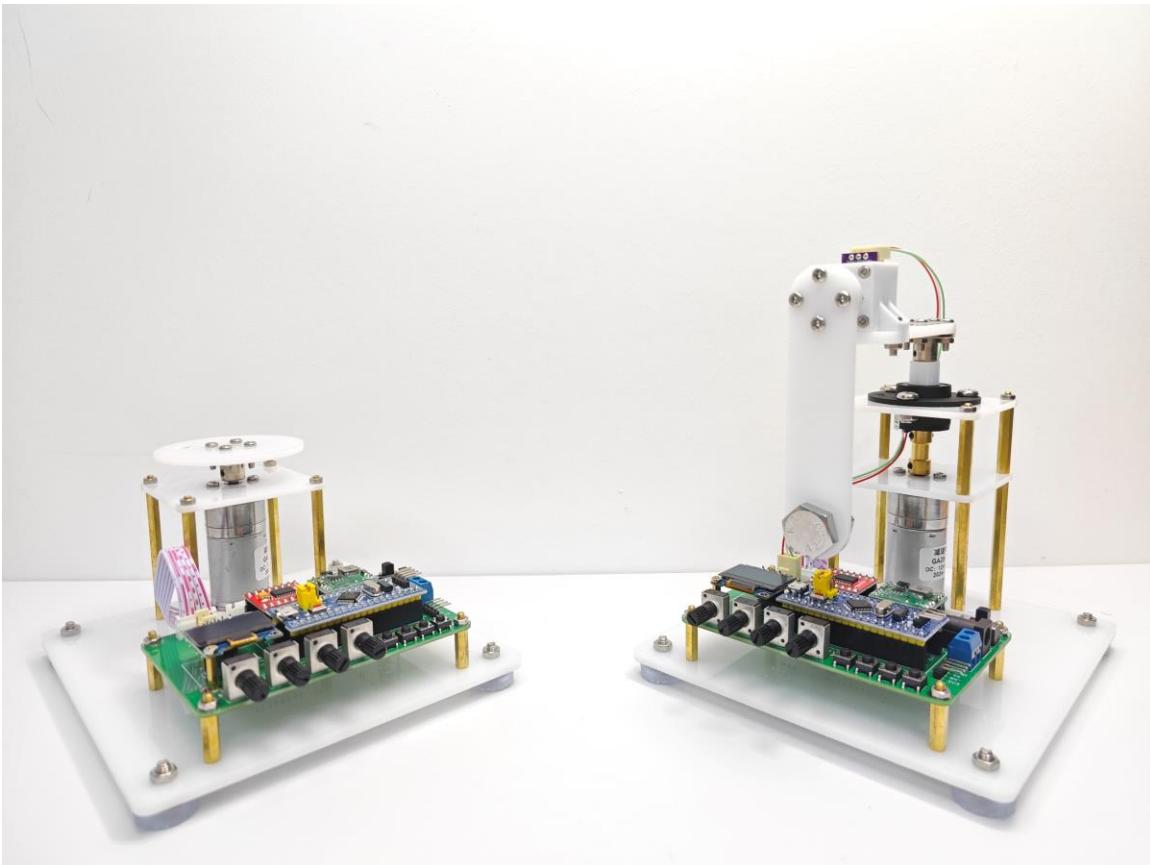


PID 入门套件

用户手册



电机控制 & 倒立摆

目录

1 简介.....	1
2 两种状态及变换步骤.....	2
2.1 电机控制状态	2
2.2 倒立摆状态	3
2.3 两种状态的变换步骤	4
3 各部分介绍.....	7
3.1 STM32 电机驱动及控制板.....	7
3.2 编码电机	10
3.3 导电滑环及传动结构	11
3.4 角度传感器	12
4 技术参数.....	13

1 简介

PID 入门套件是一款以学习 PID 控制算法为目的的教学辅助设备。本套件配合 B 站视频“PID 入门教程”使用，通过视频理论分析与套件项目实践配合，能让初学者更快、更容易、更深刻地理解 PID 控制算法。

本套件根据需求，可以变换为两种状态——电机控制状态和倒立摆状态。其中电机控制状态可以完成编码电机的闭环控制实验，此实验为 PID 控制算法的经典应用场景，借助此场景，学习者可以学习到单环 PID 的程序实现流程和调参技巧。此外，本套件还可在电机控制状态的基础上进行改装，增加倒立摆相关的零件，从而变成倒立摆状态。在倒立摆状态下，学习者可以进行更有难度的双环 PID 学习，加深对 PID 控制算法的理解，同时增加实战项目经验。

本套件配套有全套的教学视频，从理论到实践，从公式到代码，手把手带领初学者进行 PID 控制算法的学习。全套教学视频均上传在 B 站（Bilibili）视频平台，所有视频均免费公开观看，教学视频观看地址：<https://www.bilibili.com/video/BV1G9zdYQEr3>。更多教学视频，也可关注 UP 主“江协科技”，UP 主个人空间地址：<https://space.bilibili.com/383400717>。此外，教学视频中出现的所有资料（参考文档、课件 PPT、程序源码等）也都免费公开，配套资料下载链接：<https://jiangxiekeji.com/download.html#pid>。更多关于我们的动态，也可通过访问我们的官网获取，官方网站：<https://jiangxiekeji.com>。

2 两种状态及变换步骤

图 1.1 为 PID 入门套件两种状态的外观，左侧为电机控制状态，右侧为倒立摆状态。

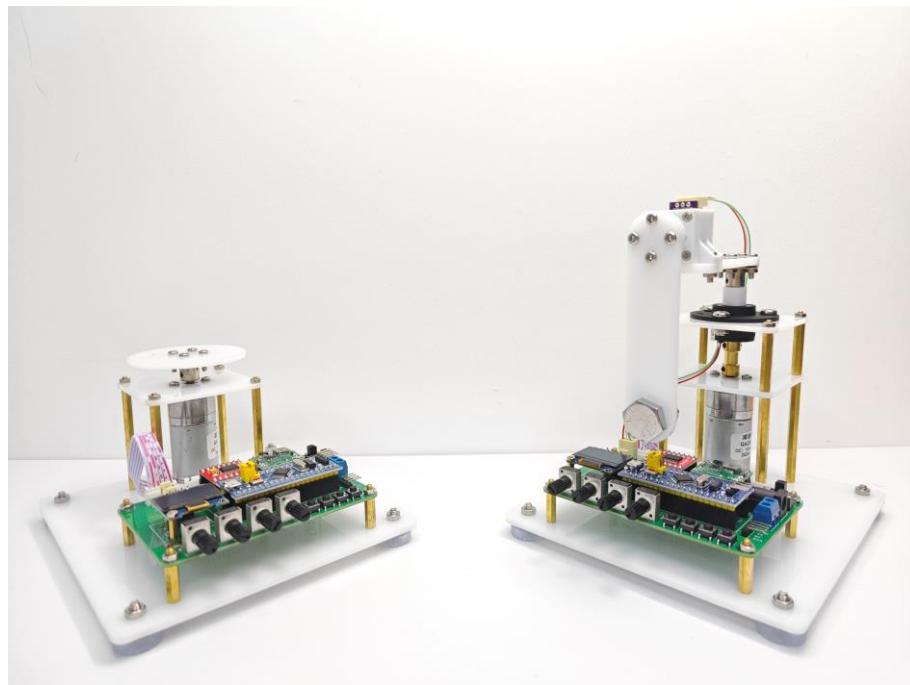


图 1.1 PID 入门套件

2.1 电机控制状态

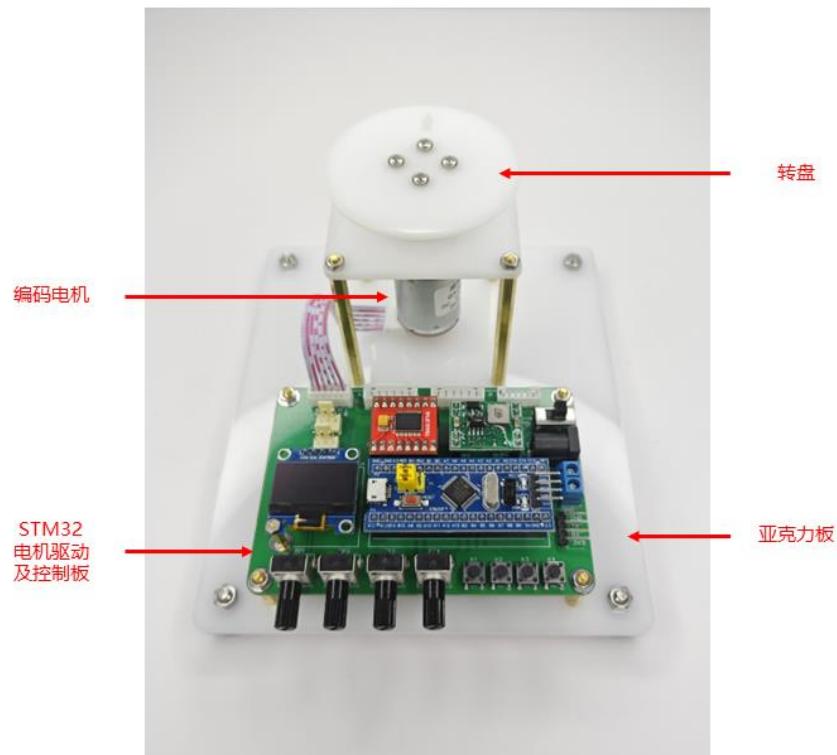


图 1.2 电机控制状态

图 1.2 为本套件电机控制状态的外观。其中主体框架由亚克力板和若干铜柱组成，下部分是 STM32 电机驱动及控制板，上部分是编码电机和电机转盘。STM32 电机驱动及控制板包含 STM32 最小系统板（主控芯片为 STM32F103C8T6）、0.96 寸 OLED 显示屏、TB6612 电机驱动模块、MP1584EN 稳压器模块等设备，是电机控制电路的核心。编码电机是一种自带编码器的直流有刷电机，编码器可以用于测量电机的位置和转速，是 PID 闭环控制反馈回路中必不可少的元件。电机输出轴上配套有带箭头标识的圆形转盘，可以直观地指示电机输出轴的位置，便于观察和调试。

2.2 倒立摆状态

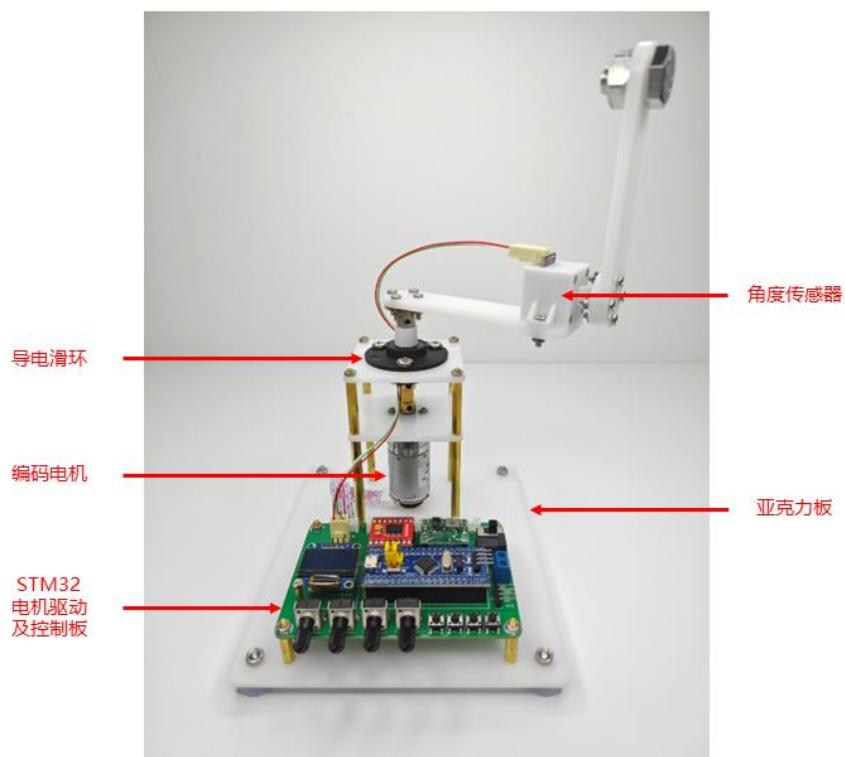
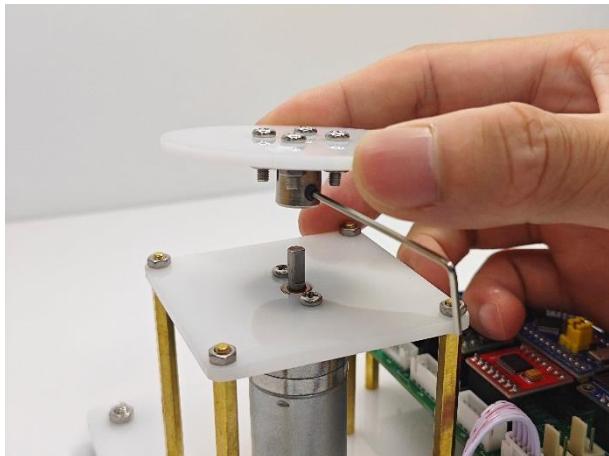


图 1.3 倒立摆状态

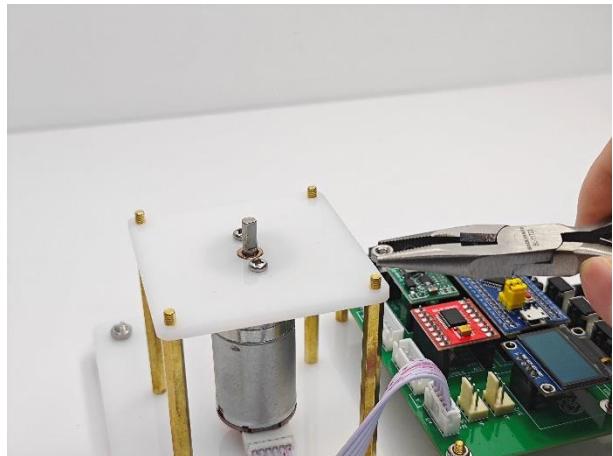
图 1.3 为本套件倒立摆状态的外观。倒立摆状态与电机控制状态共用一个底座，两者可以灵活切换，倒立摆状态相比较电机控制状态，新增了电机上部的摆臂等结构。倒立摆摆臂结构主要包括导电滑环、横杆、角度传感器、摆杆等零件。其中导电滑环是一种连通导线，同时允许导线 360 度无限旋转的设备。为了保证角度传感器的信号能和控制板连接，本套件加入了一个 3 线路的导电滑环作为中继结构。角度传感器是一种允许摆杆自由旋转，同时测量摆杆当前角度的设备。本套件的角度传感器采用的是电位器测角度的方案，用户可以根据电位器输出的电压，得到摆杆的角度信息。角度传感器是倒立摆 PID 闭环控制反馈回路中必不可少的元件。

2.3 两种状态的变换步骤

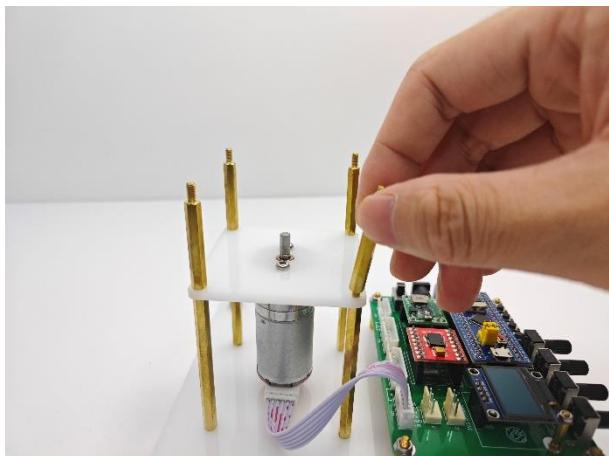
(1) 电机控制状态变换为倒立摆状态



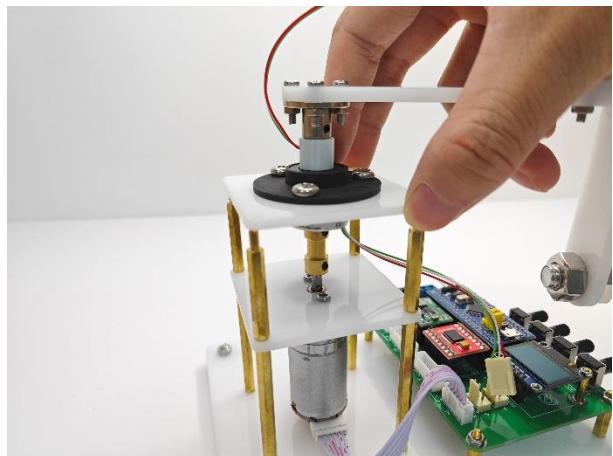
(1) 拧松 2 个顶丝并拿掉转盘



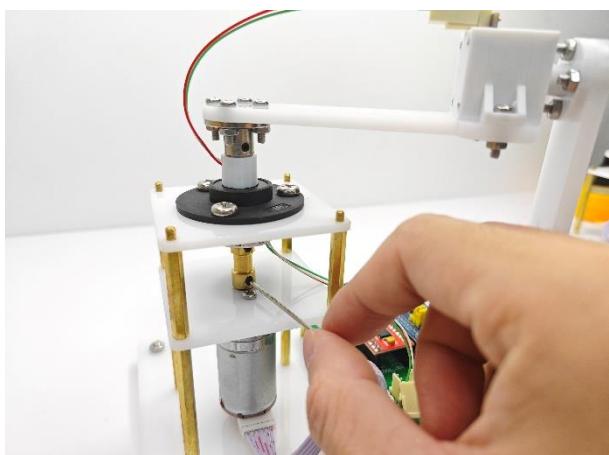
(2) 拧掉 4 个固定螺母



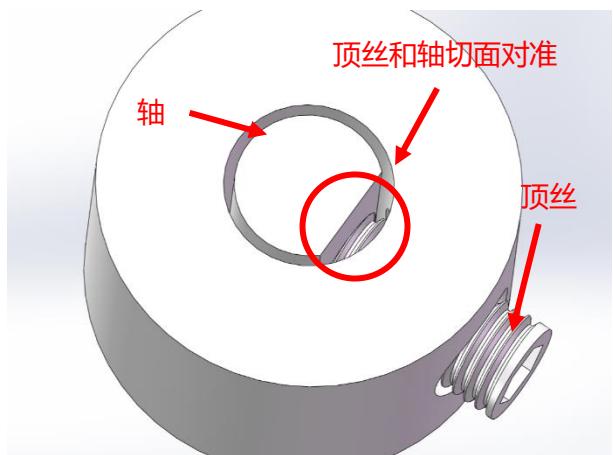
(3) 拧紧上面 4 个铜柱



(4) 装上倒立摆部分



(5) 拧紧最下面的 2 个顶丝



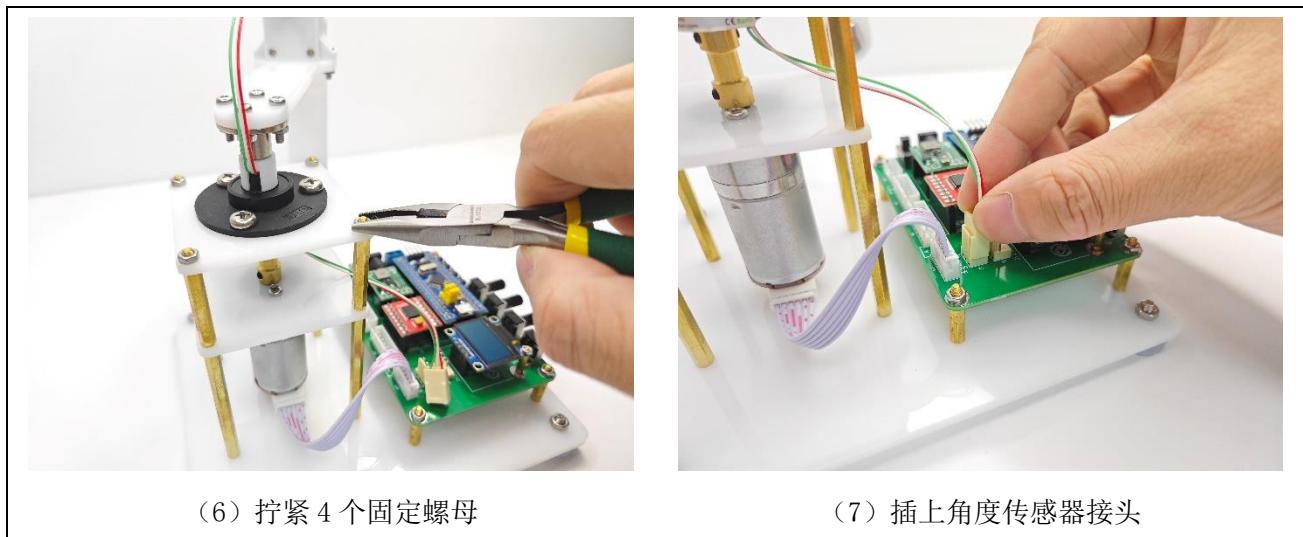
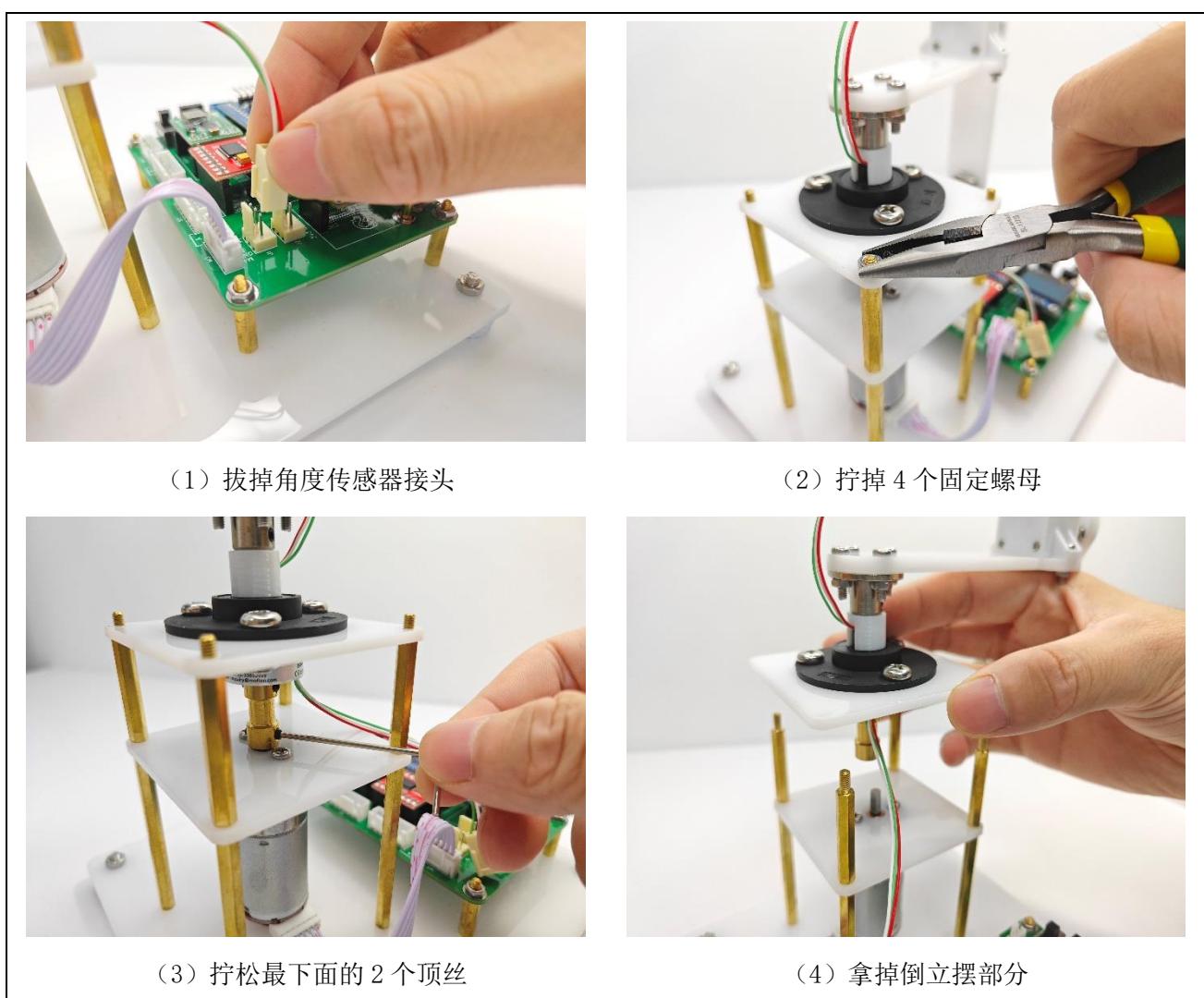


图 1.4 电机控制状态变换为倒立摆状态的变换步骤

(2) 倒立摆状态变换为电机控制状态



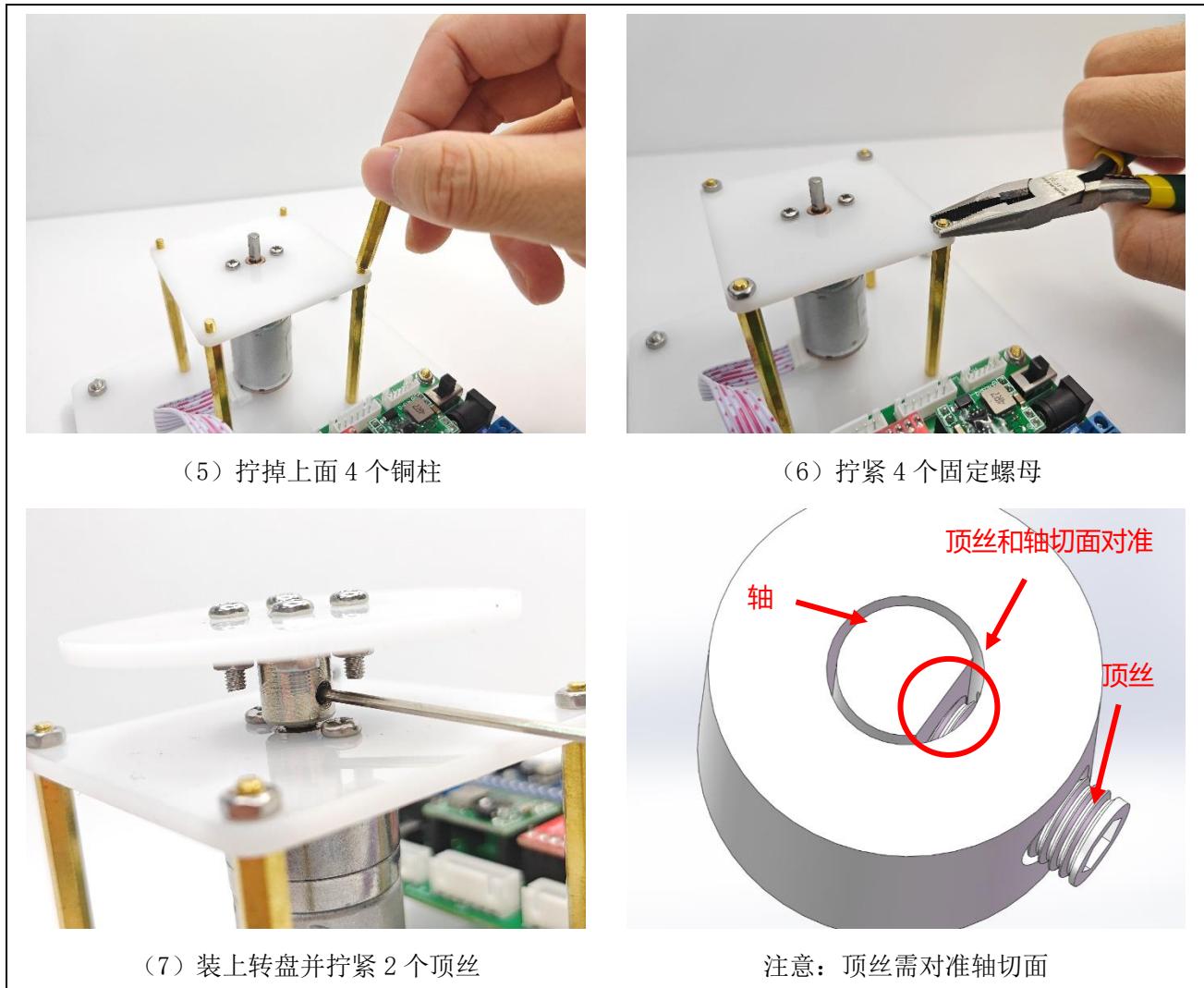


图 1.5 倒立摆状态变换为电机控制状态的变换步骤

3 各部分介绍

3.1 STM32 电机驱动及控制板

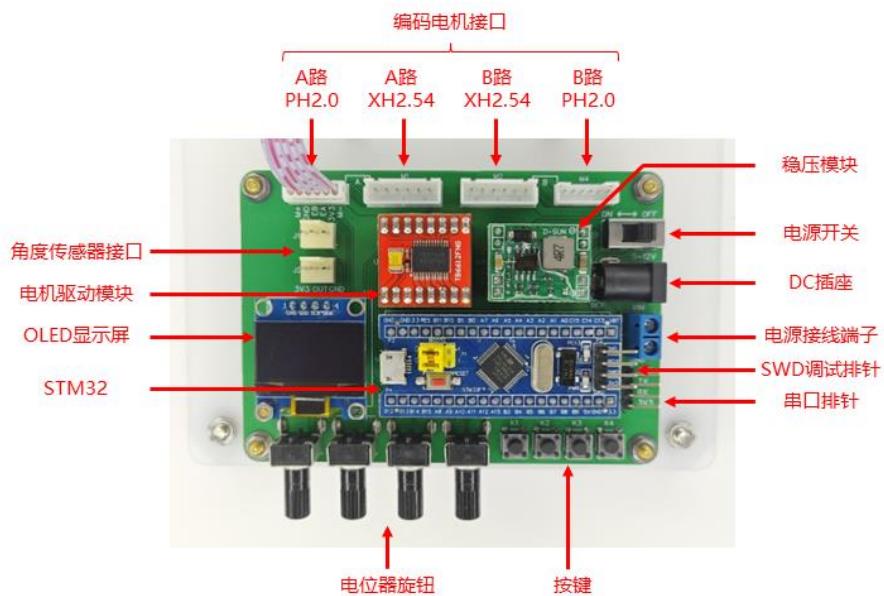


图 1.6 STM32 电机驱动及控制板

图 1.6 为 STM32 电机驱动及控制板的外观，其中 STM32、OLED 显示屏、电机驱动模块和稳压模块以插接的形式安装在电路板上，这样可以重复使用这些模块，同时也方便进行模块的维修和更换。**注意：模块的插接均区分方向，请对照板子上的引脚标识插接，严禁插反，如果不確定插接方向，也可对照图 1.6 进行插接。**剩下其他的元件以焊接的形式固定在电路板上，不可随意取下。下面分别对电路板上各部分元件进行详细说明：

(1) STM32

STM32 最小系统板使用的主控芯片型号为 STM32F103C8T6，板子尺寸和引脚排列与市面上经典的设计兼容，可以相互替换。板子左侧为 USB 接口，在本套件中不需要使用。板子右侧 4 根排针为 SWD 调试接口，配合 ST-LINK，可以给 STM32 调试和下载程序。板子上的一个按键为复位按键，按下后可以让硬件复位，程序从头开始执行。板子上黄色的跳线帽可以配置 BOOT 硬件，用于选择 STM32 的启动模式，默认跳线帽均插在左侧。

(2) OLED 显示屏

OLED 显示屏使用的主控芯片型号为 SSD1315 或者 SSD1306，显示屏共引出 4 个针脚，使用 I2C 通信，针脚顺序为 GND、VCC、SCL、SDA，注意电源引脚顺序是 GND 在前。显示屏分辨率为 128*64 像素，像素颜色为白色。

为了使 OLED 显示屏模块插接更稳固，本套件在 OLED 模块左下角加入了一根与底板相连的

铜柱，铜柱尺寸为 M2*11（孔径 2mm，铜柱主体长度 11mm）。由于市面上各种 OLED 厂家设计的模块尺寸略有差异，这导致不同厂家的模块，固定孔的位置有所不同。因此，本套件在设计时，在底板上预留了一个比较大尺寸的固定孔，这使得铜柱的位置可以在一定范围内进行调节。如图 1.7 所示，在调节 OLED 铜柱位置时，可以左手在底板下面按住螺丝头，右手捏住铜柱旋转。先逆时针旋转，拧松铜柱，然后适当移动铜柱位置，再顺时针旋转，拧紧铜柱，固定好新的位置。如果用手无法拧动铜柱，用户也可直接把底板拆下来，用螺丝刀拧铜柱螺丝，以此改变铜柱位置。

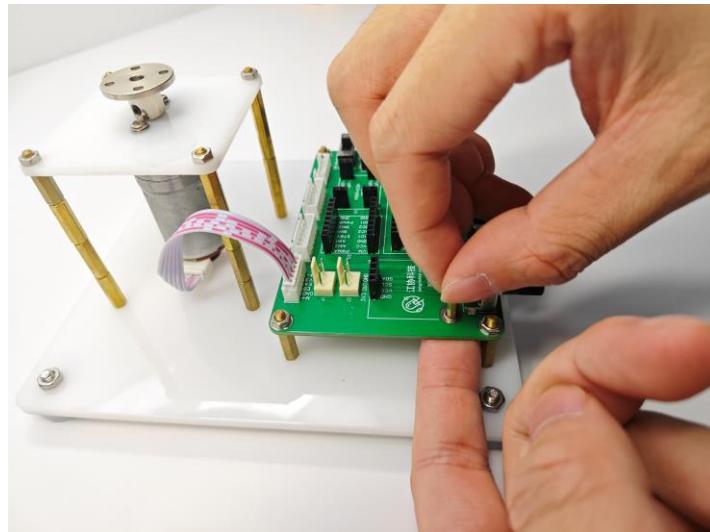


图 1.7 OLED 铜柱位置调节方法

(3) 电机驱动模块

电机驱动模块使用的芯片型号为 TB6612FNG，此芯片拥有两路的直流电机驱动电路，可以同时驱动两个直流电机。本套件虽然只需要用到一个直流电机，但是控制板中设计了两个电机完整的驱动电路接线，用户在其他场景中使用本控制板时，可以实现同时驱动两个直流电机的任务。

(4) 稳压模块

稳压模块使用的芯片型号为 MP1584EN，此模块使用 DC-DC 稳压方案，标称可以输出最大 3A 的电流。MP1584EN 模块有多种输出电压的款式，本套件使用的是 3.3V 输出版本，用于给 STM32、OLED、电机驱动（逻辑电压）、编码器、角度传感器等设备供电。**如果使用了其他稳压模块，请确保稳压模块的输出电压是 3.3V。**

另外，请勿用手触摸稳压模块上的元件，尤其是 DC-DC 电路的反馈回路。触摸这些位置，会导致模块输出电压波动，造成后续电路或者稳压模块烧毁。为了避免意外触摸，本套件的稳压模块上会涂一层胶，但即使涂胶了，也请用户不要触摸，避免意外发生。

(5) 编码电机接口

编码器接口有 6 个针脚，从左到右依次为 M+、GND、EB、EA、3V3、M-，其中 M+和 M-是直流电机的两个针脚，剩余的 GND、EB、EA、3V3 是编码器的四个针脚。目前市面上的编码电机有两种接口型号（XH2.54 和 PH2.0），为了更好地兼容两种电机接口，本套件的控制板给每一路电机并联加装了两个接口。因此，控制板上方的 4 个编码电机接口最多只能同时使用其中两个（控制板上标 A 路的 XH2.54 和 PH2.0 接口选择其中一个使用，控制板上标 B 路的 XH2.54 和 PH2.0 接口选择其中一个使用）。

(6) 角度传感器接口

角度传感器接口有 3 个针脚，从左到右依次为 3V3、OUT、GND，角度传感器接口用于连接倒立摆的角度传感器。本套件使用的角度传感器本质上是一个 360 度旋转的电位器，3V3 与 GND 接到电位器的两个固定端，OUT 与电位器抽头相连。角度变化带动电位器抽头变化，进而导致 OUT 端输出电压变化，随后，STM32 通过 AD 转换，得到电压值，进而得到角度值。

(7) 电源开关

左推为 ON，打开供电，右推为 OFF，关闭供电。

(8) 电源接口

控制板上有两个电源接口，分别是 DC 插座和电源接线端子，两者为并联关系，同时只需使用其中一个。DC 插座可以接入 5.5mm 的电源适配器插头，电源接线端子可以引出导线，用于和电池或者其他供电设备相连。DC 插座和电源接线端子允许输入的电压为 5 至 12V。

(9) 串口排针

串口排针与 STM32 的 USART1 引脚直接相连，用于 STM32 与外部设备进行串口通信。

(10) 电位器旋钮

电位器旋钮的核心是普通的电位器，电位器两个固定端分别接到 3.3V 和 GND，抽头端与 STM32 支持 AD 采集的 GPIO 口直接相连。STM32 可以通过 AD 转换，得到电位器旋钮的位置。

(11) 按键

按键一端与 GND 相连，另一端与 STM32 的 GPIO 口直接相连。按键按下，GPIO 口电平拉低，按键松开，GPIO 口悬空。STM32 可以通过读取 GPIO 口（设置为上拉输入模式）的电平，得到按键的按下状态。

以上为 STM32 电机驱动及控制板的简要介绍，更详细的信息，可以参考资料文件夹里此板子的原理图等文档。

3.2 编码电机



图 1.8 编码电机

图 1.8 为编码电机的外观。编码电机的核心是普通的直流电机，直流电机有两个引脚，接入正向的直流电，电机正向旋转，接入反向的直流电，电机反向旋转。为了增大直流电机输出轴的扭矩，在直流电机前端，加入有一个齿轮减速箱，通过减速箱，最终输出值的转速会降低，扭矩会增加。

编码电机中直流电机的尾部，会加入一个编码器电路。编码器的外观如图 1.9 所示，电机旋转带动磁铁旋转，从而使两个霍尔传感器输出正交的方波脉冲，配合 STM32 的编码器接口模式，即可得知电机旋转的角度和速度。编码电机最终会引出一个 6 针脚的接线端子，此端子边缘的 2 个引脚与直流电机相连，中间 4 个引脚用于编码器的供电和信号输出。

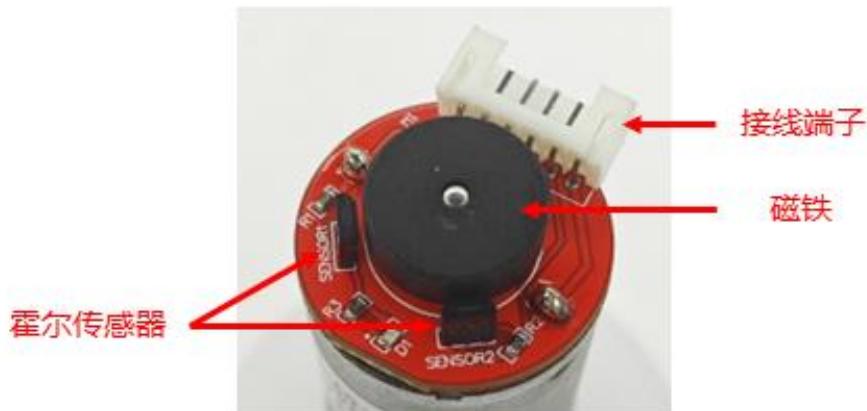


图 1.9 编码器

3.3 导电滑环及传动结构

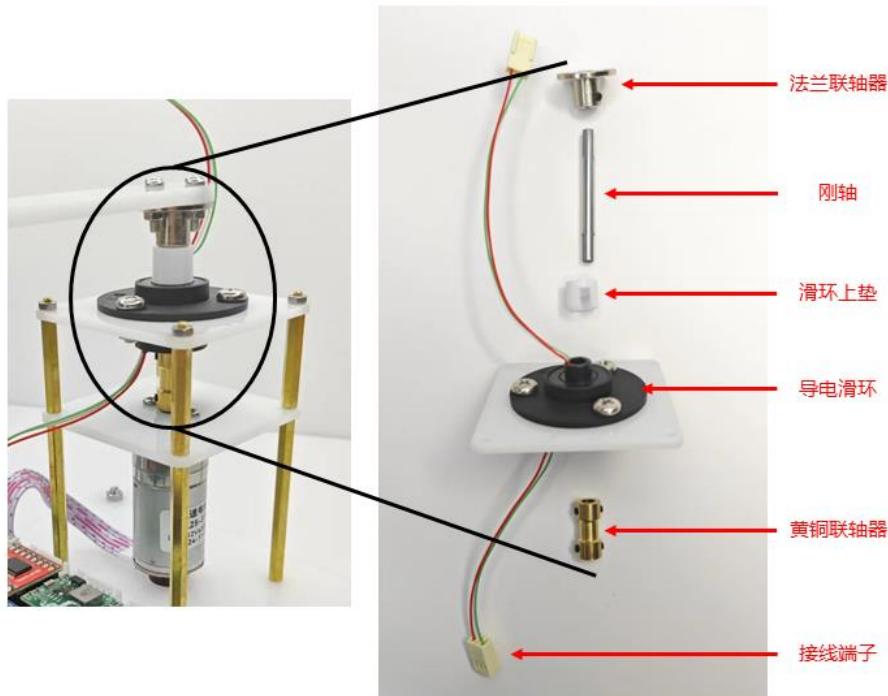


图 1.10 导电滑环及传动结构

图 1.10 为导电滑环及传动结构示意图。其中，法兰联轴器上面与横杆相连，下面与刚轴相连；刚轴负责动力的刚性传递；滑环上垫用于填充结构间的空隙；导电滑环可以连通线路同时保证轴可以无限旋转；黄铜联轴器将刚轴与编码电机输出轴相连；接线端子型号为 KF2510-3P，可以方便地与电路板针脚进行插接。

法兰联轴器和黄铜联轴器与中间的轴，均采用 M3 顶丝固定，使用对边 1.5mm 规格的内六角扳手，可以拧紧或拧松顶丝。拧顶丝时，需要注意将刚轴或电机输出轴的切面与顶丝孔对准，即，顶丝拧进去后，需要压在轴的切边位置，这样固定才最为结实。另外，拧顶丝时，不要用力过猛，以免造成顶丝滑丝。

3.4 角度传感器

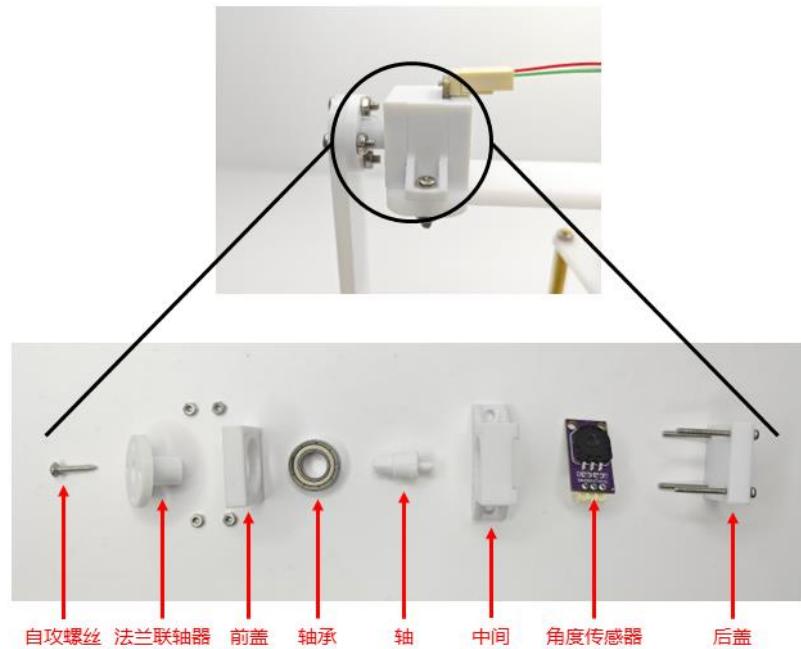


图 1.11 角度传感器结构

图 1.11 为角度传感器结构示意图。其中，轴承负责支撑轴结构并使轴可以自由旋转；角度传感器模块上装有 360 度旋转的电位器，用于检测轴的角度，电位器存在盲区，可检测的角度范围为 333 度。角度传感器与摆杆的安装需要注意方向，错误的安装位置会导致倒立摆无法工作，如图 1.12 所示，**当摆杆自然下垂时，需要保证法兰联轴器的切面在上。**



图 1.12 角度传感器与摆杆的安装方向

角度传感器的主体结构件为 3D 打印，在使用时，**不要给轴施加过大的冲击力，否则可能会导致部分零件损坏。**

4 技术参数

类别	名称	描述
供电	供电电压	5~12V
板载设备	主控芯片	STM32F103C8T6
	OLED 显示屏模块	0.96 寸, 4 针脚 I2C 接口 白色像素, GND 在前
	电机驱动模块	TB6612FNG
	稳压器模块	MP1584EN, 3.3V 输出
	板载电位器旋钮	RV0931-B103, 阻值 10K
	板载电机接口	XH2.54 和 PH2.0
编码电机	减速电机	25GA370 12V620RPM, PH2.0 接口
	电机编码器	AB 相输出正交信号 电机轴转一圈, AB 相共输出 408 个边沿
角度传感器	角度传感器模块	SV01A103AEA01R00, 阻值 10K 360° 旋转, 有效角度 333°
	角度传感器接口	KF2510-3P