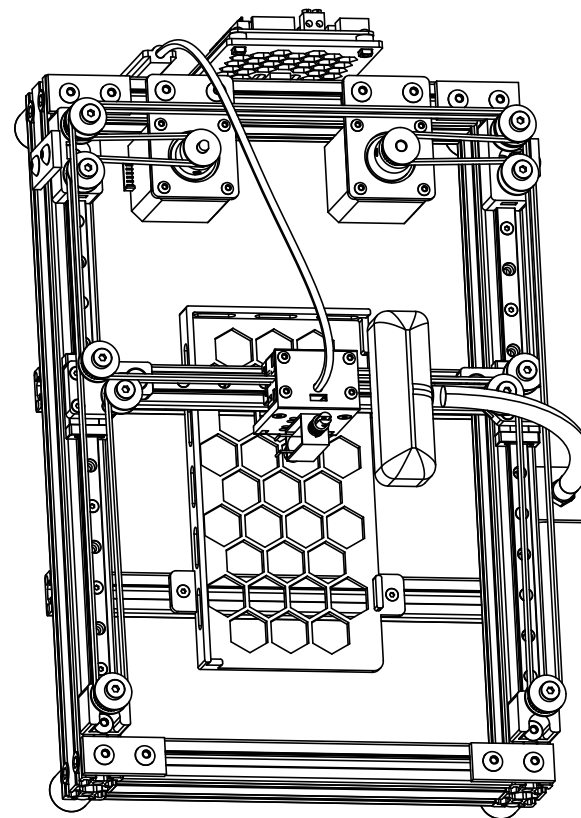




PHYSICLAW 装配手册

我们打造能在真实世界里与你互动的智能体

简介	03
五金件参考	04
3D 打印件	07
框架	08
惰轮	13
电机	22
直线运动	28

同步带	44
触控机构	49
手机托架	53
控制板	58
摄像头	65
接线	70
物料清单	75

PHYSICLAW

PhysiClaw 是一个能与物理世界交互的 Agent，靠点触屏幕来操作手机，因此需要一套硬件来执行动作。本手册讲的就是这套硬件怎么装，它分三部分：在平面内移动的 CoreXY 结构（负责 X/Y 定位）、沿 Z 轴按压屏幕的触控机构，以及一个观察屏幕的摄像头。

准备工作

动手组装前，先把本手册从头到尾通读一遍，再对照物料清单核对买好的零件，确保一切齐备。组装一台 PhysiClaw 大约需要两到三个小时，请预留好时间。

反馈问题

如果你发现本手册有错，或者有改进建议，欢迎到 GitHub 提交 issue (github.com/physiclaw/PhysiClaw/issues)。提交时请注明相关页码，简单说一下问题，最好再附上标注过的截图。我们会根据收到的反馈定期更新手册。



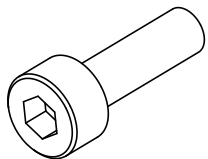
GitHub

<https://github.com/physiclaw/PhysiClaw>



文档

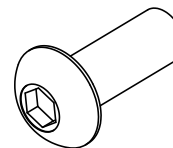
<https://docs.physiclaw.ai>



内六角圆柱头螺栓 (SHCS)

圆柱头，用内六角扳手拧。

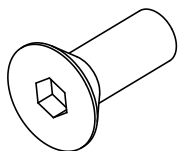
ISO 4762 / DIN 912



内六角半圆头螺栓 (BHCS)

圆顶头，用内六角扳手拧。用在需要压低头部高度、但又不必与表面齐平的位置。

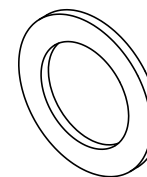
ISO 7380-1



内六角沉头螺栓 (FHCS)

90° 沉头，用内六角扳手拧。装好后与表面齐平，用在不允许凸出零件表面的位置。

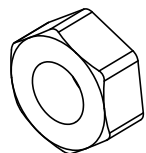
ISO 10642 / DIN 7991



垫片

5×8×0.5 垫片。叠在每个惰轮下面，调整轴向间隙。

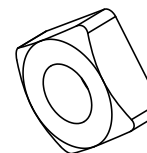
5×8×0.5



六角螺母

和螺栓配合，把零件牢牢夹紧。

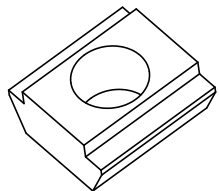
ISO 4032 / DIN 934



四方螺母

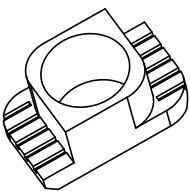
把四方螺母嵌进打印件的方槽，配上螺栓即可拧紧固定。

DIN 557



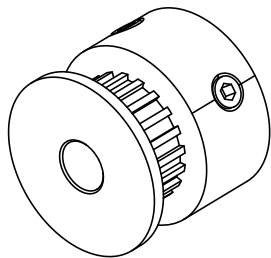
滑块 T 型螺母（端部滑入）

从型材的开口端把它滑进滑槽。拧紧螺栓时，螺母会往上提，卡在滑槽开口的内侧边缘上。



船形 T 型螺母（任意位置放入）

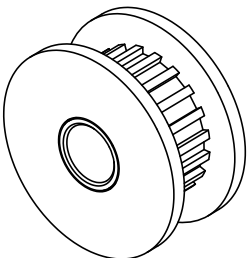
可以从滑槽的任意位置平放进去，转 90° 就卡紧。



GT2 同步轮

20 齿同步轮。每个步进电机轴上装一个，用紧定螺钉顶在电机轴的 D 形切面上，由它带动 GT2 同步带。

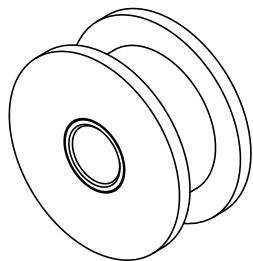
GT2 · 20 齿 · 孔径 5 mm · 带宽 6 mm



GT2 惰轮（带齿）

带齿转向轮，和同步带带齿一面贴合转动。

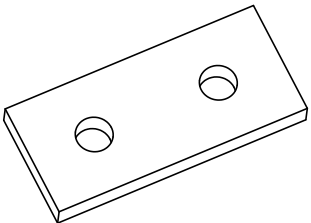
GT2 · 20 齿 · 孔径 5 mm · 带宽 6 mm



GT2 惰轮（光面）

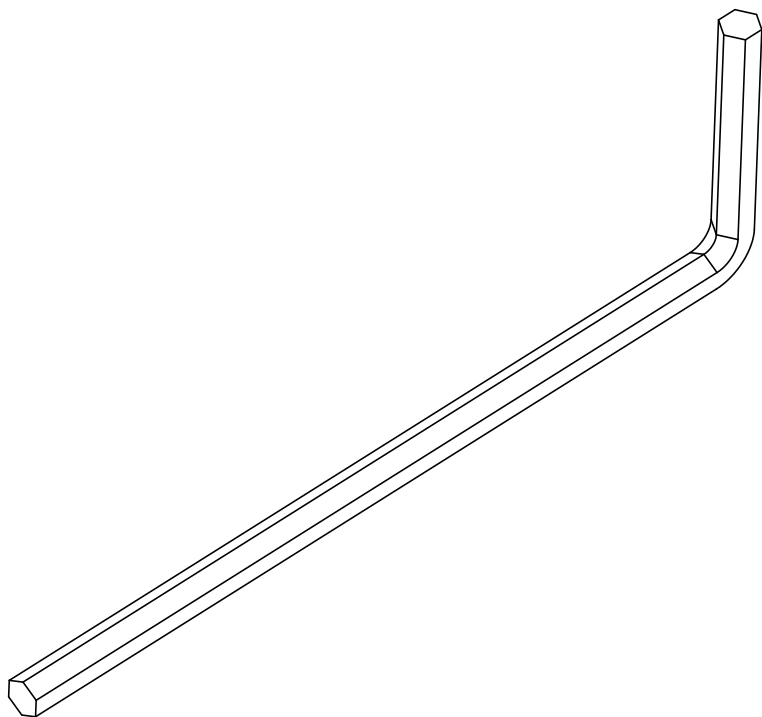
无齿转向轮，贴着同步带的平背面转动。

孔径 5 mm · 带宽 6 mm



一字连接板

两孔平板，M5 孔间距 20 mm。



2 MM 和 3 MM 内六角扳手

装配这台机器时，2 mm 和 3 mm 内六角扳手用得最多。建议准备两把质量好的扳手。

扳手规格

这几把扳手覆盖本次装配用到的内六角螺栓：2 mm 对应 M3 半圆头/沉头螺栓，3 mm 对应 M5 半圆头/沉头螺栓，5 mm 对应 M6 内六角圆柱头螺栓。

零件打印设置与说明

PhysiClaw 的定制零件采用尼龙粉末床熔融工艺打印，选择性激光烧结（SLS）或 多射流熔融（MJF）均可，不采用常见的 FDM。粉末床工艺将尼龙粉末逐层熔结成型，零件结构致密、无需支撑、各向强度均匀。这些零件带有侧向开孔和悬空结构：FDM 打印时侧孔易变形、悬空处会塌陷，故须采用粉末床工艺。采购时请参照以下规格。

3D 打印工艺

选择性激光烧结（SLS）或 多射流熔融（MJF）

零件密度

实心

材料

黑色 PA12 尼龙（或同等材料）

尺寸公差

±0.3%（最小 ±0.3 mm）

层厚

100 μm（0.1 mm）

摆放方向

默认设置即可

最小壁厚

1.0 mm

表面处理

无后处理

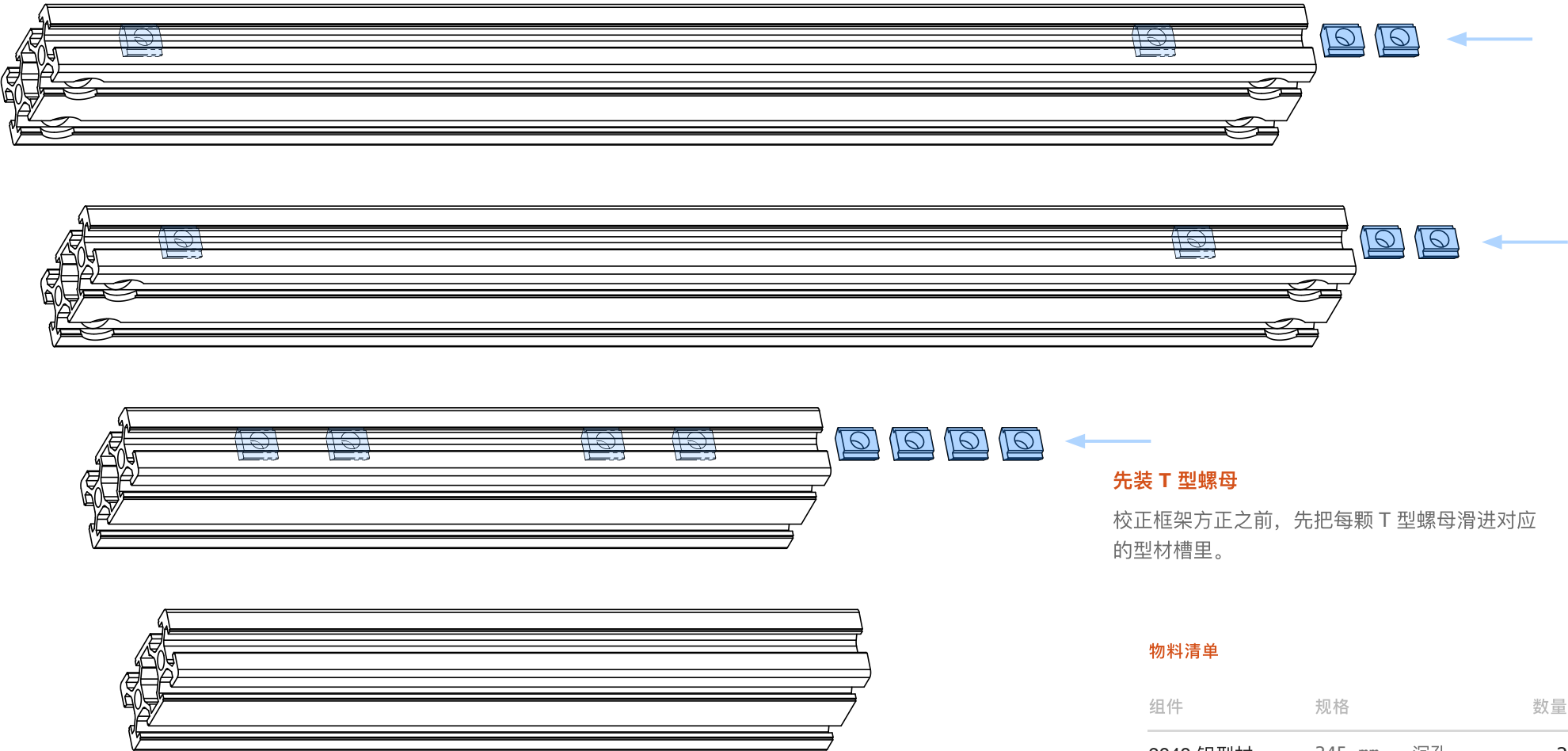
文件命名

文件名以 **_x#** 结尾时，末尾的数字表示组装整机要用到几个这种零件。比如 **idler_mount_front_x2.step**，就需要用到两个。

第 01 节

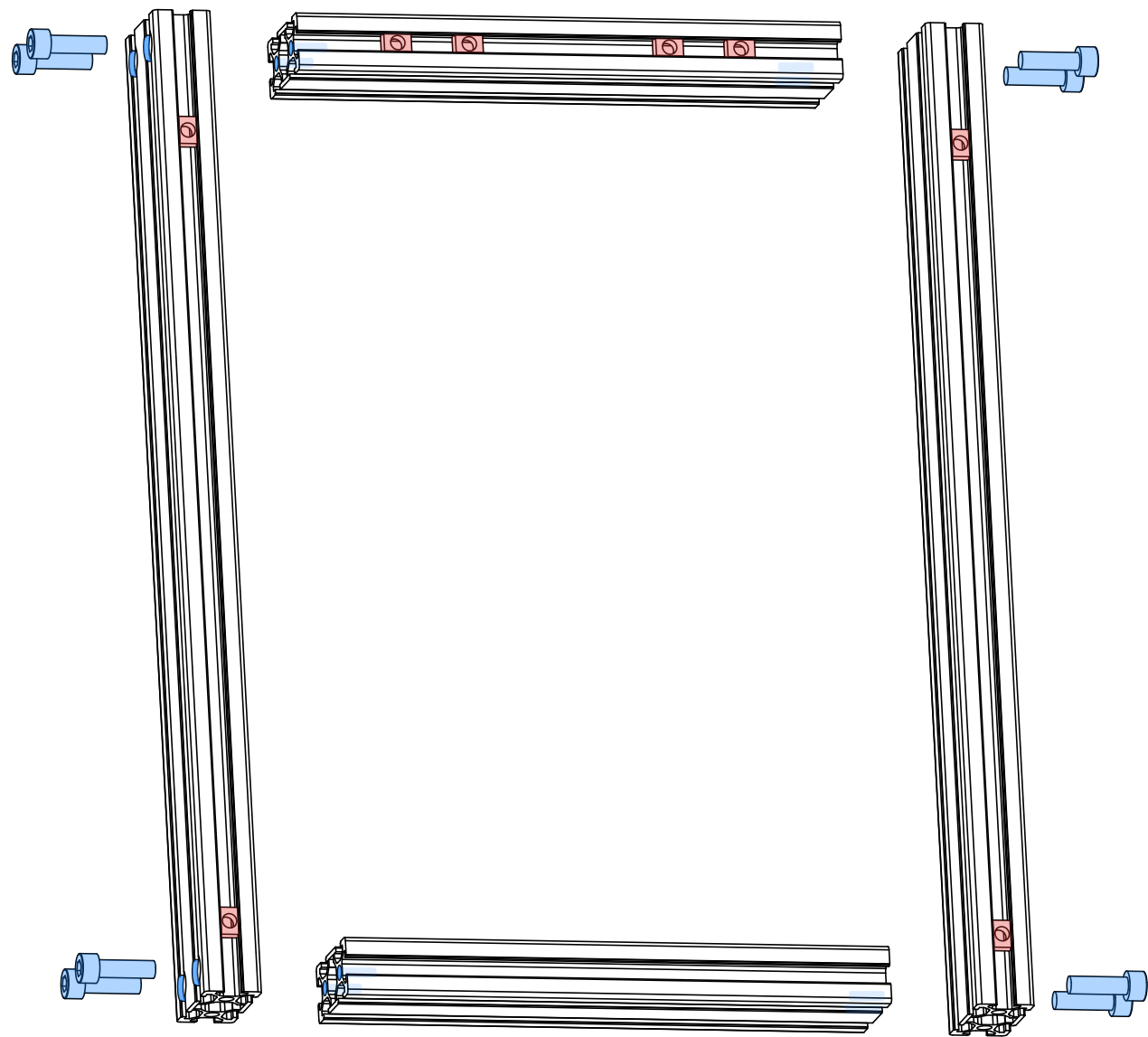
框架

四根 2040 铝型材拼成底座，其余零件都装在上面。框架四角务必成直角，这是后续运动精度的基础。



物料清单

组件	规格	数量
2040 铝型材	345 mm · 沉孔	2
2040 铝型材	190 mm	2
T 型螺母	滑块螺母 M5	8



方向约定

本手册里说的上、下、左、右，都以这个视角为准。

注意位置

带四个滑块螺母的短型材放在最上面。

沉孔朝外

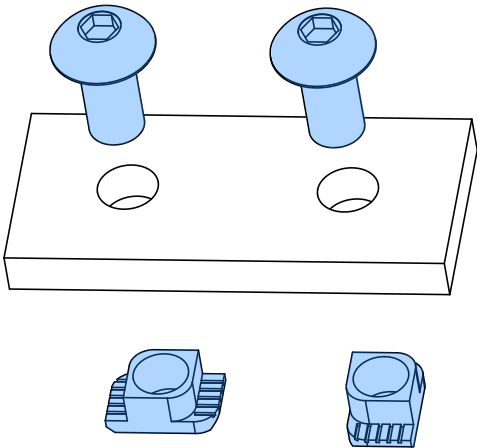
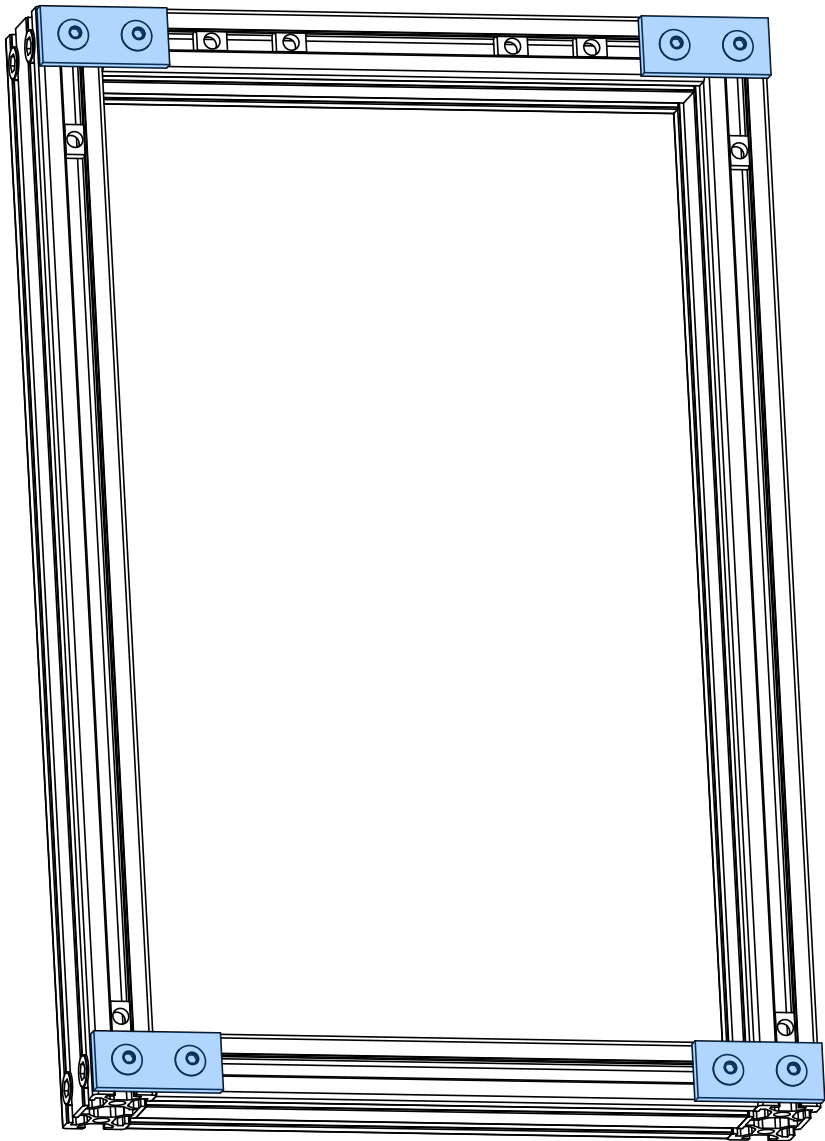
长型材带沉孔的一端朝外，每个沉孔对准短型材端面的孔位。

先校方正，再拧紧

每颗 M6×20 圆柱头螺栓穿过长型材沉孔，拧进短型材端面的螺纹孔。先把 8 颗都拧到贴合，放到平整台面上校正框架方正，再逐颗拧紧。

物料清单

组件	规格	数量
圆柱头螺栓	M6×20	8

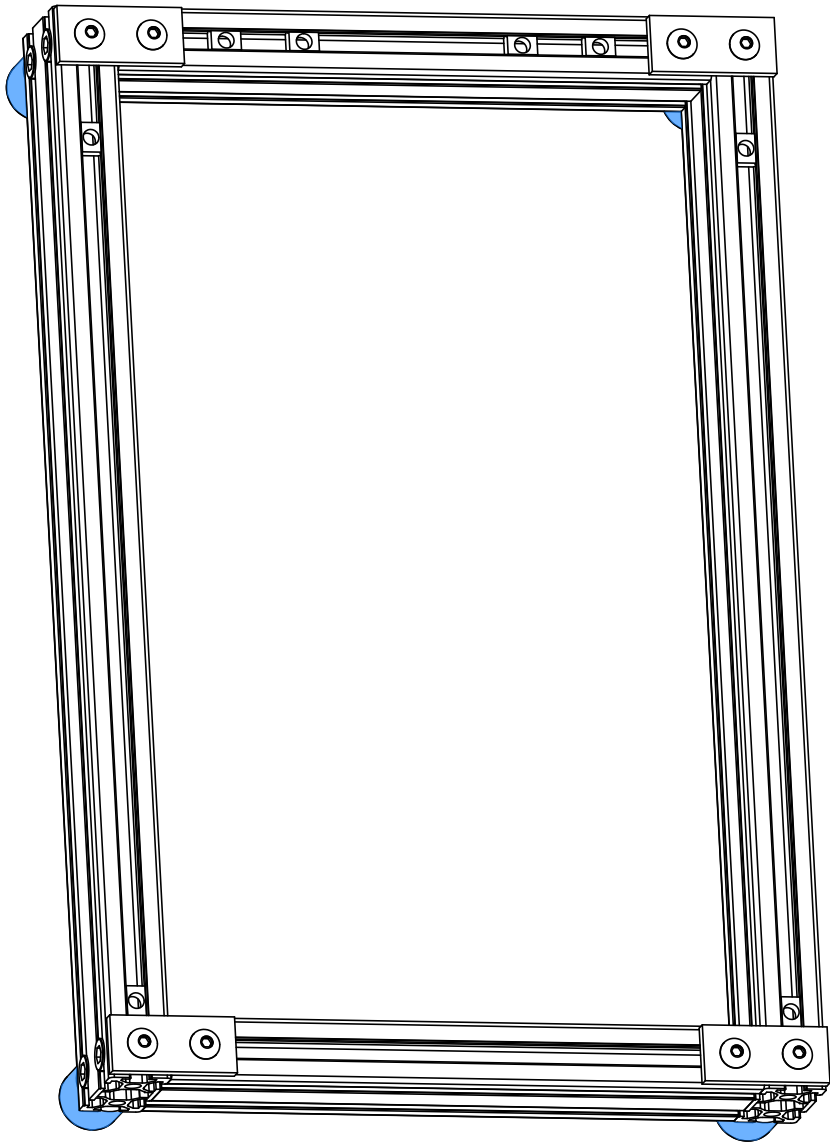


框架加固

每个角用一块连接板加固。将 M5×10 半圆头螺栓穿过连接板，松松拧上一颗船形螺母，整组放进装好的框架，再拧紧。

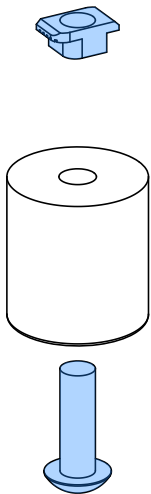
物料清单

组件	规格	数量
一字连接板	40 × 18 × 4 mm	4
半圆头螺栓	M5×10	8
T 型螺母	船形螺母 M5	8



用橡胶脚垫自带的螺栓
若你买的那款也配了螺栓，就用自带的，尺寸正好合适。

支脚朝下
橡胶脚垫用作机器的支脚，装在框架底面的四个角。



物料清单

组件	规格	数量
橡胶脚垫	Ø20 × 22 mm	4
半圆头螺栓	M5×16	4
T 型螺母	船形螺母 M5	4

第 02 节

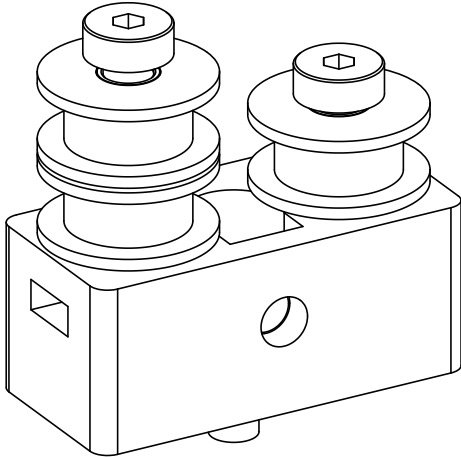
惰轮

框架四角各装一个惰轮组，全用光面惰轮。惰轮贴着 GT2 同步带的平背面滚动，在转角处引导同步带转向。



先装中间的螺栓螺母

先把中间的 M5 四方螺母和 M5×10 半圆头螺栓放进中间的沉孔。两侧惰轮柱装上后，中间沉孔就被挡住了。



确认惰轮转得顺畅

装好后逐个转一下，确认每个惰轮都能自由转动。

平的一面朝着螺栓

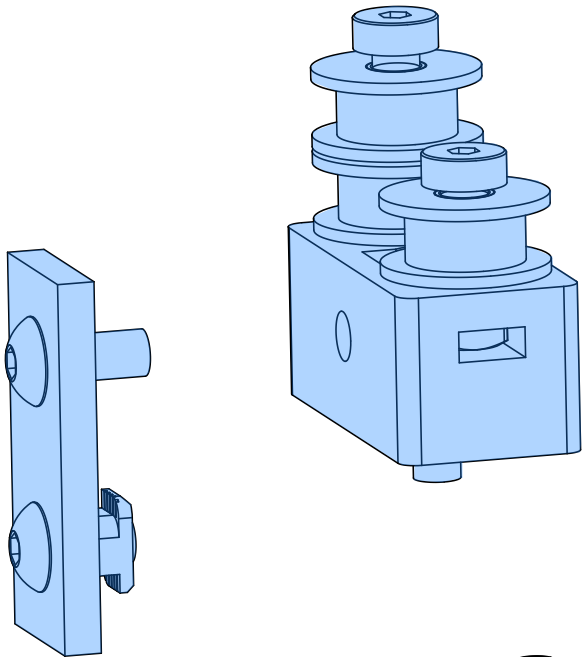
放四方螺母时，让平的一面朝向它对应的螺栓。

侧面槽位放不进？

如侧面四方螺母难以放到位，先用小螺丝刀或细针清理槽孔。打印件槽内可能有残留。

物料清单

组件	规格	数量
惰轮支座	SLS/MJF 3D 打印	1
惰轮	GT2 20T, 光面	3
半圆头螺栓	M5×10	1
轴肩螺栓	Ø5×10×M4	1
轴肩螺栓	Ø5×20×M4	1
四方螺母	M4	2
四方螺母	M5	1
垫片	5×8×0.5	3

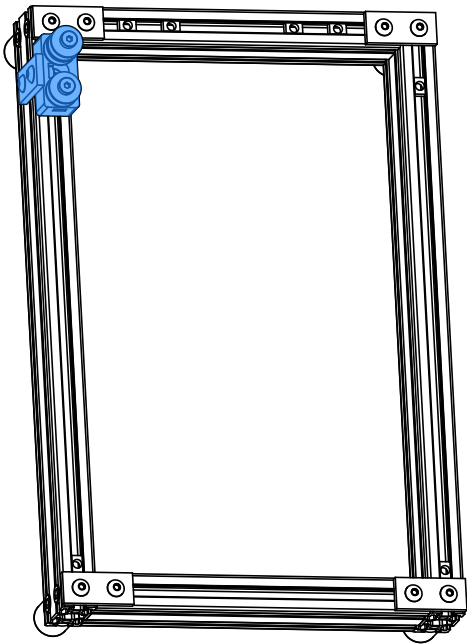
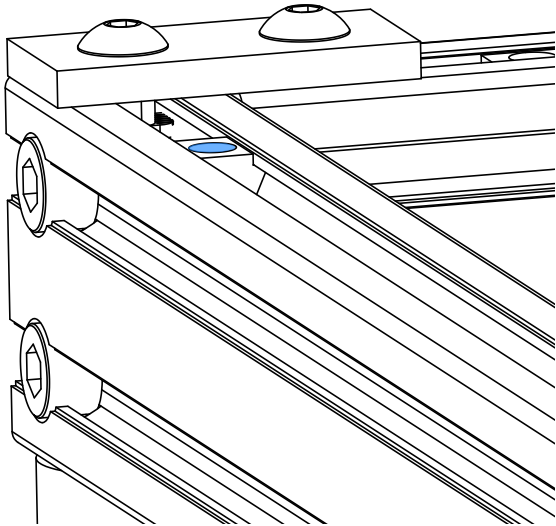


两处固定到框架

支座靠两处固定在框架上：中间的 M5 螺栓咬住型材槽里的滑块螺母，再用一块连接板把支座和框架连到一起。连接板上较长的 M5×12 半圆头螺栓拧进支座的预埋四方螺母，M5×10 拧进型材槽里的船形螺母。

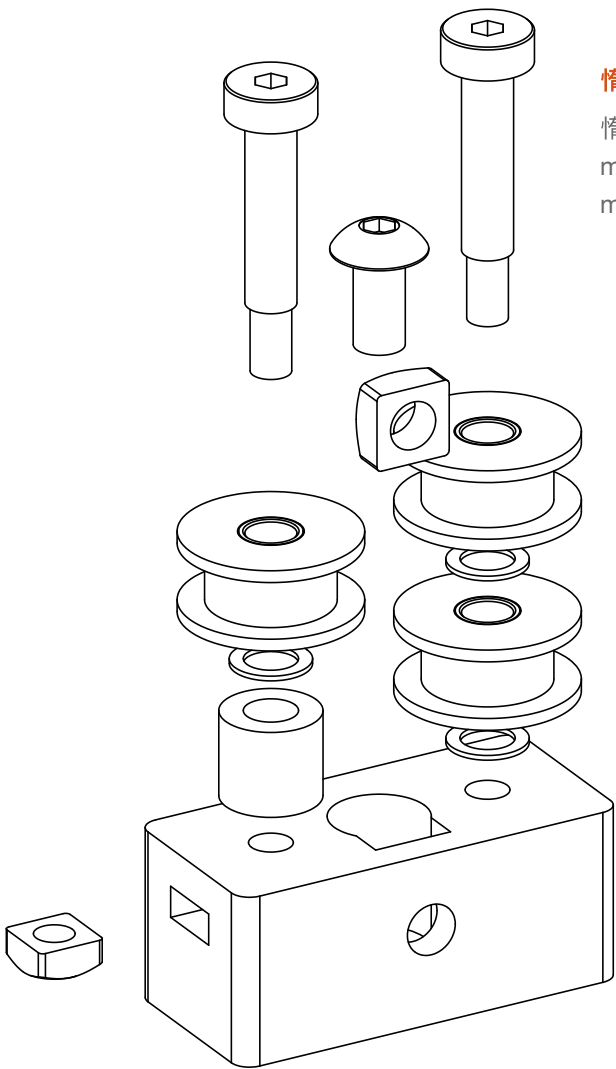
与转角连接板留 2 MM 间隙

摆放支座时，让它离框架转角的连接板留出 2 mm 间隙。



物料清单

组件	规格	数量
一字连接板	40 × 18 × 4 mm	1
半圆头螺栓	M5×10	1
半圆头螺栓	M5×12	1
T 型螺母	船形螺母 M5	1

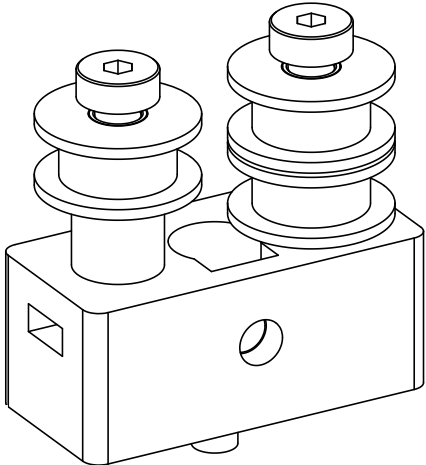


惰轮组高度统一 18 MM

惰轮高 8.5 mm、轴套高 9 mm、垫片厚 0.5 mm。用垫片和轴套把每个惰轮组都调到 18 mm，保持高度一致。

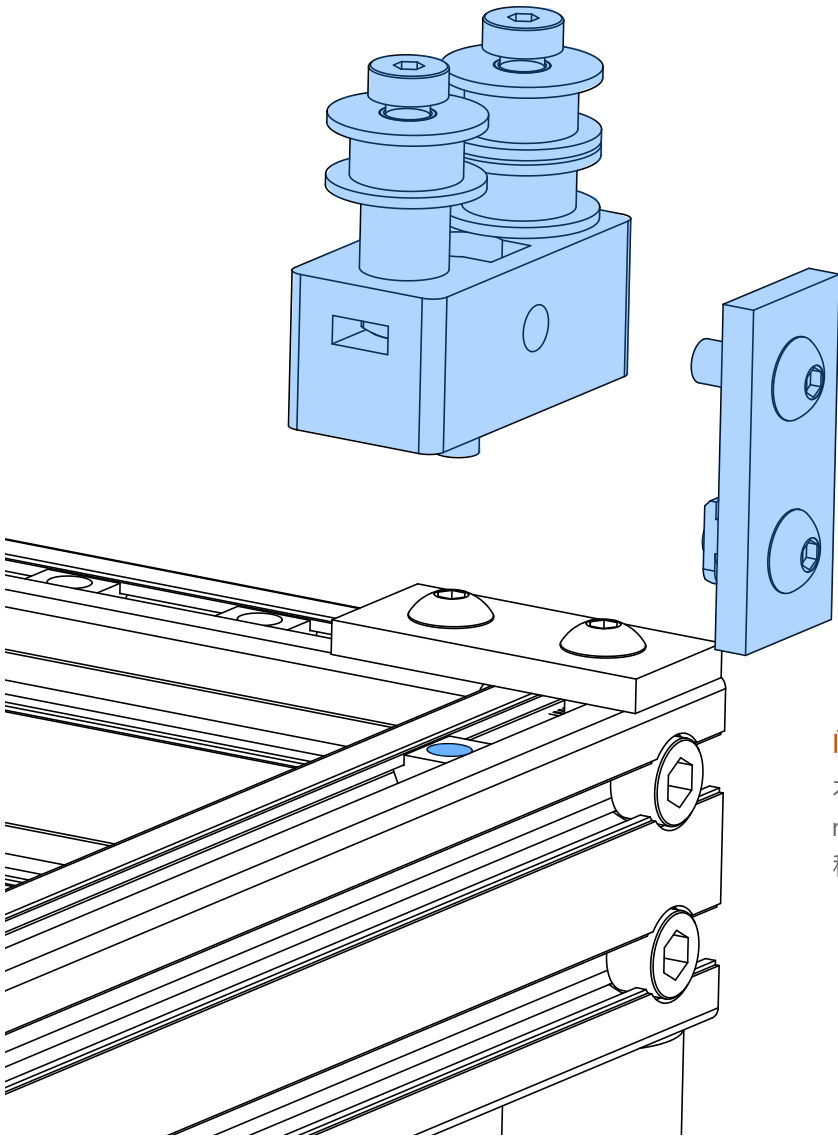
轴套总高要够 9 MM

轴套高 9 mm。买不到这个高度的轴套，就拿几个短些的叠起来凑够 9 mm。



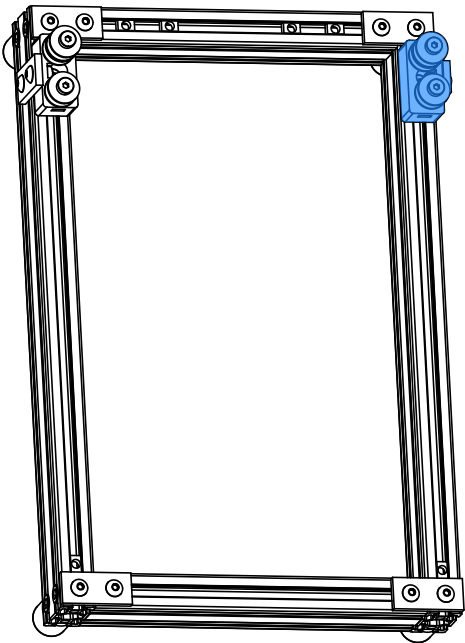
物料清单

组件	规格	数量
惰轮支座	SLS/MJF 3D 打印	1
惰轮	GT2 20T, 光面	3
半圆头螺栓	M5×10	1
轴肩螺栓	Ø5×20×M4	2
四方螺母	M4	2
四方螺母	M5	1
轴套	5×10×9	1
垫片	5×8×0.5	3



长螺栓拧进支座

螺栓分配和左边的连接板相同：M5×12 半圆头螺栓拧进支座的预埋四方螺母，M5×10 拧进型材槽里的船形螺母。

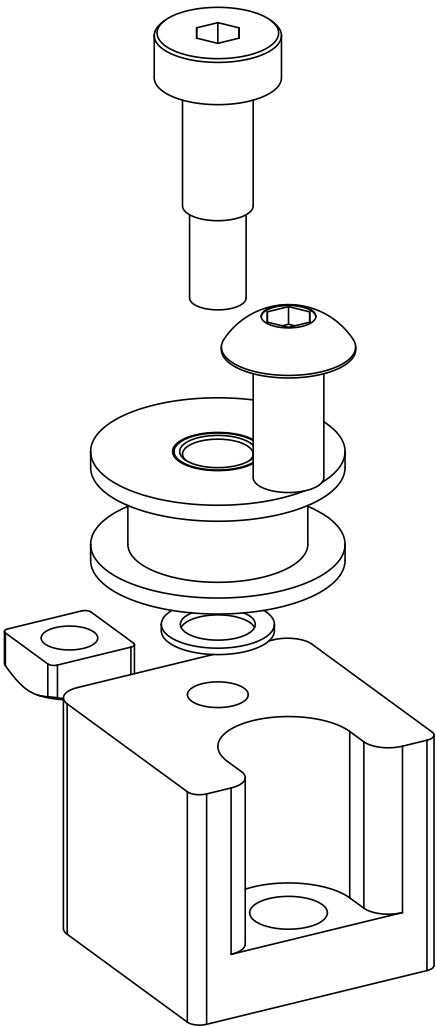


间隙和左边的支座保持一致

右边的支座和左边一样，离框架转角连接板留 2 mm 间隙。两边间隙相等，惰轮工位才能左右对称。

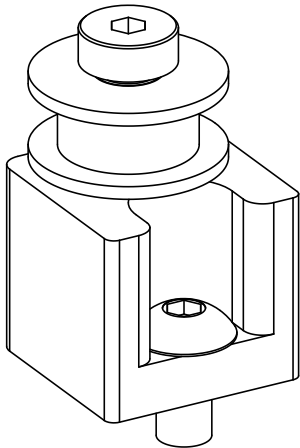
物料清单

组件	规格	数量
一字连接板	40 × 18 × 4 mm	1
半圆头螺栓	M5×10	1
半圆头螺栓	M5×12	1
T 型螺母	船形螺母 M5	1



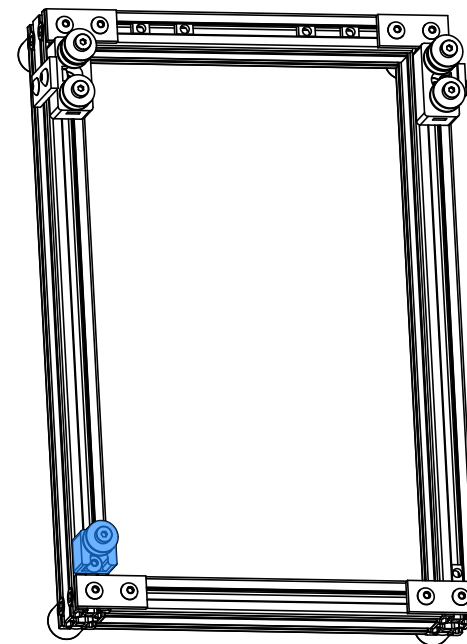
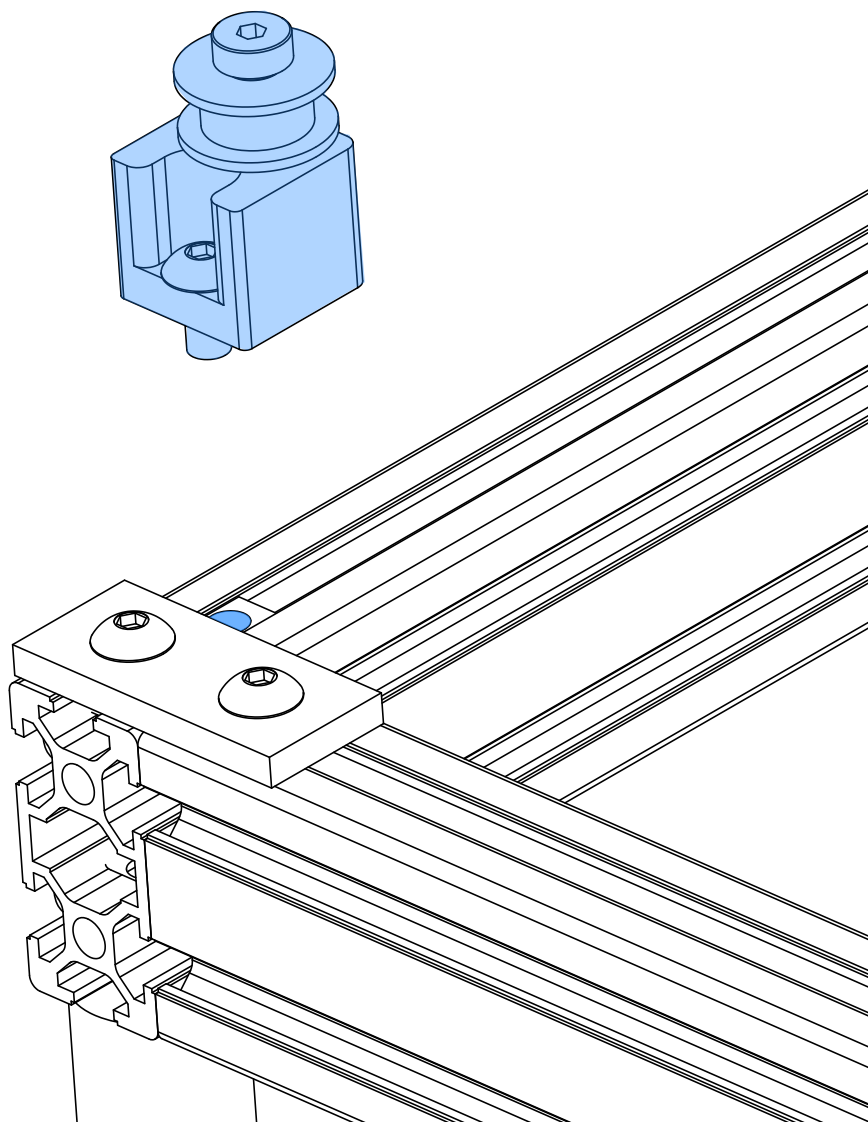
电机 A 的惰轮——位置偏低

这个惰轮走电机 A 的同步带，不加轴套，落在下层那条带的平面上。



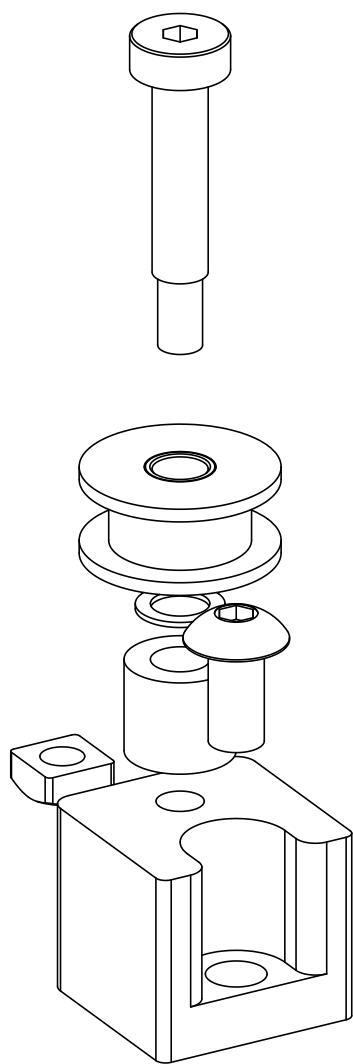
物料清单

组件	规格	数量
惰轮支座	SLS/MJF 3D 打印	1
惰轮	GT2 20T, 光面	1
半圆头螺栓	M5×10	1
轴肩螺栓	Ø5×10×M4	1
四方螺母	M4	1
垫片	5×8×0.5	1



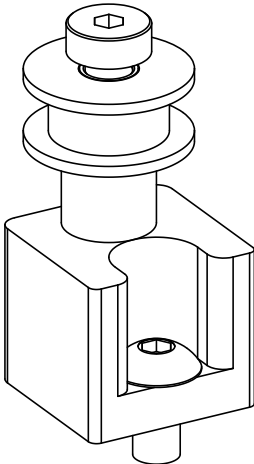
与转角连接板留 2 MM 间隙

把这个支座放到离框架转角连接板 2 mm 的位置，与其他每个惰轮工位的间隙保持一致。



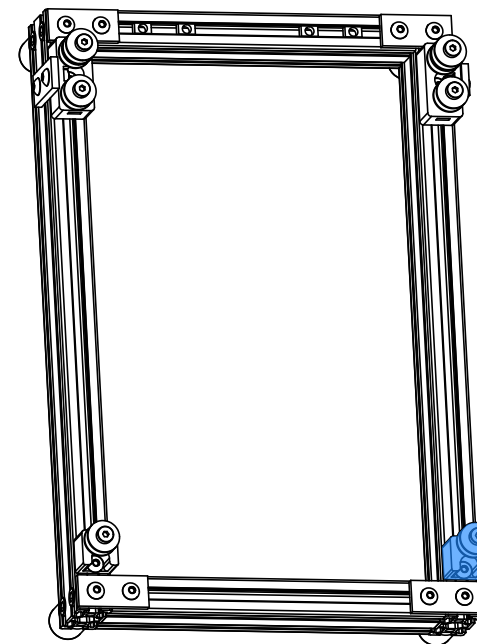
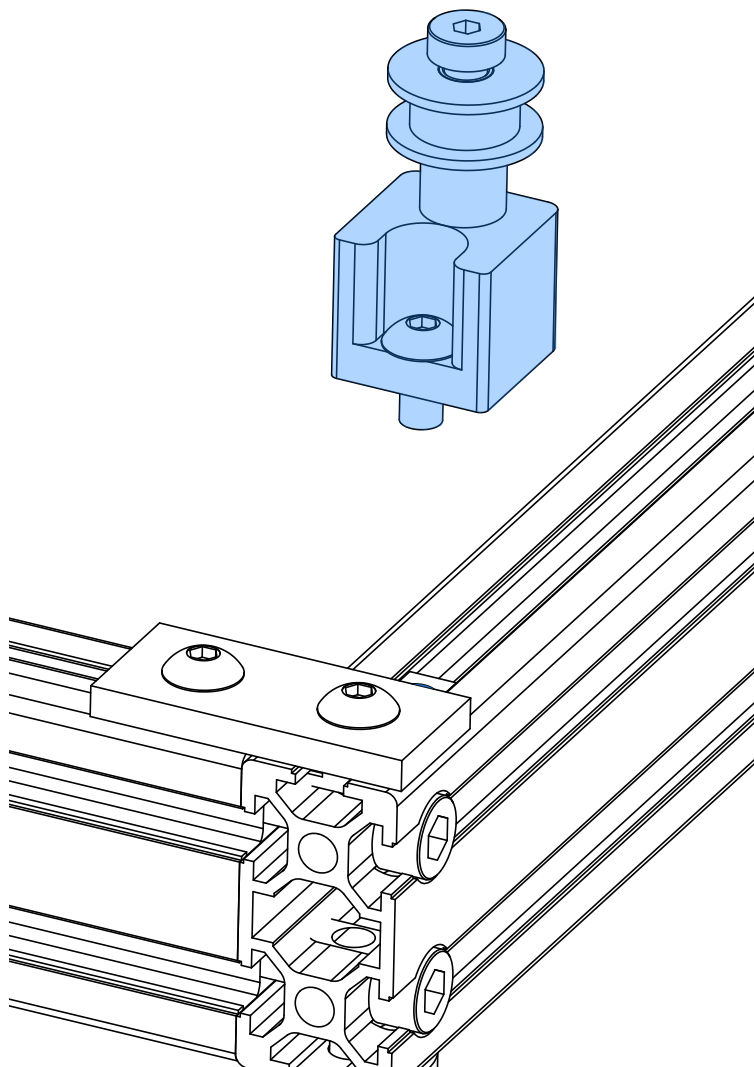
电机 B 的惰轮——位置偏高

这个惰轮走电机 B 的同步带。9 mm 轴套把它垫高，落到上层那条带的平面上。



物料清单

组件	规格	数量
惰轮支座	SLS/MJF 3D 打印	1
惰轮	GT2 20T, 光面	1
半圆头螺栓	M5×10	1
轴肩螺栓	Ø5×20×M4	1
四方螺母	M4	1
轴套	5×10×9	1
垫片	5×8×0.5	1



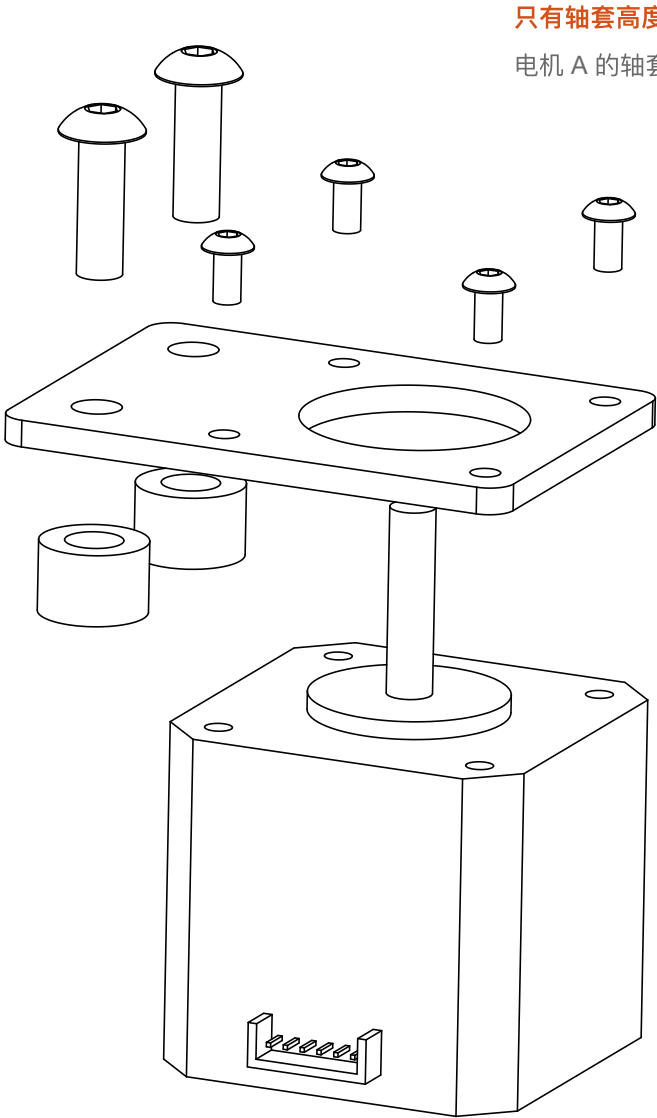
间隙和左边的支座保持一致

右边的支座和左边一样，离框架转角连接板留 2 mm 间隙，这样下方两个惰轮工位才能左右对称。

第 03 节

电机

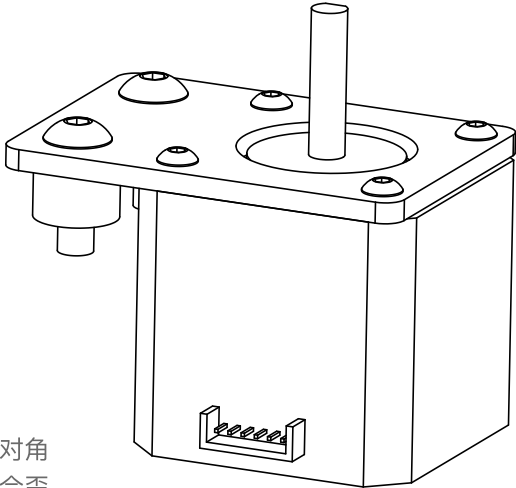
两个 42 步进电机装在框架顶部的型材上，左右各一，驱动 CoreXY 同步带，带动触控笔滑座移动。



只有轴套高度有要求
电机 A 的轴套高度必须 8 mm。

按对角顺序拧紧
先把四颗电机螺栓用手拧上，再两两对角逐步拧紧。这样电机能平贴支架，不会歪向一边。

注意电机引线的朝向
看清电机引线朝哪个方向，照图装好。引线朝向决定后面布线能留出多少空间。



物料清单

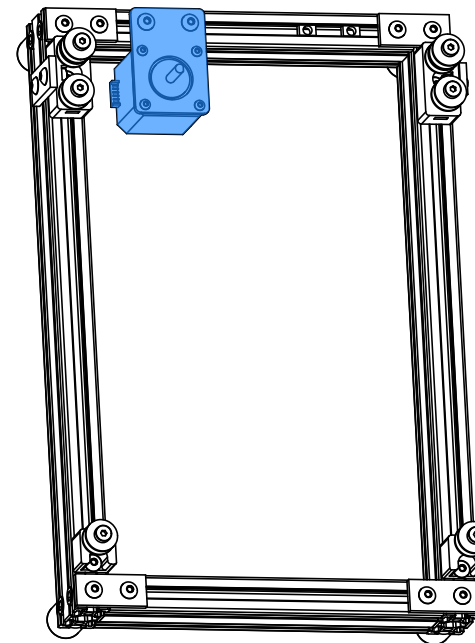
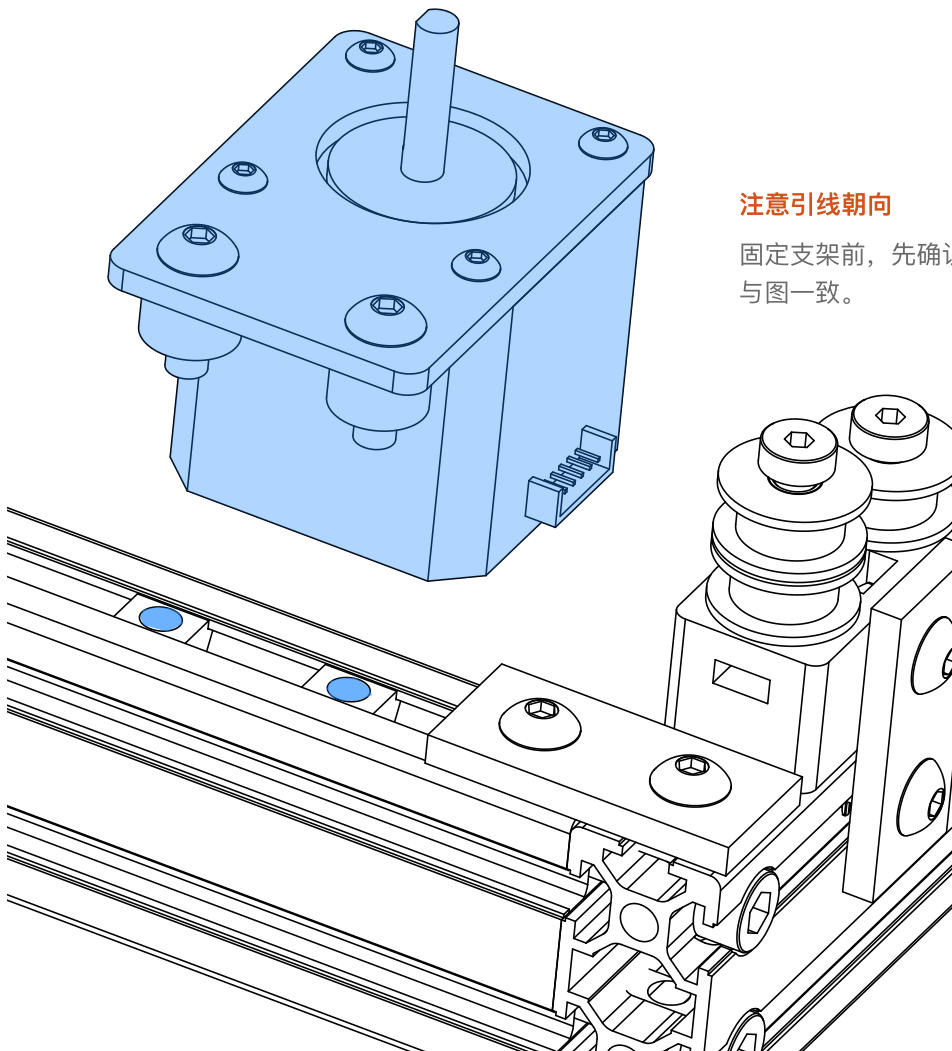
组件	规格	数量
电机支架	60×42×3	1
电机	42 步进电机，高度 38 mm	1
半圆头螺栓	M3×6	4
半圆头螺栓	M5×16	2
轴套	6×12×8	2

电机 A

左边这台电机记作电机 A。

注意引线朝向

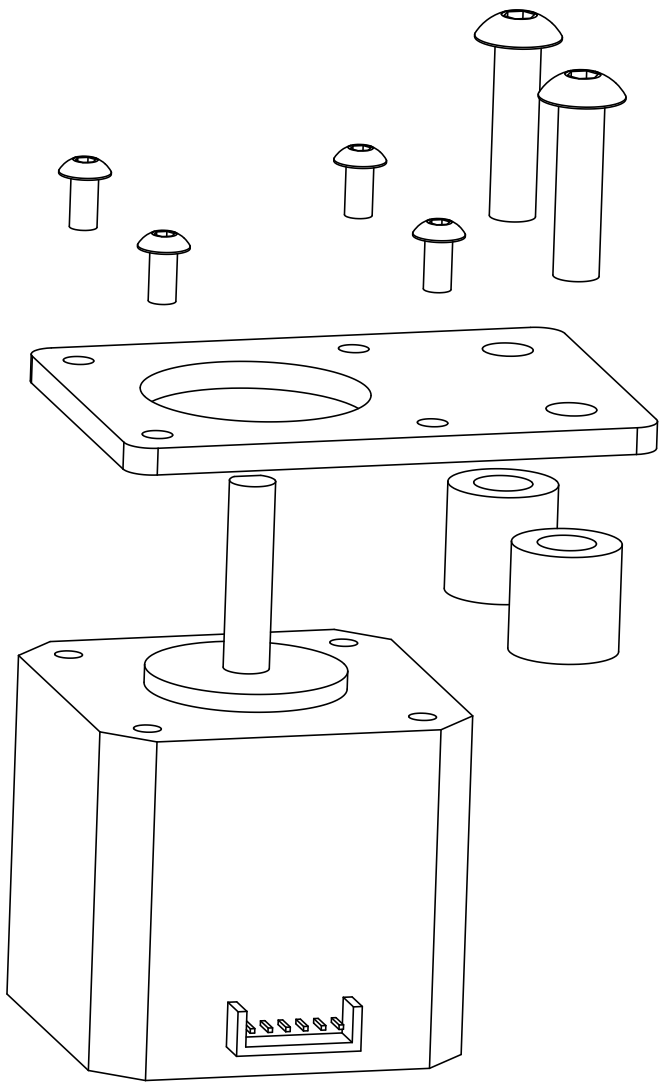
固定支架前，先确认电机引线朝向与图一致。



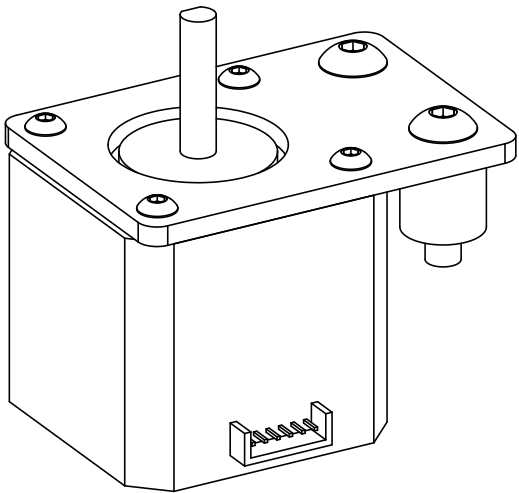
螺栓先别拧紧

电机座先别拧死，后面还要靠滑动电机座来张紧同步带。

这里用更高的轴套
电机 B 的轴套高度必须 12 mm。

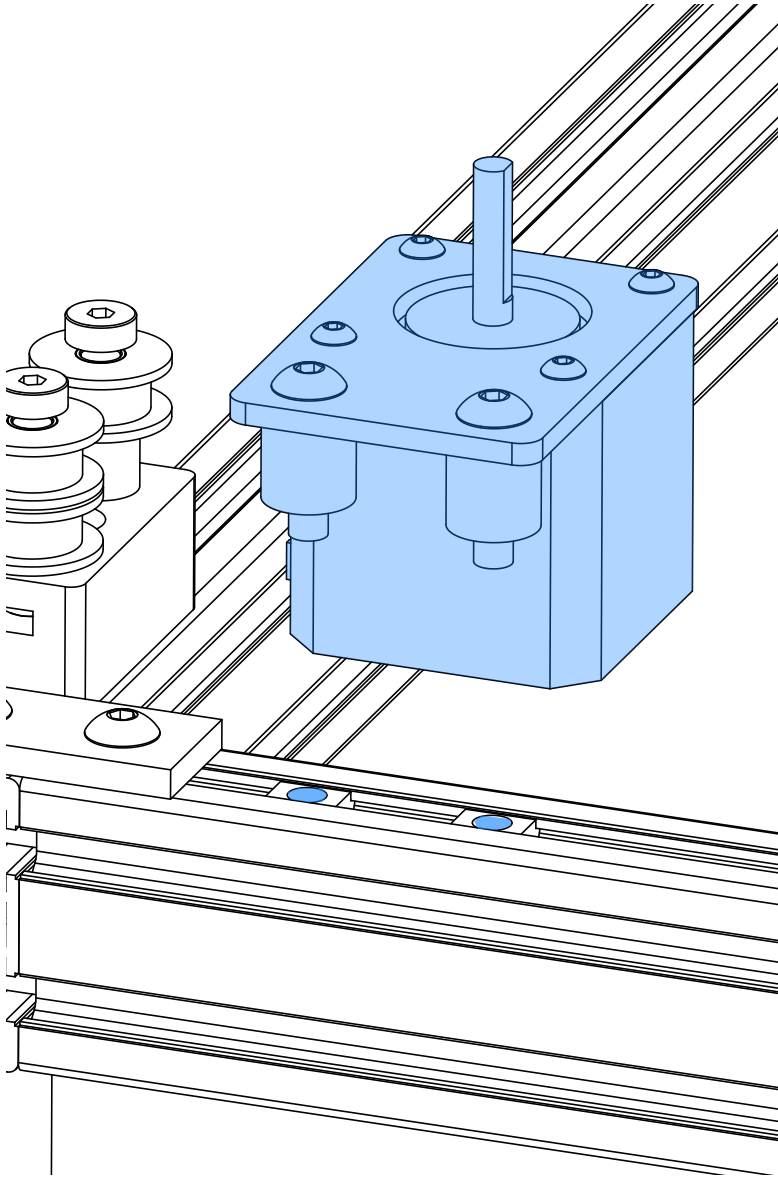


右边的电机——左右镜像
装法与左边那台一样，只是左右镜像：线缆接头朝右。



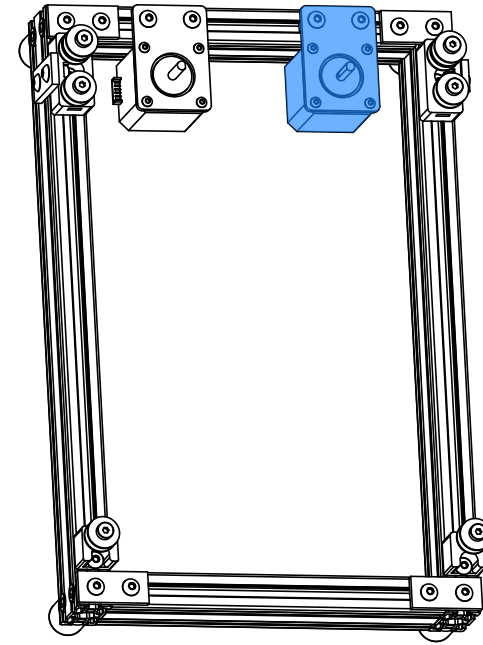
物料清单

组件	规格	数量
电机支架	60×42×3	1
电机	42 步进电机，高度 38 mm	1
半圆头螺栓	M3×6	4
半圆头螺栓	M5×20	2
轴套	6×12×12	2



电机 B

右边这台电机记作电机 B。



镜像

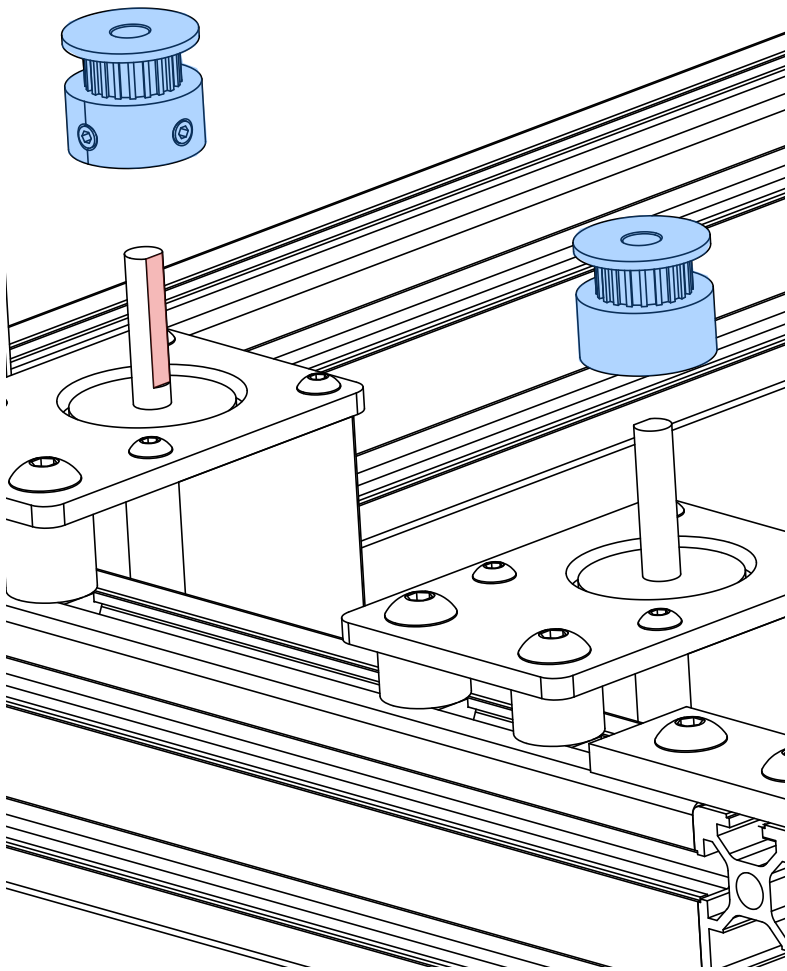
这是右边那台电机，与左边镜像。线缆接头朝右。

螺栓先别拧紧

先轻轻拧到贴紧就行，等同步带张紧后再拧死。

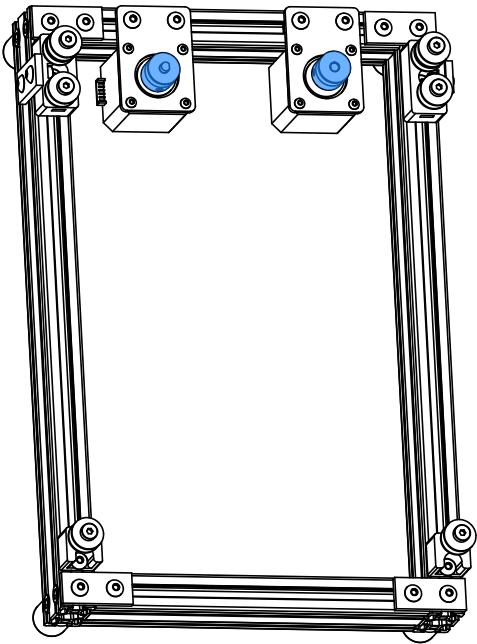
不同高度

A、B 两条同步带处在不同高度，电机 A 的同步轮（左）与下层惰轮共面，电机 B 的同步轮（右）与上层惰轮共面。各自沿电机轴滑到位后，把紧定螺钉拧紧固定。



紧定螺钉

先把一颗紧定螺钉对准 D 形切面拧紧，再拧另一颗。



螺纹胶加固

每颗紧定螺钉都要上螺纹胶。同步轮松动会导致运动失准，是用户反馈最多的问题，但上胶前务必先把同步轮和惰轮对齐。也可以暂不上胶，等装好同步带后再涂。

物料清单

组件	规格	数量
同步轮	GT2 20T, 6 mm	2

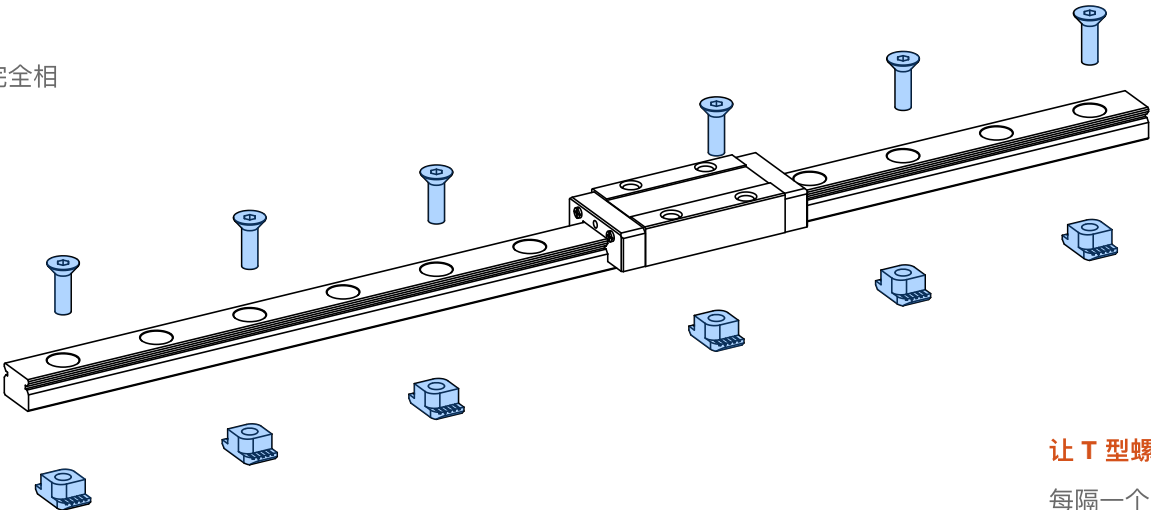
第 04 节

直线运动

PhysiClaw 的 X/Y 运动采用 CoreXY 方案，靠三根 MGN9H 导轨导向：左右两根作 Y 轴，横跨其间的一根作 X 轴。X 轴两端与 Y 轨相接的左右两处，各装两个惰轮组。

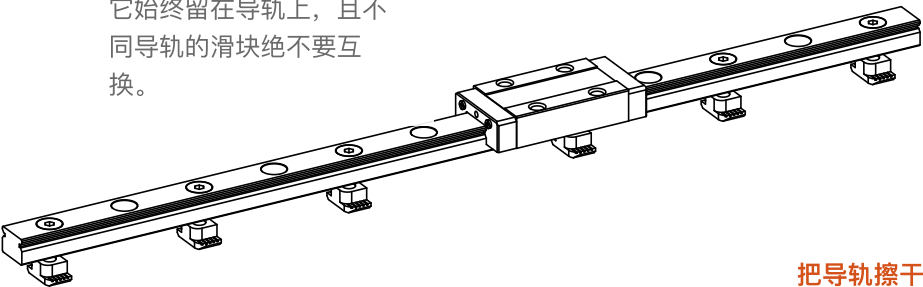
做两条 Y 导轨

Y 轴用两条一模一样的导轨，做法完全相同。



当心滑块

滑块稍一用力就会从导轨端头滑出，一旦掉到地上，滚珠就会散落，整个滑块也就报废了。务必让它始终留在导轨上，且不同导轨的滑块绝不要互换。



让 T 型螺母先吊着

每隔一个孔拧一颗 M3×10 沉头螺栓，让船形螺母吊在螺栓末端。把整条导轨放进型材槽，再拧紧螺栓，把螺母拉上来夹紧。

把导轨擦干净、上好润滑脂

MGN9H 导轨出厂时涂着一层防锈油。安装前先擦掉，再给滑块补上新的润滑脂，这样运动才顺滑、耐用。每条导轨都这么处理。

物料清单

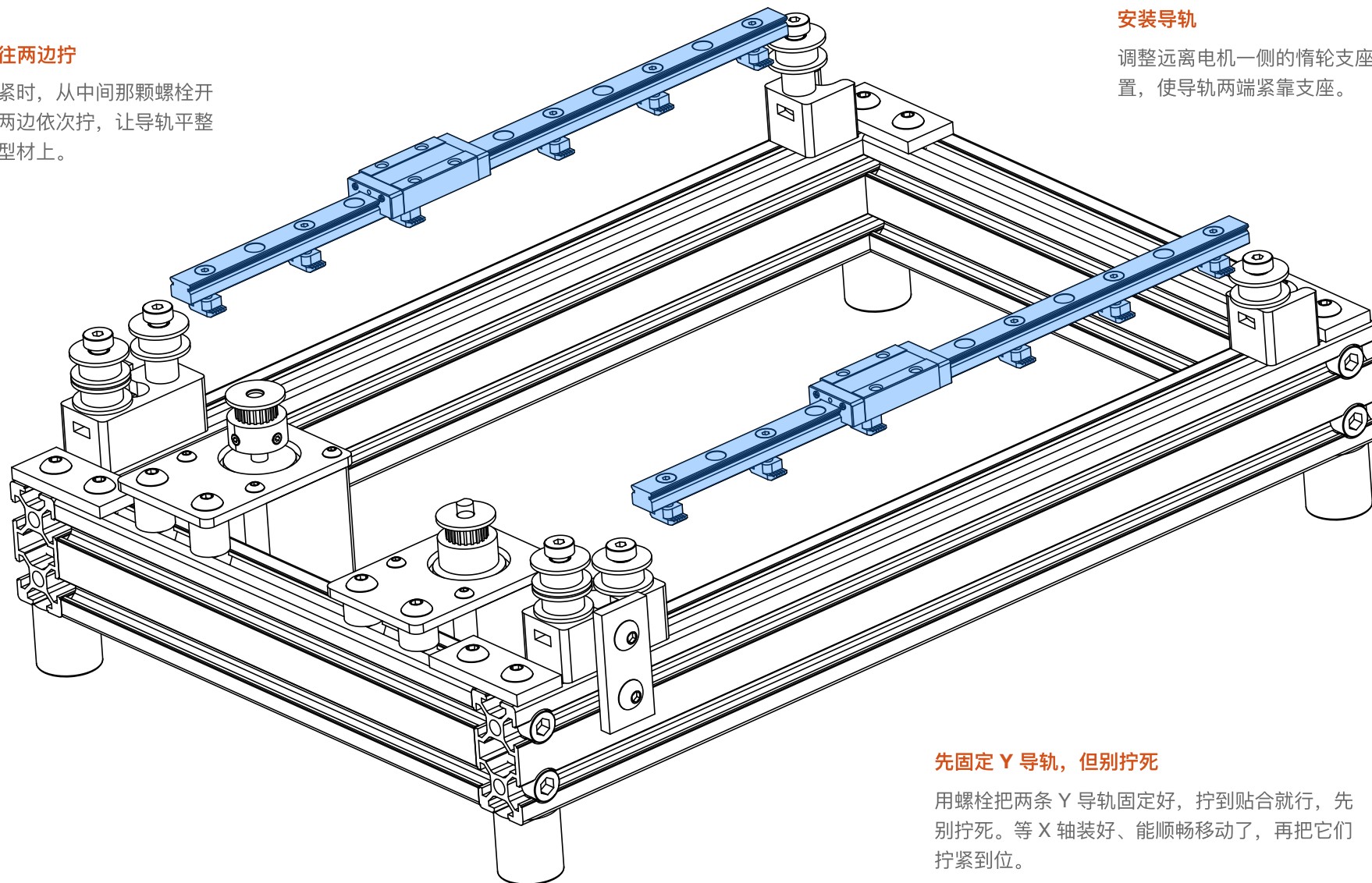
组件	规格	数量
直线导轨	MGN9H, 240 mm	2
沉头螺栓	M3×10	12
T 型螺母	船形螺母 M3	12

从中间往两边拧

正式拧紧时，从中间那颗螺栓开始，往两边依次拧，让导轨平整地贴在型材上。

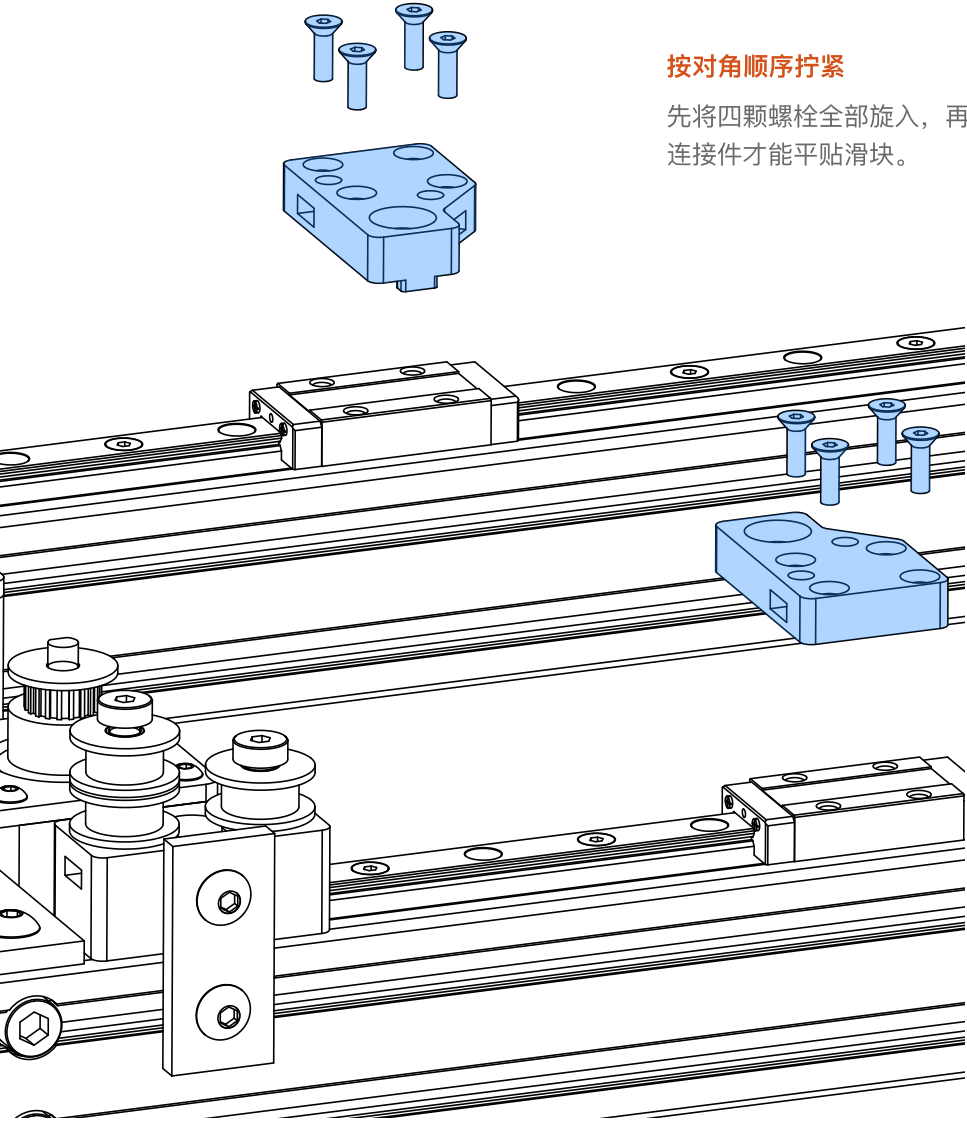
安装导轨

调整远离电机一侧的惰轮支座位置，使导轨两端紧靠支座。

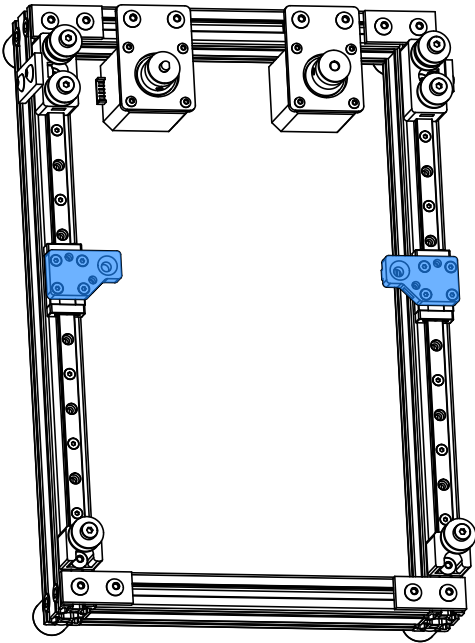


先固定 Y 导轨，但别拧死

用螺栓把两条 Y 导轨固定好，拧到贴合就行，先别拧死。等 X 轴装好、能顺畅移动了，再把它们拧紧到位。



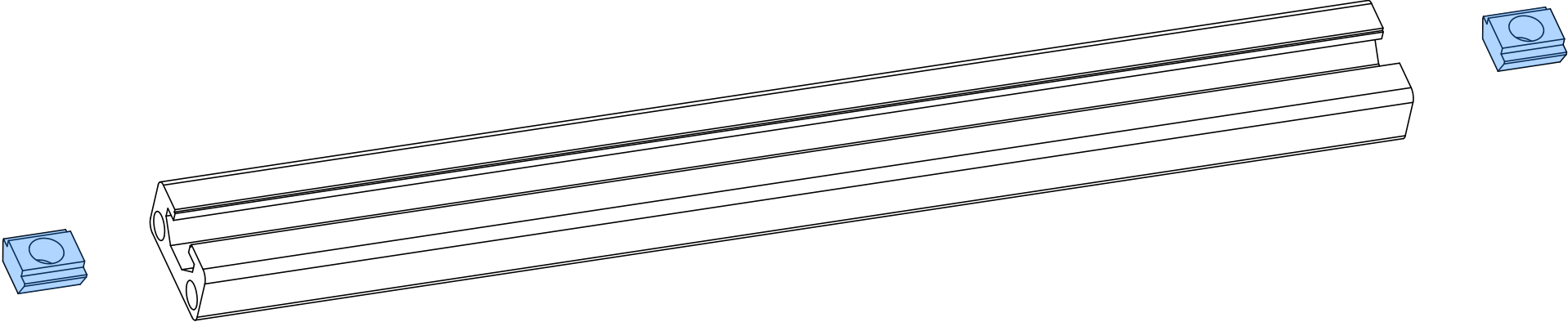
按对角顺序拧紧
先将四颗螺栓全部旋入，再两两对角拧紧，这样连接件才能平贴滑块。



平直的一面朝电机
左右两个连接件互为镜像。安装时让每个连接件平直的一面都朝向电机。

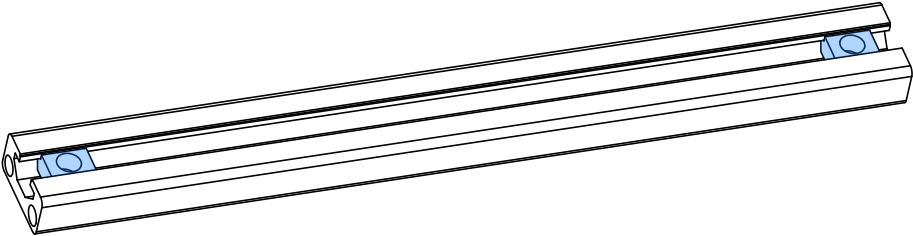
物料清单

组件	规格	数量
XY 连接件（左）	SLS/MJF 3D 打印	1
XY 连接件（右）	SLS/MJF 3D 打印	1
沉头螺栓	M3×10	8



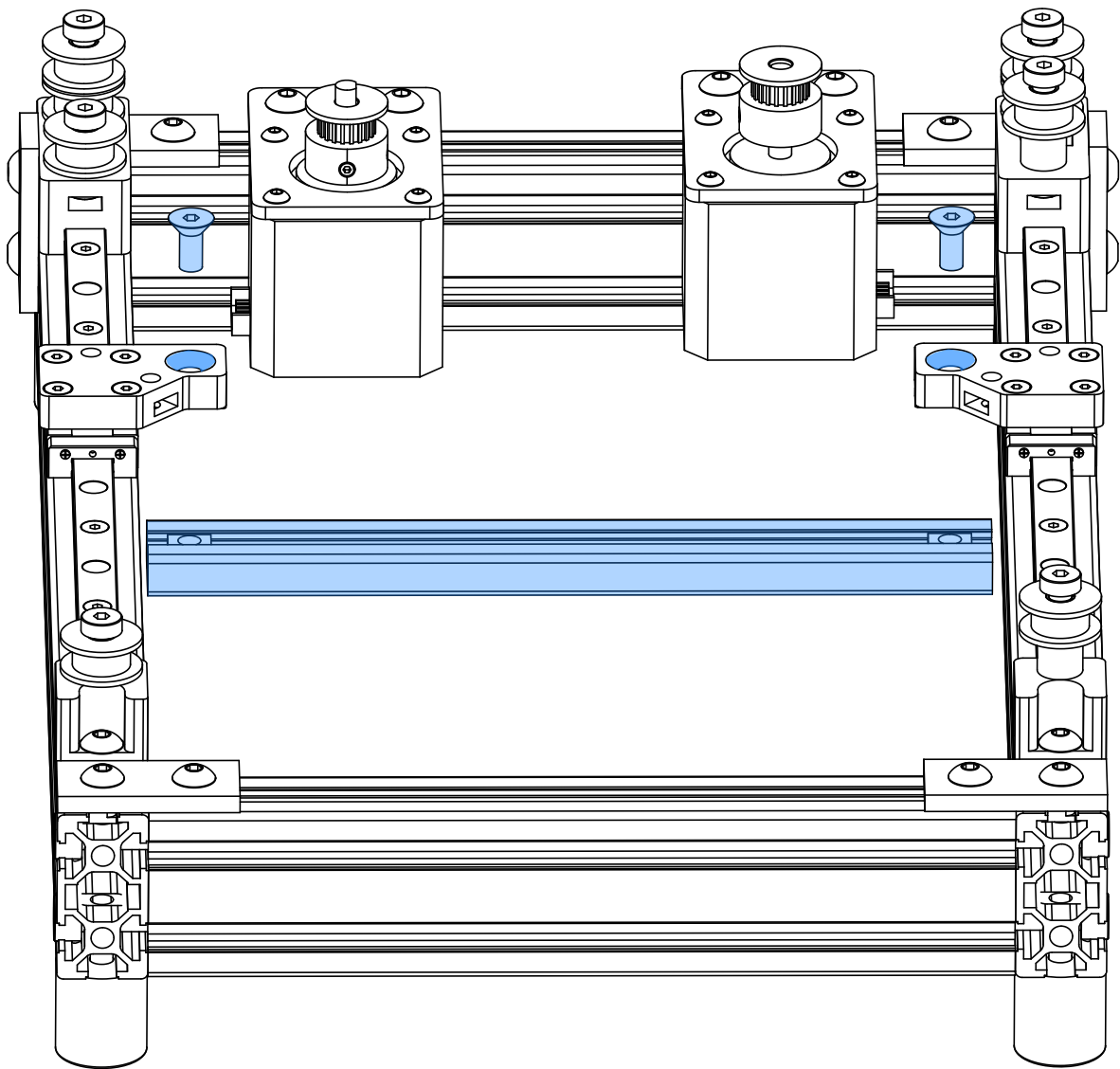
先装好 X 横梁的 T 型螺母

把两颗 M5 T 型螺母从两端滑进去。



物料清单

组件	规格	数量
1020 铝型材	185 mm	1
T 型螺母	滑块螺母 M5	2



检查 X 横梁滑动是否顺畅

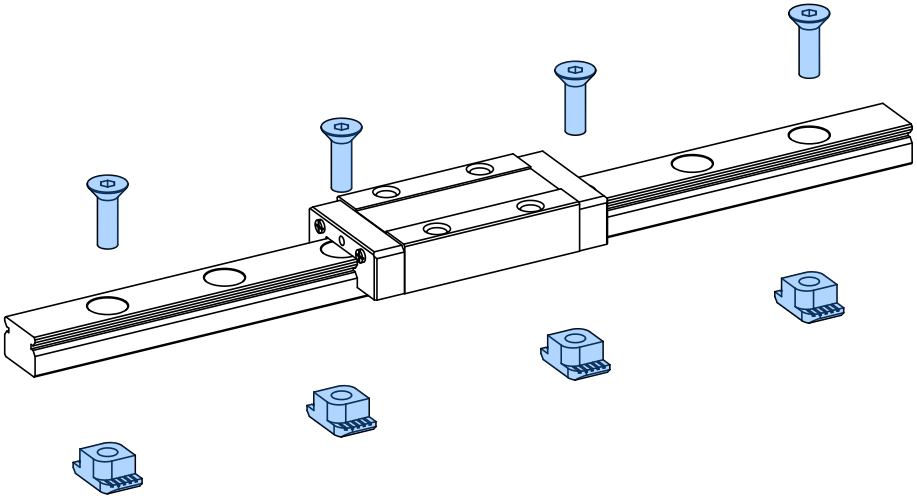
X 横梁应该能沿 Y 导轨自由滑动。
若滑动发涩，先把 Y 导轨重新校正到顺畅，再从中间那颗螺栓往两边拧紧。

需要耐心

调试往往无法一次到位。先拧紧部分螺栓，推动 X 横梁感受滑动阻力，再微调 Y 导轨，如此反复。可能要来回调整几分钟，横梁才能顺畅滑动。

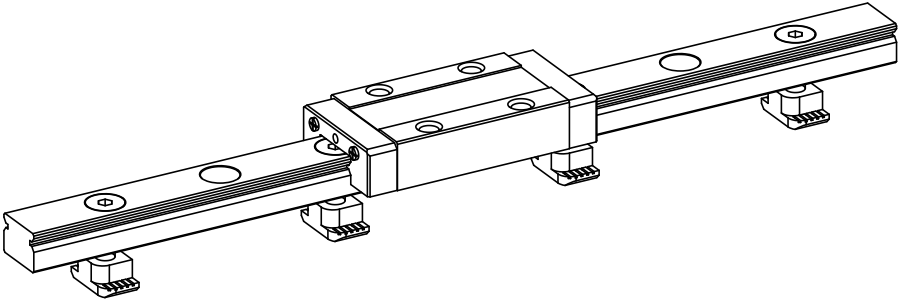
物料清单

组件	规格	数量
沉头螺栓	M5×12	2



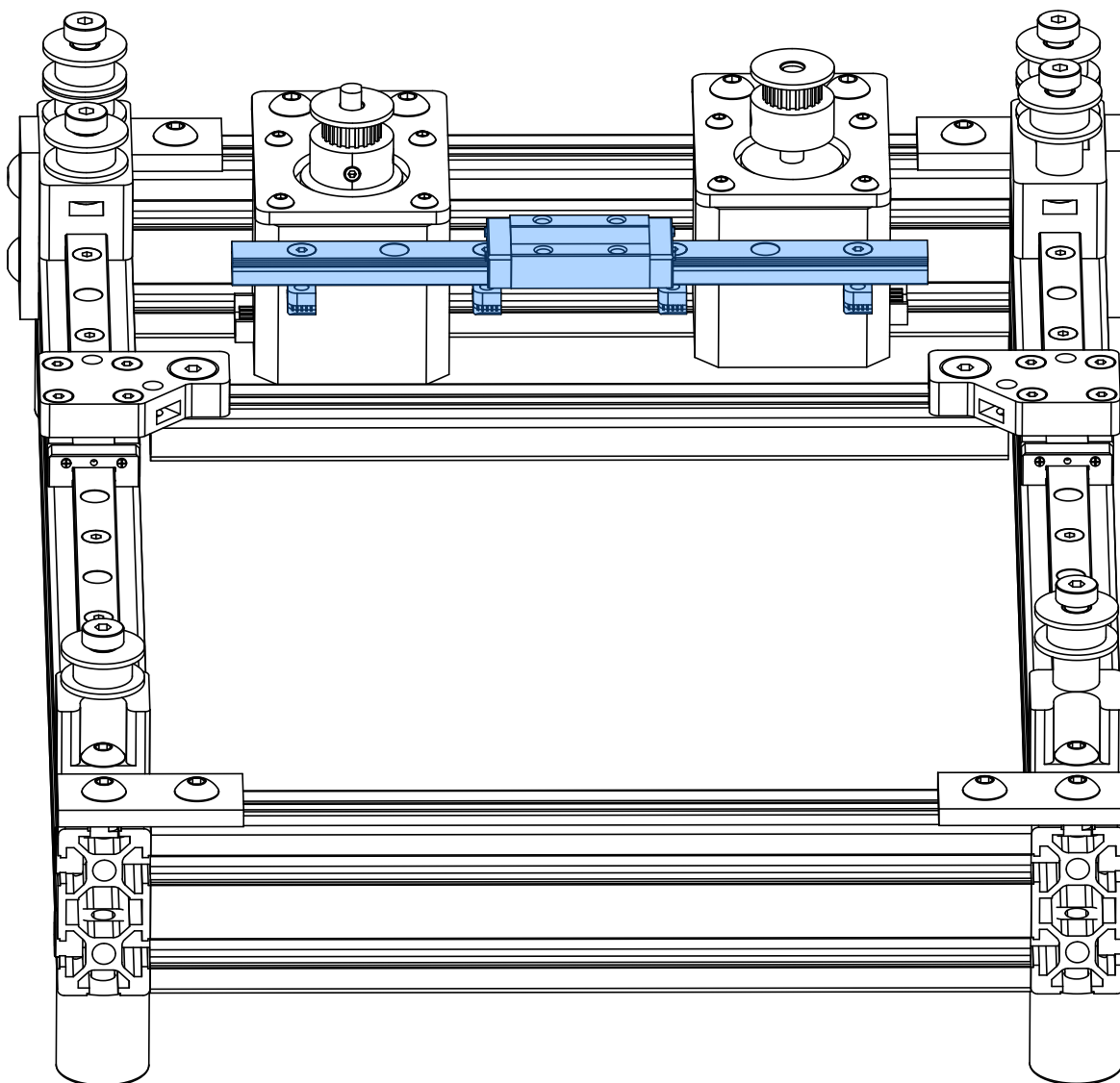
X 导轨

这条导轨的装法和 Y 导轨一样：先让 T 型螺母松松地吊着，放进滑槽后，再拧紧。



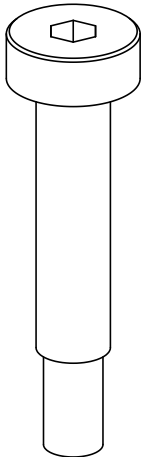
物料清单

组件	规格	数量
直线导轨	MGN9H, 150 mm	1
沉头螺栓	M3×10	4
T 型螺母	船形螺母 M3	4



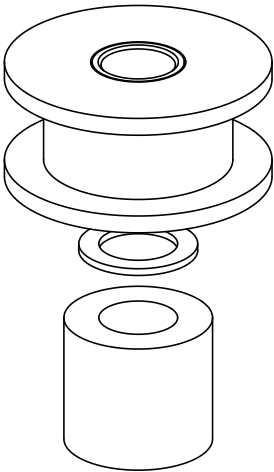
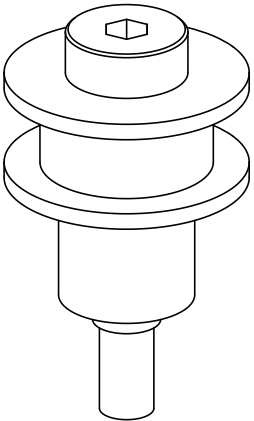
检查两根轴都能自由移动

X 导轨现在已经装到 X 横梁上了。确认它的滑块能沿 X 导轨顺畅滑动，整根横梁也还能沿 Y 导轨自由移动。哪一处不顺畅，就校正那条导轨，再从中间往两边重新拧紧。



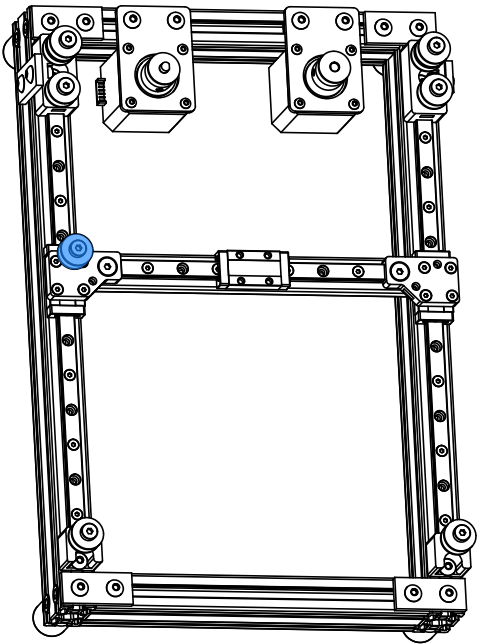
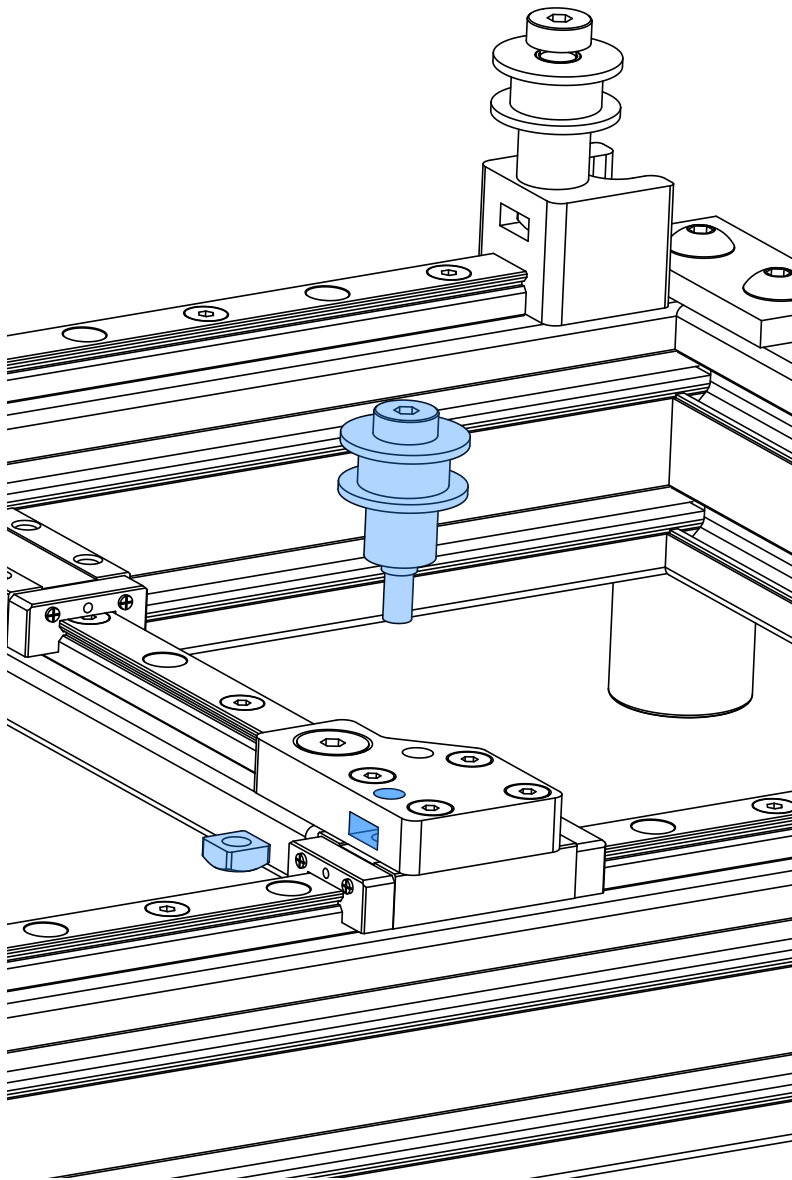
电机 B 的惰轮——位置较高

这个惰轮装在左连接件上，走电机 B 的同步带。
9 mm 轴套把它垫得比其他惰轮高，让这条带留在上层平面。



物料清单

组件	规格	数量
惰轮	GT2 20T, 光面	1
轴肩螺栓	Ø5×20×M4	1
轴套	5×10×9	1
垫片	5×8×0.5	1

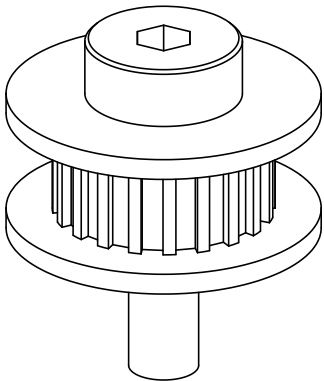
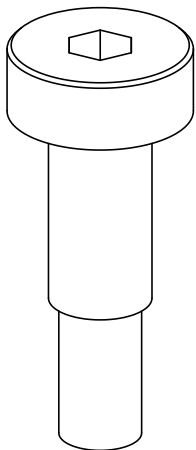


用对孔位

惰轮装在左连接件上面那个孔，注意别装错孔。

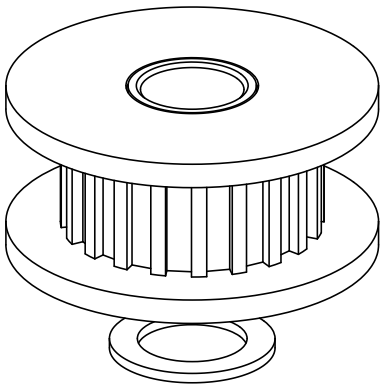
物料清单

组件	规格	数量
四方螺母	M4	1



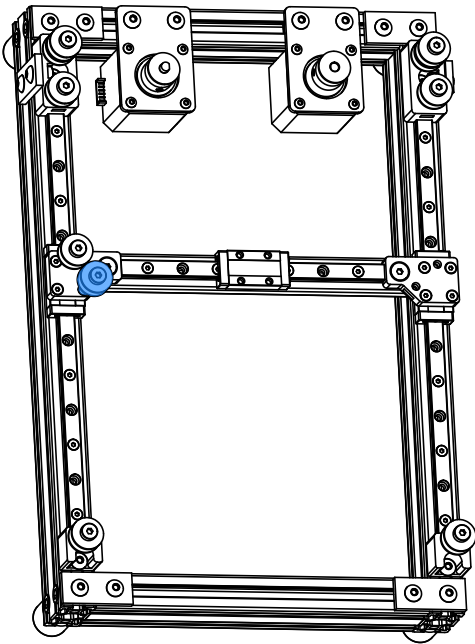
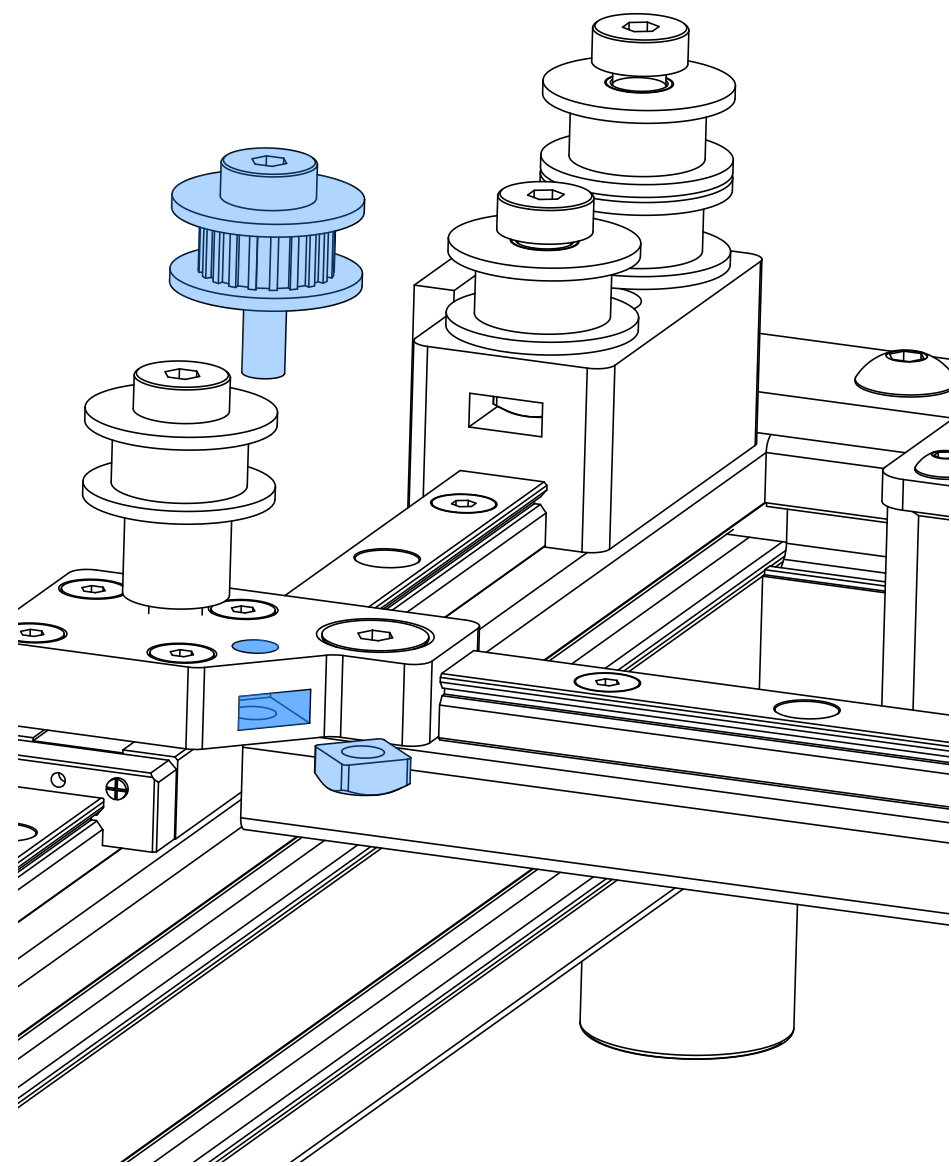
电机 A 的惰轮——位置较低
这里用带齿的惰轮，不是光面的。

它走电机 A 的同步带，不加轴套，走下层那条带的平面。



物料清单

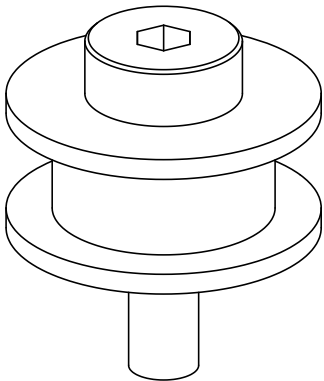
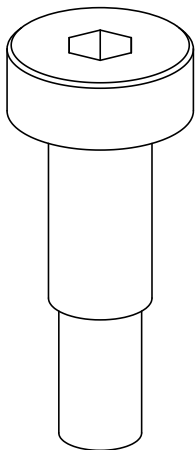
组件	规格	数量
惰轮	GT2 20T，带齿	1
轴肩螺栓	Ø5×10×M4	1
垫片	5×8×0.5	1



装到正确的位置
拧紧前，确认惰轮已经落在连接件上正确的位置。

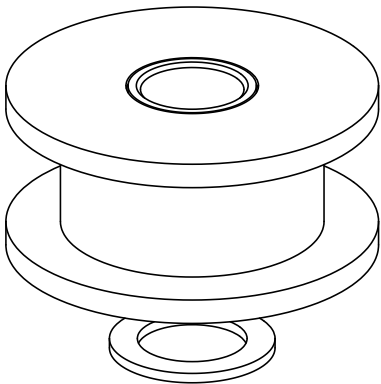
物料清单

组件	规格	数量
四方螺母	M4	1



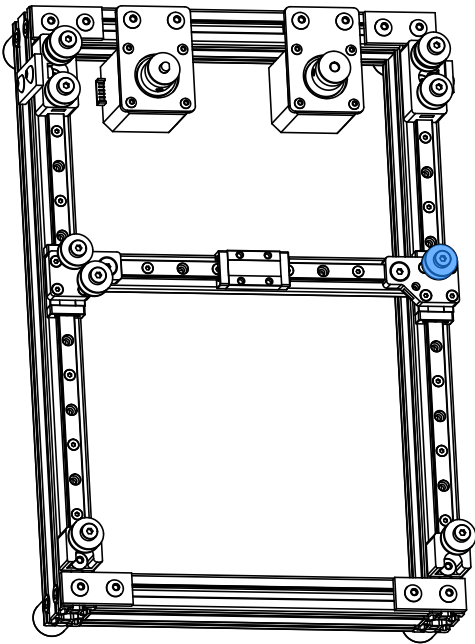
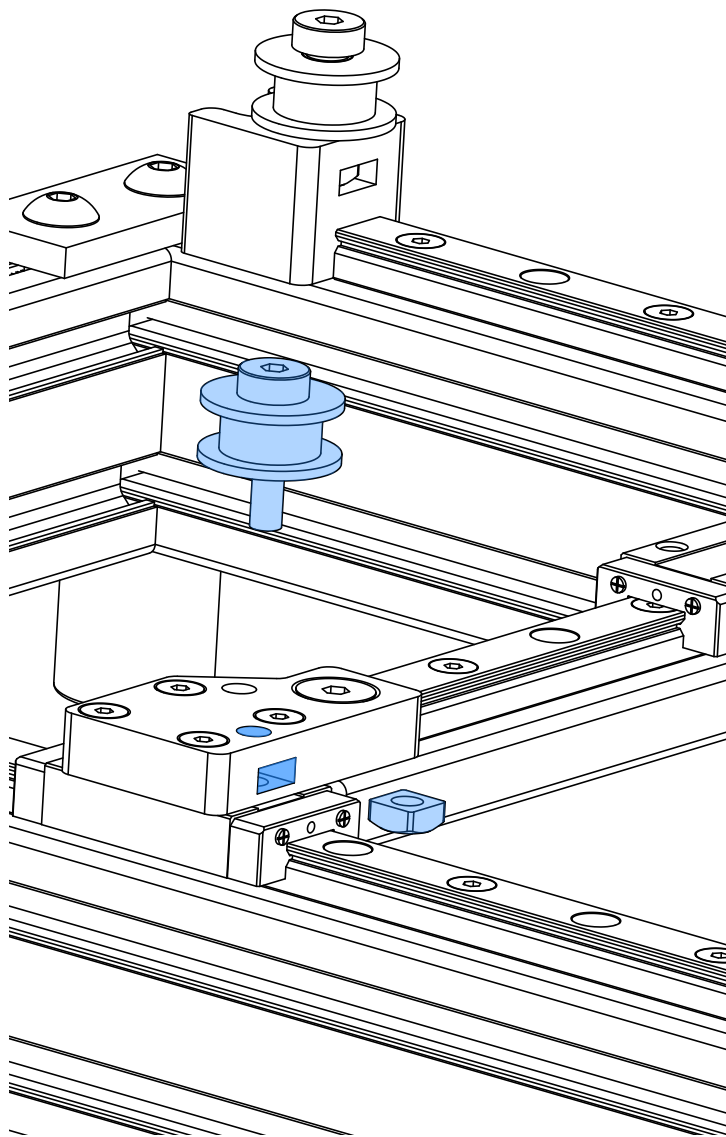
电机 A 的惰轮——位置较低

这个惰轮装在右连接件上面那个孔，走电机 A 的同步带。不加轴套，它落在下层那条带的平面上。



物料清单

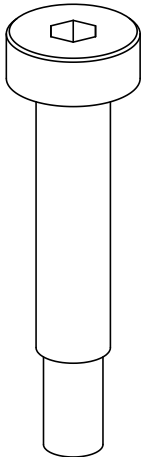
组件	规格	数量
惰轮	GT2 20T, 光面	1
轴肩螺栓	Ø5×10×M4	1
垫片	5×8×0.5	1



装到正确的位置
拧紧前，确认惰轮已经落在连接件上正确的位置。

物料清单

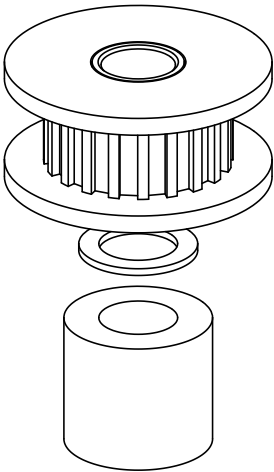
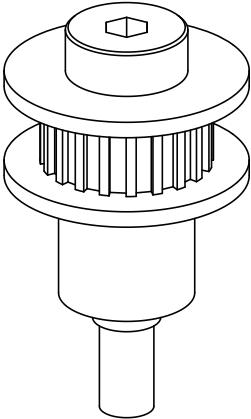
组件	规格	数量
四方螺母	M4	1



电机 B 的惰轮——位置较高

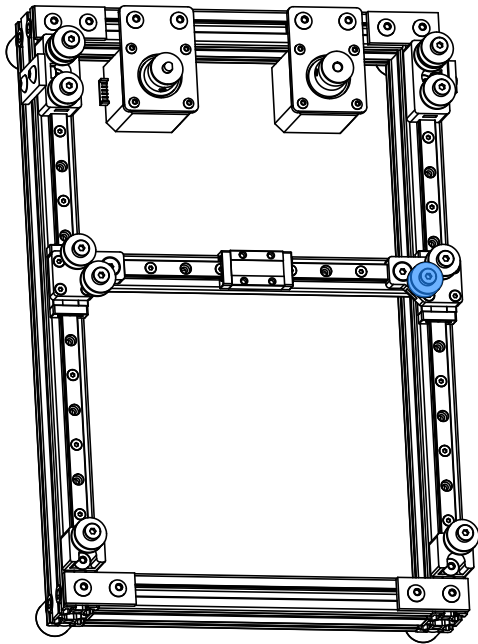
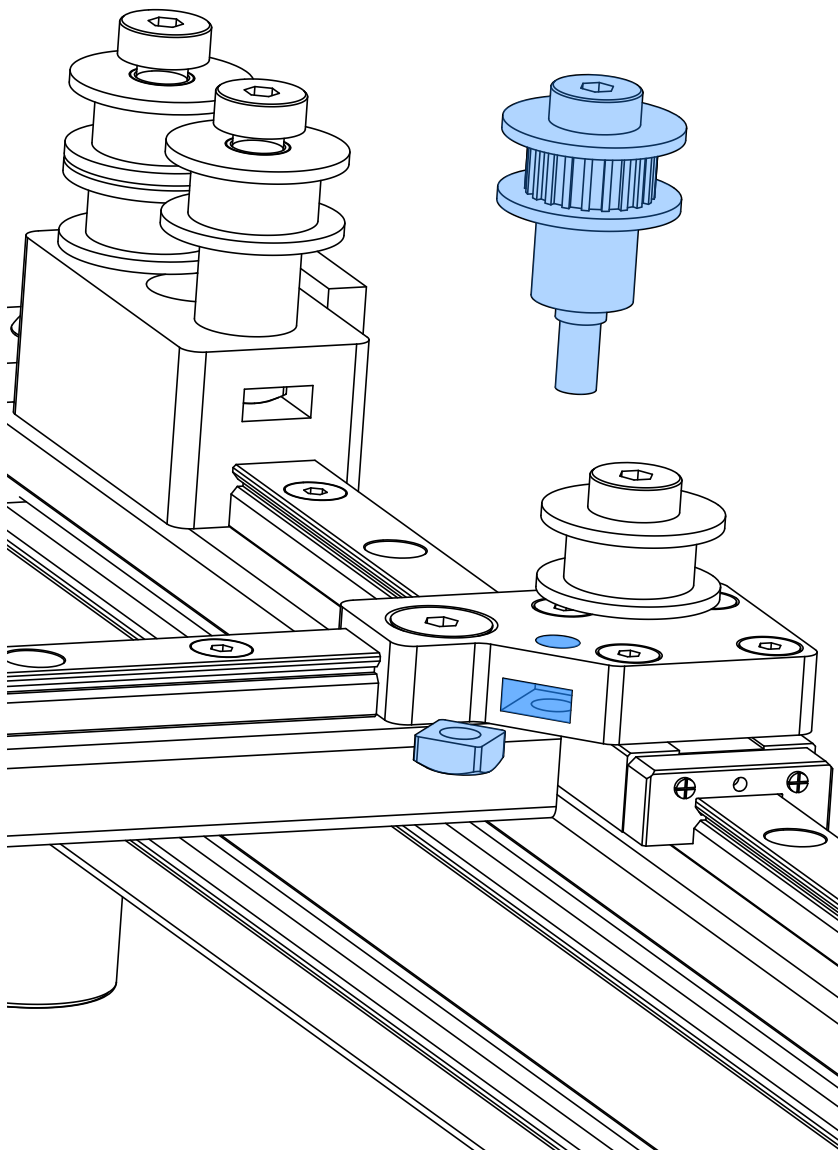
这里用带齿的惰轮，不是光面的。

它走电机 B 的同步带，加了 9 mm 轴套，走上层那条带的平面。



物料清单

组件	规格	数量
惰轮	GT2 20T, 带齿	1
轴肩螺栓	Ø5×20×M4	1
轴套	5×10×9	1
垫片	5×8×0.5	1



检查全部四个惰轮

四个惰轮现在都装到 XY 连接件上了。再逐个确认每个惰轮都在正确的位置。

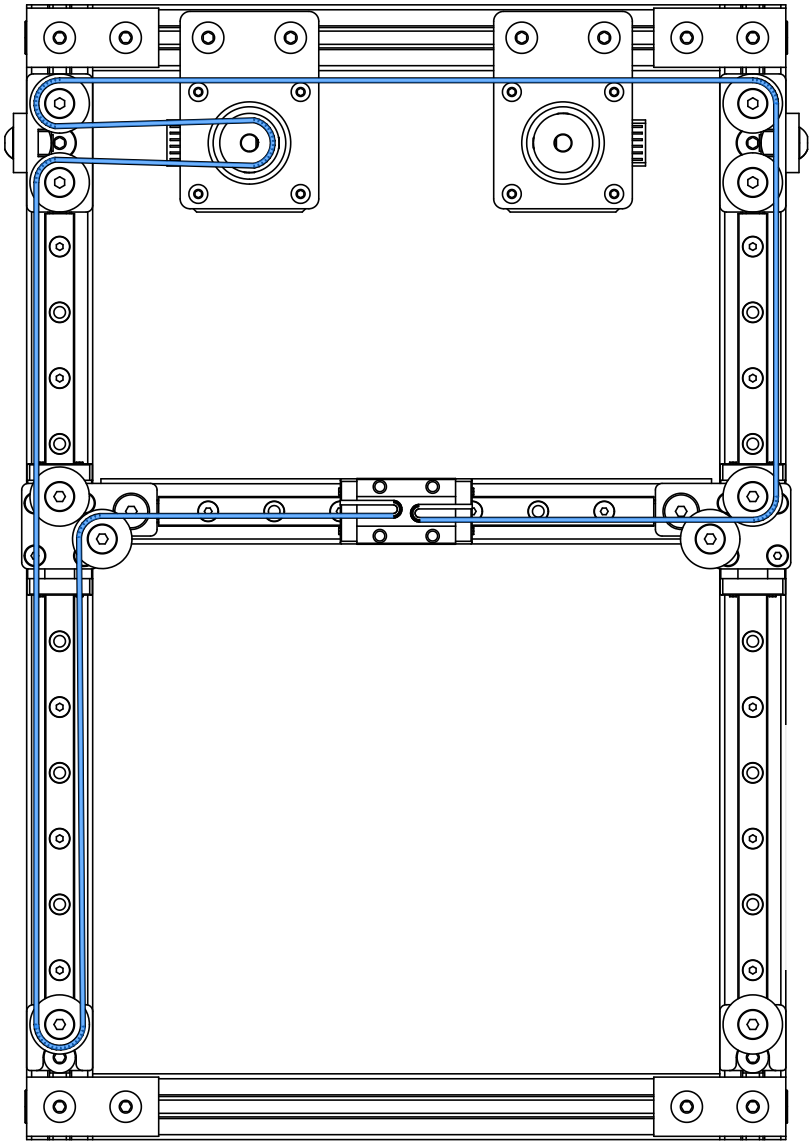
物料清单

组件	规格	数量
四方螺母	M4	1

第 05 节

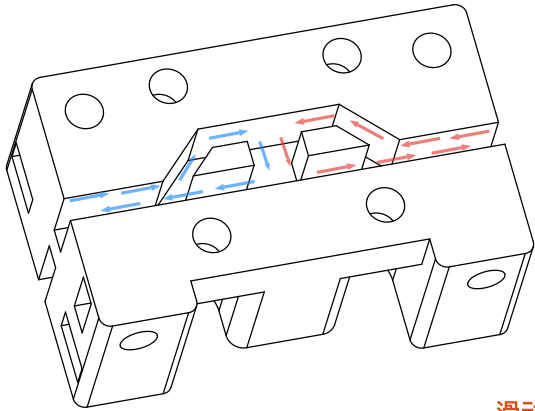
同步带

PhysiClaw 的 CoreXY 由 A、B 两条 GT2 同步带驱动，分走上下两层平面，互不交叉。两条带张力一致，运动才准确。



装电机 A 的同步带

电机 A 的同步带是一整根开口带，两端都夹在 X 滑座上。整条带要始终平整地落在同一平面，全程不能打绞。齿面咬住带齿的同步轮，光背贴着光面惰轮滑动。



滑动电机来张紧

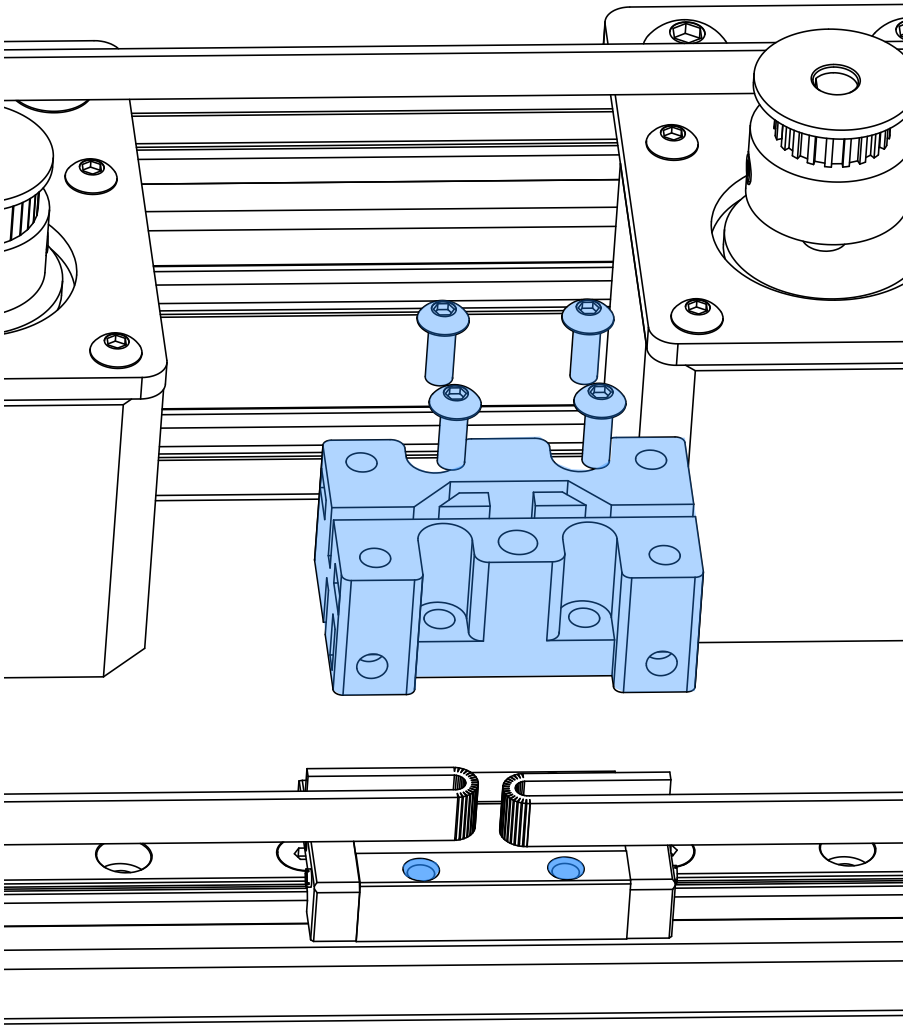
电机 A 的两颗 M5 螺栓先别拧紧。把同步带两端都夹进夹具，再滑动电机张紧。

夹具能自己锁住

把同步带每一端塞进夹具底部的槽，绕过立柱，再往回折叠压住自身，让齿对齿咬合。靠这层齿咬齿，不用任何紧固件就能固定住带。

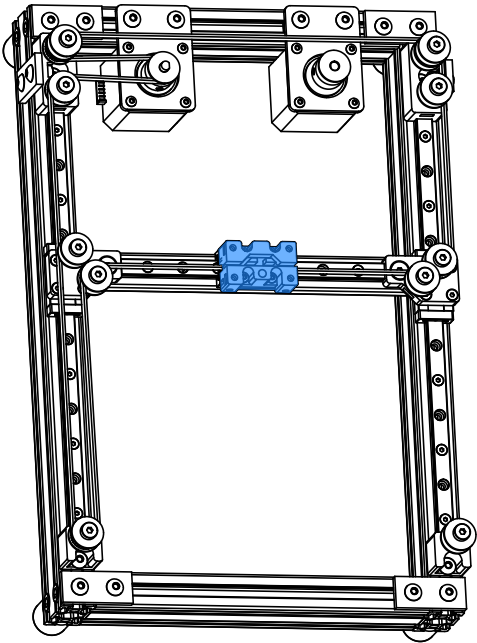
物料清单

组件	规格	数量
同步带	GT2-6 mm，开口带	1



电机 B 的带长要一致

把电机 A 的同步带装进
夹具之前，先照它的长度
再剪一条作电机 B 的同步带。两条必须一样长。

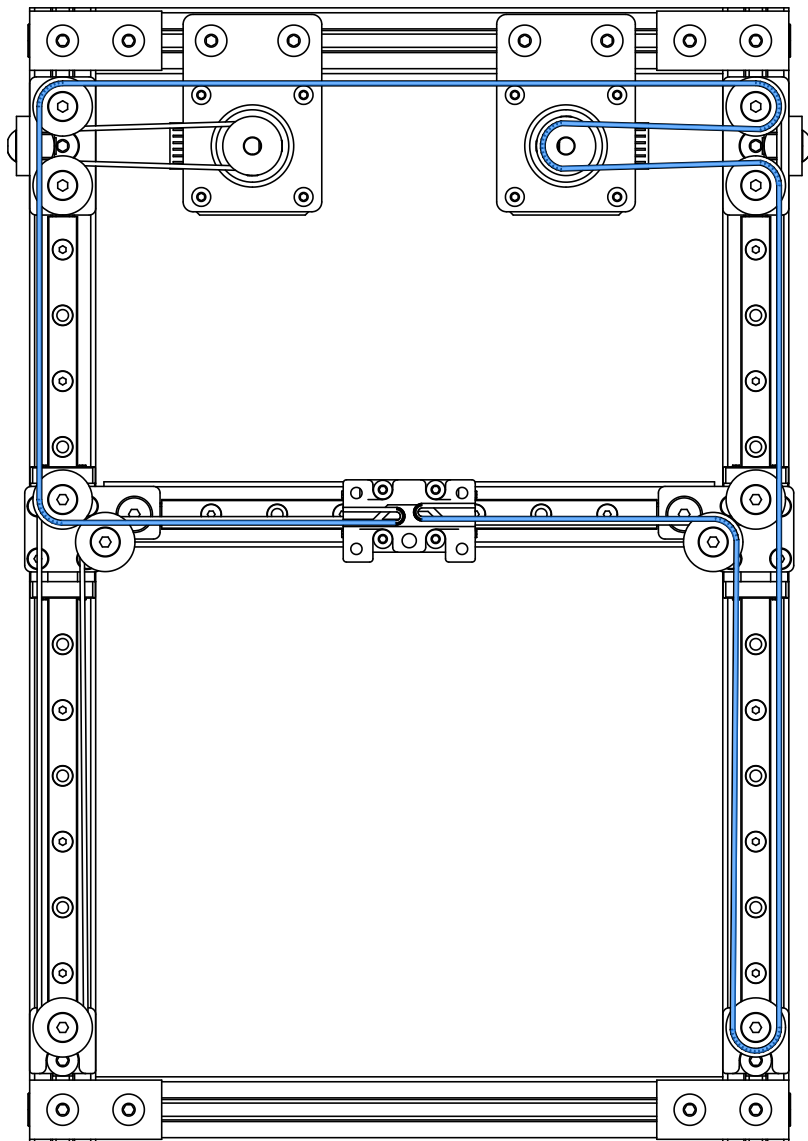


先夹好同步带，再装夹具

把夹具固定到 X 滑座之前，先确认电机 A 的同步带已卡
进夹具底部的槽。

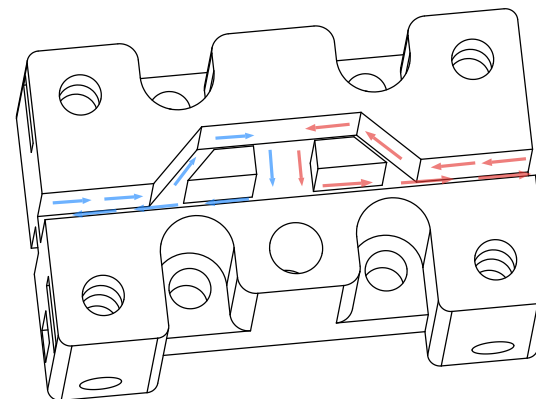
物料清单

组件	规格	数量
同步带夹具	SLS/MJF 3D 打印	1
半圆头螺栓	M3×8	4



装电机 B 的同步带

把电机 B 的同步带安装在上层惰轮平面上，不要与电机 A 的同步带交叉，两端同样夹到 X 滑座上，装法和电机 A 的同步带一致。

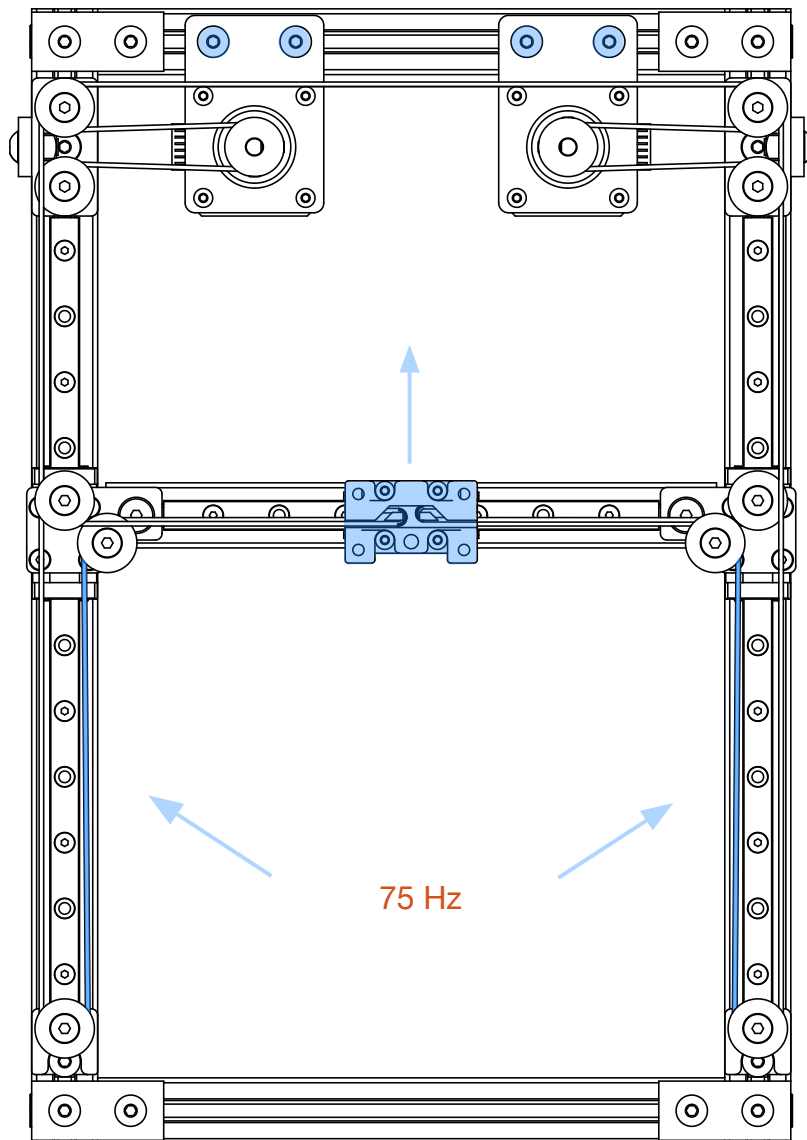


检查同步带

两条带都装好后，用手推动滑座，沿各个方向走完整个行程。推起来应当全程顺滑、阻力均匀。你感到的那点阻力，只应来自电机本身。一边推一边确认：没有卡滞、没有蹭碰、带不打绞、没有怪声，两条带也各自待在自己的平面上。

螺纹胶加固

若同步轮的紧定螺钉还没涂螺纹胶，趁现在同步带运行良好，把胶涂上。



同步带张力

对 CoreXY 运动系统来说，两条同步带张力一致非常关键。哪怕略有差别，运动也会偏斜。要微调某条带的张力，调整对应电机的位置即可。

拨一拨同步带

想快速检查，把 X 滑座推到电机一侧到底，用手指拨一拨图中指出的两条带。两条带手感和声音应当差不多。音高一致，张力就大致相等。

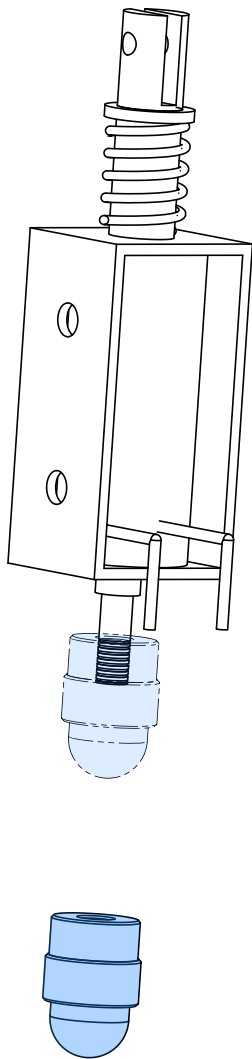
220 mm 处 75 Hz

想精确检查，把 X 滑座停在标记位置，用手机上的调音 app 分别测每条带。拨动带，把频率调到 75 Hz。两条读数一致，张力就对了。

第 06 节

触控机构

把电容触控笔尖装到推拉式电磁铁上，再一起装到 X 滑座上。

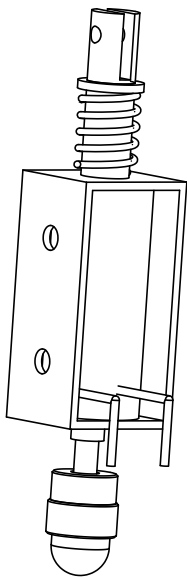


装上触控笔尖

电磁铁出厂时底端拧着一颗螺母。
拧下螺母，换上触控笔尖，拧到原
来的位置。

电磁铁安装孔

两个 M3 孔，间距 15 mm。

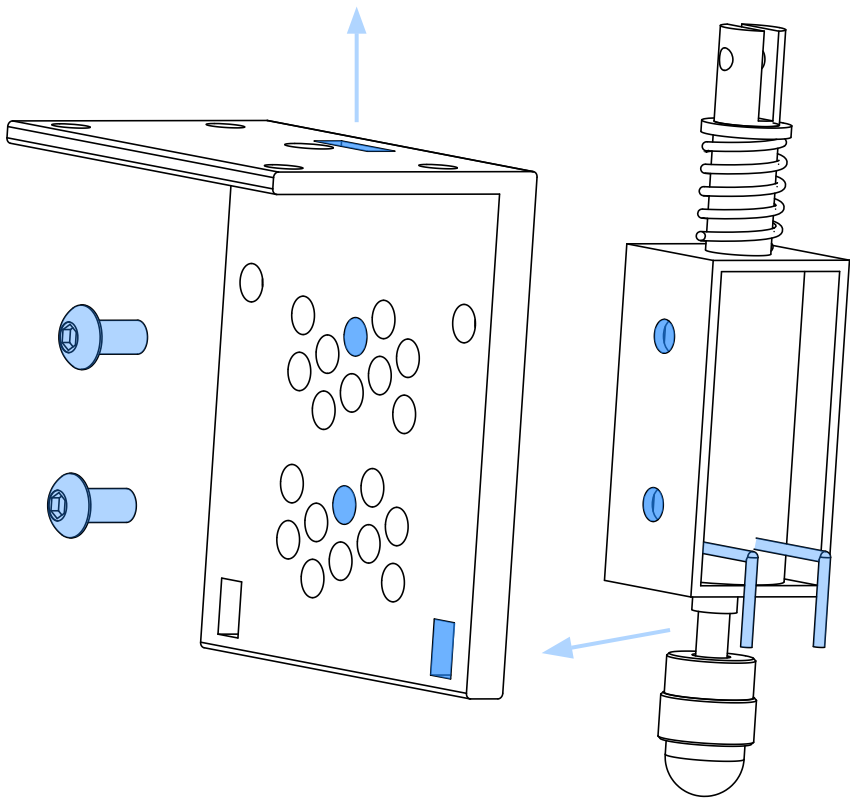


物料清单

组件	规格	数量
推拉式电磁铁	12 V，2×M3，孔距 15 mm	1
触控笔尖	导电布头 Ø7 mm	1

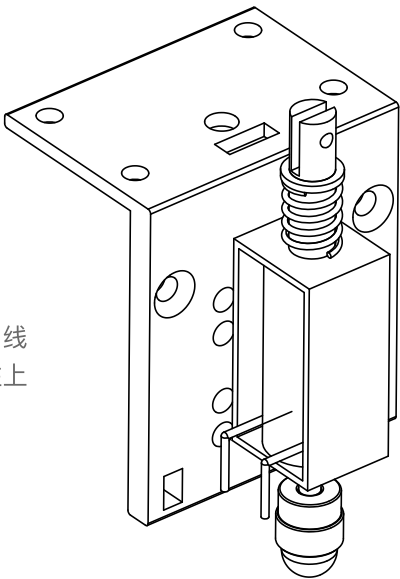
10 对孔，用来调高度

支架上有 10 对孔，相邻两对相隔 1 mm。现在先选一对装上，以后能以 1 mm 为一档把触控笔调高或调低。



电源线走线

按图所示，把电磁铁的正负极引线从支架侧面的方孔穿进去，再往上从顶部的方孔引出来。

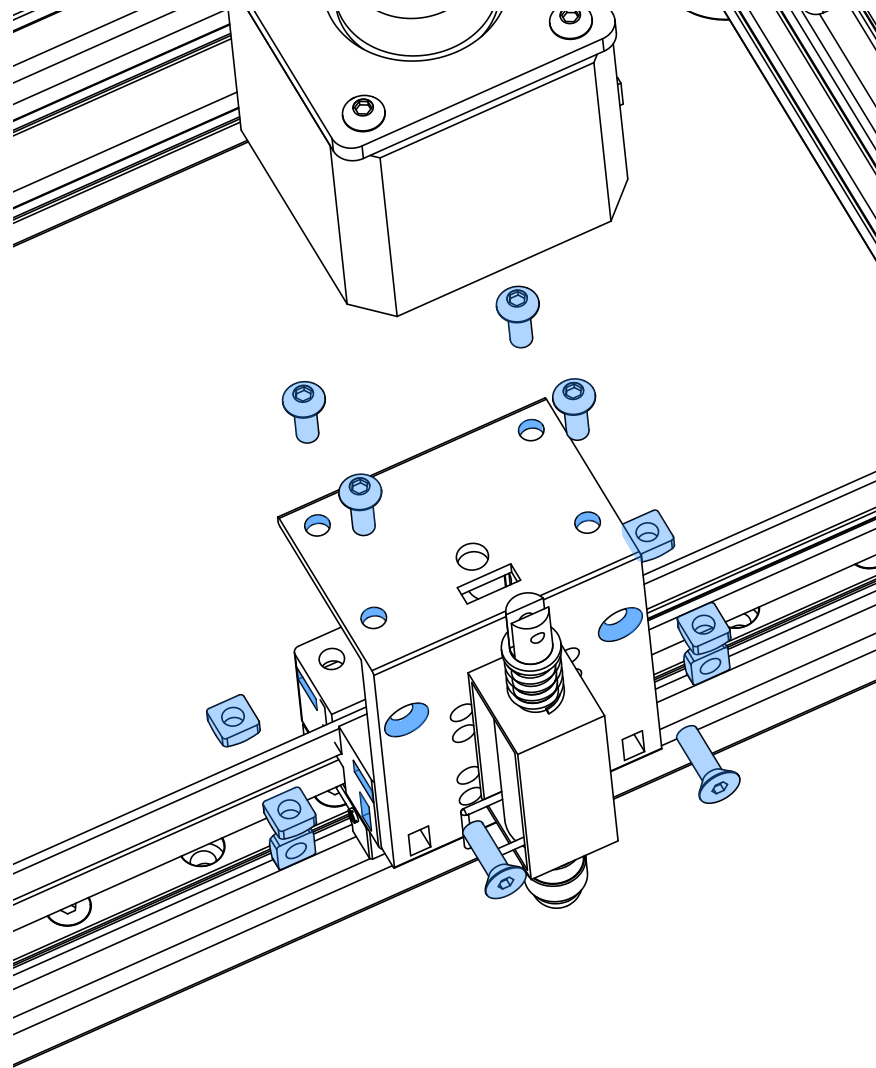


电磁铁接地

把接地线的裸露铜线夹在电磁铁外壳和支架之间，拧上螺栓压紧，这样电磁铁就接好了地。再把接地线从下方另一个方孔穿出，与电源线汇合。

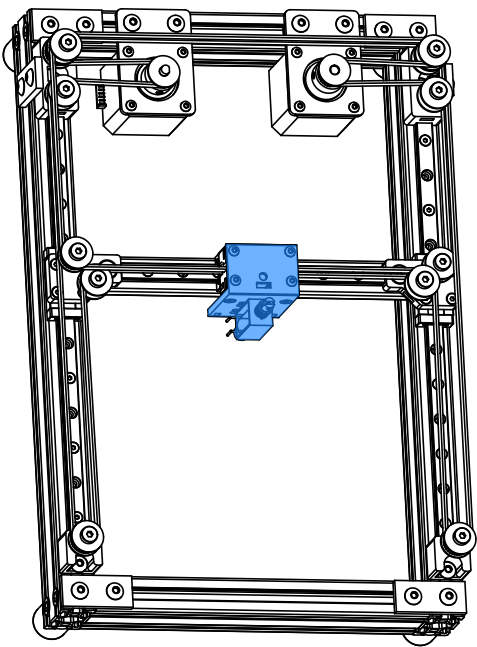
物料清单

组件	规格	数量
电磁铁支架	SLS/MJF 3D 打印	1
半圆头螺栓	M3×6	2



把电磁铁装到夹具上

六颗螺栓把电磁铁总成固定在夹具上。以后想调触控笔的高度，松开这几颗螺栓，换到另一对孔上重新装好就行。



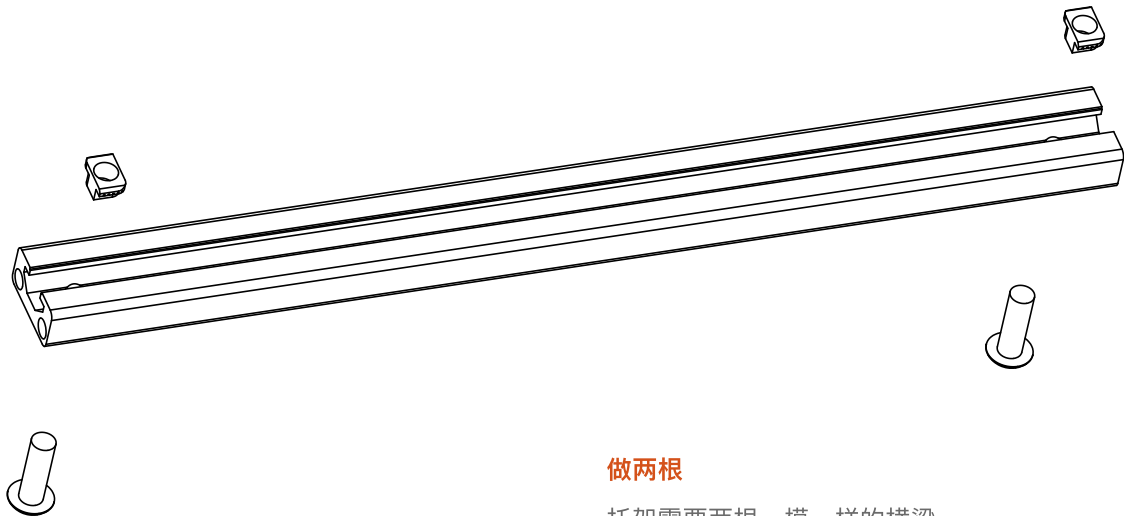
物料清单

组件	规格	数量
半圆头螺栓	M3×8	4
沉头螺栓	M3×10	2
四方螺母	M3	6

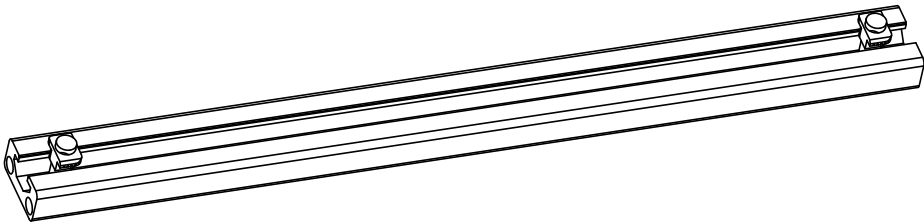
第 07 节

手机托架

两根横梁装在框架底面，托起 3D 打印的手机托架。手机屏幕朝上放进托架，左上角顶住托架内角，水平正对触控笔。

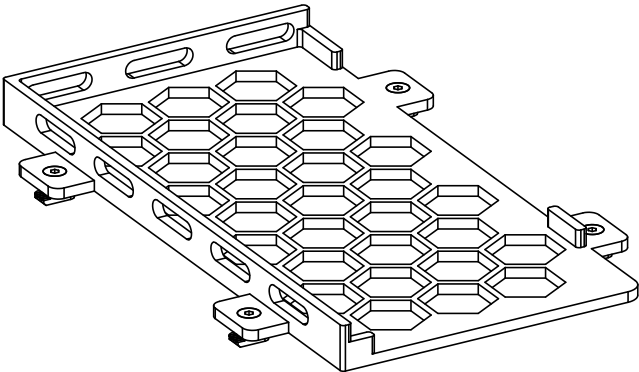
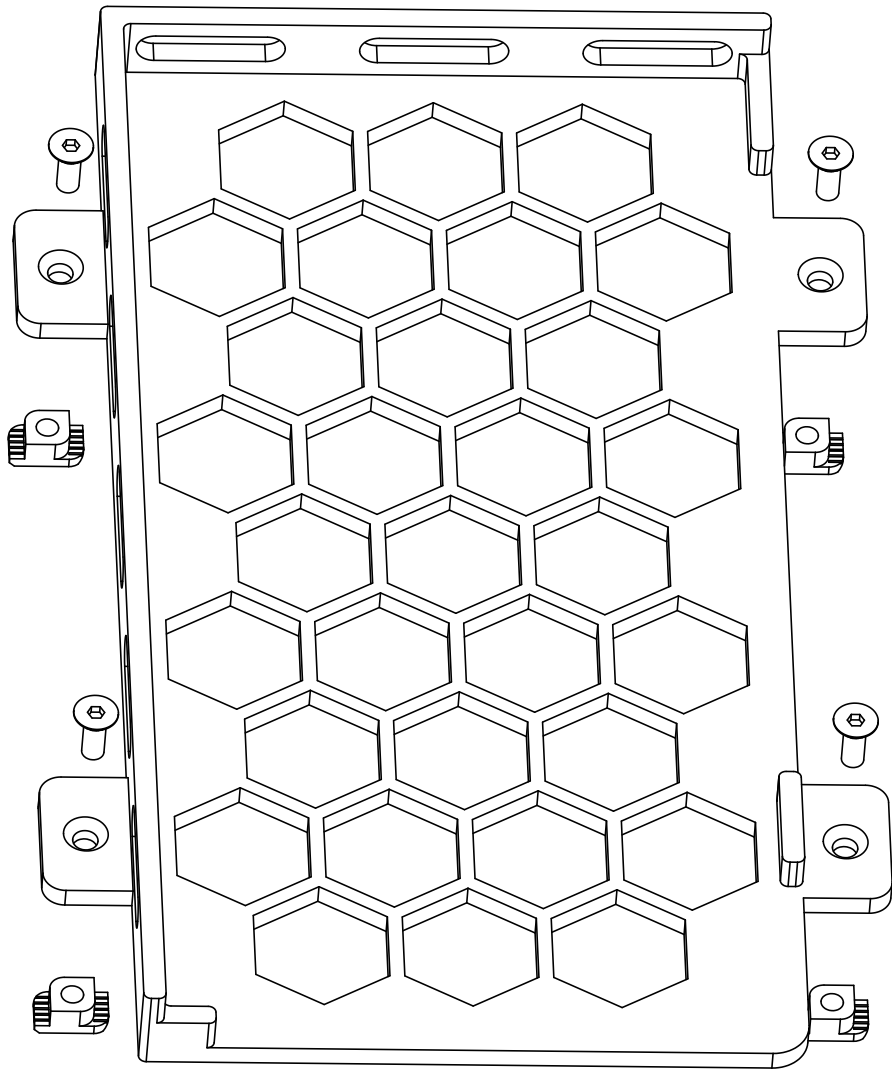


做两根
托架需要两根一模一样的横梁。



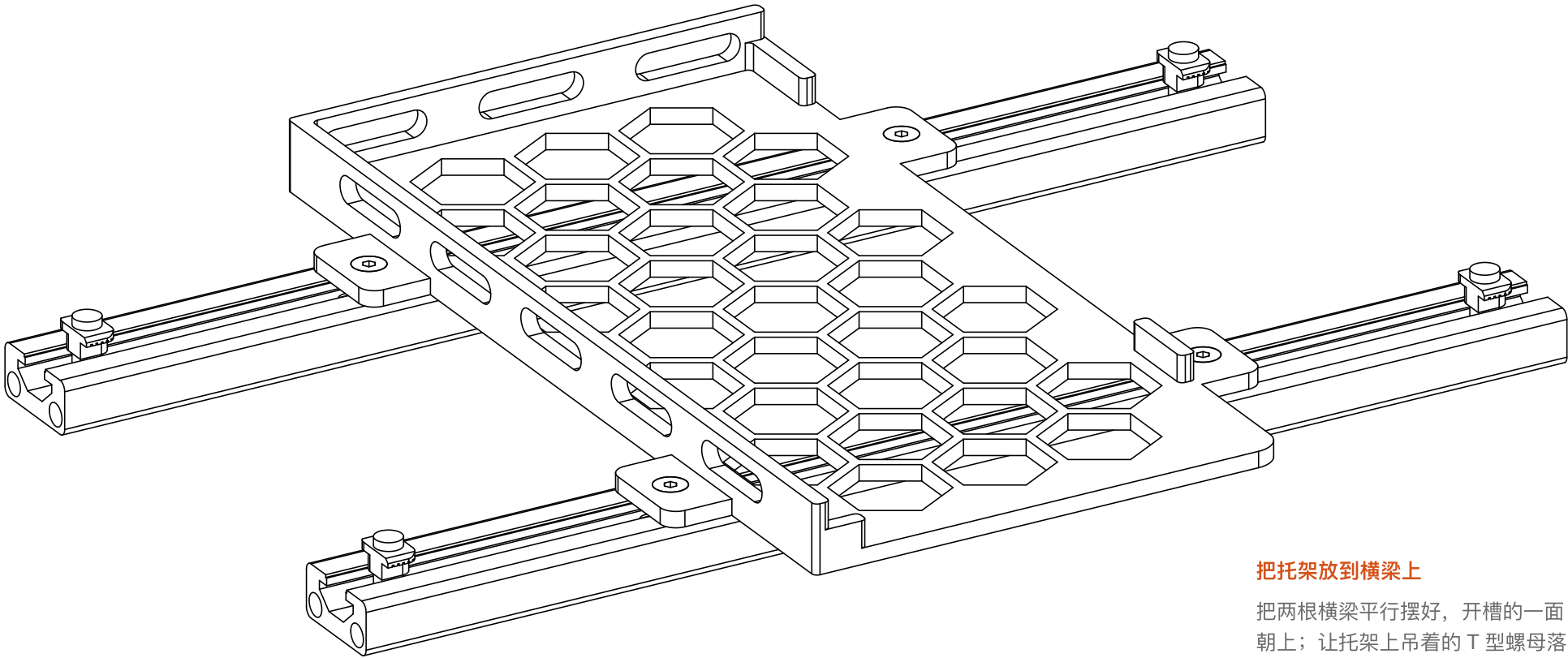
物料清单

组件	规格	数量
1020 铝型材	230 mm, 端孔 M5	2
半圆头螺栓	M5×16	4
T 型螺母	船形螺母 M5	4



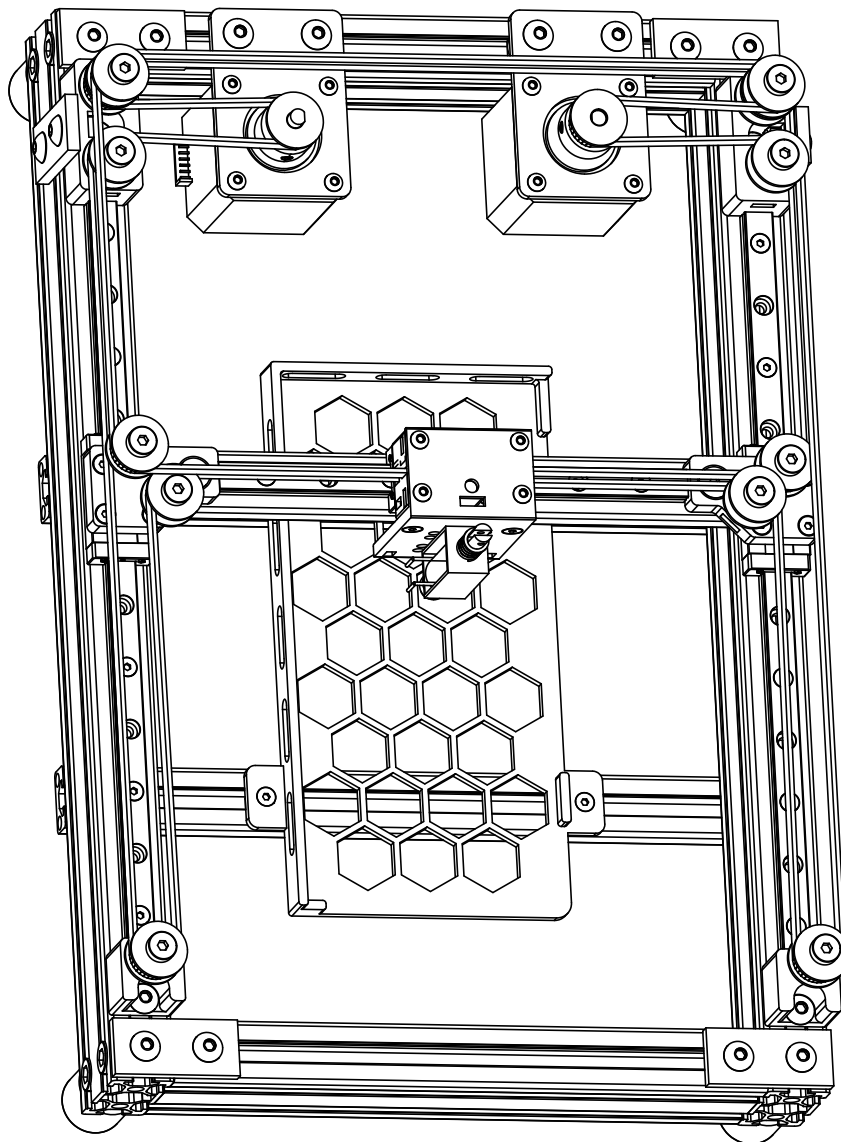
物料清单

组件	规格	数量
手机托架	SLS/MJF 3D 打印	1
沉头螺栓	M3×8	4
T 型螺母	船形螺母 M3	4



把托架放到横梁上

把两根横梁平行摆好，开槽的一面朝上；让托架上吊着的 T 型螺母落进槽里，再拧紧。



安装手机托架

先把框架竖起来，立着干活要省事得多。再把每根横梁上的 T 型螺母滑进框架底面的型材槽里。

放手机

把手机放到托架上，左上角靠齐内角。让 X 滑座四处移动，确认触控笔尖能够到屏幕的每个位置。

调整电磁铁高度

调整电磁铁的安装高度，让笔尖恰好能稳定接触屏幕：装得太低，螺线管吸合不到位，电磁吸引力不够，压不住笔尖，笔尖被弹开，无法实现长按和划屏手势；装得太高，够不到屏幕或接触面太小。反复微调，直到笔尖和屏幕能稳定接触。



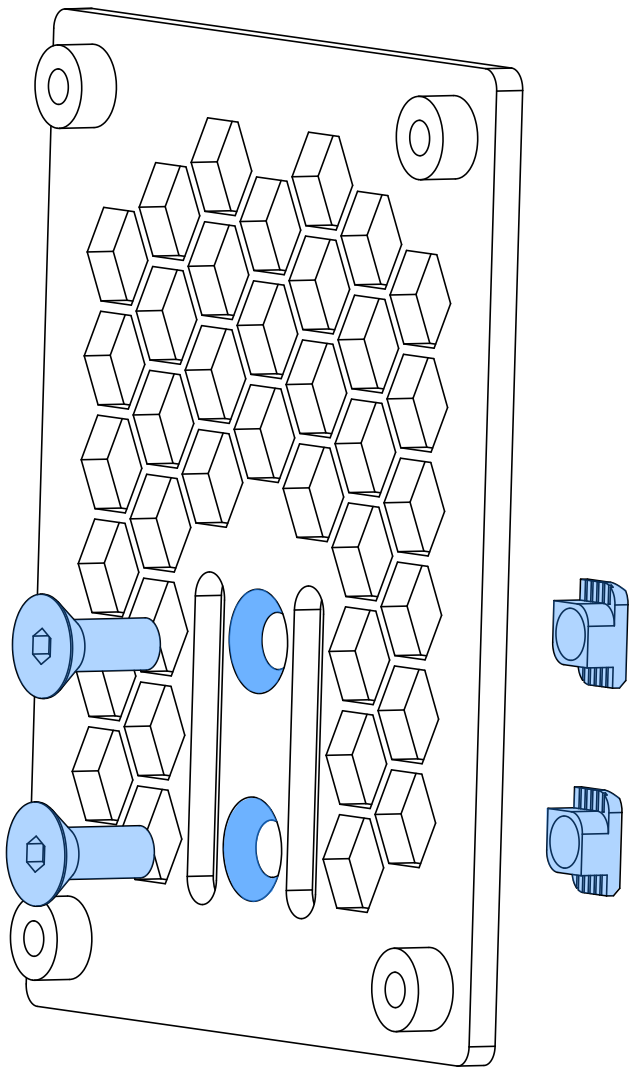
让屏幕保持水平

后置摄像头那块凸起会把一个角顶起来，手机就放不平。在偏低的那一边垫一片薄垫片或几张纸，直到屏幕水平、正对上方。还要确保点击时手机不会晃、不会移位。只要有一点歪或松，就可能点不准。

第 08 节

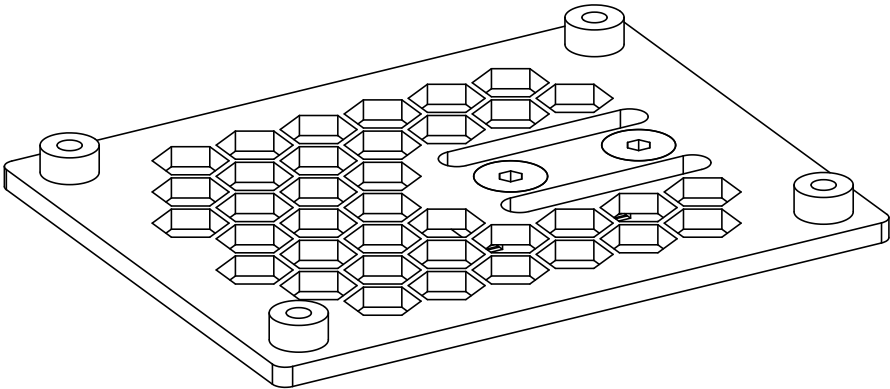
控制板

控制板固定在框架前方。电磁铁的导线与一根特氟龙管用螺旋缠绕带捆在一起，管子让线束变硬、能保持形状，避开电机和同步带。管子两端分别固定在框架上的支架和滑座上。



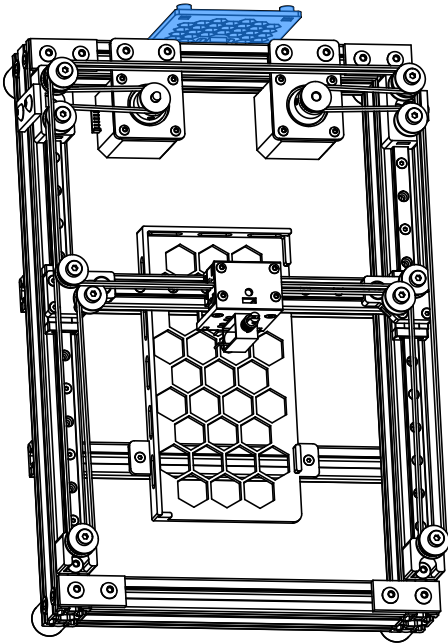
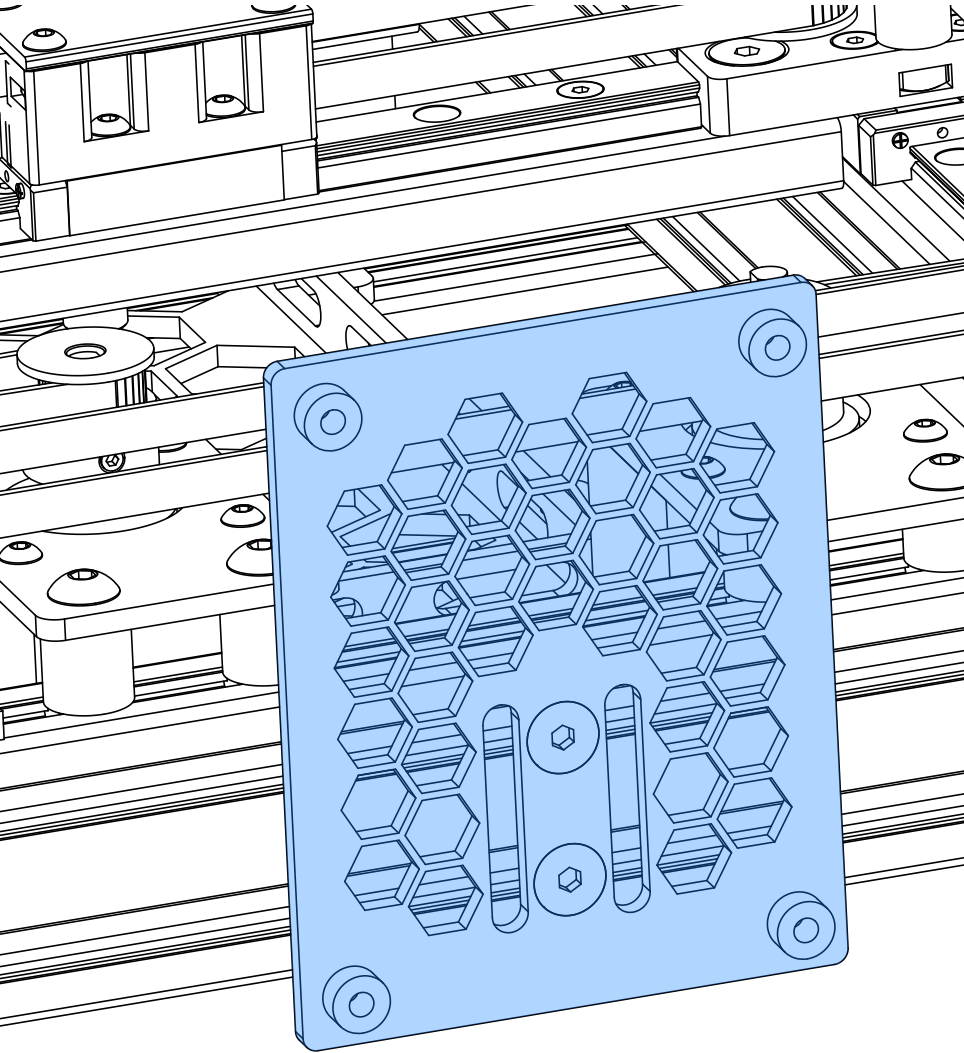
装上 T 型螺母

先别拧紧，下一步再拧。



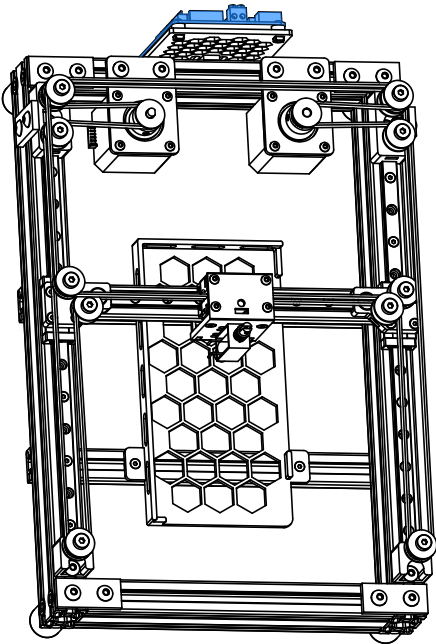
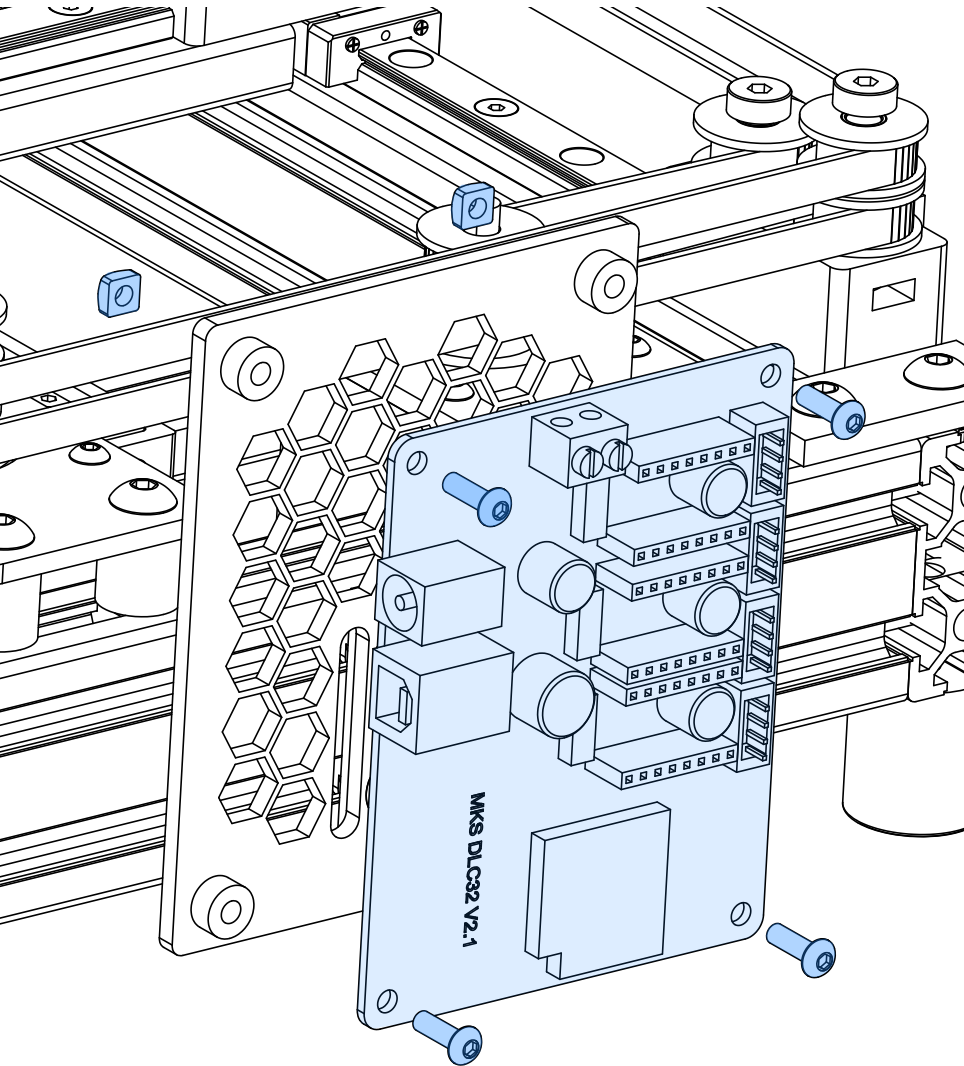
物料清单

组件	规格	数量
控制板支架	SLS/MJF 3D 打印	1
沉头螺栓	M5×12	2
T 型螺母	船形螺母 M5	2



安装控制板支架

装在顶部型材的外侧面。

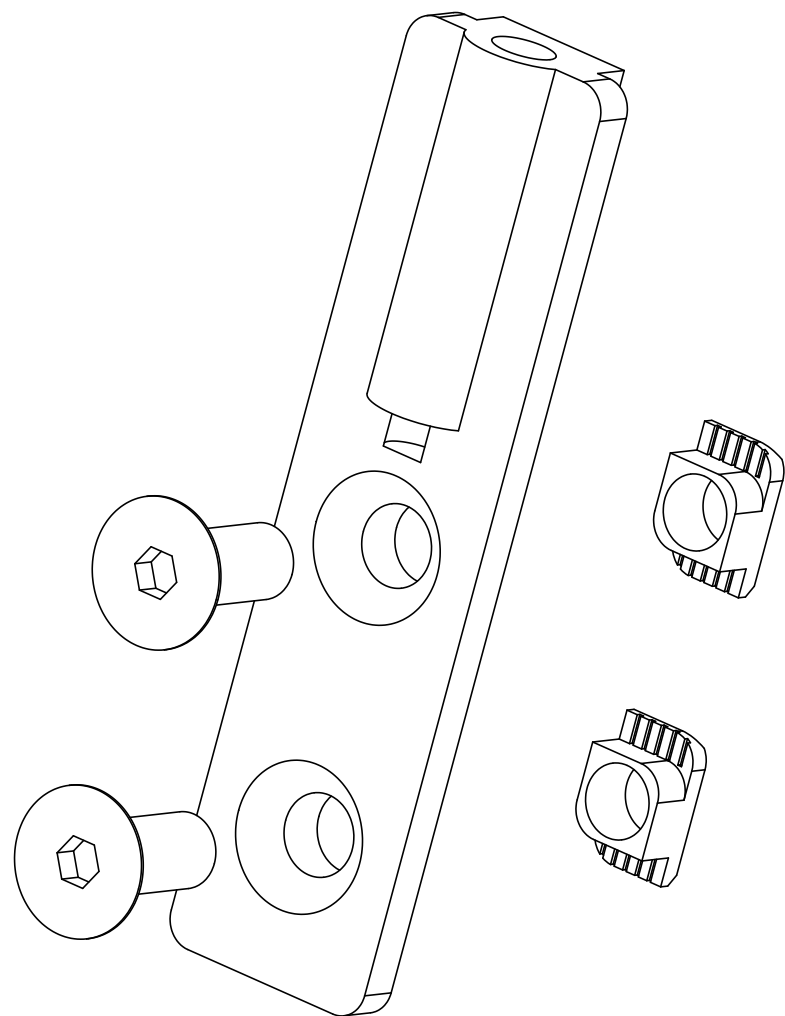


固定控制板

一共四组螺栓配螺母。下面两颗螺母被挡住，图里没画。

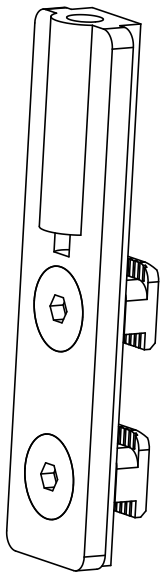
物料清单

组件	规格	数量
控制板	MKS DLC32 V2.1	1
半圆头螺栓	M3×10	4
四方螺母	M3	4



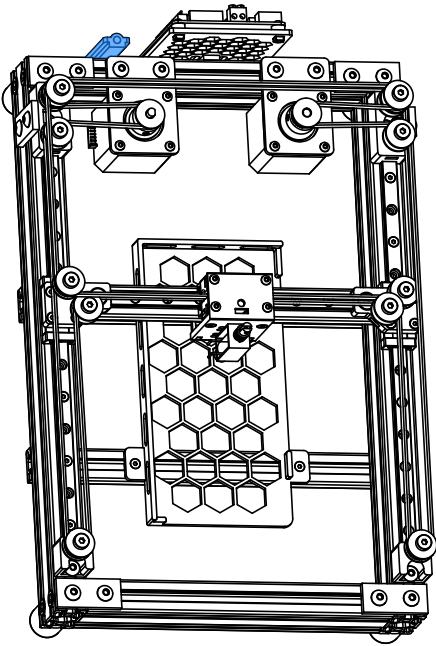
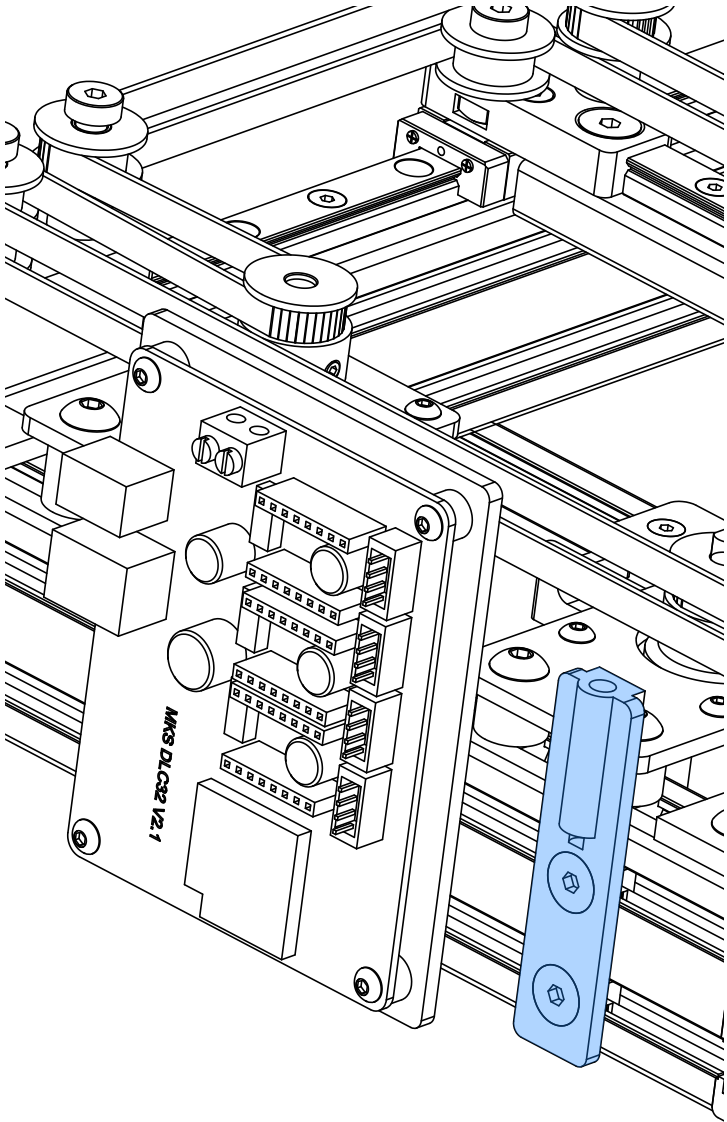
装上 T 型螺母

两颗 M5 沉头螺栓拧进 T 型螺母，先别拧紧，下一步再拧。



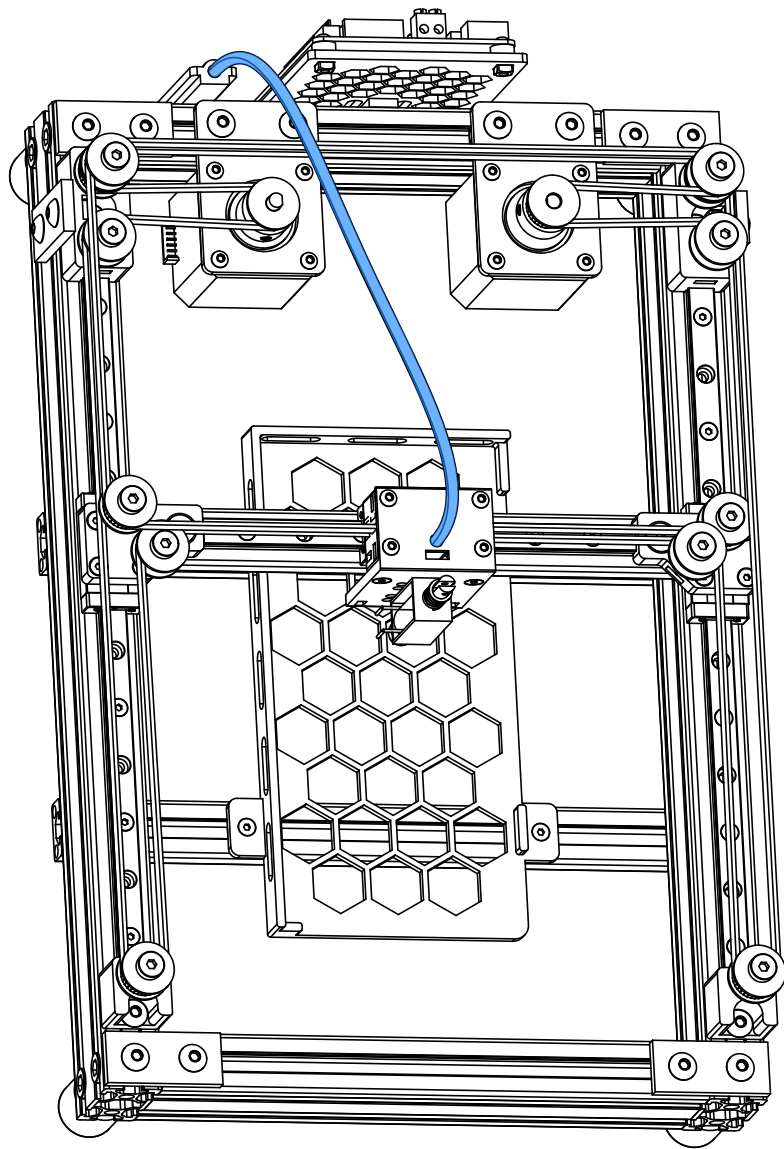
物料清单

组件	规格	数量
导管支架	SLS/MJF 3D 打印	1
沉头螺栓	M5×12	2
T 型螺母	船形螺母 M5	2



安装导管支架

装在控制板旁边的顶部型材上。它的 4 mm 插孔
固定特氟龙管的一端。



大致长度

管子取大约 400 mm，从导管支架够到 X 滑座最远位置即可。

固定电磁铁引线

用捆扎带把电磁铁引线固定在导管支架上，确保电磁铁移动时不会带动控制板端子处的引线晃动。反复晃动会导致接触不良，电磁铁就无法点击屏幕。

PTFE 和 FEP

两种管子都能用：PTFE（乳白色）或 FEP（透明）。Ø4 管的硬度足以撑住线束的形状。

螺旋缠绕成束

用螺旋缠绕带把电磁铁导线沿特氟龙管捆成一束。导线不穿进管子里，管子只是让线束变硬、能保持形状，避开同步带和电机。

物料清单

组件	规格	数量
特氟龙管	Ø4/2, 400 mm	1
螺旋缠绕带	Ø4, 约 400 mm	1

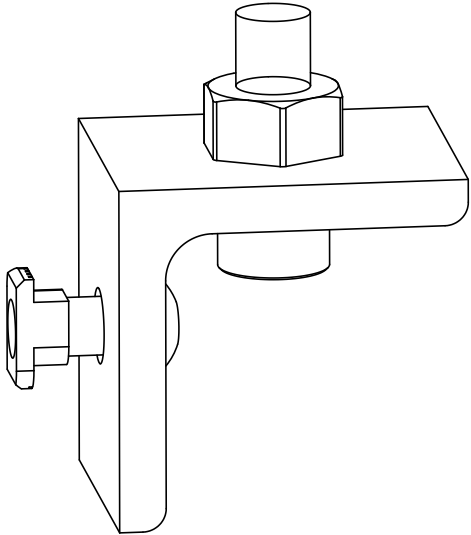
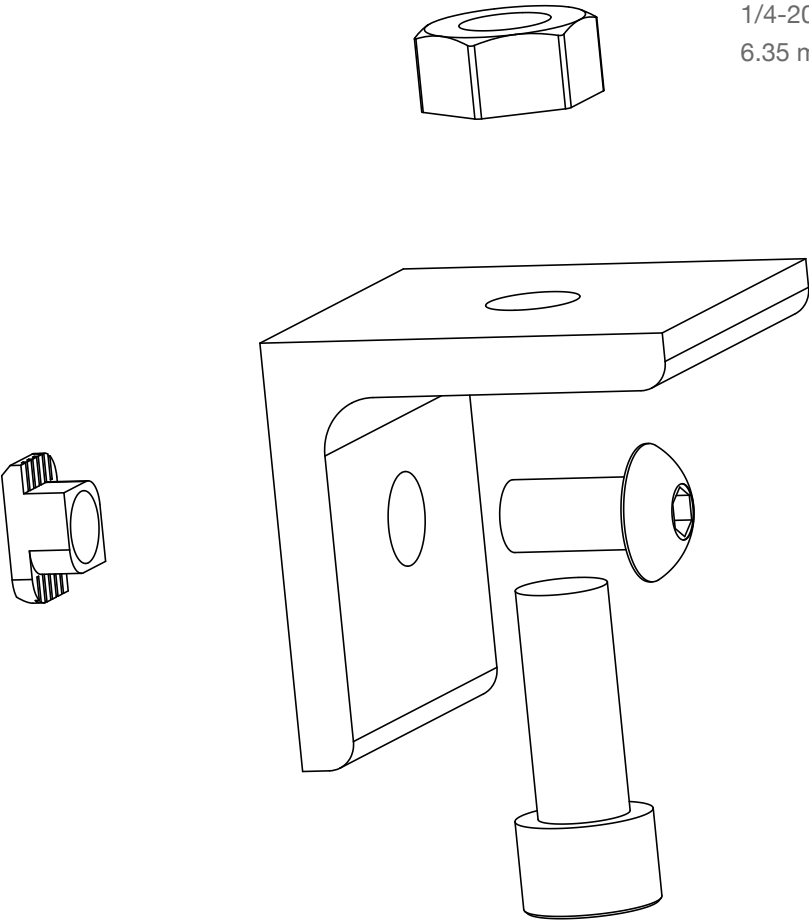
第 09 节

摄像头

摄像头固定在框架右侧，正对着手机屏幕。

1/4-20 英制，不是公制

装金属软管用的内六角螺栓和六角螺母是 1/4-20 规格，也就是英制三脚架螺纹（约 6.35 mm）。别用 M6 代替。

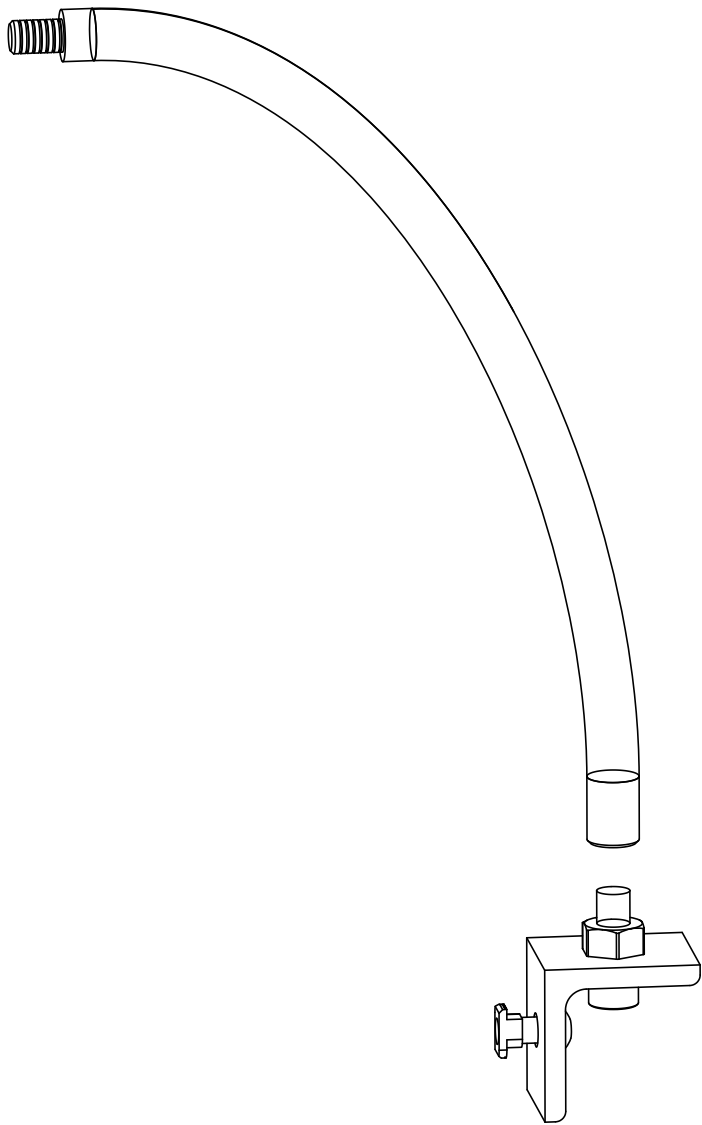


英制工具

圆柱头螺栓 1/4-20 对应 3/16" 内六角扳手；六角螺母 1/4-20 对应 7/16"（或公制 11mm）开口扳手。也可以直接用手头的尖嘴钳夹住拧紧，不必单独购买工具。

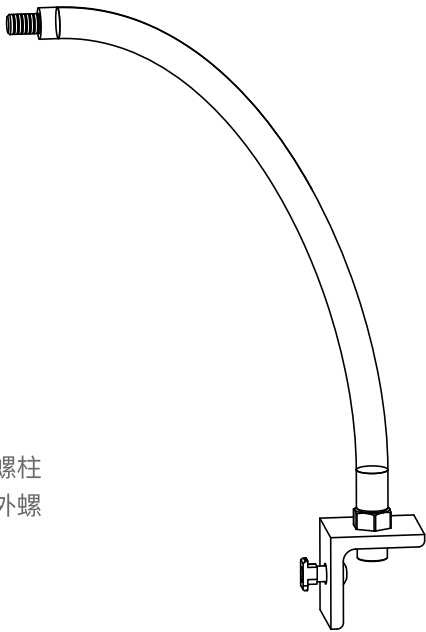
物料清单

组件	规格	数量
角码	2×Ø6.5 mm	1
半圆头螺栓	M5×10	1
T 型螺母	船形螺母 M5	1
圆柱头螺栓	1/4-20×16（英制）	1
六角螺母	1/4-20（英制）	1



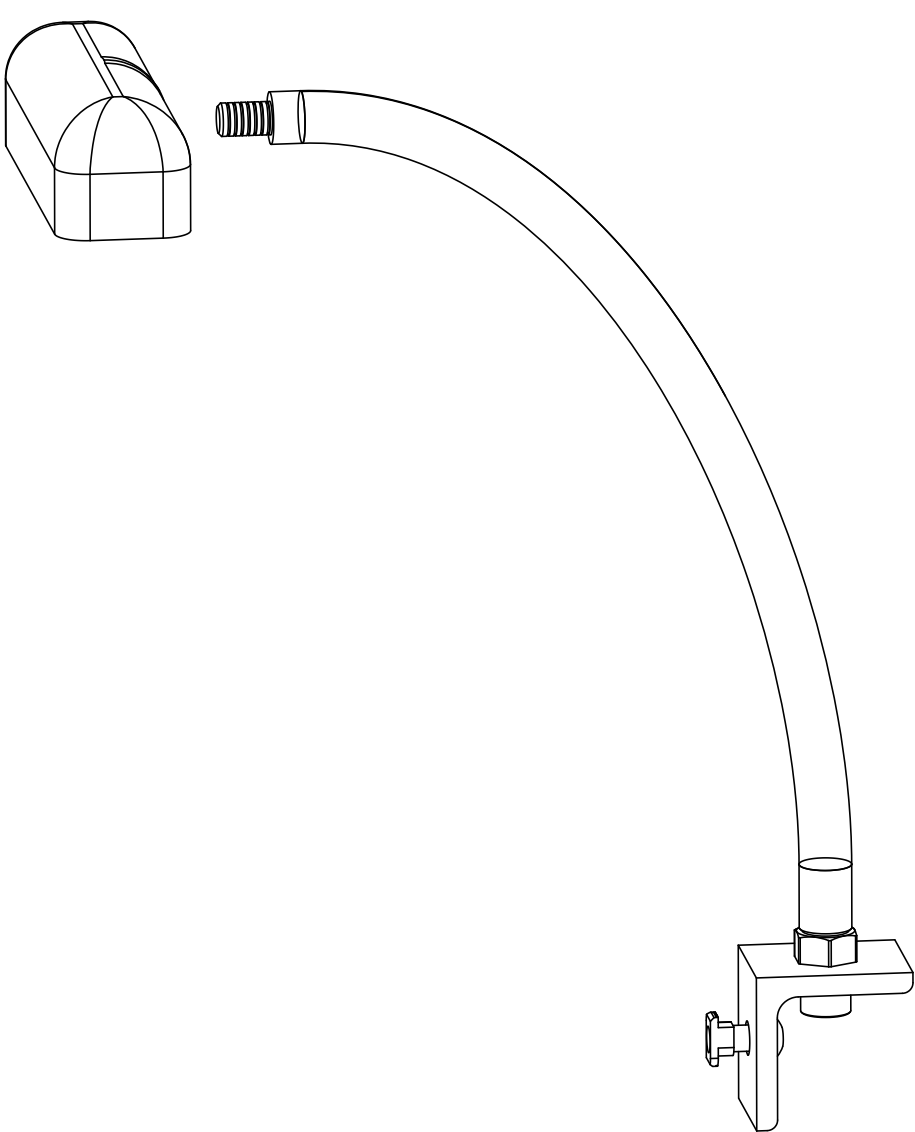
拧上金属软管

把金属软管的内螺纹一端拧到螺柱上，紧贴住六角螺母。空着的外螺纹一端，下一步装摄像头。



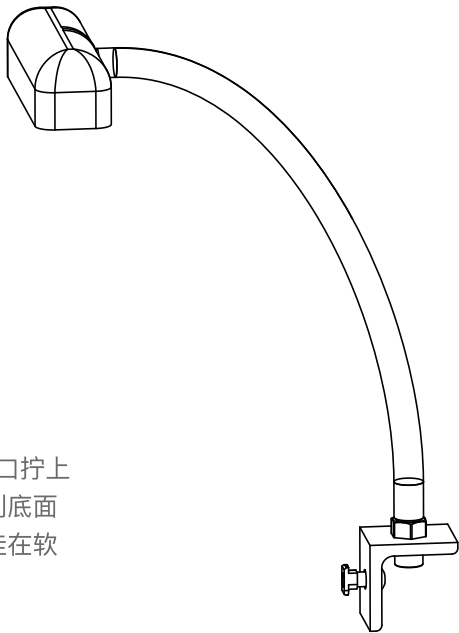
物料清单

组件	规格	数量
金属软管	Ø10×300, 1/4-20 M/F	1



装上摄像头

把摄像头的 1/4-20 内螺纹接口拧上金属软管的外螺纹螺柱，拧到底面顶住螺柱台肩。摄像头现在挂在软管顶端。



物料清单

组件	规格	数量
摄像头	4K 高清，自动对焦	1

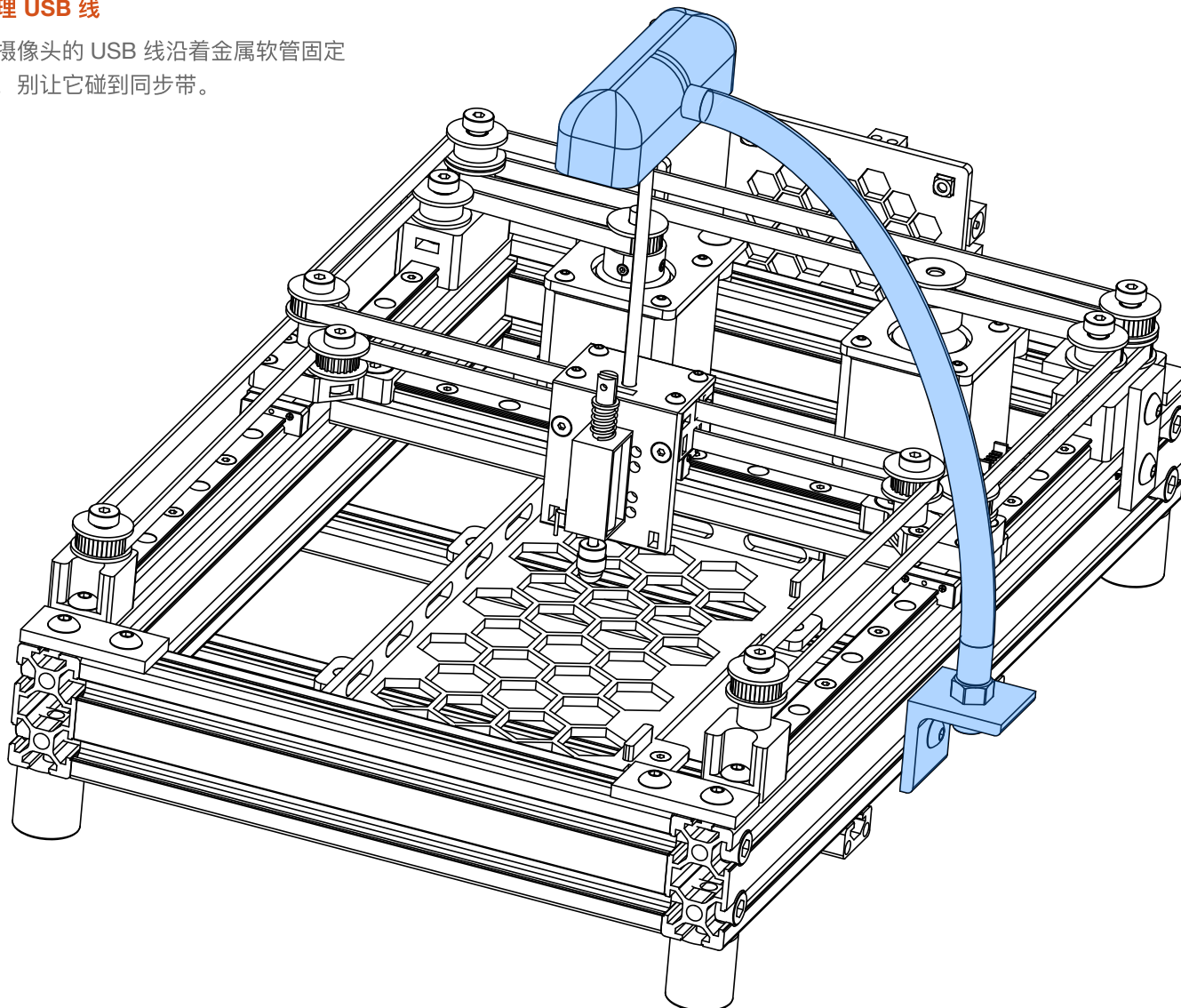
摄像头

CAMERA_40

PhysiClaw.ai

整理 USB 线

把摄像头的 USB 线沿着金属软管固定好，别让它碰到同步带。



用下面的型材槽

把角码装在右侧型材外侧面下方的型材槽上。

调摄像头的朝向

弯一弯金属软管，让摄像头正对手机屏幕，摄像头传感器长边对齐手机长边。

固定牢

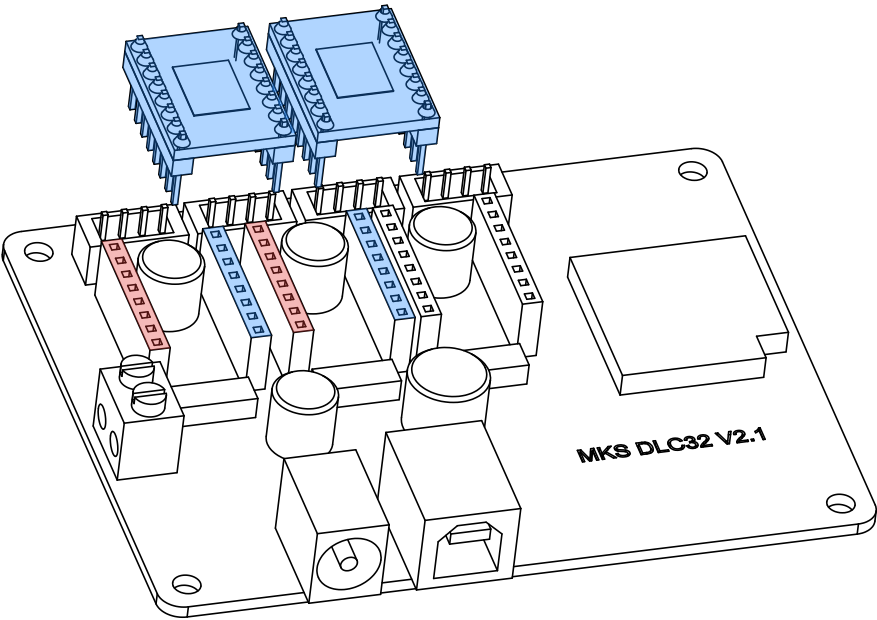
确认摄像头已固定牢靠，不会移位，也不会晃动。

第 10 节

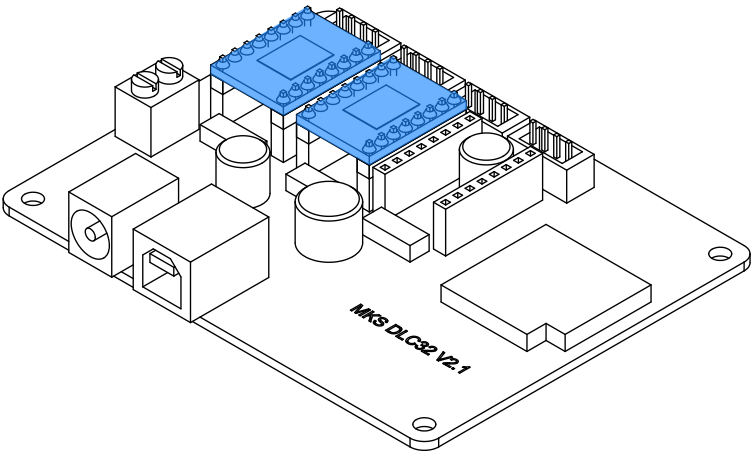
接线

把控制板的步进驱动接口接到电机；电磁铁接到主轴（Spindle）接口，再接地。

先断电
板子通电时，切勿插拔驱动。



散热片
TMC2209 驱动模块通常自带散热片，可贴在驱动芯片顶部。



注意方向
压到位之前，先让每个驱动的引脚标识对准板上丝印。
TMC2209 装反，一上电就可能烧坏。

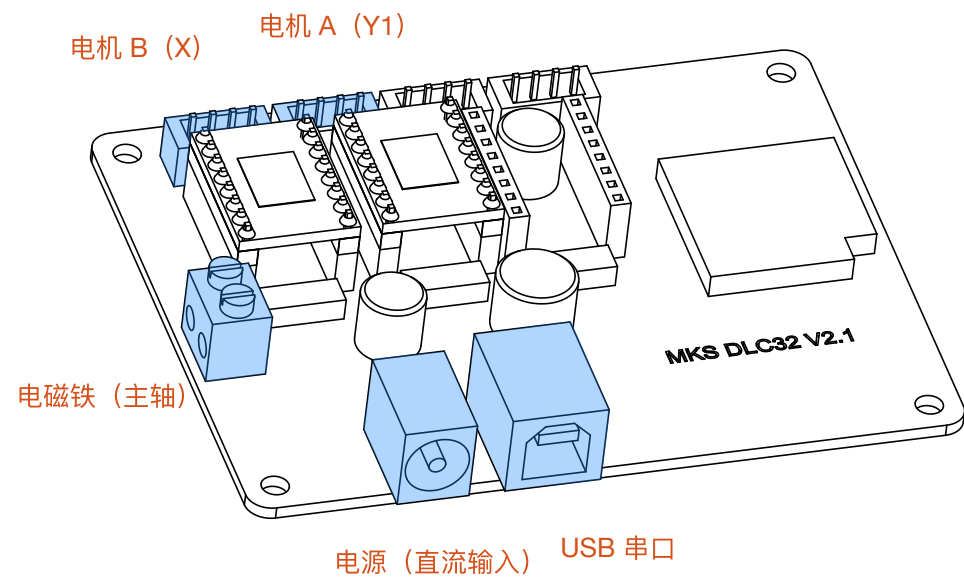
经验法则
彩色引脚对彩色引脚，黑色引脚对黑色引脚。

物料清单

组件	规格	数量
电机驱动	TMC2209	2

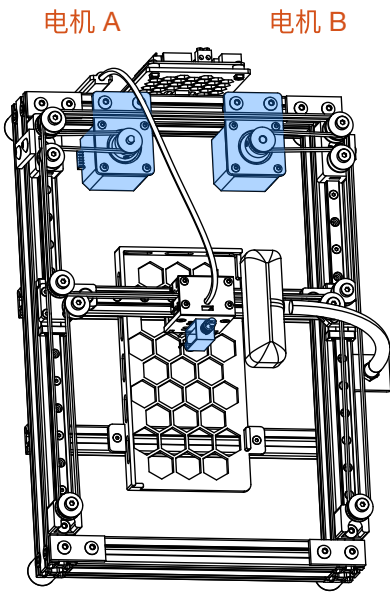
无需分极性

主轴（Spindle）输出（接电磁铁）不分极性，两根线接哪个端子都行。



电机接线端子

电机侧：6 针 PH2.0（2.0 mm 间距），其中 2 针空置，实际只用 4 针；控制板侧：4 针 XH2.54（2.54 mm 间距）。



接线对应

控制板用标准 GRBL 轴输出，按下面这样重新映射：X 轴驱动器接电机 B，Y1 轴驱动器接电机 A，主轴（Spindle）输出接电磁铁（代替主轴）。

物料清单

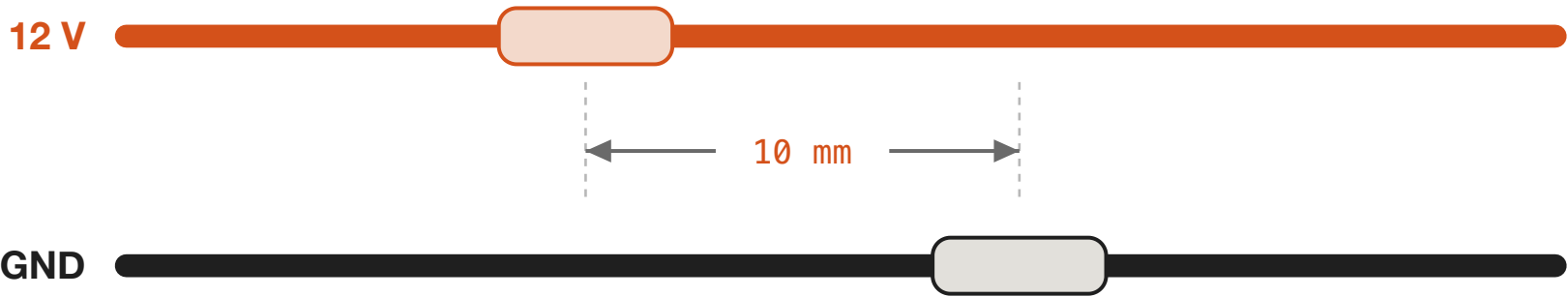
组件	规格	数量
电源适配器	12 V 2 A	1
电机配线	XH2.54	2
数据线	USB 串口	1

接长引线

电磁铁原装引线够不到控制板，给 12V 和 GND 两根引线各接长一段导线。

原装引线不超过 50 MM

电磁铁原装引线剪到不超过 50 mm 再接长，这样接头就不在线缆弯曲最大的地方，防止接头反复弯折、疲劳断裂。

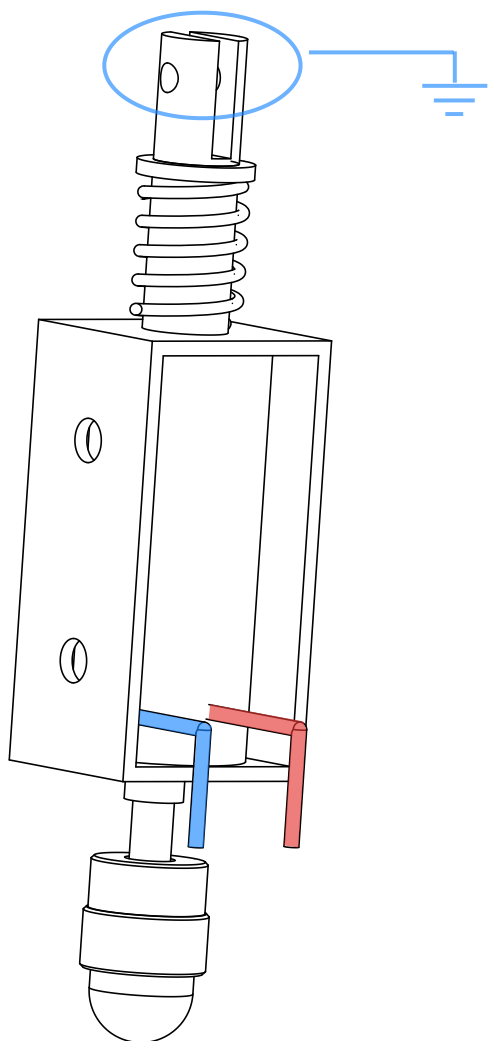


错开接头

每个接头先焊接，再套热缩管。把两个接头错开约 10 mm，别让它们并排挤在一起。

物料清单

组件	规格	数量
导线	0.3 mm ²	1



给触控笔接地

触控笔装在电磁铁铁芯上，铁芯通过金属弹簧与外壳相连。把外壳接地，铁芯和笔尖就跟着接地。要找一个真正的接地参考，别用控制板的 GND。

为什么要这样

电容屏靠触摸物对地的电容耦合来感应。手指能点屏，是因为人体是一大块连着大地的导体；机械臂的笔对大地耦合太弱，点触屏幕引起屏幕电荷分布变化较小，手机对触摸的识别不稳定。把笔接到可靠的地，补上这层对地耦合，触摸信号就稳定许多。

怎么接地

把外壳接到电源的公共地。最简单的办法是找一台用三脚插座可靠接地的台式电脑，把线夹在机箱裸露的金属上。机箱经市电连到大地，能提供稳定的接地参考。

三根线

电磁铁引出三根线：正极（+）、负极（-）和接地线。用螺旋缠绕带把三根线和特氟龙管缠成一束，沿管子走到控制板支架处，再把正、负极接到控制板的主轴（Spindle）端子，接地线接到电源的公共地。



警告

切勿把接地线插进墙壁插座。市电电压（220V/120V）足以致命：万一接到火线而不是地线，可能造成致命电击，瞬间烧毁手机和设备。只能接到确认可靠的接地点。

第 11 节

物料清单

这是整台机器的完整零件清单，动手组装前请备齐所有零件。

类别	组件	规格	数量	用途
框架	欧标 2040 铝型材，黑色阳极氧化	长度 345 mm，在 40 mm 宽面距两端 10 mm 各开沉孔，配 M6 内六角圆柱头螺栓	2	机身长边框
		长度 190 mm，两端攻丝 M6	2	机身短边框
	欧标 1020 铝型材	长度 185 mm	1	龙门架横梁
		长度 230 mm，距两端 10 mm 开 M5 通孔	2	手机托架支撑
定制件	3D 打印件	选择性激光烧结 (SLS) 或 多射流熔融 (MJF)，PA12 尼龙 (或同等材料)，黑色	11	惰轮支座 (4个)、XY 连接件 (左)、XY 连接件 (右)、同步带夹具、电磁铁支架、手机托架、控制板支架、导管支架
直线导轨	MGN9H 导轨	导轨长度 240 mm	2	Y 轴导轨
		导轨长度 150 mm	1	X 轴导轨
	MGN9H 滑块	H 型加长滑块，4×M3，安装孔距 15 × 16 mm	3	每根导轨一个
运动组件	同步轮	GT2 20齿，孔径 5 mm，带宽 6 mm	2	电机驱动轮
	惰轮	GT2 20齿 光面，孔径 5 mm，带宽 6 mm	10	引导 CoreXY 同步带转向
		GT2 20齿 带齿，孔径 5 mm，带宽 6 mm	2	引导 CoreXY 同步带转向
	同步带	GT2，带宽 6 mm，5 米/卷	1	CoreXY 同步带

类别	组件	规格	数量	用途
电子元件	控制板	MKS DLC32 V2.1 (含 USB 数据线)	1	主控制器
	步进电机驱动	TMC2209	2	电机驱动模块
	电源	12 V 2 A 适配器, 5.5×2.1 mm 桶形插头	1	整机供电
	摄像头	4K 高清 USB 电脑摄像头, 自动对焦	1	俯拍手机屏幕
线缆	电机配线	XH2.54, 4 针, 200 mm	2	步进电机 → 控制板
	导线	0.3 mm ² 多股软线, 纯铜芯, 2 米	1	电磁铁接地、延长引线
执行器	步进电机	42 步进电机, 高度 38 或 40 mm	2	驱动电机
	推拉式电磁铁	12 V, 0.8 A, 行程 10 mm, 推拉力 0.2–6 N, 安装孔 2×M3, 孔距 15 mm	1	驱动触控笔尖点按屏幕
五金件	一字连接板	40 × 18 × 4 mm (长×宽×厚), 孔距 20 mm, M5 孔	6	机身、惰轮连接
	电机支架	60 × 42 × 3 mm (长×宽×厚)	2	电机安装支架
	角码	两孔垂直角码, 长度 26 mm, 折边 30 mm, 2×Ø6.5 孔	1	摄像头臂支座
	橡胶脚垫	圆柱形, 直径 20 mm, 高度 22 mm, 含机牙螺丝	4	机身脚垫
	触控笔尖	M3 内牙, 导电布头 Ø7 mm, 外径 Ø8.5 mm, 高度 12.5 mm	1	点按手机屏幕
	特氟龙管	内径 2 mm, 外径 4 mm, 长度 1 米, PTFE 或 FEP 均可	1	给电磁铁走线做骨架, 让走线保持形状
	螺旋缠绕带	Ø4 mm, 约 0.5 米	1	把导线与管子捆成一束
	金属软管	360° 万向可调, 1/4–20 公/母, 长度 300 mm, 外径 10 mm	1	摄像头臂

类别	组件	规格	数量	用途
紧固件	内六角半圆头螺栓	M3×6 (螺纹直径×螺纹长度)	10	电机、触控笔架
		M3×8	8	同步带夹具、触控笔架
		M3×10	4	控制板安装
		M5×10	15	机身、惰轮、摄像头支架
		M5×12	2	惰轮支座连接板
		M5×16	10	机身、手机托架、电机 A 安装支架
		M5×20	2	电机 B 安装支架
	内六角沉头螺栓	M3×8, 长度为总长 (含头部), 非螺纹长度	4	手机托架
		M3×10	26	龙门架、触控笔
		M5×12	6	龙门架、控制板、导管支架安装
	内六角圆柱头螺栓	M6×20	8	机身连接
		1/4-20×16, 英制 (约 6.35 mm), 不可与 M6 螺栓互换	1	摄像头臂
	内六角轴肩螺栓	Ø5×10×M4 (光杆直径×光杆长度×螺纹直径)	4	惰轮
		Ø5×20×M4	6	惰轮

类别	组件	规格	数量	用途
紧固件	T 型螺母	船形螺母 M3	20	龙门架、手机托架
		船形螺母 M5	23	机身、惰轮、手机托架、控制板支架、导管支架、摄像头支架
		滑块螺母 M5	10	机身、龙门架
	四方螺母	M3, 5.5 mm 见方, 厚 2.4 mm	10	触控笔座、控制板支架
		M4, 7 mm 见方, 厚 3.2 mm	10	惰轮
		M5, 8 mm 见方, 厚 4 mm	2	惰轮
	六角螺母	1/4-20, 英制 (约 6.35 mm), 不可与 M6 螺母混用	1	摄像头臂
	垫片	内径 5 mm, 外径 8 mm, 厚度 0.5 mm	12	惰轮
	轴套	内径 5 mm, 外径 10 mm, 高度 9 mm	4	惰轮
		内径 6 mm, 外径 12 mm, 高度 8 mm	2	电机 A 支架轴套
		内径 6 mm, 外径 12 mm, 高度 12 mm	2	电机 B 支架轴套
工具	六角扳手	2、3、5 mm	3	M3、M5、M6 螺栓
其他	润滑脂	锂基润滑脂, NLGI 2 级	1	导轨润滑
	螺纹胶	乐泰 243 或同等品 — 中强度, 蓝色	1	锁固同步轮紧定螺钉
	热缩管	Ø3 mm	2	导线连接处绝缘保护

手册结束

接下来，告诉 PhysiClaw 你想让它做些什么。

“PhysiClaw 能像你一样操作手机：用摄像头看屏幕，用触控笔点按钮，你能做的，它都能做。”



PhysiClaw.ai