

用户手册

**HFD-6 力反馈设备**



版本 1.6.1

2024. 10

## 概要

本用户手册的目的是：

描述 HFD-6 力反馈设备的设置步骤

描述设备驱动的安装过程

描述 HFD-6 力反馈设备的使用方法

## 关键术语

HFD\_API: HFD-6 设备提供的动态链接库 Dynamic Linked Library of Hybrid Force Device

HFD-6: 6 自由度的混联式力反馈设备 6-DOF Hybrid Force Device

HFD\_Test: 提供用于 HFD-6 设备校准与测试的软件

# 目录

1.设备描述	4
2.安全须知	5
3.设置 HFD-6 力反馈设备	6
4.文件描述	8
5.在 Windows 系统下配置 HFD-6 力反馈设备	10
6.在 Linux 系统下配置 HFD-6 力反馈设备	10
7.使用 HFD-6	12
8.技术参数	18

## 1.设备描述

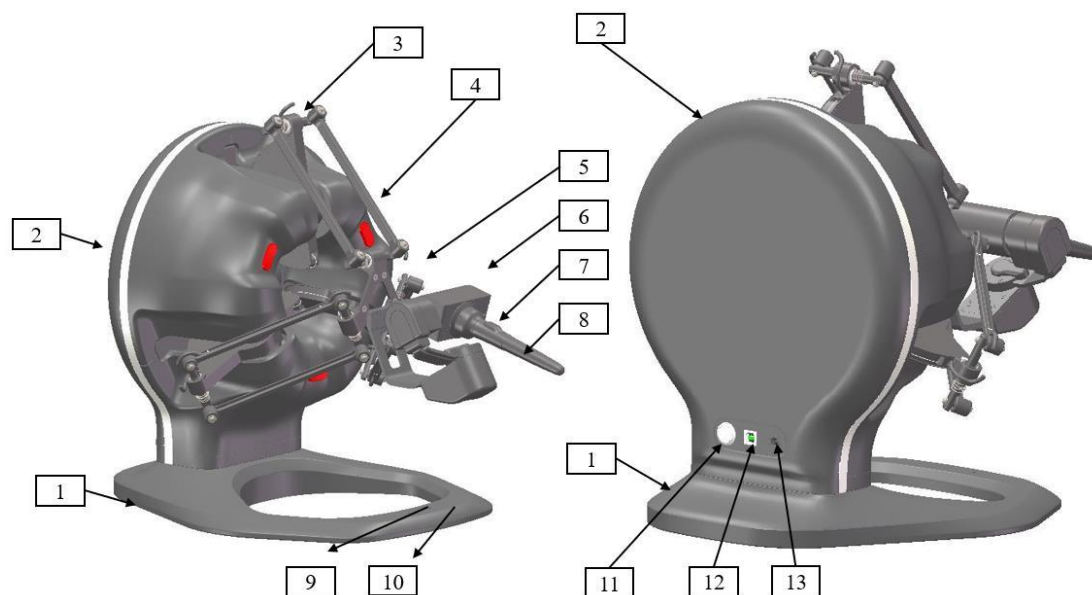


图 1 设备描述

- 1.底座
- 2.控制器
- 3.半圆主动杆
- 4.被动杆
- 5.浮动平台
- 6.末端执行器
- 7.可编程按钮
- 8.手柄
- 9.电源指示灯
- 10.使能指示灯
- 11.高亮电源开关
- 12.USB 接口
- 13.电源接口

## 2.安全须知

### 重要

当使用HFD-6力反馈设备时，必须时刻遵守安全规划，  
避免受到火灾，触电或人身伤害

- 1.仔细阅读并了解所有的条款
- 2.遵守本手册上标记的所有注意事项和条款
- 3.把设置置于远离水源的稳定桌面
- 4.确保设备运动空间内没有其他障碍物
- 5.当不再使用时要关闭电源开关
- 6.请不要自行拆开设备以免触电

### 3.设置 HFD-6 力反馈设备

#### 重要

请保留原始的包装，并且只使用原始的包装进行存放与运输

#### 3.1 拆封设备

在将 HFD-6 力反馈设备从包装中取出前，请先从包装中取出设备的泡沫固定机构和相关配件。

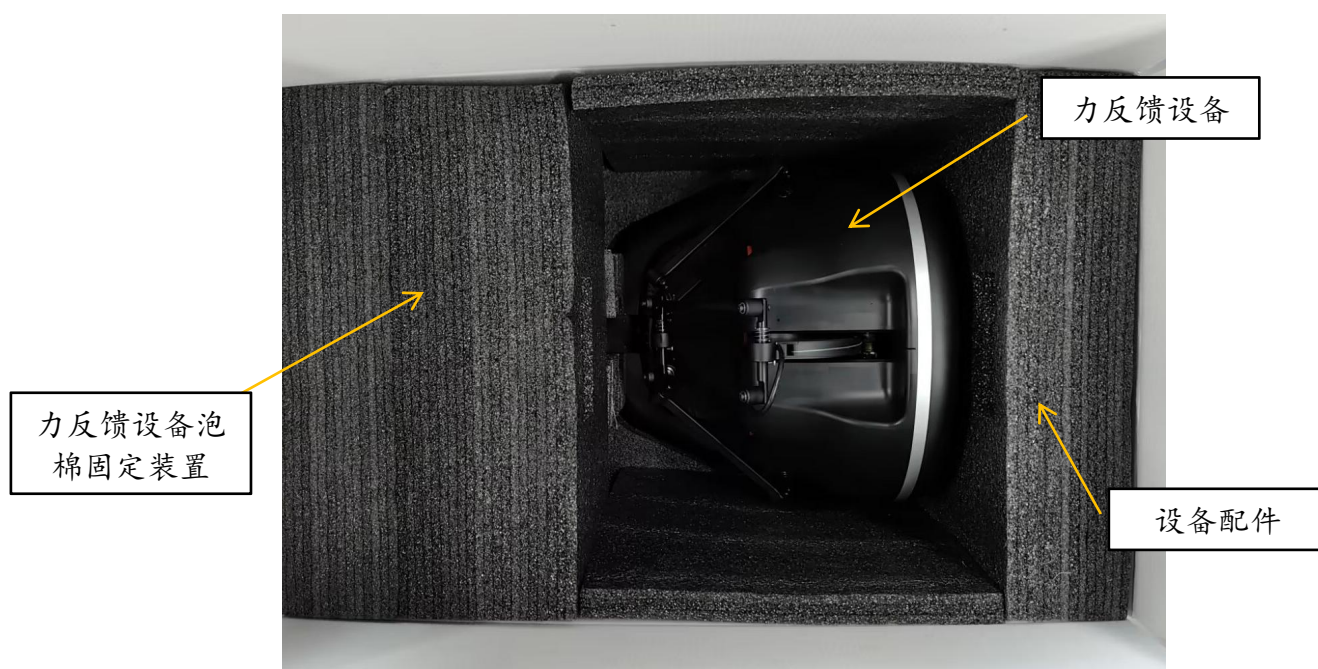


图 2 当打开包装箱时的视角

小心地将设备配件与力反馈设备泡沫固定装置从包装箱中取出。



图 3 在取出泡棉固定装置与设备配件后的包装箱视角

配件中包含电源线、数据线以及内含有驱动、调试程序及相关资料的 U 盘。

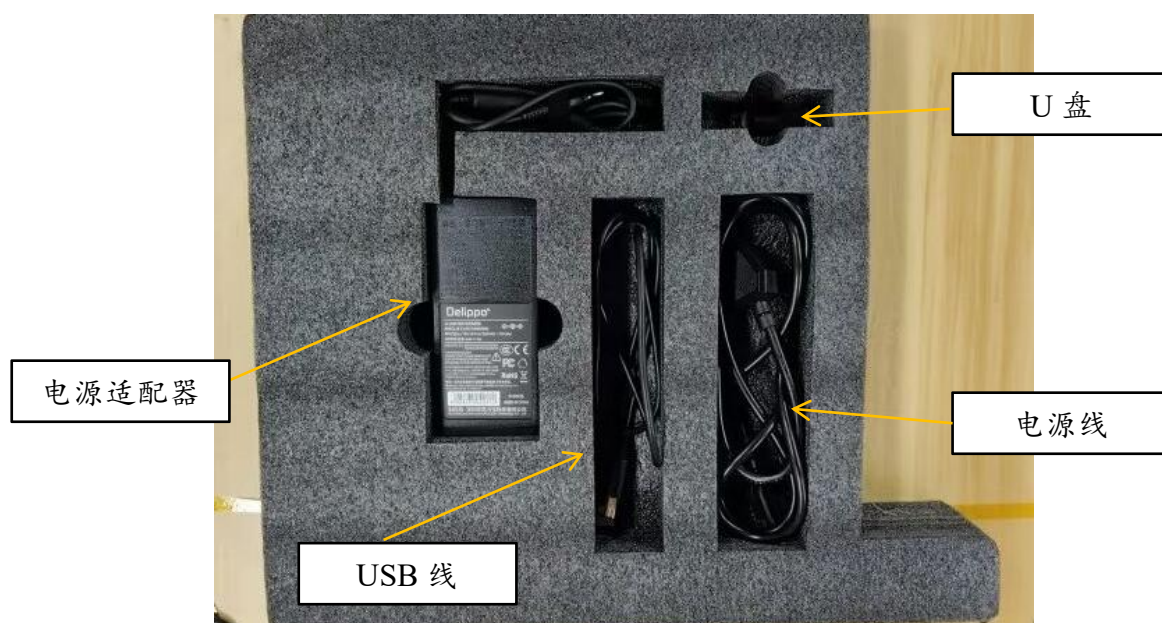


图 4 力反馈设备配件

### 3.2 安装电源

将电源线插入电源适配器。HFD-6 设备电源适配器系统支持 220V 电压。

请只使用包装中配套的电源。

## 4.文件描述

随设备发货的 U 盘中包括如下文件：

**文件夹 1：说明文档**，其包括如下文件：

- HFD-6 力反馈设备说明书
- HFD\_Test 软件操作说明书
- 动态链接库 HFD\_API 调用流程
- glut 配置说明书
- HFD-6 力反馈设备在 iMSTK 中的配置说明书
- SOFA 调用力反馈设备 HFD-6 编译流程说明书
- HFDTech3D\_Unity\_Plugin 用户手册
- 设备识别问题解决方法

**文件夹 2：USB 驱动程序**，其包括如下文件：

- VCP\_V1.3.1\_Setup.exe
- VCP\_V1.3.1\_Setup\_x64.exe

**文件夹 3：控制软件**，其包括如下控制软件：

- HFD\_Test\_win, windows 下的控制软件，包括 Win32, x64 平台的 Debug 与 Release 版本
- HFD\_Test\_linux

Linux 下的控制软件，包括 Debug 与 Release 版本

**文件夹 4：示例程序**，其包括如下示例程序：

- HFD Example\_win 源程序代码
- HFD Example\_linux 源程序代码



**文件夹 5：头文件**，其包括如下文件：

- HFD\_OPEN.h
- hfdDefines.h
- hfdVector.h
- hfdVector.inl

**文件夹 6：库文件**，其包括如下文件：

- Windows 下的库文件，包括 Win32, x64 平台的 Debug 与 Release 版本
- Linux 下的库文件，包括 Debug 与 Release 的静态.a 与动态.so 文件

**文件夹 7：glut 安装文件**，其包括如下文件：

- 头文件：glut.h      库文件：glut.dll      glut 配置说明

**文件夹 8：Unity3D 插件**，其包括如下文件：

- HFDTech3D.unitypackage
- HFDTech3D\_Unity\_Plugin 用户手册

**文件夹 9：External Module**，其包括如下工程文件：

- HFDTech3D cmake 管理工程
- ROS 工程
- SOFA 调用力反馈设备 HFD-6 的 cmake 管理工程

**文件夹 10：Demo**，其包括如下展示 Demo 模块：

- Chai3D\_Demo
- iMSTK\_Demo
- SOFA\_Demo
- Unity\_Demo

## 5.在 Windows 系统下配置 HFD-6 力反馈设备

### 5.1 安装驱动

在连接 HFD-6 力反馈设备到电脑上之前，必须先在电脑上安装 USB 驱动，安装步骤如下：

- 1.将随设备发货的 U 盘插入电脑；
- 2.打开 U 盘中驱动程序\USB 驱动程序文件夹；
- 3.双击 VCP\_V1.3.1\_Setup.exe 图标运行驱动安装程序；
- 4.按照弹出安装窗口中的指令完成 USB 驱动安装；
- 5.打开设备电源开关后，隔 5 秒左右再启动应用软件，以使设备各电气部件初始化；

## 6.在 Linux 系统下配置 HFD-6 力反馈设备

在 Linux 系统（以 Ubuntu 为例）中，无需安装特别的驱动程序，用 USB 线将设备连接到系统后，将被识别为 ttyACM\* 文件（特别的，在 Linux 系统中使用，时常需要使用 **chmod** 指令解锁 ttyACM\* 的读写权限才能调用力反馈器程序进行相关操作，即 **sudo chmod 777 ttyACM\***）。

将 U 盘中 3\_控制程序-->Linux-->HFD\_Test\_linux 文件夹复制到 ubuntu 系统下，在该文件夹下打开终端，输入以下命令：**sudo ./HFD\_Test**，按 Enter 键确定。

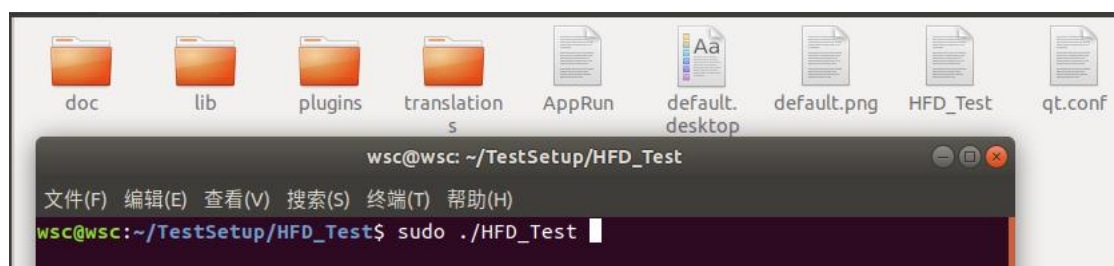


图 5 ubuntu 下启动程序

输入系统密码以启动程序。

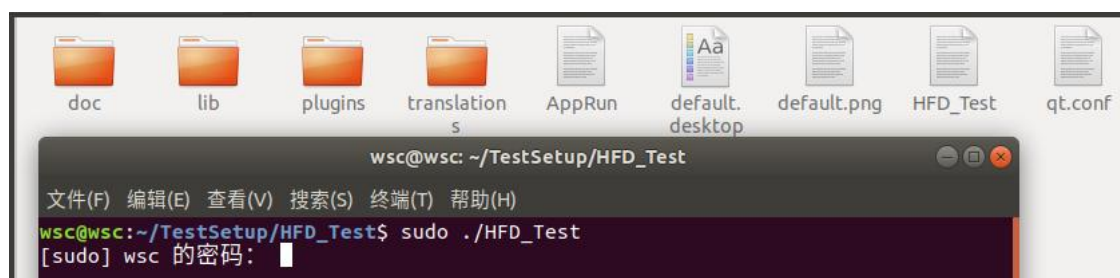


图 6 输入系统密码

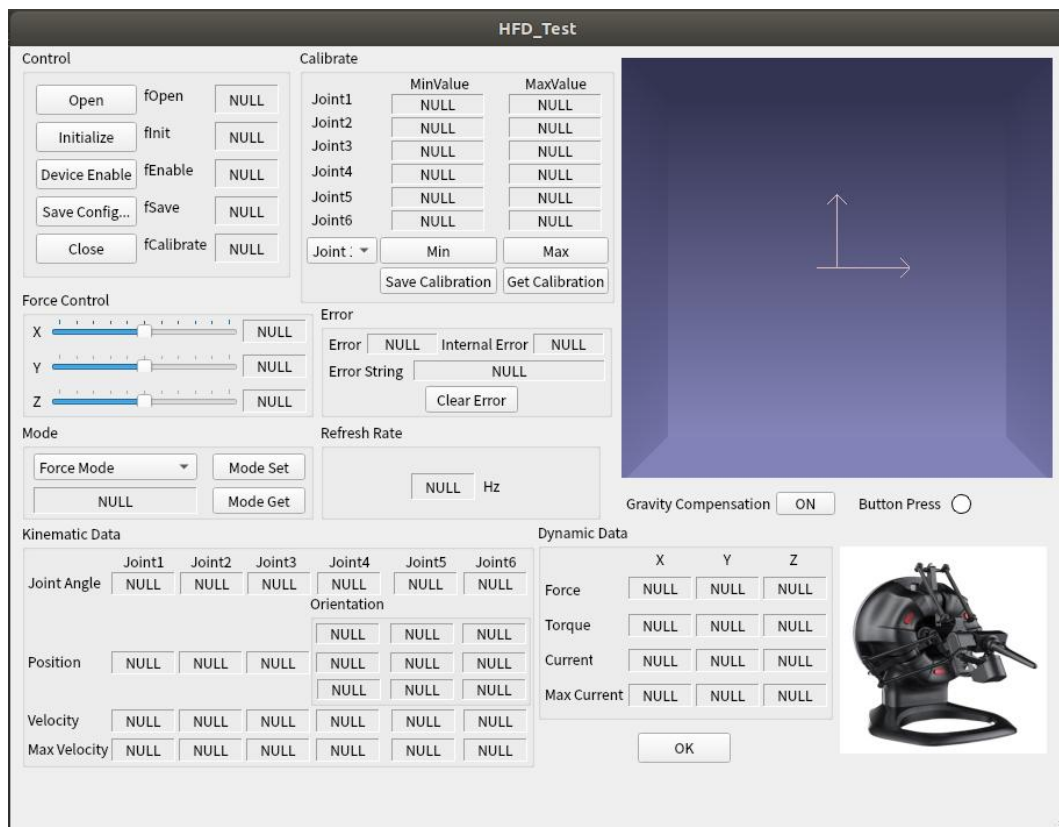


图 7 ubuntu 下控制程序界面

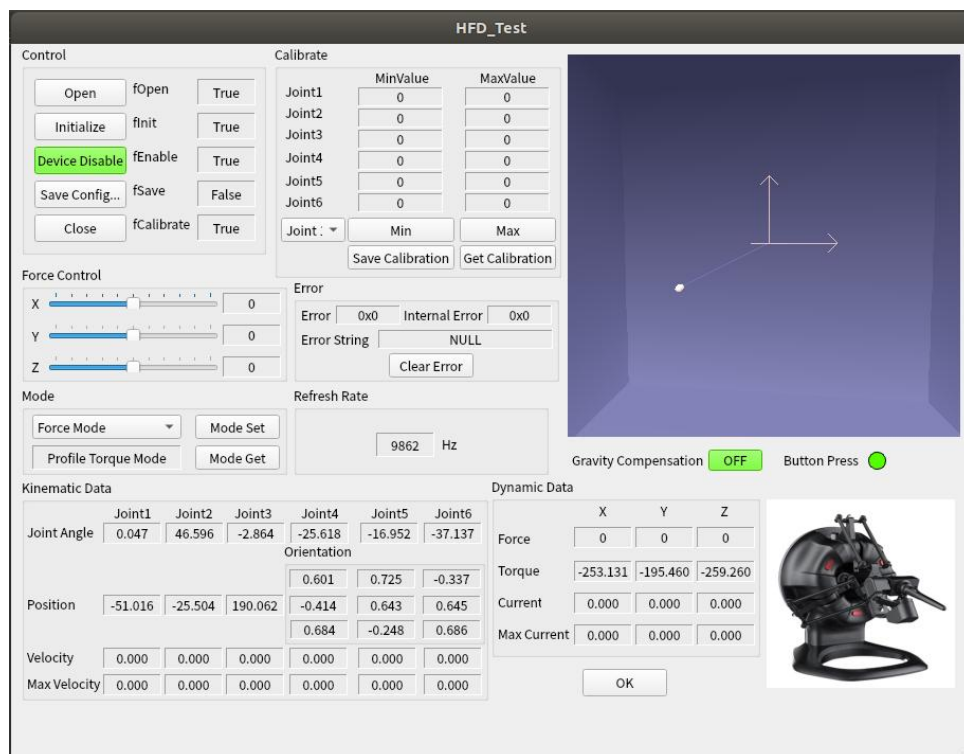


图 8 ubuntu 下操作控制程序

## 7.使用 HFD-6

### 7.1 设备坐标

HFD-6 力反馈设备具有 6 个运动自由度，包括 3 个移动自由度和 3 个旋转自由度，其中 3 个移动自由度由 Delta 并联机构组成，3 个旋转自由度为 Yaw(偏转),Pitch(俯仰),Roll(自转)。关节 1，关节 2，关节 3 旋转到收紧端为最小角度，旋转到张开端为最大角度；关节 4 旋转到最右端为最小角度，旋转到最左端为最大角度；关节 5 旋转到最下端为最小角度，旋转到最上端为最大角度；关节 6 旋转到逆时针极限位置为最小角度，旋转到顺时针极限位置为最大角度；HFD-6 设备的末端位置与姿态能够从控制器中读取。系统把编码器的数据转换为(X,Y,Z)笛卡尔坐标和 3x3 姿态矩阵  $R_t$ ，校准中绝对式编码器的极大极小值可在上位机中通过重新校准查看。



图 9 设备坐标系统

设备的基坐标系原点是三个半圆盘圆心所构成三角形的中心。在图 9 所示的静置归位状态下，关节 4、5、6 旋转轴交汇点为末端坐标系原点。初始

状态下末端坐标系原点相对于基坐标系原点沿基坐标系 Z 轴有一定距离 (约为 80mm)。3x3 姿态矩阵  $R_t$  是末端坐标系依次绕 Y 轴、X 轴、Z 轴旋转( $\alpha, \beta, \gamma$ )后的姿态表达, 假设初始末端坐标系位姿的齐次矩阵为  $X_0$ ,  $t$  时刻平移矩阵为  $T$ , 那么  $t$  时刻末端坐标系位姿的齐次矩阵  $X_t = R_t * X_0 + T$ 。

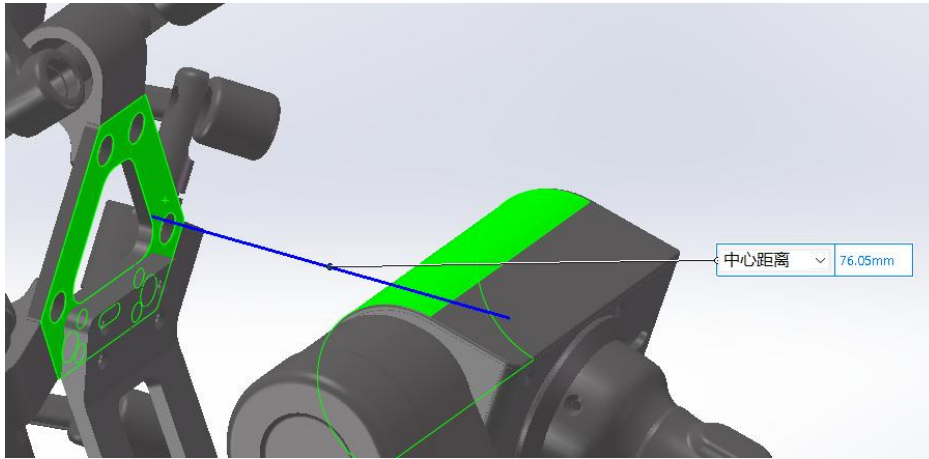


图 10 中心距离示意图

末端坐标系原点至三角标志中心的距离, 该距离在末端移动时固定存在。

## 7.2 操作 HFD-6

### 7.2.1 LED 提示灯

HFD-6 设备有白色和绿色两个 LED 提示灯。

白色 LED 灯--暂未启用

绿色 LED 灯亮--设备使能, 可输出反馈力

绿色 LED 灯灭--设备失能, 不能输出反馈力

### 7.2.2 设备特征

◆**校准:** 校准的目的是为了获得末端执行器在设备的运动空间中更加准确的位置与姿态。HFD-6 力反馈设备使用绝对式编码器, 设备校准信息在出厂时已保存于设备中, 上电即可直接使用, 不需要校准。但有

时为了防止设备搬运过程中造成编码器数据的漂移。可在上电之后，用 HFD\_Test 软件重新校准，并点击【SaveCalibration】将校准信息重新保存于设备中。HFD-6 设备在运行过程中，校准数据一直有效，因此，上电之后只需要完成一次校准，即可获得准确的设备位置与姿态。

◆**重力补偿：**为了防止用户疲劳并增加操作过程中的准确性。HFD-6 力反馈设备具有重力补偿功能。当重力补偿功能开启，末端执行器与杆件的重量能够在运动空间中得到动态的补偿。注意重力补偿是力反馈输出的特殊形式，因此重力补偿只有在设备使能后才能开启。可以通过 HFD\_API 中提供的 API 接口，在程序中动态开启与关闭重力补偿。如果用户使用过程中发现重力补偿效果不佳，请按照以上【校准】说明重新校准。

◆**反馈力：**默认状态下，设备开启时，反馈力输出功能是关闭的，用户可以通过 HFD\_API 中提供的 API 接口，在程序中动态开启与关闭力反馈输出。

◆**刹车：**HFD-6 力反馈设备具有电磁刹车机制，当设备速度过快时，为了防止设备损坏以及对用户造成的人身伤害，设备自动开启刹车功能，使设备进入粘滞阻尼状态，此时力反馈输出功能关闭。需要重新使能设备，打开力反馈功能，才能使设备关闭刹车，脱离粘滞阻尼状态。此外，用户可以通过 HFD\_API 中提供的 API 接口，在程序中动态地开启与关闭刹车功能。

### 7.3 运行 HFD\_Test 控制软件

在 Windows 操作系统下，HFD\_Test 控制软件用于对 HFD-6 设备进行测

试与诊断。

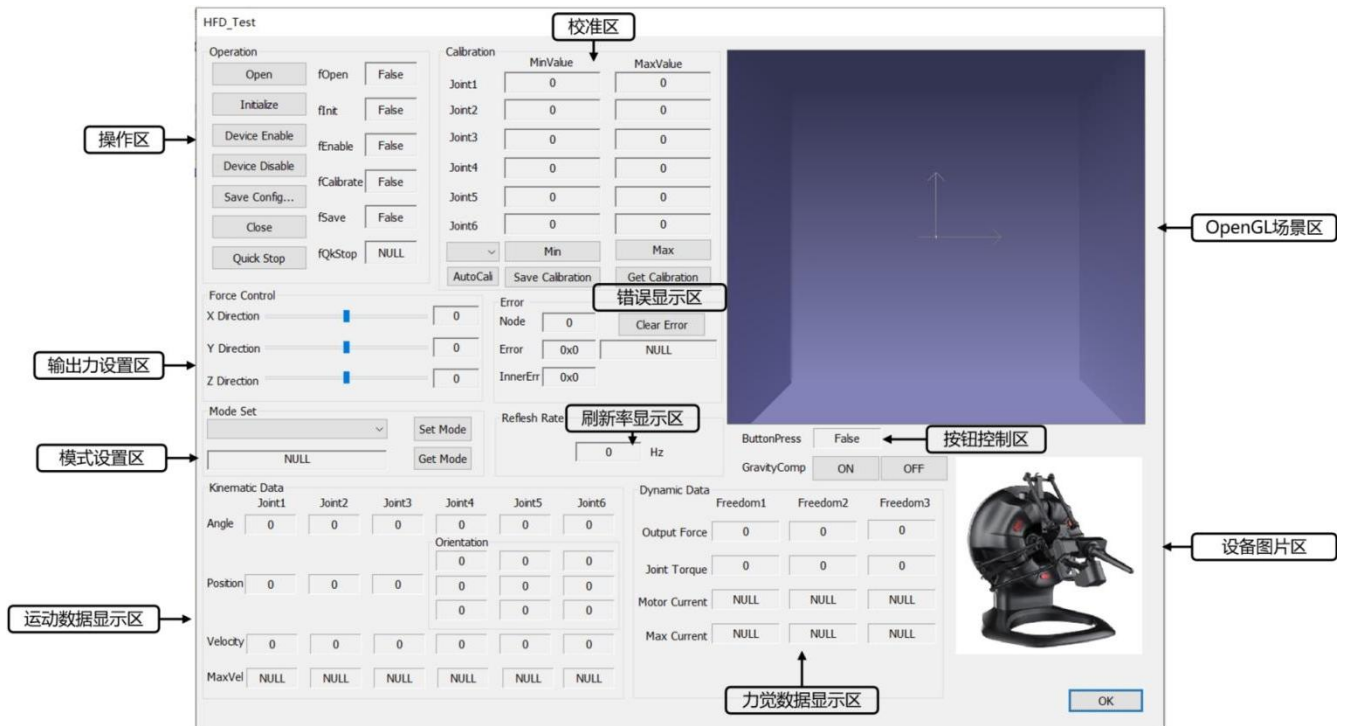


图 11 HFD\_Test 控制软件

HFD\_Test 控制软件允许用户：

- 打开、初始化、使/失能、关闭设备；
- 对设备各关节进行校准与校准信息保存，校准信息读取；
- 设置设备工作模式；
- 控制设备沿 X,Y,Z 轴输出一定大小的反馈力；
- 测试设备刷新率；
- 测试重力补偿效果；
- 查看设备运动数据与力觉数据；

#### 7.4 运行展示程序

HFD\_6 力反馈设备已经与第三方开源动态仿真库 Chai3D/iMSTK/SOFA 连接，可通过 HFD\_6 设备探索这些开源库中的所有展示程序。



如在 Chai3D 开源库的安装目录下，找到 bin 可执行文件所在的目录，即 \chai3d-3.2.0-multiplatform\chai3d-3.2.0\bin\win-Win32，双击.exe 文件即可运行相应的展示程序。

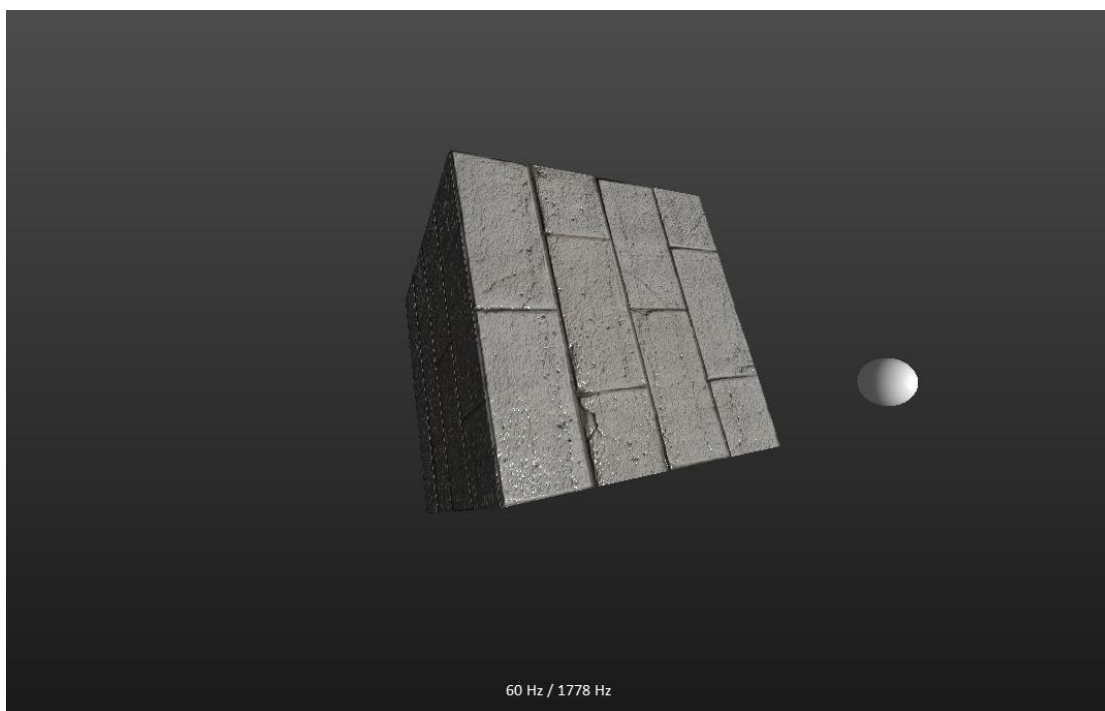


图 12 执行 Chai3D 中展示程序

在展示程序的下方，可动态展示当前场景的图像刷新率与力觉刷新率。

注意：HFD\_Test 控制软件与第三方开源动态仿真库 Chai3D 中展示程序需要安装 OpenGL Utility Toolkit (GLUT),GLUT 安装文件与安装方式请参考随设备发货的 U 盘，或参考链接：

<http://www.opengl.org/resources/libraries/glut.html>



8. 技术参数

工作空间	平移	210*210*130 mm
	旋转	240*115*320 deg
力	持续力	8.5 N
分辨率	直线位移	0.02mm
	旋转位移	0.005 deg
刚度		7.8 N/mm
接口	标准	USB2.0
	刷新频率	4KHz
	通用电源	220V 转 24V
操作平台	Microsoft	Windows 7/8/10/11

	Linux	All distributions	
软件开发包	设备层	Windows	HFD_API.dll、 HFDTech3D.dll
		Linux	HFD_API.so
	应用层	Unity3D 平台	HFDTech3D.cs 脚本
结构	基于 Delta 的并联机构，与末端串联旋转机构解耦连接，具有被动+主动双重力补偿功能		
校准	采用绝对编码器，开机自动校准，无需手动校准		
用户输入	末端手柄上 1 个可编程的输入按钮		
安全性	超速自动关闭力反馈，进入电磁阻尼状态		