

Tai-Ji MPC 5

For version 5.2.40

用户手册

杭州泰极豫才软件有限公司
浙江省杭州市西湖区万塘路 262 号 6 号楼 5 层 590 室
联系人：朱豫杰
电话： 18069891080
邮箱：info@tjcontrol.com
网址：<http://www.tjcontrol.com/>



Tai-Ji Control

This document contains proprietary information of Tai-Ji Control, and is tendered subject to the condition that no copy or other reproduction be made in whole or in part for use other than client's own internal use, and that no use be made of information herein except for the purpose for which it is transmitted, without express written permission of Tai-Ji Control.

Copyright © Tai-Ji Control, 2024

本文件含有杭州泰极豫才软件有限公司的商业机密，只能在合法用户公司(单位)内部使用，
没有杭州泰极豫才软件有限公司书面允许，任何部分都不能拷贝传发。

Tai-Ji MPC 控制技术知识产权归荷兰 Tai-Ji Control 和杭州泰极豫才软件有限公司所有

目录

1	简介.....	5
1.1	软件简介.....	5
1.2	控制系统简介.....	5
1.2.1	结构.....	5
1.2.2	三个组件与它们的集成.....	6
1.2.3	Tai-Ji MPC 的投运过程.....	10
2	开始使用.....	12
2.1	系统要求.....	12
2.2	安装 Tai-Ji MPC	12
2.3	安装模拟测试环境.....	13
2.4	Tai-Ji MPC 软件加密保护系统和更新过程	13
2.5	多语言版本设置.....	14
2.6	启动 Tai-Ji MPC	15
3	Tai-Ji MPC 的菜单与模块	17
3.1	Tai-Ji MPC 的菜单	17
文件菜单.....	17	
视图菜单.....	17	
工具栏菜单.....	17	
帮助菜单.....	17	
3.2	Tai-Ji MPC 模块	18
4	典型举例.....	19
4.1	创建新工程.....	19
4.1.1	OPC 模拟服务器: TaiJiOPCSim	19
4.1.2	配置基本参数 (配置模块).....	20
4.1.3	配置 MVs, DVs 和 CVs(配置模块).....	21
4.1.4	指定期望矩阵 (配置模块).....	22
4.2	辨识实验 (辨识实验模块).....	24
4.3	模型辨识 (模型辨识模块).....	26
4.4	仿真控制器.....	29
4.5	运行在线控制器.....	34
4.6	使用在线控制器模块进行实时仿真	36
4.7.1	导入 Matlab 6.5 MAT 文件	37
4.7.2	导入 Excel CSV 文件	39
5	Tai-Ji MPC 的窗口与功能	41
5.1	配置模块.....	41
5.1.1	一般窗口.....	42
5.1.2	控制变量 (MV) 窗口	43
5.1.3	干扰变量 (DV) 窗口	44
5.1.4	被控变量 (CV) 窗口	45
5.1.5	配置 CV 设定值曲线	46
5.1.6	测试变量 TV	49

5.1.7 期望矩阵.....	50
5.2 辨识实验模块.....	52
5.2.1 控制变量（MV）窗口	52
5.2.2 测试变量（TV）窗口	53
5.2.3 干扰变量（DV）窗口	54
5.2.4 被控变量（CV）窗口	55
5.2.5 实验信号窗口.....	56
5.2.6 实验信号协方差.....	57
5.3 模型辨识模块.....	58
5.3.1 控制变量（MV）及干扰变量（DV）窗口.....	58
5.3.2 被控变量（CV）窗口	59
5.3.3 模型窗口.....	61
5.3.4 时延窗口.....	63
5.3.5 增益窗口.....	64
5.4 仿真控制器模块.....	65
5.4.1 控制变量（MV）窗口	65
5.4.2 干扰变量（DV）窗口	65
5.4.3 被控变量（CV）窗口	65
5.4.4 模型窗口.....	66
5.4.5 增益窗口.....	67
5.4.6 Tuning 窗口	67
5.5 在线控制器模块.....	68
5.5.1 控制变量（MV）窗口	68
5.5.2 干扰变量（DV）窗口	69
5.5.3 被控变量（CV）窗口	71
5.5.4 模型窗口.....	73
5.5.5 增益窗口.....	74
5.5.6 Tuning 窗口	76
5.6 在 NMPC 中使用 LPV 模型功能.....	78
6. DCS/PLC 用户界面	80
7. MPC 控制器算法介绍	83
7.1 双层 MPC 控制算法介绍	83
7.1.1 稳态优化层.....	83
7.1.2 动态控制层.....	87
7.2 动态层参数整定策略.....	89
7.3 变量归一化对参数整定的影响.....	90
7.4. 控制器特殊功能介绍.....	91
7.4.1 “粘滞区间”与“自由区间”.....	91
7.4.2 设定值滤波器（SPFilter）	92
7.4.3 自适应干扰模型（微分作用）	94
7.4.4 DV 预测修正	95
7.4.5 协调模块.....	96
7.4.6 “优先级 0”模式	96



7.4.7 模型增益矩阵（GainFactor）	97
7.4.8 在线修改模型.....	98
7.5. “两项 QP”与“三项 QP”的性能对比.....	98
7.5.1 环境.....	98
7.5.2 准则.....	99
7.5.3 结论.....	99
7.6 多模型线性插值（LPV）方案	101
8. 脚本处理.....	104
8.1 开启脚本功能.....	104
8.2 编辑脚本.....	104
8.3 编辑输入/输出脚本.....	106
8.4 变量属性.....	107
9. 故障排除.....	111
10. 常见问题解答.....	112
10.1 关于设置 Tai-Ji MPC 中的采样时间	112

1 简介

1.1 软件简介

Tai-Ji MPC 是由杭州泰极豫才软件有限公司研发的模型预测控制器软件包。Tai-Ji MPC 是用来对多变量工业生产装置进行在线控制和经济优化，以增加产品收益，提高产品质量，提升生产的安全稳定性，以及节能降耗、减少原料用量、减轻污染。

当 MPC 控制器的设计确定后，Tai-Ji MPC 可以自动进行控制器的投运和维护。MPC 控制器的设计包括控制变量（MV）表，干扰变量（DV）表和被控变量（CV）表，以及它们的控制策略，其包括 MV 上下限约束、CV 区间控制或设定值控制，CV 多优先级规划、经济优化等。根据 MPC 控制器的设计，Tai-Ji MPC 可以自动地进行在线模型辨识，MPC 控制参数设定。由于模型退化而导致的 MPC 控制器品质变差，Tai-Ji MPC 可以自动进行控制器的维护，包括模型的重新辨识及替换和控制参数的重新整定。

用户可以给定 CSV 文件的测试数据，把 CSV 文件导入 Tai-Ji MPC 并执行模型辨识和 MPC 控制器。

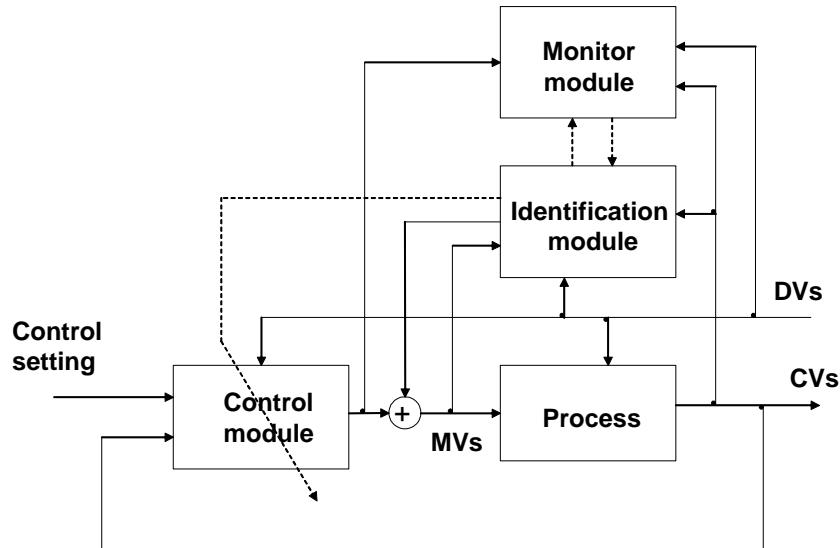
Tai-Ji MPC 是为了涉及到基于模型过程控制的系统控制工程师、工艺工程师和操作工而设计的。Tai-Ji MPC 的用户不需要掌握高深的系统辨识和 MPC 控制的理论知识。Tai-Ji MPC 同时可以作为自动控制领域的学者和学生学习 MPC 控制策略的有用工具。

Tai-Ji MPC 可以在 Windows 10 专业版操作系统下运行。Windows 和 DCS 之间的通讯方式为 OPC (OLE for Process Control) DA。

1.2 控制系统简介

1.2.1 结构

Tai-Ji MPC 由三个组件构成：MPC 控制组件（参见[控制组件](#)），在线辨识组件（参见[辨识组件](#)）和控制性能监测组件（参见[监控组件](#)）。下图展示了 Tai-Ji MPC 控制器的控制系统框图。注意：控制性能监测组件正在开发中，敬请期待。



Tai-Ji MPC 控制器的控制系统框图（控制性能监测组件尚未完成）

这三个组件半自动地完成各自的任务，并相互协调实现 MPC 控制。假设一个 MPC 控制器的设计已经给定，在 MPC 控制器的投运过程中，在线辨识组件自动执行辨识实验和自动模型辨识。如果辨识得到的某些模型品质良好并且控制系统仿真的效果理想，MPC 控制器就在辨识实验进行中自动使用这些模型，对相应的控制变量（MV）、干扰变量（DV）和被控变量（CV）进行自动控制。随着实验的进行，越来越多的模型被送入 MPC 控制器，越来越多的 MV、DV 和 CV 被投入自动控制中。当所有期望的模型都品质良好并被 MPC 控制器使用时，在线辨识组件就停止工作，MPC 控制器的投运也完成了。

当 MPC 控制器在线工作时，控制监测组件连续监测 MPC 的性能。当监测到控制性能欠佳且模型品质较差时，控制监测组件启动在线辨识组件，在 MPC 控制器继续工作的同时，开始辨识实验和模型辨识。在实验和辨识过程中，品质差的模型逐渐被品质好的新模型取代，当所有品质差的模型被取代后，在线辨识组件停止工作，MPC 控制器的维护也完成了。注意：控制性能监测组件目前正在开发中，尚未完成。

Tai-Ji MPC 能够以并行的方式进行辨识实验、模型辨识、控制器仿真和控制器投运，因此能够大幅度降低 MPC 的投运费用。在绝大多数时间内，辨识实验是在闭环状态下进行的，开环辨识实验的时间可保持在最低水平（对石油化工过程而言，一般为 1 到 3 天），因此可以大大减少对生产过程的干扰。同时，Tai-Ji MPC 是高度集成的整体软件包，而且可以自动按照步骤执行，因此能够大幅度节省人力。

1.2.2 三个组件与它们的集成

下面将简要介绍三个组件与它们之间的集成。

A) 辨识组件

辨识组件使用了渐近法（ASYM），下面将介绍如何使用该方法进行工业过程的自动在线辨识。

1) 实验信号设计与辨识实验

最优的实验信号的功率谱能够通过渐进性理论获得，这里的最优性是指辨识得到的模型对 MPC 控制而言是最优的。实验信号的功率谱是通过改进广义二进制噪声（Generalised Binary Noise）来实现的，GBN 信号的特征取决于它的平均切换时间和振幅。GBN 信号的振幅通常根据过程的先验知识来确定，而研究表明 GBN 信号的最优平均切换时间与生产过程到达稳定状态的时间暨稳态时间有关。

实验模块生成实验信号，将之写入实验变量自动执行实验，收集并保存将在模型辨识中使用的实验数据。辨识实验是多变量辨识实验，即同时激励多个 MV 或全部 MV。对每个 MV 而言，辨识实验可在开环状态或闭环状态下进行。当 MV 处于开环状态时，实验模块对 MV 全值进行操作。当 MV 处于闭环状态时，实验模块仅对实验信号进行操作，MPC 控制器来修改 MV 的均值。在辨识实验进行中，可调整 MV 的步幅和评价切换时间，也可切换 MV 的开环状态或闭环状态。

2) 参数估计

参数估计分为两步：1) 估计高阶 ARX（方程误差）模型，2) 进行带频率权重的模型降阶。可以证明这种参数估计方法能够获得最大似然估计，即可从实验数据中获得的最准确的模型，同时这种方法能够在闭环辨识实验中获得无偏的模型。

3) 阶次选择

降阶模型的最佳阶次由频域准则决定，该准则的基本思想是平衡对控制而言的重要频域段上传递函数的偏差和方差。

4) 模型检验的误差上界矩阵

依据渐进性理论可获得辨识模型中每个传递函数的 3σ 误差上界。我们可根据该误差上界提出模型检验的工程方法如下：

按等级对模型分类，既根据误差上界和频率响应在低、中频的相对值，将对模型分类为四个等级为 A（优）、B（良）、C（中）、D（差或者不存在模型）。大量的仿真和工程实践经验表明 A、B、C 等级的模型可在控制器中使用。对 D 等级的模型，可做如下处理：

- 1) 如果 MV 与 CV 之间不存在模型，则将 D 等级的模型致零。
- 2) 如果 MV 与 CV 之间存在模型，而且控制器需要该模型，则调整正在进行的辨识实验以提高模型的品质。

为提高模型的品质，可对辨识实验做如下调整：

- 加大实验信号的步幅会降低模型误差：当其它实验条件保持不变时，加倍步幅则会使整个频段的误差减半。

- 增加实验时间会降低模型误差：当其它实验条件保持不变时，加倍实验时间则会使整个频段的误差减少 1.4 倍。
- 调整 GBN 信号的平均切换时间会改变误差的频域分布：加倍评价切换时间会使模型的低频误差减半，而减半评价切换时间会使模型的高频误差减半。

模型辨识和模型检验可依据需要进行或以每 200 个样本点等固定时间间隔进行一次，辨识实验可根据辨识得到的模型进行调整，当大多数期望模型的品质为 A 和 B 时，辨识实验即可结束。

自动模型选择

一个大型的工业 MPC 控制器常包含很多 MV 和 CV，并非所有 MV 和 CV 之间都存在着关联，既模型传递函数矩阵中会有很多零传递函数。模型选择是决定某个模型是否在 MPC 控制模块中被使用，这可基于辨识模型中模型检验的结果和在期望矩阵中包含的过程先验知识来自动进行。期望矩阵的行和列分别与 CV 和 MV 相对应。矩阵的元素有四个值，分别是“+”、“-”、“?”、“No”：“+”：相应的 MV 和 CV 之间有模型且是正增益；“-”：相应的 MV 和 CV 之间有模型且是负增益；“?”：相应的 MV (DV) 和 CV 之间有无模型不确定；“No”：相应的 MV (DV) 和 CV 之间没有模型

自动模型选择的原则是：如果某个模型的品质是 A、B 或 C，并且模型的符号与期望矩阵的相应元素保持一致，则在 MPC 控制器中投运该模型。

B) MPC 控制组件

MPC 控制组件执行 MPC 控制参数的自动整定、MPC 仿真、在线控制。MPC 控制算法使用多目标层优化方法，控制每个 CV 使其与设定值相同或在某个区域内。当没有足够的自由度来控制全部 CV 时，可依据优先权和权重因子来选择被控制的 CV。在稳态经济优化中，采用了线性规划 (linear programming) 和二次规划 (quadratic programming) 技术，每个 MV 和 CV 都分配了相应的理想重置值 (ideal resting value)。

在每个控制采用周期内，MPC 控制算法包含以下三个步骤：1) 预测、2) 稳态优化、3) 动态控制。预测步骤是使用辨识得到的模型和相关 MV、DV 和 CV 的当前测量值对 CV 的未来值进行预测，预测值会在稳态优化和动态控制中使用。

在稳态优化中，首先进行可行性分析，然后是经济优化。可行性分析是检验是否存在足够的自由度来控制全部 CV，如果没有足够的自由度，可依据优先权和权重因子来选择被控制的 CV，如果有富余的自由度，则进行经济优化。经济优化结合使用了线性规划 (linear programming) 和二次规划 (quadratic programming)：

$$\begin{aligned}
 \min_{u^*, y^*} J &= \|u^* - IRV_u\|_{w_u}^2 + \|y^* - IRV_y\|_{w_y}^2 + b_1^T u^* + b_2^T y^* \\
 \text{s.t. } y^* &= Gu^* + d(t) \\
 y_{\min} &\leq y^* \leq y_{\max} \\
 u_{\min} &\leq u^* \leq u_{\max}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中 u 是 MV 向量, y 是 CV 向量, IRV_u 是 MV 的理想停留值向量, IRV_y 是 CV 的理想重置值向量, w_u 是 MV 的二次规划权重的对角矩阵, w_y 是 CV 的二次规划权重的对角矩阵, b_1 是 MV 的一次规划权重向量, b_2 是 CV 的一次规划权重向量, G 是模型增益矩阵, $d(t)$ 是在 t 采样时刻的偏差, y_{\min} 和 y_{\max} 分别是 CV 的上限向量和下限向量, u_{\min} 和 u_{\max} 是 MV 的上限向量和下限向量。

假设稳态优化中的全部参数已在 MPC 控制设计中确定, 则稳定优化的结果是 MV 和 CV 的稳态值, 分别记为向量 y^* 和向量 u^* 。

MPC 控制算法的动态控制部分是根据 CV 的预测值和辨识得到的模型来计算 MV 控制动作, 使得生产过程到达稳态优化中得到的稳态值。动态控制的计算也是一个二次规划, 以 CV 的设定值控制为例:

$$\begin{aligned} \min_{\Delta u} J = & \sum_{j=1}^P \|y(t+j|t) - y^*\|_Q^2 + \sum_{j=1}^P \|\Delta y(t+j|t)\|_S^2 + \sum_{j=0}^{M-1} \|\Delta u(t+j)\|_R^2 + \sum_{j=0}^{M-1} \|u(t+j) - u^*\|_{Ru}^2 \\ s.t. \quad & y = G \cdot u \\ & u_{\min} \leq u(t+j) \leq u_{\max} \\ & \Delta u_{\min} \leq \Delta u(t+j) \leq \Delta u_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

(2)中的向量 y^* 和 u^* 是稳定优化中确定的 MV 和 CV 的稳态值, P 是预测步长, M 是控制步长, Q 是 CV 的权重对角矩阵, S 是 CV 的增量权重对角矩阵, Ru 是 MV 的权重对角矩阵, R 是 MV 的增量权重对角矩阵。

动态控制的参数包含 P, M , 每个 CV 的权重矩阵 Q, S, R, Ru , 这些参数可自主选择。

为实现 MPC 控制, MPC 控制模块需要 1)自动选择辨识得到的模型并将在控制中使用模型, 2) 自动整定 MPC 的控制参数。

控制参数的整定

Tai-Ji MPC 5.2.40 之后的版本新增了 MV、DV、CV 的运行区间 (OperatingRange) 参数, 该参数需要在配置界面中正确填写。某个变量的运行区间的意思是: 该变量在典型工况下的波动范围, 因此该参数必须是一个正数, 如某个温度的波动范围为 90~115°C, 那么该变量的运行区间为 25。在所有变量的运行区间正确填写的前提下, 控制器的加权系数仅需要 (如典型的 Q, S, R) 考虑变量之间相对重要性。

注意, Tai-Ji MPC 5.2.40 之前的版本在此部分存在不同, 用户若需要查询之前版本的控制器参数, 请参考对应版本的使用说明书。

用户若需要调整三项 MPC 中 CV 的响应速度, 可通过修改 Q 与 S 达到目的。具体的, 对于某个 CV 在 Q 固定的前提下, 输出增量加权系数 S 由以下公式给出:

$$S = \frac{Q}{16} (Tcl)^2 \quad (4)$$

其中 Tcl 表示用户期望的闭环响应时间。

1.2.3 Tai-Ji MPC 的投运过程

下面描述了 Tai-Ji MPC 是如何自动完成 MPC 控制的投运。

假设一个工业过程 MPC 控制器的设计已给定，既已经确定了 MV、DV、CV 以及 MV、CV 的界限，稳态优化的参数即公式（1）中一次规划和二次规划的权重。MPC 用户根据过程操作经验估计出了过程的主要稳态时间，也确定了辨识实验中所有 MV 的实验信号的合适振幅。基于预实验和操作经验，用户还构造了期望矩阵。上述信息都被输入 Tai-Ji MPC 软件包中。

现在用户可通过鼠标或一次按键启动辨识实验。在实验中，辨识组件和控制组件执行下列任务：

- 1) 辨识组件根据实验信号的变化模式和振幅，来激励所有的 MV，并收集 MV、DV 和 CV 实验数据。
- 2) 用户监测辨识实验，必要时调整实验以保证工业过程的稳定运行。步骤如下：如果所有 CV 都保持在正常的工作范围内，继续实验不做调整；如果某个开环 CV 缓慢漂移，则根据期望矩阵调整相关 MV 的均值；如果开环或闭环 CV 反复在上下限震荡，则减小相关 MV 的振幅。
- 3) 模型辨识：当实验进行到计划时间的四分之一时，模型辨识组件启动，使用现有数据建立模型。该过程定时重复，例如每当获得 100 个新的数据采样点时重复该过程。用户也可按下 **Identify** 按键启动模型辨识。
- 4) 模型检验，并且必要时调整实验以提高模型品质或降低对生产干扰。步骤如下：每次启动时，模型辨识模块根据模型的误差上界划分等级 A(优)、B(良)、C(中)和 D(差)。如果某些 MV 生成足够多的 A 和 B 模型，并且这些模型与期望矩阵保持一致，则减小这些 MV 的振幅以降低对正常生产运行的干扰。同时，模型辨识模块还计算在计划实验结束时未来模型的误差上界和模型等级。如果未来模型的等级无法达到 A 或 B，则增大相关 MV 的振幅，以提高信噪比。
- 5) 辨识模型后，在保证模型增益的正负与期望矩阵一致的前提下，品质等级为 A、B 或 C 的模型被送入控制模块。
- 6) 用户可按下 **Auto-tuning** 按键进行控制参数的自整定，并使用当前模型对部分控制系统进行仿真。如果仿真结果表现出良好的控制性能，控制模块会将相应的 MV、DV 和 CV 投入自动控制中。随着辨识实验和模型辨识的继续，越来越多的模型被载入控制模块，越来越多的 MV、DV 和 CV 被控制模块投入自动控制中。
- 7) 当大多数模型达到 A 等级或 B 等级时，停止辨识实验。实际的实验时间可能比计划的略短或略长。用户可使用所有获得的模型对控制系统进行参数整定和仿真。如果仿真结果表明控制性能良好，所有的 MV、DV 和 CV 被投入自动控制中，即完成 MPC 控制器的投运。MPC 控制器参数在必要时可由控制专家细调。

注意：在上述投运过程中，辨识实验最初在开环状态下进行，即 CV 都不接受自动控制。当某些 MV、DV 和 CV 投入自动控制时，辨识实验进入部分闭环状态。最后，当大多数模型



载入控制器后，所有的 MV 和 CV 被投入自动控制中。这种在辨识实验进行中将 MV 和 CV 投入自动控制的功能降低了辨识实验对生产单元运行的干扰。

2 开始使用

2.1 系统要求

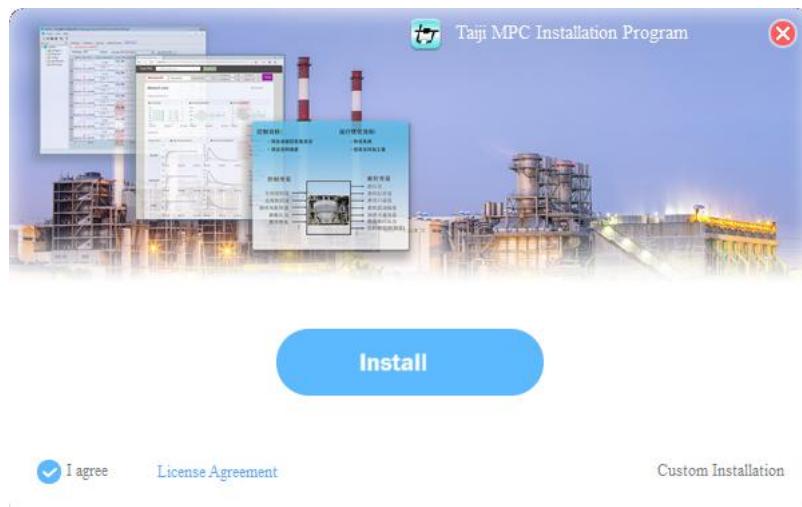
硬件: IBM 兼容的计算机

操作系统: Windows 10 Pro 以上

2.2 安装 Tai-Ji MPC

准备好刻有 Tai-Ji MPC 软件的优盘, 按照下面的步骤:

- 1) 启动计算机, 并且以系统管理员的身份登陆
- 2) 将光碟插入到光盘驱动器中 (假设盘符为 D:)
- 3) 运行 D:\TaiJiMPCSetup.exe, 根据安装指示安装程序, 请选择了安装所有组件。并点击安装。



安装程序将自动创建目录:

C:\TaijiControl	程序的主目录
C:\TaijiControl\Common	公共组件目录
C:\TaijiControl\CrashReport	软件崩溃报告收集目录
C:\TaijiControl\PyTaiji	控制器算法目录
C:\TaijiControl\Python312	Python 解释器目录
C:\TaijiControl\TaiJiMPC_Projects	MPC 工程文件目录
C:\TaijiControl\TaiJiMPC5	MPC 应用程序目录
C:\TaijiControl\TaiJiOPCSim	仿真程序目录
C:\TaijiControl\Tools	工具目录

2.3 安装模拟测试环境

Tai-Ji MPC 使用 OPC 作为标准方式与 DCS/PLC 系统进行通讯。用户需要确认已安装 OPC DA 组件，如果没有安装，请自行安装与客户机操作系统对应的 OPC_DA 组件。

2.4 Tai-Ji MPC 软件加密保护系统和更新过程

Tai-Ji MPC 软件受到 HASP key 的保护，您使用该软件前，需要得到泰极公司的授权。您购买我们产品的时候，我们会提供给您一个 USB 加密锁，您需要将 USB 加密锁插到运行 Tai-Ji MPC 软件电脑的 USB 口上，才可以正常使用软件。在安装 Tai-Ji MPC 的过程中，加密锁的软件驱动也同时会被自动安装。

手动安装 HASP 驱动软件注意事项：

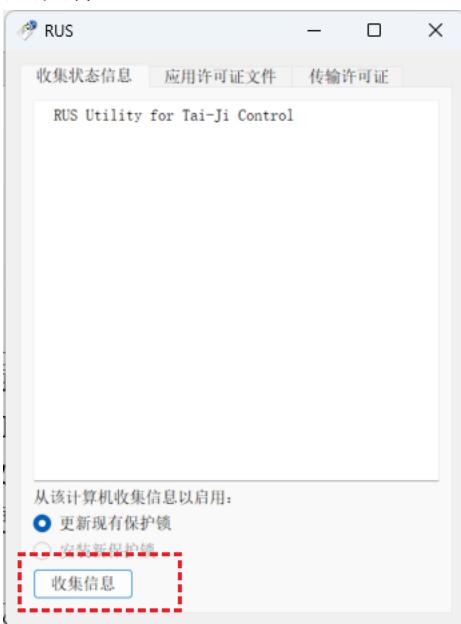
如果自动安装失败，可运行 C:\Taiji\Tools\bin\HASPUserSetup.exe 重新安装。

当新版本 Tai-Ji MPC 发布时，与旧版 Tai-Ji MPC 相关的安全 key 可能不会再适用，请更新至新版 Tai-Ji MPC。

如何更新加密锁？

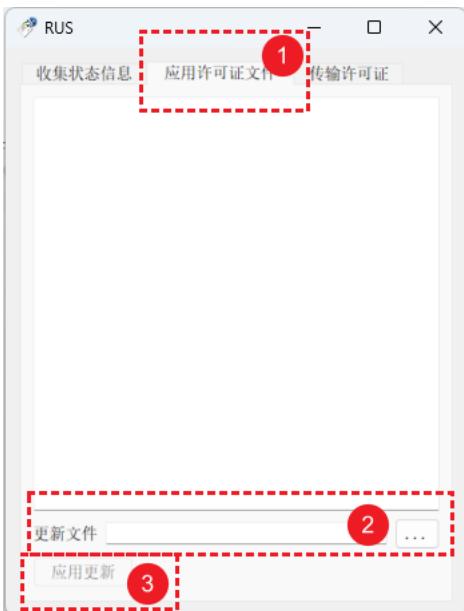
A. 获取加密锁信息

1. 确保加密锁已经连接到您的电脑上。
2. 运行 C:\TaijiControl\Tools\RUS_TJC.exe
3. 在“收集状态信息”界面下，选择按钮“收集信息”，会生成一个后缀为.c2v 的文件，信息将会保存到该文件中。
4. 通过 email 发送文件到[泰极豫才软件公司](#)，我们将通过 email 给您发送一个后缀为.v2c 的 RUS 密码文件。



B. 更新您的加密锁

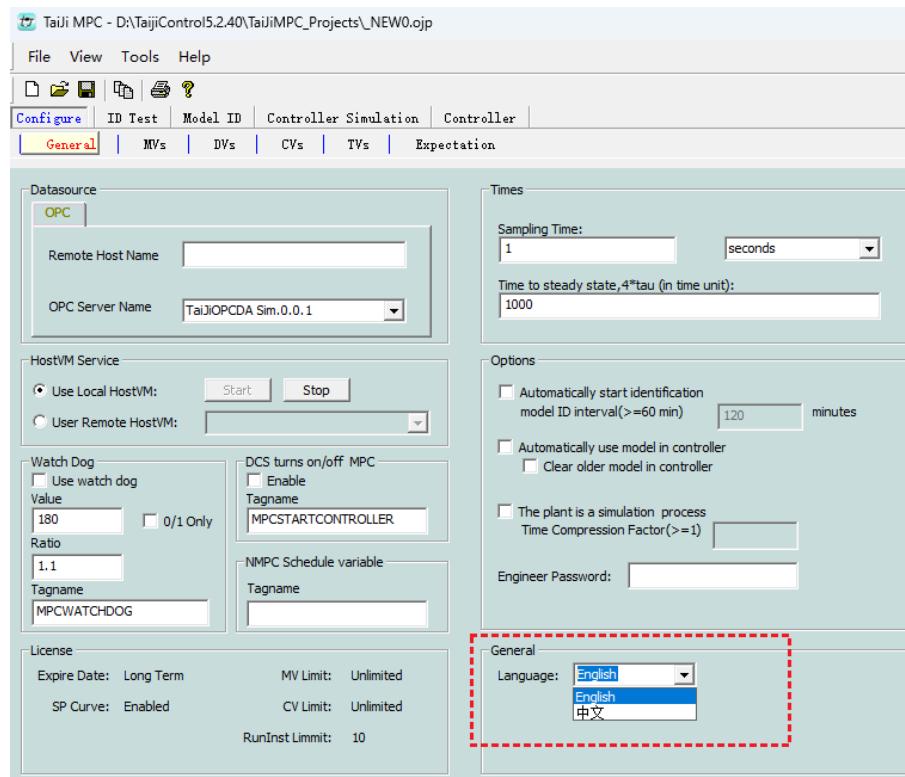
-
1. 确保加密锁已经连接到您的电脑上；将我们发送给您的 **RUS** 密码文件拷贝到 Tai-Ji MPC 的安装目录下。
 2. 运行 C:\Taiji\HaspDrivers\hasprus.exe。
 3. 在“应用许可证文件”界面下，选择 **RUS** 密码文件名称，选择“更新文件”。
 4. 现在加密锁已被更新。



注意：一个 **RUS** 密码文件仅能够更新一个加密锁。

2.5 多语言版本设置

TaijiMPC 软件提供多语言选项，目前可选择程序语言为中文或英文。如果需要改变界面的默认语言，可以在主界面中选择，选择后关闭并重新运行程序才能使修改生效。

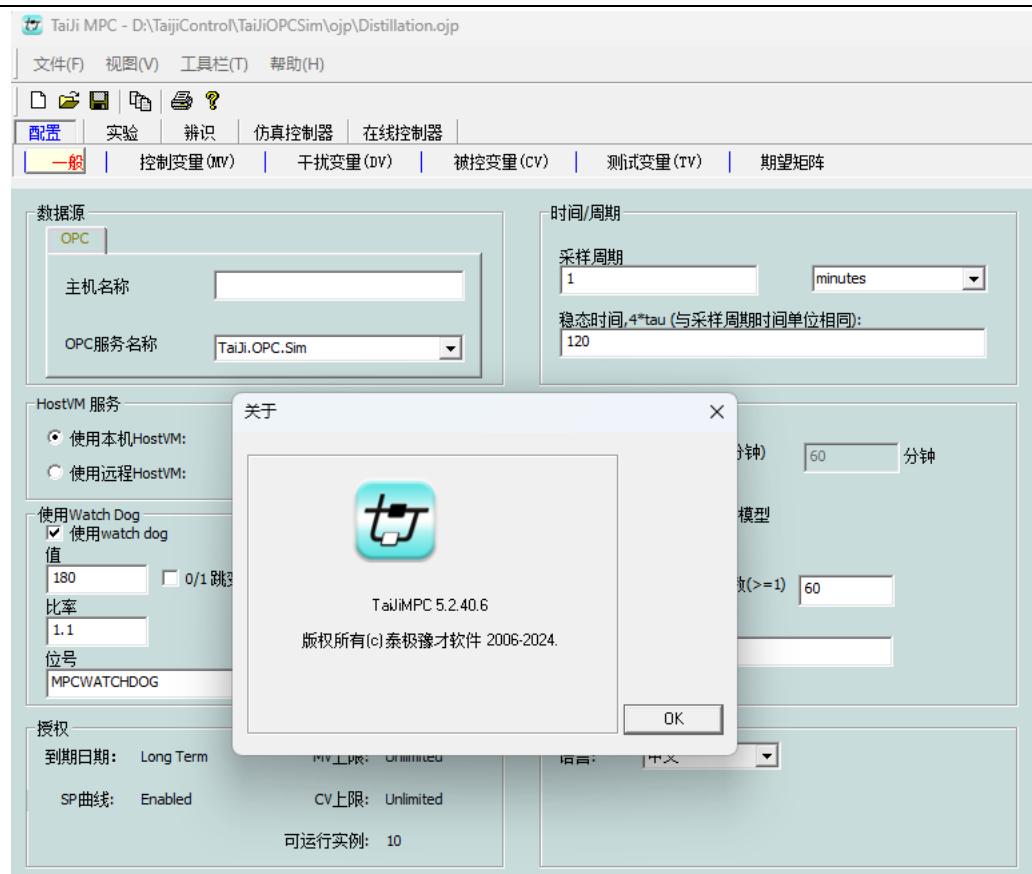


2.6 启动 Tai-Ji MPC

安装 Tai-Ji MPC 程序和插入加密锁后,从 Windows 系统桌面双击 TaijiMPC5 图标即可启动。



找到文件路径, 双击 C:\TaijiControl\TaijiMPC5\TaijiMPC.exe 也可启动 Tai-Ji MPC。
第一次启动 MPC 请检查软件的版本号, 点击帮助->关于查看当前 MPC 的版本。



如果需要 OPC 模拟测试环境，运行 C:\TaijiControl\TaiJiOPCSim\bin\TaiJiOPCSim.exe，启动 OPC 模拟测试环境。

3 Tai-Ji MPC 的菜单与模块

3.1 Tai-Ji MPC 的菜单

Tai-Ji MPC 的菜单为

文件	视图	工具栏	帮助
----	----	-----	----

文件菜单

- 新建: 新创建一个工程
- 打开: 打开一个已经存在的工程
- 保存: 保存当前工程。当模型辨识进行时, 以.sim 文件的方式保存模型用于 OPC 模拟测试器 TaiJiOPCSim
- 另存为: 保存当前工程为另外一个名称
- 最近打开的工程: 最近打开过的工程列表 (保存 4 条)
- 打印: 打印当前的窗口
- 退出: 退出 Tai-Ji MPC

视图菜单

- 工具条: 显示/隐藏工具条
- 状态条: 显示/隐藏状态条
- LPV 窗口: 显示/隐藏 LPV 窗口
- 日志窗口: 显示/隐藏日志窗口

工具栏菜单

- 检查配置: 检查通讯连接, 获取 MV、DV、CV 当前值
- 跟踪 MV 平均值 选中, 则在辨识实验的时候跟踪开环回路 MV 的平均值
- 转置 MV、CV 矩阵 选中, 则显示 MV、CV 矩阵的时候, 将行列互换
- X 坐标轴为时间 选中, 则 X 轴为时间, 否则为样本点个数
- 内部状态查看 查看 MPC 控制器最大执行时间和最小执行时间

帮助菜单

- 关于 TaiJiMPC: 显示 Tai-Ji MPC 的版本号和版权信息

3.2 Tai-Ji MPC 模块

Tai-Ji MPC 包含以下 5 个模块：

Configure	ID Test	Model ID	Controller Simulation	Controller
-----------	---------	----------	-----------------------	------------

所有 Tai-Ji MPC 的功能都包含在这些模块中，它们按照 MPC 工程项目的执行顺序从左至右排列：1) 项目的配置、2) 辨识实验、3) 模型辨识、4) 仿真控制器、5) 在线控制器。

每个模块对应的窗口如下：

配置模块

General	MVs	DVs	CVs	TVs	Expectation
---------	-----	-----	-----	-----	-------------

辨识实验模块

MVs	TVs	DVs	CVs	Test signal	Covariance
-----	-----	-----	-----	-------------	------------

模型辨识模块

MVs&DVs	CVs	Model Response	Delay	Gain
---------	-----	----------------	-------	------

仿真控制器模块

MVs	DVs	CVs	EVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-----	-------	------	--------

在线控制器模块

MVs	DVs	CVs	EVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-----	-------	------	--------

每个模块有 5 至 6 个窗口，因为 MPC 控制器的设计是由 MV、DV、CV 和它们的上下限决定的，因此所有模块都含有 MV 窗口、DV 窗口和 CV 窗口。有些窗口仅有 MV、DV 和 CV 的表格，有些窗口同时有表格和图形。

对于 Tai-ji MPC 5.2 之后版本的软件，用户可以增添 TV 位号，专门用于测试使用。同时在控制器模块中出现 EVs 位号，EVs 为扩展位号，用于辅助观察，如显示看门狗等。

如果与 1.2 节中 Tai-Ji MPC 的三个组件相对应，辨识实验模块与模型辨识模块共同构成辨识组件，仿真控制器模块与在线控制器模块共同构成控制组件。

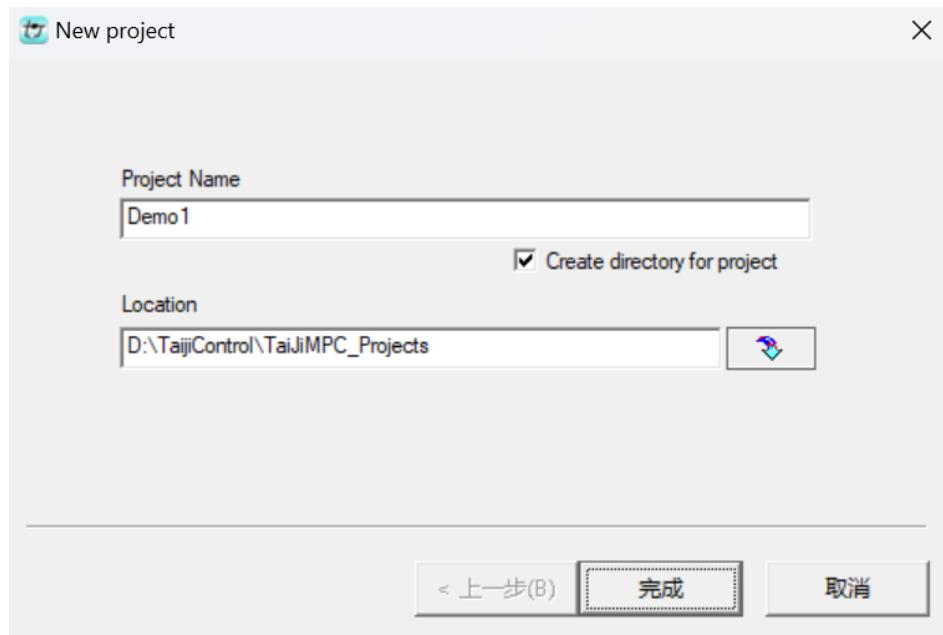
用户可随着第 4 章的举例快速学习如何使用这些窗口，更详尽的信息见第 5 章。

4 典型举例

本章的目的是通过一个简单的例子来让用户快速学习 Tai-Ji MPC。

4.1 创建新工程

点击主菜单中文件 → 新建 后出现如下窗口, 需填写工程名称, 并指定工程文件夹的位置:

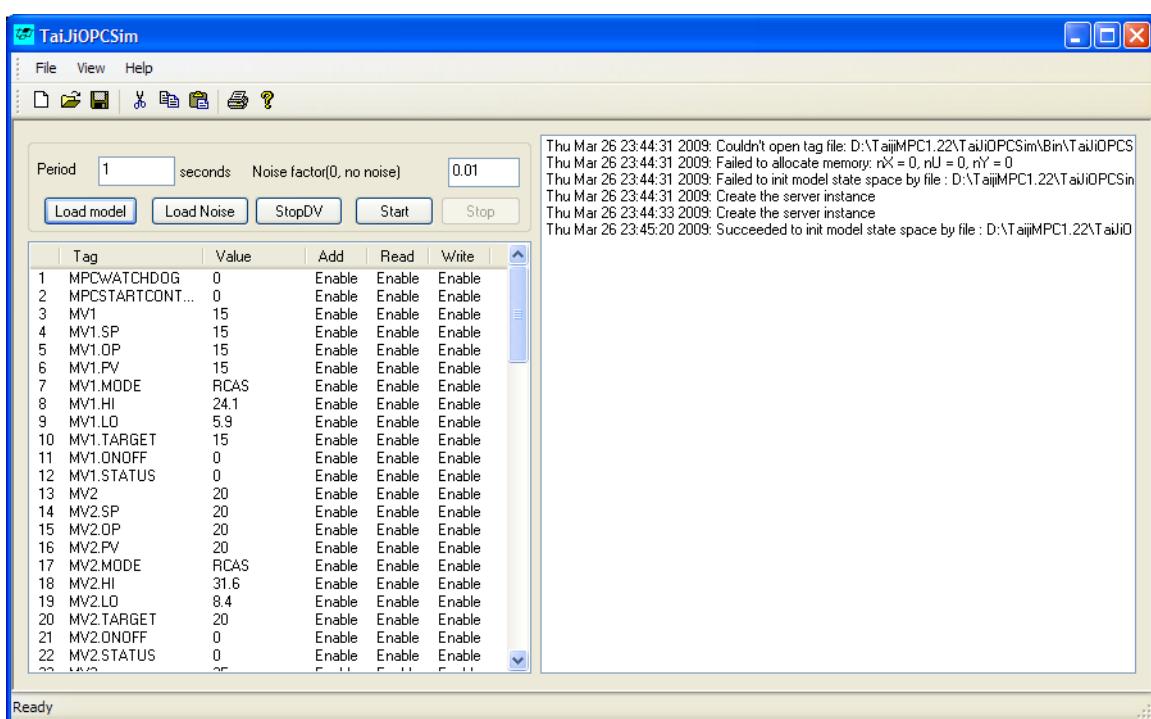


点击 完成 按钮则在目录 D:\TaijiControl\TaiJiMPC_Projects 中创建了新工程 Demo1.ojp。

4.1.1 OPC 模拟服务器: TaiJiOPCSim

在这个例子中, 生产过程是 OPC 模拟服务器 TaiJiOPCSim 中的精馏塔模型。双击 D:\TaiJiOPCSim\bin\TaiJiOPCSim.exe 启动 OPC 模拟服务器, 打开 TaiJiOPCSim 窗口。点击 **Load model** 按键载入模型文件 D:\TaiJiOPCSim\Model\Distillation.ini, 该模型文件是一个文本格式的文件, 以 S-域传递函数的方式定义了蒸馏塔的模型参数。模拟服务器能够根据模型文件中的采样时间将 S-域传递函数模型转换成离散时间模型并对其进行仿真。

在 **Period** 处输入 1, 这会确定模型仿真的时间是 1 样本点/秒, 注意仿真采样时间通常比生产过程的实际采样时间短很多, 这主要是为了加快仿真所需要的时间即时间压缩。在 **Noise factor** 处输入 0.01, 这定义了叠加在过程输出上的不可测干扰的幅值。点击 **Start** 按键会开始仿真。



4.1.2 配置基本参数 (配置模块)

点击 **配置** → **一般** 打开 **一般** 窗口，这里可配置 OPC 服务器名称、控制器采样时间、过程稳态时间、DCS 数据扩展名、DCS MPC 用户界面数据扩展名、自动辨识和模型选择选项等基本参数。

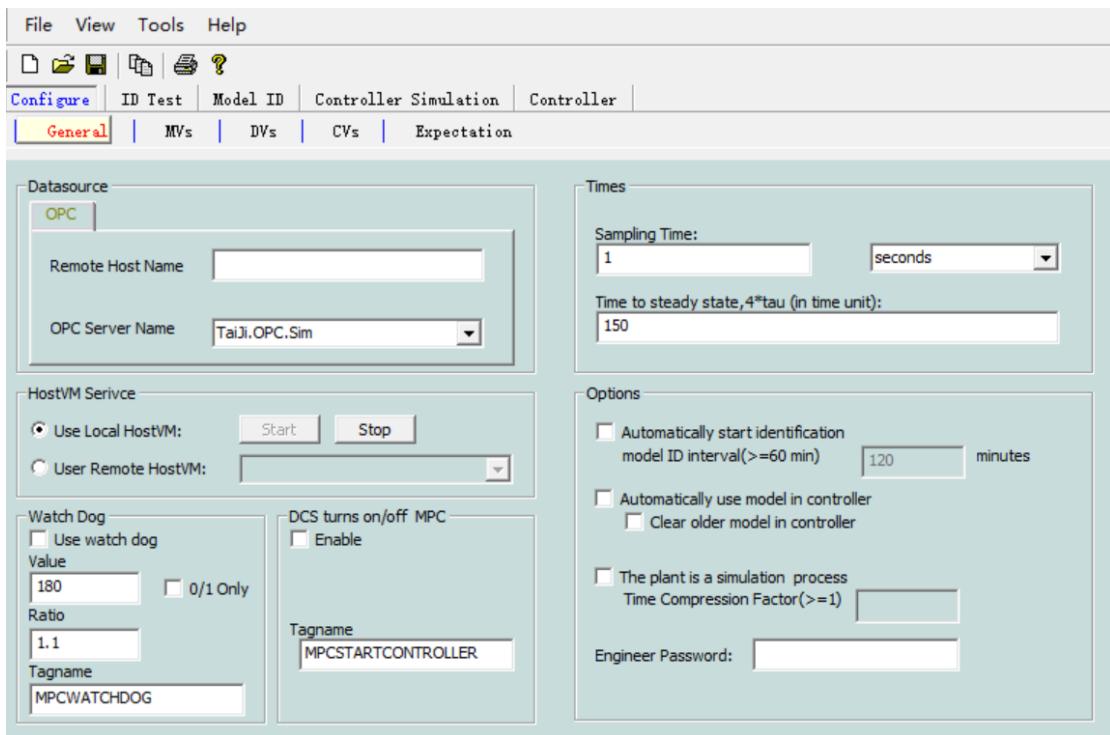
在 **Datasource** 区域，可输入 OPC 服务器名称。TaiJiOPCSim 的 OPC 服务器名称是“TaiJi.OPC.Sim”，因为 OPC 服务器与 Tai-Ji MPC 安装在同一计算机上，**Remote host name** 处可空白。

在 **Times** 区域，选择控制器采样时间为 1 分钟，选择过程稳态时间为 150 分钟，该参数用于生成辨识实验的实验信号与确定辨识实验的时长。

在 **HostVM Service** 区域，选择“Use Local HostVM”，点击“Start”，启用本地虚拟机服务，才可调用 Taiji MPC 的控制算法和辨识算法。

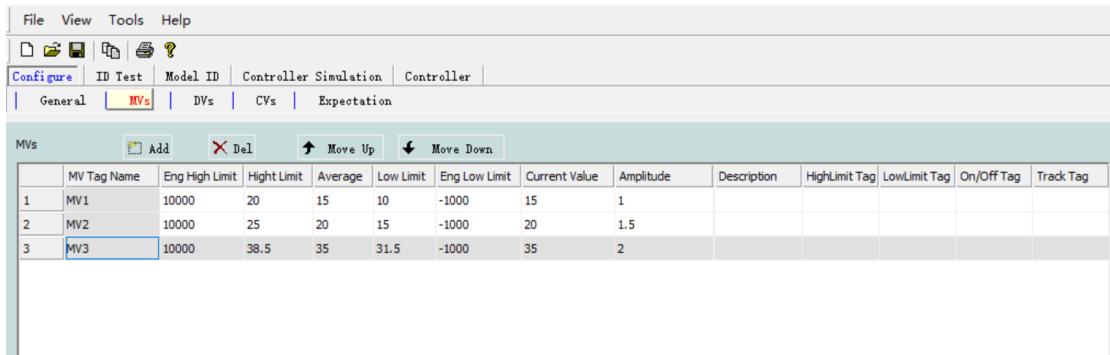
在 **Watch dog** 区域，选择“Use watch dog”，输入数值 180 以表示 DCS 系统的 180 个样本点，在“Tag name”处输入“MPCWATCHDOG”做为 DCS 的 Watch Dog 的 Tag name。

在 **Options** 区域，不选择“Automatically start identification”和“Automatically use model in controller”，选择“The plant is a simulation process”，在“Time Compression factor”处输入数值 60，以表示仿真中 1 秒意味着 DCS 系统的 180 个样本点，在“Tag name”处输入“MPCWATCHDOG”做为 DCS 的 Watch Dog 的 Tag name。



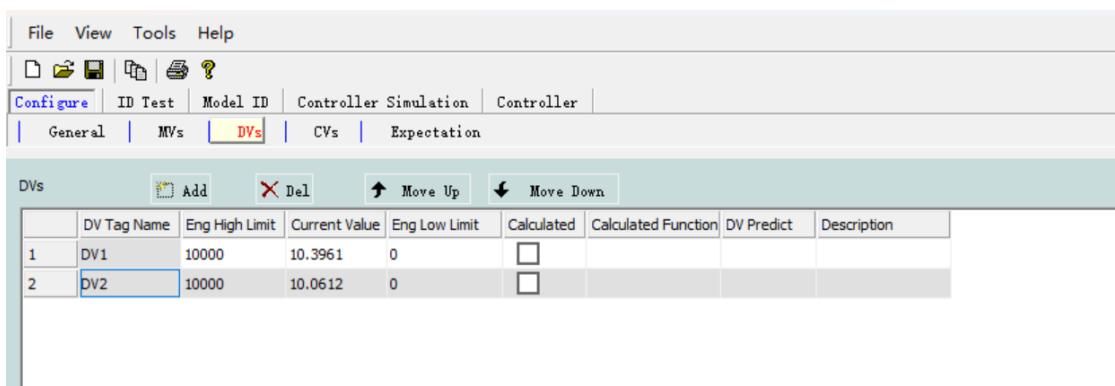
4.1.3 配置 MVs, DVs 和 CVs (配置模块)

选择 配置 → 控制变量 (MV) , 打开 控制变量 (MV) 窗口。

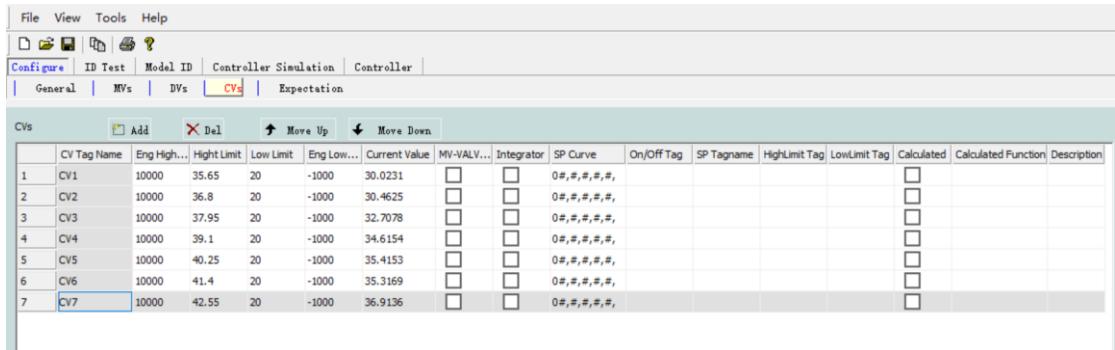


点击 增加 按钮三次，添加 3 个控制变量 (MV) ，控制变量标签分别是 MV1、MV2、MV3。如果在 配置→一般 中的配置正确，那么在控制变量 (MV) 标签中输入名称时，会自动从 OPC 服务器中获取控制变量的相关数值。如果控制变量 (MV) 在 OPC 服务器中不存在，那么控制变量 (MV) 标签会显示为红色，给出 OPC 错误的报警信息。

选择 配置→干扰变量 (DV) , 点击 增加 按钮两次，增加 2 个 DV，它们的标签是 DV1 和 DV2。



选择 配置→被控变量（CV），点击 增加 按钮七次，增加 7 个 CV，它们的标签是 CV1, CV2, ..., CV7。



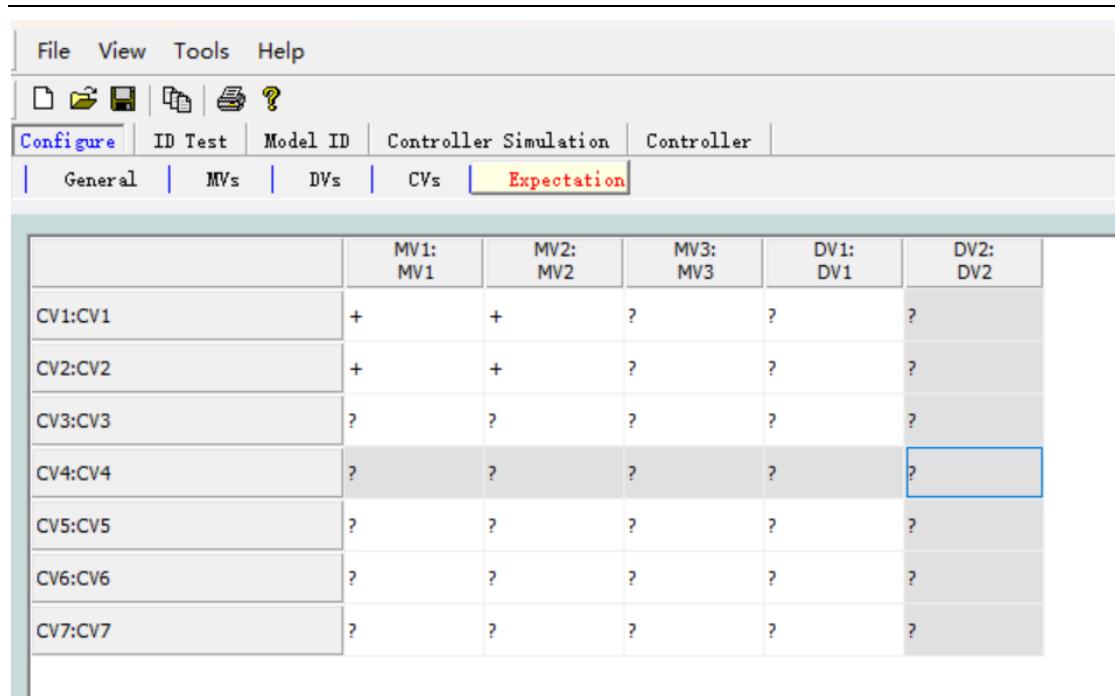
在上述的配置步骤中，用户可指定 MV 和 CV 的上限和下限、辨识实验中 MV 的步幅，当然这些数值也可在辨识实验进行中指定（在**辨识实验**模块）。

重要提示： Tai-Ji MPC 中的所有标签都必须使用大写字母，在 OPC server 中使用的 Tai-Ji MPC 标签名称都必须是使用大写字母命名。

4.1.4 指定期望矩阵（配置模块）

对生产过程的操作经验和先验知识通常包含了 MVs/DV 和 CV 之间的关系，这些反应在一个所谓的“期望矩阵”中，期望矩阵的行和列分别与 CV 和 MV 相对应。矩阵的元素有四个值，分别是“+”、“-”、“?”、“No”：“+”：相应的 MV 和 CV 之间有模型且是正增益；“-”：相应的 MV 和 CV 之间有模型且是负增益；“?”：相应的 MV (DV) 和 CV 之间有无模型不确定；“No”：相应的 MV (DV) 和 CV 之间没有模型。对这里给出的例子，期望矩阵的全部元素都是“+”，即全部的模型都是正增益。

期望矩阵会在模型辨识和模型选择中使用。在模型辨识中使用时，如果期望矩阵表示某些 MV 和 CV 之间不存在模型（暨期望矩阵的相应元素是“No”），则在模型辨识中排除该模型，从而大规模减少计算时间、增加模型的准确性。在模型选择中使用时，如果模型的品质等级是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致时，则选择该模型并送入控制模块。

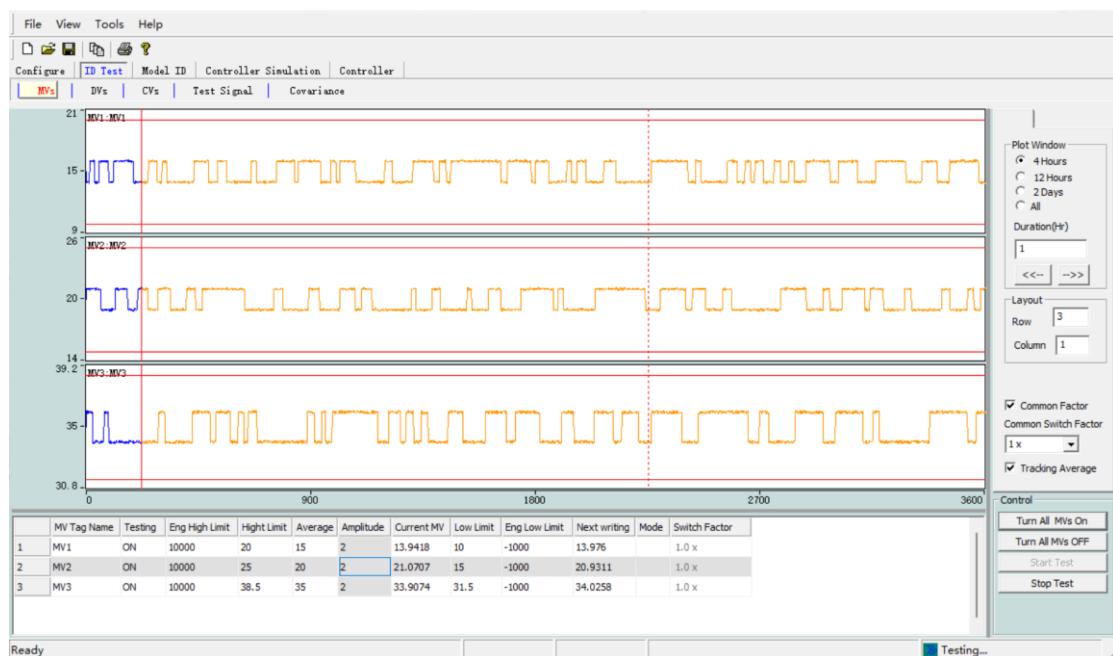


在控制器配置好之后，Tai-Ji MPC 的其它模块会自动配置 MV、DV 和 CV 列表窗口和相关趋势图窗口，点击 **辨识实验**, **模型辨识**, **仿真控制器** 和 **在线控制器** 即可看到这些配置。

目前已经输入很多信息，建议在配置全部 MV、DV 和 CV 以及期望矩阵后保存工程文件（**文件→保存**）。

4.2 辨识实验（辨识实验模块）

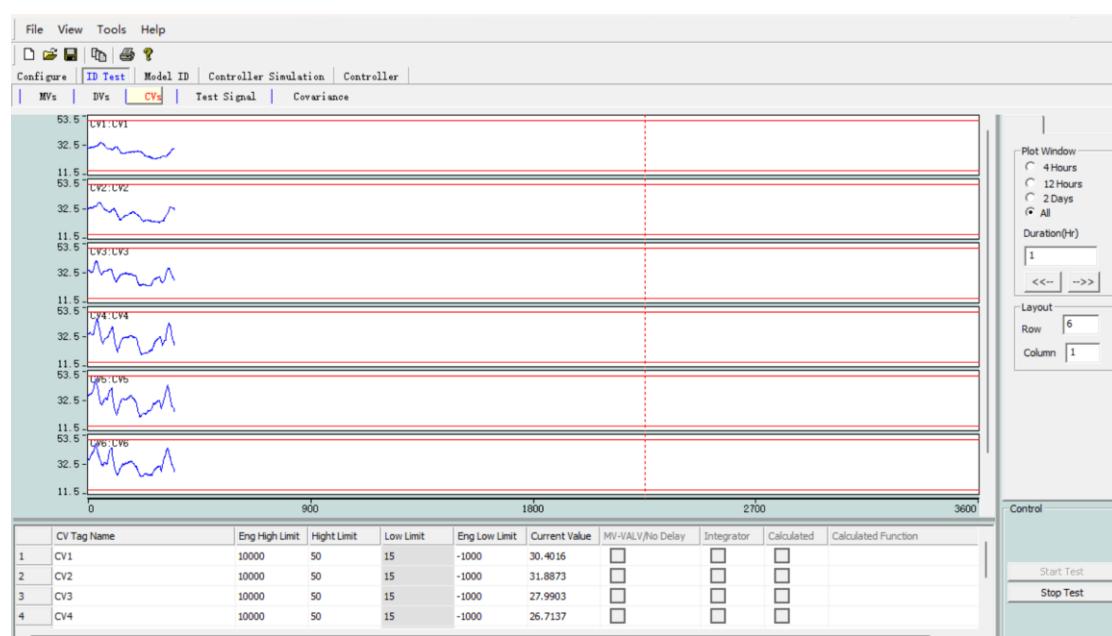
点击 **辨识实验→控制变量（MV）** 打开如下所示的 **控制变量（MV）** 窗口。在辨识实验开始前，需要指定 MV 的上限和下限、MV 的工程上限和工程下限、MV 的实验信号的步幅，请使用下面 MV 窗口中所示的数值。实验信号的步幅需选择合适，既使 CV 可以有所动作又不至于干扰生产运行，一个合适的选择是使用生产过程日常运行中操作工所使用的步幅。



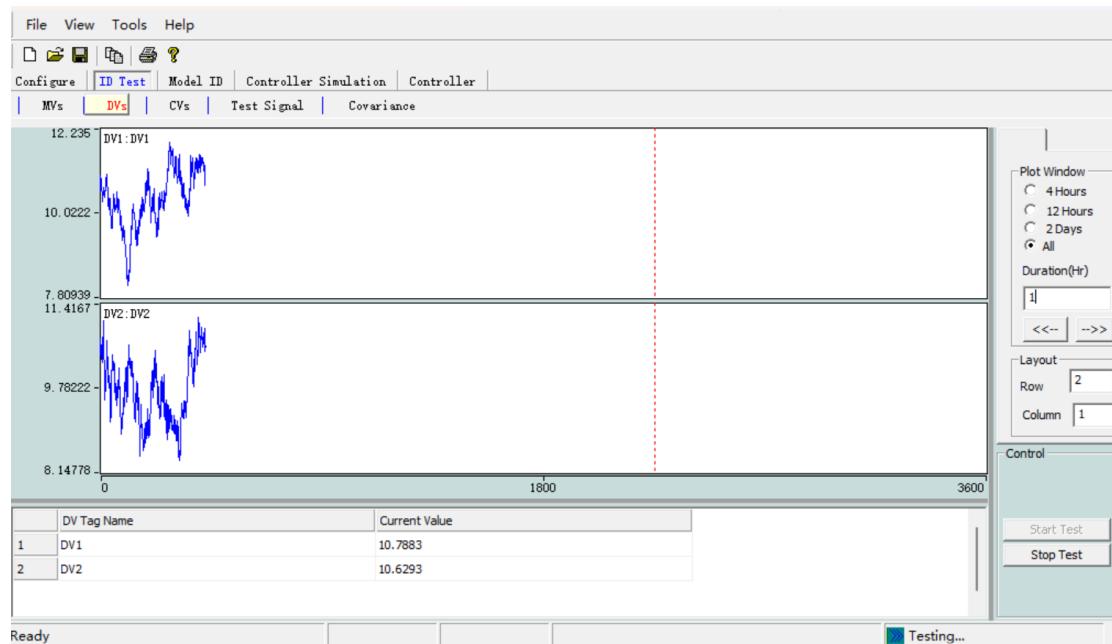
点击 **辨识实验→被控变量（CV）** 打开如下所示 **被控变量（CV）** 窗口。用户需要指定 CV 的上限和下限、CV 的工程上限和工程下限，可输入下面 CV 窗口中所示的数值。

现在用户已准备好开始辨识实验了。在 **辨识实验→控制变量（MV）** 打开的 **控制变量（MV）** 窗口中点击 MV 表格右侧的 **Start Test** 按钮，这会启动数据收集，但不会将实验信号写入生产过程。如果要将实验信号写入生产过程以真正地开始辨识实验，用户需要将相应 MV 的 **Testing** 状态切换到 **ON**，推荐对真正的生产过程进行辨识实验时逐一将 MV 切换到 **ON**，为简化 **ON/OFF** 操作，可使用 **Turn All On** 按钮和 **Turn All Off** 按钮。

当辨识实验进行时，MV 曲线图显示在 **控制变量（MV）** 窗口中，蓝色线表示过去的信号，橘色线表示依据实验信号给出的未来动作，垂直红色线表示当前时刻，垂直虚线表示辨识实验的计划终止时刻，实际的实验时间可能比计划的略短或略长。



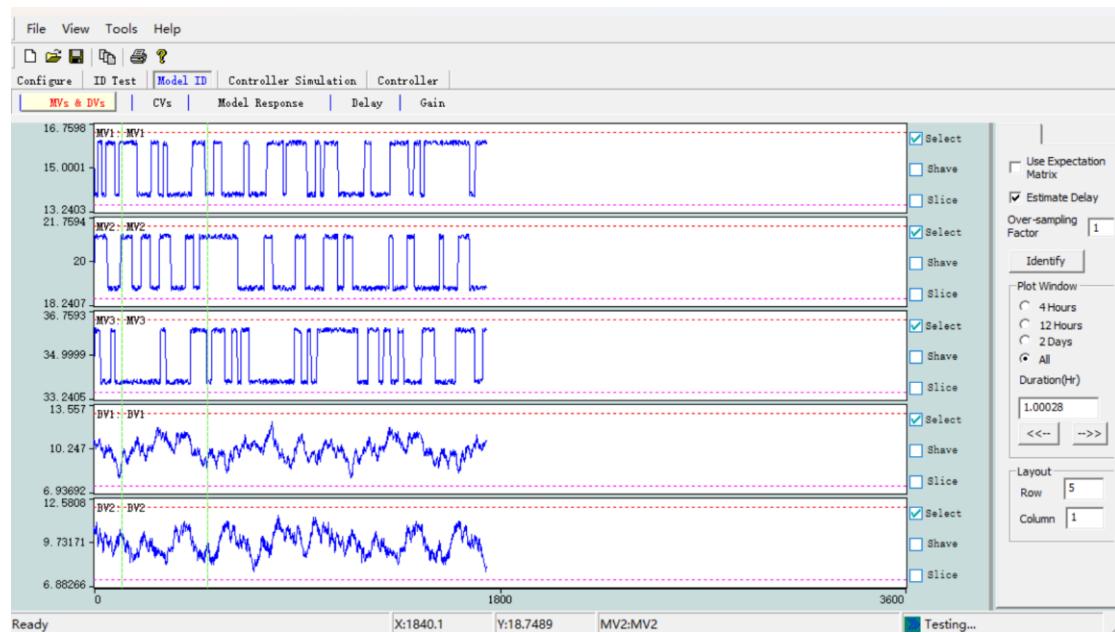
在 OPC 仿真程序中，如下图所示的两个 DV 是由滤波白噪声产生的。



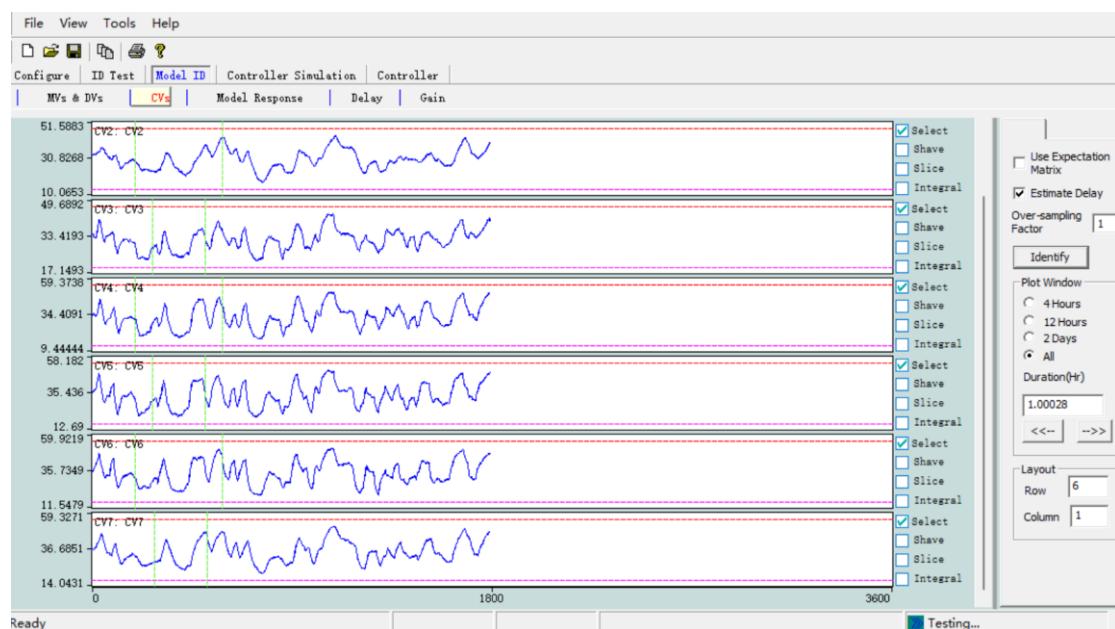


4.3 模型辨识 (模型辨识模块)

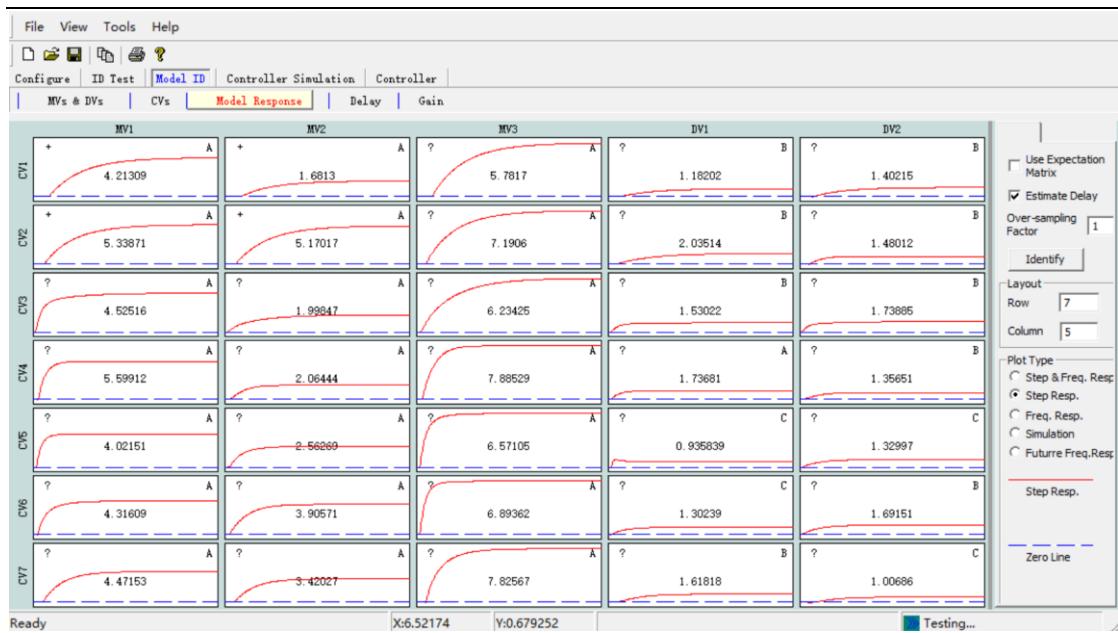
点击 **模型辨识→控制变量 (MV) & 被控变量 (CV)** 打开如下所示的 MV&DV 窗口，显示 MV/DV 趋势图。在模型辨识模块，MV 和 DV 放在同一窗口内，因为 DV 在模型辨识中被认为与 MV 起相同作用，既它们都是生产过程的输入（CV 是生产过程的输出）。



点击 **模型辨识→被控变量 (CV)** 打开如下所示被控变量 (CV) 窗口，显示 CV 趋势图。



点击 **模型辨识→模型** 打开如下所示窗口，这里包含模型阶跃响应窗口、（带有误差上界的）频率响应窗口、模型仿真窗口和未来频率响应窗口等若干个窗口。阶跃响应和频率响应也可在同一窗口内展示，这些窗口可通过 **Plot type** 区域的按钮来选择显示。



开始模型辨识是非常简单的，点击 **Identify** 按钮即可自动进行，如果“Auto estimate delay”被选中时，用户会随后看到一个等待条显示“Estimate delay...”，然后是另一个等待条显示“Identify model...”，当模型辨识的计算结束时，辨识得到的模型会展示出来。

每个阶跃响应图或频率响应图还显示了其它信息以辅助模型检验和模型选择，图形的左上角显示了期望矩阵中的相应数值(+, -, ? or No)，图形中央的数值是模型的增益，图形右上角是模型的品质等级 A (优)、B (良)、C (中) 和 D (差或无模型)。一般情况下，如果模型的品质等级是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致时，则选择该模型并在控制器中使用。

模型的选择方法如下：

- 如果为控制器选择某个模型，在该模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use in controller**”，那么该模型就会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。
- 如果为控制器选择全部合适的模型，在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use all valid models in controller**”，那么模型品质是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致的全部模型会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。
- 如果不考虑期望矩阵而为控制器选择品质为 D 的模型在内的全部模型，在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use all models in controller**”，那么全部模型会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。

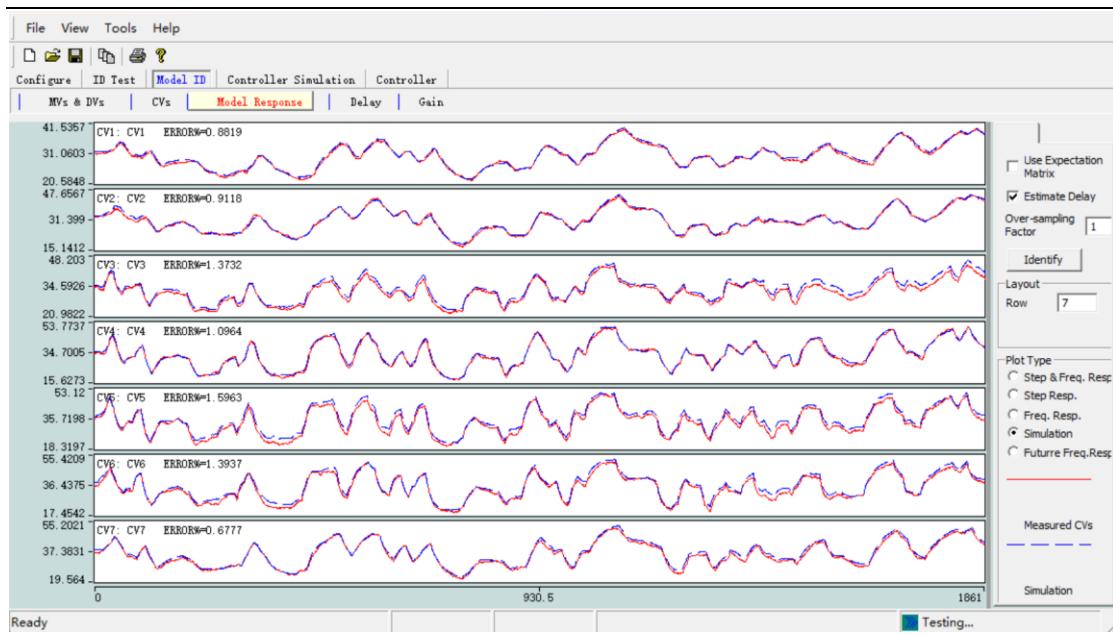
根据辨识的结果，用户可修改期望矩阵：在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Change expect value**”，那么可修改相应模型的期望值(+, -, ? or No)。

在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Zoom out**”，那么窗口会显示全部模型的响应曲线。

点击 **Simulation** 按钮会显示 CV 的测量值和估计值，见下图。CV 的 **ERROR%** 是估计误差的标准差与 CV 的标准差的比值，经验表明良好的辨识结果对应的 **ERROR%** 一般在 1% 至 40% 之间。



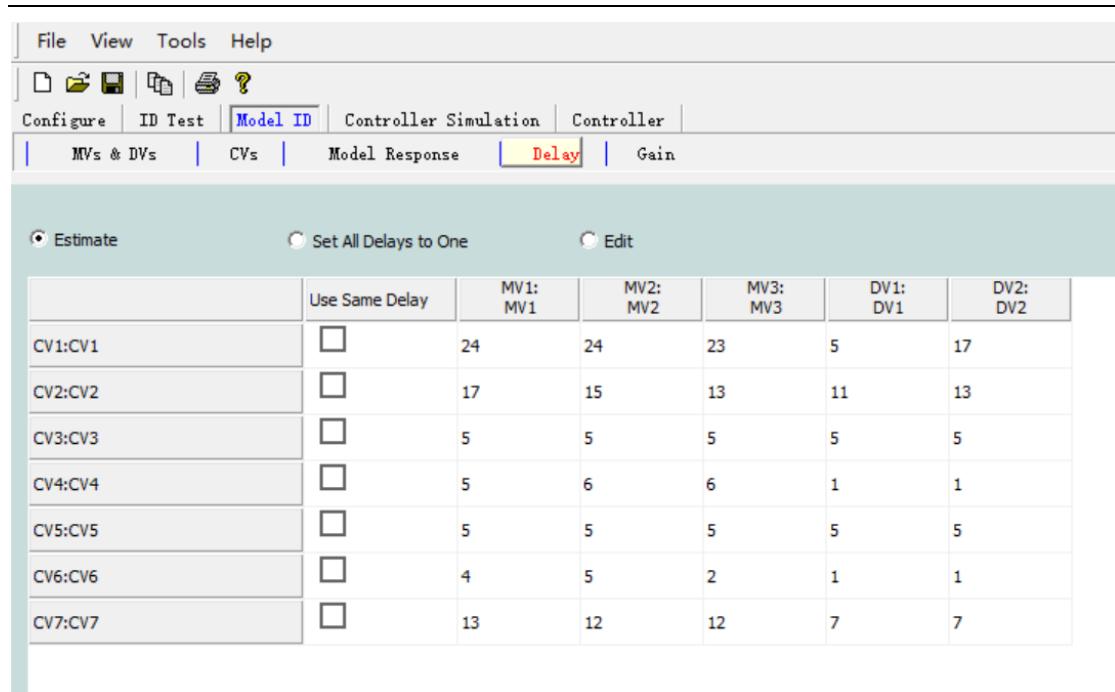
Tai-Ji Control



在 **Identify** 按钮上面有两个与模型辨识相关的选择框，具体如下：

- 当选中 **Use expectation matrix** 时，模型辨识会排除与期望矩阵中 No 元素对应的空模型，这样做的好处会减少计算时间并提供模型的准确度；当 **Use expectation matrix** 不被选中时，会辨识出所有的模型。
- 当选中 **Auto estimate delay** 时，模型辨识会自动辨识并使用模型的延迟；当未被选中时，模型辨识会使用 **Delay Window** 中的延迟。

点击 **模型辨识→时延** 会打开如下所示 **时延** 窗口，延迟可自动估计获得，或由用户给出，用户也可编辑延迟矩阵。大多数 CV 的默认延迟是 1，而在 **配置→被控变量 (CV)** 打开的 **被控变量 (CV)** 窗口中标记为“MV-VALVE/No delay”的 CV 的延迟是 0。



点击**模型辨识 → 增益** 会打开**增益**窗口（这里未显示），这些模型增益不能在**模型辨识**模块中编辑，但可在**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块中进行修改。

如果在**配置→一般**窗口中选中**Automatically start identification** 并在**Model ID interval** 中输入 120 分钟，那么在辨识实验进行中将每隔 120 分钟自动地基于最新实验数据开始模型辨识。注意：只有当辨识实验收集的数据样本点超过 250 个时，模型辨识才能够开始。又注：当采用模拟的生产过程时，如果时间压缩比例是 60，那么模型辨识是每隔 120 秒（2 分钟）进行一次。

如果在**配置→一般**窗口中选中**Automatically use model in controller**，Tai-Ji MPC 会自动将合适的模型载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块中，这里合适的模型是指模型的品质等级是 A、B 或 C，同时模型增益的正负与期望矩阵一致。

如果是 Tai-Ji MPC 的新用户，推荐手动开始模型辨识和将模型手动载入控制器；如果用户熟悉 Tai-Ji MPC，则可自动进行这些步骤。

4.4 仿真控制器

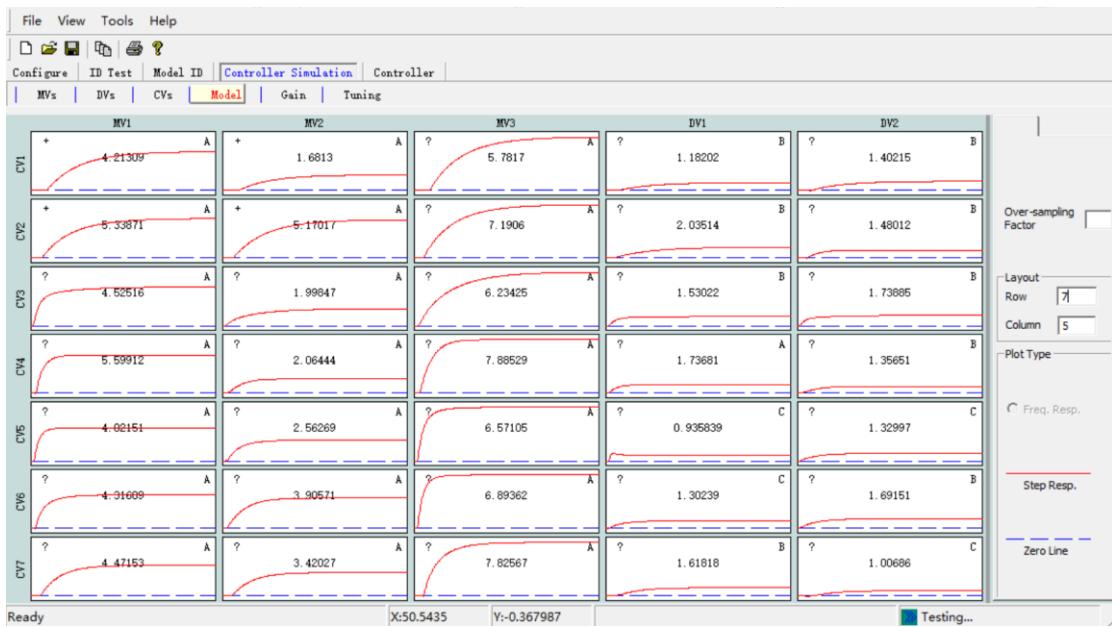
当辨识得到的部分模型或全部模型品质优良时（暨模型的品质等级是 A、B 或 C，同时模型增益的正负与期望矩阵一致），用户可使用部分模型或全部模型进行控制过程的仿真。注意：可在辨识实验进行的同时开始仿真。



Tai-Ji Control

点击**仿真控制器→模型**, 辨识得到的模型会显示如下, 这里的模型的阶跃响应与期望矩阵中的相应数值、模型的增益、模型的品质等级同时显示出来。在模型图上点击鼠标右键会呈现菜单栏, 能够对模型进行复制/粘贴模型、修改模型、手动添加模型等若干操作。

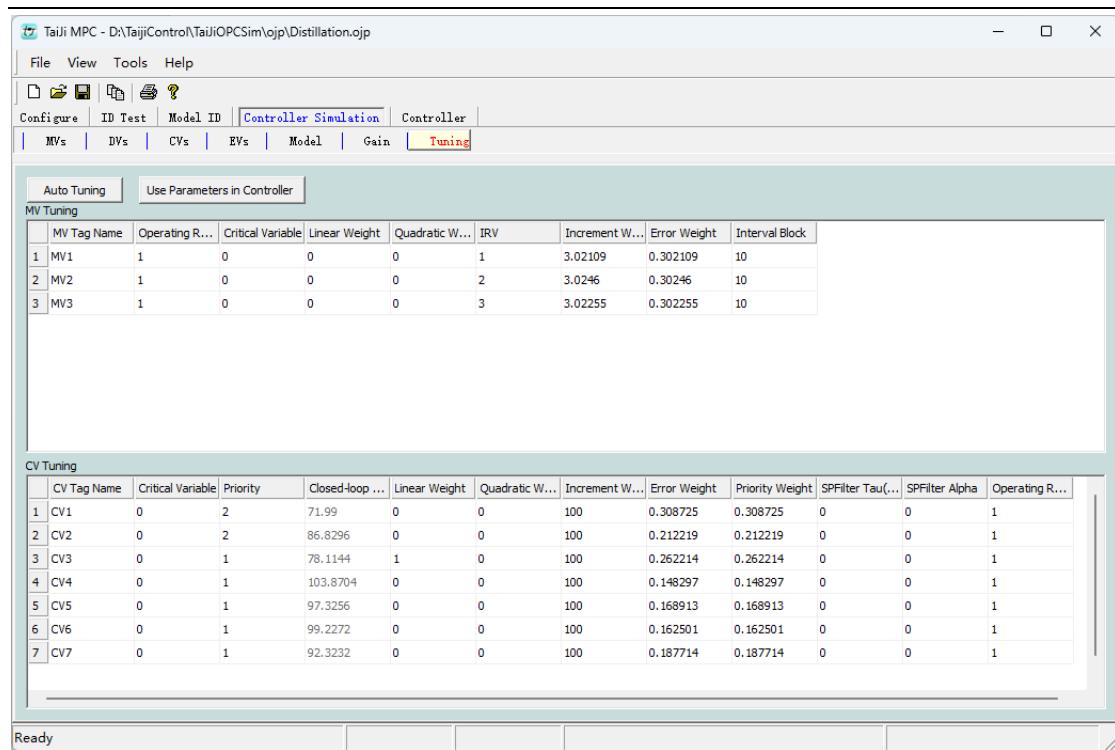
注意: 在线控制器和仿真控制器使用完全相同的模型。



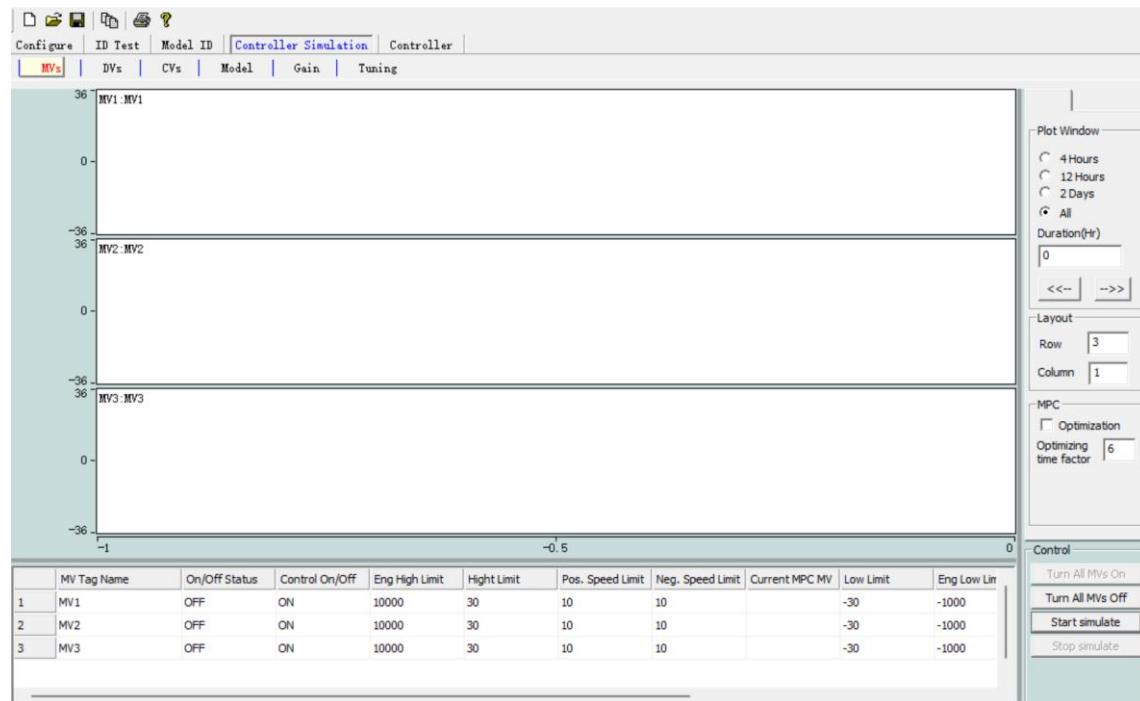
我们暂时忽略经济优化, 仅考虑动态控制问题。现在用户可调整控制参数, 点击**仿真控制器→Tuning** 打开如下所示 **Tuning** 窗口。用户也可使用参数自整定功能(功能位于 **Controller-Tuning**) , 第 1.2.2 节曾介绍了如何自动整定全部动态控制参数, **Tuning Helper** 会根据 MV/CV 数据和辨识得到的模型来自动整定全部动态控制参数, 并通过点击 **Use Results in Simulation**, 可以将控制器参数传递给仿真控制器中。在 Tai-Ji MPC 中, 动态控制的性能取决于下列整定参数, 详细的参数整定方法见第 7 章节, 这里简要罗列:

- **CV 闭环响应时间:** Tai-Ji MPC 会根据每个 CV 的误差权重与增量权重换算出大致的闭环响应时间, CV 的闭环轨迹大致上遵从一阶模型响应的轨迹, 减少 CV 闭环响应时间会提高控制速度, 反之降低它会减缓控制速度但会提高对模型误差的鲁棒性。
- **CV 误差权重:** 增加 CV 误差权重会使控制算法对该 CV 给予更多的控制动作, 降低控制器的鲁棒性; 减少 CV 误差权重会对该 CV 的控制更松散但会提高控制器的鲁棒性。
- **MV 增量权重:** 增加 MV 增量权重会使控制算法减缓对该 MV 的控制动作, 提高控制器的鲁棒性; 减少 MV 增量权重会加速对该 MV 的控制但会降低控制器的鲁棒性。

仿真控制器和在线控制器中的整定参数通常是不同的。在仿真中取得良好的控制器参数时, 用户可点击 **Use parameters in controller** 按钮将整定参数转入在线控制器。



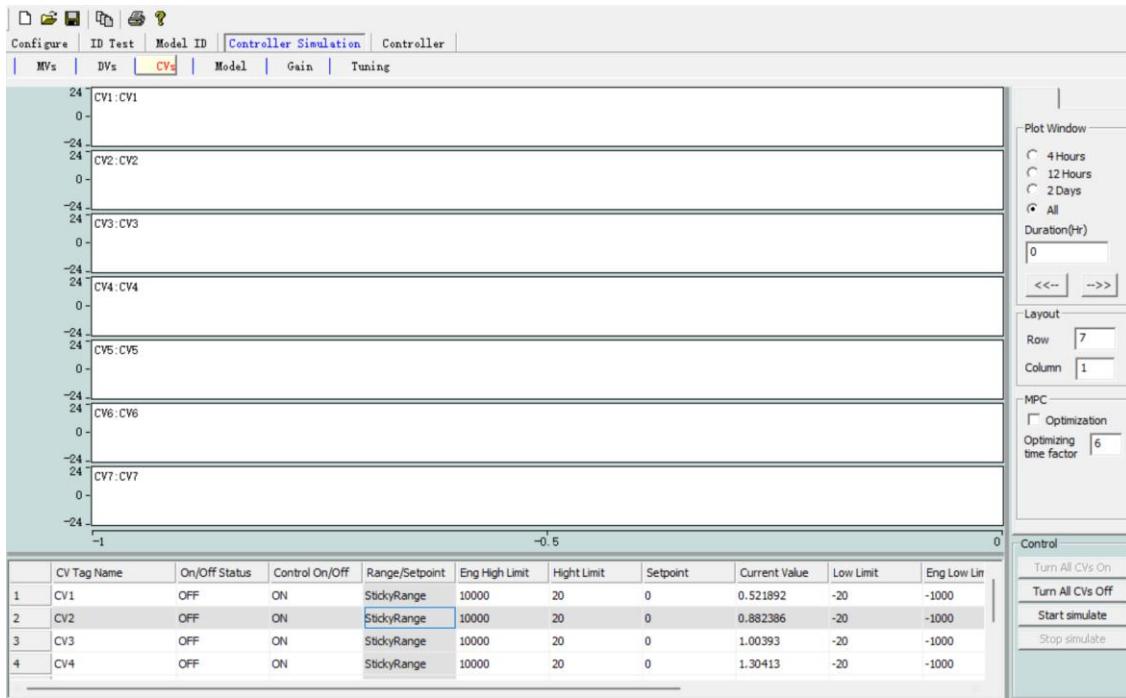
点击 **仿真控制器 → 控制变量 (MVs)** 打开如下所示控制变量 (MVs) 窗口。因为暂时仅研究动态控制，首先不要选中 **Optimization**，然后按照图中数值设定 MV 的上限和下限以及变化速度限制。仿真中 MV 的初值是 MV 上限和下限的平均值。





Tai-Ji Control

点击 仿真控制器 → 被控变量（CVs） 打开如下所示被控变量（CVs）窗口，然后按照图中数值设置 CV 的上限和下限，仿真中 CV 的初值是 CV 上限和下限的平均值。

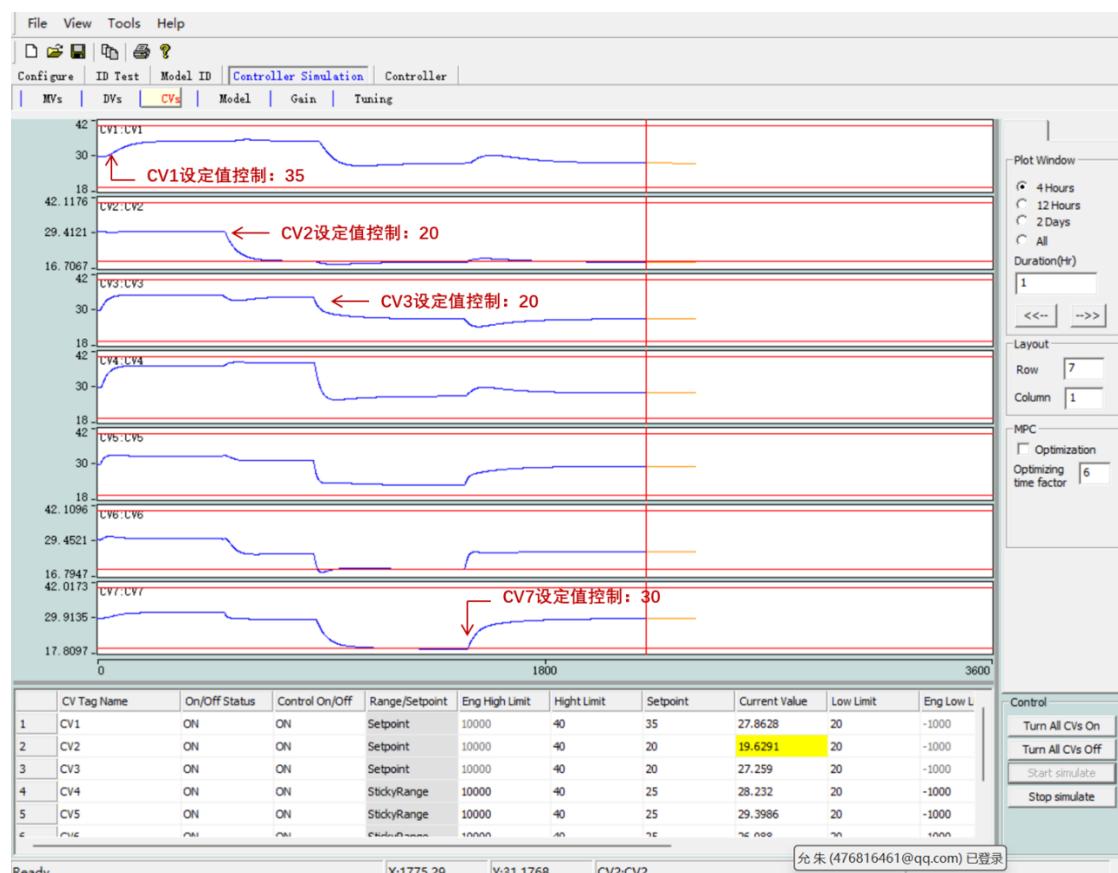


在 仿真控制器 模块，DV 保持是零值不在仿真中起作用。

现在已准备好开始仿真，在 仿真控制器 → 控制变量（MVs） 打开的控制变量（MVs）窗口中，点击 Start Simulate 按钮后出现一个小窗口可输入仿真采样时间为 1 秒，点击 Okay 按钮后仿真开始。点击 Turn All MVs On 按钮或使用 Control On/Off 按钮后将 MV 逐一投入 On 状态。

在 仿真控制器 → 被控变量（CVs） 打开的被控变量（CVs）窗口中点击 Turn All CVs On 按钮或使用 Control On/Off 按钮后将 CV 逐一投入 On 状态。

仿真刚开始时，若 CV 没有任何变化，这是因为 CV 处于区域控制状态，而目前 CV 都在上限和下限之间。如果需要检验控制性能，可以依次进行以下操作：1、将 CV1 的控制模式变成 Setpoint 模式并将设定值设为 35；2、将 CV2 的控制模式变成 Setpoint 模式并将设定值设为 20；3、将 CV3 的控制模式变成 Setpoint 模式并将设定值设为 20；4、将 CV7 的控制模式变成 Setpoint 模式并将设定值设为 30；在信息窗口确认该设定值后，MV 开始动作试图将各个 CV 控制到对应的设定值附近。

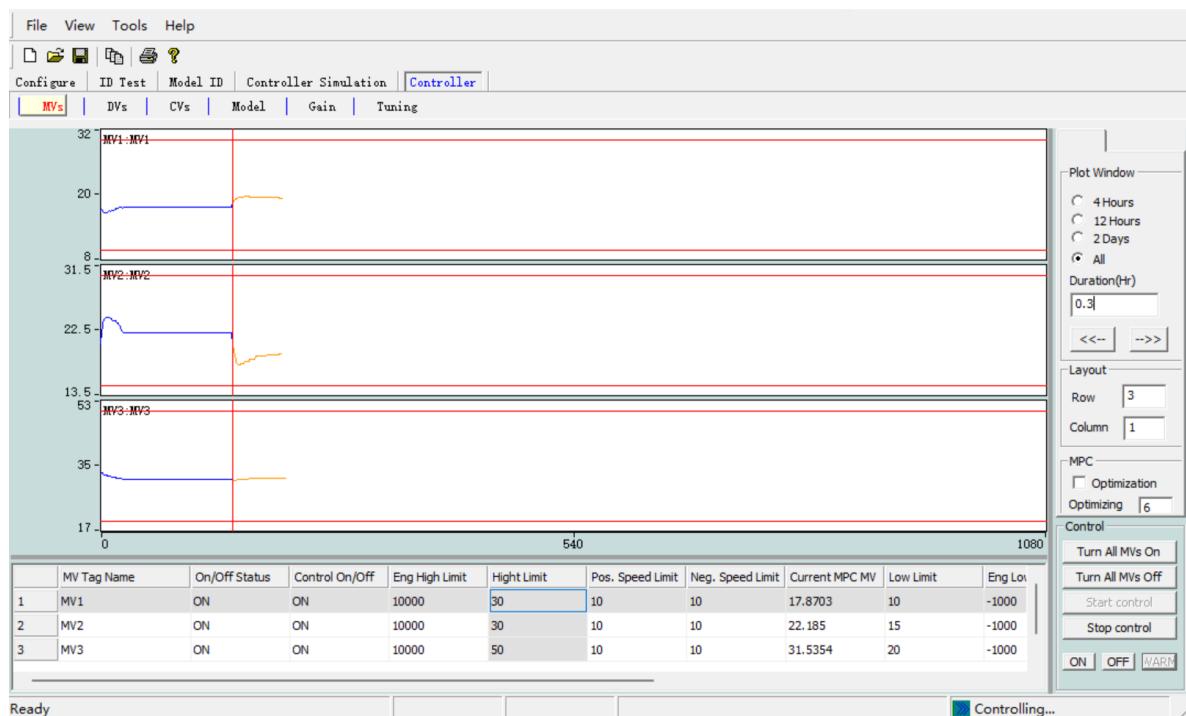


4.5 运行在线控制器

当辨识得到的部分模型或全部模型品质优良（暨模型的品质等级是 A、B 或 C，同时模型增益的正负与期望矩阵一致），而且已使用部分模型或全部模型进行了控制过程的仿真并取得优良的控制效果时，用户可在**在线控制器**模块开始实时控制。注意：可在辨识实验进行的同时开始实时控制。

此时我们将停止辨识实验并运行实时控制器，注意在这个例子中，生产过程是一个模拟的蒸馏塔模型，请使用辨识实验中同样的方法运行 OPC 模拟器 TaiJiOPCSim。

点击**在线控制器**→**控制变量 (MV)** 打开如下图所示**控制变量 (MV)** 窗口。



当首次运行实时控制器来控制真实过程时，推荐进行下列步骤：

- 不选中 **Economic optimize** 按钮，这是因为需要首先检查动态控制的性能。
- 逐渐将 MVs, CVs 和 DVs 投入控制状态，即由 OFF 转变为 ON。

在线控制器模块的窗口与功能与**仿真控制器**模块基本相同，因此这里不再逐一说明。

仿真控制器模块只考虑了理想状态，即没有模型误差和扰动。在**在线控制器**模块，如果是一个真实过程，会存在模型误差、DV 干扰和不可测量的扰动，因此 CV 的响应会受到噪声和扰动的影响。

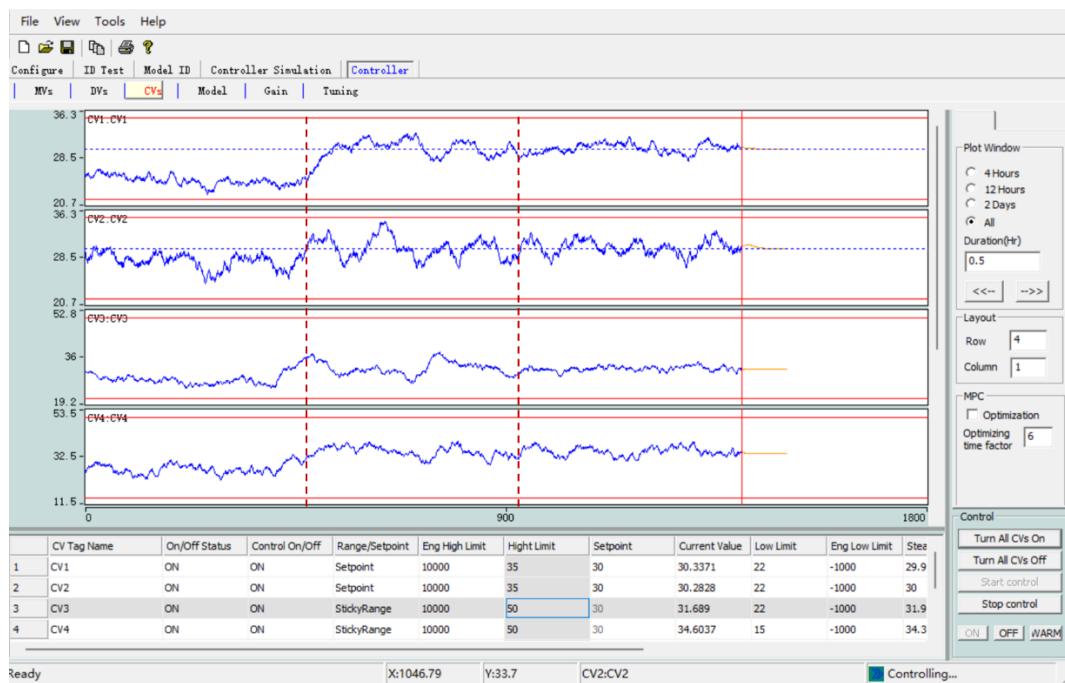
现在可在**在线控制器**模块使用**仿真控制器**模块的整定参数来运行实时控制。我们首先在下面的三个阶段中检验在噪声抑制方面的控制性能：

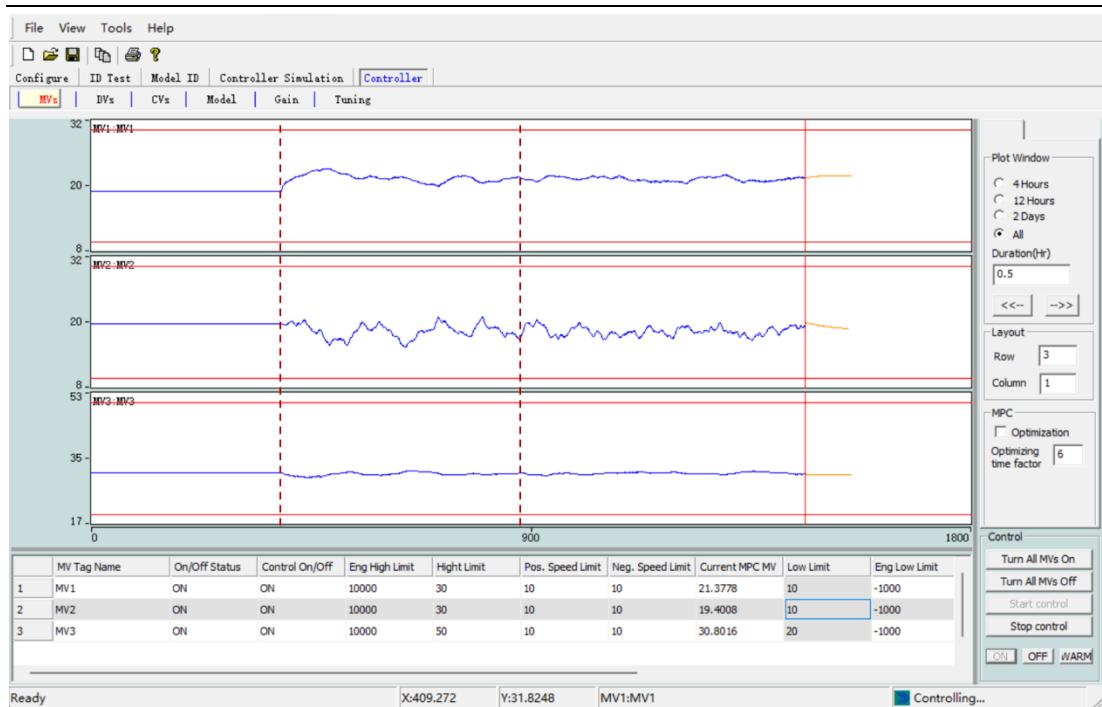


Tai-Ji Control

- 1) 点击 **Start Control** 按钮并将所有 MVs, DVs 和 CVs 保持在 OFF 状态, 让控制器持续运行一段时间(例如 1000 个样本点)。在这段时间, 控制器处于开环状态, 收集的数据不受控制。
- 2) 在第二阶段, 将 MVs 和 CVs 投入控制, 将 DVs 保持在 OFF 状态。将 CV1 和 CV2 定为设定值控制模式, 其它的 CV 定为区域控制模式。让控制器持续运行一段时间, 用户会看到 CV1 和 CV2 被控制在了设定值附近, 并且其它 CV 也在设定区域内。
- 3) 在第三阶段, 将两个 DVs 投入控制, 让控制器持续运行一段时间, 这时既有反馈控制也有前馈控制, 用户会发现 CV1 和 CV2 的变化范围更显著地降低, 其它 CV 与 CV1、CV2 相关因此它们的变化范围在一定程度减小。

CV 和 MV 的趋势图如下所示。我们已进行了较长时间的测试检验了在噪声抑制方面的控制性能。在实际中, 因为可从实时数据库中获得开环控制数据, 第一阶段往往并不需要, 而第二阶段不需要进行太长的时间。





4.6 使用在线控制器模块进行实时仿真

在线控制器模块能像上一节一样，能基于 OPC 服务器中的任意生产过程的模拟器进行 MPC 控制的仿真。在**在线控制器**模块进行仿真的好处是能使仿真更接近真实情况，例如模拟器能使用一些非线性环节、DV 信号和不可测量干扰等。用户也可以检验某个 OPC 服务器中的 OPC 链接是否工作正常。

我们将简要说明使用**在线控制器**模块在真实 MPC 工程中进行仿真的步骤，即该工程面向一个真实的生产过程而不是一个模拟器。

假设 MPC 控制器的设计已给定并已在 Tai-Ji MPC 中配置完成，项目文件名称是 Preject1.ojp，假设控制器采样时间是 1 分钟，因为是一个真实的生产过程，时间压缩无法使用，因此请确认在**配置 → 一般** 打开的一般窗口的 Options 区域未选中 **The plant is a simulation process**。

请按如下步骤进行操作：

- 1) 开始对真实生产过程进行辨识实验，并进行模型辨识获得 MVs/DVs 与 CVs 之间的模型；详见第 4.2 节和第 4.3 节。
- 2) 辨识模型后将该工程另存为 Preject1sim.ojp，这个新工程会用在仿真中，而原来的工程 Preject1.ojp 会用在实时控制中。每当保持工程文件时，生产过程的模型与数据也会保存在后缀名为.sim.ojp 的仿真文件中，该文件能在 OPC 模拟器 **TaiJiOPCSim** 中使用。如果需要在 **TaiJiOPCSim** 中使用辨识得到的模型，每个 CV 与全部 MV 和 DV 之间的延迟应当相同，但不同 CV 对应的延迟可能不同，在**模型辨识→ 时延** 窗口选中 **Use Same Delay** 就可以使辨识得到的模型满足这个要求。

-
- 3) 运行 OPC 模拟器 **TaiJiOPCSim**, 点击 **Load model** 按钮, 在 **Open** 窗口载入模型文件 Preject1sim.sim.ojp, 这时 **TaiJiOPCSim** 会使用辨识得到的模型和 DV 数据对生产过程进行仿真。
- 4) 在 **TaiJiOPCSim** 窗口, 在 **Period** 处输入 2 代表仿真采样时间是 2 秒, 与之相应, 需要在 Tai-Ji MPC 的配置 → 一般 窗口的 **Options** 区域选中 **The plant is a simulation process** 并在 **Time Compression Factor** 输入 30。
- 5) 不考虑 DV 信号进行 MPC 控制的仿真。在 **TaiJiOPCSim** 窗口, 点击 **StopDV** 按钮(点击后该按钮会变成 **StartDV** 按钮), 这会使 DV 信号保持不变。点击 **Start** 按钮开始仿真。打开 Tai-Ji MPC 的 **Control** 模块, 投运控制器并检验控制器设定值跟踪和约束控制的性能, 这与 **仿真控制器**模块中的情形相同。
- 6) 在 MPC 控制的仿真中使用 DV 信号。在 **TaiJiOPCSim** 窗口, 点击 **StartDV** 按钮(点击后该按钮会变成 **StopDV** 按钮; 如果该按钮已经是 **StopDV** 按钮, 则不要点击它)。现在仿真开始使用在辨识实验中测量得到的 DV 信号。点击 **Start** 按钮开始仿真。打开 Tai-Ji MPC 的 **在线控制器**模块, 投运控制器并检验控制器克服扰动的性能。
- 7) 在 MPC 控制的仿真中使用 DV 信号和不可测扰动。点击 **StartDV** 按钮(点击后该按钮会变成 **StopDV** 按钮; 如果该按钮已经是 **StopDV** 按钮, 则不要点击它)。现在仿真开始使用在辨识实验中测量得到的 DV 信号; 此外, 仿真中也可在 CV 上叠加不可测的干扰信号。不可测的干扰信号保存在 Excel CSV 文件中, 其中第 1 列是 CV1 对应的干扰信号, 第 2 列是 CV2 对应的干扰信号, 以此类推。点击 **Load Noise** 按钮并载入 Excel CSV 文件。点击 **Start** 按钮开始仿真。打开 Tai-Ji MPC 的 **Control** 模块, 投运控制器并检验控制器克服扰动的性能。

恭喜您! 如果您已成功运行上述全部步骤, 并得到与本节所示相同图形或类似图形, 您已初步掌握了如何使用 Tai-Ji MPC。对您来说, Tai-Ji MPC 的使用是复杂、还是简单呢? 欢迎把您的意见反馈给我们。

下一章我们将更为详尽地描述 Tai-Ji MPC 的窗口与功能。

开始项目并用本地数据进行模型辨识。

测试数据可能不是从辨识实验模块中得到的而从其他的测试方法中得到。在此种情况下, 数据集可以载入到 Tai-Ji Online 中, 可以进行模型辨识。Tai-Ji Online 可以导入的数据类型包括: 1) Matlab 6.5 MAT 格式文件 2) Excel CSV 格式文件。

4.7.1 导入 Matlab 6.5 MAT 文件

准备导入的 Matlab 6.5 MAT 文件需包括如下变量:

MVdata:	数据矩阵包括 MVs 的符号 (按列排)
MVname:	包含 MVs 标签名称的字符矩阵 (按行排)
CVdata:	包含 CVs 符号的数据矩阵 (按列排)
CVname:	包含 CVs 标签名的字符矩阵(按行排)
Tident:	数据采样时间

Tunit: 时间单位的字符矩阵, 应该为 'sec' (秒) 或者 'min' (分钟)。

注意 Matlab 的变量名称是区分大小写的, 用户确认名称一致。

实例: 一个精馏案例。假设信号作为列向量载入到了 Matlab 工作空间。

MVs (inputs)	Matlab variables
Reflux	Reflux
Steam	Steam
Pressure	Press
Feed flow (DV)	Feed

CVs (outputs)	Matlab variables
Top composition	Topcom
Bottom composition	Botcom
Flooding	Flood

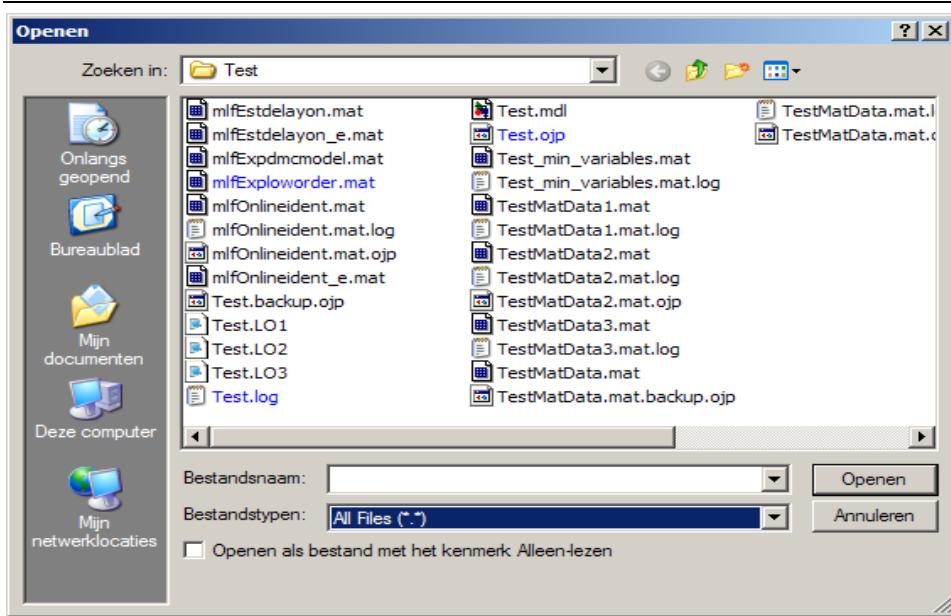
准备.MAT 文件时, 需要执行如下的 Matlab 命令。

```
>> MVdata = [reflux steam press feed];
>> MVname = str2mat('reflux','steam','press','feed');
>> CVdata = [topcom botcom press];
>> CVname = str2mat('topcom','botcom','press');
>> Tident = 1;
>> Tunit = 'min';
>> MVsize = ones(size(MVdata));
>> save dist.mat MVdata MVname CVdata CVname Tident Tunit MVsize
```

如果 Matlab 的版本高于 6.5 需要执行下面的语句建立 Matlab 6.5 MAT 文件:

```
>> save dist.mat MVdata MVname CVdata CVname Tident Tunit MVsize
-v6
```

载入 MAT 文件, 点击 **文件→打开**, 显示如下界面:



在此窗口中，选择文件类型（File Type）为 全部文件（All Files (*.*)），找到 MAT 文件，点击打开按钮。数据集将会导入到 Tai-Ji Online 中，在辨识测试模块和模型辨识模块就可以看到此数据。

用户可以更改 4.1 章提到的参数，并执行 4.3 章中的模型辨识模块，为了获得适当的模型，如下参数需要设置：

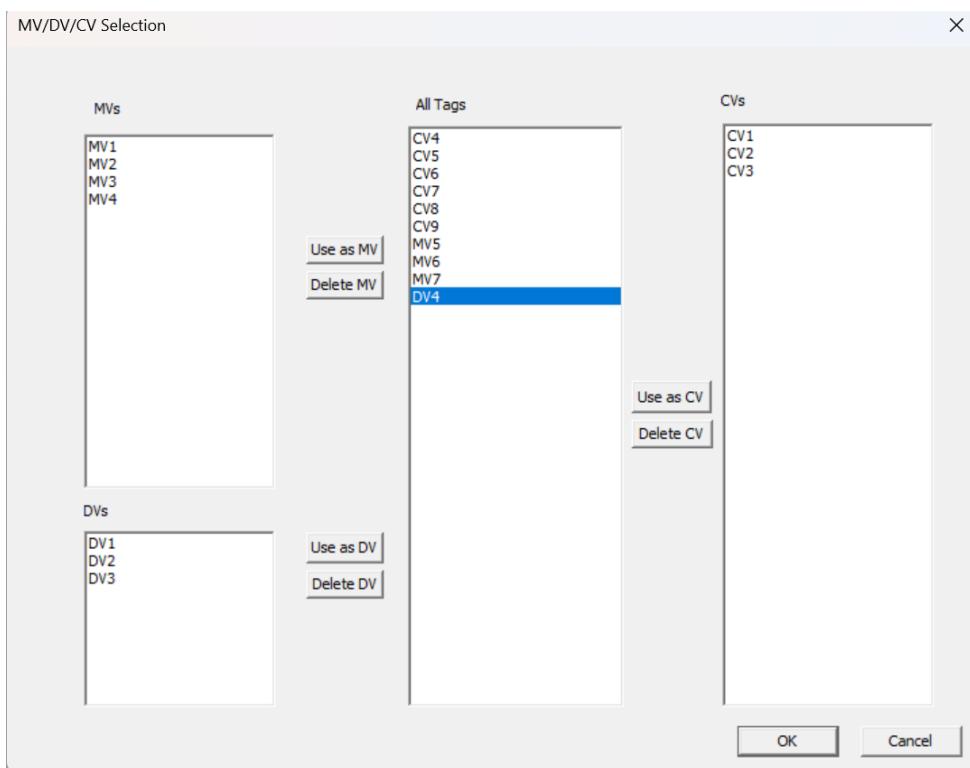
- 1) 数据的采样时间，用来产生正确的低阶有延迟模型
- 2) 时间单位，用途同 1)
- 3) 到稳定状态的时间，用来产生 FIR 模型，应该确保此时间足够长。

这些参数的设置在：配置→一般

4.7.2 导入 Excel CSV 文件

当用户使用 Excel CSV 文件存储测试数据时，CSV 文件中每一列是 MV/CV/DV 的信号，第一行包括 MV/CV/DV 的标签名称。点击 文件→导入 CSV 数据文件 将会打开如下窗口。

选择并打开 CSV 文件，将会显示下面的窗口。



中间的列辨识 CSV 文件中所有的标签。用户可以选择一个标签并且定义它为 MV、CV 或者为 DV，选择完成后点击确定按钮。

5 Tai-Ji MPC 的窗口与功能

Tai-Ji MPC 包含了下面表格中的 5 个模块。所有 Tai-Ji MPC 的功能都包含在这些模块中，它们按照 MPC 工程项目的执行顺序从左至右排列：1) 项目的配置、2) 辨识实验、3) 模型辨识、4) 仿真控制器、5) 在线控制器。

Configure	ID Test	Model ID	Controller Simulation	Controller
------------------	----------------	-----------------	------------------------------	-------------------

每个模块有 5 个至 6 个窗口，因为 MPC 控制器的设计是由 MV、DV、CV 和它们的上下限决定的，因此所有模块都含有 MV 窗口、DV 窗口和 CV 窗口。这里 MV 表示控制变量、DVs 表示干扰（前馈）变量、CV 是被控变量。

每个模块的窗口如下：

配置模块

General	MVs	DVs	CVs	TVs	Expectation
---------	-----	-----	-----	-----	-------------

辨识实验模块

MVs	TVs	DVs	CVs	Test signal	Covariance
-----	-----	-----	-----	-------------	------------

模型辨识模块

MVs&DVs	CVs	Model Response	Delay	Gain
---------	-----	----------------	-------	------

控制器仿真模块

MVs	DVs	CVs	EVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-----	-------	------	--------

控制器模块

MVs	DVs	CVs	EVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-----	-------	------	--------

每个模块会在下面各节中做详细介绍。

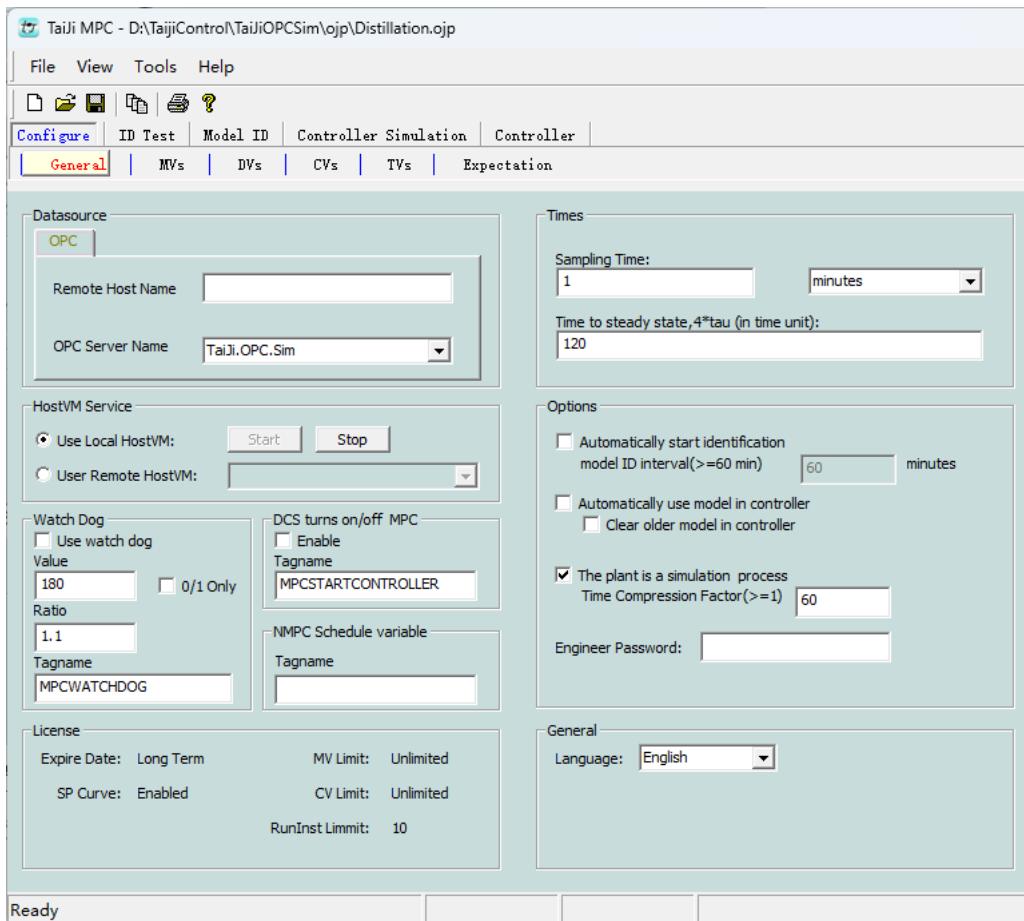
5.1 配置模块

配置模块是用于配置 MPC 工程的，包含下面所示的 5 个窗口：

General	MVs	DVs	CVs	TVs	Expectation
---------	-----	-----	-----	-----	-------------

5.1.1 一般窗口

用鼠标点击配置→一般 打开如下图所示一般窗口：



一般窗口包括 6 个区域，用户可配置 MPC 控制器的 OPC 服务器、控制器采样时间、过程稳定时间、DCS/PLC 相关参数等一般性的参数。

数据源区域：

OPC： 主机名称：机器 IP 地址或名称； 例如：192.168.1.1

OPC 服务名称：OPC Server 名称； 例如：TaiJi.OPC.Sim

注意：在使用 OPC 方式的时候，如果禁止了 OPC enum，则无法枚举“OPC 服务器名称”，您可以要求网络管理人员运行 dcomcnfg 来配置 OPC enum 权限，然后再运行本程序；或者，你直接在“OPC 名称”填写有效的 OPC Server 名称。如果无法访问 OPC Server，请在客户端和服务器上都运行 dcomcnfg 来确认是否有访问 OPC Server 的权限。

时间/周期区域：

采样周期：设置实验以及 MPC 控制器工作的采样周期、控制周期

稳态时间：被控系统的开环响应时间（估计值），决定实验时间的长短，**注意这里使用时间单位秒或分，不是采样个数**

HostVM 服务区域: 选择“Use Local HostVM”，点击“Start”，启用本地虚拟机服务，才可调用 Taiji MPC 的控制算法和辨识算法。

Watch dog 区域:

使用 Watch dog: 选中，则使用 Watch dog

值: Watch dog 的值

Tag 名称: Watch dog 使用的 Tag

注意: 仅在实验或者(和)MPC 控制器工作的时候，并且选中了“使用 Watch dog”，Watch dog 才起作用，这种情况下，在每个采样周期都将规定的“值”写入“Watch dog”的“Tag name”中。

DCS 控制变量 Tag 扩展:

允许 DCS 界面: 只有选中，才会从 Server 上读取控制器的控制参数；

DCS Tagname: 通过给定 OPC 位号启停 MPC。

其它选项:

实验的时候，自动开始辨识: 选中后，如果在实验，则每隔 x 分钟，启动一次辨识。

控制的时候，自动使用最新的辨识模型: 选中，每次辨识后，都将符合要求的模型

(模型质量为 A、B、C，并且增益符号与期望矩阵的符号相同) 作为 MPC 控制器的模型，如果 MPC 在控制，并且使用该模型，则立即切换到最新的模型。

当前工程不是用于测试: 选中，作为实际的工业控制器(不使用时间加倍)；否则，在其它参数不变的情况下，加快采样频率，便于系统测试。

5.1.2 控制变量 (MV) 窗口

用鼠标点击 配置→控制变量 (MV) 打开到如下图所示控制变量 (MV) 窗口，该窗口包含了 MV 的一张表格。



The screenshot shows a software interface for configuring control variables. At the top, there's a menu bar with '文件(F)', '视图(V)', '工具栏(T)', and '帮助(H)'. Below the menu is a toolbar with icons for file operations like Open, Save, Print, and Help. A navigation bar includes tabs for '配置', '实验', '辨识', '仿真控制器', and '在线控制器'. The active tab is '配置'. Underneath these are several buttons: '一般' (General), '控制变量 (MV)' (highlighted in red), '干扰变量 (DV)', '被控变量 (CV)', '测试变量 (TV)', and '期望矩阵'. The main area is titled '控制变量 (MV)' and contains a table with the following data:

	控制变量(MV)位号	工程上限	上限	平均值	IRV	下限	工程下限	当前值	波动幅度	操作区间	描述	高限位号	低限位号	IRV位号	控制On/Off切换位号	跟踪位号
1	MV1	200	18	15	15	10	-22	15	3	1						
2	MV2	200	35	20	20	10	-22	20	2	1						
3	MV3	200	40	35	35	10	-22	35	2	1						

表格操作命令:

增加: 增加一个 MV，在表格尾部增加一行；

删除: 删除选中的表格行，同时删除对应的 MV；

上移: 将选中的 MV 往前移动一个位置;

下移: 将选中的 MV 往后移动一个位置;

表格列的含义:

控制变量 (MV) 位号: 控制变量的 Tag;

工程上限: MV 的工程上限;

上限: MV 的上限;

平均值: 实验的时候, MV 初始值; 如果设置了“跟踪 MV 平均值”, 则跟踪 MV 均值的变化, 如果 MV 均值变化了, 则设置变化后 MV 为平均值;

下限: MV 的下限;

工程下限: MV 的工程下限;

当前值: MV 的当前值;

波动幅度: 在辨识实验中 MV 的增量范围, MV 的实际取值是平均值 $\pm 0.5 \times$ 波动幅度;

操作区间: MV 的典型操作区间 (参见 7.3 变量归一化对参数整定的影响)。

描述: 对该控制变量的描述;

高限位号: MV 上限位号;

低限位号: MV 下限位号;

IRV 位号: MV 的 IRV 位号;

On/Off 切换位号: MV 控制开关位号;

跟踪位号: MV 跟踪位号, 为 MPC 与 PID 扰切换功能设置。

5.1.3 干扰变量 (DV) 窗口

用鼠标点击 配置 → 干扰变量 (DV), 切换到如下图所示的窗口。



干扰变量(DV)									
	增加	删除	↑ 上移	↓ 下移					
	干扰变量(DV)号	工程上限	当前值	操作区间	工程下限	计算	计算公式	DV预测	描述
1	DV1	200	10.8116	1	-100	<input type="checkbox"/>			
2	DV2	200	9.19259	1	-100	<input type="checkbox"/>			

表格操作命令:

增加: 增加一个 DV, 在表格尾部增加一行;

删除: 删除选中的表格行, 同时删除对应的 DV;

上移: 将选中的 DV 往前移动一个位置;

下移: 将选中的 DV 往后移动一个位置;

DV 表格列的含义:

干扰变量 (DV) 标签: 干扰变量的 Tag;

工程上限: DV 的工程上限;

当前值: DV 的当前值;

操作区间: DV 的典型操作区间 (参见 7.3 变量归一化对参数整定的影响)。

工程下限: DV 的工程下限;

计算: 选中, 则使用公式来计算该扰动变量的值;

计算公式: 计算公式, 选中“计算”列后, 才有效。选中“计算”列后, 用鼠标双击该列, 弹出一个对话框, 允许编辑和验证计算公式;

扰动预测: 扰动预测值; (参见 7.4.4 DV 预测修正)

描述: 对该被控变量 DV 的描述。

5.1.4 被控变量 (CV) 窗口

用鼠标点击 **配置→控制变量 (CV)**, 切换到如下图所示窗口:



The screenshot shows a software interface for configuring control variables. The top menu bar includes '文件(F)', '视图(V)', '工具栏(T)', '帮助(H)', '配置', '实验', '常识', '仿真控制器', '在线控制器', '一般', '控制变量(DV)', '干扰变量(DV)', '被控变量(CV)', '测试变量(TV)', and '期望矩阵'. The '被控变量(CV)' tab is selected. Below the tabs is a toolbar with '增加' (Add), '删除' (Delete), '上移' (Move Up), and '下移' (Move Down). The main area is a table titled '被控变量(CV)' with the following columns: '被控变量(CV)位号', '工程上限', '上限', 'IRV', '下限', '工程下限', '当前值', '操作区间', 'MV-VALV / 无时延', '积分', '设定值曲线', 'On/Off 切换位号', 'DCS 设定值位号', 'CV 控制上限位号', 'CV 控制下限位号', 'IRV 位号', '计算', '公式', and '描述'. There are 7 rows of data in the table, each representing a CV entry with values corresponding to the columns.

表格操作命令:

增加: 增加一个 CV, 在表格尾部增加一行;

删除: 删除选中的表格行, 同时删除对应的 CV;

上移: 将选中的 CV 往前移动一个位置;

下移: 将选中的 CV 往后移动一个位置。

CV 表格列的含义:

控制变量 (CV) 标签: 被制变量的 Tag;

工程上限: CV 的工程上限;

上限: CV 的期望上限;

IRV: CV 的理想停留值;

下限: CV 的期望下限;

工程下限: CV 的工程下限;

当前值: CV 的当前值;

操作区间: CV 的典型操作区间 (参见 7.3 变量归一化对参数整定的影响)。

MV-VALV/无时延: 选中, 则 CV 对应的模型, 没有时延;

积分: 选中, 则 CV 为积分变量;

设定值曲线: 使用设定值曲线功能时, 需要设置。见 5.1.5 节;

On/Off 切换位号: MV 控制开关位号;

DCS 设定值位号: 如果 CV 的设定值是由 DCS 端给出的, 使用本功能;

CV 控制上限位号: CV 上限位号;

CV 控制下限位号: CV 下限位号;

IRV 位号: CV 的 IRV 位号;

计算：选中，则使用公式来计算该被控变量的值；

计算公式: 计算公式, 选中“计算”列后, 才有效。选中“计算”列后, 用鼠标双击该列, 弹出一个对话框, 允许编辑和验证计算公式:

描述: 对该被控变量 CV 的描述。

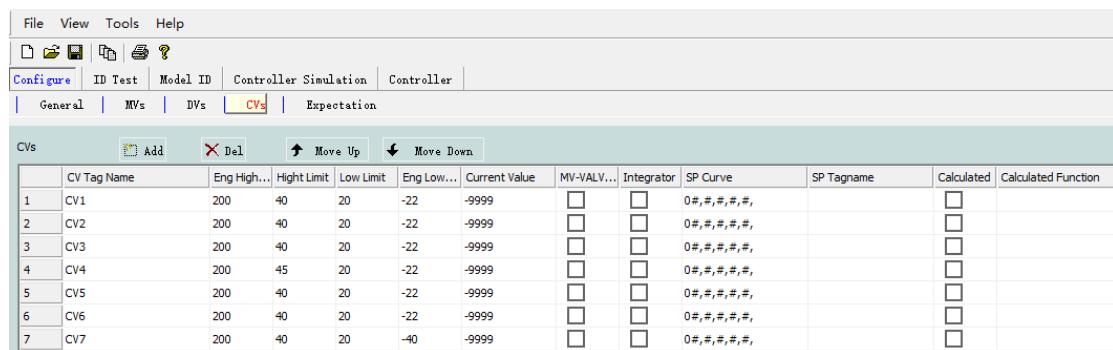
注意：计算公式是使用 VB Script 来书写的，用 ReadValue 函数来获取 Tag 值，用 SetCalculatedResult 将结果传递给本程序。例如：下面的脚本计算了标签“FIC-2001.PV”的平方根与标签“FIC-2001.PV”的和，这两个标签应能从 OPC 服务器中获取。

```
dbl1 = ReadValue ("FIC-2001.PV")
dbl2 = ReadValue ("FIC-2002.PV")
dblResult = Sqr (dbl1) + dbl2
SetCalculatedResult (dblResult)
```

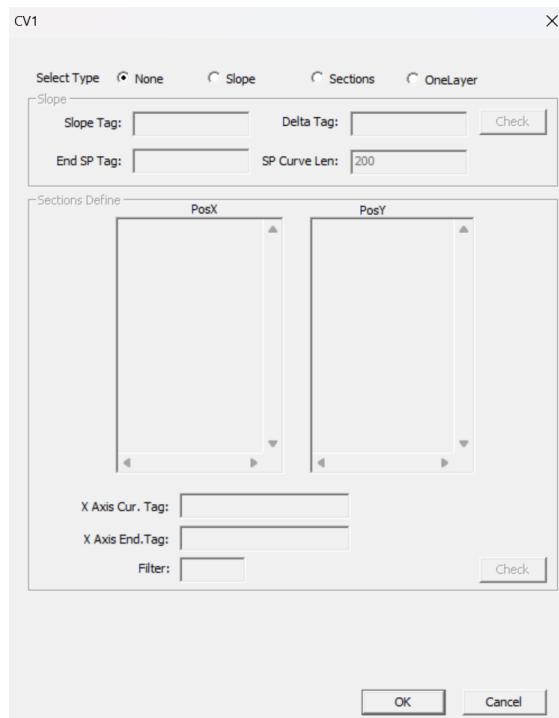
5.1.5 配置 CV 设定值曲线

Tai-Ji MPC v2.7 及以后的版本增加了跟踪 CV 设定值曲线的功能。该功能对发电机组 AGC 协调控制和间歇过程的控制有重要意义。这里给出配置 CV 设定值曲线的方法。

选择配置→被控变量（CVs），打开被控变量（CVs）窗口。



双击 CV 所在行对应的设定值曲线， 默认为 0#, #, #, #, #, 弹出窗口如下



SelectType 包含四个选项：

None: 不设置设定值曲线（默认）；

Slope: 斜坡模式；

Sections: 折线模式；

OneLayer: 单层模式，即不考虑双层优化中的线性优化，只考虑二次优化，参考章节 1.2.2。

配置斜坡模式

打开设定值曲线配置窗口，选择 Slope。

SlopeTag: 斜坡速率位号（每分钟变化量，必填）；

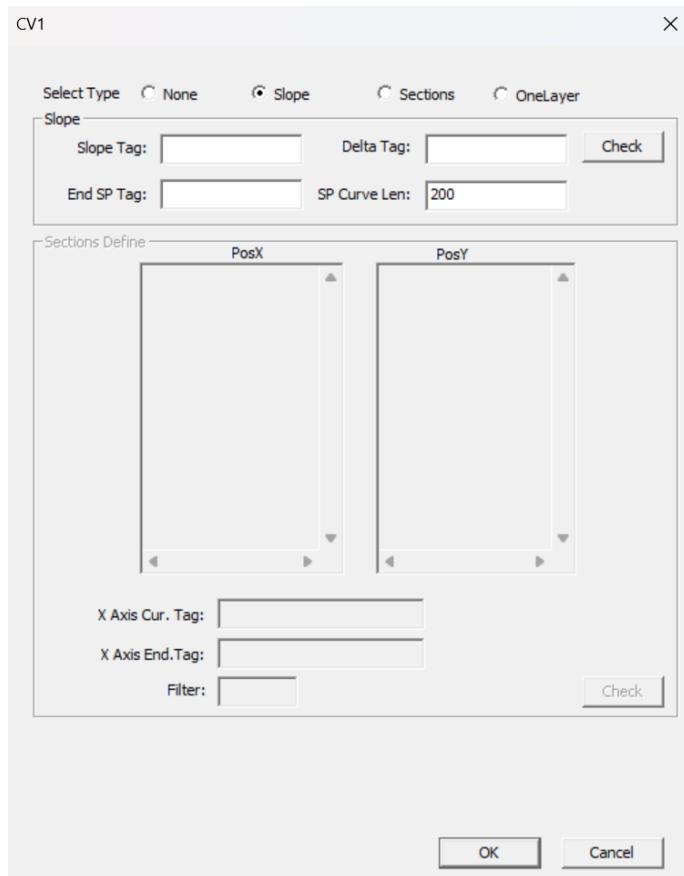
End SP Tag: 目标设定值位号（必填）；

Delta Tag: 偏置量位号（选填），在填写偏置量位号后，目标设定值=目标设定值+偏置量，配置好所需位号后，点击 Check，再点击 OK 按钮，完成斜坡模式配置。

SP Curve Len: 斜坡设定值曲线长度



Tai-Ji Control



配置折线模式

打开设定值曲线配置窗口，选择 Selections。

Slope Tag: X 轴变化率位号（必填）；

Delta Tag: 偏置量位号（选填）；

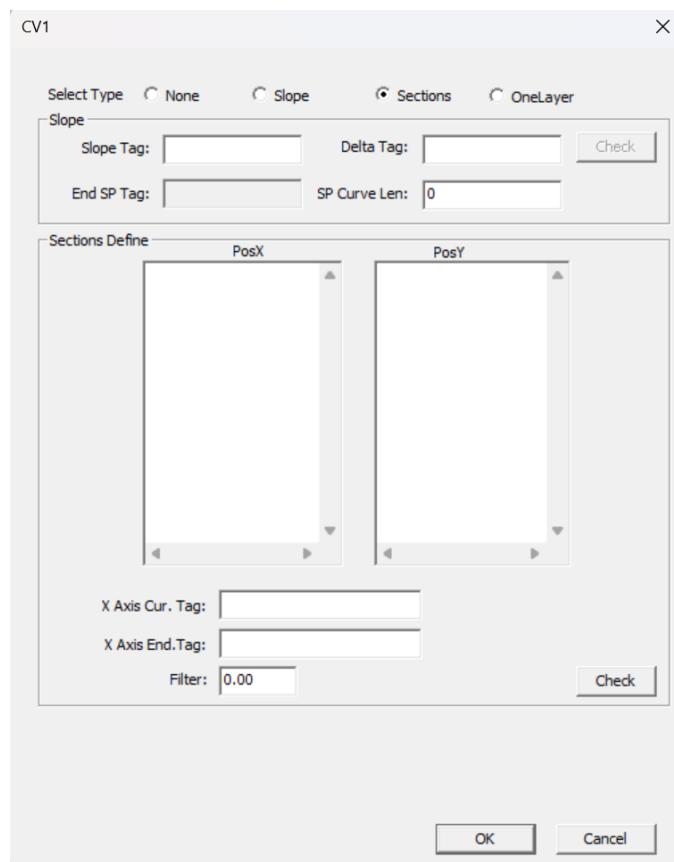
Section1~8: PosX 填写对应点横坐标，PosY 填写对应点纵坐标（Section1~8 必须填满）；

X Axis Cur.Tag: X 轴当前值位号（必填）；

X Axis End.Tag: X 轴目标值位号（必填）；

Filter: 滤波时间常数（选填，单位：分钟）；

配置好所需位号后，点击 Check，再点击 OK 按钮，完成折线模式配置。



5.1.6 测试变量 TV

自 Tai-Ji MPC 5.2 版本起提供额外的测试变量，称为 TV。

TV 变量的作用是对一个指定变量进行测试，该变量仅存在于测试环节中，在辨识与控制环节没有作用。用户可以对任意可写入的位号进行测试。一些常见的使用方式是将 TV 配置为设定值变量，或者 MV 的偏置变量。

TV 变量的使用与 MV 在测试时的使用方式是一致的，用户可以自由选择是否跟踪均值、是否需要跟踪、测试幅值、上下限等等。

注意：TV 位号不能与 MV 位号重复。即：如果一个位号已经是 MV，那么不能作为 TV 使用。

用鼠标点击 **配置** → **测试变量 (TV)** 打开到如下图所示测试变量 (TV) 窗口，该窗口包含了 TV 的一张表格。



The screenshot shows a software interface for configuring test variables. At the top, there are tabs for Configuration, Experiment, Identification, Simulation Controller, Online Controller, General, Control Variable (MV), Disturbance Variable (DV), Monitored Variable (CV), Test Variable (TV), and Expected Matrix. The 'Test Variable (TV)' tab is selected. Below the tabs is a toolbar with icons for adding, deleting, moving up, and moving down. A table lists two test variables:

实验位号	工程上限	上限	平均值	下限	工程下限	当前值	波动幅度	高限位号	低限位号	跟踪位号
1 MV1.TARGET	200	20	10	0	-100	15	2			
2 MV2.TARGET	200	30	15	0	-100	20	3			

表格操作命令：

增加：增加一个 TV，在表格尾部增加一行；

删除: 删除选中的表格行, 同时删除对应的 TV;

上移: 将选中的 TV 往前移动一个位置;

下移: 将选中的 TV 往后移动一个位置;

表格列的含义:

实验位号: 实验位号的 Tag;

工程上限: TV 的工程上限;

上限: TV 的上限;

平均值: 实验的时候, TV 初始值; 如果设置了“跟踪 TV 平均值”, 则跟踪 TV 均值的变化, 如果 TV 均值变化了, 则设置变化后 TV 为平均值;

下限: TV 的下限;

工程下限: TV 的工程下限;

当前值: TV 的当前值;

波动幅度: 在辨识实验中 TV 的增量范围, TV 的实际取值是平均值 $\pm 0.5 \times$ 波动幅度;

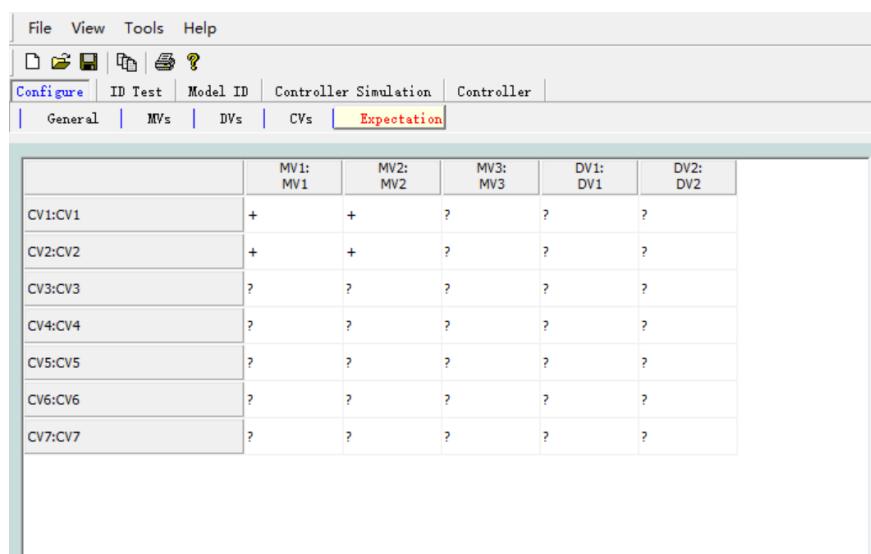
高限位号: TV 上限位号;

低限位号: TV 下限位号;

跟踪位号: TV 跟踪位号, 为 MPC 与 PID 扰切换功能设置。

5.1.7 期望矩阵

用鼠标点击 **配置**→**期望矩阵**, 切换到如下图所示**期望矩阵**窗口:



The screenshot shows a software interface titled 'Configure'. The top menu includes File, View, Tools, and Help. Below the menu is a toolbar with icons for file operations. The main area has tabs: Configure, ID Test, Model ID, Controller Simulation, and Controller. The 'Expectation' tab is currently selected, indicated by a red border. Below the tabs is a large table with 7 rows and 6 columns. The columns are labeled MV1: MV1, MV2: MV2, MV3: MV3, DV1: DV1, DV2: DV2, and an empty column. The rows are labeled CV1:CV1, CV2:CV2, CV3:CV3, CV4:CV4, CV5:CV5, CV6:CV6, and CV7:CV7. Each cell in the table contains either a '+' sign or a question mark '?'.

	MV1: MV1	MV2: MV2	MV3: MV3	DV1: DV1	DV2: DV2	
CV1:CV1	+	+	?	?	?	
CV2:CV2	+	+	?	?	?	
CV3:CV3	?	?	?	?	?	
CV4:CV4	?	?	?	?	?	
CV5:CV5	?	?	?	?	?	
CV6:CV6	?	?	?	?	?	
CV7:CV7	?	?	?	?	?	

这里显示了一个期望矩阵, 可供编辑。用户根据经验和相关知识, 可以确定某个 MV (DV) 和 CV 之间的增益关系, 则可以配置该表, 提高辨识精度。

期望矩阵的元素可以取:

十: 对应的 MV (DV)、CV 有模型, 并且增益为正;

no: 对应的 MV (DV)、CV 没有模型;

- ：对应的 MV（DV）、CV 有模型，并且增益为负；
- ?：不清楚对应的 MV（DV）、CV 是否有模型。

期望矩阵会在模型辨识和模型选择中使用。在模型辨识中使用时，如果期望矩阵表示某些 MV 和 CV 之间不存在模型（暨期望矩阵的相应元素是“No”），则在模型辨识中排除该模型，从而大规模减少计算时间、增加模型的准确性。在模型选择中使用时，如果模型的品质等级是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致时，则选择该模型并送入控制模块。

注意：如果选中菜单 **工具栏→转置 MV、CV 模型**，则表格行列转置，用户可以选择自己习惯的方式来查看 MV、CV 矩阵

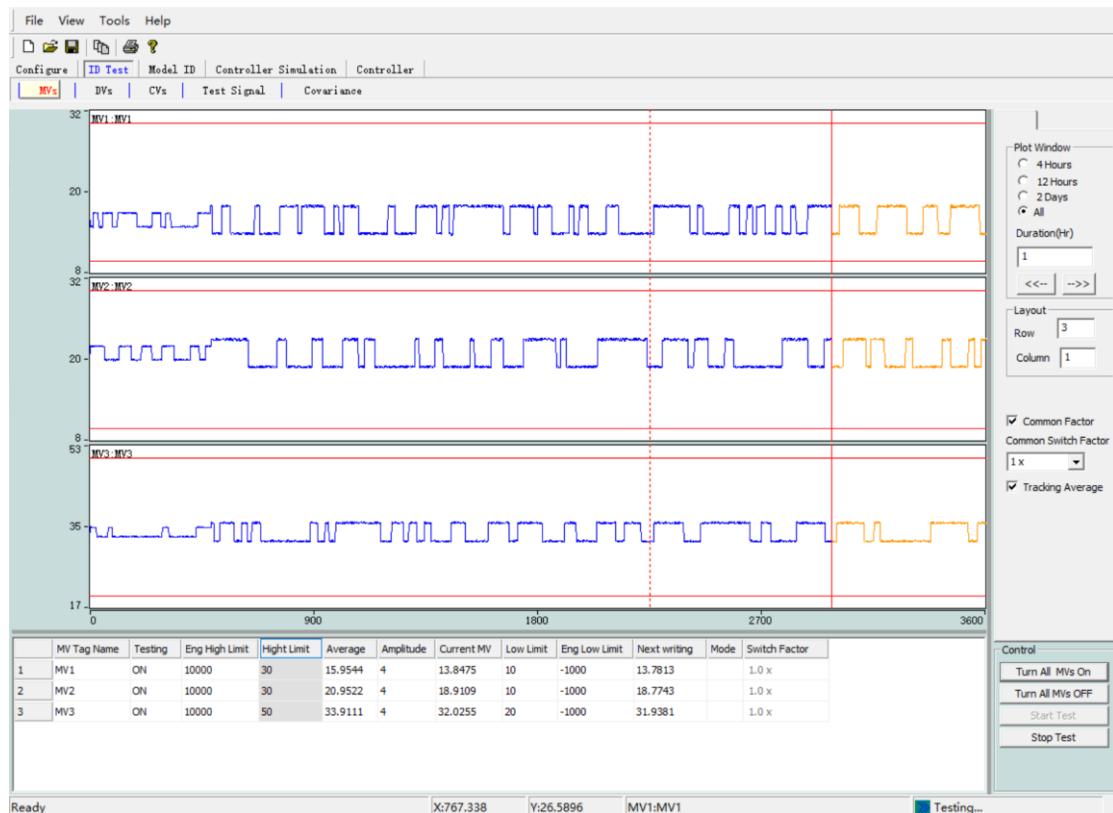
5.2 辨识实验模块

辨识实验模块用于进行辨识实验、监视实验和数据收集，它包含 5 个窗口：

MVs	TVs	DVs	CVs	Test signal	Covariance
-----	-----	-----	-----	-------------	------------

5.2.1 控制变量 (MV) 窗口

用鼠标点击 **实验→控制变量 (MV)**，切换到如下图所示控制变量 (MV) 窗口：



MV 趋势图

在 MV 的趋势图中，蓝色线表示过去的信号，橘色线表示依据实验信号给出的未来动作，两条红色水平线表示 CV 的上限和下限。垂直红色线表示当前时刻，垂直虚线表示辨识实验的计划终止时刻，实际的实验时间可能比计划的略短或略长。

MV 表格列的含义：

控制变量 (MV) 标签: 控制变量的 Tag;

实验: ON, 允许波动 MV 值（即加实验信号），否则仅采集数据；

工程上限: MV 的工程上限；

上限: MV 的上限；

平均值: 实验的时候，MV 初始值；如果设置了“跟踪 MV 平均值”，则跟踪 MV 均值的变化，如果 MV 均值变化了，则设置变化后 MV 为平均值。如果系统闭环

制控制该 MV，则总是跟踪平均值，无法编辑；
波动幅度: 辨识实验中 MV 的增量范围，MV 的实际取值是平均值 $\pm 0.5 \times$ 波动幅度 下一个将要写的值: 预计下一个采样周期将要写的 MV 值；
当前 MV: 当前 MV 的值；
下限: MV 的下限；
工程下限: MV 的工程下限；
下个写入值: 下个采样时刻 MV 的写入值；
切换因子: GBN 测试信号的切换时间倍率，倍率越小，切换越快。

图形显示命令（在窗口右侧）：

2 小时: 在图形中，显示 2 个小时的数据；
4 小时: 在图形中，显示 4 个小时的数据；
2 天: 在图形中，显示 2 天的数据；
所有: 在图形中，显示所有的数据；
自定义（小时）: 在图形中，显示用户指定范围内的数据；
<<--: 显示范围向前推“当前显示范围”；
-->>: 显示范围向后推“当前显示范围”。

行列区域:

行: 图形行数；
列: 图形列数。

注意: 在图形中，按住鼠标左键，移动鼠标，可以选择显示区域。

切换时间倍数: 实验的时候，每个实验信号重复使用的次数 = 2 * 切换时间倍数。
 间接实现切换频率的改变。

跟踪 MV 平均值:

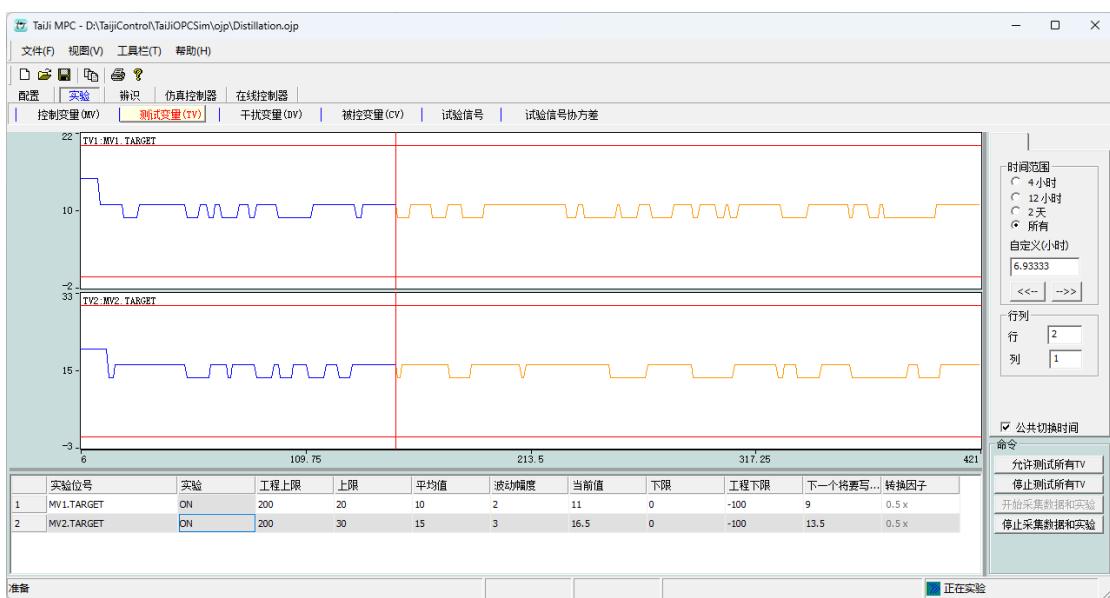
与同菜单 **工具栏→跟踪 MV 平均值** 的功能相同。在开环实验中，选中则将操作工修改 MV 后的数值作为 MV 的新平均值。

实验控制命令（在窗口右下侧）

允许所有 MV 实验: 实验的时候，允许写所有 MV 值。
停止所有 MV 实验: 实验的时候，禁止写所有 MV 值。
开始采集数据和实验: 开始试验，同时采集数据，如果 MV 的“试验”标志为 ON，则实验，否则，仅采集数据。
注意: 按下此按钮的时候，将自动将所有 MV 的“试验”标志设置为 OFF。即仅采集数据。
停止采集数据和实验: 停止试验，同时停止数据采集。

5.2.2 测试变量（TV）窗口

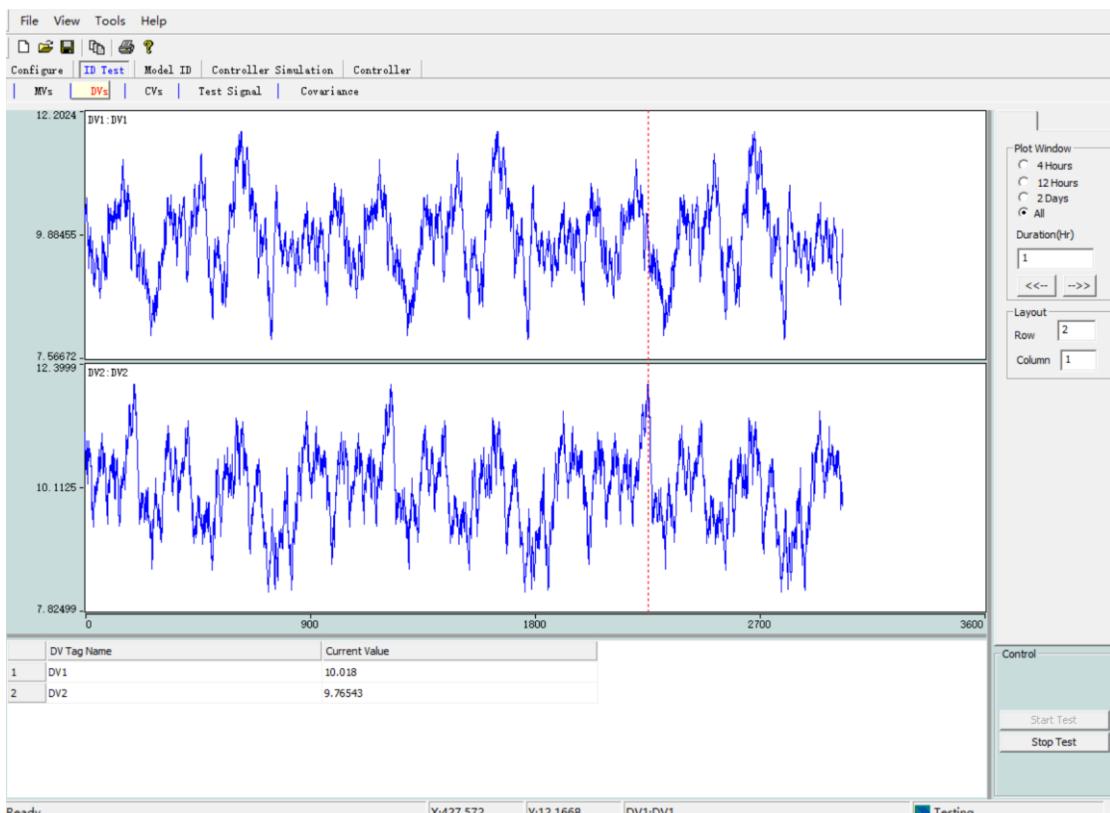
用鼠标点击 **实验→测试变量（TV）**，切换到如下图所示测试变量（TV）窗口：



TV 页面的所有内容与 MV 页面基本一致，请参照前一小节设置。

5.2.3 干扰变量 (DV) 窗口

用鼠标点击 **实验→干扰变量 (DV)**，切换到如下图所示干扰变量 (DV) 窗口：



图形显示命令（在窗口右侧）：

与 **实验→控制变量 (MV)** 中 MV 窗口的图形显示命令相同

行列区域:

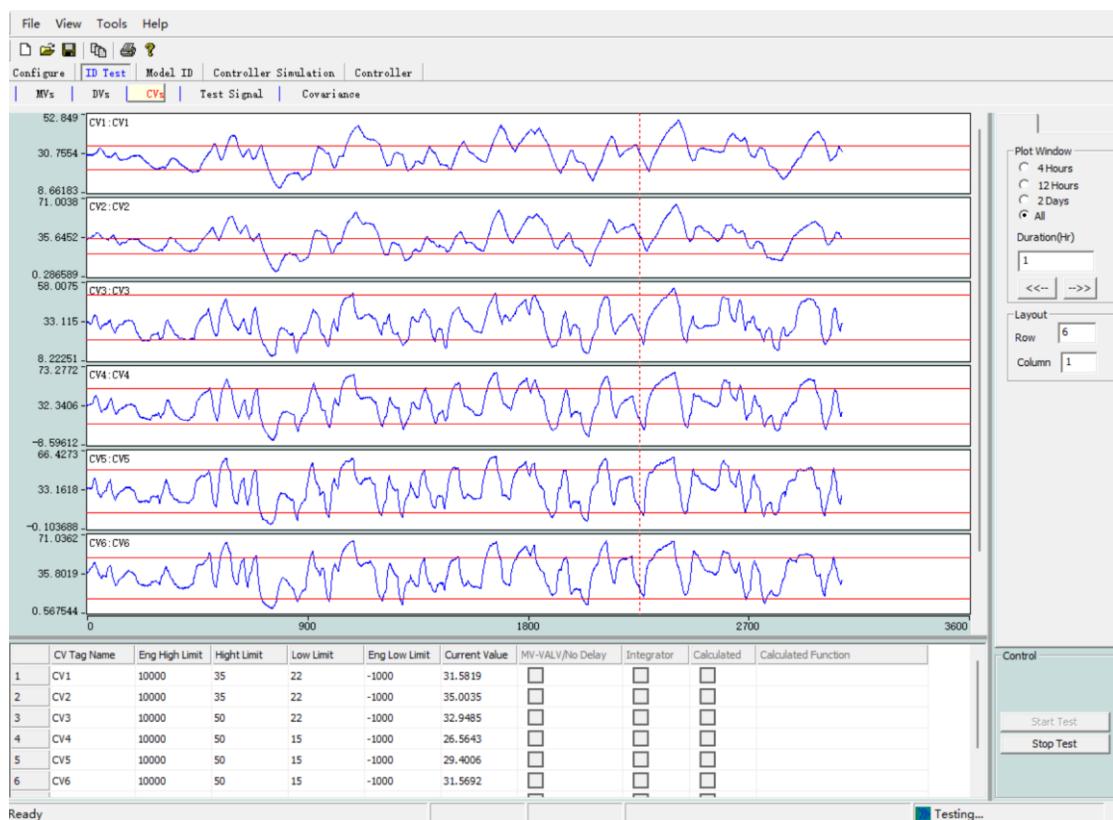
与实验→控制变量 (MV) 中 MV 窗口的行列区域相同

实验控制区域

开始实验按钮和停止实验按钮与 实验→控制变量 (MV) 中 MV 窗口的实验控制区域相同

5.2.4 被控变量 (CV) 窗口

用鼠标点击 实验→被控变量 (CV) , 切换到如下图所示被控变量 (CV) 窗口:



CV 趋势图

在 CV 的趋势图中, 蓝色线表示过去的信号, 橙色线表示依据实验信号给出的未来动作, 两条红色水平线表示 CV 的上限和下限。

CV 表格列的含义:

控制变量 (CV) 标签: 被制变量的 Tag;

工程上限: CV 的工程上限;

上限: CV 的期望上限;

下限: CV 的期望下限;

工程下限: CV 的工程下限;

当前值: CV 的当前值;

MV-VALV/无时延: 选中, 则 CV 对应的模型, 没有时延;



Tai-Ji Control

积分：选中，则 CV 为积分变量；

计算：选中，则使用公式来计算该被控变量的值；

计算公式：计算公式，选中“计算”列后，才有效。选中“计算”列后，用鼠标双击该列，弹出一个对话框，允许输入和验证计算公式。

图形显示命令（在窗口右侧）：

与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的图形显示命令相同。

行列区域：

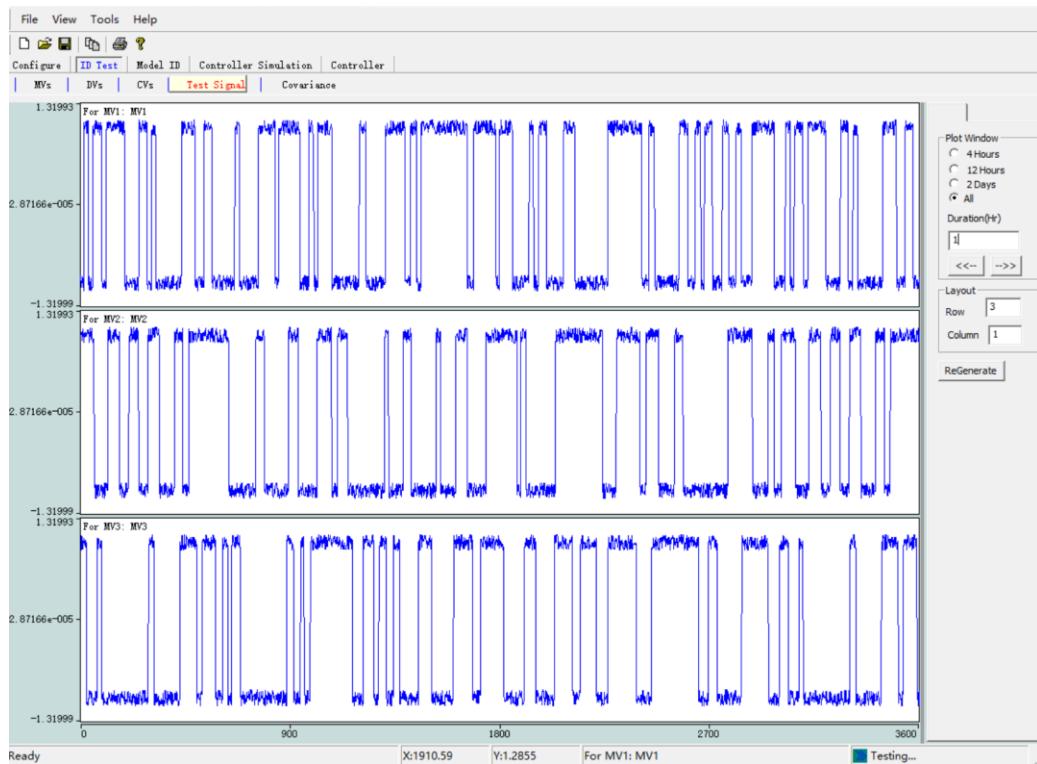
与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的行列区域相同。

实验控制区域：

开始实验按钮和停止实验按钮与 实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的实验控制区域相同。

5.2.5 实验信号窗口

用鼠标点击 实验→实验信号，切换到如下图所示实验信号窗口：



图形显示命令（在窗口右侧）：

与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的图形显示命令相同。

行列区域：

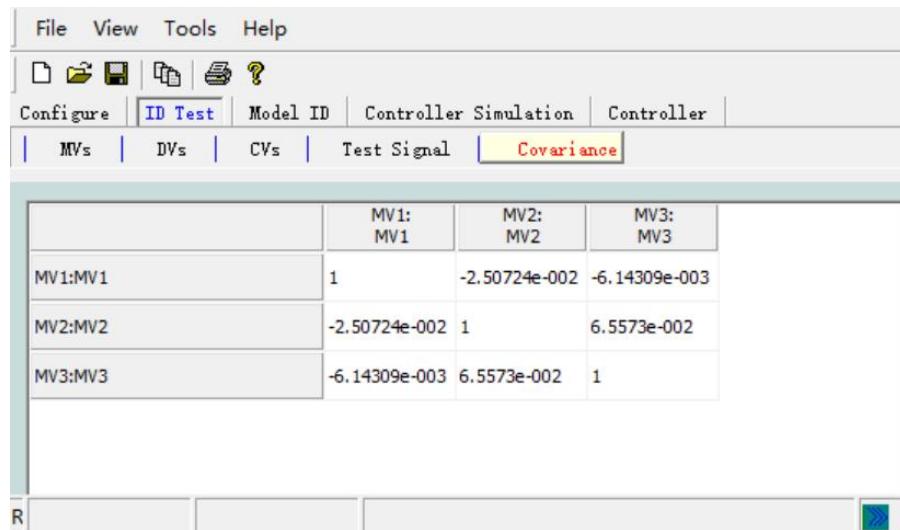
与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的行列区域相同。

ReGenerate 按钮

按下按钮会重新生成实验信号，该信号是随机生成的，因此每次重新生成的实验信号都将不同，但是信号的评价切换时间是不变的。在实验的时候，如果没有实验信号，Tai-Ji MPC 将自动产生实验信号，因此用户可以完全不理睬该按钮。

5.2.6 实验信号协方差

用鼠标点击 **实验→实验信号协方差**，切换到如下图所示**实验信号协方差**窗口，这里显示了实验信号的协方差矩阵：



The screenshot shows a software interface titled 'Experiment Signal Covariance'. The menu bar includes File, View, Tools, and Help. The toolbar has icons for Open, Save, Print, and Help. The top navigation bar includes Configure, ID Test (selected), Model ID, Controller Simulation, and Controller. Below this is a sub-navigation bar with tabs for MVs, DVs, CVs, Test Signal, and Covariance (selected). The main area displays a 3x3 covariance matrix:

	MV1: MV1	MV2: MV2	MV3: MV3
MV1:MV1	1	-2.50724e-002	-6.14309e-003
MV2:MV2	-2.50724e-002	1	6.5573e-002
MV3:MV3	-6.14309e-003	6.5573e-002	1

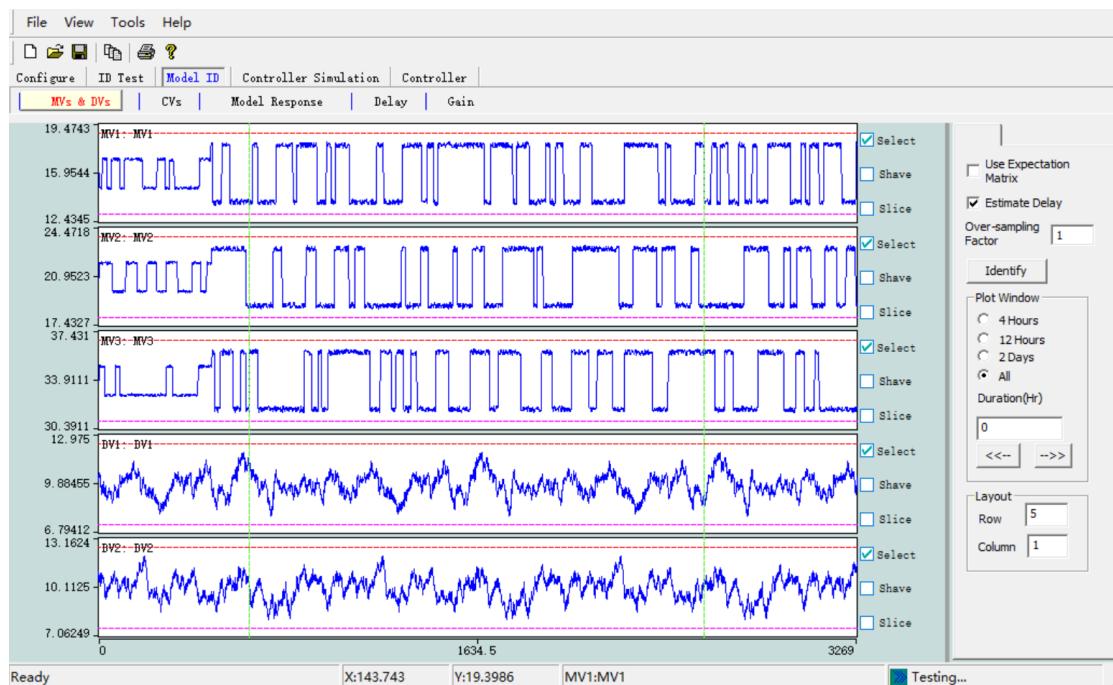
5.3 模型辨识模块

模型辨识模块进行模型辨识、展示辨识得到的模型、向控制器仿真模块和控制器模块载入模型等功能，模型辨识模块包含如下所示 5 个窗口：

MVs & DVs	CVs	Model Response	Delay	Gain
-----------	-----	----------------	-------	------

5.3.1 控制变量 (MV) 及干扰变量 (DV) 窗口

用鼠标点击 **辨识** → **控制变量 (MV) 及干扰变量 (DV)**，切换到如下图所示**控制变量 (MV) 及干扰变量 (DV) 窗口**。在模型辨识模块，MV 和 DV 被放在同一窗口内，这是因为 DV 与 MV 被认为起相同的作用，都是生产过程的输入。



MV 与 DV 趋势图

显示在辨识模块中产生的 MV 和 DV 信号的趋势图

MV 操作命令

Select: 选中，则辨识的使用使用该 MV，否则，不使用该 MV；

Shave: 如果进行过 Shave 操作，则自动选中，不选中，则取消 Shave；

Slice: 如果进行过 Slice 操作，则自动选中，不选中，则取消 Slice。

如何 Shave (限制信号的最大、最小值)： 在趋势图上拖动上面的红色水平虚线，改变最大值，拖动下面的红色水平虚线，改变最小值。

如何 Slice (剪切掉信号的某些片断) : 1) 用鼠标双击趋势图中垂直的绿色虚线, 可以增加信号片断; 移动这些虚线到你想剪切的位置。2) 在趋势图中双击鼠标 (鼠标位置不在任何虚线条上), 对应的信号片断颜色改变了, 则表明剪切成功, 该信号片断将不会被使用。3) 所有 MV 信号 MV 的剪切都相同, 这些对所有 MV 信号都起作用。4) 对 MV 信号的剪切会自动映射到所有 CV 信号中, 进行同样的剪切, 也可在**辨识→被控变量 (CV)** 窗口对 CV 信号进行进一步的剪切。

Use expectation matrix

当选中时, 模型辨识会排除与期望矩阵中 No 元素对应的空模型, 这样做的好处会减少计算时间并提供模型的准确度; 当 **Use expectation matrix** 不被选中时, 会辨识出所有的模型。

Auto estimate delay

当选中时, 模型辨识会自动辨识并使用模型的延迟; 当未被选中时, 模型辨识会使用 **Delay Window** 中的延迟。

Identify 按钮

开始模型辨识是非常简单的, 点击 Identify 按钮即可自动进行, 如果“Auto estimate delay”被选中时, 用户会随后看到一个等待条显示“Estimate delay...”, 然后是另一个等待条显示“Identify model...”, 当模型辨识的计算结束时, 辨识得到的模型会在**辨识→模型**窗口展示出来。

注意: 辨识的结果不会立即影响 MPC 控制器, 除非用户在 **配置 → 一般** 窗口中选中了“**控制的时候, 自动使用最新的辨识模型**”。

图形显示命令 (在窗口右侧) :

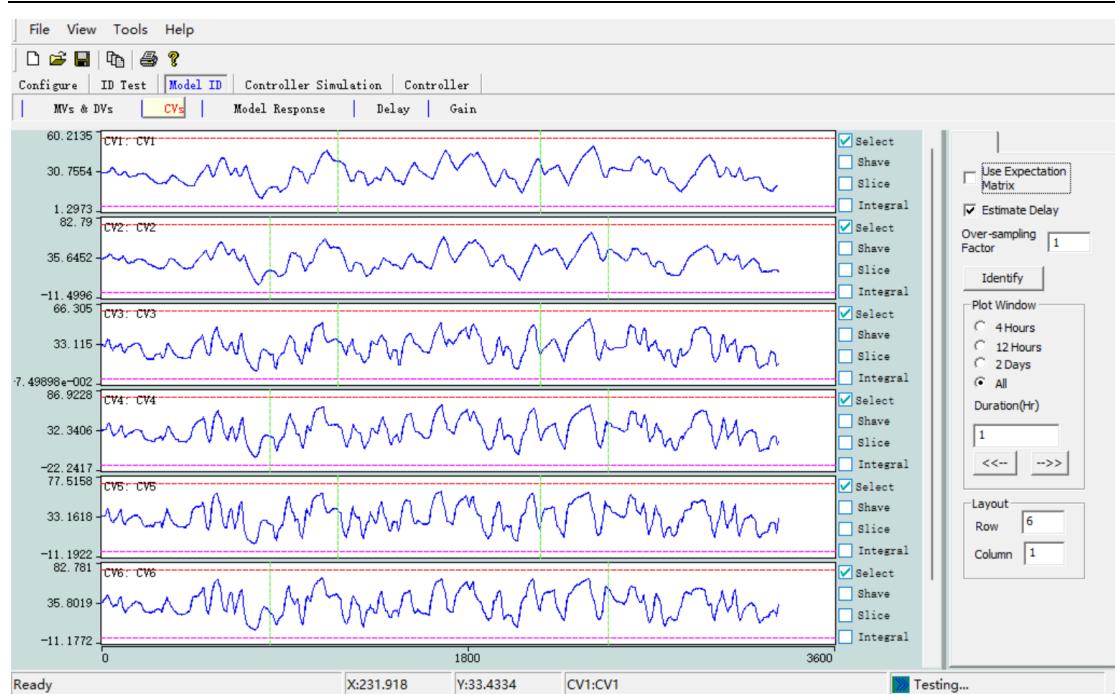
与**实验→控制变量 (MV)** 中 MV 窗口的图形显示命令相同。

行列区域:

与**实验→控制变量 (MV)** 中 MV 窗口的行列区域相同。

5.3.2 被控变量 (CV) 窗口

用鼠标点击 **辨识→被控变量 (CV)**, 切换到如下图所示**被控变量 (CV)** 窗口:



CV 趋势图

显示在辨识模块中产生的 CV 信号的趋势图。

CV 操作命令:

Select: 选中，则辨识的使用使用该 MV，否则，不使用该 MV;

Shave: 如果进行过 Shave 操作，则自动选中，不选中，则取消 Shave;

Slice: 如果进行过 Slice 操作，则自动选中，不选中，则取消 Slice;

Integral: 选中为积分，否则不是积分。

如何 Shave (限制信号的最大、最小值) : 在趋势图上拖动上面的红色水平虚线，改变最大值，拖动下面的红色水平虚线，改变最小值。

如何 Slice (剪切掉信号的某些片断) : 1) 用鼠标双击趋势图中垂直的绿色虚线，可以增加信号片断；移动这些虚线到你想剪切的位置。2) 在趋势图中双击鼠标（鼠标位置不在任何虚线条上），对应的信号片断颜色改变了，则表明剪切成功，该信号片断将不会被使用。3) 每个 CV 信号的剪切单独进行，可以不相同。

Use expectation matrix

与辨识→控制变量 (MV) 及干扰变量 (DV) 窗口相同。

Auto estimate delay

与辨识→控制变量 (MV) 及干扰变量 (DV) 窗口相同。



Identify 按钮

与辨识→控制变量（MV）及干扰变量（DV）窗口相同。

图形显示命令（在窗口右侧）：

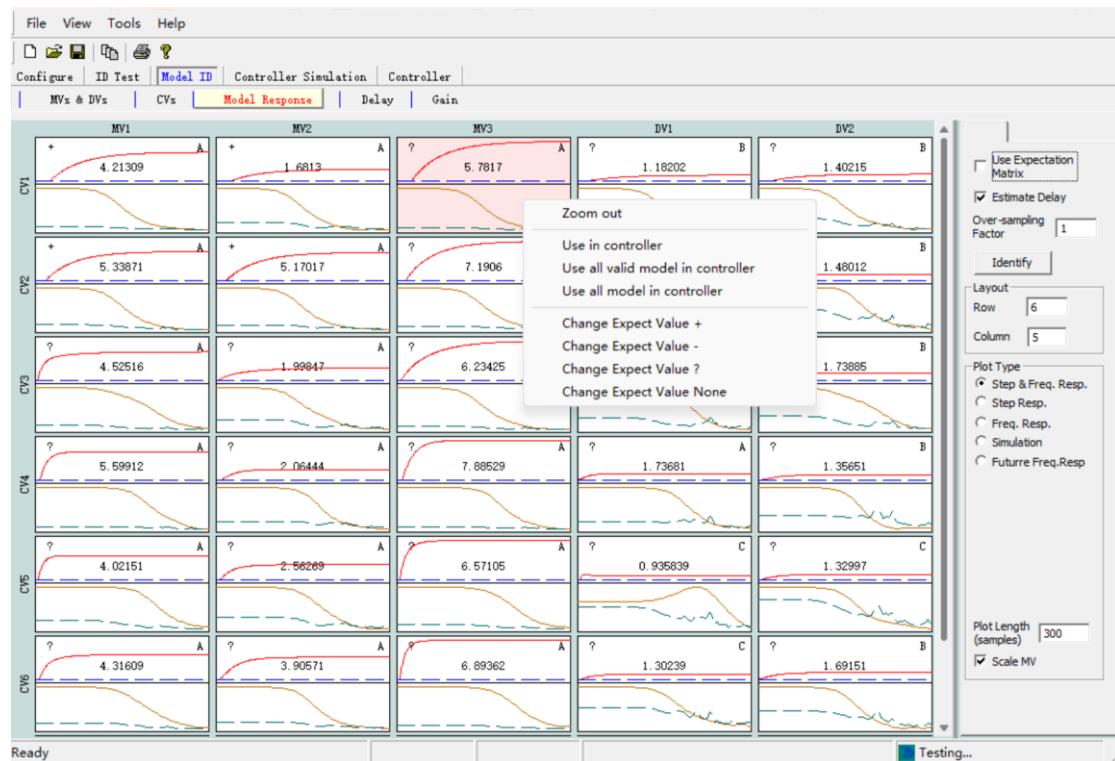
与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的图形显示命令相同。

行列区域：

与实验→控制变量（MV）中 MV 窗口的行列区域相同。

5.3.3 模型窗口

点击 辨识→模型 打开如下所示窗口，这里包含模型阶跃响应窗口、（带有误差上界的）频率响应窗口、模型仿真窗口和未来频率响应窗口等若干个窗口。阶跃响应和频率响应也可在同一窗口内展示，这些窗口可通过 Plot type 区域的按钮来选择显示。用鼠标点击 辨识→模型，切换到如下图所示：



每个阶跃响应图或频率响应图还显示了其它信息以辅助模型检验和模型选择，图形的左上角显示了期望矩阵中的相应数值(+, -, ? or No)，图形中央的数值是模型的增益，图形右上角是模型的品质等级 A (优)、B (良)、C (中) 和 D (差或无模型)。一般情况下，如果模型的品质等级是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致时，则选择该模型并在控制器中使用。

模型的选择方法如下：

-
- 如果为控制器选择某个模型，在该模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use in controller**”，那么该模型就会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。
 - 如果为控制器选择全部合适的模型，在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use all valid models in controller**”，那么模型品质是 A、B 或 C 同时模型增益的正负与期望矩阵一致的全部模型会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。
 - 如果不考虑期望矩阵而为控制器选择品质为 D 的模型在内的全部模型，在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Use all models in controller**”，那么全部模型会被载入**在线控制器**模块和**仿真控制器**模块。

根据辨识的结果，用户可修改期望矩阵：在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Change expect value**”，那么可修改相应模型的期望值(+, -, ? or No) .

在模型图上点击鼠标右键然后选择“**Zoom out**” ，那么窗口会显示全部模型的响应曲线。

点击 **Simulation** 按钮会显示 CV 的测量值和估计值，见下图。CV 的 **ERROR%** 是估计误差的标准差与 CV 的标准差的比值，经验表明良好的辨识结果对应的 **ERROR%** 一般在 1% 至 40% 之间。

Use expectation matrix

与辨识→控制变量（MV）及干扰变量（DV）窗口相同。

Auto estimate delay

与辨识→控制变量（MV）及干扰变量（DV）窗口相同。

Identify 按钮

与辨识→控制变量（MV）及干扰变量（DV）窗口相同。

行列区域：

CVs: 模型响应曲线中显示的 CV 个数。

MVs: 模型响应曲线中显示的 MV 个数。

模型不同显示方式（在窗口右侧）：

阶跃和频率响应: 同时显示模型阶跃和频率响应；

阶跃响应: 仅显示模型阶跃响应；

频率响应: 模型阶跃频率响应；

仿真: CV 的仿真曲线；

未来频率响应: 实验的时候，未来一段时间后模型频率响应，用来改进实验；

曲线长度: 显示模型阶跃和频率响应的长度；

按比例缩放 MV: 选中，则显示模型归一化的阶跃和频率响应；

Zoom in: 在图形中，按住鼠标左键，移动鼠标，可以选择需要放大显示的模型区域；

注意：如果模型质量为 A、B、C，但是增益的符号与期望矩阵的符号不符合，则一定要慎重，应该重新审查对应 MV (DV) 和 CV 的关系。

下面简单叙述本程序是如何管理模型的：

系统目前使用了 3 个模型矩阵：

初始模型：如果在使用本程序前，就有模型了，可以按照规定格式导入；

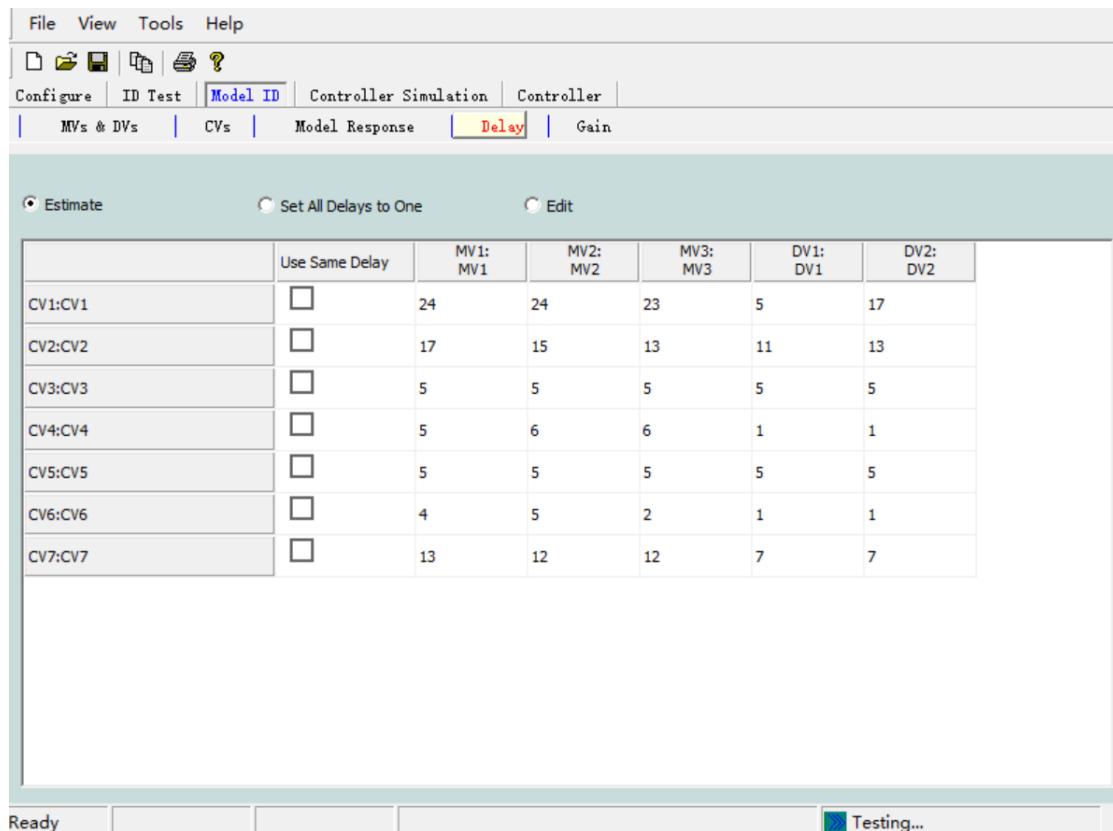
辨识模型：程序最后一次启动辨识，得到的模型；

控制模型：控制器使用的模型（仿真控制器和在线控制器使用相同的模型）。

一般情况下，辨识的结果不影响控制模型，除非用户设置了“**控制的时候，自动使用最新的辨识模型**”。用户在**辨识→模型**窗口中（不包括 **CV 仿真窗口**），单击鼠标右键弹出菜单，通过菜单命令，可以将辨识模型放到控制模型中；用户也可以在**仿真控制器→模型**窗口，或者**在线控制器→模型**窗口中，对控制模型进行操作。

5.3.4 时延窗口

用鼠标点击 **辨识→时延**，切换到如下图所示时延窗口：



估计时延：

选中，则立即计算时延，并且每次辨识前，都自动估算时延。

设置所有时延为 1：

选中，则立即设置所有时延为 1。

用户指定：

选中，则辨识的时候，使用用户定义的时延。

Use Same Delay Box

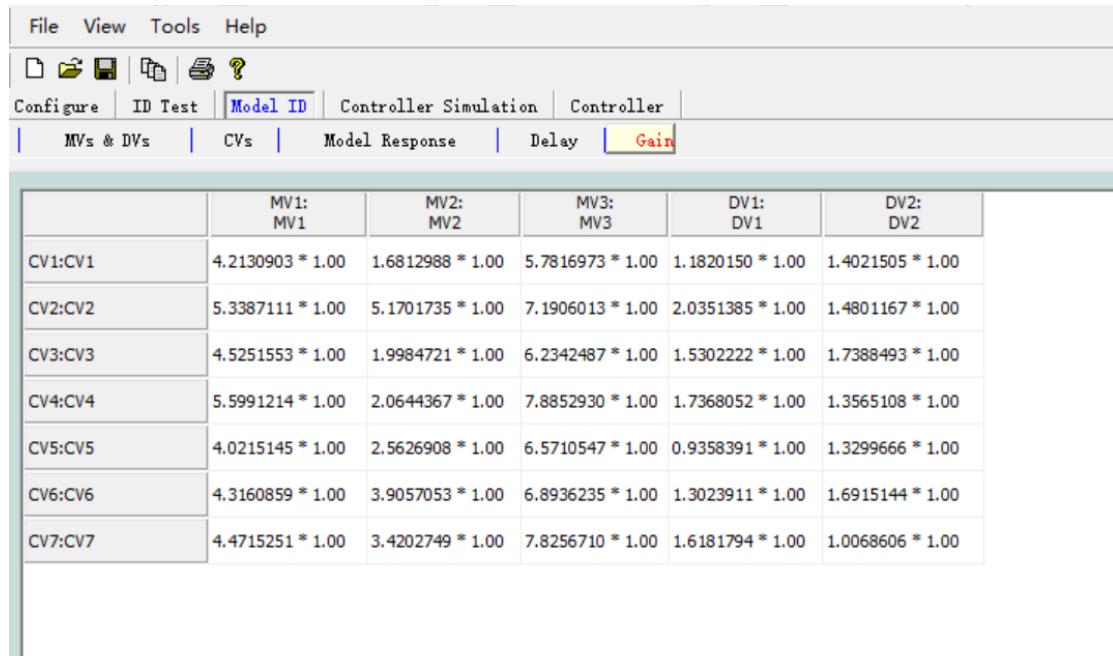
如果用户选中某个 CV 并定义其时延，则与该 CV 相关的全部时延都将采用用户定义的时延作为通用时延。

用户也可编辑延迟矩阵。大多数 CV 的默认延迟是 1，而在 **Configure→CV Window** 中标记为“MV-VALVE/No delay”的 CV 的延迟是 0。

注意：如果选中菜单“工具栏”——>“转置 MV、CV 模型”，则表格行列颠倒，用户可以选择自己习惯的方式来查看 MV、CV 矩阵。

5.3.5 增益窗口

用鼠标点击 **辨识→增益**，切换到如下图所示增益窗口：



The screenshot shows a software interface titled "Gain" under the "Model Response" tab. The window has a menu bar with File, View, Tools, Help. Below the menu is a toolbar with icons for Open, Save, Print, and Help. The main area contains a table with 7 rows and 6 columns. The columns are labeled MV1: MV1, MV2: MV2, MV3: MV3, DV1: DV1, DV2: DV2, and Gain. The rows are labeled CV1:CV1, CV2:CV2, CV3:CV3, CV4:CV4, CV5:CV5, CV6:CV6, and CV7:CV7. Each cell in the table contains a mathematical expression representing a gain value.

	MV1: MV1	MV2: MV2	MV3: MV3	DV1: DV1	DV2: DV2
CV1:CV1	4.2130903 * 1.00	1.6812988 * 1.00	5.7816973 * 1.00	1.1820150 * 1.00	1.4021505 * 1.00
CV2:CV2	5.3387111 * 1.00	5.1701735 * 1.00	7.1906013 * 1.00	2.0351385 * 1.00	1.4801167 * 1.00
CV3:CV3	4.5251553 * 1.00	1.9984721 * 1.00	6.2342487 * 1.00	1.5302222 * 1.00	1.7388493 * 1.00
CV4:CV4	5.5991214 * 1.00	2.0644367 * 1.00	7.8852930 * 1.00	1.7368052 * 1.00	1.3565108 * 1.00
CV5:CV5	4.0215145 * 1.00	2.5626908 * 1.00	6.5710547 * 1.00	0.9358391 * 1.00	1.3299666 * 1.00
CV6:CV6	4.3160859 * 1.00	3.9057053 * 1.00	6.8936235 * 1.00	1.3023911 * 1.00	1.6915144 * 1.00
CV7:CV7	4.4715251 * 1.00	3.4202749 * 1.00	7.8256710 * 1.00	1.6181794 * 1.00	1.0068606 * 1.00

矩阵显示了辨识模型中 CV 与 MV 之间的增益信息，用户不能编辑修改，但控制器模型的增益可做修改，详见下一节。

注意：如果选中菜单“工具栏”——>“转置 MV、CV 模型”，则表格行列转置，用户可以选择自己习惯的方式来查看 MV、CV 矩阵

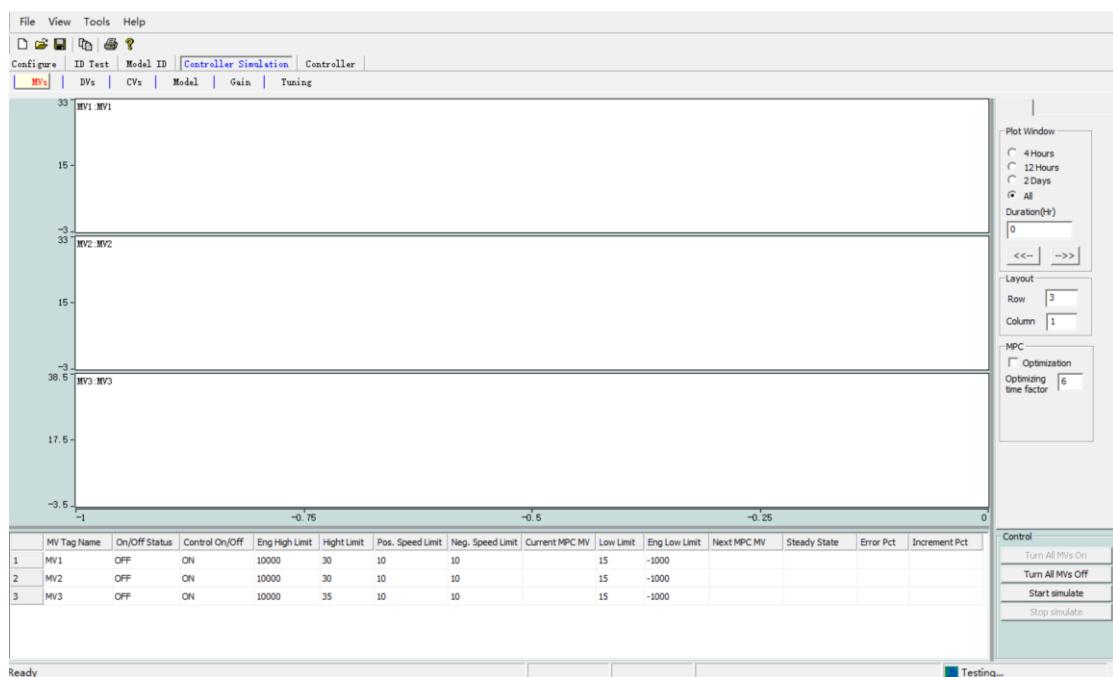
5.4 仿真控制器模块

仿真控制器模块使用模型辨识模块得到的控制器模型(或从其它平台导入的模型)进行 MPC 仿真，仿真控制器模块包含如下 6 个窗口：

MVs	DVs	CVs	EVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-----	-------	------	--------

5.4.1 控制变量 (MV) 窗口

用鼠标点击 **仿真控制器**→**控制变量 (MV)**，切换到如下图所示控制变量 (MV) 窗口：



该页面内容与**在线控制器**→**控制变量 (MV)** 非常相似，参见**在线控制器**→**控制变量 (MV)** 内容。

5.4.2 干扰变量 (DV) 窗口

在**仿真控制器**模块，DV 一直保持为零，不在仿真中起作用。干扰变量 (DV) 窗口会稍后在控制器模块中介绍。

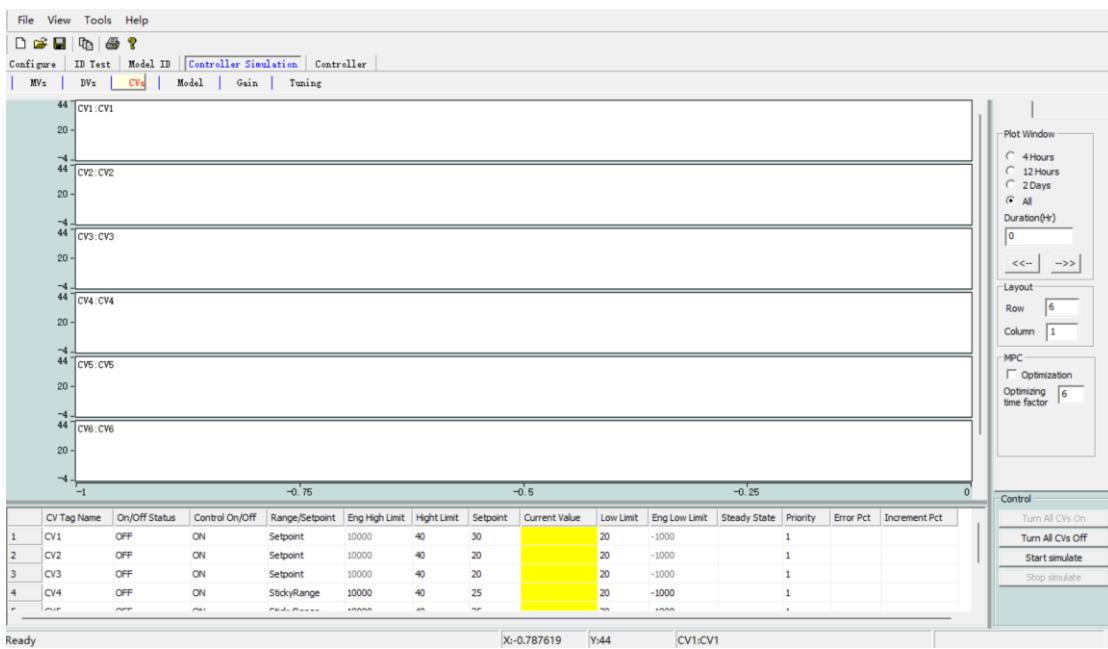
5.4.3 被控变量 (CV) 窗口

用鼠标点击 **仿真控制器**→**被控变量 (CV)**，切换到如下图所示被控变量 (CV) 窗口。请按



Tai-Ji Control

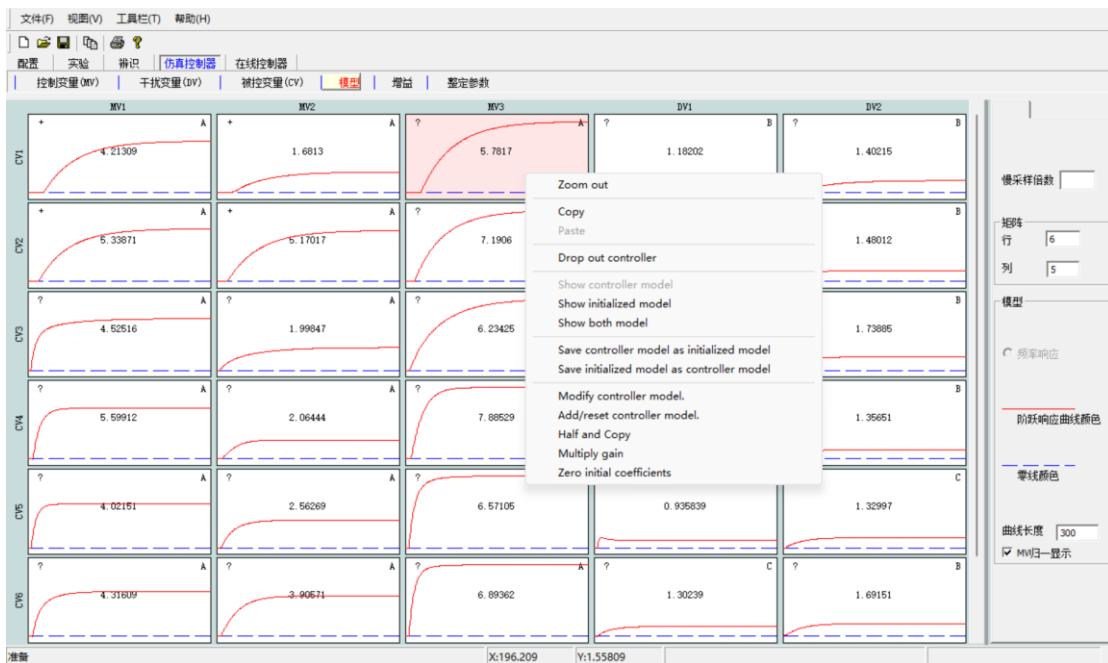
照图中数值设置 CV 的上限和下限，仿真中 CV 的初值是 CV 上限和下限的平均值。



该页面内容与在线控制器→被控变量 (CV) 非常相似，参见在线控制器→被控变量 (CV) 内容。

5.4.4 模型窗口

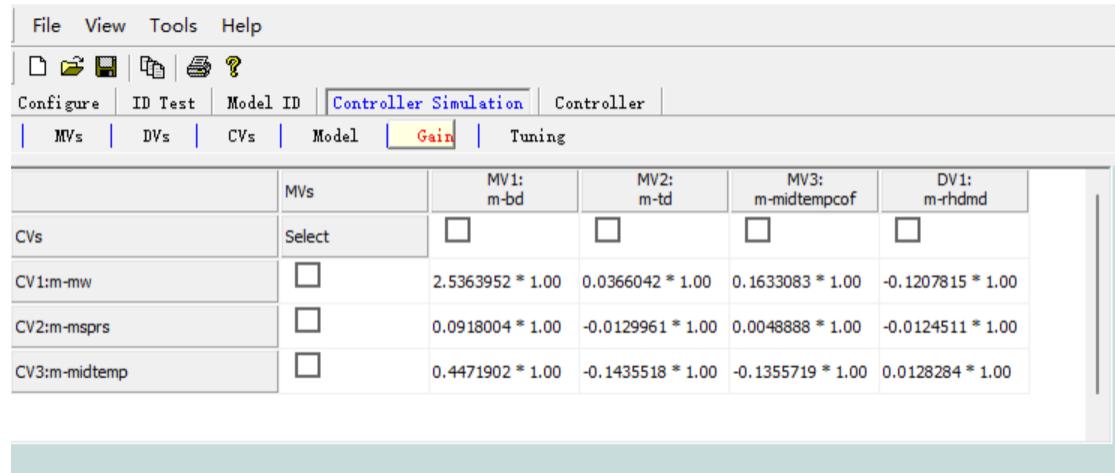
用鼠标点击 仿真控制器→模型，切换到如下图所示模型窗口：



该页面内容与在线控制器→模型非常相似，参见在线控制器→模型内容。

5.4.5 增益窗口

用鼠标点击 **仿真控制器**→**增益**, 切换到如下图所示增益窗口:



该页面内容与[在线控制器→增益](#)非常相似, 参见[在线控制器→增益](#)内容。

5.4.6 Tuning 窗口

用鼠标点击 **仿真控制器**→**Tuning**, 切换到如下图所示 Tuning 窗口:



该页面内容与[在线控制器→整定参数](#)非常相似, 参见[在线控制器→整定参数](#)内容。

Use parameters in controller Button

选中则将整定后的全部参数转入 Controller 模块。

仿真控制器模块和在线控制器模块的整定参数通常是不同的。在仿真中取得良好的控制器参数时，用户可点击 **Use parameters in controller** 按钮将整定参数转入在线控制器模块。

5.5 在线控制器模块

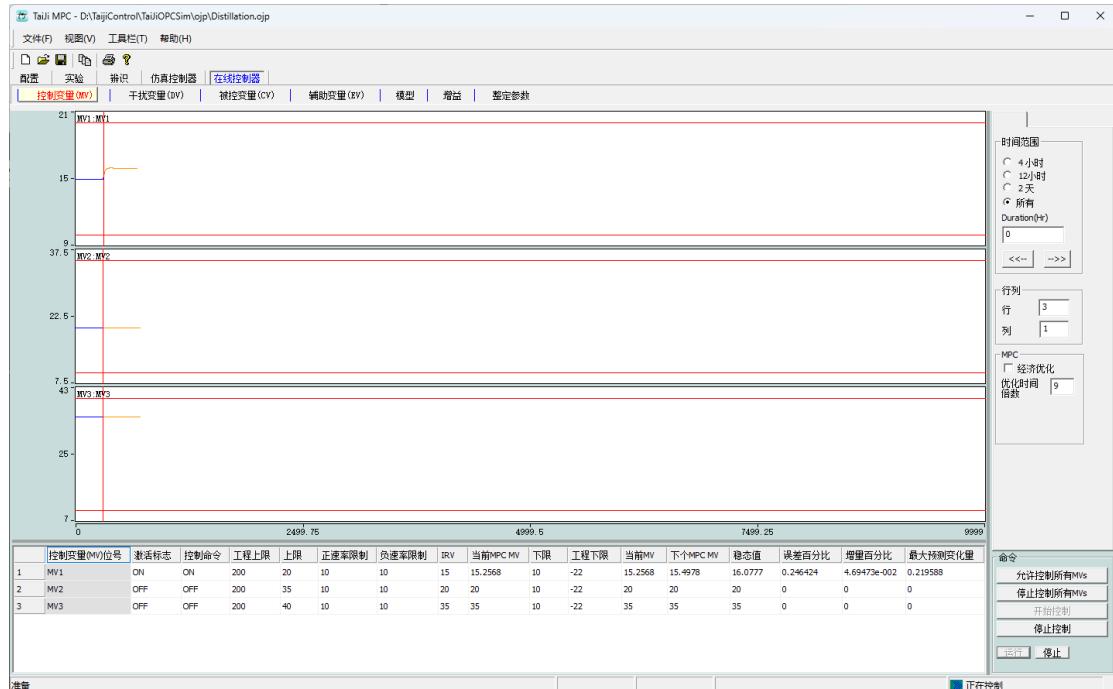
在线控制器模块使用模型辨识模块中辨识得到控制器模型进行在线控制，它包括如下所示 6 个窗口，这些窗口与仿真控制器模块的 6 个窗口基本相同。

MVs	DVs	CVs	Model	Gain	Tuning
-----	-----	-----	-------	------	--------

注意：在线控制器与仿真控制器使用相同的控制模型，但是使用不同的控制器参数。

5.5.1 控制变量（MV）窗口

用鼠标点击 **在线控制器**→**控制变量（MV）**，切换到如下图所示控制变量（MV）窗口：



图形显示操作（在窗口右侧）：

与 **实验**→**控制变量（MV）** 中 MV 窗口的图形显示命令相同。

行列区域：

与 **实验**→**控制变量（MV）** 中 MV 窗口的行列区域相同。

MPC 控制器:

经济优化: 选上时, 控制器启动经济优化程序; 否则只进行动态控制。

优化时间倍数: 经济优化的速度, 较大的数值表示优化速度较慢, 如果取 1 则优化速度与动态控制的速度相同, 推荐优化速度为 3 到 6。

控制命令:

允许控制所有 MV: 按下后, 允许在线控制器使用的 MV。

停止控制所有 MV: 按下后, 禁止在线控制器使用任何 MV。

开始控制: 按下后, 开始在线控制。

停止控制: 按下后, 停止在线控制。

运行: 按下后, 允许控制器写出。

停止: 按下后, 不允许控制器写出。

MV 表格列的含义:

控制变量 (MV) 标签: 控制变量的 TagName;

激活标志: OFF, 在线控制器没有使用该 MV 或者有故障;

ON, 在线控制器在使用该 MV;

控制命令: OFF, 在线控制器不使用该 MV;

ON, 在线控制器使用该 MV;

正常情况下与激活标志值一样 (可能相差一个采样周期);

工程上限: MV 的工程上限, 不读取高于工程上限的值;

上限: MV 的上限;

正速率限制: MV 一个采样周期正增量的上限;

负速率限制: MV 一个采样周期负增量的上限;

IRV: MV 理想停留值 (需要启用经济优化和该 MV 的二次规划);

当前值 MPC MV: 控制器当前用来计算的 MV 值;

下限: MV 的下限;

工程下限: MV 的工程下限, 不读取低于工程下限的值;

当前 MV: 控制器实际输出 MV 值;

下个 MPC MV: 控制器预测的下个时刻 MV 值;

稳态值: 预测的系统稳态时 MV 的取值, MPC 控制器计算值;

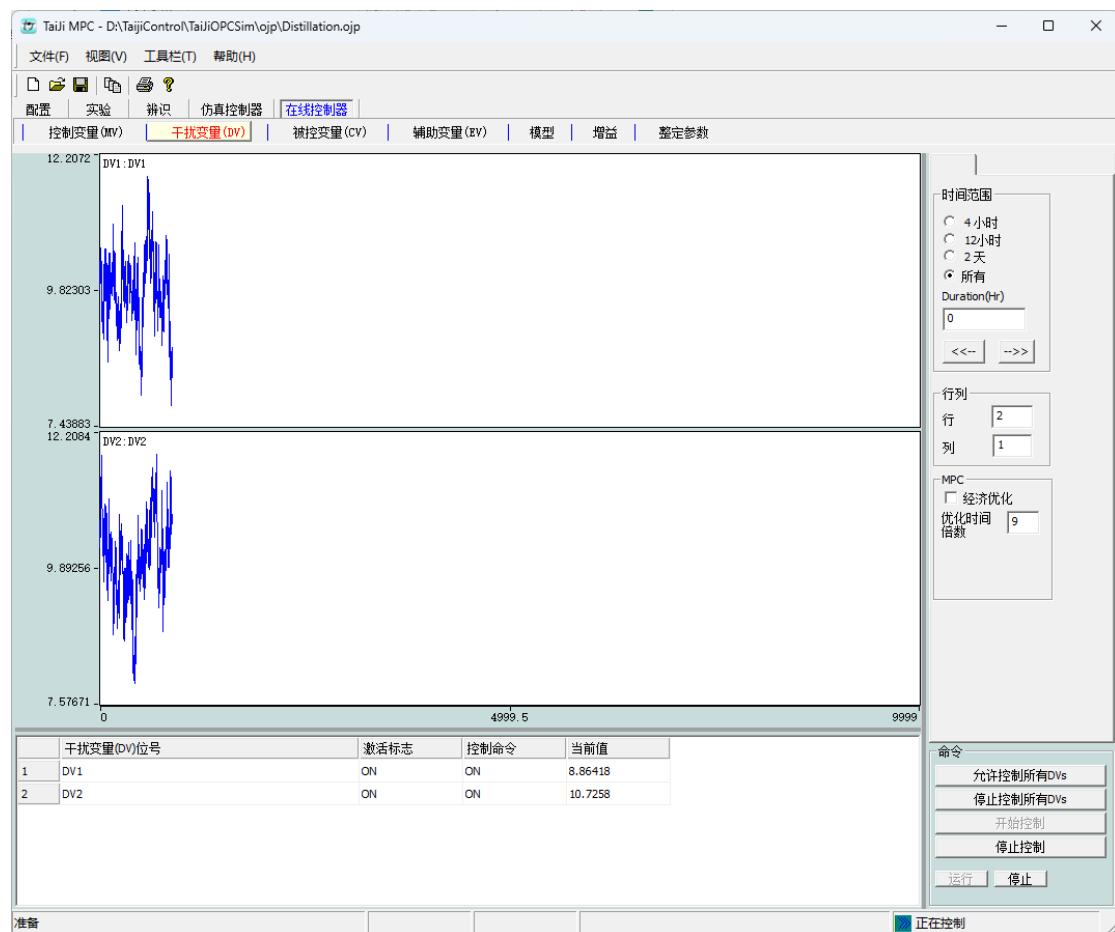
误差百分比: MV 误差加权项占总损失函数的百分比;

增量百分比: MV 增量加权项占总损失函数的百分比;

最大预测变化量: MV 预测序列中变化量最大的值。

5.5.2 干扰变量 (DV) 窗口

用鼠标点击 在线控制器 → 干扰变量 (DV), 切换到如下图所示干扰变量 (DV) 窗口:



右侧窗口:

与在线控制器→控制变量 (MV) 中的右侧窗口相同 (类似)。

控制命令:

允许控制所有DV: 按下后, 允许在线控制器使用的 DV。

停止控制所有DV: 按下后, 禁止在线控制器使用任何 DV。

DV 表格列的含义:

干扰变量 (DV) 标签: 干扰变量的 Tag。

激活标志: OFF, 在线控制器没有使用该 DV 或者有故障;

ON, 在线控制器在使用该 DV。

控制命令: OFF, 在线控制器不使用该 DV;

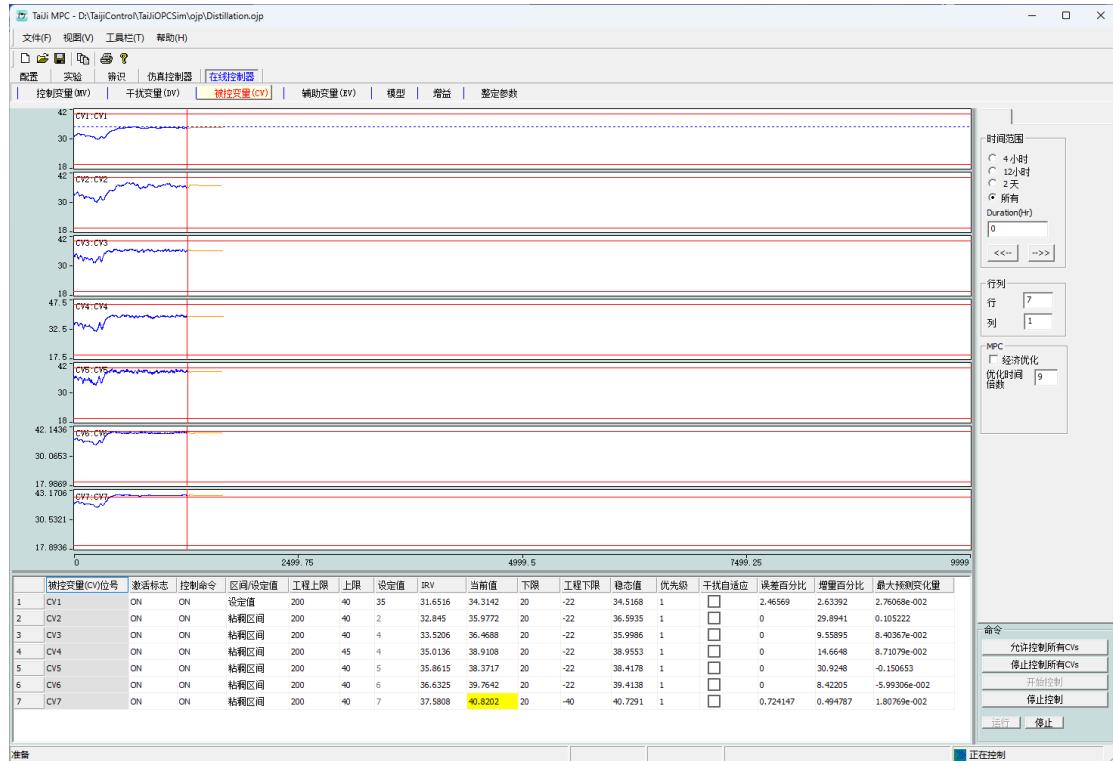
ON, 在线控制器使用该 DV 进行前馈控制。

正常情况下与激活标志值一样 (可能相差一个采样周期)。

当前值: DV 的当前值。

5.5.3 被控变量 (CV) 窗口

用鼠标点击 在线控制器→被控变量 (CV) , 切换到如下图所示被控变量 (CV) 窗口:



右侧窗口:

与在线控制器→控制变量 (MV) 中的右侧窗口相同 (类似)。

控制命令:

允许控制所有 CV: 按下后, 允许在线控制器使用的 CV。

停止控制所有 CV: 按下后, 禁止在线控制器使用任何 CV。

CV 表格列的含义:

被控变量 (C V) 位号: 控制变量的 TagName;

激活标志: OFF, 在线控制器没有使用该 CV;

ON, 在线控制器在使用该 CV;

控制命令: OFF, 在线控制器不使用该 CV;

ON, 在线控制器使用该 CV;

区间/给定值: CV 的控制方式。

选“设定值”时, MPC 将该 CV 控制到一个给定值。

选“粘稠区间”时, MPC 将该 CV 控制到上限与下限之间, CV 在区间内尽量保持稳定。

选“自由区间”时, MPC 将该 CV 控制到上限与下限之间, CV 在区间内尽量接近开环。

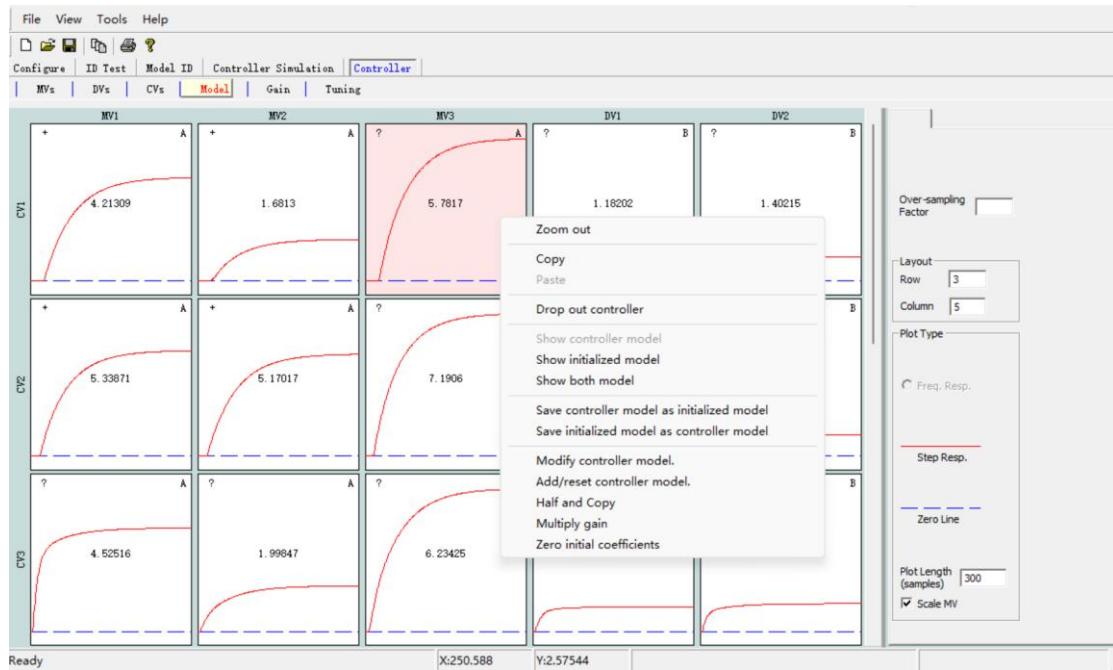


Tai-Ji Control

-
- 工程上限:** 该 CV 的工程上限，不读取高于工程上限的值；
上限: 该 CV 的上限；
设定值: 该 CV 的设定值；
IRV: 该 CV 的理想停留值（需要启用经济优化与该 CV 的二次规划）；
当前值: 该 CV 的当前值；
下限: 该 CV 的下限；
工程下限: CV 的工程下限，不读取低于工程下限的值；
稳态值: 由控制器计算出的该 CV 的稳态值；
优先级: 该 CV 的优先级。
取正整数时表示该 CV 为一般优先级变量，数值越小，优先级越高。当几个 CV 的控制发生冲突时，控制器将放弃优先级低的 CV，优先控制优先级高的 CV；
取 0 时表示该 CV 为特殊优先级变量，该 CV 的稳态值不经过 MPC 的稳态层计算，直接使用设定值/区间作为参考。
干扰自适应: 勾选后 MPC 将对该 CV 实施干扰自适应策略；
误差百分比: CV 误差加权项占总损失函数的百分比；
增量百分比: CV 增量加权项占总损失函数的百分比；
最大预测变化量: CV 预测序列中变化量最大的值。

5.5.4 模型窗口

用鼠标点击 在线控制器→模型，切换到如下图所示模型窗口：



每个阶跃响应图还显示了期望矩阵、模型的增益和模型的品质等级。图形的左上角显示了期望矩阵中的相应数值(+, -, ? or No)，图形中央的数值是模型的增益，图形右上角是模型的品质等级 A (优)、B (良)、C (中) 和 D (差或无模型)。在模型图上点击鼠标右键会呈现菜单栏，能够对模型进行复制/粘贴模型、修改模型、手动添加模型等若干操作。

注意：仿真控制器 和 在线控制器 下的控制模型是相同的，上述对模型的操作也同样影响 在线控制器 模块的模型。

行列区域：

CVs: 模型响应曲线中显示的 CV 个数。

MVs: 模型响应曲线中显示的 MV 个数。

模型不同显示方式：

曲线长度: 显示模型阶跃和频率响应的长度。

按比例缩放 MV: 选中，则显示模型归一化的阶跃和频率响应。

图形元素右键菜单：

Zoom out: 显示所有模型；如果模型太多，可能无法显示，并且图形中只有背景颜色，这时候，你需要将 **CV 数目** 和 **MV 数目** 设置为适当的值；

Copy: 复制模型；

Paste: 在当前位置粘贴模型;

Drop out controller: MPC 控制器（仿真和在线）不使用该模型;

Show controller model: 显示控制器模型;

Show old model: 显示初始模型（模型管理）;

Show both model: 同时显示控制器模型和初始模型;

Save controller model as old model: 将控制器模型作为初始模型，覆盖初始模型，操作是不可逆转的;

Save old model as controller model: 将初始模型作为控制器模型，覆盖控制器模型，操作是不可逆转的;

Modify controller model: 修改当前模型。选中后会弹出新窗口显示模型阶跃响应，用户可指定模型新的增益和过渡时间并检查修改后的模型;

Add/reset controller model: 选中后用户可手动添加一个一阶或二阶模型;

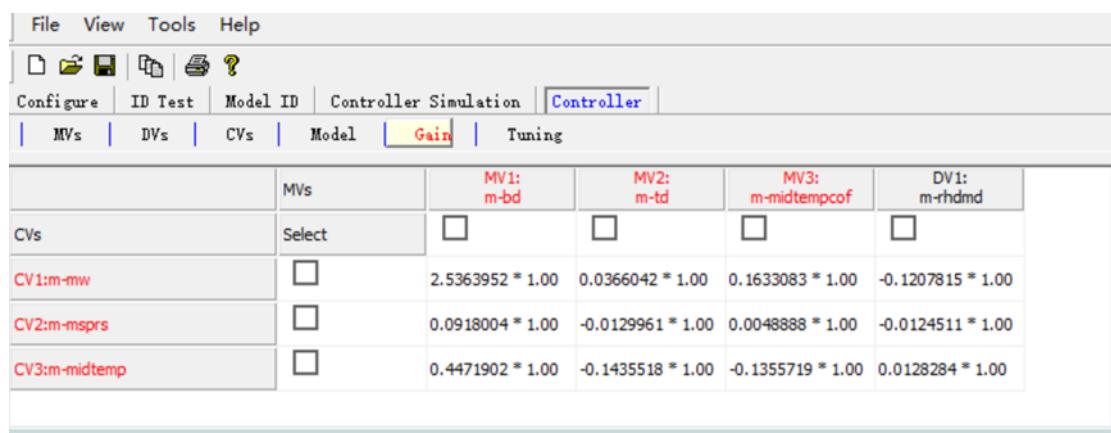
Half and Copy: 将当前模型分成两份模型（增益减半），复制到对应 MV 处;

Multiply gain: 将增益放大一定倍数;

Zero initial coefficients: 将模型中的某一段阶跃响应设置为一个不变的值。

5.5.5 增益窗口

用鼠标点击 在线控制器→增益，切换到如下图所示增益窗口：



增益窗口显示了模型的增益矩阵，用户可选择子系统并使用奇异值分解技术来分析该子系统的可控性。

在增益窗口选择两个 CV 和两个 MV，然后点击 **Calculate SV** 按钮（SV 表示矩阵的奇异值），这时会显示选中的 2×2 增益矩阵的奇异值和条件数（第一个奇异值与第二个奇异值的比值）。

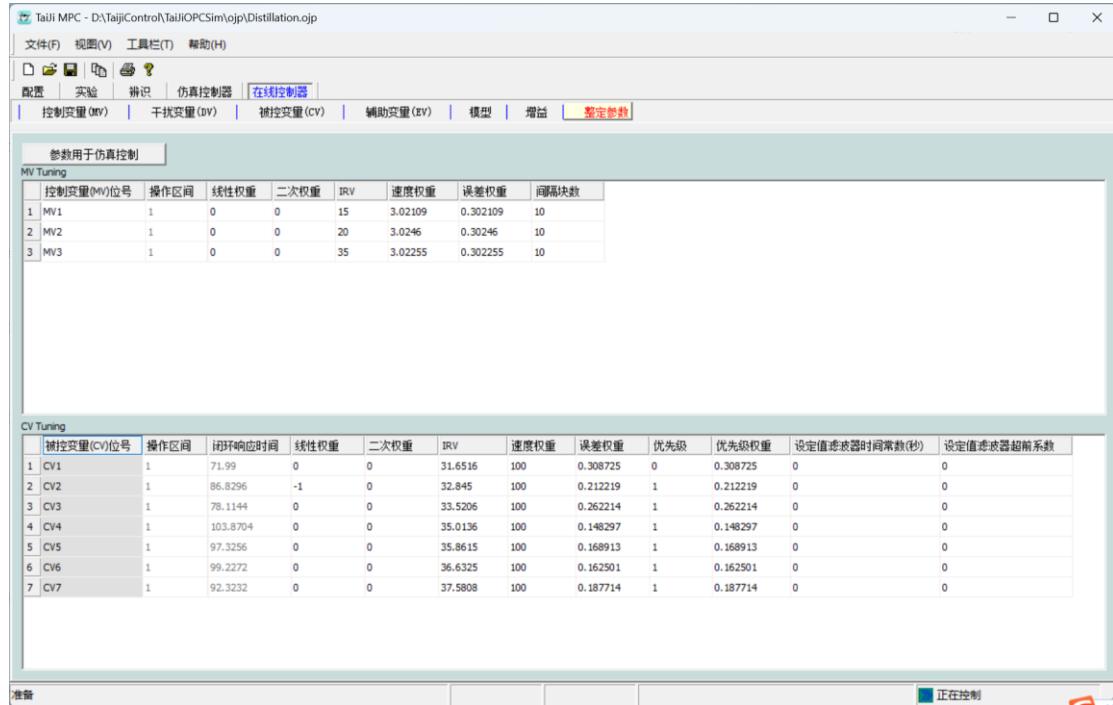
一般来说，如果条件数在 1 和 10 之间时，相应的 2×2 过程是容易控制的，如果条件数在 100 左右，则几乎无法控制该过程。

当两个 CV 之间的相互影响很强时，不应尝试单独控制它们，当对其中一个 CV 实现设定值控制或小区域控制时，需要降低对另一个 CV 的控制要求暨采用较大的区域控制。当两个 CV 都有较高的控制要求时，会导致非常大的 MV 动作，可能会干扰其它 CV，并可能因为模型误差导致不稳定性。

注意：可在**在线控制器→模型** 打开的模型窗口对增益进行修改。这里计算的是标准化的增益矩阵（这里没有展示）的奇异值，而不是原始增益矩阵的奇异值。

5.5.6 Tuning 窗口

用鼠标点击 在线控制器→ Tuning，切换到如下图所示 Tuning 窗口：



Use parameters in Simulation Button

选中则将整定后的全部参数转入 **Simulation** 模块。

MV 整定表格

控制变量 (MV) 标签: 控制变量的 TagName。

操作区间: MV 的操作区间（参见 7.3 变量归一化对参数整定的影响）。

IRV: MV 理想停留值（需要启用经济优化和该 MV 的二次规划）。

线性权重: 线性规划权重，经济优化参数，启用经济优化后有效。

该权重为正数时：MPC 将该 MV 的稳态值往下限优化。

该权重为负数时：MPC 将该 MV 的稳态值往上限优化。

二次权重: 二次规划权重，经济优化参数，数字越大越重要，启用经济优化后有效。

该权重为正数时：MPC 将该 MV 的稳态值往 IRV 优化。

速度 (增量) 权重: 动态控制参数，数字越大 MV 的动作越小（越大控制器越慢）。

误差权重: 动态控制参数，数字越大优化越强。

该权重为正数时：MV 将该 MV 的值往 MV 的稳态值上优化。

间隔块数: 动态控制中二次规划中未来 MV 样本点的个数，一般设为 10。

CV 整定表格

被控变量 (C V) 标签: 控制变量的 TagName。

操作区间: CV 的操作区间 (参见 7.3 变量归一化对参数整定的影响)。

闭环响应时间: 该 CV 的闭环响应时间, 使用时间单位是采样个数 (与 Tai-Ji MPC 3.x 不同)。用户不可修改。闭环响应时间越短, CV 的控制越快, 反之就越慢。在 CV 的误差权重与增量权重的共同作用下, CV 的等效闭环响应时间大致如下:

$$CV \text{闭环响应时间} \approx 4 \sqrt{\frac{\text{增量权重}}{\text{误差权重}}}$$

线性权重: 线性规划权重, 经济优化参数, 启用经济优化后有效。

该权重为正数时: MPC 将该 CV 的稳态值往下限优化。

该权重为负数时: MPC 将该 CV 的稳态值往上限优化。

二次权重: 二次规划权重, 经济优化参数, 数字越大越重要, 启用经济优化后有效。

该权重为正数时: MPC 将该 CV 的稳态值往 IRV 优化。

IRV: CV 理想停留值 (需要启用经济优化和该 CV 的二次规划)。

速度(增量)权重: 动态控制参数, 数字越大 CV 动作越平缓。

误差权重: 动态控制参数, 数字越大控制作用越大 (越大控制器越快)。

优先级: 该 CV 的优先级。

取正整数 1, 2, 3, ... 时表示该 CV 为一般优先级变量, 数值越小, 优先级越高。当几个 CV 的控制发生冲突时, 控制器将放弃优先级低的 CV, 优先控制优先级高的 CV;

取 0 时表示该 CV 为特殊优先级变量, 该 CV 的稳态值不经过 MPC 的稳态层计算, 直接使用设定值/区间作为参考。

优先级权重: 经济优化参数, 数字越大越重要。当 CV 的优先级一致时该权重越大越重要。

设定值滤波器时间常数(秒): 设定值滤波时间。见 7.4.2 设定值滤波器 (SPFilter)。

设定值滤波器超前系数: 设定值滤波器的超前系数。见 7.4.2 设定值滤波器 (SPFilter)。

在 Tai-Ji MPC 中, 动态控制的性能取决于下列整定参数:

- **CV 误差权重:** 增加 CV 误差权重会使控制算法对该 CV 给予更多的控制动作, 降低控制器的鲁棒性; 减少 CV 误差权重会对该 CV 的控制更松散但会提高控制器的鲁棒性
- **CV 增量权重:** 增加 CV 增量权重会使控制算法对该 CV 给予更多的平缓作用, 在一定程度上增加鲁棒性; 减小 CV 增量权重会使对该 CV 的控制更加松散, 有可能提高 CV 的控制速度, 但在一定程度上降低鲁棒性。注: CV 增量权重的设置从 Tai-Ji MPC 4.0 之后引入, 同时取消了 CV 闭环响应时间的设置。
- **CV 闭环响应时间:** 在 CV 误差权重与 CV 增量权重的共同作用下, 可推导出等效的 CV 闭环响应时间, 即 CV 大致沿等效的一阶响应轨迹到达稳态值。
- **MV 增量权重:** 增加 MV 增量权重会使控制算法减缓对该 MV 的控制动作, 提高控制器的鲁棒性; 减少 MV 增量权重会加速对该 MV 的控制但会降低控制器的鲁棒性。

5.6 在 NMPC 中使用 LPV 模型功能

Tai-ji MPC 5.2.40之后的版本包含使用线性多模型插值的功能，也称为NMPC，用户可能需要向泰极公司咨询是否开通此项功能。

LPV控制方案允许用户配置多组模型（如 G_1 , G_2 , G_3 ）和一个调度变量（ w ），调度变量用于表征运行的实时工况。有几个典型工况就对应几个工作点（如 w_1 , w_2 , w_3 ），每个工作点对应一个模型。NMPC总是使用以下公式将3个模型插值到一起：

$$G_{\text{CURRENT}} = \alpha_1(w)G_1 + \alpha_2(w)G_2 + \alpha_3(w)G_3$$

其中 $\alpha_1(w)$, $\alpha_2(w)$, $\alpha_3(w)$ 是各个工作点模型的权重，目前提供的插值方案为线性插值，即任意时刻只会只用两个模型。具体的插值方案如下：

$$\alpha_1(w) = \begin{cases} 1 & w < w_1 \\ \frac{w_2 - w}{w_2 - w_1} & w_1 \leq w \leq w_2 \\ 0 & w > w_2 \end{cases}$$

$$\alpha_2(w) = \begin{cases} 0 & w < w_1 \\ \frac{w - w_1}{w_2 - w_1} & w_1 \leq w \leq w_2 \\ \frac{w_3 - w}{w_3 - w_2} & w_2 < w \leq w_3 \\ 0 & w > w_3 \end{cases}$$

$$\alpha_3(w) = \begin{cases} 0 & w < w_2 \\ \frac{w - w_2}{w_3 - w_2} & w_2 \leq w \leq w_3 \\ 1 & w > w_3 \end{cases}$$

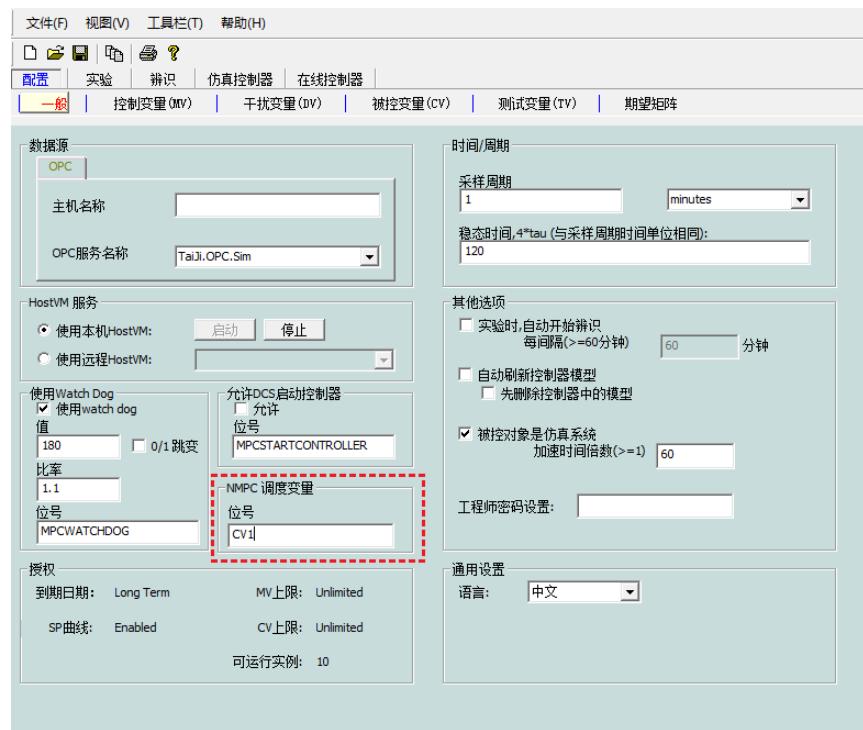
若要在MPC中使用LPV算法，需要在视图界面中勾选LPV视图。



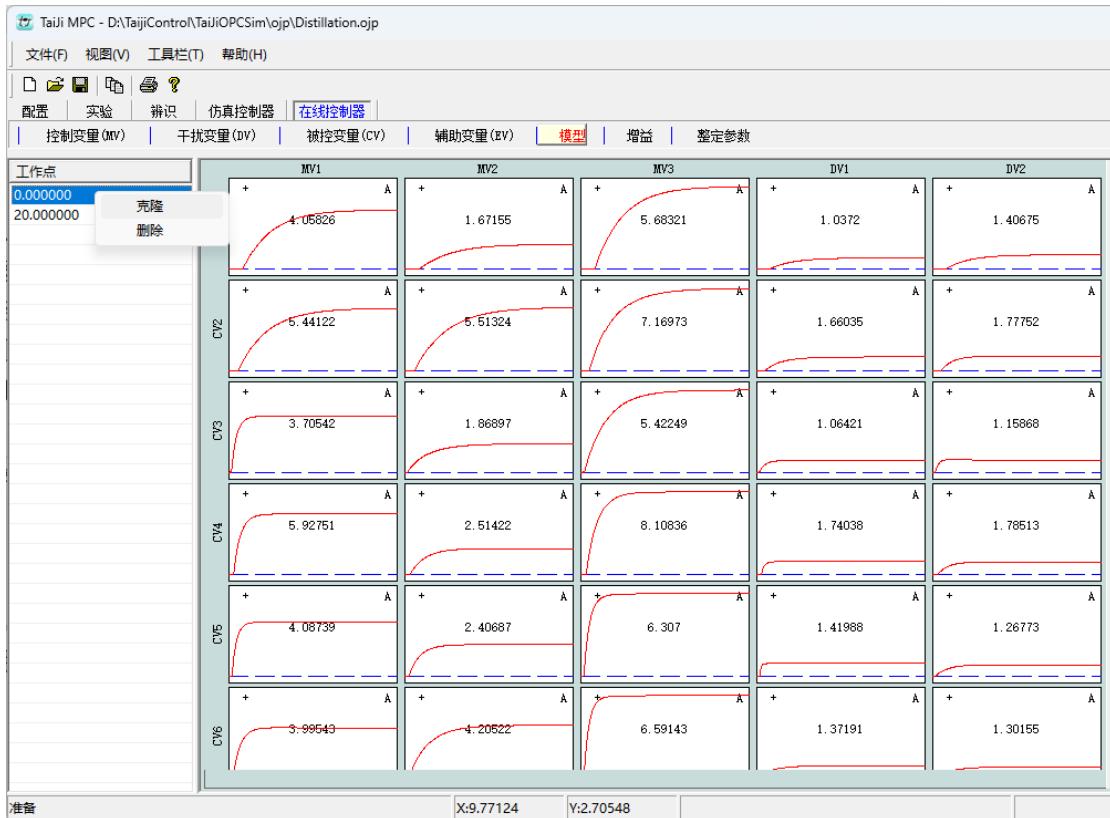
在配置界面中需要正确填写工作点变量的位号：



Tai-Ji Control



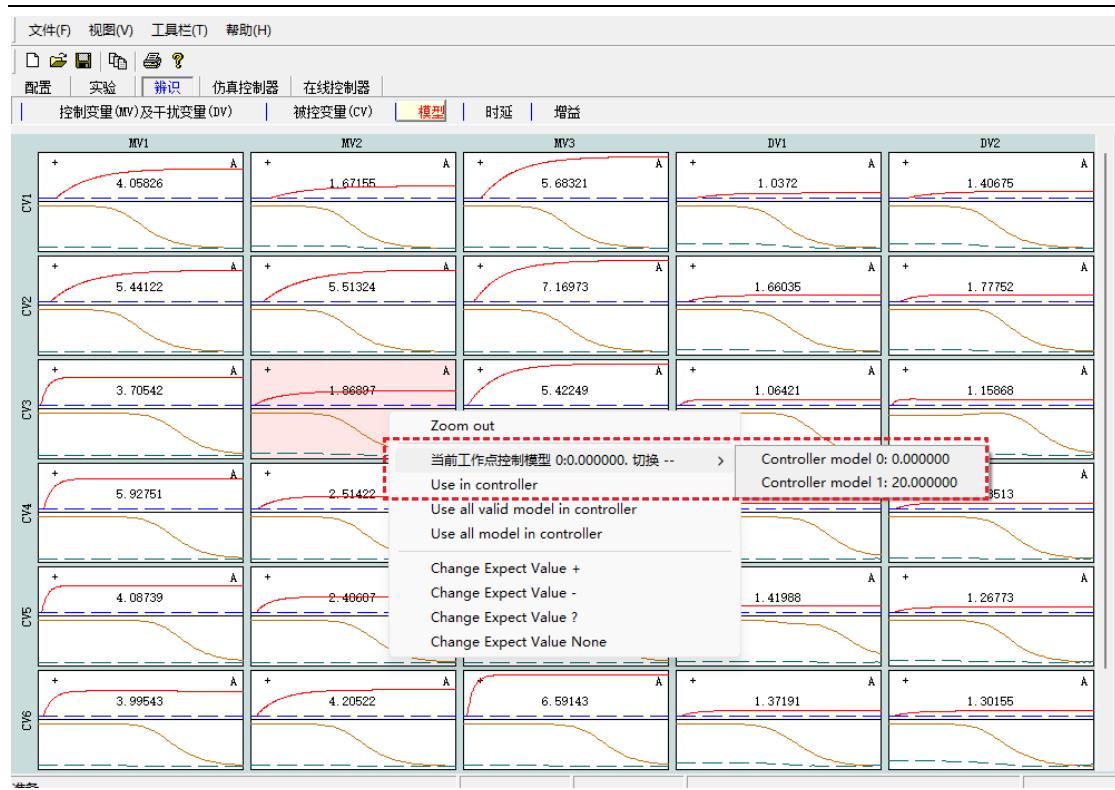
在**在线控制器->模型**中的窗口左侧，出现工作点操作界面，点击右键可以克隆或删除工作点以及其对应的模型。



在**辨识->模型**中点击右键，可以操作辨识模型导入至哪一个工作点的模型。



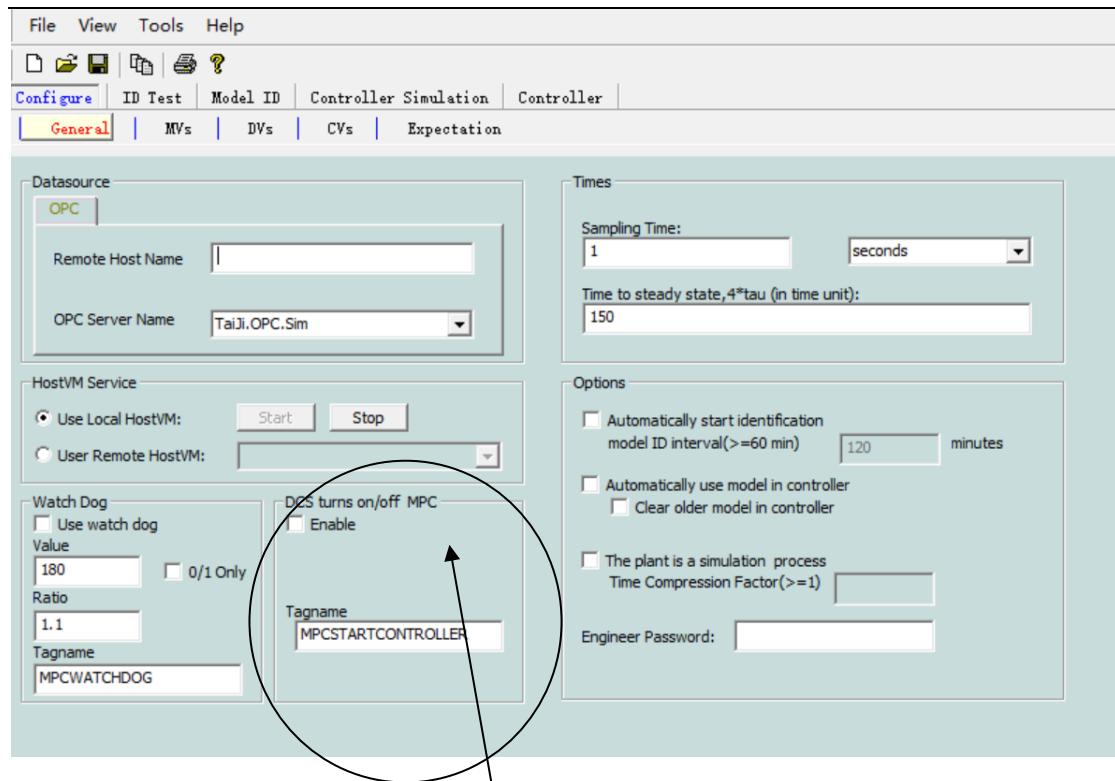
Tai-Ji Control



6. DCS/PLC 用户界面

实时控制器可以用 DCS/PLC 系统操作。通过使用 DCS/PLC 用户界面实现。下面给出了交互界面的设计：

Tai-Ji MPC 配置/一般 窗口



在窗口左下角，用户可以定义 DCS 界面，其设置在下面三个表格中给出。

MV Screen



DCS MV tag name	On/Off Status	ON/OFF	PID Mode	High Limit	Low Limit	IRV	Current Value	Steady State
MV1NAME	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
MV2NAME	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
MV3NAME	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
MV4NAME	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
MV5NAME	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
,,	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET
,,	<MV>.STATUS	<MV>.ONOFF	<MV>.MODE	<MV>.HI	<MV>.LO	<MV>.IRV	<MV>	<MV>.TARGET

ON/OFF Status: MV 如果成功开启，ON 状态将会显示；数据类型为整数型；数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON (值为 1) or OFF (值为 0);

ON/OFF: MV ON/OFF 开关；数据类型为整数型；数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 读/写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON/OFF;

PID Mode: MV PID control mode; 数据类型为整数型 I4; 值为 I4; PC 读 DCS; DCS 示例：AUTO, MANUAL, LOCAL, REMOTE;

High Limit: MV 上限；数据类型为 R4; 实数；PC 读/写入 DCS; DCS 显示值；

Low Limit: MV low limit; 数据类型为 R4; Real; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值；

IRV: MV IRV value; 数据类型为 R4; 实数；PC 读/写入 DCS; DCS 显示值；



Tai-Ji Control

Current Value: MV 当前值; 数据类型为 R4; 实数; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值;

Steady State: MV 稳定状态值; 数据类型为 R4; 实数; PC 写入 DCS; DCS 显示值;

DV Screen

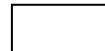
DCS DV tagname	On/Off Status	On/Off	Current Value
DV1NAME	<DV>.STATUS	<DV>.ONOFF	<DV>
DV2NAME	<DV>.STATUS	<DV>.ONOFF	<DV>
,,	<DV>.STATUS	<DV>.ONOFF	<DV>

ON/OFF Status: DV 如果成功开启 , ON 状态将会显示; 数据类型为整型; 数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON (值为 1) or OFF (值为 0);

ON/OFF: DV ON/OFF 开关; 数据类型为整型; 数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 读/写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON/OFF;

Current Value: DV 当前值; 数据类型为 R4; 实数; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值。

CV Screen



MPC Master Switch

CV Tagname	On/Off Status	On/Off	High Limit	Low Limit	Current Value	IRV	Setpoint	Steady State
CV1NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV2NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV3NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV4NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV5NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV6NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV7NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
CV8NAME	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
,,	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET
,,	<CV>.STATUS	<CV>.ONOFF	<CV>.HI	<CV>.LO	<CV>	<CV>.IRV	<CV>.SPT	<CV>.TARGET

ON/OFF Status: CV 如果成功开启 , ON 状态将会显示; 数据类型为整型; 数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON (值为 1) or OFF (值为 0);

ON/OFF: CV ON/OFF 开关; 数据类型为整型; 数据值为 0 (off) 或者 1 (on); PC 读/写入 DCS; DCS 屏幕显示 ON/OFF;

High Limit: CV 上限; 数据类型为 R4; 实数; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值;

Low Limit: CV low limit; 数据类型为 R4; Real; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值;

IRV: CV IRV value; 数据类型为 R4; 实数; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值;

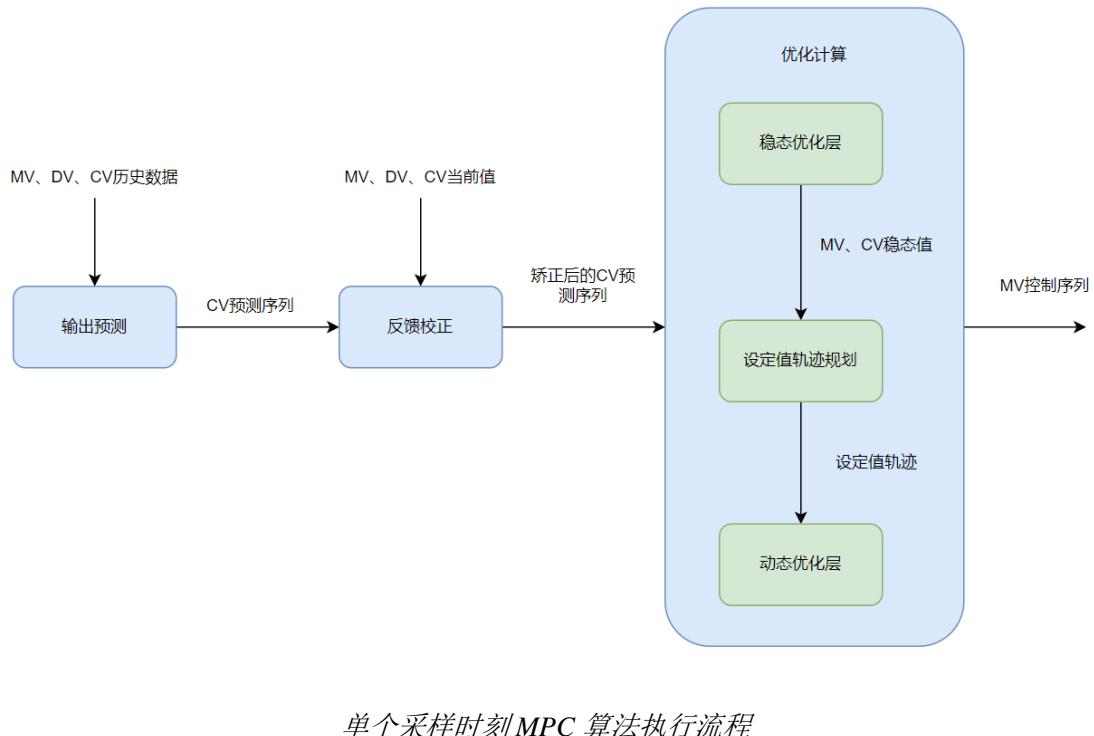
Current Value: CV 当前值; 数据类型为 R4; 实数; PC 读/写入 DCS; DCS 显示值;

Steady State: CV 稳定状态值; 数据类型为 R4; 实数; PC 写入 DCS; DCS 显示值。

7. MPC 控制器算法介绍

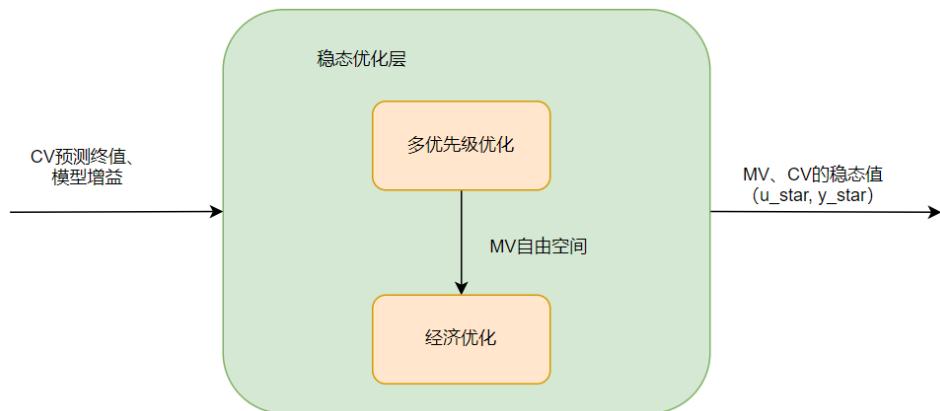
7.1 双层 MPC 控制算法介绍

Tai-Ji MPC 使用了动态层与稳态层相结合的双层预测控制算法。稳态层处理多优先级优化与经济优化策略，动态层处理动态跟踪控制策略。两层算法的关系为：稳态层计算 MV 与 CV 的稳态值（记为 u^* , y^* ），动态层根据稳态层的计算结果换算设定值轨迹，再求解得到 MV 的最佳动态控制策略 $[u_t, u_{t+1}, \dots, u_{t+N_m-1}]$ 。下图展示了 Tai-Ji MPC 的预测控制算法在单个采样时刻的执行流程，主要包括“输出预测”、“反馈校正”、“优化计算”，在“优化计算”环节体现出了双层预测控制算法的思想。



7.1.1 稳态优化层

稳态优化层主要分为两个部分：多优先级优化与经济优化。



单个采样时刻 MPC 算法中稳态优化层的执行流程

7.1.1.1 多优先级优化

多优先级优化的功能：实现高优先级 CV 的控制精度高于低优先级的 CV，即：当不同优先级的 CV 存在控制上的冲突时，控制器会放弃低优先级 CV，尽量满足高优先级的 CV 无偏，得到的结果是低优先级的 CV 偏差大，高优先级的 CV 偏差小或无偏。多优先级策略只能在 CV 中设置，算法中与多优先级优化相关的参数有：优先级以及优先级权重。软件界面中涉及多优先级优化的权重如下图所示。

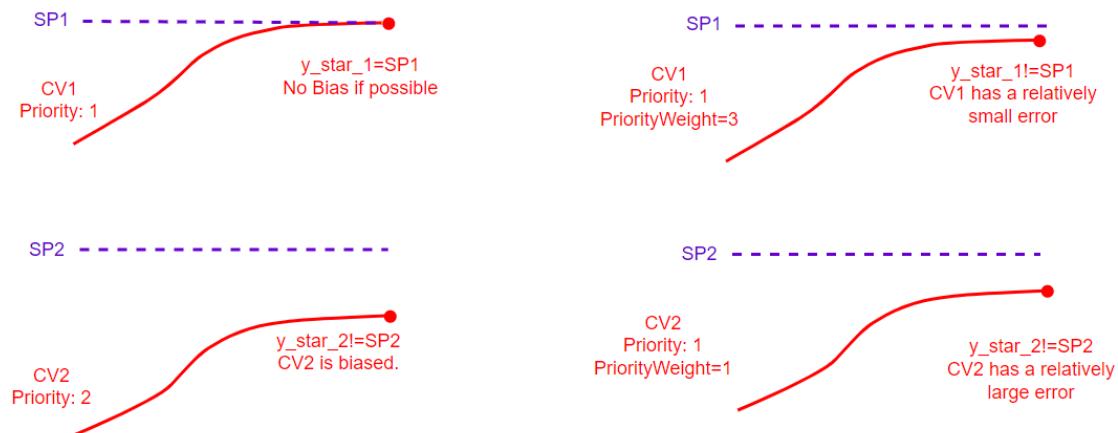
Controller								
MVs	DVs	CVs	Model	Gain	Tuning			
Tuning Helper Use Parameters in Simulation <input type="checkbox"/> Use External IRV								
MV Tuning								
MV Tag Name	IRV	Linear Weight	Quadratic Weight	Input Increment W...	Error Weight	Interval block		
1 MV1	15	0	0	3.02109	0.302109	10		
2 MV2	20	0	0	3.0246	0.30246	10		
3 MV3	35	0	0	3.02255	0.302255	10		

CV Tuning									
CV Tag Name	Priority	Closed-loop ...	IRV	Linear weight	Quadratic W...	Output Incre...	Error Weight	Priority weight	SPFilter Tau(...)
1 CV1	1	40	31.6516	0	0	100	1	1	0
2 CV2	1	40	32.845	-1	0	100	1	2	0
3 CV3	2	40	33.5206	0	0	100	1	0.7	0
4 CV4	2	40	35.0136	0	0	100	1	1	0
5 CV5	3	40	35.8615	0	0	100	1	1	0
6 CV6	3	40	36.6325	0	0	100	1	2	0
7 CV7	3	40	37.5808	0	0	100	1	3	0

CV 的优先级只能填写非负整数，数字越小表示越重要，如：优先级 1 高于优先级 2。当不同优先级的 CV 有冲突时，控制算法将首先保证高优先级 CV 的稳态值精度。相同优先级的 CV 有冲突时，控制器按照 CV 的优先级权重分配稳态值的误差，优先级权重越大表示该 CV 越重要（稳态值偏差小），优先级权重越小表示该 CV 越不重要（稳态偏差较大）。

CV 之间稳态值误差的分配与优先级权重大小的关系是 CV 归一化后的平方的关系。因此，优先级权重大小反映了同优先级 CV 的相对重要性。

比如：1 个 MV, 2 个 CV 的控制系统, CV1 与 CV2 都设置为设定值控制, 通常情况下, 两个 CV 无法同时满足设定值无偏控制。若在 Tai-Ji MPC 中设置 CV1 为优先级 1, CV2 为优先级 2, 那么 CV1 的稳态值结果将是无偏, CV2 有偏。若将 CV1 与 CV2 设置为相同的优先级, CV1 与 CV2 的偏差将按照优先级权重分配。下图大致展示了优先级与优先级权重对控制作用的影响。



左图: CV1 与 CV2 有冲突, CV1 的优先级高于 CV2, 控制器首先满足 CV1 的无偏控制。

右图: CV2 与 CV2 有冲突, CV1 与 CV2 的优先级相同, CV1 的优先级权重高于 CV2, 控制器根据优先级权重分配误差, 结果可能是 CV1 的偏差小于 CV2。

注意, Tai-Ji MPC 5.2.40 版本之后, 控制器中使用的 MV、DV、CV 值以及其它与变量单位有关的值（如：设定值、IRV、上下界等）均经过了归一化处理。

特别地, 控制器接受一种特殊的优先级：“优先级 0”，操作方法为把优先级设置为 0。使用“优先级 0”时, 控制算法将不进行稳态层优化, 而将 CV 的设定值或区间值直接推送给控制器的动态层, 对于设定值控制的情况有: $y^* = SP$ 。因此, 选择“优先级 0”控制策略时, 被控变量的偏差调整任务将完全由动态层完成。

7.1.1.2 经济优化

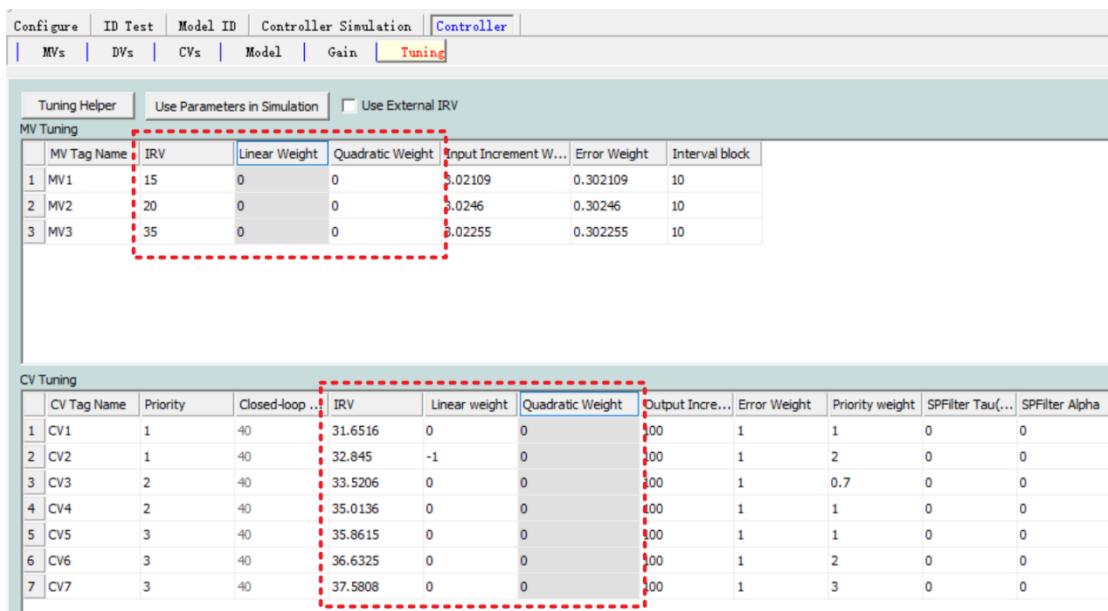
稳态层经济优化算法的功能是: 将有“自由动作空间”的 MV 或 CV 按经济优化要求计算稳态值。经济优化要求可能是让优化变量逼近区间的边界或区间中的某个位置 (IRV)。

经济优化算法在多优先级优化之后执行, 经济优化的变量可以是 CV 或 MV。只有当经济优化变量有“自由空间”时, 经济优化才能够有效执行。即: 如果需要经济优化的变量是

CV，首先该 CV 必须是区间控制，其次，经过多优先级优化后的 CV 的稳态值在区间内部存在多解。如果要经济优化的变量是 MV，那么只有当 MV 在可行域内存在多个稳态值均能满足相关 CV 的无偏性要求时，MV 的经济优化才能够有效执行。经济优化的损失函数为：

$$\begin{aligned} \min_{y^*, u^*} J = & \| y^* - y_{\text{IRV}} \|^2_{\text{QuadraticWeight}_1} + \| u^* - u_{\text{IRV}} \|^2_{\text{QuadraticWeight}_2} \\ & + \text{LinearWeight}_1^T \cdot y^* + \text{LinearWeight}_2^T \cdot u^* \end{aligned}$$

上述变量中的 y^* 是 CV 的稳态值， u^* 是 MV 的稳态值， y_{IRV} 是 CV 的理想停留值， u_{IRV} 是 MV 的理想停留值，上述取值在 Tai-Ji MPC 5.2.40 版本后都使用了归一化后的相对值。 QuadraticWeight_1 是 CV 的二次权重， QuadraticWeight_2 是 MV 的二次权重， LinearWeight_1 是 CV 的线性权重， LinearWeight_2 是 MV 的线性权重。软件中关于经济优化权重的界面如下图所示。



The screenshot shows the 'Controller' tab in the software interface. It includes tabs for Configure, ID Test, Model ID, Controller Simulation, and Controller. Below these are tabs for MVs, DVs, CVs, Model, Gain, and Tuning (which is highlighted). The Tuning section contains two tables: 'MV Tuning' and 'CV Tuning'. Both tables have a 'Tuning Helper' button and a 'Use Parameters in Simulation' checkbox.

MV Tuning Table:

	MV Tag Name	IRV	Linear Weight	Quadratic Weight	Input Increment W...	Error Weight	Interval block
1	MV1	15	0	0	0.02109	0.302109	10
2	MV2	20	0	0	0.0246	0.30246	10
3	MV3	35	0	0	0.02255	0.302255	10

CV Tuning Table:

	CV Tag Name	Priority	Closed-loop	IRV	Linear weight	Quadratic Weight	Output Incre...	Error Weight	Priority weight	SPFilter Tau(...	SPFilter Alpha
1	CV1	1	40	31.6516	0	0	0.00	1	1	0	0
2	CV2	1	40	32.845	-1	0	0.00	1	2	0	0
3	CV3	2	40	33.5206	0	0	0.00	1	0.7	0	0
4	CV4	2	40	35.0136	0	0	0.00	1	1	0	0
5	CV5	3	40	35.8615	0	0	0.00	1	1	0	0
6	CV6	3	40	36.6325	0	0	0.00	1	2	0	0
7	CV7	3	40	37.5808	0	0	0.00	1	3	0	0

通过上述损失函数可以看出，若希望 CV 或 MV 停留在区间内的某个位置时，需要设置经济优化变量的 IRV 值以及对应的 QuadraticWeight。若希望 CV 或 MV 向区间的单方向优化时，需要设置对应变量的 LinearWeight。LinearWeight 为正数时意味着希望优化变量逼近区间下边界，当 LinearWeight 为负数时意味着希望优化变量逼近区间的上边界。

7.1.2 动态控制层

Tai-Ji MPC 的动态控制层使用了“三项 QP”技术进行动态控制。动态控制层能够实现 CV 的设定值控制与区间控制功能。设定值控制的目的是将 CV 控制到设定值轨迹 (w) 上。区间控制的目的是将 CV 控制到区间的上下界之间。区间控制又细分为两种：自由区间（FreeRange）与粘滞区间（StickyRange），其中自由区间指的是 CV 在区间内近似于开环控制，该控制方案常用于 MPC 的阀门抗积分饱和；粘滞区间指的是 CV 在区间内尽量保持稳定，该控制方案常用于 CV 是真实工艺变量的场景。

设定值控制的损失函数如下：

$$\begin{aligned} \min_{\Delta u} J &= \sum_{i=1}^{n_y} \|y_{(i)prd} - w_{(i)}\|_Q^2 + \sum_{i=1}^{n_y} \|\Delta y_{(i)prd}\|_S^2 + \sum_{j=1}^{n_u} \|\Delta u_{(j)}\|_R^2 + \sum_{j=1}^{n_u} \|u_{(j)} - \vec{1} \cdot u_{(j)}^*\|_{R_{opt}}^2 \\ \text{s.t. } & y_{(i)prd} = A_{miso} \Delta u + y_{prd0} \\ & u_{(j)} = \sum \Delta u_{(j)} + u_{(j)0} \\ & \vec{1} \cdot u_{(j)L} \leq u_{(j)} \leq \vec{1} \cdot u_{(j)H} \\ & \vec{1} \cdot \Delta u_{(j)L} \leq \Delta u_{(j)} \leq \vec{1} \cdot \Delta u_{(j)H} \end{aligned}$$

上述损失函数中，CV 变量的个数为 n_y ，MV 变量的个数为 n_u ，优化变量是所有 MV 的预测增量序列 Δu ，被控对象的模型以动态矩阵 A 的形式存在，多输入单输出模型的动态矩阵记为 A_{miso} 。其中，第 i 个 CV 的预测序列记为 $y_{(i)prd}$ ，预测增量序列记为 $\Delta y_{(i)prd}$ ，对应于第 i 个 CV 的设定值轨迹序列记为 $w_{(i)}$ ，设定值轨迹的详细介绍请见 4.2 小节；第 j 个 MV 的预测增量序列记为 $\Delta u_{(j)}$ ，预测序列记为 $u_{(j)}$ ，MV 稳态值、区间上下界、增量上下界标量分别记为 $u_{(j)}^*$ 、 $u_{(j)L}$ 、 $u_{(j)H}$ 、 $\Delta u_{(j)L}$ 、 $\Delta u_{(j)H}$ 。注意到，在 Tai-Ji MPC 5.2.40 之后上述序列或标量均经过了归一化处理。

损失函数中的各项权重的标识与名称见下表：

权重英文名	权重中文名	损失函数中的记号	初始默认值
CV ErrorWeight	CV 的误差权重	Q	1.0
CV IncrementWeight	CV 的增量权重	S	100.0
MV IncrementWeight	MV 的增量权重	R	10.0
MV ErrorWeight	MV 的误差权重		0.0

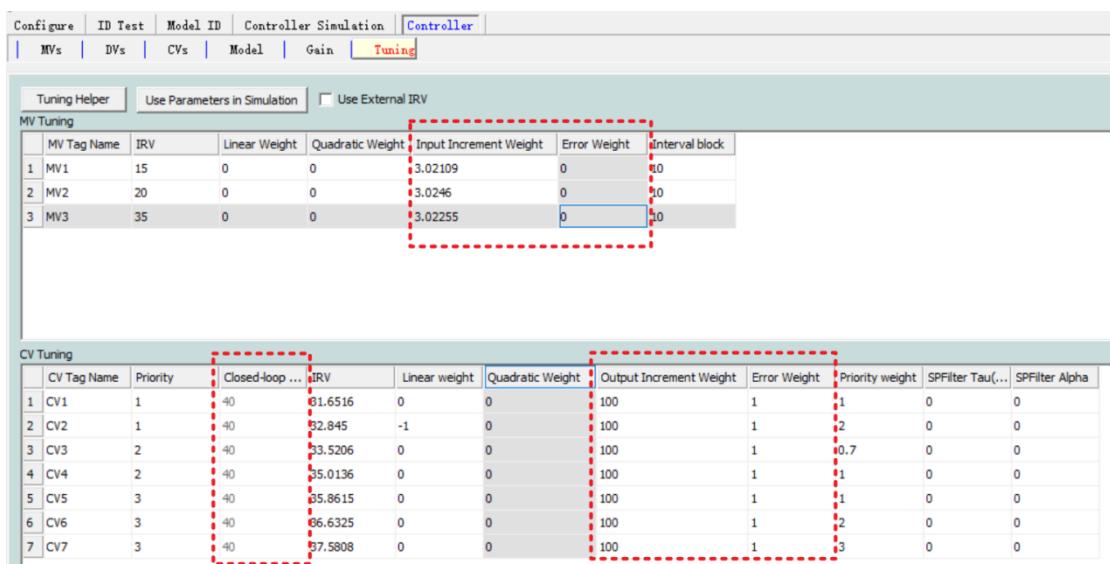
optFactor	优化减速因子		1.0
-	损失函数中 MV 的优化权重	$R_{opt} = \frac{MV\ ErrorWeight}{(optFactor)^2}$	0.0
-	损失函数中 CV 的优化权重	$Q_{opt} = \frac{CV\ ErrorWeight}{(optFactor)^2}$	0.0
CV Closed-loop Response Time (Samples) *Read Only*	CV 的闭环响应时间（采样点） *只读*	计算公式: $Tcl = 4\sqrt{\frac{S}{Q}}$	40

虽然损失函数中存在四项，但在一般情况下 MV ErrorWeight 常设置为 0.0，因此上述损失函数只有三项起实际作用，故称为“三项 QP”。

通过对损失函数的分析，在 $R_{opt} = 0$ 时可以知道：

1. 固定 S 与 R，增大 Q (CV 的 ErrorWeight) 会使对应 CV 的控制作用更快。
2. 固定 Q 与 S，增大 R (MV 的 IncrementWeight) 会使对应 MV 的控制作用更慢。
3. 固定 Q 与 R，增大 S (CV 的 IncrementWeight) 会使对应 CV 的控制作用更慢。

损失函数中，MPC 控制器的预测时域记为(i)Np，控制时域记为(j)Nm，即与 CV 相关序列的长度是(i)Np，与 MV 相关序列的长度均为(j)Nm。这两个时域参数与被控对象模型的长度有关，在控制器初始化时自动计算得到，不同 MV 与 CV 之间的 Np 和 Nm 可能不一样，用户亦可通过脚本修改。



The screenshot shows the software interface for tuning MPC controllers. It includes tabs for Configuration, ID Test, Model ID, Controller Simulation, and Controller. Under the Controller tab, there are sections for MV Tuning and CV Tuning.

MV Tuning:

MV Tag Name	IRV	Linear Weight	Quadratic Weight	Input Increment Weight	Error Weight	Interval block
1 MV1	15	0	0	3.02109	0	10
2 MV2	20	0	0	3.0246	0	10
3 MV3	35	0	0	3.02255	0	10

CV Tuning:

CV Tag Name	Priority	Closed-loop ...	IRV	Linear weight	Quadratic Weight	Output Increment Weight	Error Weight	Priority weight	SPFilter Tau(...)	SPFilter Alpha
1 CV1	1	40	81.6516	0	0	100	1	1	0	0
2 CV2	1	40	52.845	-1	0	100	1	2	0	0
3 CV3	2	40	53.5206	0	0	100	1	0.7	0	0
4 CV4	2	40	55.0136	0	0	100	1	1	0	0
5 CV5	3	40	55.8615	0	0	100	1	1	0	0
6 CV6	3	40	56.6325	0	0	100	1	2	0	0
7 CV7	3	40	57.5808	0	0	100	1	3	0	0

经过研究，我们注意到权重 Q 与 S 会共同影响 CV 的动作速度。在 $R_{opt} = 0$ ， R 相对较小， Q 与 R 这两个权重与 CV 的闭环响应时间（Tcl）具有以下经验对应关系：

$$Tcl = 4 \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

7.2 动态层参数整定策略

控制器动态层参数整定对系统的稳定性和快速性非常重要。以下内容以设定值控制为例，详细解释关于 MPC 动态层整定的基本思路框架。用户必须注意到的是：在实际投运 MPC 的过程中应根据现场工程师的经验以及装置的实际情况进行适当调整，而非按部就班地按照指定规则进行整定。

(1) 正确填写变量的操作范围 (OperatingRange, OR)

OR 指的是变量在常规控制下的波动范围，如某个温度，在典型工况下的波动范围是 200~232℃，那么该变量的 OR=32；再如某个阀门，在典型工况下的波动范围是 20~21，那么该阀门的 OR=1；再如某装置的氧量波动范围是 3~4.5%，那么该变量的 OR=1.5。注意到，OR 与变量的量程有一定关系但并不是变量的量程，可以理解为变量的标准差，对 OR 的填写并不要求非常精确，仅需要保证数量级正确即可。

OR 在控制器算法中的涉及变量的归一化问题，该参数需要认真且谨慎填写。一般来说，OR 是一个相对固定的工艺参数，而不是一个用于控制器调试的参数。建议在控制器开始控制之前一次性填写正确，控制器开始控制之后不要修改。

(2) 正确填写 CV 的误差权重 ErrorWeight (Q)

经过变量归一化后，CV 的误差权重仅表征了 CV 之间的相对重要性， Q 越大表示该 CV 越重要，具体体现在 CV 的动作将越按照指定的规则动作；反之， Q 越小表示该 CV 越不重要，CV 越有可能不按照指定规则动作。对于单个 CV 的被控对象，建议选择让 $Q=1.0$ 。对于多 CV 的系统，如果所有的 CV 都一样重要，那么就让所有的 CV 的 Q 都等于 1.0，如果 CV 之间存在相对重要性，如 CV1 比 CV2 重要，那么就让 $Q1>Q2$ ，比如 $Q1=2.0$, $Q2=1.0$ 。

(3) 正确填写 CV 的增量权重 IncrementWeight (S)

用户可以根据对该 CV 的预期闭环响应时间来确定 S 的取值，建议用户参照 $Tcl = 4 \sqrt{\frac{S}{Q}}$

的规则大致确定 S 的取值。如：希望 CV1 的闭环响应时间是 200 个采样时间，CV1 的 $Q=1.5$ ，那么 $S=3750$ 。注意到，S 取值比较大是很可能正常的，从损失函数的角度来看，S 对应的

加权项是 CV 的变化增量 (Δy_{prd})，当需要 CV 缓慢变化时，需要选择较大的 S 使得 $\|\Delta y_{prd}\|$ 较小。

(4) 正确填写 MV 的增量权重 IncrementWeight (R)

在初次投运 MPC 或对控制器行为不太确定时，建议给一个相对较大的 R 值，较大的 R 值会让 MV 的动作迟缓，一般来说有利于系统稳定，不利于系统的快速性。同时，较大的 R

值会在一定程度上破坏 $Tcl = 4\sqrt{\frac{S}{Q}}$ 的经验，控制器总是更慢，即：实际的响应时间大于

$4\sqrt{\frac{S}{Q}}$ 。在用户对控制器行为比较自信时，可以根据实际情况适当降低 R 的取值。

(5) 结合实际情况综合调整 Q、S、R

用户根据实际情况以及需求，综合调整 Q、S 与 R 的取值。通过对损失函数的分析可以知道：增加 S 与 R 都能够增加控制器的鲁棒性。我们建议有经验的调试工程师在控制器投运初期通过设计一个相对较小一点的 S 和增加 R 来提升控制器稳定性，在调试后期通过降低 R 和增加 S 达到鲁棒性和快速性的双边收益。

(6) 结合优化需求调整 MV 的误差权重 ErrorWeight (R_{opt})

用户如果存在 MV 的优化需求，可以设置 $R_{opt} > 0$ 。当 $R_{opt} > 0$ 时，相当于损失函数中固定了 MV 的误差项，使得控制器在求解时让 MV 更快靠近稳态值。

7.3 变量归一化对参数整定的影响

Tai-Ji MPC 软件自 5.2.40 版本后引入了变量的操作范围 (OperatingRange, OR)，该参数存在于所有的 MV、DV、CV，默认值是 1.0。OR 参数的作用是归一化变量。归一化的方法是：

$$\text{ScaledValue} = \frac{1}{\text{OperatingRange}} \cdot \text{OriginalValue}$$

正确归一化有助于方便地调整 MPC 控制器参数，对 MPC 求解器的数值计算也更加友好。

下面以设定值控制 CV 为例，解释归一化前后在参数整定方面的不同。假设 CV1 的波

动范围是 90~110，设定值为 100，CV2 的波动范围是 9~11，设定值为 10。仅看损失函数中的 CV 的误差权重部分有：

$$\left\| y_{(1)prd} - 100 \right\|_{Q_{(1)}}^2 + \left\| y_{(2)prd} - 10 \right\|_{Q_{(2)}}^2 + \dots$$

如果按照控制目标是 CV1 的波动范围是 ± 10 ，CV2 的波动范围是 ± 1 ，那么就需要调整权重满足 $100 \cdot Q_{(1)} = Q_{(2)}$ ，才能使得损失函数的解满足控制要求。

如果经过了变量归一化，那么 OR1=20，OR2=2，损失函数中的所有变量都被归一化，有：

$$\left\| \frac{y_{(1)prd}}{OR_{(1)}} - \frac{100}{OR_{(1)}} \right\|_{Q_{(1)}}^2 + \left\| \frac{y_{(2)prd}}{OR_{(2)}} - \frac{10}{OR_{(2)}} \right\|_{Q_{(2)}}^2 + \dots$$

按照原始的控制目标换算归一化后 CV1 的波动范围是 $\frac{\pm 10}{20} = \pm 0.5$ ，归一化后 CV2 的波动范围是 $\frac{\pm 1}{2} = \pm 0.5$ ，此时，只需要设置 $Q_{(1)} = Q_{(2)}$ 即可。

从损失函数的角度，归一化前后的 Q 存在如下的等价关系：

$$\text{变量归一化后的 } Q = \frac{1}{(OR)^2} \times \text{变量归一化前的 } Q$$

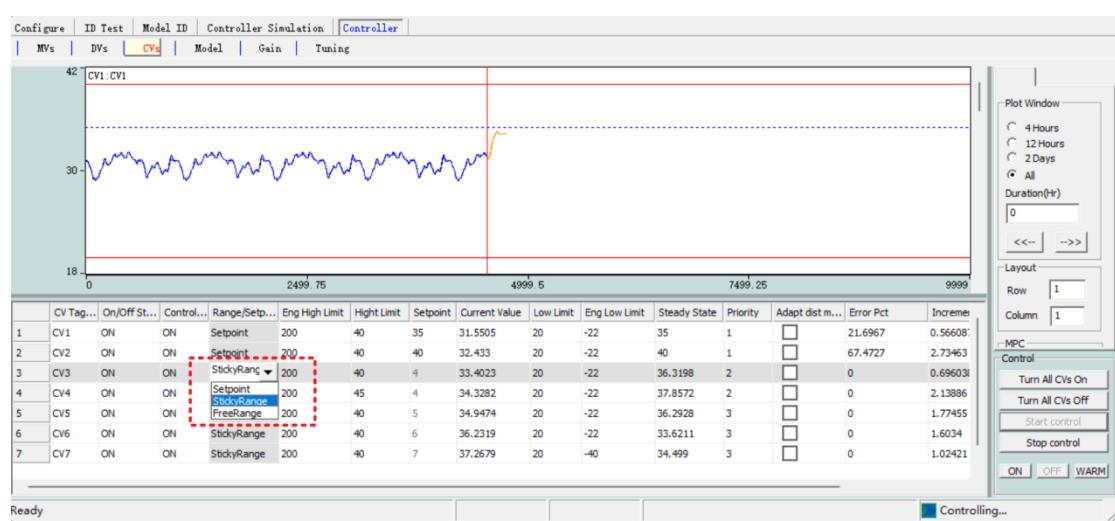
注意到，以上例子仅以 CV 的误差权重部分举例，实际上归一化动作将影响 MPC 中所有权重，经过正确的归一化后，所有权重的设置仅需要考虑不同变量之间的相对重要性，不需要再考虑变量量纲之间的等价换算。

7.4. 控制器特殊功能介绍

7.4.1 “粘滞区间”与“自由区间”

Tai-Ji MPC 允许用户设置“粘滞区间（StickyRange）”与“自由区间（FreeRange）”，这两种区间的区别是：当 CV 在区间内，且没有要出区间的趋势时，“自由区间”允许该 CV 在区间内部任意移动，其在区间内的控制动作近似于开环；“粘滞区间”则通过控制作用使得该 CV 在区间内部尽量保持稳定（尽量稳定在当前值上）。

自由区间的控制方案常用于 MPC 的阀门抗积分饱和；粘滞区间的控制方案常用于 CV 是真实工艺变量。



7.4.2 设定值滤波器 (SPFilter)

在 Tai-Ji MPC 中选择设定值控制时, 设定值损失函数中的参考轨迹 w 将起到重要作用。动态优化层损失函数中的 w 的产生经过了设定值曲线的滤波。具体地:

- (1) 控制器经过稳态优化层的计算得到 CV 的稳态值 y^* , 构造设定值曲线

$$w_0 = [y^*, y^*, \dots, y^*].$$

- (2) 动态层使用的设定值曲线 w 为经过滤波后的 w_0 :

$$w = \frac{\alpha \tau \cdot s + 1}{\tau \cdot s + 1} w_0$$

界面	滤波器参数	默认值 (初始值)
SPFilterAlpha	α	0.0
SPFilterTau	τ	0.0



Configure | ID Test | Model ID | Controller Simulation | **Controller**

MVs DVs CVs Model Gain Tuning

Tuning Helper Use Parameters in Simulation Use External IRV

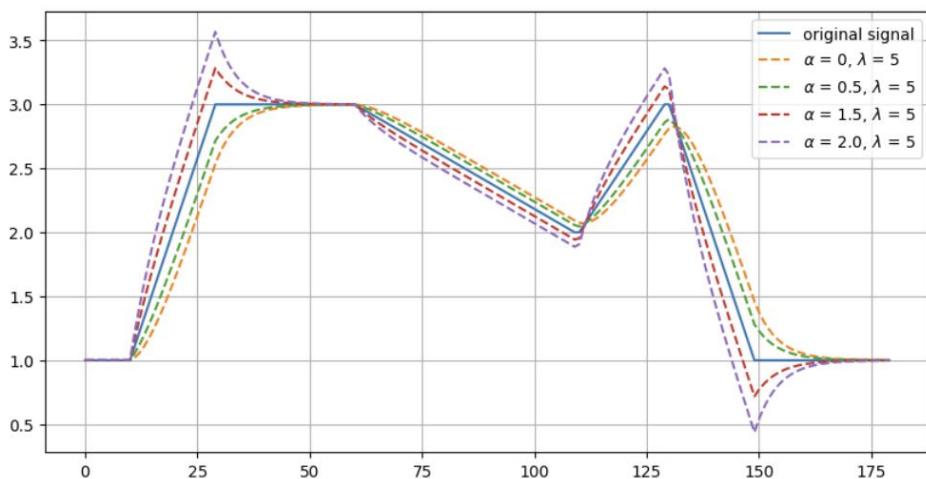
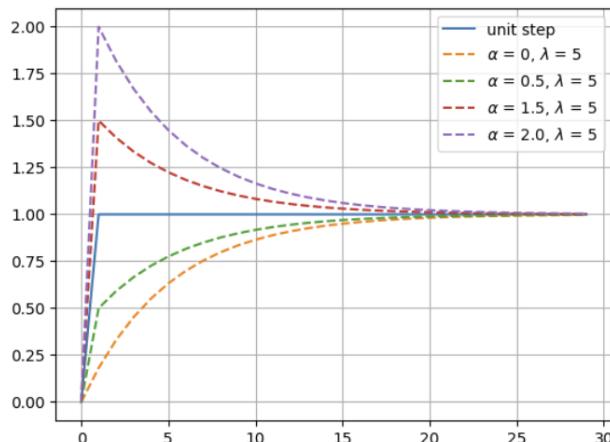
MV Tuning

MV Tag Name	IRV	Linear Weight	Quadratic Weight	Input Increment Weight	Error Weight	Interval block
1 MV1	15	0	0	3.02109	0	10
2 MV2	20	0	0	3.0246	0	10
3 MV3	35	0	0	3.02255	0	10

CV Tuning

CV Tag Name	Priority	Closed-loop ...	IRV	Linear weight	Quadratic Weight	Output Increment Weight	Error Weight	Priority weight	SPFilter Tau(sec)	SPFilter Alpha
1 CV1	1	40	31.6516	0	0	100	1	1	0	0
2 CV2	1	40	32.845	-1	0	100	1	2	0	0
3 CV3	2	40	33.5206	0	0	100	1	0.7	0	0
4 CV4	2	40	35.0136	0	0	100	1	1	0	0
5 CV5	3	40	35.8615	0	0	100	1	1	0	0
6 CV6	3	40	36.6325	0	0	100	1	2	0	0
7 CV7	3	40	37.5808	0	0	100	1	3	0	0

注意到，当 α 和 τ 取值都为 0 时， $w = w_0$ 。当 α 或 τ 取值非 0 时，使用了设定值曲线滤波，滤波参数可以在线修改。本质上 SPFilter 滤波器的作用是对设定值曲线进行滤波，如果设定值曲线始终为常数，那么滤波器也不起实际作用。关于一阶超前滞后滤波器的性质可参考下图。



7.4.3 自适应干扰模型（微分作用）

自适应干扰模型（微分作用）是一种在 MPC 的反馈校正环节中在线动态修正预测误差的技术。与 PID 控制中的微分作用类似，自适应干扰模型技术能够在一定程度上克服不断变化的不可测干扰对控制的影响，同时对于模型误差也有一定的修正作用。其工作原理大致如下：

假设被控对象的输入输出关系为

$$y(t) = G(q)u(t) + v(t)$$

当前时刻为 N ， $t = 1, 2, \dots, N$ 的输入输出序列 $y(t)$ 、 $u(t)$ 已知，MPC 中的过程模型为 $G(q)$ 。

(1) 获得历史干扰数据序列，由 $v(t) = y(t) - G(q)u(t)$ 得到干扰数据序列 $v(t)$ ， $t = 1, 2, \dots, N$ 。

(2) 使用时间序列方法对 $v(t)$ 建立扰动模型。

(3) 根据扰动模型进行 k 步预测，得到 $\hat{v}(N+1), \hat{v}(N+2), \dots, \hat{v}(N+k)$ 。

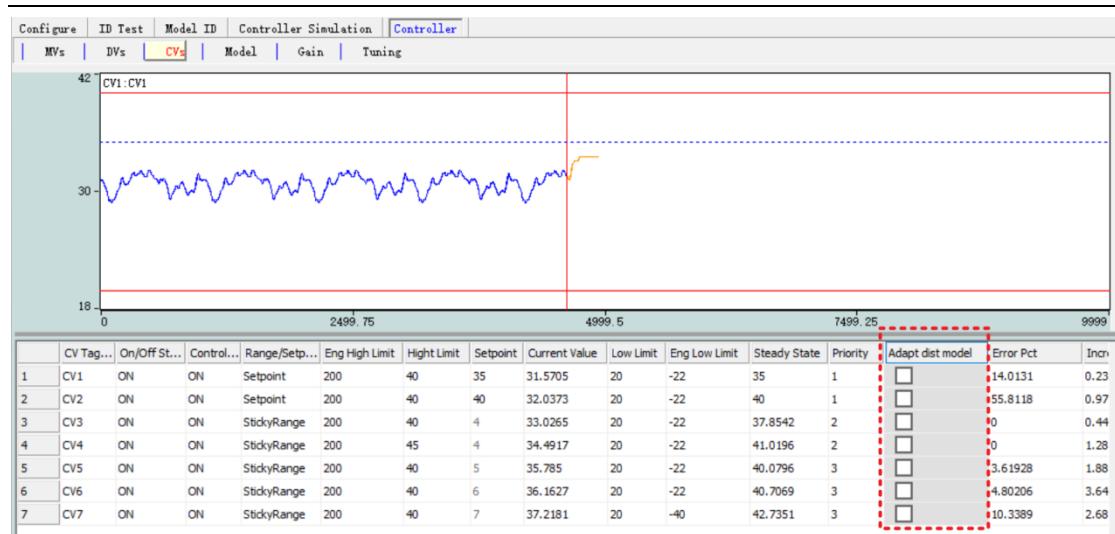
(4) 确定预测时域 p 内的扰动预测

$$\hat{v}(N+t) = \begin{cases} \hat{v}(N+1), \hat{v}(N+2), \dots, \hat{v}(N+k) & 1 \leq t \leq k \\ \hat{v}(N+k) & k < t \leq p \end{cases}$$

(5) 使用滤波器对 $\hat{v}(N+1), \hat{v}(N+2), \dots, \hat{v}(N+p)$ 进行滤波。

(6) 根据 $\hat{y}(N+t) = G(q)u(N+t) + \hat{v}_{filter}(N+t)$ ，其中 $t = 1, 2, \dots, p$ ，计算预测输出。

在 Tai-Ji MPC 软件中，可以针对每个 CV 独立设置自适应干扰模型，具体的设置方法是在勾选框中选择对应 CV 自适应干扰模型的启停，如下图所示。



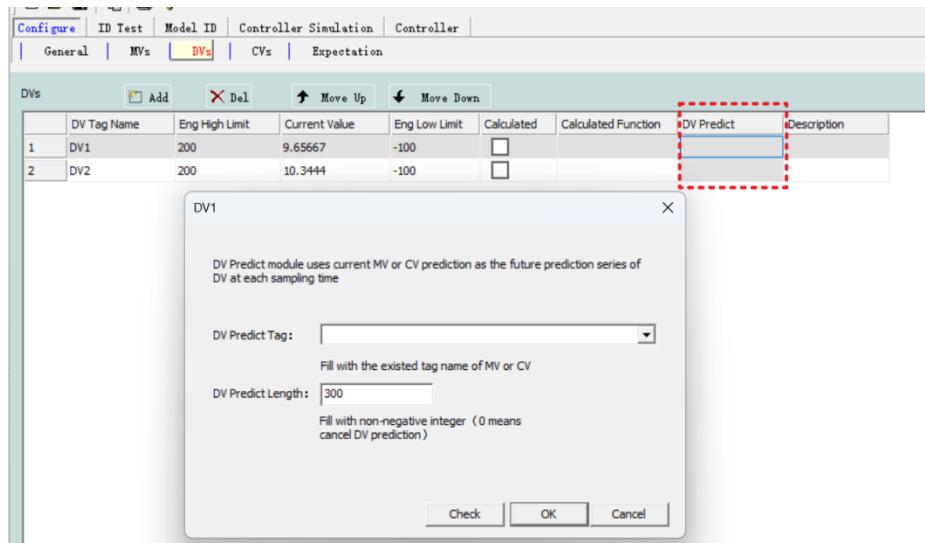
7.4.4 DV 预测修正

与“DV 预测修正技术”相对的是“常规 DV 使用技术”。常规 DV 使用技术是指：MPC 在输出预测环节使用模型以及 DV 的当前值和历史值对 CV 进行预测，DV 的未来值保持当前值不变。

“DV 预测修正技术”允许用户输入一段未来的 DV 运行曲线，因此使用了“DV 预测修正技术”后，MPC 将根据当前值、历史值、未来值进行 CV 的预测。

“DV 预测修正技术”常用于上下游工段中多个 MPC 控制器的组合，上游 MPC 经常能够给出某些变量的预测值，而这些变量在下游 MPC 中又作为不可测干扰使用，在此情况下，可以将上游 MPC 的预测赋值给下游的 MPC，从而达到更好的预测效果。

在软件中，“DV 预测修正”的设置方法如下图所示。

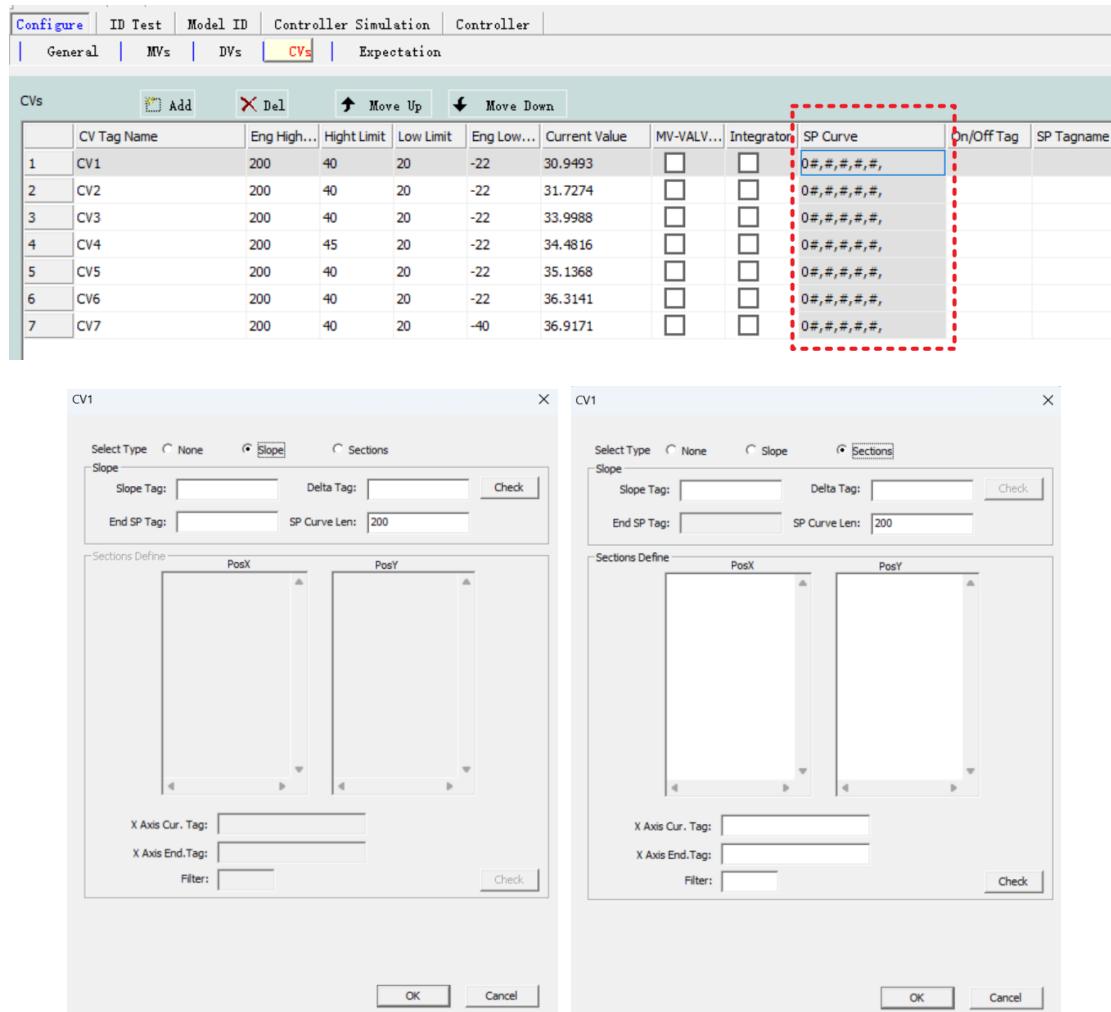


7.4.5 协调模块

协调模块仅在 Tai-Ji MPC 控制器处理火力发电机组的协调控制（CCS）时需要用到。协调模块内置了部分位号，与火力发电机组的特殊需求相对应。本质上，协调模块是一个处理设定值曲线的模块。

在火电机组的协调控制是一个设定值曲线跟踪问题，用户通过设置“协调模块”让 MPC 知道未来的设定值曲线。注意到，这里的“设定值曲线”指的是第 4.2 节中的 w_0 ，即协调模块计算出来的设定值曲线仍然会受到 SPFilter 的滤波影响。

协调控制分为两个部分：负荷跟踪与滑压跟踪。



The screenshot shows the software interface for configuring the Tai-Ji Control system. At the top, there is a navigation bar with tabs: Configure, ID Test, Model ID, Controller Simulation, and Controller. The Controller tab is selected. Below the navigation bar, there is a sub-navigation bar with tabs: General, MVs, DVs, CVs (which is highlighted in yellow), and Expectation.

The main area displays a table titled "CVs" with columns: CV Tag Name, Eng High..., Height Limit, Low Limit, Eng Low..., Current Value, MV-VALV..., Integrator, SP Curve, On/Off Tag, and SP Tagname. There are 7 rows in the table, each representing a CV entry. The "SP Curve" column for all entries contains the value "0#,#,#,#,#,,". A red dashed box highlights this column.

Below the table, there are two detailed configuration dialog boxes for CV1:

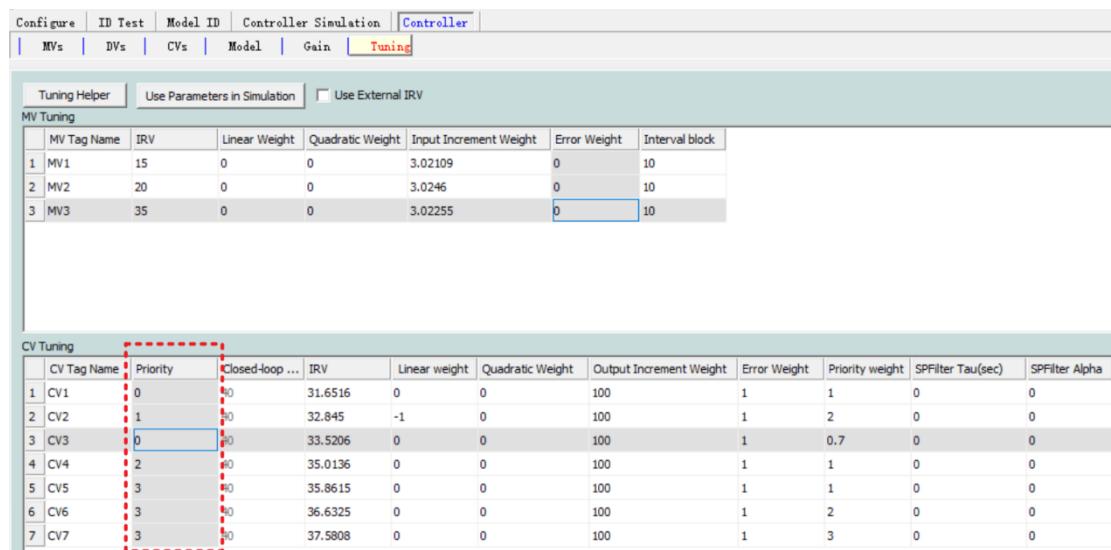
- CV1 Configuration Dialog:** This dialog is titled "CV1". It has sections for "Select Type" (set to "Slope"), "Slope" parameters (Slope Tag, Delta Tag, End SP Tag, SP Curve Len), and "Sections Define" (PosX and PosY sections). It also includes fields for X Axis Cur. Tag, X Axis End.Tag, and Filter, along with OK and Cancel buttons.
- CV1 Detailed Configuration Dialog:** This dialog is also titled "CV1". It has the same structure as the first dialog, with "Select Type" set to "Sections". It shows the "Sections Define" section with PosX and PosY sections defined. It also includes fields for X Axis Cur. Tag, X Axis End.Tag, and Filter, along with OK and Cancel buttons.

7.4.6 “优先级 0” 模式

如果将某个 CV 设置为“优先级 0”，那么这个 CV 将不进行稳态优化。在动态层中，对于设定值控制的情况，控制器使用了 $y^* = \text{SetPoint}$ 的设定值规划策略；对于区间控制的

情况，控制器不再比较 y^* 和区间上下界的大小关系，直接使用用户设置的区间作为约束。

当所有 CV 都是“优先级 0”模式时，控制器将完全跳过稳态层，这种情况下被控变量之间的偏差调整任务将完全由动态层完成，按照 CV 的 ErrorWeight 进行分配。



The screenshot shows the software interface for tuning controllers. At the top, there are tabs for Configure, ID Test, Model ID, Controller Simulation, Controller, MVs, DVs, CVs, Model, Gain, and Tuning. The Tuning tab is selected.

MV Tuning:

MV Tag Name	IRV	Linear Weight	Quadratic Weight	Input Increment Weight	Error Weight	Interval block
1 MV1	15	0	0	3.02109	0	10
2 MV2	20	0	0	3.0246	0	10
3 MV3	35	0	0	3.02255	0	10

CV Tuning:

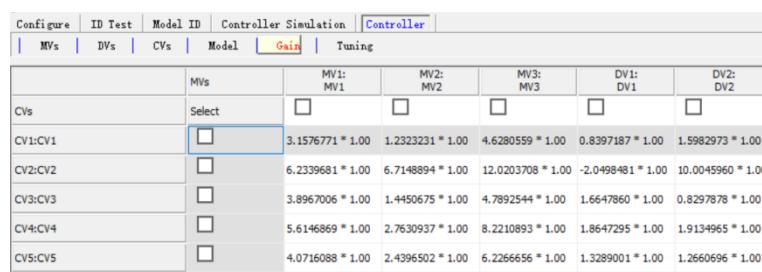
CV Tag Name	Priority	Closed-loop ...	IRV	Linear weight	Quadratic Weight	Output Increment Weight	Error Weight	Priority weight	SFFilter Tau(sec)	SFFilter Alpha
1 CV1	0	10	31.6516	0	0	100	1	1	0	0
2 CV2	1	10	32.845	-1	0	100	1	2	0	0
3 CV3	0	10	33.5206	0	0	100	1	0.7	0	0
4 CV4	2	10	35.0136	0	0	100	1	1	0	0
5 CV5	3	10	35.8615	0	0	100	1	1	0	0
6 CV6	3	10	36.6325	0	0	100	1	2	0	0
7 CV7	3	10	37.5808	0	0	100	1	3	0	0

7.4.7 模型增益矩阵 (GainFactor)

模型增益矩阵 (GainFactor) 可以用于在线调整模型的增益。控制器在进行优化控制时，始终将输入模型乘以增益矩阵作为最终模型，即：

$$G_{MPC} = G_{sysid} \circ \text{GainFactor}$$

其中 GainFactor 矩阵与 G_{sysid} 是一一对应的，GainFactor 与 G_{sysid} 的相乘是元素之间的相乘。从阶跃响应曲线的角度，改变增益相当于操作了整体曲线的放大与缩小。修改 GainFactor 矩阵调整 MPC 模型不会影响 MPC 的计算速度。目前，修改 GainFactor 矩阵只能通过脚本修改。



The screenshot shows the Gain matrix configuration table. At the top, there are tabs for Configure, ID Test, Model ID, Controller Simulation, Controller, Gain, and Tuning. The Gain tab is selected.

	MVs	MV1: MV1	MV2: MV2	MV3: MV3	DV1: DV1	DV2: DV2
CVs	Select	<input type="checkbox"/>				
CV1:CV1	<input checked="" type="checkbox"/>	3.1576771 * 1.00	1.2323231 * 1.00	4.6280559 * 1.00	0.8397187 * 1.00	1.5982973 * 1.00
CV2:CV2	<input type="checkbox"/>	6.2339681 * 1.00	6.7148894 * 1.00	12.0203708 * 1.00	-2.0498481 * 1.00	10.0045960 * 1.00
CV3:CV3	<input type="checkbox"/>	3.8967006 * 1.00	1.4450675 * 1.00	4.7992544 * 1.00	1.6647860 * 1.00	0.8297878 * 1.00
CV4:CV4	<input type="checkbox"/>	5.6146869 * 1.00	2.7630937 * 1.00	8.2210893 * 1.00	1.8647295 * 1.00	1.9134965 * 1.00
CV5:CV5	<input type="checkbox"/>	4.0716088 * 1.00	2.4396502 * 1.00	6.2266656 * 1.00	1.3289001 * 1.00	1.2660696 * 1.00

7.4.8 在线修改模型

MPC 控制器允许在线更新模型，并即时生效。需要注意的是，在线更新模型的操作会显著降低 MPC 的运行速度。在线更新模型的操作会使 MPC 控制器重新计算所有 CV 的预测时域与所有 MV 的控制时域。如果用户不希望这两组参数随着模型更新而发生改变，则应该在控制脚本中显示指定这两组参数。不过，在大多数情况下，用户无需关心 MPC 的预测时域与控制时域，MPC 控制器自动计算值总是正确的。

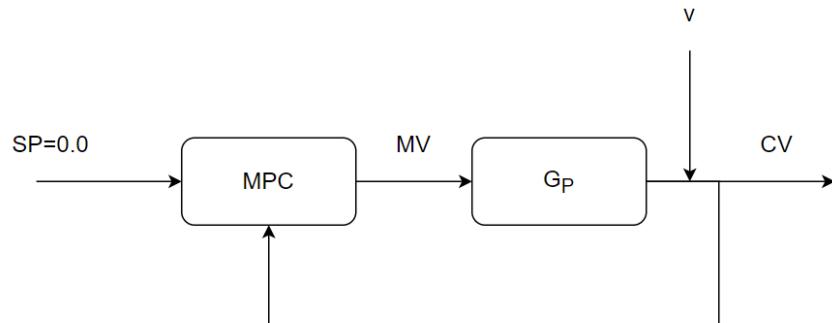
7.5. “两项 QP”与“三项 QP”的性能对比

7.5.1 环境

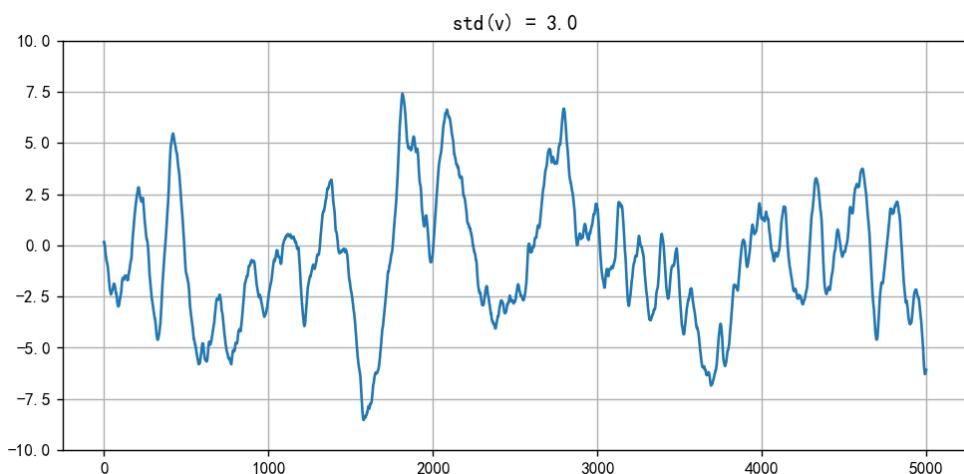
本章节以一个单输入单输出（SISO）的被控对象为例，说明 MPC 中使用“三项 QP”算法的优势。假设被控对象为一阶+时延的传递函数：

$$G_P = \frac{3.8}{30s + 1} e^{-17s}$$

MPC 模型与被控对象完全一致，构造如下闭环控制方案：



其中不可测干扰 v 是一组标准差为 3.0 的零均值噪声，在以下所有的仿真中保持不可测干扰 v 不变。不可测干扰 v 的趋势如下图所示：



7.5.2 准则

“两项 QP” 形式的 MPC 记为 MPC_{2term}，损失函数为：

$$\min_{\Delta u} J_{2term} = \left\| y_{prd} - 0.0 \right\|_{Q_{2term}}^2 + \left\| \Delta u \right\|_{R_{2term}}^2$$

“三项 QP” 形式的 MPC 记为 MPC_{3term}，损失函数为：

$$\min_{\Delta u} J_{3term} = \left\| y_{prd} - 0.0 \right\|_{Q_{3term}}^2 + \left\| \Delta y_{prd} \right\|_{S_{3term}}^2 + \left\| \Delta u \right\|_{R_{3term}}^2$$

使用 MPC_{2term} 和 MPC_{3term} 分别仿真 5.1 所述对象，进行如下比较：

- (1) 固定 $Q_{2term} = Q_{3term} = 1.0$ ，使用同样的不可测干扰 v，对于 MPC_{2term}，通过调整 R_{2term} ，使得 MV 的标准差为 0.8；对于 MPC_{3term}，通过调整 S_{3term} 和 R_{3term} 使得 MV 的标准差也为 0.8（注：可能不止一组参数能够满足条件，选择 CV 标准差较小/最小的那组参数进行性能比较）。在此情况下，通过比较两组控制器得到的 CV 的标准差，我们认为 CV 标准差较小（CV 波动小）的 MPC 控制性能更好。
- (2) 固定 $Q_{2term} = Q_{3term} = 1.0$ ，使用同样的不可测干扰 v，分别调整两组控制器使得 CV 的标准差相等，比如都等于 1.0，比较 MV 的标准差，我们认为 MV 标准差较小（MV 动作小）的 MPC 更为鲁棒。（注：MPC_{3term} 可能存在不止一组参数满足条件，选择 MV 标准差较小/最小的那组参数进行性能比较。）

7.5.3 结论

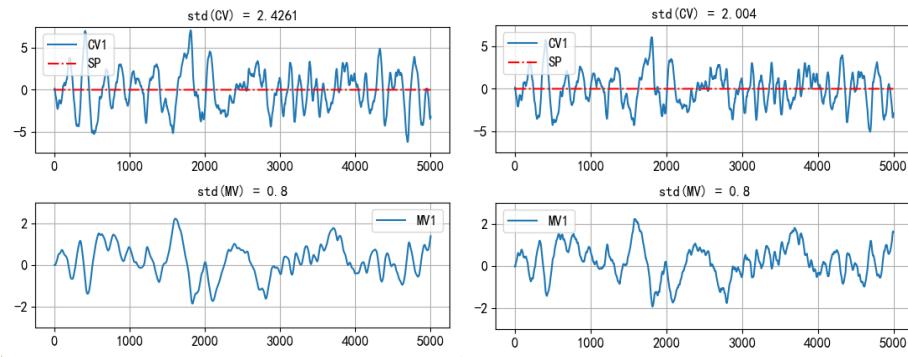
“两项 QP” MPC：在 $Q_{2term} = 1.0$ ，MV 的标准差为 0.8 时，MPC 的控制参数与 CV 标准差如下表：

Q_{2term}	R_{2term}	std(MV)	std(CV)
1.0	8183.65	0.8	2.42605

“两项 QP” MPC：固定 $Q_{3term} = 1.0$ ，MV 的标准差为 0.8 时，使用同样的不可测干扰进行仿真后，MPC 的控制参数与 CV 标准差如下表：

Q_{3term}	S_{3term}	R_{3term}	std(MV) (约束)	std(CV)	与 MPC _{2term} 相比，CV 标准差下降百分比
1.0	0.0	8183.65	0.8	2.42605	0%
1.0	431.67	4000.0	0.8	2.31628	4.525%
1.0	608.81	2000.0	0.8	2.24653	7.400%
1.0	725.47	1000.0	0.8	2.19399	9.565%

1.0	884.71	100.0	0.8	2.06910	14.713%
1.0	907.08	10.0	0.8	2.01716	16.854%
1.0	910.48	1.0	0.8	2.00402	17.396%
1.0	910.92	0.1	0.8	2.00212	17.474%
1.0	910.95	0.01	0.8	2.00192	17.482%
1.0	910.97	1e-6	0.8	2.00190	17.483%



控制效果对比, 左图 $Q_{2term} = 1.0$, $R_{2term} = 8183.65$; 右图 $Q_{3term} = 1.0$, $R_{3term} = 1.0$,

$$S_{3term} = 910.48$$

在这个示例中, 在相同的 MV 标准差约束下, 对比两种 MPC 得到以下结论: 三项 MPC 的控制性能相对于两项 MPC 大约能够提高 17.4%。

MPC	std(MV)	std(CV)	说明
“两项 QP ” MPC $Q_{2term} = 1.0$, $R_{2term} = 8183.65$	0.8	2.426	
“三项 QP ” MPC $Q_{3term} = 1.0$, $R_{3term} = 1.0$, $S_{3term} = 910.48$	0.8	2.004	控制性能提高 (CV 标准差下降) 约 17.4%

同理, 对于两种 MPC 给予相同的 CV 标准差约束: std(CV)=2.2, 观察 MV 的标准差大小, 如下表所示。

两项 MPC 的权重选取

Q_{2term}	R_{2term}	std(MV)	std(CV) (约束)
1.0	2547.64818	0.83597	2.2

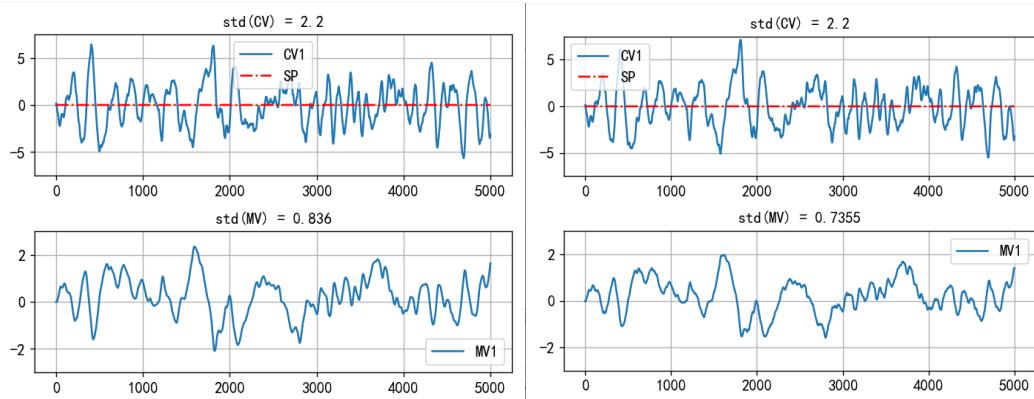
三项 MPC 的权重选取

Q_{3term}	S_{3term}	R_{3term}	std(MV)	std(CV) (约束)	与 MPC _{2term} 相比, MV 标准差下降百分比
1.0	0.0	2547.64818	0.83597	2.2	0%
1.0	763.16866	1000.0	0.79715	2.2	4.644%

1.0	1566.20972	100.0	0.75041	2.2	10.235%
1.0	1793.30811	10.0	0.73790	2.2	11.731%
1.0	1838.23370	1.0	0.73550	2.2	12.018%
1.0	1843.78662	0.1	0.73521	2.2	12.053%

在这个示例中，在相同的 CV 标准差约束下，对比两种 MPC 得到以下结论：三项 MPC 的鲁棒性相对于两项 MPC 大约能够提高 12%。

MPC	std(MV)	std(CV)	说明
“两项 QP ” MPC $Q_{2term} = 1.0, R_{2term} = 2547.65$	0.83597	2.2	
“三项 QP ” MPC $Q_{3term} = 1.0, R_{3term} = 1.0, S_{3term} = 1838.23$	0.73550	2.2	控制鲁棒性提高 (MV 标准差下降) 约 12%



控制效果对比，左图 $Q_{2term} = 1.0, R_{2term} = 2547.65$ ；右图 $Q_{3term} = 1.0, R_{3term} = 1.0,$

$$S_{3term} = 1838.23$$

7.6 多模型线性插值 (LPV) 方案

多模型线性插值 MPC 方案的目的是解决一类被控对象的特定非线性问题。实际工业装置经常遇到的一种典型的非线性场景：被控对象的模型随着某一个或某几个变量发生大幅变化。比如：燃煤发电机组的被控对象模型经常随着负荷高低而发生改变，负荷较低的时候锅炉燃烧效率不高，响应慢；负荷达到额定附近时，燃烧效率高，响应快。

LPV 方案允许用户指定调度变量 (Scheduling Variable, w) 以及与多个工作点 (Working Point, w_k) 对应的多组局部模型 (Local Model, G_k)，在工作点之间的模型通过线性插值的方式完成模型拼接。目前，Tai-Ji MPC 软件支持单个工作点变量的多组模型插值，插值的方式采用线性插值法，后续可能增加多个工作点变量以及高斯权重加权方法。

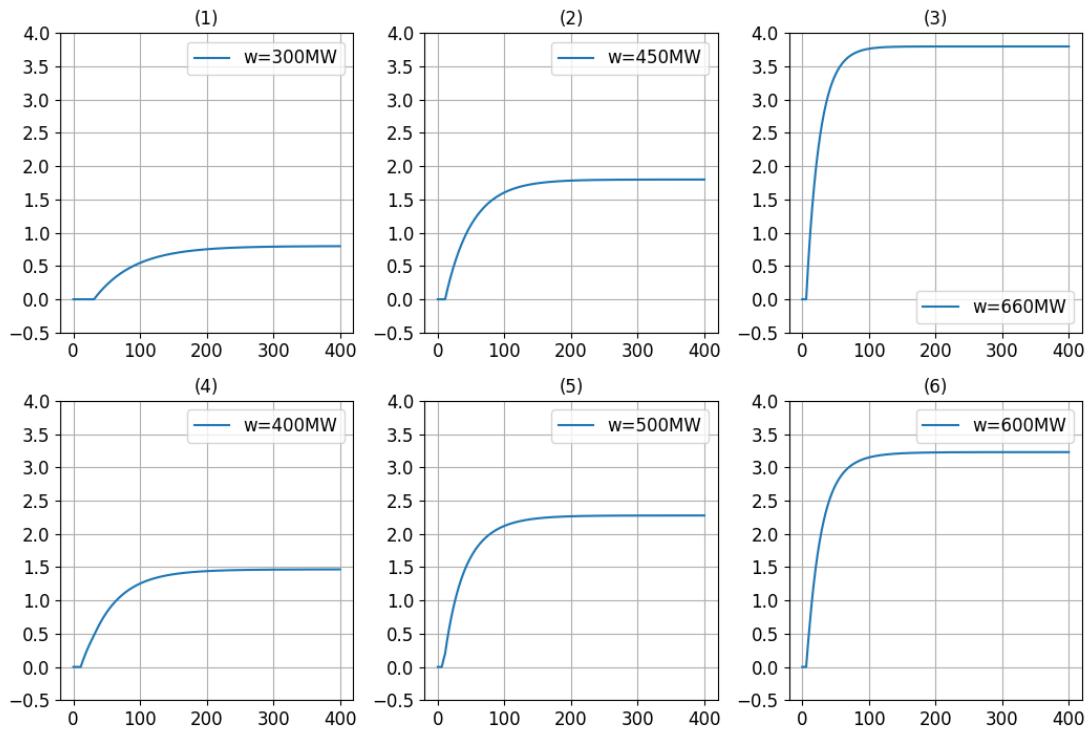
以燃煤发电机组为例，用户可以指定机组负荷作为调度变量为负荷，选取三个工作点，



分别为：低负荷、中负荷、高负荷。如下表所示。

	工作点	局部模型
	Working Point (w_k)	Local Model (G_k)
低负荷	$w_1 = 300\text{MW}$	$G_1 = \frac{0.8}{60s+1} e^{-30s}$
中负荷	$w_2 = 450\text{MW}$	$G_2 = \frac{1.8}{40s+1} e^{-10s}$
高负荷	$w_3 = 660\text{MW}$	$G_3 = \frac{3.8}{20s+1} e^{-5s}$

用户可以把上表的内容输入 Tai-Ji MPC 软件，并指定负荷作为调度变量 w 。调度变量通常是连续变化的，当调度变量 $w \leq 300\text{MW}$ ，MPC 将完全使用低负荷模型；当调度变量 $w = 450\text{MW}$ 时，MPC 将完全使用中负荷模型；当调度变量 $w \geq 660\text{MW}$ ，MPC 将完全使用高负荷模型。当调度变量在 $300\text{~}450\text{MW}$ 之间，如 400MW 时，MPC 使用 33.33% 的低负荷模型、66.67% 的中负荷模型和 0.0% 的高负荷模型。不同工作点的模型阶跃响应如下图所示。



不同工作点的模型，图(1)~(3)是局部模型，图(4)~(6)是插值模型

以上述燃煤发电机组为例，MPC 通过以下公式加权得到当前模型。如果用户指定了更多的工作点与工作点模型，计算方式类似。

$$G_{\text{CURRENT}} = \alpha_1(w)G_1 + \alpha_2(w)G_2 + \alpha_3(w)G_3$$

$$\alpha_1(w) = \begin{cases} 1 & w < w_1 \\ \frac{w_2 - w}{w_2 - w_1} & w_1 \leq w \leq w_2 \\ 0 & w > w_2 \end{cases}$$

$$\alpha_2(w) = \begin{cases} 0 & w < w_1 \\ \frac{w - w_1}{w_2 - w_1} & w_1 \leq w \leq w_2 \\ \frac{w_3 - w}{w_3 - w_2} & w_2 < w \leq w_3 \\ 0 & w > w_3 \end{cases}$$

$$\alpha_3(w) = \begin{cases} 0 & w < w_2 \\ \frac{w - w_2}{w_3 - w_2} & w_2 \leq w \leq w_3 \\ 1 & w > w_3 \end{cases}$$

MPC 软件根据加权后得到的模型 (G_{CURRENT}) 进行预测与优化。

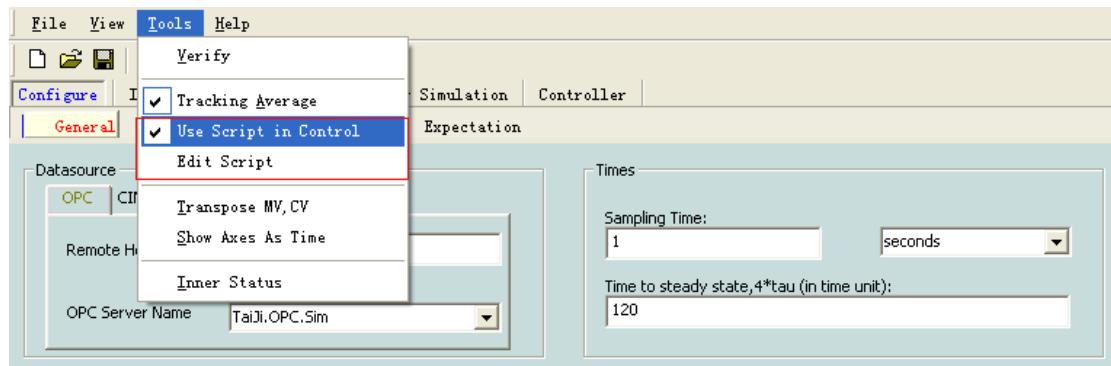
8. 脚本处理

脚本是添加常规 MPC 控制中不支持的动作或者计算。执行脚本的目的是为了增加 MPC 控制的灵活性和智能性。有如下三中脚本：

- (1) **初始化脚本**, 动作/计算将会在控制器开始执行之后启动（“开始控制”按钮被按下时）；
- (2) **输入脚本**, 在每个采样周期内, 动作/计算将会在 MPC 控制计算之前实施, 输入脚本将在每一个采样周期内执行；
- (3) **输出脚本**, 在每个采样周期内, 动作/计算将会在 MPC 控制计算之后实施, 输入脚本将在每一个采样周期内执行。

8.1 开启脚本功能

在 工具菜单中, 点击 **Use Script in Control** 选项, 如下所示:

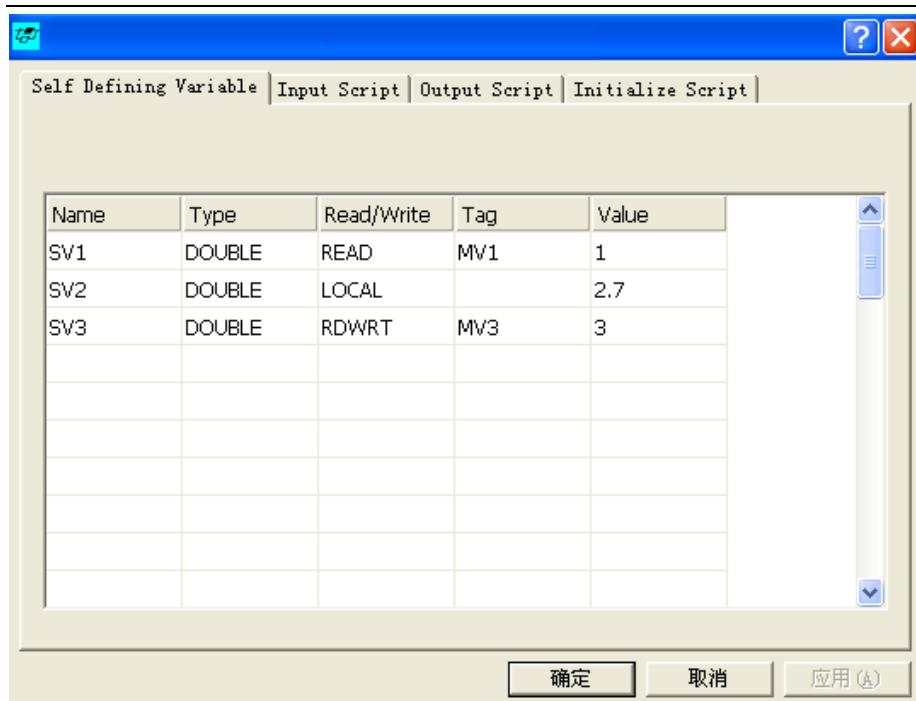


8.2 编辑脚本

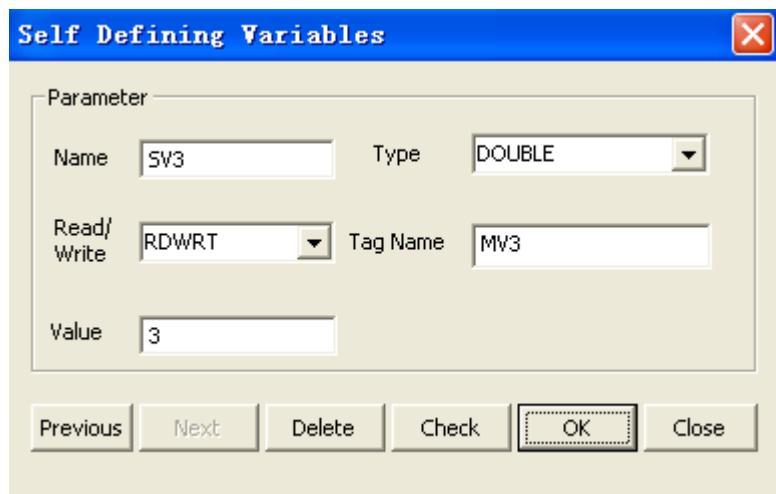
在工具菜单中, 点击 **Edit Script** 按钮将会打开脚本编辑窗口, 用户可以定义变量(点击 **Self Defining Variables** 选项卡), 编辑输入脚本(点击 **Input Script** 选项卡), 编辑输出脚本(点击 **Output Script** 选项卡), 编辑初始化脚本(点击 **Initialize Script** 选项卡)。



Tai-Ji Control



在 **Self Defining Variable** 选项卡中，双击名称列的模块，将会出现如下定义变量窗口，用户在其中输入变量的名称、数据类型、读/写、DCS (OPC server)标签名称、可选的值。



Name: 变量名称

Type: 数值的类型 DOUBLE 或 LONG

Reaf/Write: LOCAL, READ, WRITE, RDWRT.

LOCAL 表示本地变量，不与 DCS 通信

READ 表示从 DCS 读取

WRITE 表示写入 DCS

RDWRT 表示从 DCS 读/写

Tag Name: DCS 中的标签名称(LOCAL 变量不能使用)

Value: LOCAL 变量的值(不用于 READ、WRITE 或 RDWRT).

定义的变量类叫做 SV 类。

8.3 编辑输入/输出脚本

用户可以用 VB 语言在输入脚本中建立和编辑输入脚本，可以利用 **GetValue** 得到 MV/DV/CV/SV 变量，**SetValue** 可对其值进行设置。

示例：MV 在 DCS 中的标签名称为 FIC1001.SP

利用下述命令得到 MV 的上限和下限：

```
MVhi = GetValue("MV:FIC1001.SP-SoftHighLimit")
MVlo = GetValue("MV:FIC1001.SP-SoftLowLimit")
```

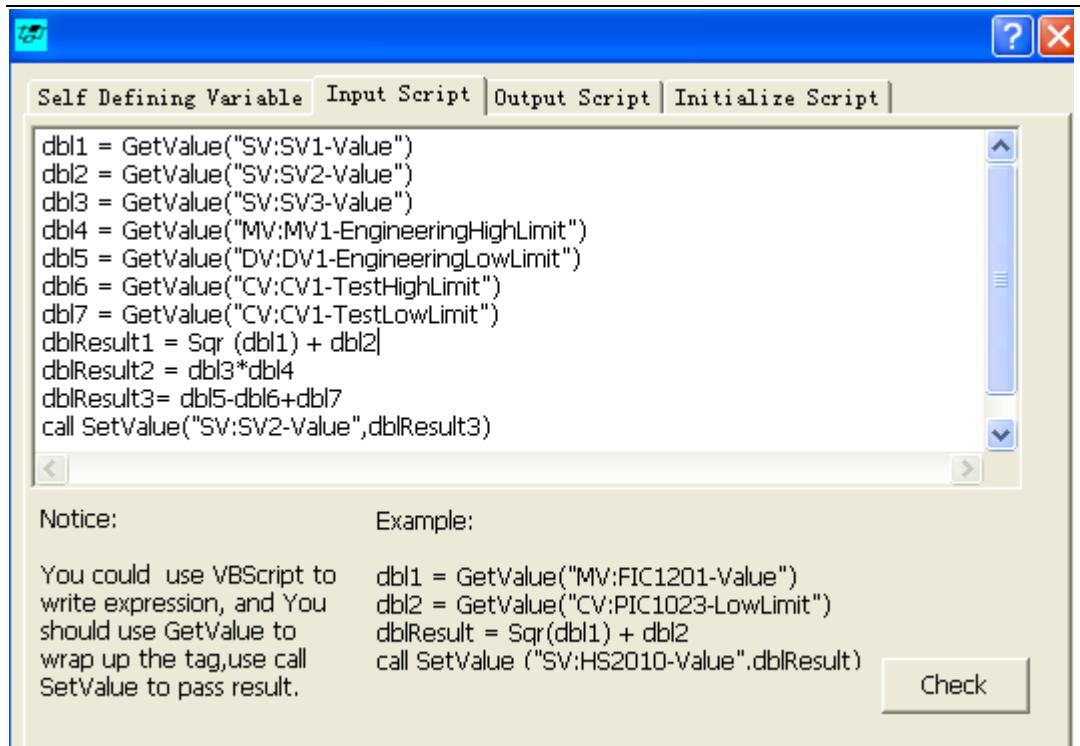
利用下述命令得到中值并且存入到 MV 中：

```
MVmed = 0.5 * (MVhi + MVlo)
call SetValue("MV:FIC1001.SP-MPCPredictionMV", MVmed)
```

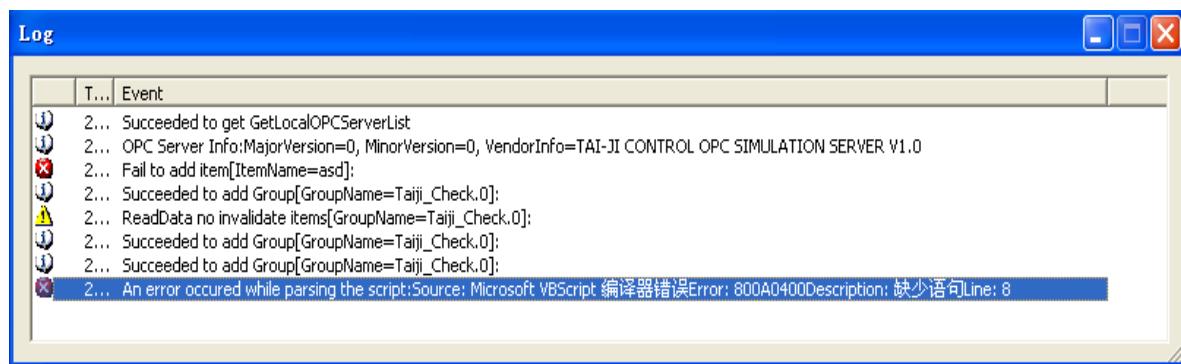
注意从 MV/DV/CV/SV 变量读取或者写入时，需要使用其相应的属性值。MV/DV/CV/SV 变量的属性值通过一个扩展符号“-”标记。例如：MV FIC1001.SP 的上限是：FIC1001.SP-SoftHighLimit。

MV/DV/CV/SV 的属性在本章末给出。

下图展示了**输入脚本**。单击按钮，建立脚本。如果有错误，将会弹出错误窗口，错误信息会提示哪个变量不能用 **GetValue** 读取，哪个变量不能用 **call SetValue** 写入。



如果有逻辑错误，VBScript 将会监测到并在日志窗口中给出错误信息，如下所示：



输出脚本和初始化脚本可以用相似方法建立。

注意使用脚本时，用户不能同时运行控制器仿真和控制。

8.4 变量属性

CurrentProcessMV (DCS 中测量的 MV)

EngineeringHighLimit
EngineeringLowLimit

MPCPredictionMV	(将要写入 DCS 中的 MV 控制量)
ControlStatus	
CriticalVariable	
SoftHighLimit	
SoftLowLimit	
SpeedLimit	
IRVvalue	
LinearWeight	
QuadraticWeight	
SpeedWeight	
ErrorWeight	
PriorityWeight	
IntervalBlock	
TestHighLimit	(MV 上限)
TestLowLimit	(MV 下限)
CurrentMPCMV	
SteadyValue	
SimulationMPCPredictionMV	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationControlStatus	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationCriticalVariable	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSoftHighLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSoftLowLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSpeedLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationIRVvalue	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationLinearWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationQuadraticWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSpeedWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationErrorWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationPriorityWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationIntervalBlock	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationTestHighLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationTestLowLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationCurrentMPCMV	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSteadyValue	(同上, 但用于控制仿真)

DV attributes

EngineeringHighLimit
EngineeringLowLimit

CurrentDV	
ControlStatus	
SimulationCurrentDV	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationControlStatus	(同上, 但用于控制仿真)

CV attributes

TestHighLimit	
TestLowLimit	
Integral	
MVVALV	
CVLGTH	
Calculated	
EngineeringHighLimit	
EngineeringLowLimit	
CurrentCV	(DCS 中测量的 CV)
SteadyValue	
ActiveIndicator	
ControlStatus	
CriticalVariable	
SetpointFixed	
SetpointValue	
SetpointHighLimit	(CV 上限)
SetpointLowLimit	(CV 下限)
SoftHighLimit	
SoftLowLimit	
Priority	
ClLpRsponeTime	
IRVvalue	
LinearWeight	
QuadraticWeight	
ErrorWeight	
PriorityWeight	
IntervalBlock	
SimulationCurrentCV	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSteadyValue	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationActiveIndicator	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationControlStatus	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationCriticalVariable	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSetpointFixed	(同上, 但用于控制仿真)

SimulationSetpointValue	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSetpointHighLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSetpointLowLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSoftHighLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationSoftLowLimit	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationPriority	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationClsLpRsponseTime	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationIRVvalue	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationLinearWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationQuadraticWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationErrorWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationPriorityWeight	(同上, 但用于控制仿真)
SimulationIntervalBlock	(同上, 但用于控制仿真)

SV attribute

Value

9. 故障排除

- 启动程序的时候，提示：Error 7: Hasp HL Key not found。

没有插入加密锁，或者插入了加密锁，但是锁已经失效。参见第 2.4 节 [Tai-Ji MPC 软件加密保护系统和更新过程](#)。

- 启动程序后，打开、或者新建工程的时候，程序直接关闭。

环境 Path 没有正确设置。拷贝 C:\Taiji\Common\lib 下的所有文件到可执行文件 TaiJiMPC.exe 所在目录 C:\Taiji\TaiJiMPC\bin 下。

- 在 **配置→一般** 窗口看不到已经安装了的 OPC f 服务器

检查是否安装过 OPC DA Components，如果没有安装过，请运行 Tai-Ji MPC 光盘下的 OPC_DA20_Components.exe 来安装。

检查是否禁止了 OPC enum，如果是，您可以要求网络管理人员运行 dcomcnfg 来允许 OPC enum 权限，然后再运行 Tai-Ji MPC；

直接在 **OPC 服务名称** 填写有效的 OPC Server 名称。如果仍然无法访问 OPC Server，请在客户端和服务器上都运行 dcomcnfg 来确认是否有访问 OPC Server 的权限。

如果是远程 OPC 服务器，则检查网络连接是否有效，可以用 PING 命令检查，ping 主机名称。在某些机器上禁止了 PING 命令，如果这样，请咨询网络管理员。

- 在 **模型辨识→模型** 打开的模型窗口中，模型阶跃响应或模型频率响应只有背景颜色。

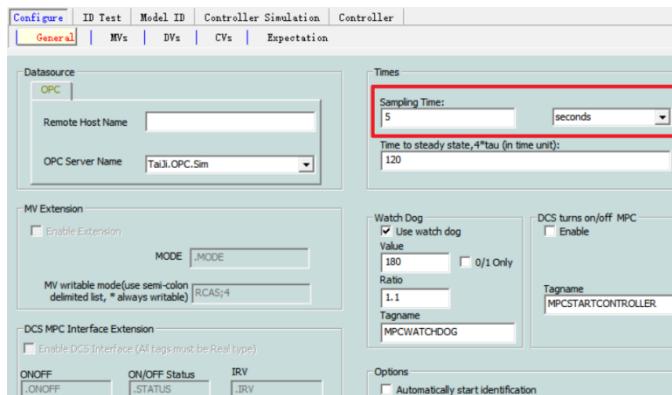
这是因为窗口中需要显示的图形太多，无法正确显示每个模型，需要减少行列数目或 CV 和 MV 的个数。

10.常见问题解答

10.1 关于设置 Tai-Ji MPC 中的采样时间

Q1 什么是采样时间？采样时间在哪里设置？

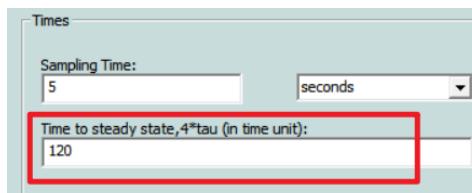
A1 Tai-Ji MPC 的采样时间是指 MPC 的控制器执行周期。采样时间的设置在 Tai-Ji MPC 的配置界面中，可选“秒”或“分钟”作为时间单位。最小的采样时间为 1 秒。



Q2 稳态时间怎么填写，和采样时间有什么关系？

A2 稳态时间是指主要的输入发生变化后，被控对象到达开环稳定的时间。请根据时间单位进行填写。比如：某加热炉的给煤发生变化到温度稳定的时间大约是 20 分钟，时间单位填写“秒”，那么在 Tai-Ji MPC 软件中的开环稳态时间中应填写 1200。

开环稳态时间的填写和采样时间没关系，和采样时间的时间单位有关系。



Q3 如何设置采样时间？

A3 请根据 MPC 控制器的执行周期设置采样时间。MPC 控制器的执行周期是指：用户希望 Tai-Ji MPC 多长时间计算并输出一次 MV。采样时间设置后，在线控制器按照设置的采样时间计算并输出 MV，数据采集也按照设置的采样时间执行数据采集。例如：在 Tai-Ji MPC 中设置采样时间为 10 秒，那么在线控制器每隔 10 秒输出一次 MV，实验界面开始采集数据后每隔 10 秒采集一次数据（采集的数据是以 10 秒为间隔）。

Q4 我想导入 csv 数据进行辨识，csv 中的数据是以 1 秒采样的，Tai-Ji MPC 设置的采样时间是 10 秒，我要如何处理？

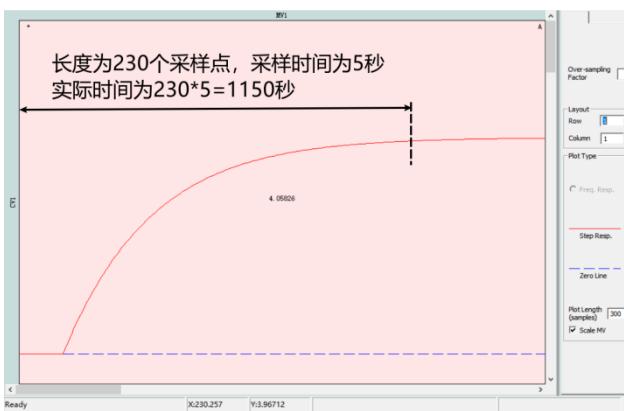
A4 使用 Excel 等外部工具打开 1 秒的 csv 数据进行慢采样至 10 秒，构造出一份 10 秒的 csv 数据文件，在 Tai-Ji MPC 中导入 10 秒的 csv 数据文件。配置界面中填写的采样时间必须与导入数据的实际采样时间一致。

Q5 Tai-Ji MPC 的采样时间是 10 秒, 在线控制器中如何手动输入增益是 2.0, 时延是 30 秒, 响应时间是 240 秒的一阶模型? 手动输入的模型参数与采样时间有关系吗? 与时间单位有关系吗?

A5 根据工程估算 $\tau_{ao} \approx 240/4=60$, 当软件设置的时间单位是“秒”时, 请按照 $2.0/(60*s+1)*exp(-30*s)$ 填写。因为手动输入模型为连续时间模型, 所以手动输入的模型参数与采样时间没有关系, 仅与时间单位有关系。根据给出参数, 当软件设置的时间单位是“分钟”时, 请按照 $2.0/(1*s+1)*exp(-0.5*s)$ 填写。

Q6 MPC 中绘制的模型阶跃响应是按照采样点 (Sample) 还是按照绝对时间(Time)?

A6 按照采样点(Sample)。例如某 MPC 工程, 设置的采样时间是 5 秒, 模型显示如下图所示。从图中观察到模型的稳态大约在 230 采样点之后, 那么意味着模型的到达稳态时间是 $230*5=1150$ 秒。同时, “辨识”中的“时延”界面显示或填写的数字也是按照采样点。

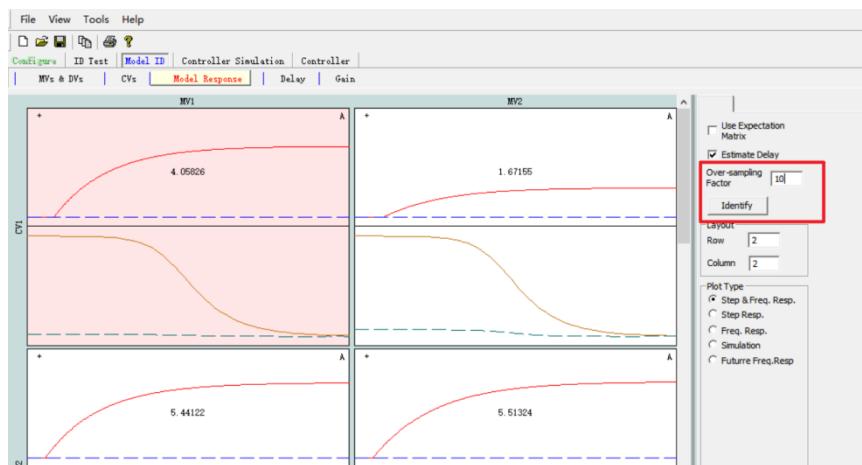


Q7 MPC 控制器表格中的闭环响应时间指的是采样点 (Sample) 还是按照绝对时间(Time)?

A7 不同版本的 Tai-Ji MPC 不一样, 在界面上有标注。如果标注是 Time 就是按照绝对时间, 如果标注是 Sample 就是按照采样点。Tai-Ji MPC 4.x 和 Tai-Ji MPC 5.x 是按照采样点(Samples) Tai-Ji MPC 3.x 是按照绝对时间。

Q8 采样时间是 1 秒 (导入/测试的数据的实际采样时间也是 1 秒), 我想按照 10 秒的采样间隔辨识, 如何操作?

A8 在“辨识->模型”界面的慢采样倍数中输入 10(倍)再点击辨识生成模型, 如下图所示。



Q9 采样时间是 10 秒（导入/测试的数据的实际采样时间也是 10 秒），我想辨识出适用于 1 秒采样时间的模型，如何操作？

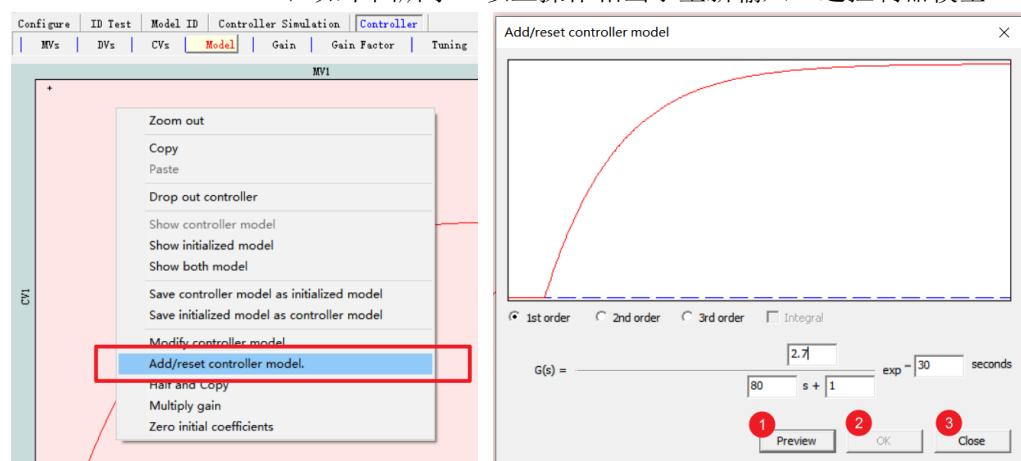
A9 无法操作。可以新建工程后设置采样时间为 1 秒，导入实际采样时间为 1 秒的数据。

Q10 采样时间可以改吗？

A10 可以（控制器、测试需停止）。进行此操作务必小心！请仔细阅读接下去的两个 Q&A。由于设置的采样时间必须与数据的实际采样时间相一致，修改采样时间可能导致数据与模型不正确。建议修改采样时间后清空数据和辨识模型。

Q11 我只使用在线控制器功能，所有的模型都是手动输入的，希望修改采样时间，如何操作？

A11 修改采样时间，找到在线控制器的模型逐个单击右键 -> add/reset controller model -> Preview -> OK -> Close，如下图所示。以上操作相当于重新输入一遍控制器模型。



Q12 我只使用在线控制器功能，有的模型是从辨识界面导入控制器的，有的模型是手动输入的，希望修改采样时间，如何操作？

A12 无法执行此操作。原因：辨识模型无法重置。