

低速抖动抑制辨识工具 操作手册

文档版本 V1.0

20231010

陈伟

20231010

范亮亮

20231011

李瑞设

20231023

中科新松有限公司

2023 年 9 月 1 日

版权所有©中科新松有限公司 2021。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明

“SIASUN”、“新松”、“SIASUN 新松”等文字或形象均进行了商标注册保护，注册商标信息可见于公开的商标注册信息中。

本手册提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受中科新松有限公司商业合同和条款的约束，本手册中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围内。除非合同另有约定，中科新松有限公司对本手册内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本手册内容会不定期进行更新。除非另有约定，本手册仅作为使用指导，本手册中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

中科新松有限公司

地址：上海市浦东新区金藏路 257 号 邮编：201206

网址：<http://www.siasun-in.com>

修订历史

1. 2023 年 9 月 1 日 文档版本 V1.0，首次修订

目录

修订历史	4
1 前言	6
1.1 读者对象	6
1.2 符号约定	6
1.3 特别声明	7
2 安全	8
3 低速抖动抑制功能简介	9
3.1 功能目标	9
3.2 功能术语	9
3.3 使用限制	10
4 准备工作	11
4.1 DC15S 控制柜工具安装	11
4.2 DC15S 控制柜启动低速抖动抑制标定工具	11
4.3 DC15S-J9 控制柜工具安装	12
4.4 DC15S-J9 控制柜启动低速抖动抑制标定工具	13
4.5 笔记本连接控制柜	14
4.6 笔记本打开工具界面	15
5 低速抖动抑制辨识	16
5.1 辨识前准备	16
5.2 机器人参数校验	16
5.3 辨识操作	16
5.4 辨识分析	17
5.5 辨识结果	18
5.6 辨识结果的应用	19
5.7 导出低速抖动抑制标定参数	20
5.8 同步机器人参数至末	21

1 前言

1.1 读者对象

本文档提供新松协作机器人低速抖动抑制工具的操作使用流程，便于读者详细了解如何使用低速抖动抑制工具针对机器人在低速运行时末端出现明显抖动进行优化。






本文档主要适用于以下用户：

- 机器人现场工程师
- 机器人软件工程师
- 现场维护工程师
- 系统维护工程师

经过基本培训的操作人员才允许进行该工具与机器人间的操作。

1.2 符号约定

在本文中可能出现下列标志，它们所代表的含义如下：

符号	说明
 危险	用于警示紧急的危险情形，若不加避免，将会导致人员死亡或严重的人身伤害。
 警告	用于警示潜在的危险情形，若不加避免，可能会导致人员死亡或严重的人身伤害。
 小心	用于警示潜在的危险情形，若不加避免，可能会导致中度或轻微的人身伤害。
 注意	用于传递设备或环境安全警示信息，若不加避免，可能会导致设备损坏、数据丢失、设备性能降低或其它不可预知的结果。 “注意”不涉及人身伤害。
 提示	用于突出重要/关键信息、最佳实践和小窍门等。 “提示”不是安全警示信息，不涉及人身、设备及环境伤害信息。

1.3 特别声明

本手册仅作为使用指导，其内容（如设备外观、软件界面）依据实验室设备信息编写。手册提供的内容具有一般性的指导意义，并不确保涵盖所有型号产品的所有使用场景。因版本升级、设备型号不一致等原因，可能造成手册中提供的内容与用户使用的设备不一致。请以用户设备的信息为准，本手册不再针对前述情况造成的差异一一说明。

本手册中提供的最大值是设备在满足相应标准的实验室特定场景（例如，恒温恒湿无干扰环境、典型工况等）达到的最大值。在实际工况中，由于工作环境、具体工况、测试方法不一致等原因会使设备测试出的最大值与手册中提供的数据不一致。

2 安全

关于机器人安全使用说明，请参照 DUCO CORE 用户手册。

3 低速抖动抑制功能简介

3.1 功能目标

机器人在较低速运行时，由于机器人自身特性会引起关节速度产生波动，从而使机器人末端在运动过程中产生明显抖动。通常该特性会引起机器人末端产生 $\pm 1\sim 2\text{mm}$ 的位置抖动，从而在特定应用工况下无法满足实际需求。

低速抖动抑制工具通过针对现场工况进行抖动抑制辨识，自动得到能够针对该工况下的能够抑制对应抖动特性的最佳控制参数，便于使用人员能够避免复杂的调试过程达到预期机器人运行效果。

3.2 功能术语

- 低速抖动：当机器人以较低速度运行（通常关节速度处于 $5^\circ/\text{s}$ 及以下，末端速度处于 25mm/s 及以下）时，肉眼可观测到工具末端产生明显的抖动现象。
- 关节抖动频率：当机器人产生低速抖动时，关节抖动所对应的频率，单位 Hz。
- 关节抖动特征倍频：当机器人产生低速抖动时，通常关节抖动频率会随着机器人运行时的关节速度的改变而变化，且该变化呈现倍数关系。该倍数所对应的值称为抖动特征倍频。该特征倍频数通常与对应关节的电机极对数、电机齿槽数相关。例如电机极对数为 8，齿槽数为 18，则关节抖动特征倍频通常为 8、16、18 中的一个或多个。
- 1 阶倍频/2 阶倍频/3 阶倍频：当机器人产生低速抖动时，振动可能是多个关节抖动特征倍频的叠加。此时抖动幅值中与电机极对数、电机极对数二倍以及电机齿槽数相对应的特征倍频成为 1 阶倍频、2 阶倍频与 3 阶倍频。
- 关节抖动抑制电流：该参数为低速抖动抑制工具辨识得到的抑制电流参数，用于调教伺服产生抖动抑制指令幅值，单位 mA。

- 关节抖动抑制相位：该参数为低速抖动抑制工具辨识得到的抑制相位参数，用于调教伺服产生抖动抑制指令相位，单位 rad。

3.3 使用限制

使低速抖动抑制工具时，需要注意以下使用限制：

- 低速抖动抑制工具需要配合 DucoCore 2.9.0 及以上版本进行使用。
- 低速抖动抑制工具需要配合伺服 1.7.1/2.7.1 版本及以上进行使用。
- 低速抖动抑制工具所辨识得到的结果，仅针对现场特定应用工况，达到最优低速抖动抑制效果。使用同一结果运行其他工况，例如不同运动脚本、不同末端工具负载等，可能无法对低速抖动进行有效抑制，需要重新进行标定。

4 准备工作

4.1 DC15S&DC30D 控制柜工具安装

将 SlowVibrationTest.tar.gz 文件存放至 U 盘根目录，将 U 盘插至机器人控制柜上，按下 ctrl+alt+f2 进入后台，输入命令行：

```
sudo (空格) cp (空格) /mnt/usb/sdb1/SlowVibrationTest.tar.gz  
(空格) ~/
```

将 SlowVibrationTest.tar.gz 文件拷贝至系统根目录下。

拷贝成功后，输入命令行：

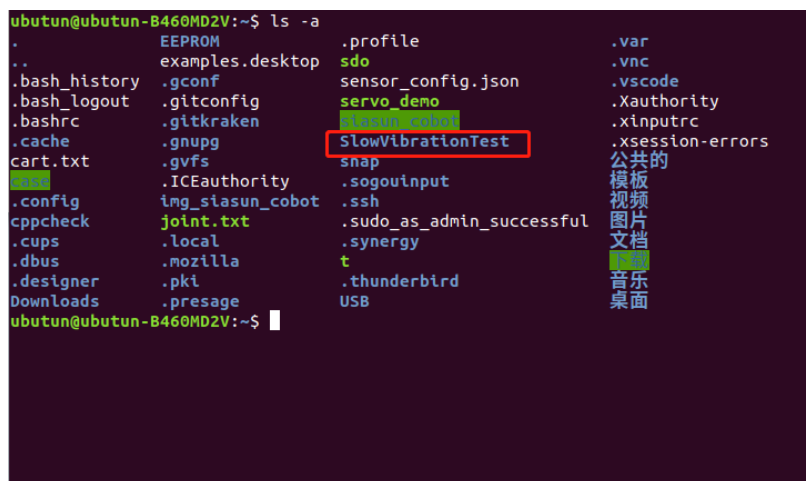
```
sudo (空格) tar (空格) -xvf (空格) ./SlowVibrationTest.tar.gz
```

将 SlowVibrationTest.tar.gz 文件解压至系统根目录下。

执行完上述操作后，可以通过命令行：

```
ls (空格) -a
```

查看当前系统根目录下是否成功添加工具文件，如下图所示：



```
ubutun@ubutun-B460MD2V:~$ ls -a  
.  
..  
.bash_history  
.bash_logout  
.bashrc  
.cache  
cart.txt  
case  
.config  
cppcheck  
.cups  
.dbus  
.designer  
Downloads  
EEPROM  
examples.desktop  
.gconf  
.gitconfig  
.gitkraken  
.gnupg  
.gvfs  
.ICEauthority  
img_siasun_cobot  
joint.txt  
.local  
.mozilla  
.presage  
.profile  
sdo  
sensor_config.json  
servo_demo  
siasun_cobot  
SlowVibrationTest  
snap  
.sogouinput  
.ssh  
.sudo_as_admin_successful  
.synergy  
t  
.thunderbird  
USB  
.var  
.vnc  
.vscode  
.Xauthority  
.xinputrc  
.xsession-errors  
公共的  
模板  
视频  
图片  
文档  
音乐  
桌面
```

4.2 DC15S&DC30D 控制柜启动低速抖动抑制标定工具

在完成步骤 4.1 的基础上，输入命令行：

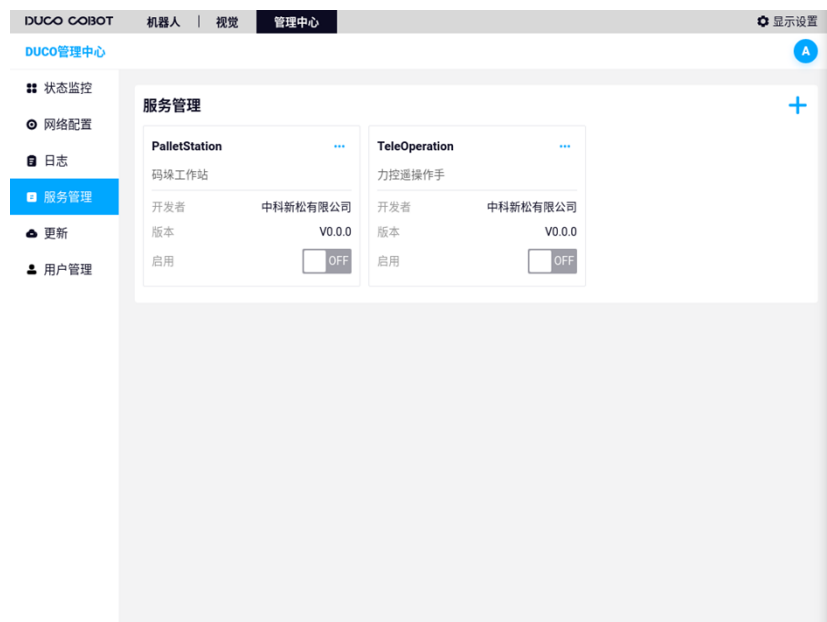
```
sudo (空格) ~/SlowVibrationTest/run/SlowVibrationTest (空格)  
~/SlowVibrationTest/
```

启动低速抖动抑制工具。当工具启动后，会尝试通过本地端口连接机器人控制器。当工具成功连接机器人控制器时，会提示连接成功，如下图所示：

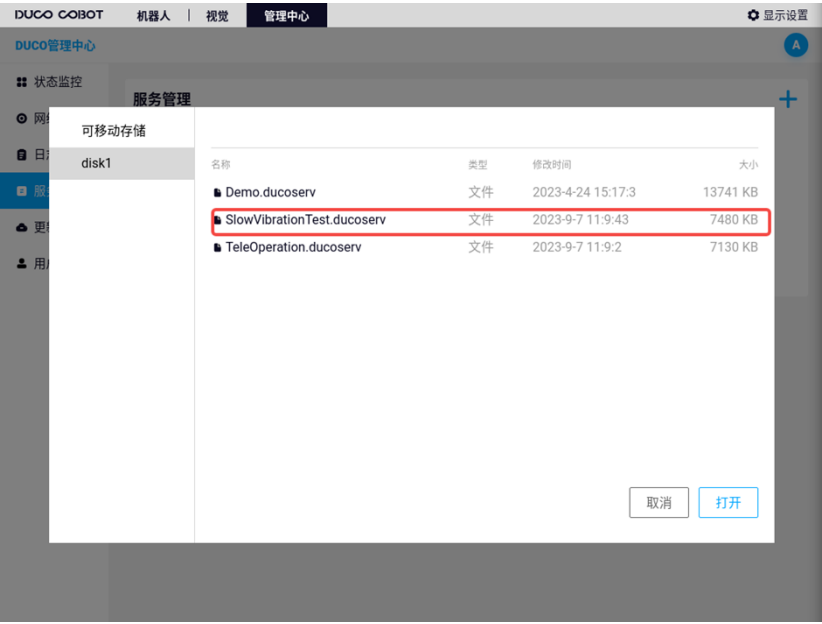
```
webserver start listen:11666
connectToDucoCobot succeeded.connectToDucoCobot end .
motor_pole_pair: 8 8 8 8 8 8
stator_slots: 18 18 18 18 18 18
joint_ratio: 121 121 121 101 101 101
feat freq order:
8 16 18
8 16 18
8 16 18
8 16 18
8 16 18
8 16 18
Close handler
reply: {"id":4,"task":"setTestMode","success":true}
2 max vib velo: 0.0331613
2 first freq: 5.12695 8 8 0.00202777
2 second freq: 5.12695 8 8 0.00202777
2 optimum phase: 0.2 0.2
2 optimum current: 0.3 0.3
2 optimum result:
5.12695 8 0.00202777 0.00203489 0.2 0.3
5.12695 8 0.00202777 0.00203489 0.2 0.3
```

4.3 DC15S-J9&DC30D-J9 控制柜工具安装

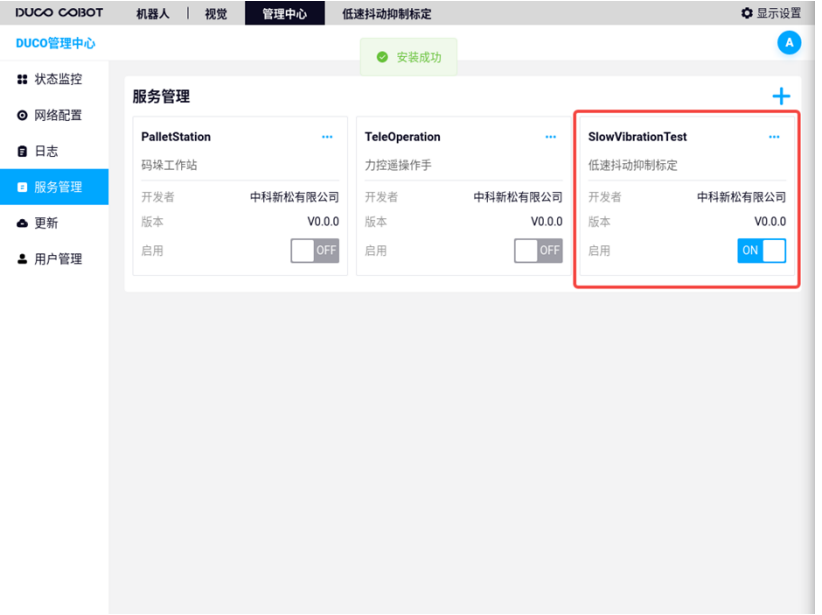
将 SlowVibrationTest.ducoserv 安装包文件存放至 U 盘根目录，将 U 盘插至机器人控制器上，并进入 DucoManager-服务管理界面，如下图所示：



点击“+”号进行新服务添加，选择 U 盘目录并选择 SlowVibrationTest.ducoserv 文件，如下图所示：

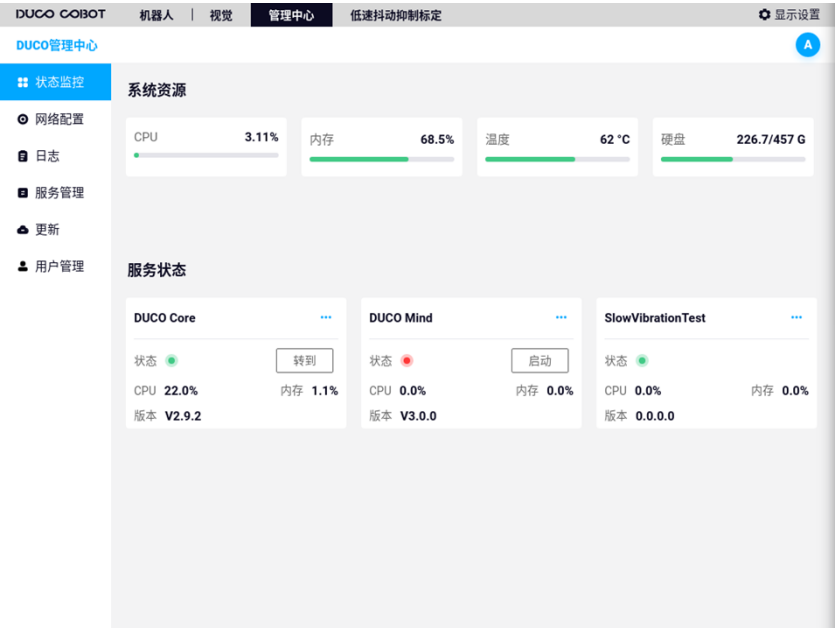
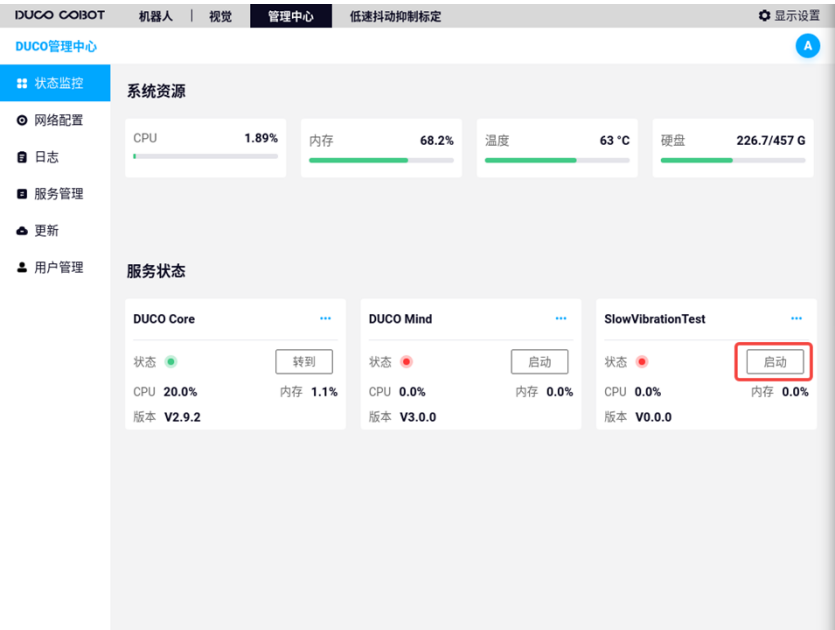


选择后点击打开完成工具安装，安装完成后会在服务管理界面看到对应的低速抖动抑制标定服务，如下图所示：



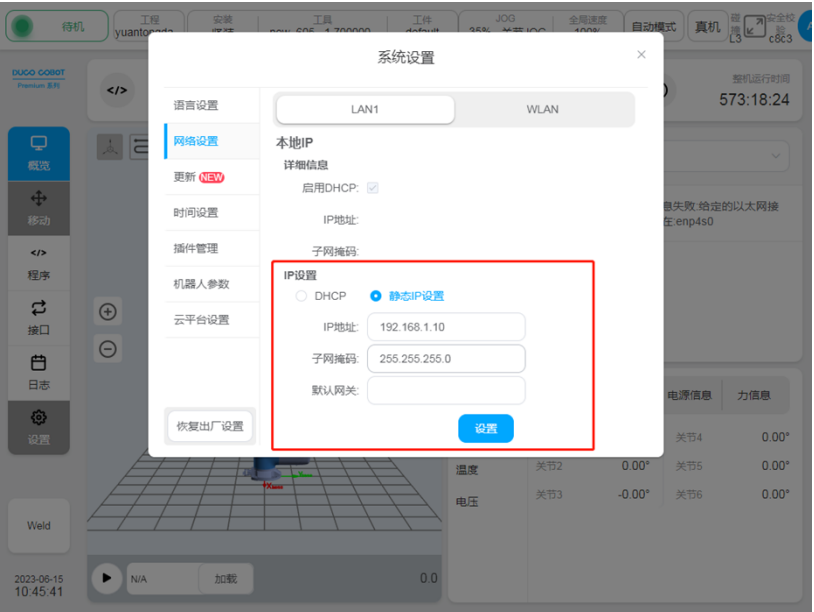
4. 4 DC15S-J9&DC30D-J9 控制柜启动低速抖动抑制标定工具

在 DucoManager 状态监控界面，确认当前 SlowVibrationTest 工具的启动状态，若指示未启动，则通过启动按钮启动服务，如下图所示：



4.5 笔记本连接控制柜

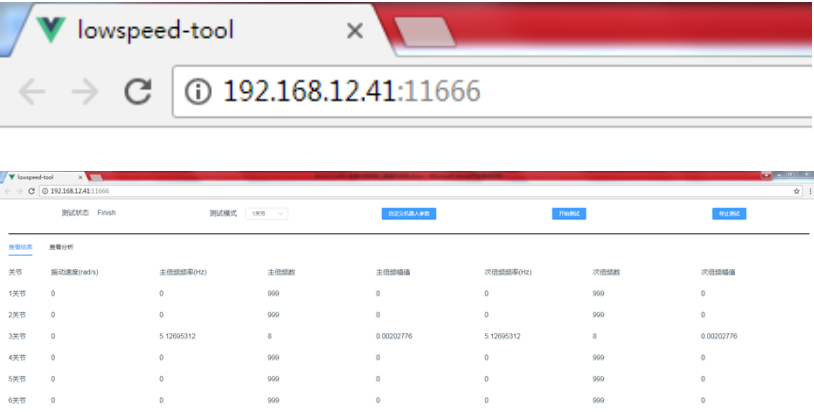
回到机器人控制器界面，在系统设置界面下查看机器人 IP，如下图所示：



将笔记本通过网线连接至控制柜 EatherNet 口，将笔记本网卡 IP 地址修改至与控制柜同一网段下的不同 IP，如 192.168.1.123。确认连接成功后可通过尝试 PING 目标控制柜确认连接是否正常。

4.6 笔记本打开工具界面

在完成 4.1-4.3 步骤的基础上，在笔记本端打开浏览器，输入目标控制柜 IP：11666，如下图所示：



出现上图中所示界面则代表低速抖动抑制工具正常启用并连接。

5 低速抖动抑制辨识

5.1 辨识前准备

在完成了第 4 章所述所有准备工作后，即可进行低速抖动抑制辨识。首先将机器人移动至所需抑制抖动对应应用工况下的位置，并确保机器人所有关节 $\pm 10^{\circ}$ 范围内不存在任何机器人本体以及末端工具与外界以及机器人自身碰撞的风险。

在完成上述确认工作后，将机器人上电上使能，将机器人切换至自动模式，并修改全局速度为 100%。

5.2 机器人参数校验

在开始辨识前，需要对机器人关键参数进行校验，点击“自定义机器人参数”，查看从机器人控制器中获取的电机极对数、电机齿槽数、减速比参数是否正确，若与实际情况不符，需要手动调整并设置为正确参数，否则会导致最终辨识结果异常，如下图所示：



5.3 辨识操作

在完成 5.1 所述准备工作后，点击工具页面下的开始测试按钮即可开始进行测试。

工具默认为辨识机器人 1 关节，若需要针对不同关节进行辨识或进

行整臂辨识，可在工具界面中进行相应调整。

辨识分为高速模式与低速模式两种，低速模式下，辨识过程会持续更长时间，辨识得到的标定结果针对低速抖动抑制效果更佳。高速模式下，同样能够得到标定结果，但可能与最优参数存在小幅偏差，但是执行效率较高。推荐优先进行高速模式辨识，若最终辨识结果中部分关节标定结果异常或不满足要求，针对特定关节重新进行低速模式标定。如下图所示：



辨识过程中，随时可以通过停止测试按钮终止辨识操作，但此时界面所示结果由于辨识结果被中断而不再有效，需要重新点击开始测试并完成完整的辨识过程后可从界面观测最终结果。辨识完成后，测试状态将由 Running 变化为 Finish。

5.4 辨识分析

辨识过程中，界面会同步更新当前辨识所分析得到的最近分析结果，如下图所示：



- 其中，辨识分析内容说明如下：
- 振动速度：当前测试进度下，所对应关节出现低速抖动最剧烈

所对应的运行速度，单位 rad/s；

- 1 阶倍频数：一阶频频率参考振动速度与电机极对数一倍频所关联的倍频数。若辨识过程中所得到振动频率参考对应振动速度无法与电机极对数一倍频匹配，则显示倍频数为 0；
- 1 阶倍频幅值：机器人关节在振动速度运行下，速度波动特性中所对应的 1 阶倍频频率分量幅值；
- 2 阶倍频数：二阶频频率参考振动速度与电机极对数二倍频所关联的倍频数。若辨识过程中所得到振动频率参考对应振动速度无法与电机极对数二倍频匹配，则显示倍频数为 0；
- 2 阶倍频幅值：机器人关节在振动速度运行下，速度波动特性中所对应的 2 阶倍频频率分量幅值；
- 3 阶倍频数：三阶频频率参考振动速度与电机齿槽数一倍频所关联的倍频数。若辨识过程中所得到振动频率参考对应振动速度无法与电机齿槽数一倍频匹配，则显示倍频数为 0；
- 3 阶倍频幅值：机器人关节在振动速度运行下，速度波动特性中所对应的 3 阶倍频频率分量幅值；

使用人员在辨识执行过程中，可以通过观察动态的关键分析项，对当前关节的振动特性进行观测并记录。

5.5 辨识结果

辨识过程中，使用人员可以通过查看结果观测当前辨识结果，如下图所示：

测试状态 Idle 高速模式 低 高 测试模式 1关节 自定义机器人参数 开始测试 停止测试

查看结果 查看分析 参数验证										
关节	振动速度 (rad/s)	1阶倍频补 补偿相位	1阶倍频补 补偿电流	1阶倍频补 补偿幅值	2阶倍频补 补偿相位	2阶倍频补 补偿电流	2阶倍频补 补偿幅值	3阶倍频补 补偿相位	3阶倍频补 补偿电流	3阶倍频补 补偿幅值
1关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6关节	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1.0.0

其中，辨识结果内容说明如下：

- 振动速度：与辨识分析内容中振动速度对应；
- 1 阶倍频补偿相位：辨识结果参数，用于后续伺服产生 1 阶倍频抖动抑制信号；
- 1 阶倍频补偿电流，辨识结果参数，用于后续伺服产生 1 阶倍

频抖动抑制信号：

- 1 阶倍频补偿后幅值：伺服基于 1 阶倍频补偿相位与 1 阶倍频补偿电流产生 1 阶倍频抖动抑制信号后，关节在振动速度运动时，关节速度波动中对应 1 阶倍频频率的振动幅值。该值与辨识分析页面中的 1 阶倍频幅值所对应，如辨识结果正确且生效，补偿后幅值应明显小于原始幅值；
- 2 阶倍频补偿相位：辨识结果参数，用于后续伺服产生 2 阶倍频抖动抑制信号；
- 2 阶倍频补偿电流，辨识结果参数，用于后续伺服产生 2 阶倍频抖动抑制信号；
- 2 阶倍频补偿后幅值：伺服基于 2 阶倍频补偿相位与 2 阶倍频补偿电流产生 2 阶倍频抖动抑制信号后，关节在振动速度运动时，关节速度波动中对应 2 阶倍频频率的振动幅值。该值与辨识分析页面中的 2 阶倍频幅值所对应，如辨识结果正确且生效，补偿后幅值应明显小于原始幅值；
- 3 阶倍频补偿相位：辨识结果参数，用于后续伺服产生 3 阶倍频抖动抑制信号；
- 3 阶倍频补偿电流，辨识结果参数，用于后续伺服产生 3 阶倍频抖动抑制信号；
- 3 阶倍频补偿后幅值：伺服基于 3 阶倍频补偿相位与 3 阶倍频补偿电流产生 3 阶倍频抖动抑制信号后，关节在振动速度运动时，关节速度波动中对应 3 阶倍频频率的振动幅值。该值与辨识分析页面中的 3 阶倍频幅值所对应，如辨识结果正确且生效，补偿后幅值应明显小于原始幅值；

需要注意的是：

- 若抖动抑制分析结果中 1 阶倍频数为 0，则视为对应的 1 阶倍频抖动抑制结果无效，仅根据 1 阶倍频分析结果进行后续操作；
- 若抖动抑制分析结果中 2 阶倍频数为 0，则视为对应的 2 阶倍频抖动抑制结果无效，仅根据 2 阶倍频分析结果进行后续操作；
- 若抖动抑制分析结果中 3 阶倍频数为 0，则视为对应的 3 阶倍频抖动抑制结果无效，仅根据 3 阶倍频分析结果进行后续操作；

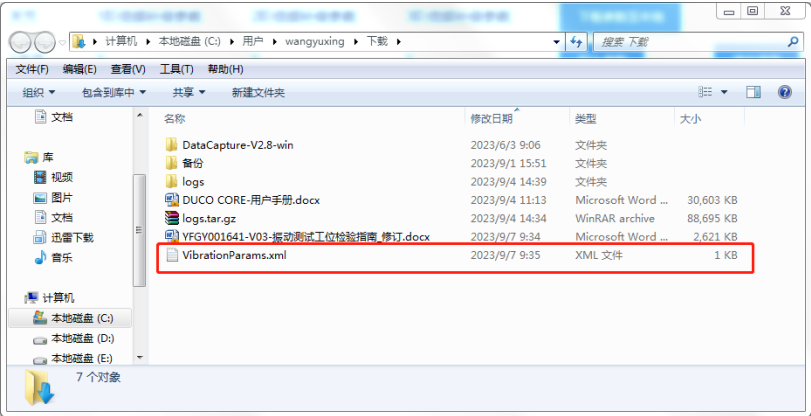
5.6 辨识结果的应用

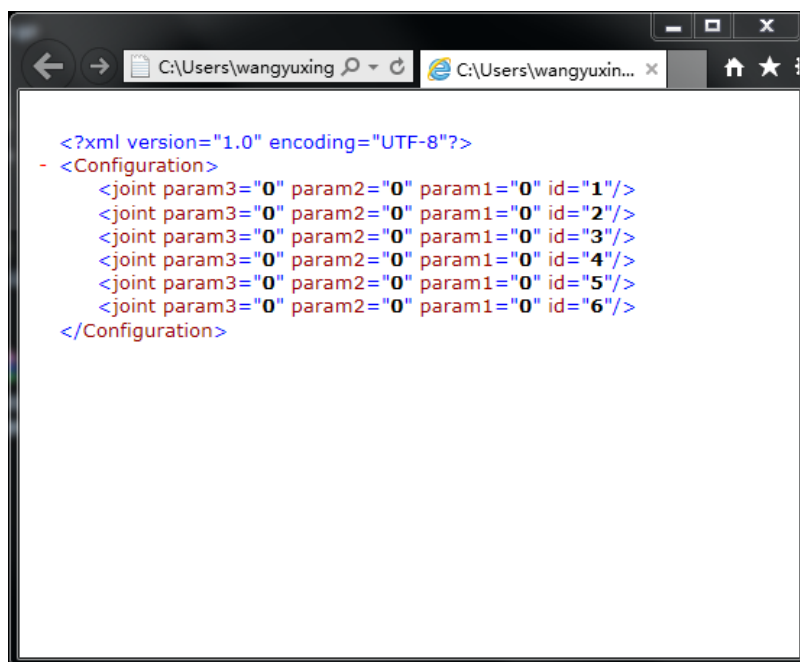
切换至参数验证界面，该页面下会显示最近一次所有关节针对 1 阶倍频、2 阶倍频、3 阶倍频所对应的标定结果，结果显示为对应的伺服参数。通过写入参数按钮，可以将标定结果直接写入机器人控制器中对应关节的伺服参数文件并直接生效。若生效参数后发现机器人末端出现明显异常抖动，可以通过清空参数按钮还原伺服参数文件中内容并恢复机械臂中参数。如下图所示：



5.7 导出低速抖动抑制标定参数

当完成低速抖动抑制参数辨识后，可以将参数结果保存至浏览器本地，如下图所示：

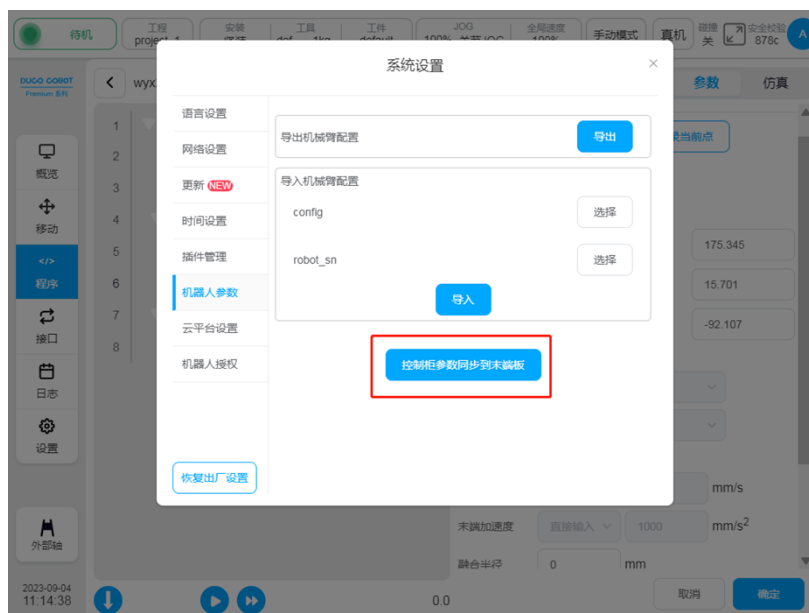




该文件可以被 1.9.0 及以上版本 SiasunEngineer 软件加载并集成至对应机器人的关节参数文件中。

5.8 同步机器人参数至末端

当完成低速抖动抑制参数辨识并将标定结果写入机器人控制器后，需要将参数同步至机器人末端。具体同步方法参考《DUCO CORE-用户手册》15.6 章节，如下图所示：



中科新松有限公司

SIASUN Co., Ltd

地址：上海市浦东新区金藏路 257 号

电话：+086-021-50870608

传真：+086-021-63631363

邮编：201206

<http://www.siasun-in.com>

Add: NO.257 Jinzang Rd.

Pudong New District, Shanghai, China

Tel: +086-021-50870608

Fax: +086-021-63631363

Zip Code: 201206

<http://www.siasun-in.com>