称	单位	含义
EngineRPM	rpm	目标发动机转速 (FMU_Engine Only)
ThrottAngle	degree	电子节气门目标开度
WasteDiameter	mm	增压器放气阀目标等效流通直径
EGRThrottle	degree	EGR 阀目标开度

表 8 FMU_Vehile_Engine 输入信号列表

信号名称	单位	含义
VehSpeed	km/h	目标车速
ThrottAngle	degree	电子节气门目标开度
WasteDiameter	mm	增压器放气阀目标等效流通直径
EGRThrottle	degree	EGR 阀目标开度

六、评价准则

赛题的控制目标为：在测试工况和环境下，实现 1) 进气歧管压力、2) EGR 率、3) 车速准确、快速、稳定地跟踪目标设定值。

赛题的控制效果评价准则为：综合评价 1)、2)、3) 项的跟踪误差、执行机构的响应动态和能耗、控制系统的抗干扰能力和鲁棒性及控制器标定的复杂程度。

七、其他

1. 联系人：

- 1) 赛题与规则联系人：李乐 15000316840
- 2) 赛队报名联系人：章振宇 13810848761
- 3) 比赛细则联系人：李雁飞 18618142356
- 4) 比赛总联系人：宋康 17526958480

2. 报名方式：通过内燃机智能控制挑战赛分会邮箱进行报名。

- 1) 分会邮箱账号：itice@tju.edu.cn
- 2) 需要提交的材料：报名表（见附件 1，需加盖单位公章）

3. License 使用方法将在报名成功后以邮件的方式发给各赛队。

4. 答疑：对比赛有任何疑问请加入下方的微信群，群内将进行解答。



答疑群：内燃动力控制挑战赛



该二维码9月25日前有效，重新进入将更新

八、鸣谢

1. 本赛题由艾迪捷 (IDAJ) 公司开发, 并提供了比赛期间 GT-POWER 仿真软件的 150 个 License。在此衷心感谢!
2. 公司官网: <http://www.idaj.cn>; 联系邮箱: song.bo@idaj.cn

内燃动力智能控制算法挑战赛执行委员会

2022 年 9 月 7 日

附件 1：内燃动力智能控制算法挑战赛报名表

报名单位资料		
单位全称：		
负责人姓名：	负责人职务：	
负责人移动电话：	负责人 E-mail：	
赛队资料		
赛队名称：		
赛队成员 1（队长）：	电话：	单位：
赛队成员 2：	电话：	单位：
赛队成员 3：	电话：	单位：
赛队成员 4：	电话：	单位：
赛队成员 5：	电话：	单位：
赛队成员 6：	电话：	单位：
赛队成员 7：	电话：	单位：
赛队成员 8：	电话：	单位：
以上信息真实无误，如有不实，组委会有权取消赛队参赛资格。 <div style="text-align: right;"> 负责人手签： 报名单位（公章）： 日期： </div>		

注： 1. 参赛单位可为高校、企业、校企联合等，不接受多人组队。高校赛队参赛需具体至院级并有指导老师。负责人需为高校指导老师或企业业务负责人。赛队至多填写 2 个负责人。

2. 高校赛队需盖院级及以上级别公章及手签；企业赛队需盖企业公章及手签。

4. 参加内燃动力智能控制算法挑战赛的学校、科研单位或校企联合单位上限 8 人，企业单位上限 5 人。

5. 请将签字盖章报名表于截止日期（9月25日）前扫描，并将扫描后的PDF文件及原版WORD文件一并发至邮箱：itice@tju.edu.cn，邮件主题为“2022内燃动力智能控制算法挑战赛报名表+参赛单位+赛队名”