

Tac3D-触觉传感器产品规格书

(Tac3D-AD2)



北京橡木果机器人科技有限公司

Acorn Robotics

手册版本：v1.3.2

修改时间：2024 年 12 月 26 日

联系方式：support@acornrobotics.com

目录

1 概览.....	1
1.1 Tac3D 触觉传感器简介	1
1.2 免责声明	1
1.3 规格.....	2
1.4 传感器功能和测量范围	2
1.5 软硬件要求	5
1.5.1 硬件要求	5
1.5.2 系统环境要求.....	5
2 开始之前	7
2.1 注意事项	7
2.2 安全预警	7
2.3 包装清单	7
3 尺寸与安装说明.....	8
3.1 外形和尺寸	8
3.2 机械连接	8
3.2.1 使用连接件连接传感器和机械手	8
3.2.2 设计个性化的连接件	9
3.3 坐标系定义.....	10
3.4 电气连接	10
4 日常维护和清洁.....	10
5 技术支持与服务.....	11
6 附录.....	12
6.1 性能参数典型值	12
6.2 术语列表	13
6.3 常用备件	13

1 概览

1.1 Tac3D 触觉传感器简介



图 1-1 Tac3D-AD2 触觉传感器外观

Tac3D 触觉传感器是基于虚拟双目原理的**视触觉传感器** (vision-based tactile sensor)。Tac3D 传感器可搭载于机械夹爪末端，为机器人提供准确、可靠的包括接触面形貌、位移场和受力分布在内的多模态触觉信息。虚拟双目原理保证了 Tac3D 传感器能够以比采用传统双目视觉方法更紧凑光路结构实现弹性体三维变形测量。让 Tac3D 触觉传感器可用于机器人夹爪末端等结构空间受限场景。Tac3D 多模态的触觉感知能力为机器人实现自主交互和环境探索提供了更多可能。

本使用手册适用于 Tac3D-AD2 系列传感器。在本使用手册下文中所述的“Tac3D 触觉传感器”均特指 Tac3D 触觉传感器的 Tac3D-AD2 系列的触觉传感器。

1.2 免责声明

感谢您使用 Tac3D 触觉传感器。在使用之前，请仔细阅读本声明，一旦使用，即被视为对本声明全部内容的认可和接受。请严格遵守使用手册和相关的法律法规、政策、准则安装和使用该 Tac3D 触觉传感器。在使用 Tac3D 触觉传感器过程中，用户承诺对自己的行为及因此而产生的所有后果负责。因用户不当使用、安装、改装造成的任何损失，北京橡木果机器人科技有限公司将不承担法律责任。本使用手册为北京橡木果机器人科技有限公司版权所有。未经许可不得以任何形式复制翻印。

关于免责声明的最终解释权，归北京橡木果机器人科技有限公司所有。

1.3 规格

表 1-1 Tac3D-AD2 触觉传感器规格参数

额定电压	5 V
功耗*	0.8 W
重量*	33 g (传感器) + 11 g (连接件)
尺寸 (长×宽×高) *	54.5 mm × 33 mm × 33 mm
USB 协议	2.0
原始图像分辨率	1920 × 1080 (1080p)
触觉感知分辨率	20 × 20
触觉感知面积	20 mm × 20 mm
工作环境温度 (推荐)	15 ~ 30 °C
最大合力 (极限值)	20.0 N
最大合力 (额定值)	10.0 N
最大单点力	1.0 N
最大变形速率 (推荐)	15 mm/s
最大变形量	3 mm (中心区域)、2mm (边缘区域)
预热时间	5 min

注：*标注的项在不同传感器之间可能存在微小的个体差异，表中所列为其典型值。具体参数以实测为准。

1.4 传感器功能和测量范围

Tac3D 触觉传感器模拟人手触觉的多模态感知功能。可以测量其感知表面 (sensing area)范围内的3D 形貌 (3D surface geometry)、3D 位移场 (3D displacement field)、3D 分布力 (3D distributed force)、3D 合力 (3D resultant force) 和 3D 合力矩 (3D resultant moment)。

感知表面是 Tac3D 触觉传感器弹性体的弧面上的方形表面范围 (不包括棱)，如图 1-3 中绿色标注的区域。Tac3D-AD2 系列传感器的感知表面的最大投影面积约为 20 mm × 20 mm。弹性体感知表面的保护层下布置 400 个 20 × 20 阵列分布的标志点 (markers)。在关于分布力的描述中，标志点及其附近的小块表面区域也称为力测量点 (force sensing points)。标志点/力测量点按行列顺序编号为 0 ~ 399 号。

Tac3D 触觉传感器工作时，感知表面和外部物体接触。弹性体因受到接触力而变形，标志点则随着弹性体的位移而移动。在此过程中，Tac3D 传感器将持续测量和追踪 400 个标志点在传感器坐标系 (详见 3.3 节) 下的位置和位移，并根据标志点位移求解感知表面所受到的分布力。Tac3D-AD2 系列传感器输出的触觉信息具体如下：

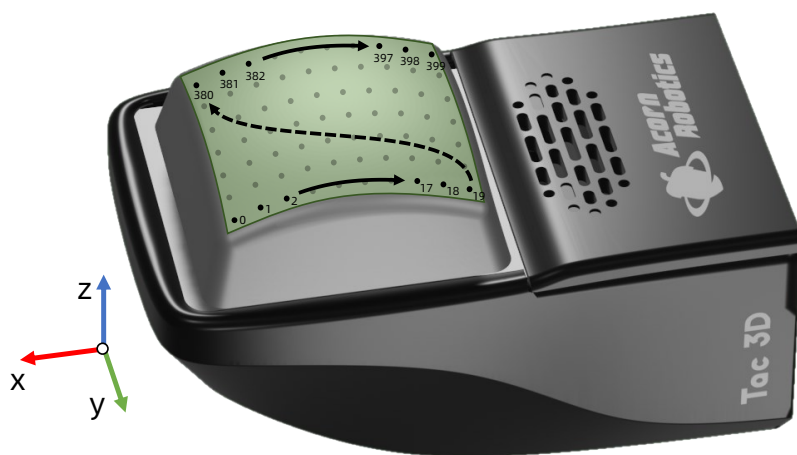


图 1-3 Tac3D 触觉传感器的感知表面和标志点/力测量点编号

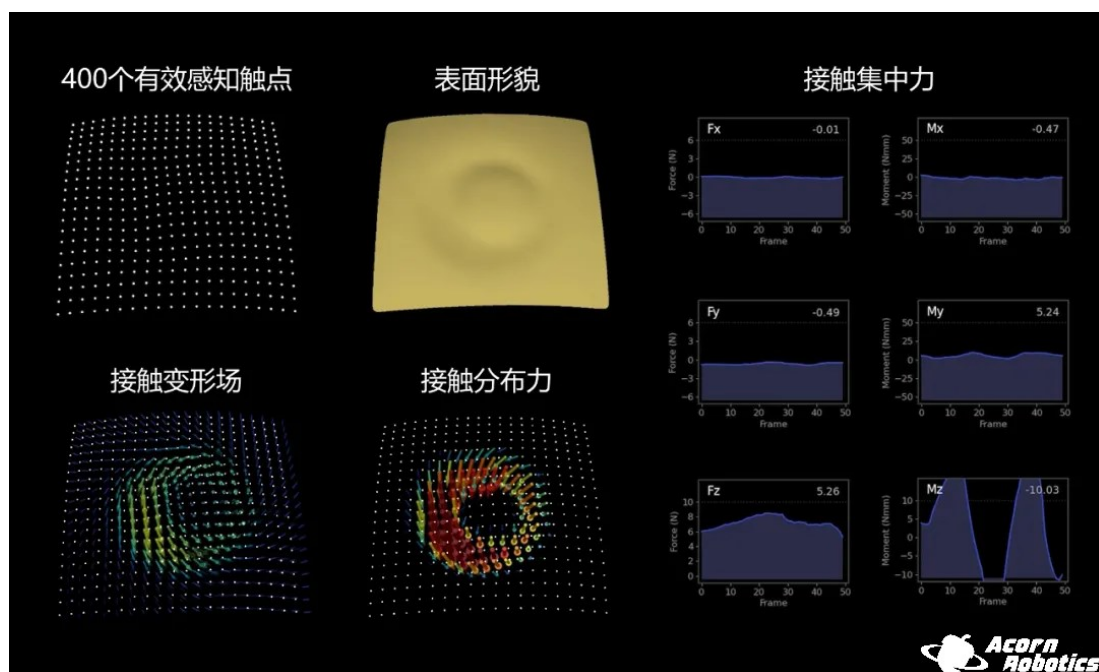


图 1-2 Tac3D 触觉传感器测量 3D 形貌、3D 位移场、3D 分布力


① 3D 形貌

3D 形貌指 Tac3D 触觉传感器弹性体感知表面的 3D 几何外形。在弹性体未与物体接触时，感知表面为半径约 30 mm 的球面。3D 形貌以传感器坐标系下各标志点的三维位置坐标表示。在 Tac3D-SDK 中，3D 形貌以 400 行 3 列的浮点数矩阵形式提供。矩阵的 1~400 行分别对应编号为 0~399 的标志点，矩阵的 1~3 列分别表示各标志点的 x、y、z 位置坐标，单位为 mm。

② 3D 位移场


3D 位移场指 Tac3D 触觉传感器弹性体变形时感知表面上各点的 3D 位移矢量构成


的矢量场。这里的位移矢量指标志点的当前位置与在弹性体未变形时该标志点的初值位置之差。3D 位移场以传感器坐标系下各标志点的 3D 位移矢量表示。在 Tac3D-SDK 中，3D 位移场以 400 行 3 列的浮点数矩阵形式提供。矩阵的 1~400 行分别对应编号为 0~399 的标志点，矩阵的 1~3 列分别表示各标志点的 x、y、z 方向位移分量，单位为 mm。3D 位移场不同于 3D 形貌，3D 位移场包含了各标志点在变形前和变形后的位置对应关系，可用于力学方法解算表面受力、估计接触面滑移等。


 **注意：**感知表面中心区域和边缘区域允许的最大变形量分别为 3 mm 和 2 mm。若超范围使用可能导致 3D 位移场测量结果失效。


③ 3D 分布力

3D 分布力指 Tac3D 触觉传感器弹性体感知表面上各力测量点**承受力**的 3D 力矢量构成的矢量场。3D 分布力以传感器坐标系下各力测量点处所受 3D 力矢量表示。在 Tac3D-SDK 中，3D 分布力以 400 行 3 列的浮点数矩阵形式提供。矩阵的 1~400 行分别对应编号为 0~399 的力测量点，矩阵的 1~3 列分别表示各力测量点所承受力的 x、y、z 方向力分量，单位为 N。

 **注意：**3D 分布力的求解依赖于 3D 位移场，使用 Tac3D 触觉传感器测量分布力时需确保满足测量位移场的位移量限制条件。


 **注意：**3D 分布力的求解算法中假定弹性体的受力范围**仅限感知表面**，使用中**请勿使弹性体的非感知表面（弹性体的侧面和棱边）受力**。否则可能导致分布力重建结果失真。


 **注意：**3D 分布力数据经过滤波处理，直接将分布力按 x、y、z 分量求和得到的合力可能不准确。如需使用合力数据，请使用 Tac3D-SDK 中直接提供的合力数据。


 **警告：**为避免损坏传感器，感知表面受力的最大允许量为：最大合力 15.0 N 或最大单点力 1.0 N。禁止超过最大允许量使用。

④ 3D 合力

3D 合力指 Tac3D 触觉传感器弹性体感知表面上所**承受力**的 3D 矢量合。3D 合力以传感器坐标系下的 3D 力矢量表示。在 Tac3D-SDK 中，3D 合力以 1 行 3 列的浮点数矩阵形式提供。矩阵的 1~3 列分别表示合力的 x、y、z 方向分量，单位为 N。


 **注意：**3D 合力的求解依赖于 3D 位移场，使用 Tac3D 触觉传感器测量合力时需确保满足测量位移场的位移量限制条件。


 **注意：**3D 合力的求解算法中假定弹性体的受力范围**仅限感知表面**，使用中**请勿使弹性体的非感知表面（弹性体的侧面和棱边）受力**。否则可能导致合力计算结果不准确。


 **警告：**为避免损坏传感器，使用 Tac3D 触觉传感器测量合力时需确保满足测量 3D 分布力的受力限制条件。


⑤ 3D 合力矩

3D 合力矩指 Tac3D 触觉传感器弹性体感知表面上所承受分布力的**相对传感器坐标系原点**(详见 3.3 节)的力矩的积分。3D 合力矩以传感器坐标系下的 3D 力矩矢量表示。在 Tac3D-SDK 中, 3D 合力矩以 1 行 3 列的浮点数矩阵形式提供。矩阵的 1 ~ 3 列分别表示合力矩的 x、y、z 方向分量, 单位为 N。

 **注意:** 3D 合力矩的求解依赖于 3D 位移场, 使用 Tac3D 触觉传感器测量合力时需确保满足测量位移场的位移量限制条件。

 **注意:** 3D 合力矩的求解算法中假定弹性体的受力范围**仅限感知表面**, 使用中**请勿使弹性体的非感知表面(弹性体的侧面和棱边)受力**。否则可能导致合力矩计算结果不准确。

 **注意:** Tac3D-AD2 系列传感器提供的合力矩尚未经过标定, 其值可能不准确, 仅供参考。

 **警告:** 为避免损坏传感器, 使用 Tac3D 触觉传感器测量合力时需确保满足测量 3D 分布力的受力限制条件。

1.5 软硬件要求

1.5.1 硬件要求

Tac3D 触觉传感器的核心电气元件为一个 RGB 摄像头和补光 LED, 使用 USB2.0-typeC 接口引出, 工作时约需 20MB/s 的 USB 传输带宽。理论上一条 USB2.0 总线可通过 USB-Hub 同时连接至多 2 个 Tac3D 触觉传感器。Tac3D 的配套软件目前支持 x86_64 的计算机。目前, Tac3D 触觉传感器的触觉信息重建算法主要使用 CPU, 且计算开销较大。可能在部分计算机上无法满帧率运行。

如果您使用的是 DexHand Pro 机械手上集成的 Tac3D 传感器, 触觉信息重建算法将运行在 DexHand Pro 机械手内置的处理器上, 而非您的计算机上。因此, 计算机的性能可不受上述要求的限制。

1.5.2 系统环境要求

- **Tac3D-Desktop:** Tac3D 触觉传感器的桌面应用程序
提供 windows 版和 linux 版的软件包。
Windows 版目前兼容 windows 10/11。Linux 版目前兼容 ubuntu18/20/22
- **libTac3D:** Tac3D-SDK 的 C++版本
依赖库: OpenCV (4.0 及以上版本)、yaml-cpp
libTac3D 以 C++源代码提供, 在 Windows 平台的编译需使用 mingw64-posix + gcc, 在 Linux 平台的编译需使用 gcc。
- **PyTac3D:** Tac3D-SDK 的 python 版本
Python 版本不低于 3.0

依赖库: numpy、ruamel.yaml、[vedo]

注: vedo 仅在使用 PyTac3D_Display 时需要, 版本限定为 2023.4.6。由于过新版本的 numpy 可能导致 vedo 报错, 若在运行 PyTac3D_Display 时遇到和 numpy 有关的报错, 可尝试将 numpy 版本降至 1.19.0 解决。

2 开始之前

2.1 注意事项

⚠ 在使用 Tac3D 触觉传感器的过程中必须确保施加在传感器的感知表面的力在安全范围之内，否则可能造成传感器的弹性体损坏。传感器的感知表面承受载荷的安全范围有两方面的约束：**最大合力不大于 15.0 N** 和**最大单点力不大于 1.0 N**。传感器工作中必须保证感知表面的受力同时符合以上两方面的限制。

⚠ 连接 Tac3D 传感器和传感器连接件必须使用 2 颗套件内提供的 M3 × 10 沉头螺钉（每套 Tac3D 触觉传感器套件中提供 4 颗，其中 2 颗为备件）。使用其他规格的螺钉可能导致连接不牢或传感器内部结构损坏。

⚠ 避免使用尖锐物品接触弹性体，以免造成损坏；

⚠ 不可使用酒精等有机溶剂接触 Tac3D 触觉传感器，严禁液体进入传感器内部，否则可能造成传感器损坏。清洁时可使用略微潮湿的水性湿巾擦拭。

⚠ 传感器内含精密元件，请勿剧烈振动或摔落传感器。

2.2 安全预警

⚠ **安全警告：**本套件内含细小零件，谨防儿童吞食。

2.3 包装清单

表 2-1 Tac3D-AD2 触觉传感器套件清单

序号	物品	数量
1	Tac3D-AD2 触觉传感器	1
2	传感器连接件	1
3	沉头螺钉（M3×10）	4
6	资料盘	1

3 尺寸与安装说明

3.1 外形和尺寸

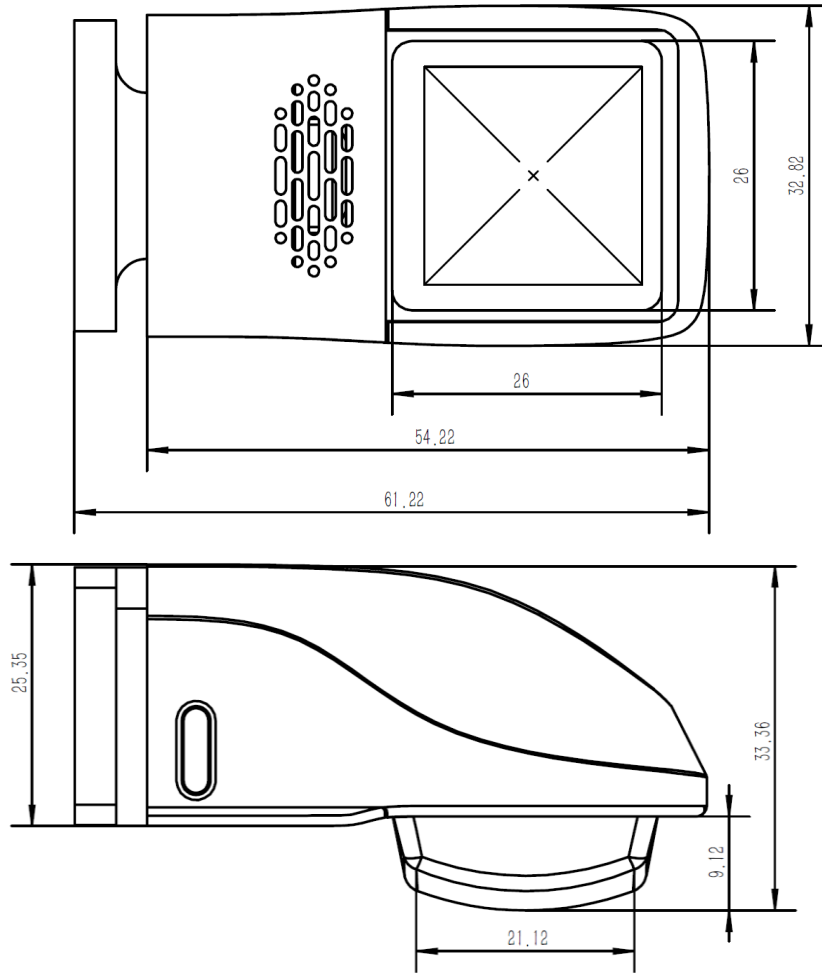


图 3-1 Tac3D-AD2 触觉传感器外形尺寸

3.2 机械连接

3.2.1 使用连接件连接传感器和机械手

连接件的悬臂一端可以与 Tac3D-AD2 传感器背面的凹槽配合，并通过两颗 M3×10 沉头螺钉与传感器固定。连接件的底座一端预留了 4 个间距 12mm 的 M3 通孔，可与机械手的运动部件连接。由于机械手一端预留的机械接口目前没有通用的标准，可能与连接件底座的开孔位置不匹配。安装时可以通过 3D 打印或机加工制作对应的转接部件。



图 3-2 Tac3D-AD2 触觉传感器连接件安装位置

3.2.2 设计个性化的连接件

如果希望在安装触觉传感器时，使用数量尽可能少的连接部件，或提升机械手结构的紧凑性。则也可以选择自行设计和加工与触觉传感器连接接口兼容的个性化连接件。配套的连接件的结构和尺寸参数如图纸所示，可供设计参考。

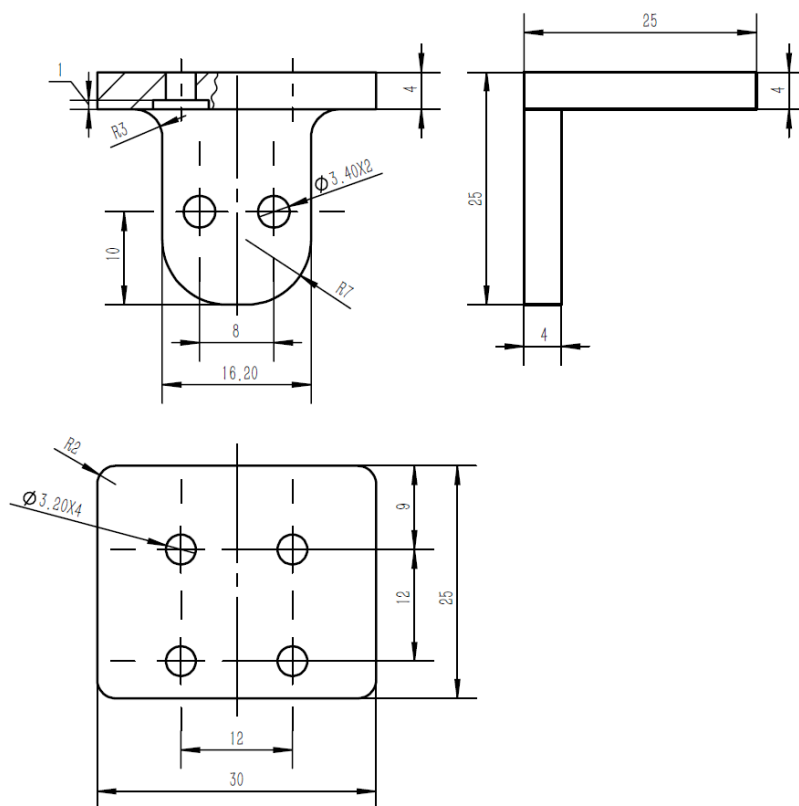


图 3-3 Tac3D-AD2 触觉传感器连接件加工图

在设计个性化连接件时应注意以下几点：

① 个性化连接件悬臂部分的结构（悬臂外轮廓、厚度和沉头孔）应与所提供的连接件保持一致，以确保个性化连接件能够与传感器上的开槽准确配合；

② 强烈建议使用铝、不锈钢等金属材料加工个性化连接件，以确保传感器和机械手之间的连接具有足够的刚度。因为在使用传感器时，连接件的悬臂部分需要承受较大的力和弯矩。使用树脂或塑料材料 3D 打印制作的连接件可能会在使用中出现明显的弯曲变形。

3.3 坐标系定义

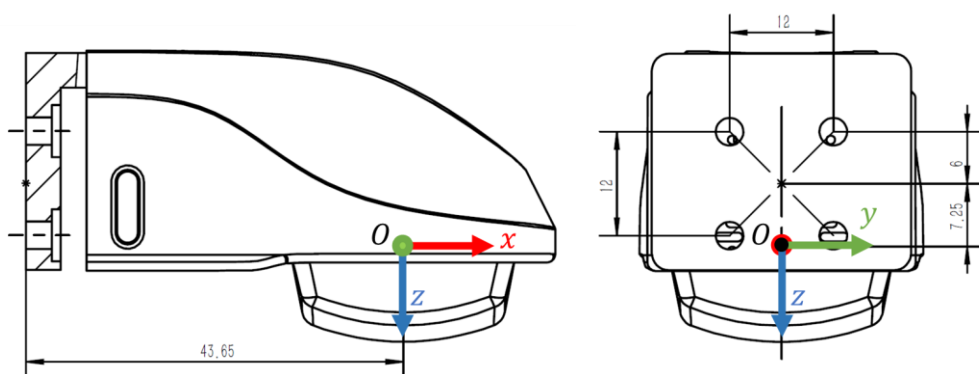


图 3-4 Tac3D-AD2 触觉传感器坐标系位置

Tac3D 触觉传感器的**传感器坐标系**(sensor coordinate system)的定义如图所示。在安装连接件后，连接件底面上 4 个安装孔的对称中心点位于传感器坐标系下 $P = (-43.65, 0.00, -7.25)$ 处。Tac3D 触觉传感器提供的 3D 形貌、3D 位移场、3D 分布力、3D 合力和 3D 合力矩均是基于传感器坐标系的。

3.4 电气连接

Tac3D-AD2 系列传感器使用 USB2.0 协议的 Type-C 接口与计算机连接，通过 USB 接口供电和传输数据。需使用至少 4 芯的 USB 连接线，并确保所连接的 USB 接口的供电电压为 5V。

4 日常维护和清洁

传感器的弹性体表面沾染灰尘时，建议使用透明胶带轻轻粘除。也可使用纸巾、擦镜布、水性湿巾或低浓度的酒精棉布清洁。传感器的外壳可使用纸巾、擦镜布或水性湿巾清洁，但不可接触酒精等有机溶剂/非极性溶剂。

5 技术支持与服务

技术支持: support@acornrobotics.com

销售与售后: sales@acornrobotics.com

6 附录

6.1 性能参数典型值

表 9-1 Tac3D-AD2 触觉传感器性能参数典型值*

材料参数**	等效弹性模量[MPa]	0.30~0.60
	等效泊松比	0.47~0.49
性能参数	单点位移白噪声（标准差） [mm]	X: 0.0015 Y: 0.0015 Z: 0.0050
	单点力白噪声（标准差） [N]	X: 0.00070 Y: 0.00070 Z: 0.00100
	合力白噪声（标准差） [N]	X: 0.006 Y: 0.004 Z: 0.070
	单点位移温漂（预热 5min 后） [mm/min]	X: 1.0e-03 Y: 1.0e-03 Z: 3.0e-03
	单点力温漂（预热 5min 后） [N/min]	X: 1.0e-05 Y: 1.0e-05 Z: 1.0e-04
	合力温漂（预热 5min 后） [N/min]	X: 2.0e-03 Y: 2.0e-03 Z: 4.0e-02
	合力相对误差***（以 3 σ 计） [%]	X: 5.0 Y: 5.0 Z: 8.0

注：

*每个传感器的具体标定参数见配置文件中的 datasheet.yaml。

**等效弹性模量和等效泊松比为传感器标定中用于修正合力误差的参数，与弹性体的实际弹性模量和泊松比可能存在差异，仅供参考。

***合力相对误差为标定时计算的经标定后的参与误差。标定范围为 Z 方向 1~10N，XY 方向 ± 3 N。若传感器承受的力超出标定范围，准确性可能会降低。

6.2 术语列表

视触觉传感器 (vision-based tactile sensor)

感知表面 (sensing area)

3D 形貌 (3D surface geometry)

3D 位移场 (3D displacement field)

3D 分布力 (3D distributed force)

3D 合力 (3D resultant force)

3D 合力矩 (3D resultant moment)

传感器坐标系 (sensor coordinate system)

6.3 常用备件

M3×10 沉头螺钉

