CRAF 力控插件用户手册

原始说明书

文档版本：V3.4.0

发布日期：2025.05.07

深圳市越疆科技股份有限公司

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司2025。 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、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

免责申明

在法律允许的最大范围内，本手册所描述的产品（含其硬件、软件、固件等）均“按照现状”提供，可能存在瑕疵、错误或故障，越疆不提供任何形式的明示或默示保证，包括但不限于适销性、质量满意度、适合特定目的、不侵犯第三方权利等保证；亦不对使用本手册或使用本公司产品导致的任何特殊、附带、偶然或间接的损害进行赔偿。

在使用本产品前详细阅读本使用手册及网上发布的相关技术文档并了解相关信息，确保在充分了解机器人及其相关知识的前提下使用机器人。越疆建议您在专业人员的指导下使用本手册。该手册所包含的所有安全方面的信息都不得视为 Dobot 的保证，即便遵循本手册及相关说明，使用过程中造成的危害或损失依然有可能发生。

本产品的使用者有责任确保遵循相关国家的切实可行的法律法规，确保在越疆机器人的使用中不存在任何重大危险。

深圳市越疆科技股份有限公司

地址：深圳市南山区留仙大道 3370 号南山智园崇文区 2 号楼 1003

网址：www.dobot.cn

前言

目的

本手册介绍了 CRAF 机器人力控插件的使用方法，方便用户了解和使用力控拖拽功能。

读者对象

本手册适用于：

- 客户工程师
- 销售工程师
- 安装调测工程师
- 技术支持工程师

配套版本

产品	版本
力控插件	3.4.0-stable及以上
DobotStudio Pro	4.6.2.0-stable及以上

修订记录

时间	版本号	修订记录
2025/05/07	V3.4.0	第一次发布，对应力控插件3.4.0-stable版本

符号约定

在本手册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	表示有高度潜在危险，如果不能避免，会导致人员死亡或严重伤害
警告	表示有中度或低度潜在危害，如果不能避免，可能导致人员轻微伤害、机器人毁坏等情况
注意	表示有潜在风险，如果忽视这些文本，可能导致机器人损坏、数据丢失或不可预知的结果
说明	表示是正文的附加信息，是对正文的强调和补充

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

目 录

前言 ii
1. 功能介绍 1
2. 安装与连接 2
3. 力控插件介绍 4
3.1 实时数据 4
3.2 查看曲线 5
3.3 拖动设置 6
3.3.1 传感器限位 6
3.3.2 I/O 配置 7
3.3.3 阻抗设置 7
3.3.4 传感器标定 8
3.4 回零 8
4. 力控拖拽 10
4.1 进入力控拖拽 10
4.2 力控拖拽面板 10
4.2.1 拖动 11
4.2.2 力控曲线图 12
5. 力传感器碰撞检测 13
6. 编程指令 16
6.1 积木编程 16
6.2 脚本编程 19
6.3 脚本 Demo 23
6.4 TCP/IP 二次开发 23
附录 A 阻抗控制 25
认识阻抗控制 25
机器人阻抗控制 26
力控应用 26
力控打磨 26
力控按摩 27

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

1. 功能介绍

通过CRAF工具法兰内置的高精度六维力传感器与 DobotStudio Pro 力控插件的深度配合，赋予机器人灵敏的“触觉反馈”能力。只需轻触机器人末端，即可实现直观的拖拽示教，机器人自动跟随施力方向移动，运动速度与施力大小在一定范围内成正比；同时支持对特定方向（如X/Y/Z轴）的运动限制。适用于精密装配、医疗手术辅助、柔性打磨等需“触觉交互”的高精度场景。

相对于默认的关节拖拽，力控拖拽可实现更加精确和柔顺的拖拽示教，满足精细化操作需求；二者具体差别如下：

拖拽模式	力控拖拽	关节拖拽
实现方式	基于力传感器实现	基于各关节的电流环实现
作用部位	只有将力作用在末端工具上才能拖动机器人，无法拖动关节	作用在机器人的任何部位都有效，可单独拖动某个关节
定位精度	高	较低

此外，通过预置碰撞阈值（力/力矩）可实现力传感器碰撞检测，遇突发外力时毫秒级触发急停或柔性避让，保障人机协作安全。

如需通过二次开发的方式实现力控拖拽的控制或力传感器碰撞检测，请参考《Dobot TCP_IP二次开发接口文档V4.6.0》。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

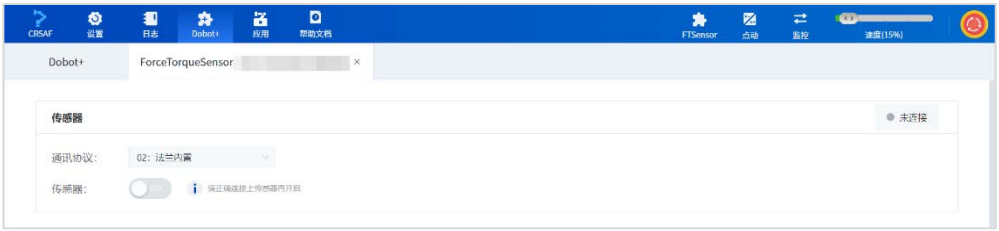
2. 安装与连接

1. 使用 DobotStudio Pro 成功连接机器人后，进入 **Dobot+** 页面；

> **说明**
>
> CRAF 力控插件需使用 DobotStudio Pro 4.6.2.0-stable 及以上版本。

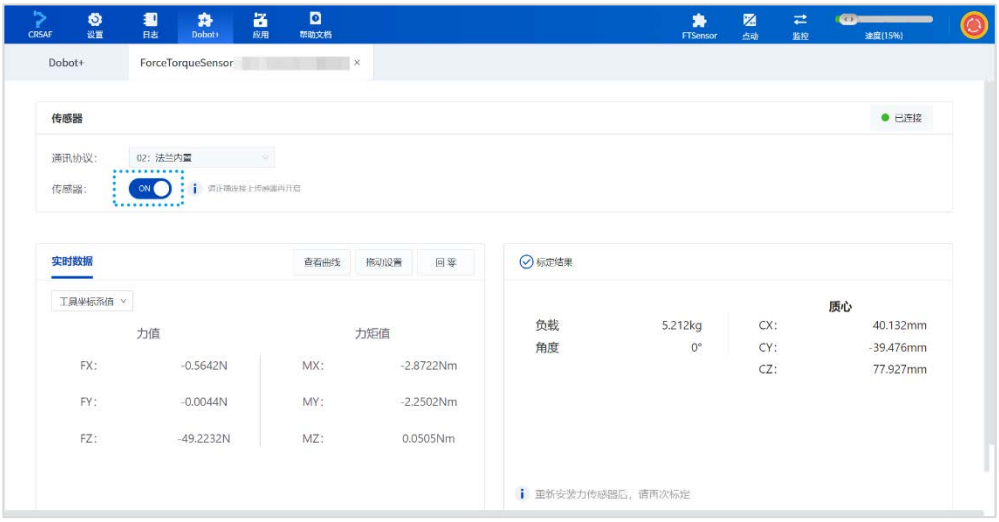
2. 点击 **ForceTorqueSensor** 后面的“安装”按钮安装力控插件。

3. 安装完成后，自动进入力控插件页面。



> **说明**
>
> 如需卸载力控插件，请在 **Dobot+** 页面先选中力控插件然后单击“卸载”按钮。如需安装其他版本的力控插件，请先卸载当前版本后再导入并安装。

4. 打开传感器开关，界面右侧显示传感器连接状态。



 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

状态	颜色	说明
未连接	灰色	无法获取到传感器数据
已连接	绿色	可正常获取传感器数据
数据异常	红色	可获取到数据，但数据异常
频率过低	红色	可获取到数据，但数据上报的频率过低

说明

当 DobotStudio Pro 连接的机器人为 CRAF 系列时，传感器的**通讯协议**默认为“02：法兰内置”，且不可修改。

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

3. 力控插件介绍

3.1 实时数据

实时数据即（力传感器读取的数值）-（负载参数引起的力值变化）。建议通过负载自动辨识功能设置负载参数，具体操作可查看 DobotStudio Pro 帮助文档。

> **注意**
>
> 负载参数设置完成后可任意变换机器人末端姿态，通过力控插件查看实时数据是否发生明显变化；判断负载辨识结果是否准确。

用户可通过下拉框修改实时数据的参考坐标系。

- **传感器坐标系值：**基于六维力传感器的坐标系显示力值与力矩值。六维力坐标系与 TCP 重合，原点位于 TCP 法兰面中心点，力/力矩方向遵循右手系定则。
- **工具坐标系值：**基于当前工具坐标系显示力值与力矩值。如需切换工具坐标系，请通过**点动**面板进行设置。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

3.2 查看曲线

点击“查看曲线”按钮可查看各方向的实时力控曲线图。

力控曲线图共显示100组数据，更新频率为200ms。点击曲线上的数据点，可查看力值、力矩值。

实时开关：打开实时开关自动获取当前控制器时间并实时更新曲线；关闭后暂停更新，方便用户查看曲线。

方向开关：勾选方向（Fx，Fy，Fz，Mx，My，Mz），显示该方向对应的力控曲线。默认显示全部曲线。

将机器人重新连接至 DobotStudio Pro 软件后，恢复默认开关状态（关闭）。

3.3 拖动设置

单击“拖动设置”按钮进入传感器拖动设置页面。

3.3.1 传感器限位

用户可根据实际需求设置传感器限位的最大安全力值和力矩值。在力控拖拽状态下，当传感器检测到的力值或力矩值的绝对值大于用户设置的值后，机器人会报警并停止运动。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

3.3.2 I/O 配置

配置后，用户可通过触发控制柜 DI 进入各种力控拖拽模式以及退出力控拖拽，各模式的说明请参考 拖拽方式。

3.3.3 阻抗设置

设置力控拖拽的阻抗值。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

惯性：参数范围为 (0,1000]

阻尼：参数范围为 [0, 1000]

最小力：参数范围为 [0, 200]，如果拖拽手感较重，可调低最小力数值；但建议最小力不可低于 2N，否则使用过程中可能有风险。

单击**默认阻抗值**可自动填充通用场景下的推荐阻抗值。

单击**焊接阻抗值**可自动填充焊接场景下的推荐阻抗值。

注意

- 不建议修改惯性和阻尼的参数值，只需根据应用场景点击“默认阻抗值”或“焊接阻抗值”使用默认参数。
- 机器人运动状态下，不可修改“阻抗设置”页面参数。

3.3.4 传感器标定

CRAF系列工具法兰内置的六维力传感器出厂已经过精密标定，正常情况下无需再次标定。若实际使用过程中发现数据异常，可在技术支持指导下进行标定。

说明

传感器处于离线状态、异常状态以及运动状态下，无法进行标定。

3.4 回零

回零指机器人通过补偿力传感器初始偏移值，使系统在当前负载参数配置下识别“力学基准零位”的操作。

力传感器不可避免的存在温漂和零漂现象，使用力控功能前建议检查力值、力矩值显示是否正确；若不正确须调用回零指令，确保后续传感器数据的精确性。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

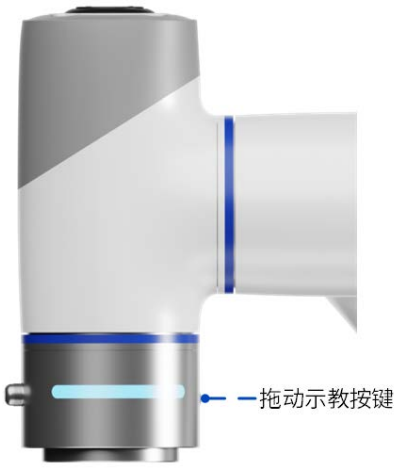
单击“回零”，将传感器当前受力状态的值设置为 0。回零后，任意改变机器人姿态，查看实时数据是否发生明显变化。正常情况下未拖拽机器人时力值不超过 10N，力矩值不超过 2N·m，否则需要重新标定。

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

4. 力控拖拽

4.1 进入力控拖拽

1. 在 DobotStudio Pro 软件的顶部导航栏单击 进入力控拖拽面板，再次单击退出力控拖拽面板。
2. 在机械臂使能状态下，长按拖动示教按键进入力控拖拽模式，松开拖动示教按键退出力控拖拽模式。



拖动示教按键（除CR20AF）

拖动示教按键（CR20AF）

说明

- 进入力控拖拽时会保留上一次设置的拖拽选项；
- 顶部导航栏的拖拽开关 与工具法兰的拖动示教按键相互影响。如通过单击顶部导航栏开关进入拖拽状态，此时按下并松开工具法兰的拖动示教按键；机器人会自动退出拖拽模式。

4.2 力控拖拽面板

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

4.2.1 拖动

- **开始拖动**：机器人处于使能且静止状态时，开启此开关进入力控拖拽模式。

> **注意**
>
> - 力控拖拽时查看力传感器实时数据，若实时数据异常可能出现机器人自己运动或者拖拽时不受控制的异常。
> - 拖拽时建议握持点距离六维力传感器中心约 200mm，距离越远姿态方向受力的杠杆效应越明显，会出现抖动现象。
> - 拖拽过程中接近关节限位或安全墙/安全区域边界时，拖拽手感会明显变重，此时应变更拖拽方向，避免触发报警。

- **坐标系**：设置力控拖拽时参考的坐标系。
  - 如果参考坐标系是用户坐标系，需要在此处选择用户坐标系索引。
  - 如果参考坐标系是工具坐标系，则默认为当前工具坐标系。如需切换工具坐标系，请在点动面板进行设置。

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

> **说明**
>
> 不管力控拖拽时参考的是用户坐标系还是工具坐标系，Rx、Ry、Rz 方向的拖拽均基于工具坐标系旋转。

- **拖拽方式**：设置力控拖拽时允许移动的方向。

拖拽方式	描述
力控关节	任何轴方向均可自由拖动。姿态旋转的中心点是工具法兰中心点。
平移	只能在空间内沿参考坐标系各轴方向平移。等效于自定义模式开启 X、Y、Z 方向。
XY 平面	只能在参考坐标系的 XY 平面方向内平移。等效于自定义模式开启 X、Y 方向。
姿态	只能在空间内旋转。等效于自定义模式开启 RX、RY、RZ 方向。旋转中心点是当前工具坐标系的原点。
自定义	可任意限制某个或某几个方向的运动。开启全部方向时与**力控关节**模式不同，姿态旋转的中心点是当前工具坐标系的原点。

- **拖动速度**：设置力控拖拽时的速度。速度越高，拖拽的手感越轻。

> **说明**
>
> 力控拖拽 X/Y/Z 方向最大速度为 0.3m/s，RX/RY/RZ 方向最大速度为 85.94°/s。达到最大速度时拖拽手感会变重，避免超速。

4.2.2 力控曲线图

在力控拖拽面板点击“力控曲线图”，可查看各方向的实时力控曲线图。详细说明见 查看曲线。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

5. 力传感器碰撞检测

CRAF系列机器人可通过末端内置的六维力传感器对外界碰撞进行检测，当机器人末端的碰撞力或碰撞力矩超过用户设定的碰撞力、碰撞力矩阈值后；机器人根据设置暂停或停止运动。

特殊情况下，关节碰撞与力传感器碰撞可能同时触发；两者区别如下：

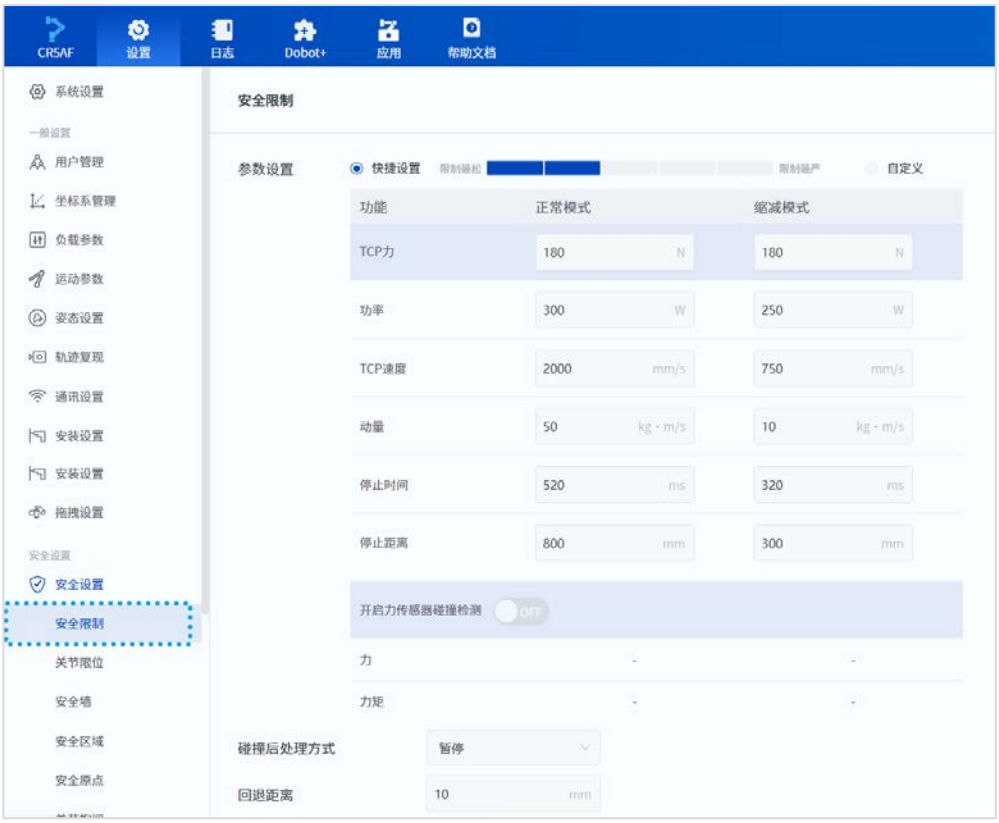
碰撞检测方式	关节碰撞	力传感器碰撞
开关位置	关节碰撞不允许关闭	安全限制页面
触发碰撞位置	基于关节电流计算和检测，J1~J6 任一位置均可触发碰撞	基于末端力传感器数据计算和检测，仅末端受力才可触发碰撞
碰撞等级	通过 SetCollisionLevel 设置	通过 SetCollisionLevel 设置，或通过 SetFCCollision 修改碰撞力、碰撞力矩

力传感器碰撞检测设置流程：

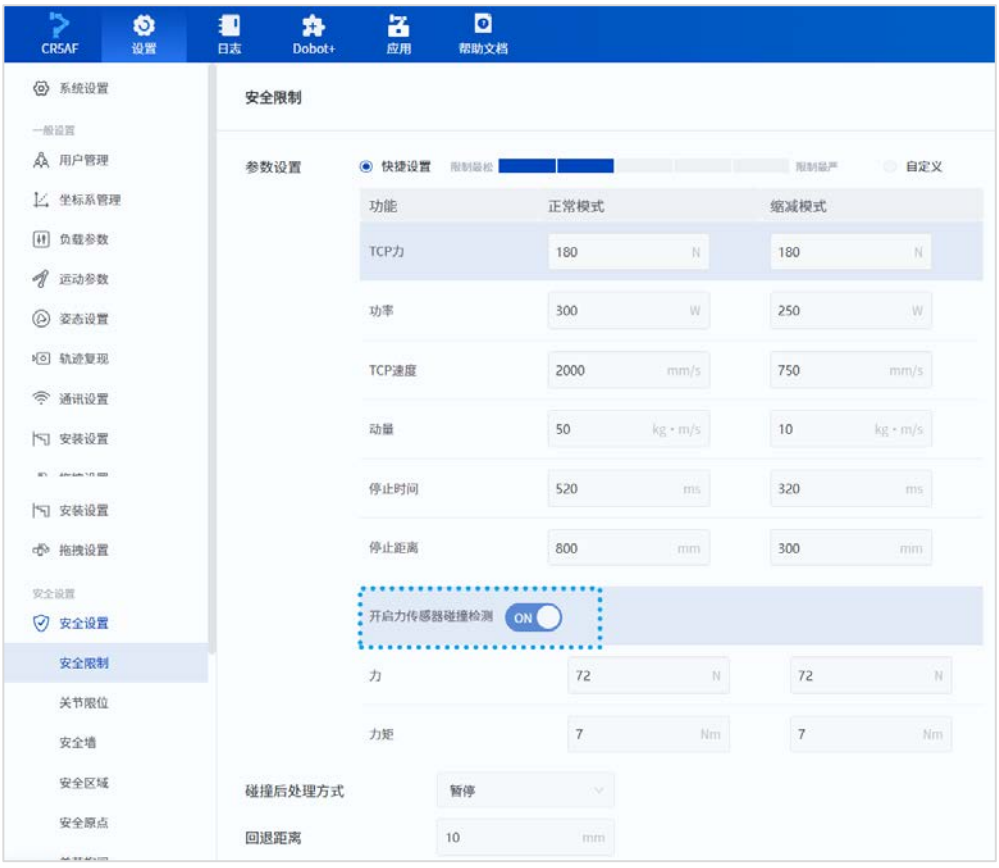
1. 使用 DobotStudio Pro 成功连接CRAF机器人后，在首页将**职能**切换为**管理员**（默认密码为 888888）。

2. 进入 **设置 > 安全设置 > 安全限制** 页面。

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司



3. 点击“编辑”按钮，打开力传感器碰撞检测开关；设置碰撞后处理方式、回退距离。



注意

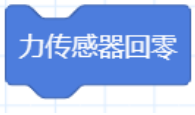
- 单击**快捷设置**后的进度条可同时设置关节碰撞和力传感器碰撞的碰撞等级。

- 若需单独修改力传感器碰撞检测的碰撞力、碰撞力矩，需将**参数设置**切换到“自定义”模式。

版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

6. 编程指令

6.1 积木编程

1. 

描述：六维力传感器回零。

2.

描述：获取力传感器在当前工具坐标系中指定方向上的力/力矩。

参数：指定获取力/力矩的方向。

返回：

- 指定方向为Fx/Fy/Fz时，返回指定方向上的力，单位：N。
- 指定方向为Mx/My/Mz时，返回指定方向上的力矩，单位：N.m。

3.

描述：获取力传感器在指定工具坐标系中指定方向上的力/力矩。

参数：

- 指定获取力/力矩的方向。
- 指定参考的工具坐标系。

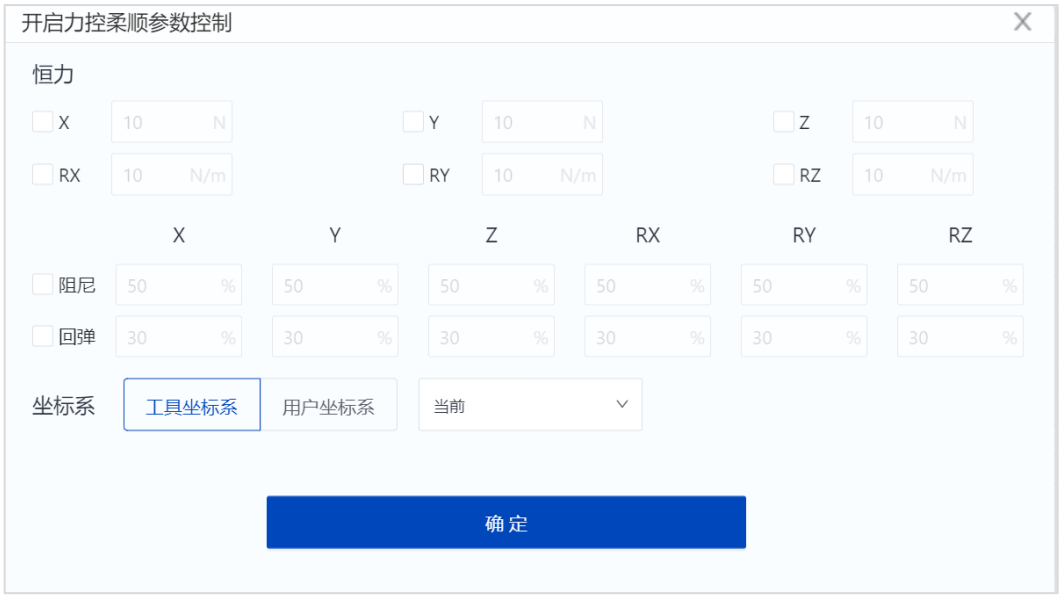
返回：

- 指定方向为Fx/Fy/Fz时，返回指定方向上的力，单位：N。
- 指定方向为Mx/My/Mz时，返回指定方向上的力矩，单位：N.m。

4.

描述：在积木编程运行期间临时开启力控柔顺控制，退出积木运行后恢复运行前状态。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司



参数：

- 恒力：位移方向X/Y/Z参数范围为[-200, 200]，单位N；姿态方向RX/RY/RZ参数范围为[-12, 12]，单位N/m。
- 阻尼：参数范围为[0, 1000]。
- 回弹：参数范围为[0, 10000]。
- 指定参考的工具坐标系、用户坐标系。

5.

描述：在积木编程运行期间临时修改力控柔顺参数，退出积木运行后恢复运行前参数值。有关弹性系数、阻尼系数和惯性系数的详细说明，可参考附录阻抗控制。

参数：

- 弹性系数：各方向取值范围 (0, 10000]。
- 阻尼系数：各方向取值范围 [0, 1000]。
- 惯性系数：各方向取值范围 (0, 10000]。

6.

描述：在积木编程运行期间临时修改力控调节速度限制，退出积木运行后恢复运行前参数值。XYZ方向的速度单位为 mm/s，RxRyRz方向的速度单位为 °/s

7.

描述：在积木编程运行期间临时修改力控阈值，退出积木运行后恢复运行前参数值。

参数：

- 允许调整位置偏差：X/Y/Z方向偏差取值范围 (0, 1000]，Rx/Ry/Rz姿态偏差取值范围 (0, 360]。
- 超过后程序处理方式：报警或继续运行，默认报警。
- 允许施加力限制：X/Y/Z取值范围 (0, 500]，Mx/My/Mz取值范围 (0, 50]。

8.

描述：在积木编程运行期间临时退出力控模式，退出积木运行后恢复运行前状态。

9.

描述：在积木编程运行期间临时开启或关闭力传感器碰撞检测，退出积木运行后恢复运行前状态。

10.

描述：在积木编程运行期间临时修改力传感器碰撞检测力和力矩值，退出积木运行后恢

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

复运行前参数值。

6.2 脚本编程

1. SixForceHome

原型：

```
SixForceHome()
```

描述：力传感器回零。

返回值：回零结果，0表示回零成功，非0表示回零失败。

示例：

```
local res = SixForceHome()
```

2. GetForce

原型：

```
GetForce(tool)
```

描述：获取施加在TCP方向的力和力矩。

可选参数：

tool：选择已标定的工具坐标系，取值范围 [0, 50]。不指定时，默认为当前全局工具坐标系。

返回值：

{Fx，Fy，Fz，Mx，My，Mz}。其中Fx，Fy，Fz为X、Y、Z方向的力值，单位为N；Mx，My，Mz为RX、RY、RZ方向的力矩值，单位为N/m。

示例：

```
local force = GetForce(1)
Print(force)
```

3. FCForceMode

原型：

```
direction={1,1,1,1,1,1}
force={10,10,10,10,10,10}
FCForceMode(direction,force,{reference = 0,user=0,tool=0})
```

描述：在脚本编程运行期间以用户指定的配置参数临时开启力控，退出脚本运行后恢复运行前状态。

必选参数：

- direction：开启/关闭某个方向的力控调节。1表示开启，0表示关闭。
- force：某个方向的目标力，位移方向的取值范围 [-200, 200]，单位N；姿态方向的取值范围 [-12, 12]，单位N/m。目标力为 0 时处于柔顺模式，柔顺模式与力控拖动类似。未开启力控的方向，该方向的目标力不生效。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

可选参数：

- reference：表示参考坐标系，reference=0 参考工具坐标系，reference=1 参考用户坐标系。
- user：选择已标定的用户坐标系，取值范围 [0, 50]。
- tool：选择已标定的工具坐标系，取值范围 [0, 50]。

示例：

```
FCForceMode({1,1,1,1,1,1},{10,10,10,10,10,10},{reference=0,tool=1})
```

4. FCSetStiffness

原型：

```
FCSetStiffness({x,y,z,rx,ry,rz})
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改力控模式下各方向的弹性系数，退出脚本运行后恢复运行前参数值。有关弹性系数的详细说明，可参考附录阻抗控制。

必选参数：

{x,y,z,rx,ry,rz}：取值范围 (0, 10000]，默认值30。

示例：

```
FCSetStiffness({30,30,30,30,30,30})
```

5. FCSetDamping

原型：

```
FCSetDamping({x,y,z,rx,ry,rz})
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改力控模式下各方向的阻尼系数，退出脚本运行后恢复运行前参数值。有关阻尼系数的详细说明，可参考附录阻抗控制。

必选参数：

{x,y,z,rx,ry,rz}：取值范围 [0, 1000]，默认值50。

示例：

```
FCSetDamping({50,50,50,50,50,50})
```

6. FCSetMass

原型：

```
FCSetMass({x,y,z,rx,ry,rz})
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改力控模式下各方向的惯性系数，退出脚本运行后恢复运行前参数值。有关惯性系数的详细说明，可参考附录阻抗控制。

必选参数：

{x,y,z,rx,ry,rz}：取值范围 (0, 10000]，默认值20。

示例：

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

```
FCSetMass({20,20,20,20,20,20})
```

7. FCSetDeviation

原型：

```
FCSetDeviation({x,y,z,rx,ry,rz},controltype)
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改力控模式下的位移和姿态偏差，退出脚本运行后恢复运行前参数值。若力控过程中恒力偏移了较大的距离，机器人会进行相应处理。

必选参数：

- x、y、z：代表力控模式下的位移偏差。取值范围 (0, 1000]，单位为mm；默认值100mm。
- rx、ry、rz：代表力控模式下的姿态偏差。取值范围 (0, 360]，单位为度；默认值36度。

可选参数：

controltype：表示力控过程中超过规定阈值时，机器人的处理方式。

- 0：超过阈值时，机器人报警。
- 1：超过阈值时，机器人停止搜寻而在原有轨迹上继续运动。

示例：

```
FCSetDeviation({100,100,100,30,30,30}, 0)
```

8. FCSetForceLimit

原型：

```
FCSetForceLimit({x,y,z,rx,ry,rz})
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改各方向的最大力限制（该设置对所有方向均生效，包含未启用力控的方向），退出脚本运行后恢复运行前参数值。

必选参数：

- x,y,z：取值范围 (0, 500]，默认值500。
- rx,ry,rz：取值范围 (0, 50]，默认值50。

示例：

```
FCSetForceLimit({500,500,500,20,20,20})
```

9. FCSetForceSpeedLimit

原型：

```
FCSetForceSpeedLimit({x,y,z,rx,ry,rz})
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改各方向的力控调节速度，退出脚本运行后恢复运行前参数值。力控速度上限较小时，力控调节速度较慢，适合低速平缓的接触面。力控速度上限较大时，力控调节速度快，适合高速力控应用。需要根据具体的应

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

用场景进行调整。

必选参数：

- x,y,z：位移方向的力控调节速度限制。CRAF机型取值范围 (0, 安全限制TCP速度值]。
- rx,ry,rz：姿态方向的力控调节速度限制。CRAF机型取值范围 (0, (4 x 安全限制TCP速度值 x 0.001 / 3.14 x 180)]。

示例：

```
FCSetForceSpeedLimit({20,20,20,20,20,20})
```

10. FCOff

原型：

```
FCOff()
```

描述：在脚本编程运行期间临时退出力控模式，退出脚本运行后恢复运行前状态。

示例：

```
FCOff()
```

11. FCCollisionSwitch

原型：

```
FCCollisionSwitch(switch)
```

描述：在脚本编程运行期间临时开启或关闭力传感器碰撞检测开关，退出脚本运行后恢复运行前状态。

必选参数：

switch为 0 时关闭力传感器碰撞检测功能，switch为 1 时开启力传感器碰撞检测功能。

示例：

```
FCCollisionSwitch(1)
```

12. SetFCCollision

原型：

```
SetFCCollision(force,torque)
```

描述：在脚本编程运行期间临时修改力传感器碰撞检测的阈值参数，退出脚本运行后恢复运行前参数值。

必选参数：

- force：触发力传感器碰撞检测的力阈值，单位 N，取值范围 (0, 300]。
- torque：触发力传感器碰撞检测的力矩阈值，单位 Nm，取值范围 [0, 20]。

示例：

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

```
SetFCCollision(10,2)
```

> **注意**
>
> 非 CRAF 机型调用 FCCollisionSwitch、SetFCCollision 指令时报错。

6.3 脚本 Demo

```
MovJ(P1) --运动到等待位置 P1
SixForceHome() --将力传感器回零
DO(2,1)
VelL(2) --设置速度
MovL(P2) – 运动到贴合接触面的点位 P2
direction={0,0,1,0,0,0} --设置力控方向 Fz
force={0,0,4,0,0,0} -- 给 Fz 方向 4N 的下探力

FCForceMode(direction,force,{reference = 0}) --开启力控
FCSetDamping({50,50,800,50,50,50}) -- 设置阻尼系数
FCSetStiffness({30,30,1000,30,30,30}) --设置刚度系数
FCSetMass({30,30,150,30,30,30}) --设置惯性系数
FCSetForceSpeedLimit({20,20,20,20,20,20}) --设置力控运动的最大速度
MovL(P3) –以 4N 的力运动至 P3 点（带力控效果）
MovL(P4) --以 4N 的力运动至 P4 点（带力控效果）
FCSetForce({0,0,8,0,0}) --将接触力调整至 8N
MovL(P5) –以 8N 的力至 P5 点（带力控效果运动）
FCOff() --关闭力控
VelL(50)
MovL(P6)
DO(1,0)
MovL(P1)
```

6.4 TCP/IP 二次开发

力控相关的TCP/IP指令如下表格所示，各指令的详细使用方法请参考《Dobot TCP_IP二次开发接口文档V4.6.0》。

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

指令	功能	指令类型
EnableFTSensor	开启/关闭力传感器开关	立即指令
SixForceHome	力传感器回零	立即指令
GetForce	获取力传感器数值	立即指令
ForceDriveMode	进入力控拖拽模式	立即指令
ForceDriveSpeed	设置力控拖拽速度	立即指令
FCForceMode	以用户指定的参数开启力控	队列指令
FCSetDeviation	设置力控模式下的位移和姿态偏差	立即指令
FCSetForceLimit	设置最大力限制	立即指令
FCSetMass	设置力控模式下各方向的惯性系数	立即指令
FCSetStiffness	设置力控模式下各方向的弹性系数	立即指令
FCSetDamping	设置力控模式下各方向的阻尼系数	立即指令
FCOff	退出力控模式	队列指令
FCSetForceSpeedLimit	设置各方向的力控调节速度	立即指令
FCSetForce	实时调整恒力设置	立即指令
SetFCCollision	设置力传感器碰撞检测的阈值参数（仅适用CRAF机型）	立即指令
FCCollisionSwitch	开启/关闭力传感器碰撞检测开关（仅适用CRAF机型）	立即指令

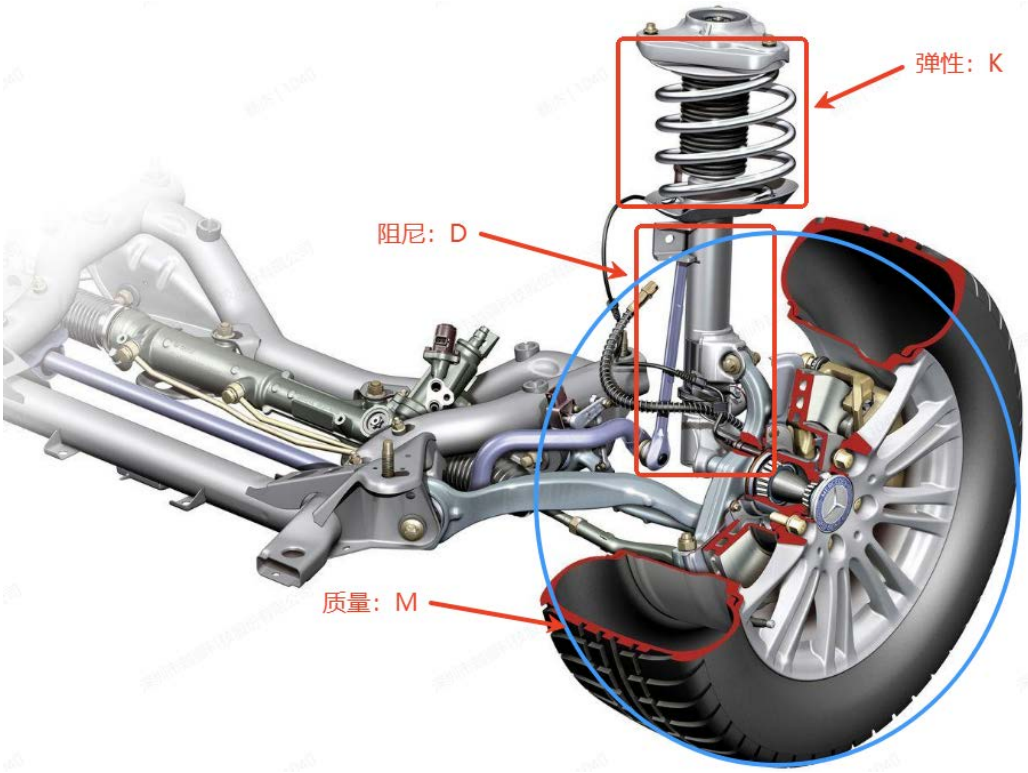
 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

附录 A 阻抗控制

在力控实际应用场景中，经常涉及阻抗控制三个关键参数（弹性系数、阻尼系数、惯性系数）的调整，这三个参数对机器人的力控效果有至关重要的影响。通过动态调整合理的参数值，使机器人能够“感知”外力并自动调整运行轨迹，实现主动柔顺以适应精密装配、抛光、打磨、机器人按摩等场景。

认识阻抗控制

如下以汽车可变阻尼减震器为例介绍阻抗控制。



汽车的可变阻尼减震器（FSD）只能调整阻尼 D，因为弹簧弹性 K 和车轮质量 M 都是固定的。

阻抗控制用软件模拟“机械减震器”，可以同时调整质量 M（惯性）、弹性 K（刚度）和阻尼 D，平衡车辆行驶中的舒适性和稳定性。

惯性（质量）：相当于车轮的“反应速度”。调大质量参数，车轮对颠簸的响应变慢，适合高速平稳路面；调小质量参数则车轮反应灵敏，适合越野路面。

弹性（刚度）：相当于弹簧的“软硬程度”。调高刚度，车身晃动小但颠簸感强（如赛道模式）；调低刚度则可以过滤颠簸（如舒适模式）。

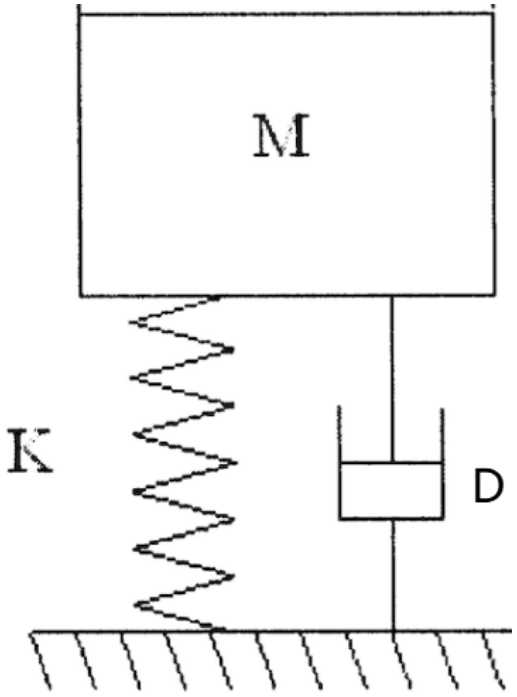
阻尼（阻力）：相当于减震器的“松紧度”。调大阻尼，车身晃动被快速抑制（如过减速带）；调小阻尼则允许一定余震（如长波起伏路面）。

根据如下不同场景调整惯性、弹性和阻尼参数：

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司

- **高速行驶（稳定性优先）：**调高弹性（减少侧倾）、增大阻尼（抑制振动）。
- **颠簸路面（舒适性优先）：**调低弹性（吸收冲击）、适当降低阻尼（允许悬挂自由伸缩）。
- **弯道操控（平衡侧倾与抓地力）：**动态调节质量，降低外侧车轮惯性，提升响应速度。

机器人阻抗控制



惯性（M）：调节机器人的惯性 M 能够将外界力/力矩转换成合理比例的速度。高惯性适用于力变化较小的场景，降低灵敏度有利于提高稳定性和精度；低惯性适用于力变化较大的场景，提高灵敏度实现快速响应。

阻尼（D）：调节机器人的阻尼 D 能够对外界力/力矩的变化作出适应性响应。高阻尼减缓机器人的响应速度，提高稳定性和精确性；低阻尼实现快速响应。

弹性（K）：调节机器人的弹性 K 能够适应不同的力/力矩。高弹性适用于刚性环境下的精确操作，低弹性适用于与柔软环境或人类操作者的安全交互。

力控应用

力控打磨

力控无法应对“硬碰硬”的接触情况，力控打磨类似“平整的高速路”，没有任何缓冲介质的刚性接触容易振荡弹跳；所以打磨头一般有一层海绵夹层。通过调整阻抗参数可以实现恒力打磨的效果。

1. 确定力控起始点：点动机器人压紧要打磨的面到期望的受力值，比如 -10N，将这

个点作为开启力控的起始点。

2. 打磨头始终垂直于打磨面，一般只开启 Z 方向的力控（个别情况可以考虑开启RX、RY方向的力控）。

> **说明**
>
> 当打磨平整度较高的表面时，建议的参数值：惯性系数=150，阻尼系数=800，弹性系数=1000。

力控按摩

力控按摩类似“颠簸路面”，需要 Z 方向快速响应，达到较好的贴合效果。此时惯性系数越小，响应速度越快；但惯性过小很容易振荡。建议将惯性系数的值从小到大进行调试，达到既有较快的调节速度，又不会振荡的效果。**惯性系数的参考范围：20 ~ 60。**

由于力控的方向要进行快速响应，阻尼会对响应的调节方向形成阻力，所以阻尼不宜过大；但阻尼过小稳定性又会显著下降。**阻尼系数的参考范围：50 ~ 200。**

弹性系数可以不设置，也可以适当设置一个较小的值。**弹性系数的参考范围：0 ~ 300。**

 版权所有 © 深圳市越疆科技股份有限公司