



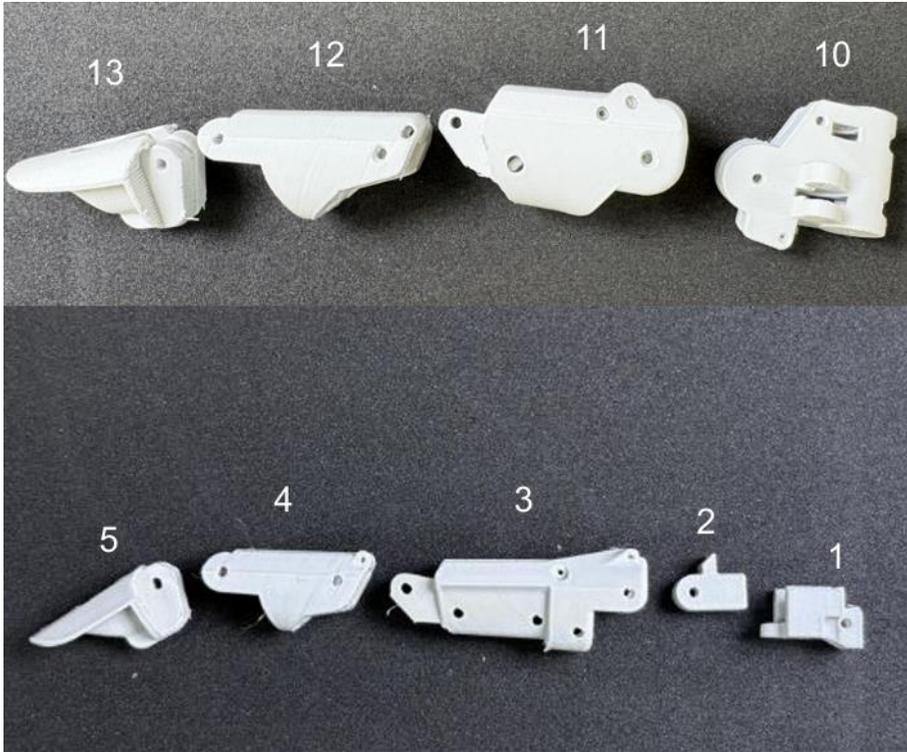
## TetherIA AeroHand 灵巧手装配指导文件

V0.6

## 常用工具

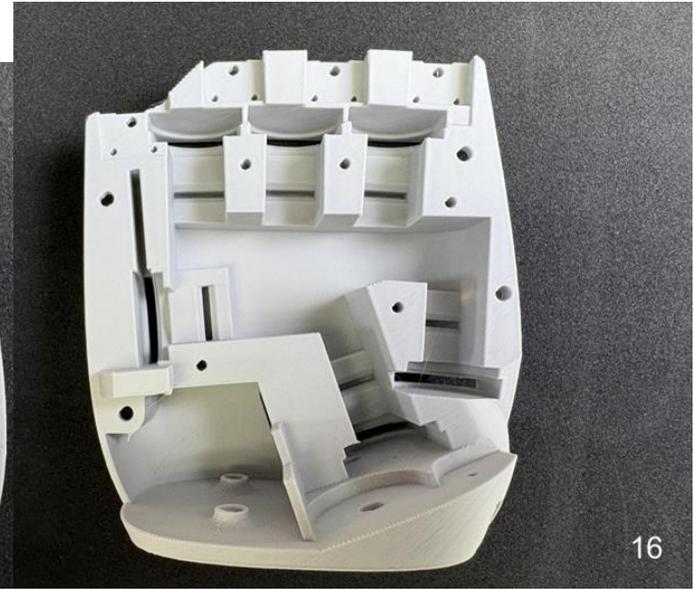
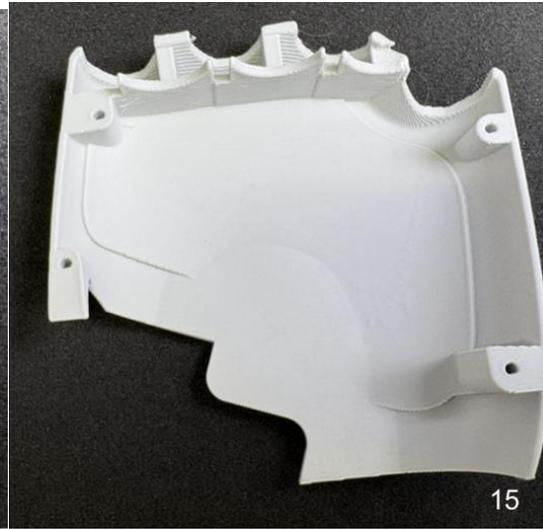
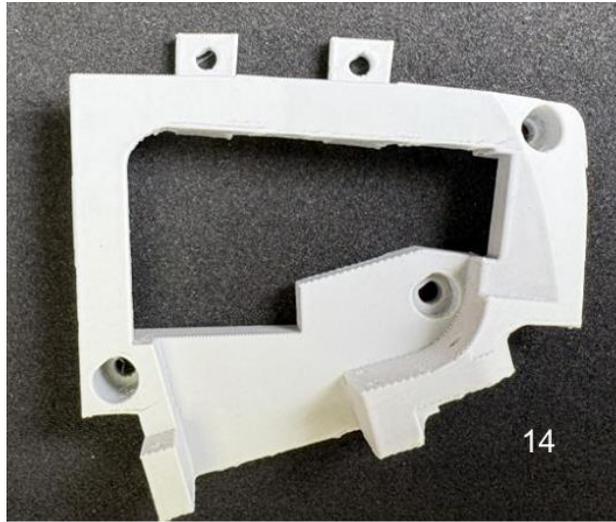
	工具	耗材	可选
1	1mm 钻头	强力胶 (快干胶)	双组份发泡剂
2	2mm 钻头	乐泰胶水 (蓝色 496)	发泡模具
3	2.1mm 钻头		脱模剂
4	手钻		热熔胶
5	笔刀 (雕刻刀)		指尖硅胶套
6	齐平剪 (斜口钳)		复位轻触开关
7	锉刀		助焊剂
8	电烙铁		焊锡
9	尖嘴钳		热熔胶枪
10	十字螺丝刀		热熔嵌件植入头
11	梅花 (星形) 螺丝刀		Molex 3 针母头连接器
12	卷尺		手掌泡沫填充物
13	记号笔		砂纸
14	剪刀		

### 3D 打印部件



编号	名称	数量
1	手指基座	4
2	手指 MCP (掌指关节)	4
3	手指近端指节	4
4	手指中间指节	4
5	手指远端指节	4
10	拇指 CMC 基座 (腕掌关节)	1
11	拇指 MCP (掌指关节)	1
12	拇指近端指节	1
13	拇指远端指节	1

### 3D 打印部件 (续)



编号	名称	数量
14	舵机支架	1
15	手掌前支架	1
16	手掌后支架	1

### 3D 打印件清理

工具:

锉刀

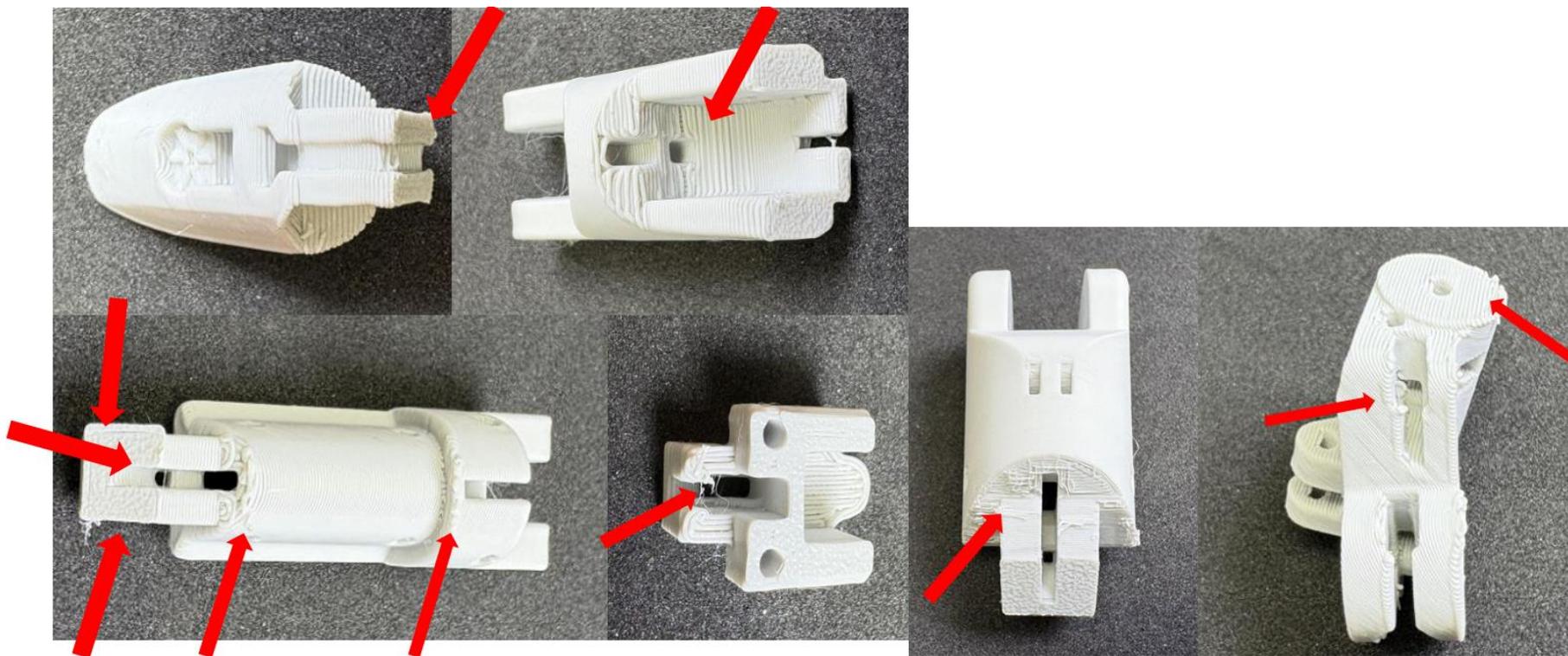
砂纸

齐平剪 (斜口钳)

手钻 (1mm, 2mm, 2.1mm)

名称	零件编号	数量
手指基座	1	4
手指 MCP	2	4
手指近端指节	3	4
手指中间指节	4	4
手指远端指节	5	4
拇指 CMC 基座	10	1
拇指 MCP	11	1
拇指近端指节	12	1
拇指远端指节	13	1
舵机支架	14	1
手掌前支架	15	1
手掌后支架	16	1

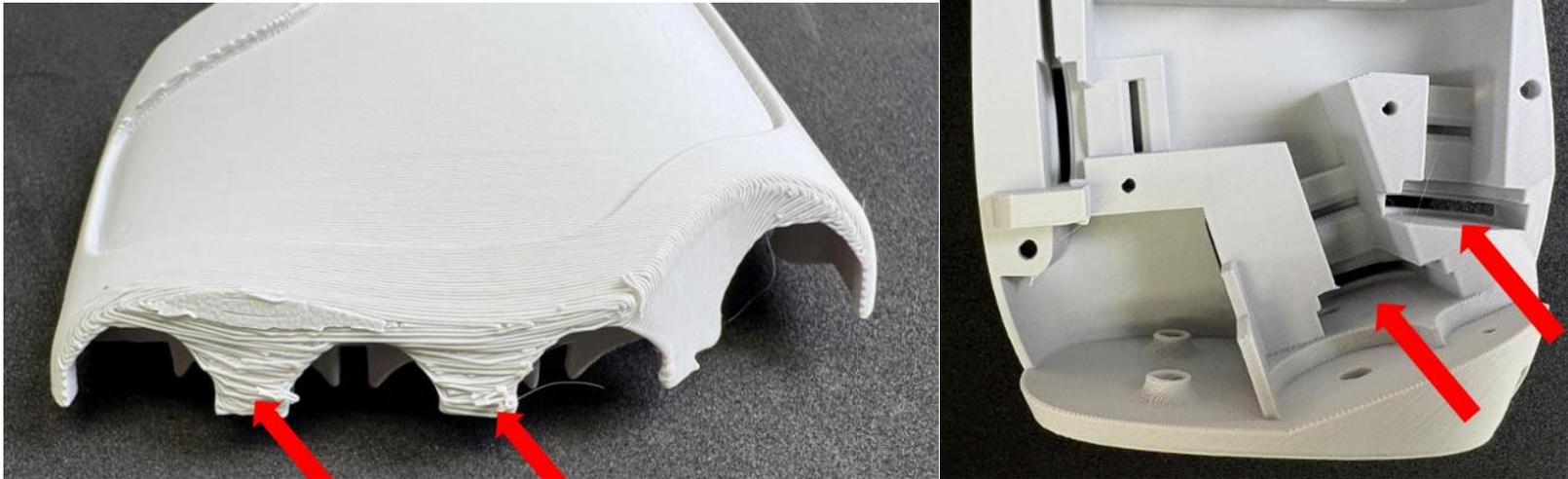
## 去除 3D 打印件毛刺



使用齐平剪去除支撑结构。然后，使用锉刀或砂纸对打印件进行去毛刺处理。

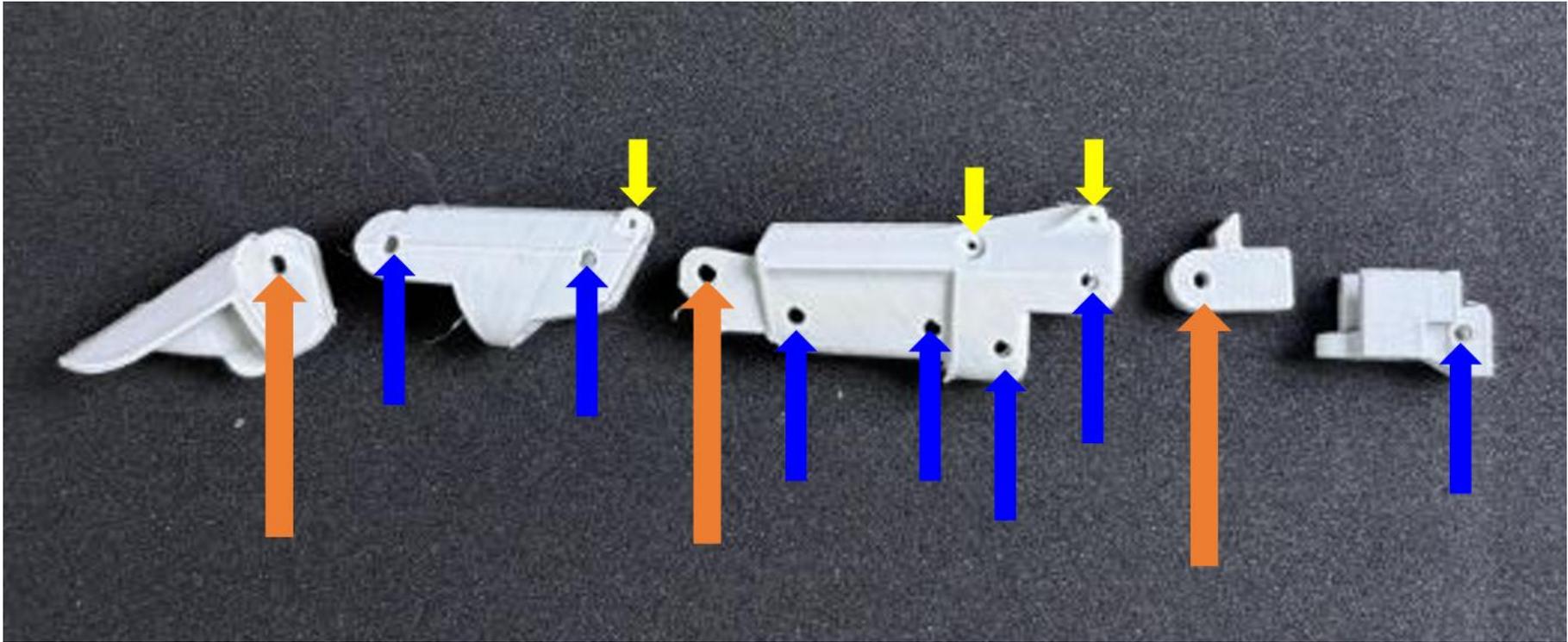
箭头指示的位置需要特别注意，以确保零件功能的正常运作。

## 清理细节图示



左图展示部件边缘层纹清理，右图展示手掌框架内部凹槽清理。红色箭头指示重点区域

## 钻孔（手指）



1. 钻通所有四个手指关节上的孔。

注意：所有的孔均为通孔

- \* 橙色箭头：2.1 mm
- \* 蓝色箭头：2.0 mm
- \* 黄色箭头：1.0 mm

## 钻孔（拇指）

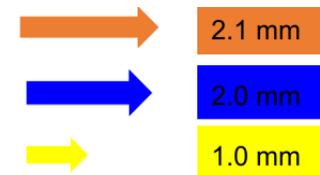
1. 钻通拇指关节上的孔。

注意：除非另有说明，所有的孔均为通孔

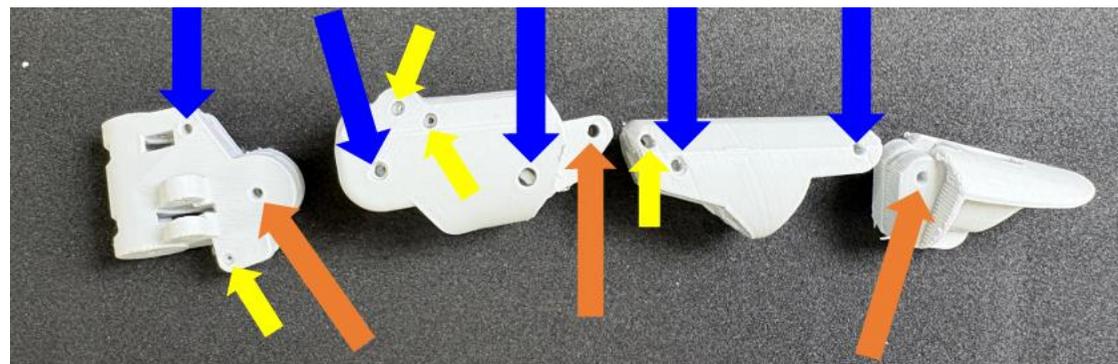
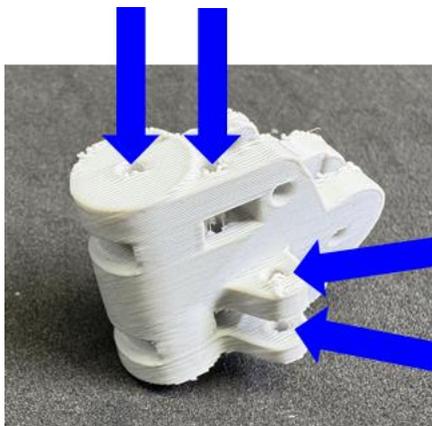
- \* 橙色箭头：2.1 mm
- \* 蓝色箭头：2.0 mm
- \* 黄色箭头：1.0 mm



非通孔  
(不要钻穿)



非通孔（不要钻穿）



## 线缆预组装

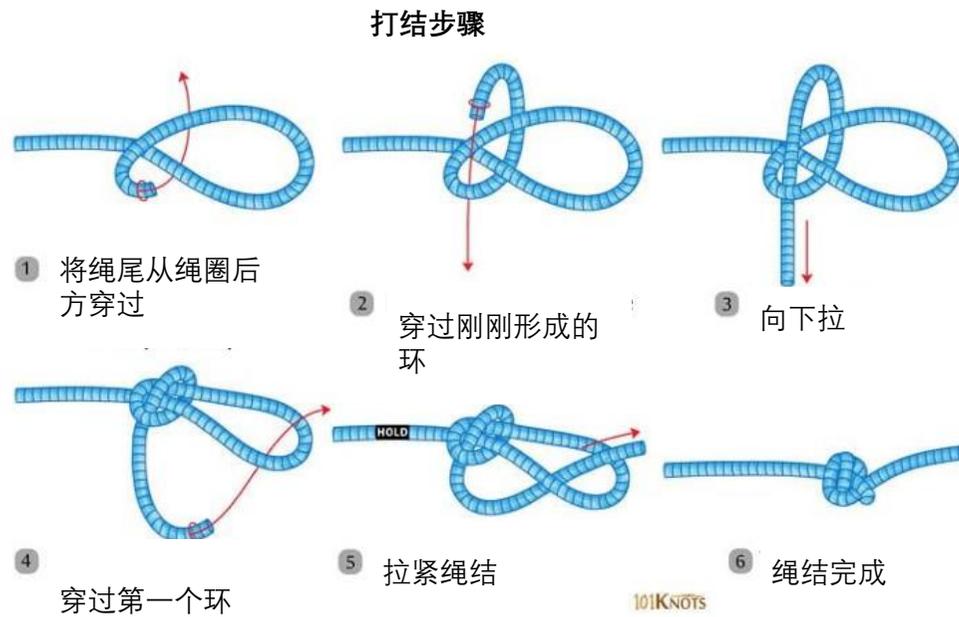
工具:

- \* 剪刀
- \* 卷尺

名称	舵机 ID 号	数量	总长度 (mm, 从绳结算起)	标记长度 (mm, 从线盘出口算起)
手指牵引线	3, 4, 5	3	300	130
小指牵引线	6	1	300	150
手指耦合线	无	4	300	无
拇指 CMC 柔性线	1	1	300	90
拇指牵引线	2	1	300	150
拇指耦合线	无	1	300	无

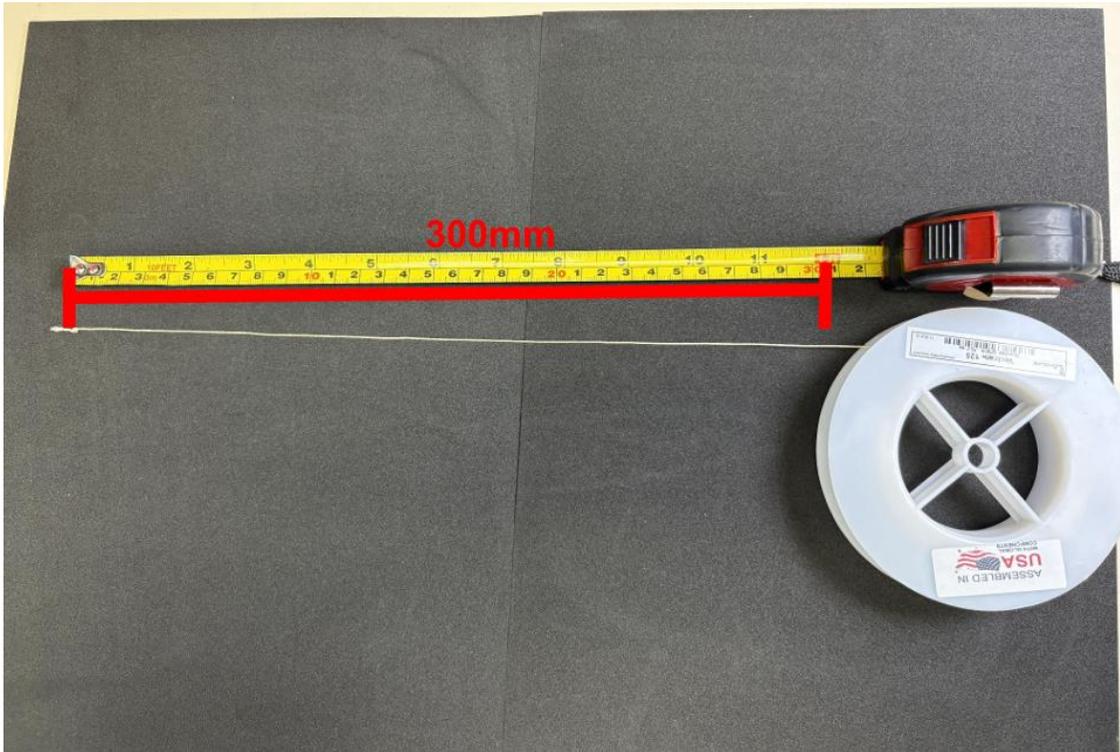
## 打结说明

1. 在 Vectran 线的末端打一个阿什利止索结 (Ashley Stopper Knot)。



## 切割线缆

2. 从绳结处量取 300mm 切断 Vectran 线。
3. 重复此步骤 10 次，共制作 11 根线缆。



## 修剪线尾

4. 将所有线缆上的阿什利止索结尾部修剪至小于 5mm。



## 手指组装

工具:

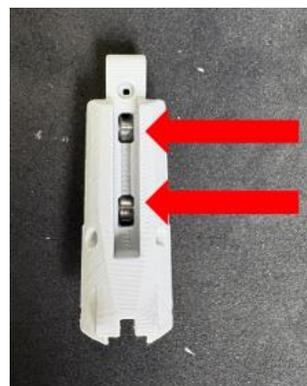
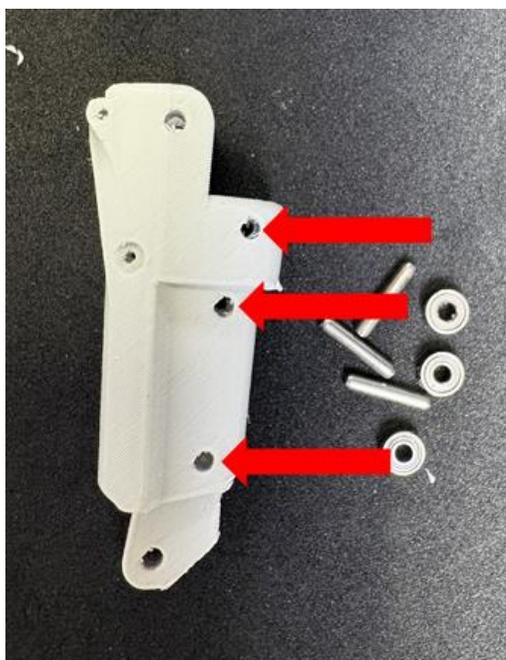
- \* 穿线工具
- \* 钳子
- \* 梅花（星形）螺丝刀

名称	零件编号	数量
手指基座	1	4
手指 MCP（掌指关节）	2	4
手指近端指节	3	4
手指中间指节	4	4
手指耦合线	26	4
负公差 2x10 销轴	32	16
2x5x2.5 轴承	30	16
1x10 销轴	31	12
M2x6 带法兰梅花自攻螺丝	38	4
手指近端/MCP 复位弹簧	22	4
手指远端/中间及拇指近端/远端复位弹簧	21	4

## 轴承安装

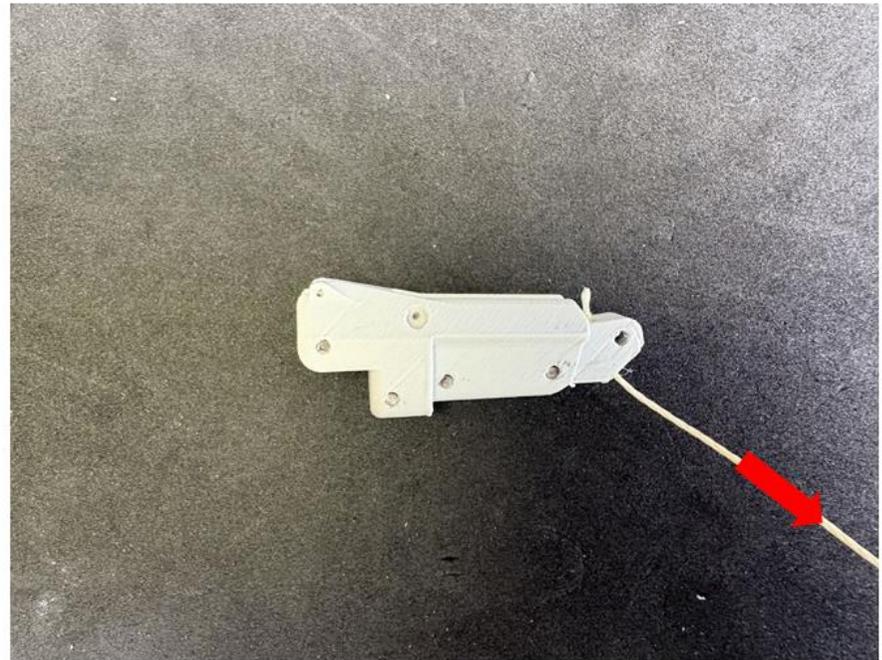
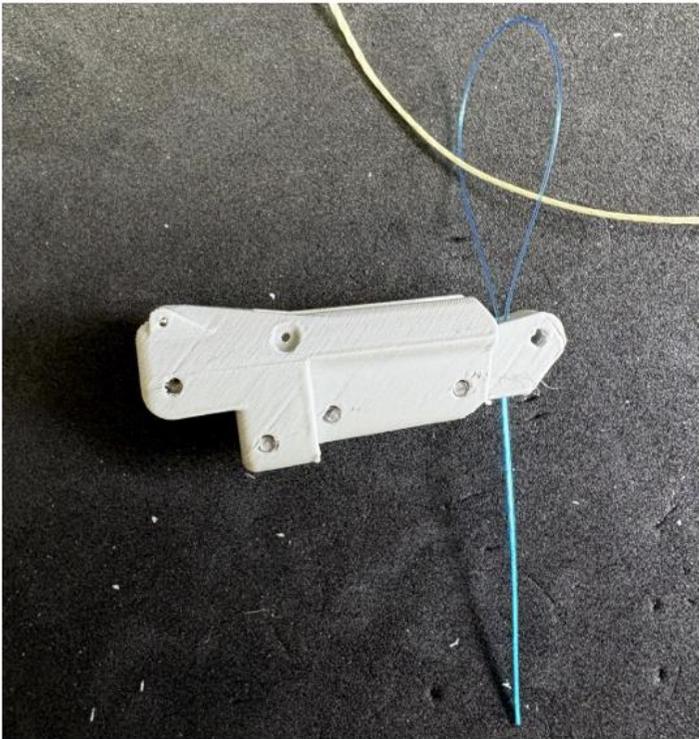
1. 将四个轴承 (30) 放入手指近端指节 (3) 和手指基座 (1) 组件中。
2. 使用 2x10mm 销钉 (32) 固定。
3. 对所有手指重复此步骤。

注意：确保所有轴承都能转动，如果不能，请对塑料件进行锉削/打磨/去毛刺处理。



## 手指耦合线

4. 将一根无标记的线缆穿过手指近端指节末端的孔。
5. 穿好后拉紧以进行预张紧，并消除阿什利止索结中可能存在的任何松弛。



## 安装弹簧

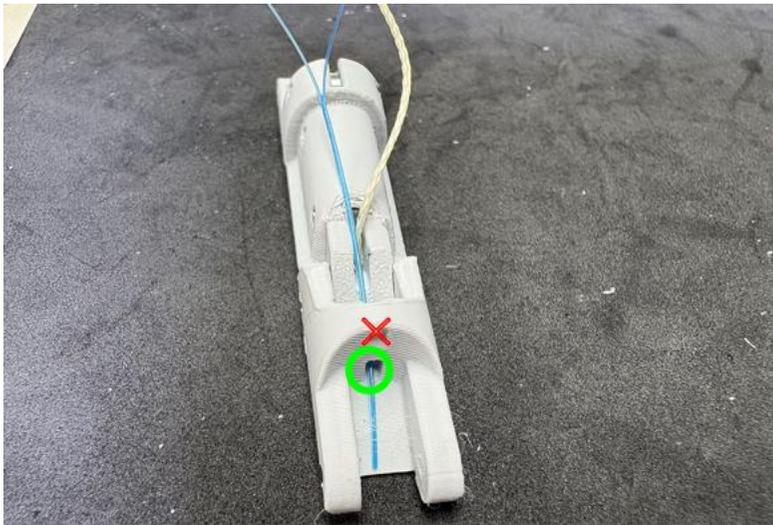
6. 使用两个 1x10mm 销轴 (31) 安装弹簧 (21)，连接近端指节 (3) 和中间指节 (4) 组件。
7. 使用一个 1x10mm 销轴 (31) 在近端指节的基部安装弹簧 (22)。
8. 使用一个 2x14mm 销轴 (34) 连接近端和中间部分。
9. 将耦合线穿过中间指节底部的孔。



步骤 6 和 7



步骤 8



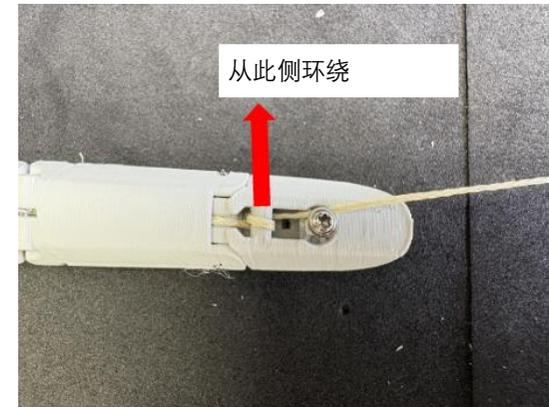
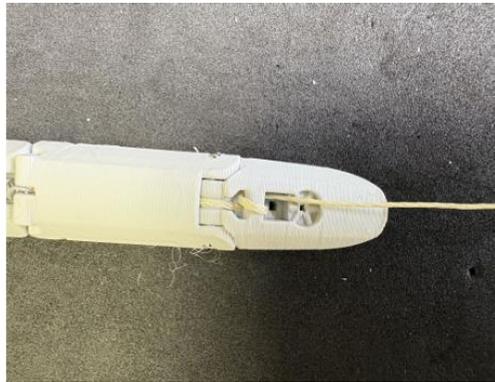
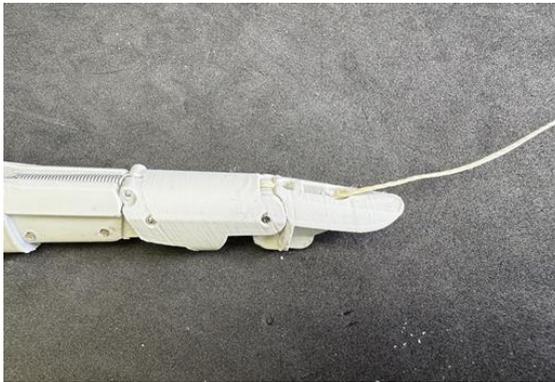
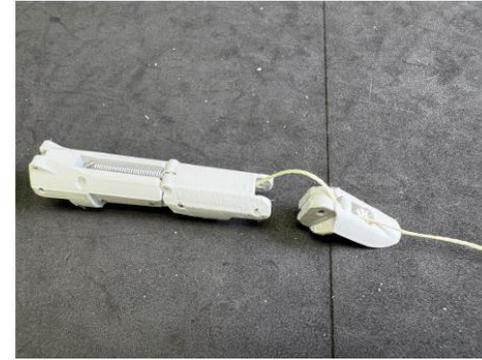
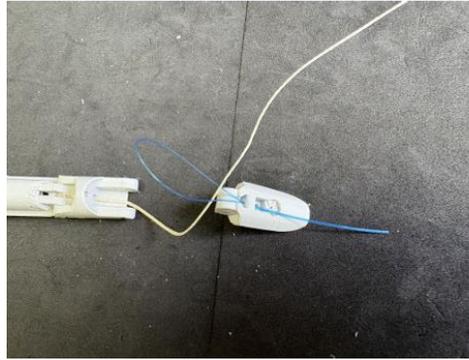
步骤 9



步骤 9

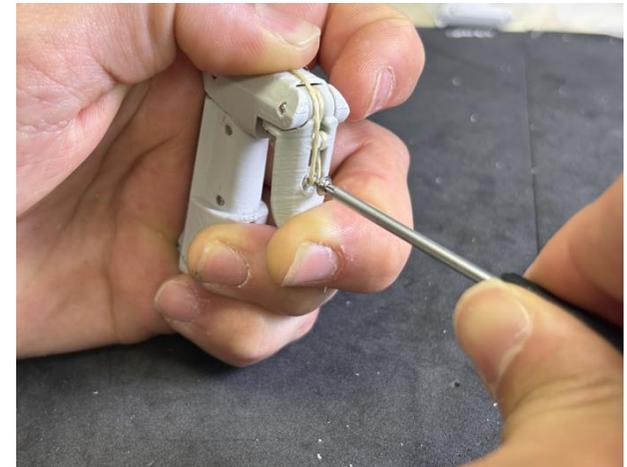
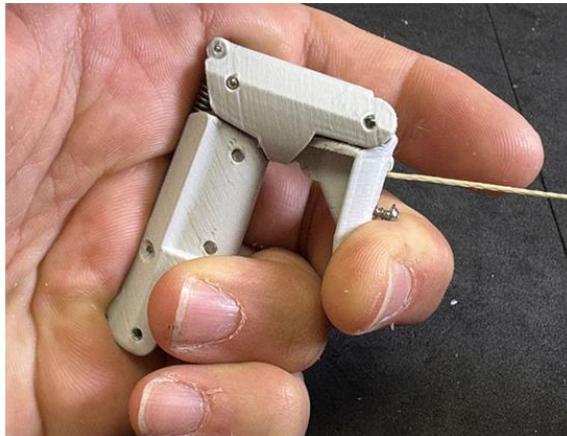
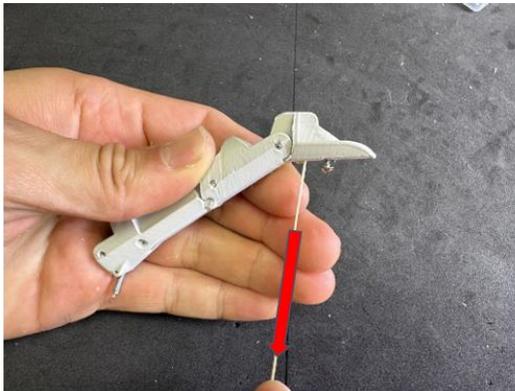
## 线缆绕线与固定

10. 将耦合线从远端指节的横杆下方穿过。
11. 将耦合线在横杆上绕一圈。确保线缆缠绕到位。
12. 将 M2x6 梅花螺丝 (38) 旋入远端指节。



## 手指张紧与测试

13. 将线缆拉紧。
14. 在保持张力的同时弯曲手指。
15. 拧紧螺丝，直到线缆被牢固夹紧。
16. 远端/中间指节的角度与中间/近端指节的角度在手指张开/闭合时应保持一致。请参考视频。
17. 对其余三个手指从步骤 1 开始重复操作。



## 拇指组装

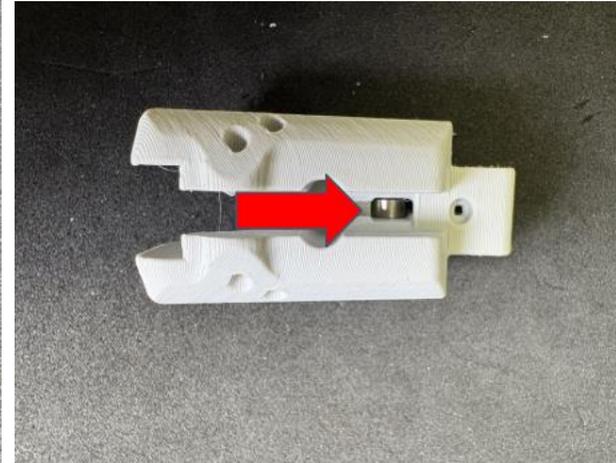
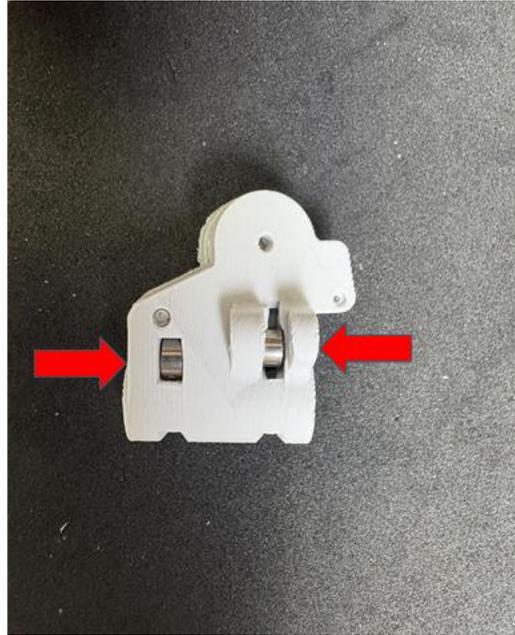
名称	零件编号	数量
拇指外展上层舵机盘	7	1
拇指外展下层舵机盘	8	1
拇指外展连杆	9	1
拇指 CMC 基座	10	1
拇指 MCP	11	1
拇指近端指节	12	1
拇指远端指节	13	1
手指耦合线	26	1
负公差 2x10 销轴	32	5
2x5x2.5 轴承	30	5
1x10 销轴	31	2
M2x6 带法兰梅花自攻螺丝	38	1
手指远端/中间及拇指近端/远端复位弹簧	21	4
2x10 销轴	33	1
舵机安装板	43	1
舵机齿轴螺丝 M2.3x5	44	6
舵机盘螺丝 M2x4	45	1
拇指 CMC/MCP 复位弹簧	23	1

工具:

- \* 穿线工具
- \* 钳子
- \* 梅花 (星形) 螺丝刀
- \* 乐泰胶水 (Loctite)

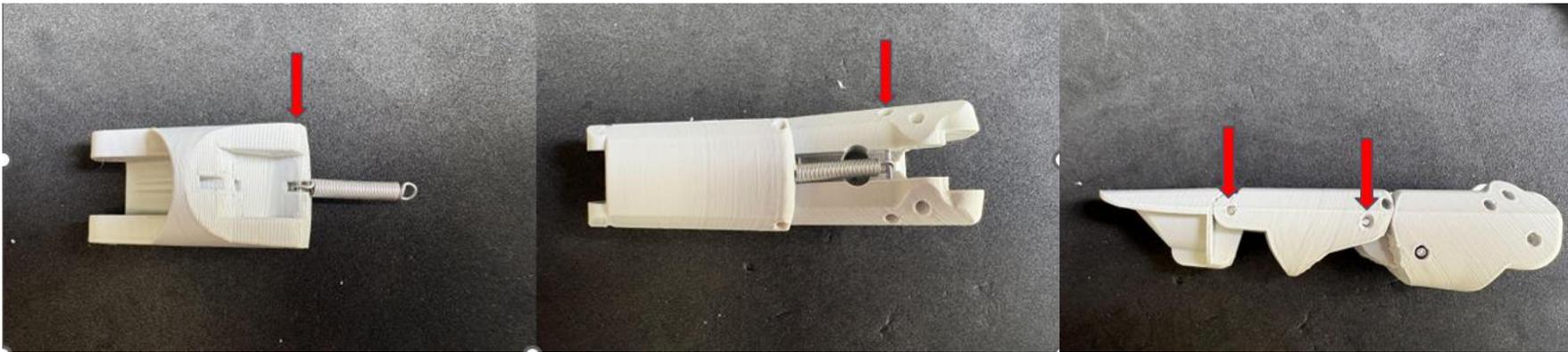
## 拇指轴承

1. 将轴承插入拇指基座 (10) 和拇指 MCP (11) 中。
2. 使用 2x10mm 销轴 (32) 固定。



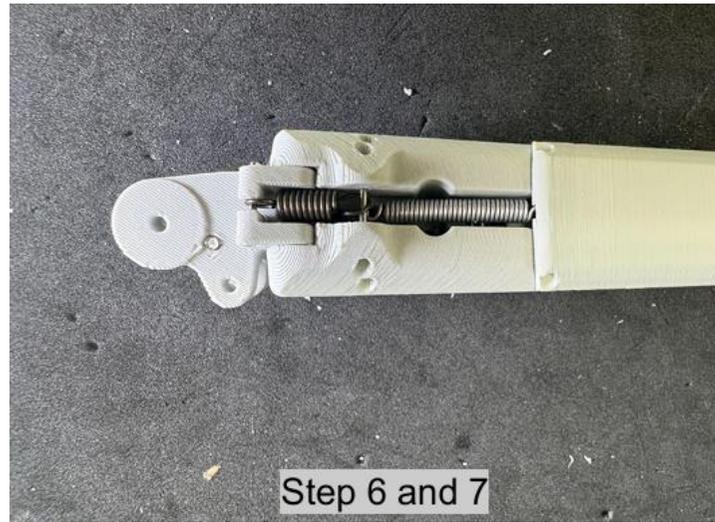
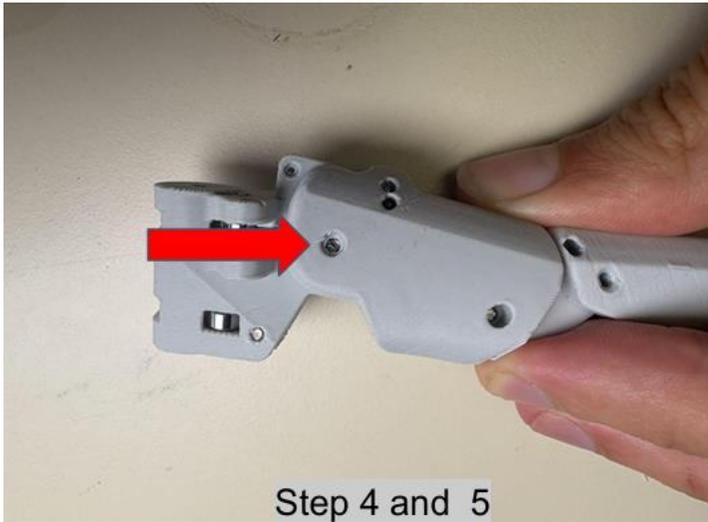
### 拇指组装 (续)

1. 使用 1x10mm 销轴 (31) 将弹簧 (21) 安装到近端指节。
2. 使用 1x10mm 销轴 (31) 将弹簧的另一端安装到 MCP 上。
3. 使用 2x20mm 销轴 (36) 连接远端、近端和 MCP 指节。



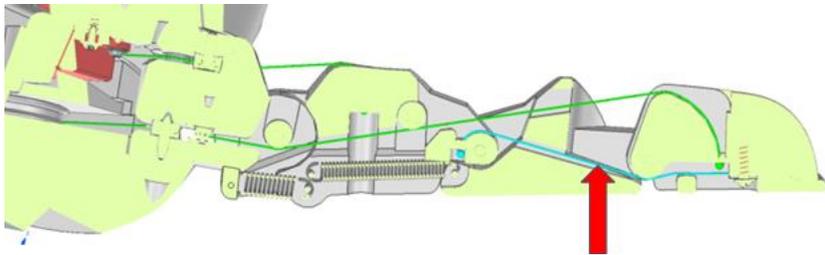
## 拇指 CMC/MCP 组装

4. 将 CMC 插入 MCP 中。在组件之间添加轴承。
5. 使用 2x20mm 销钉固定。
6. 在 CMC 和 MCP 之间添加拇指弹簧 (23)。
7. 使用 1x10 销钉固定。

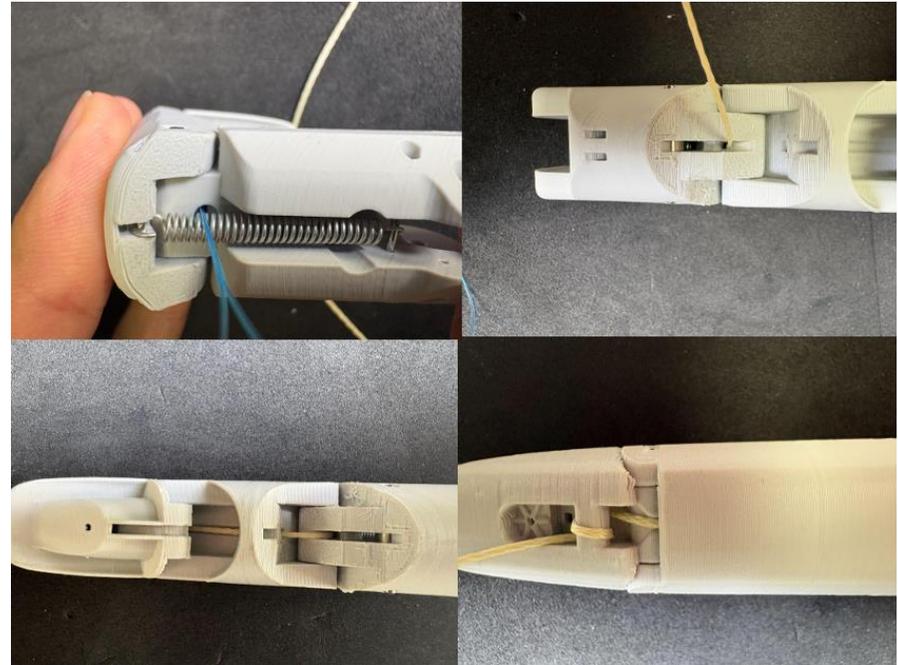


## 拇指耦合线

8. 将一根无标记的线缆穿过 MCP。
9. 拉紧。
10. 穿过近端指节下方的孔并跨过远端指节。
11. 在横杆上加一个线圈。\*\*注意线圈的方向\*\*。
12. 张紧并像手指一样使用 2x6mm 梅花螺丝 (38) 固定。

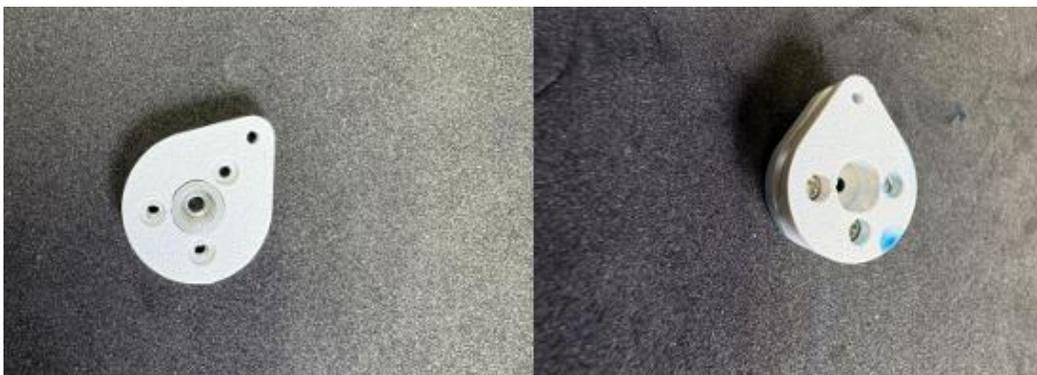


耦合绳



## 连杆组装

13. 将铝制圆盘 (43) 放入拇指舵机下层盘 (7) 中。使用 M2x4 螺丝 (45) 加乐泰胶水固定。
14. 添加拇指舵机上层盘 (8) 夹住铝件。使用 M2x4 螺丝加乐泰胶水固定。
15. 使用 2mm 钻头钻通盘上的连杆孔 (7 和 8)。
16. 使用 2.1mm 钻头钻通连杆上的孔 (9)。
17. 将连杆放置在圆盘之间，并使用 2x10 销钉 (33) 固定。注意：连杆的方向很重要。请参考图片。



## 舵机 ID 与组装

工具:

- \* 电脑
- \* 记号笔
- \* 电烙铁

名称	零件编号	数量
舵机	42	7
绳盘	6	6
手指牵引线	24	4
小指牵引线	25	1
拇指 CMC 柔性线	27	1
拇指牵引线	28	1
舵机安装板	43	6
舵机齿轴螺丝 M2.3x5	44	18
舵机盘螺丝 M2x4	45	6
连接线	47	1

## 标记舵机

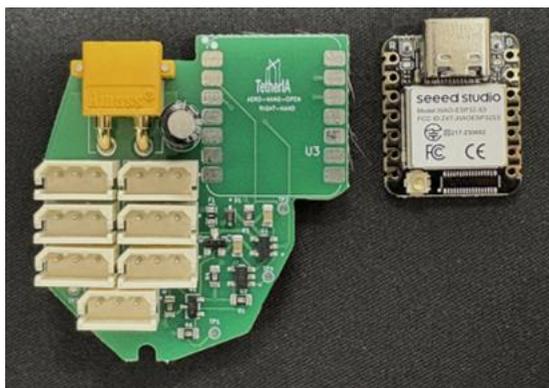
1. 用记号笔或油漆笔标记所有 7 个舵机，分别编号为：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。

参考图片查看舵机侧面写有编号的位置。

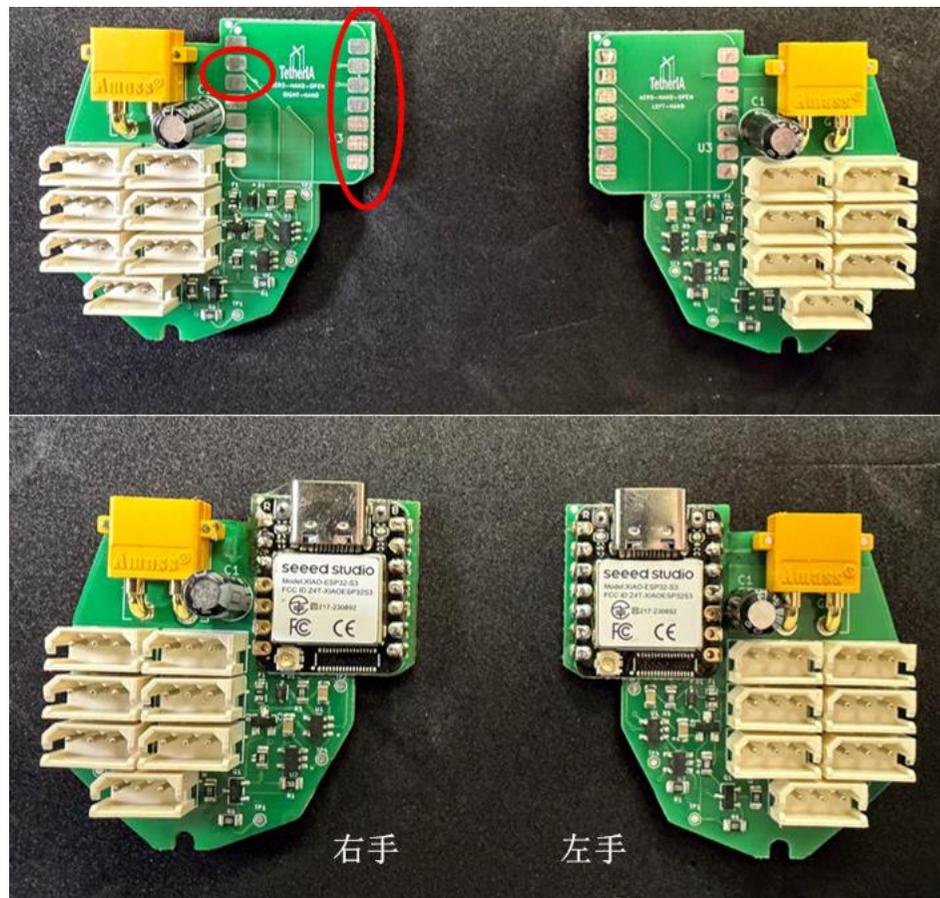


## 控制板

2. 使用定制 PCB 和 SEED Studio ESP32 模块。注意 PCB 分左右手。
3. 用电烙铁将 ESP32 模块焊接到 PCB 上，注意对于右手只需焊接右侧 7 个 pins 和左侧 2#、3#pin (图中红圈所示)；左手焊接位置为镜像关系。



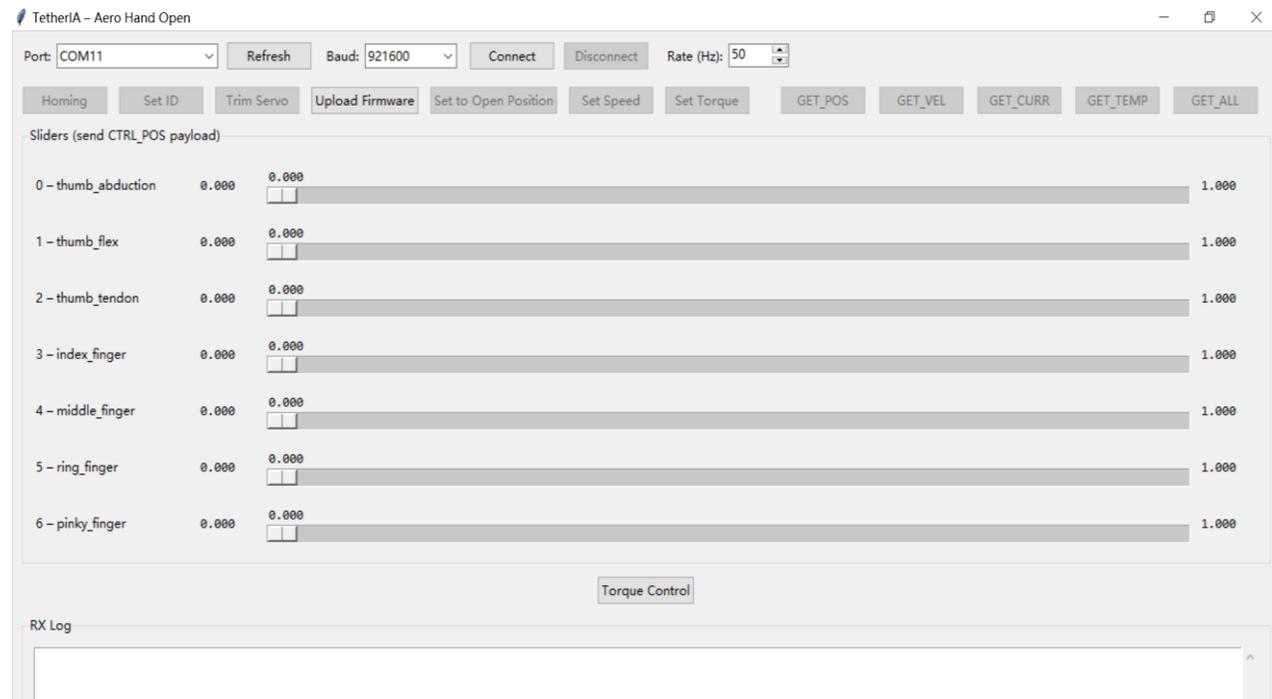
右手 PCB 和 ESP32 模块



## 舵机编程

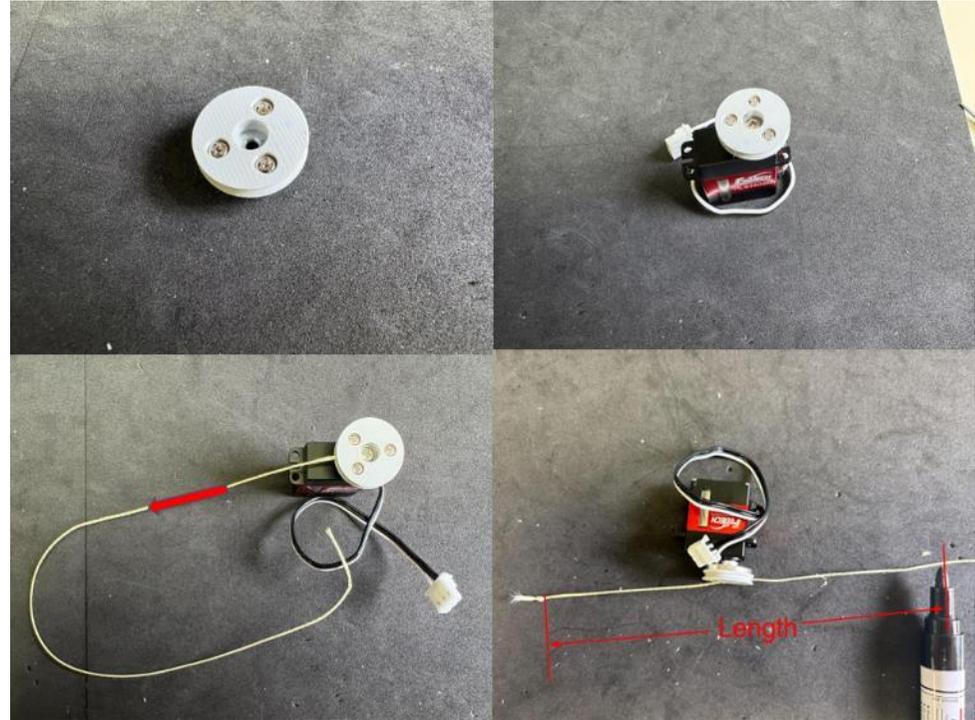
1. 将 6V DC 电源连接到上一步准备好的控制板上，用 USB 连接线将 ESP32 连接到电脑。
2. 将一个舵机连接到上一步准备好的控制板上。
3. 在测试电脑中启动 CMD 命令行窗口，从命令提示符运行 `python -m aero_open_sdk`，启动如下图的 GUI。
4. 点击“Refresh”，选择串口 port (COMx)，点击“Connect”(连接)，所有按钮变亮说明串口已连接就绪。
5. 点击“Upload firmware”，选择本地保存的.bin 文件，注意区分左右手 (firmware\_righthand.bin 右手的 or firmware\_lefthand.bin 左手的)。
6. 点击“Set ID”(设置舵机 ID)。输入舵机编号并选择“Set this Servo”(设置此舵机)。您可以使用 GUI 中的滑块来测试舵机是否动作。
7. 重复步骤 2、3、4、6，设置所有舵机。

舵机编号	驱动位置
0	拇指外展驱动器
1	拇指屈曲驱动器
2	拇指肌腱驱动器
3	食指驱动器
4	中指驱动器
5	无名指驱动器
6	小指驱动器



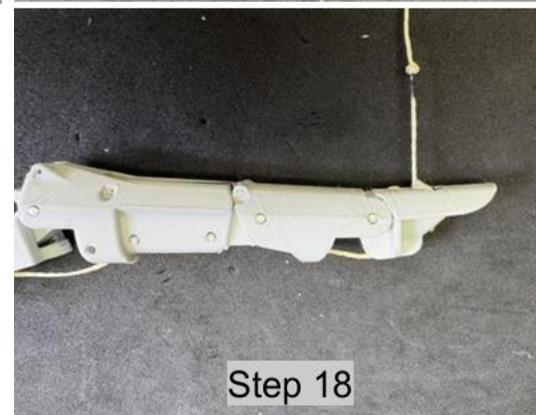
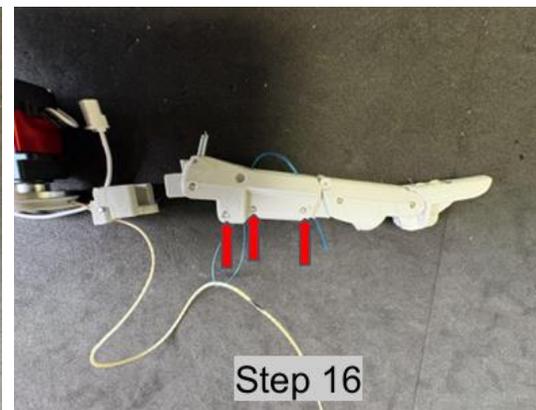
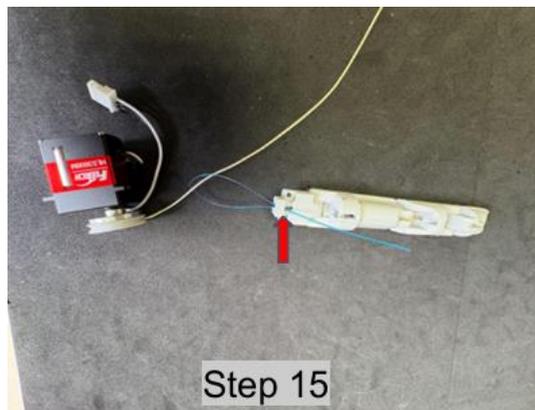
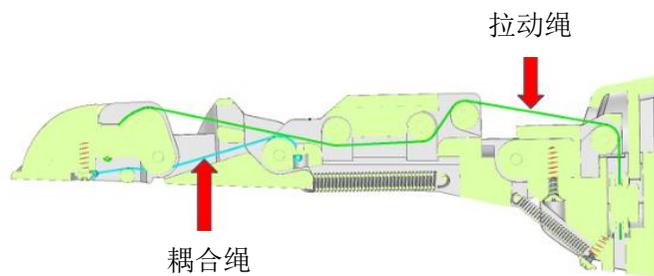
## 舵机线盘

10. 使用三颗螺丝 (45) 将线盘 (6) 拧入铝制舵机安装座 (43)。安装前在螺纹上涂抹乐泰胶水。
11. 使用大螺丝 (44) 和乐泰胶水将安装座固定到舵机上。
12. 将线缆穿入舵机。
13. 根据舵机编号标记长度 (例如: 舵机 #1 = 长度 90mm)。
14. 对舵机 1 - 6 重复此操作。



## 穿手指舵机线

15. 将 6 号舵机的线缆穿过手指基座。
16. 穿过远端指节上的轴承之间。
17. 穿过中间指节顶部的孔和远端指节。
18. 在标记处打阿什利止索结。
19. 对舵机 3, 4, 和 5 号 重复此操作。



## 手掌基座

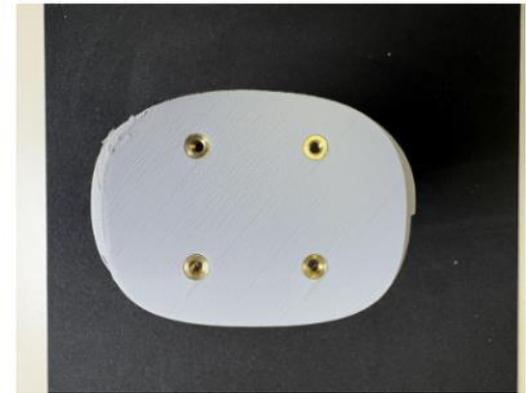
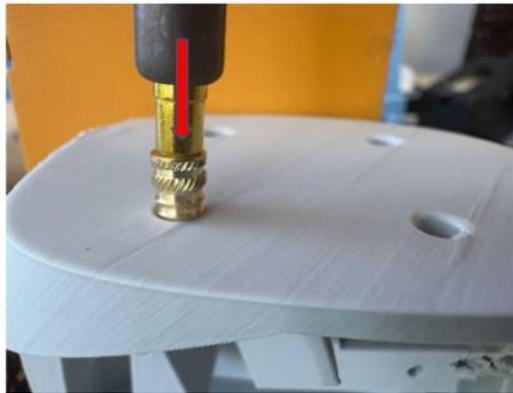
工具:

- \* 电烙铁
- \* 梅花（星形）螺丝刀
- \* 十字螺丝刀

名称	零件编号	数量
舵机支架	14	1
手掌前支架	15	1
手掌后支架	16	1
M3x6.4 热熔嵌件	41	4
M2x10 沉头梅花自攻螺丝	39	12
M2x6 带法兰梅花自攻螺丝	38	14
2x20 销轴	36	1
负公差 2x30 销轴	37	1

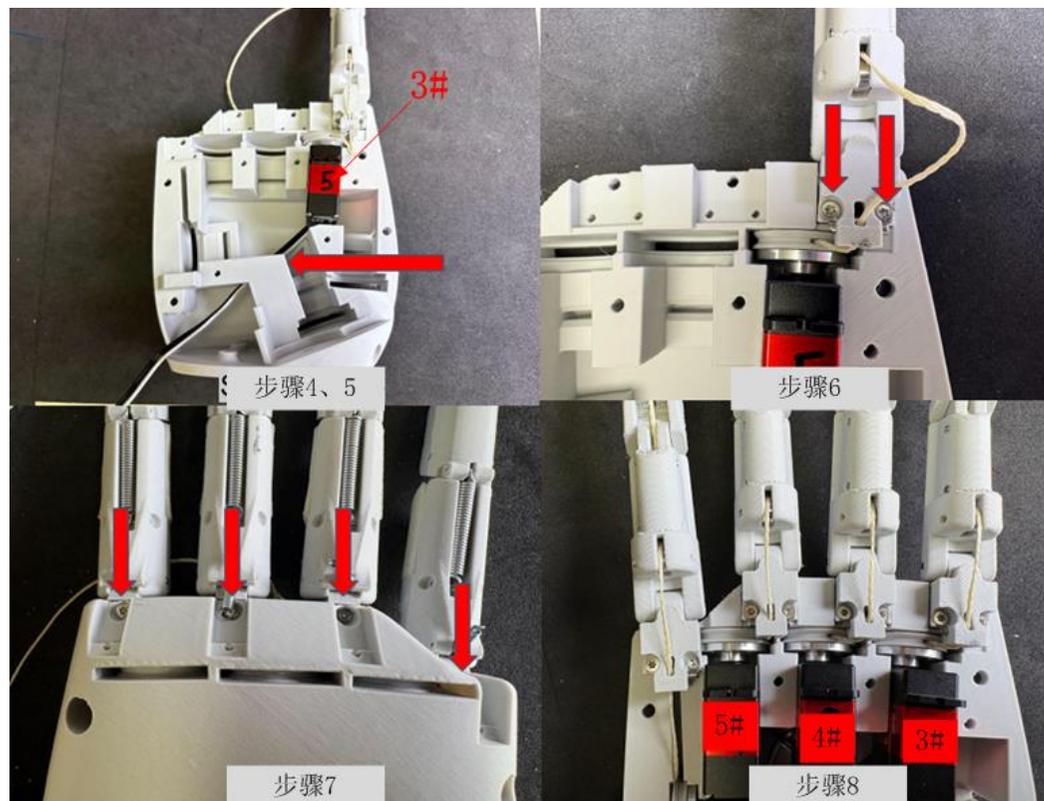
## 热熔嵌件植入

1. 预热装有热熔嵌件植入头的电烙铁。
2. 用烙铁轻轻向热熔嵌件施力。
3. 使嵌件与打印件表面齐平。



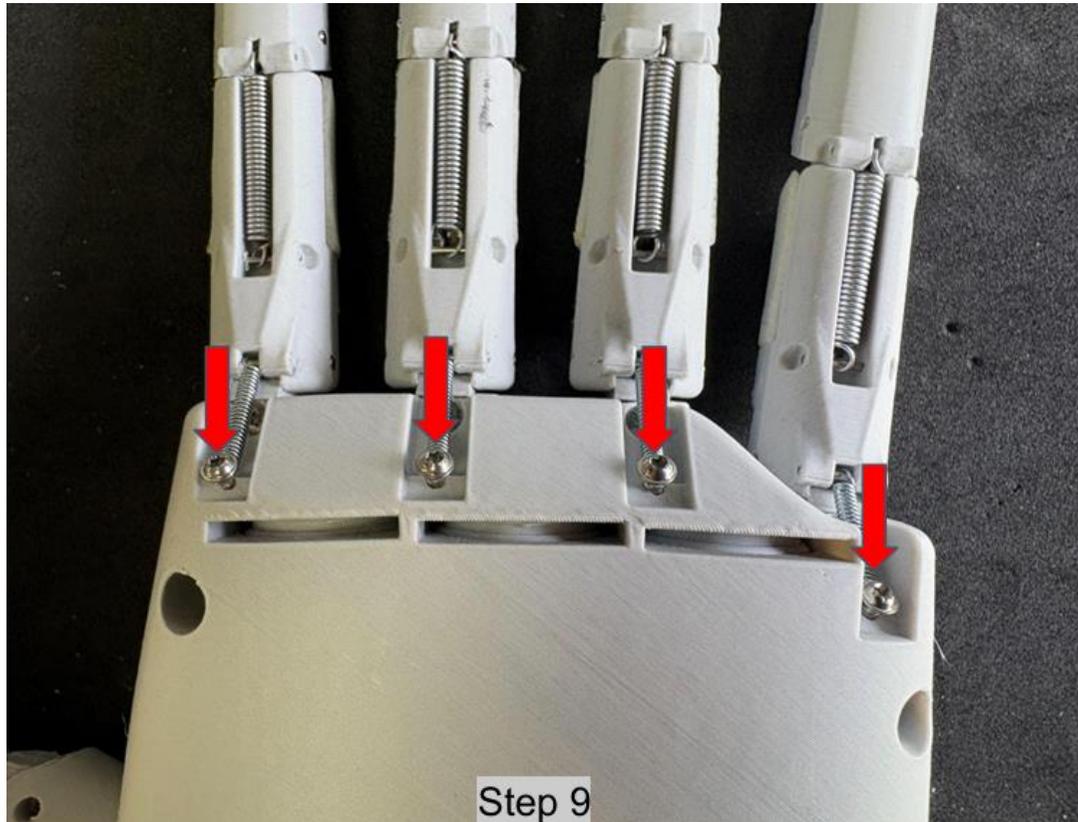
## 安装手指舵机

4. 将 3 号舵机放入食指位置，确保有数字的一面可见。
5. 将线缆穿过手掌 (16) 中的横杆下方。
6. 使用 M2x10 沉头螺丝 (39) 固定。
7. 将手掌翻转过来，并使用 M2x10 沉头螺丝固定手指。
8. 对舵机 4、5 和 6 重复此操作。



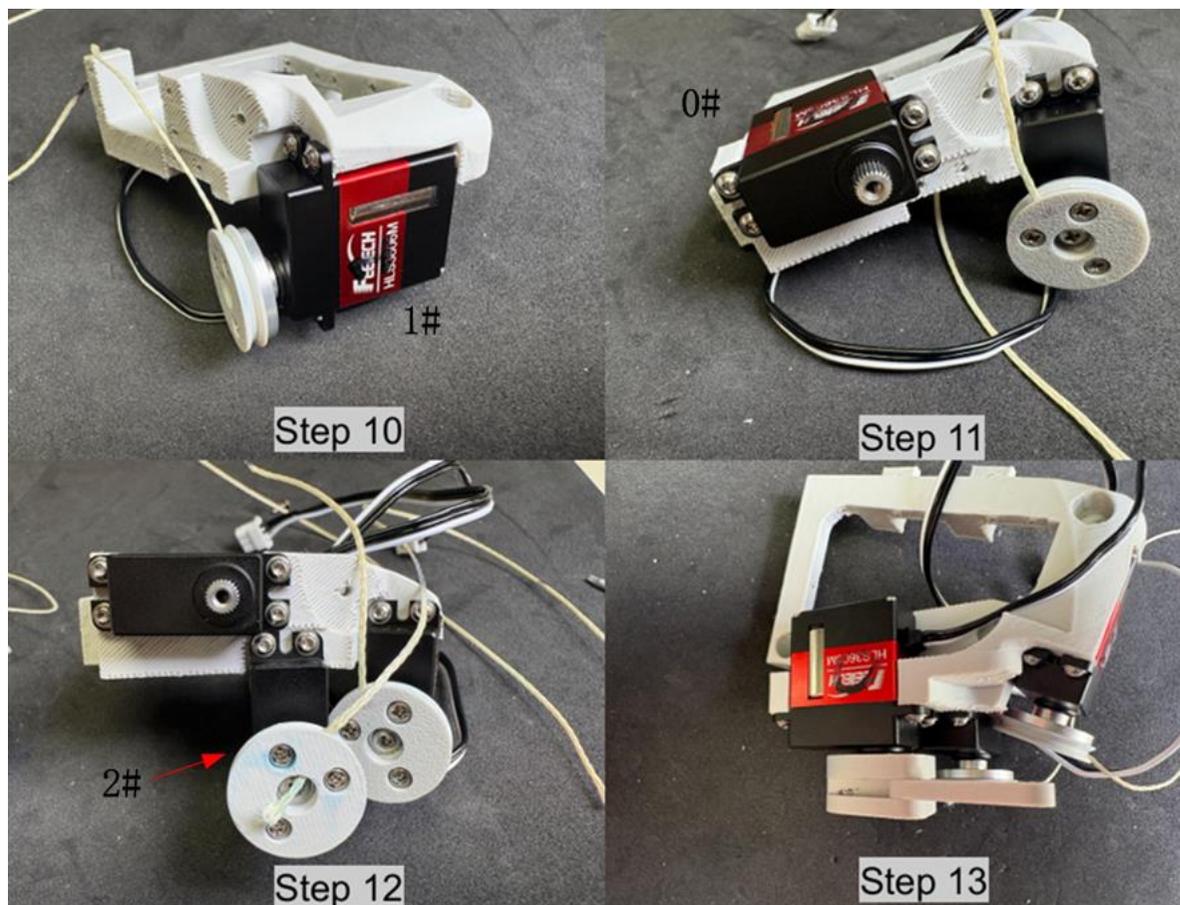
## 远端弹簧

9. 使用 2x6 梅花自攻螺丝 (38) 将弹簧 (22) 固定到手掌后部。  
注意：不要过度拉伸弹簧，以免造成永久变形。



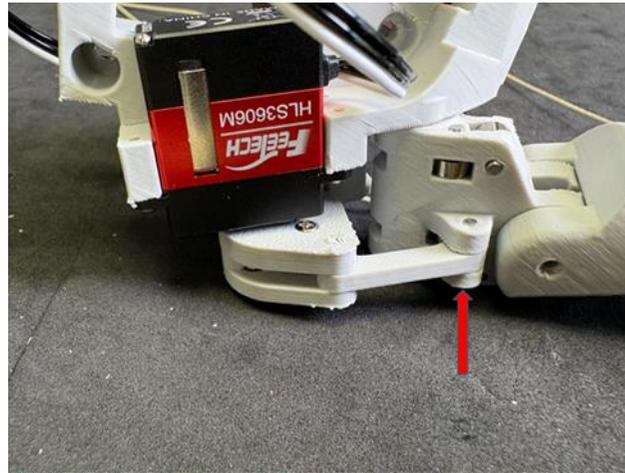
## 舵机支架

10. 将 1 号舵机放置在舵机支架 (14) 上, 并用两颗 M2x6 自攻螺丝 (38) 固定。
11. 将 0 号舵机放置在支架上, 并用四颗 M2x6 自攻螺丝固定。
12. 将 2 号舵机放置在支架上, 并用两颗 M2x6 自攻螺丝固定。
13. 将连杆安装到 0 号舵机上, 并使用螺丝 (舵机自带) 加乐泰胶水固定。



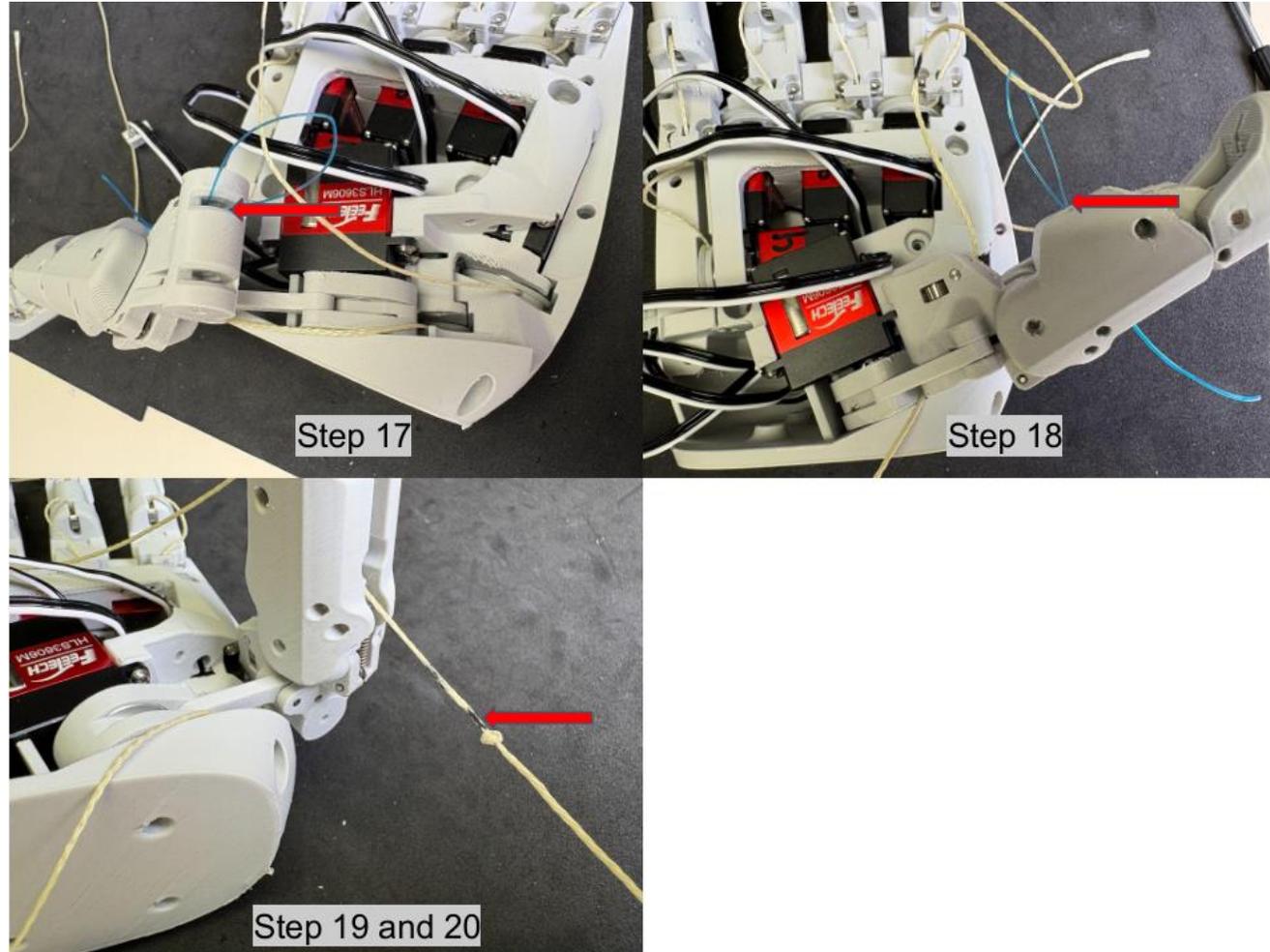
## 安装舵机支架

14. 在舵机连杆和拇指 CMC 基座 (10) 之间插入 2x10 销轴 (34)。
15. 将支架滑入手掌中。
16. 确保组件齐平。



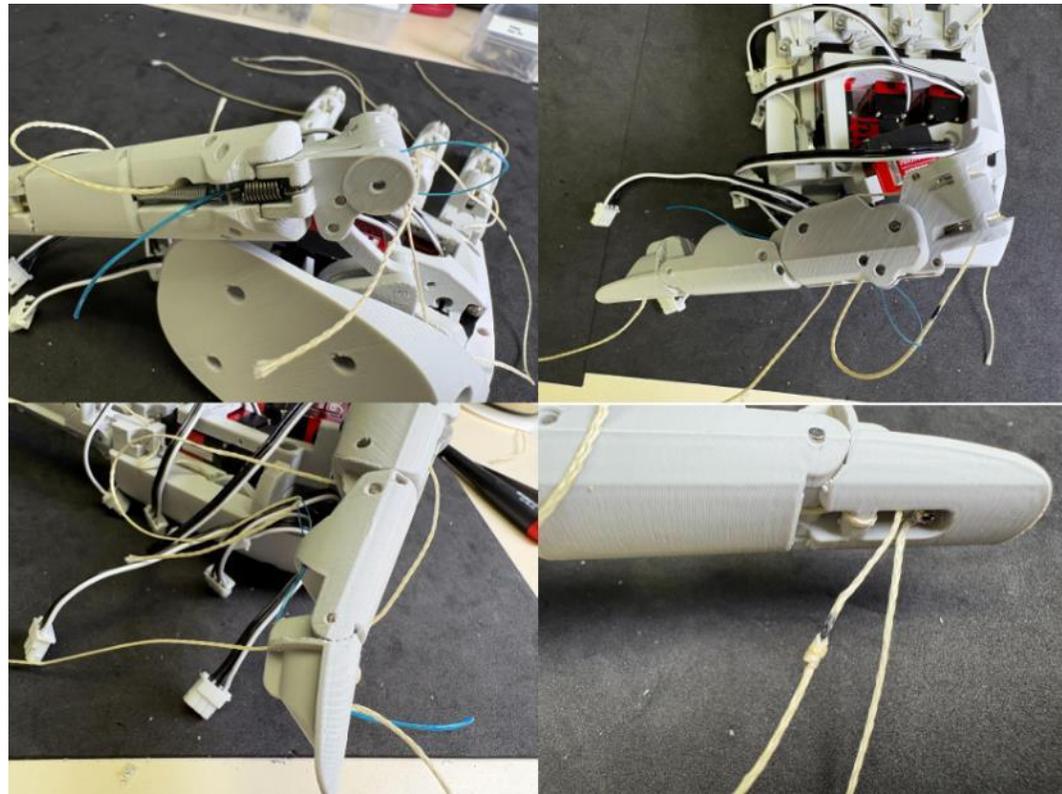
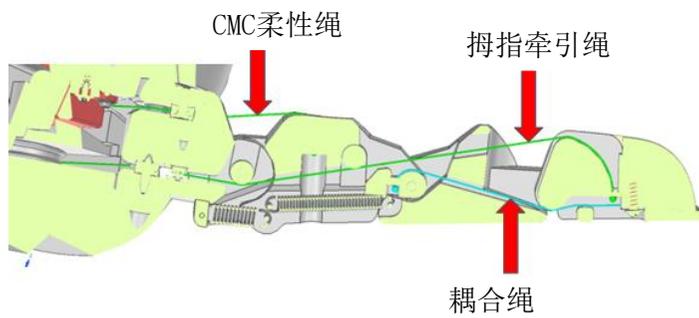
## 拇指 CMC 柔性线

17. 如图所示穿过来自 1 号舵机的线缆。
18. 穿过拇指 MCP (11) 上靠近手掌背部的孔。
19. 在标记处打阿什利止索结。
20. 拉紧线绳。



## 拇指牵引线

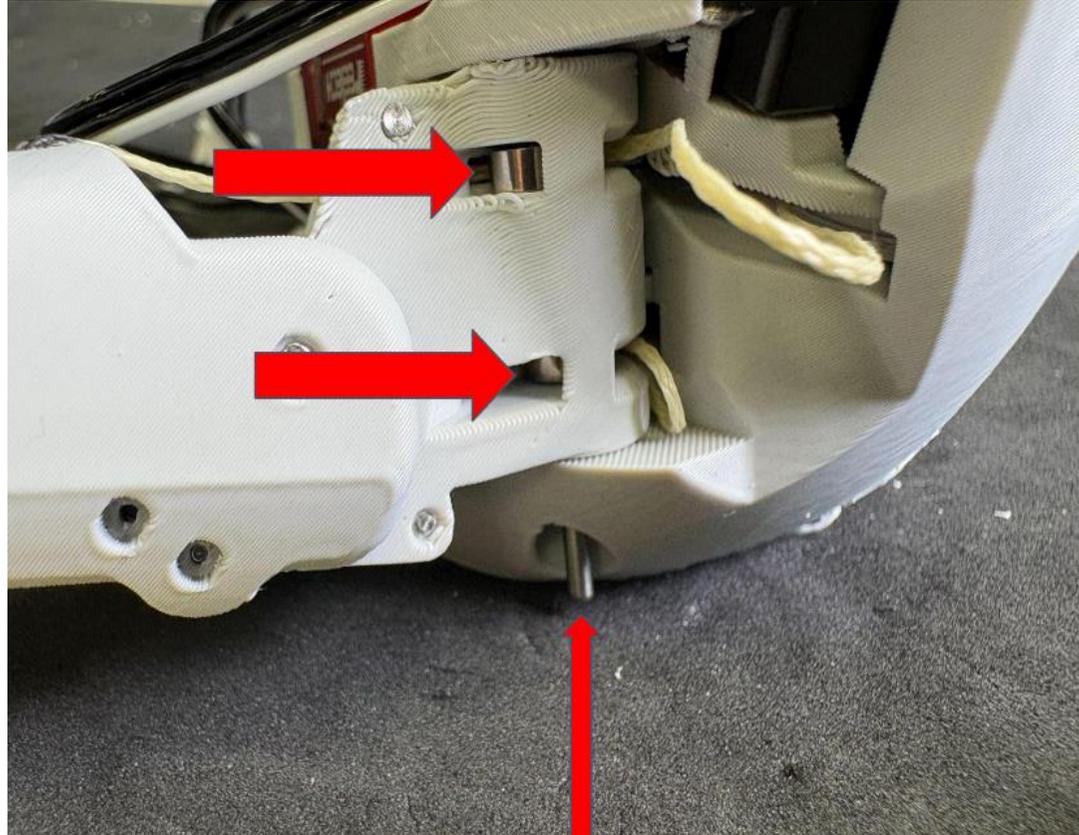
21. 如图所示穿过来自 2 号舵机的线缆。
22. 穿过 MCP (10) 并绕过轴承。
23. 穿过拇指近端指节 (12) 的顶部孔。
24. 在标记处打阿什利止索结并拉紧。



## 拇指轴承

25. 将轴承 (30) 插入 CMC 基座, 并尽可能推入深处。
26. 从底部插入 2x30mm 销钉 (37), 直到与顶面齐平。

注意: 在安装销钉时对轴承施加压力, 可以确保它们不会掉落。



## 最终修饰

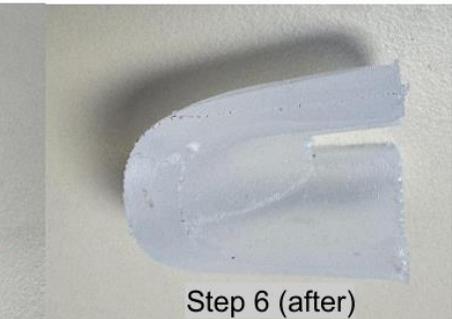
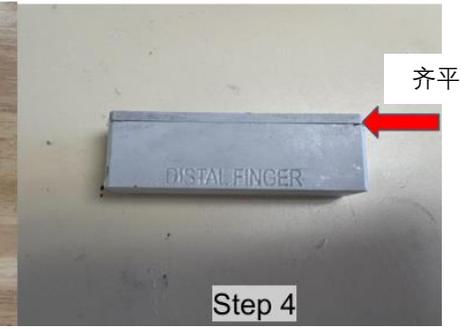
工具:

- \* 热熔胶
- \* 强力胶

名称	零件编号	数量
手掌泡沫	20	1
3x10 自攻螺丝	40	9
2x6 自攻螺丝	36	8
M2x10 沉头梅花自攻螺丝	39	12
M2x6 带法兰梅花自攻螺丝	38	14
负公差 2x30 销轴	37	1
连接线	47	1
TTLinker	48	1

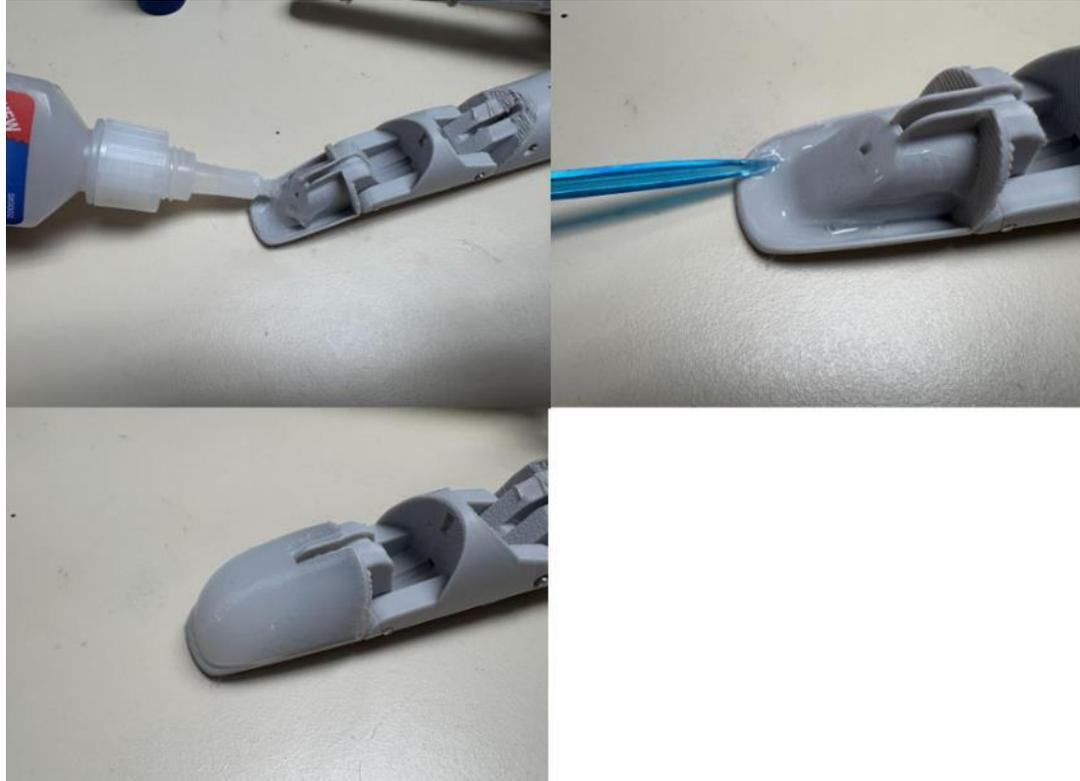
## 硅胶嵌件模具（可选）

1. 将 3D 打印模具放置在平坦/坚硬的表面上。放在烤盘上会使清理更容易。
2. 按照瓶子上的说明混合一批硅胶。总共 40 克足够制作一套手部零件。
3. 填充下模具约 80%。静置 5 分钟以让气泡逸出。
4. 将远端和近端模具的上半部分盖到下半部分上。按压直至齐平。如果填充正确，硅胶应该会溢出。
5. 直立静置 3 小时直至完全固化。然后从模具中取出。
6. 去除组件边缘的毛边/刺（飞边）。



### 硅胶嵌件（可选）

7. 在远端和近端组件的内侧涂抹强力胶。
8. 将胶水涂抹均匀，在塑料表面形成一层均匀的胶层。
9. 轻轻按压在泡沫上并保持 30 秒，直到胶水固化。
10. 对所有手指和拇指重复此操作。



### 硅胶嵌件（可选） - 续

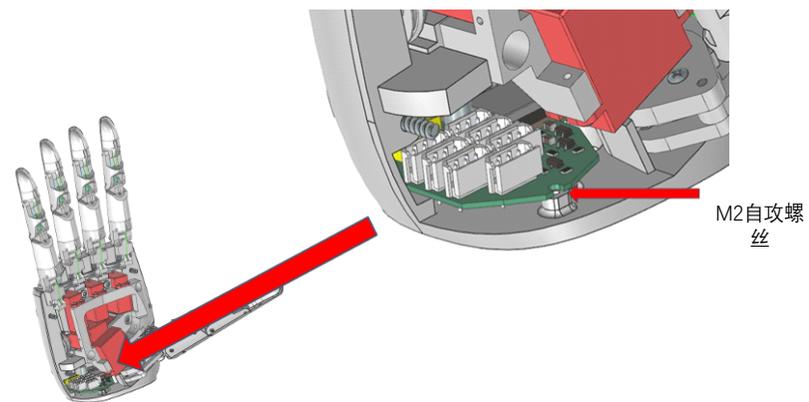
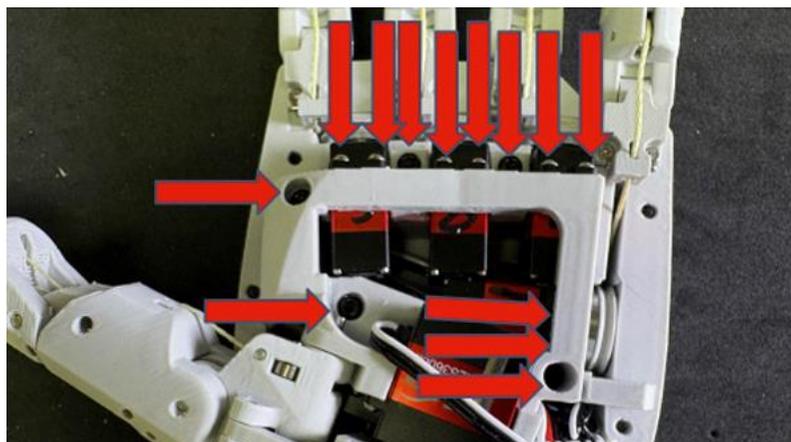
11. 在塑料件上涂抹一层均匀/薄薄的硅胶粘合剂。涂抹至偏移表面的边缘。

12. 将硅胶垫放在手掌上，轻轻施力 30 秒，让胶水固化。



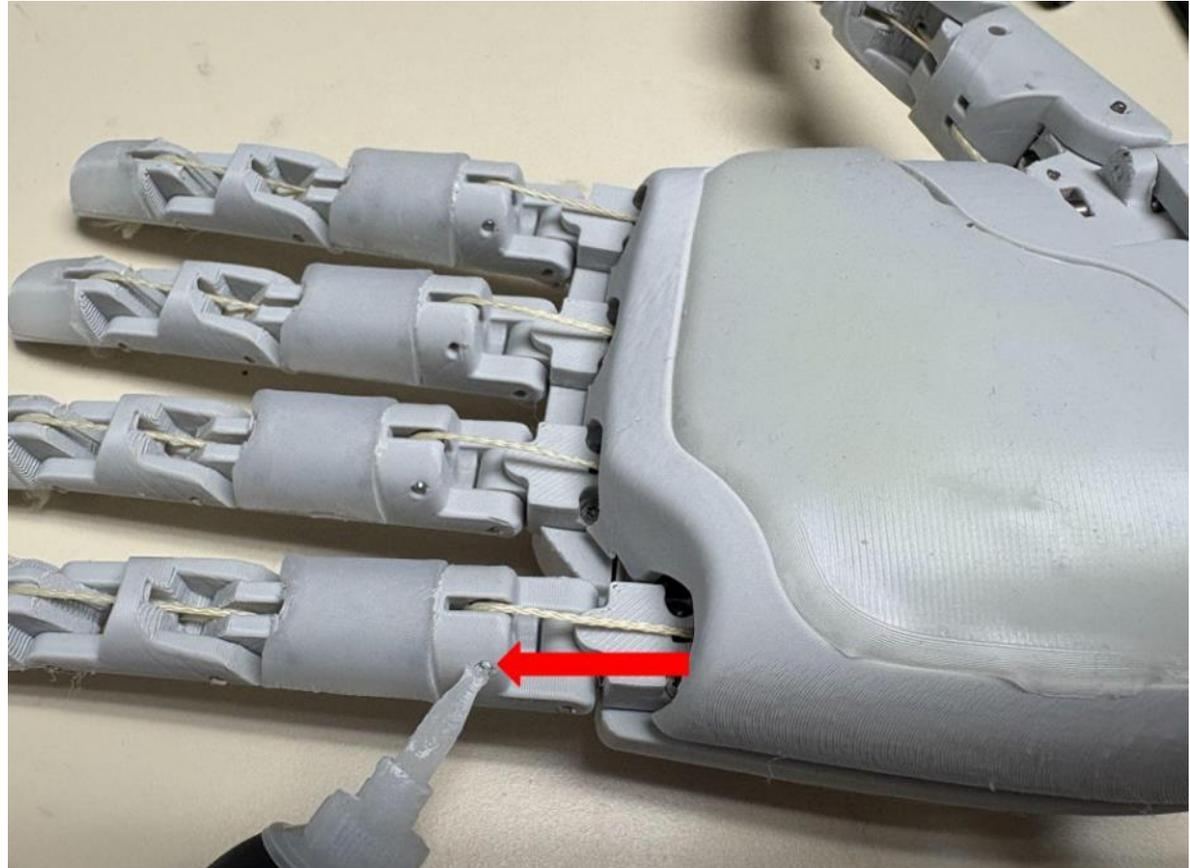
## 舵机连接

13. 将控制板如下面右图所示，使用 M2x6 自攻螺丝固定在底部基座。
14. 将舵机 1, 2, 3, 4, 5 和 6 的导线整理在一起，连接到控制板舵机汇流插座。
15. 使用五个 3x10 自攻螺丝 (40) 固定框架。
16. 使用八个 2x6 梅花自攻螺丝 (38) 将舵机 3, 4, 5 和 6 固定到舵机支架上。
17. 安装前手掌。
18. 在手背使用四个 3x10 自攻螺丝固定。
19. 修剪所有腱绳，在距离绳结 5mm 处剪除多余部分。



### 高频循环保护（可选）

24. 如果用于超过 10,000 次的高频循环，请在每一侧的所有销轴上点上强力胶。这将防止它们滑出。



恭喜，至此装配程序已经全部完成！

