

F405 集成飞行器项目(WKFLY) 制作全流程说明

@Wakk 20250117

项目简介：

为尽可能降低穿越机入门成本以及降低炸鸡损失，以及对 FR4 这种板材富有弹性且足够轻巧的特性的极致利用，完全使用 PCB 作为飞机主体，并使用模块化设计的一款四旋翼飞行器。

注意事项：

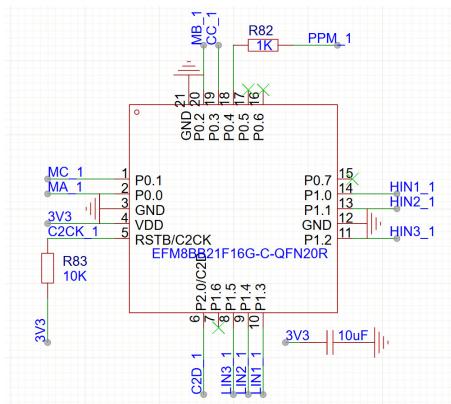
1. 焊接质量对最终成品的稳定程度有很大影响，若出现错焊虚焊等问题，轻则无法正常启动，重则直接烧毁，有引发火灾的危险。请耐心焊接，并仔细检查焊接成品，并使用模块化的测试方式，对各个电调进行逐一稳定性测试。
2. 本文中涉及到的采购链接为个人采购时使用的链接，存在失效的可能，仅供参考，不代表其质量或者性价比是最好的。对于没有涉及到的元器件，则直接在立创商城根据原理图或者 BOM 表中的器件进行下单即可。

电调(WKESC)制作

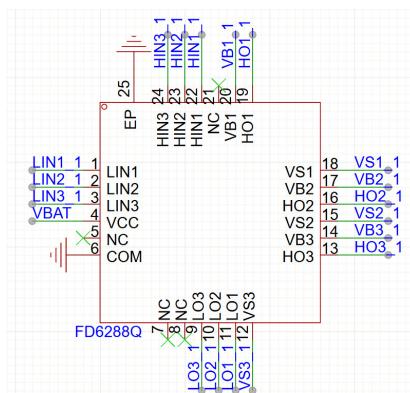
1. 原理图说明以及元器件选型：

(1) 主控芯片 EFM8BB21F16G

[原装正品 EFM8BB21F16G-C-QFN20R 丝印 BB21F16G QFN20 微控制器 IC - 淘宝网](#)

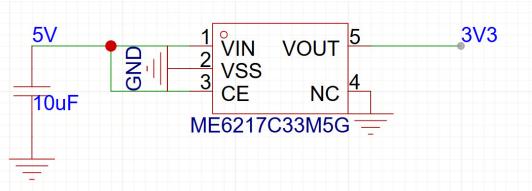


(2) MOS 驱动 FD6288Q (立创商城中下单：C328453)



(3) LDO ME6217C33M5G C427602

说明：本电调为降低成本以及体积，不提供 BEC 功能，需要外部 5V 供电，并由此 LDO 将 5V 降为 3.3V 供控制芯片使用。



(4) MOS 三相逆变桥

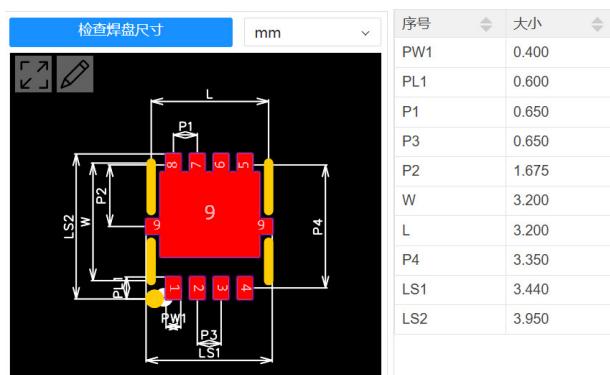
MOS 管使用封装：TSON-8_L3.1-W3.1-P0.65-LS3.3-BL-EP

管子可以自行选型，只要封装一致能焊上去就好。不同的型号最大过流不同，根据使用的电机以及桨叶来大致估算所需电流，对于 1104 这种小电机大多数 MOS 都是没问题的。

[原装 NCEP3040Q DFN-8\(3.3x3.3\) N 沟道 30V 40A 功率 MOSFET 场效应管 - 淘宝网](#)

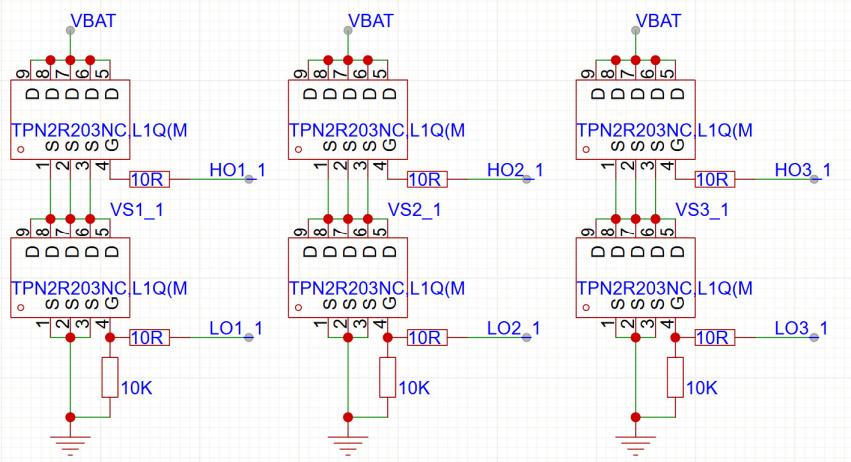


(我用的 MOS 封装是 3.3x3.3 虽然和板子上 3.1x3.1 不一致但是也能焊上去正常用)



说明：图中的 10Ω 电阻为 MOS 栅极限流电阻，为了防止 MOS 驱动芯片过流。图中的 10K 电阻

为下拉电阻，防止因栅极浮空而导致的上下管同时导通引发的短路。

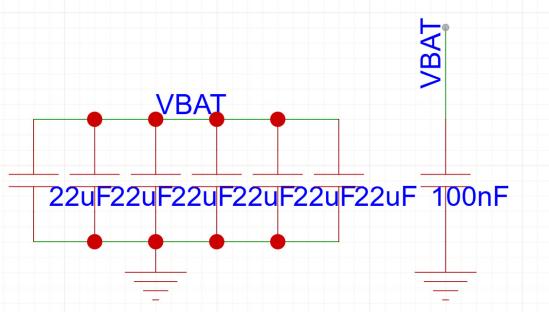


(5) 滤波电容

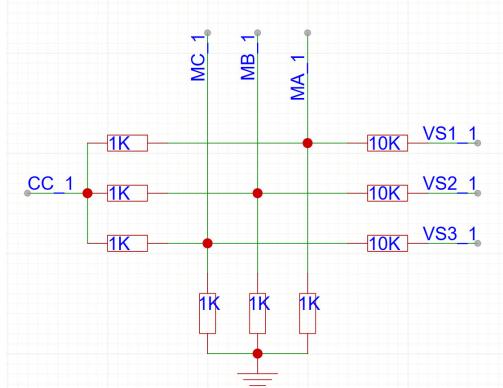
电容一定要焊接!!! 不焊肯定烧芯片!!!

Blheli 电调快速启动或者刹车的过程会产生很大的反电动势灌入 VBAT，如果没有电容吸收电压尖峰就会使 VBAT 电压变得很高而烧坏芯片，而且第一个烧的就是 MOS 驱动芯片，然后导致 MOS 持续导通而炸管（别问我怎么知道的）而且电容不焊接或者不够大的话电机运行也不平滑，有明显的抖动现象。

除此，要特别注意电容的耐压，如果使用 3S 电池的话，电容耐压要至少 25V 以上，在立创商城下单的时候直接筛选 25V 以上即可，电容强烈建议在立创商城上购买，其他地方的电容质量不保证，容易击穿。



(6) BEMF 反电动势检测电路

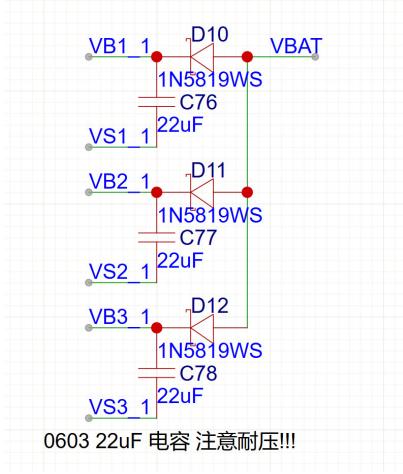


说明：这部分的电路是对电机三相电平和中性点(CC)电平进行比较，从而确定电机转子的位置，虽然就是一堆电阻，但是对电调十分重要，若出现电机不断抖动却无法启动的现象，要特别检查这部分的电阻焊接的位置以及阻值是否正确。

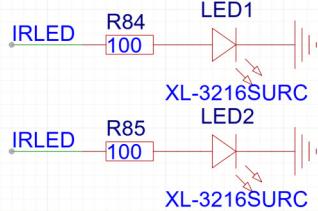
注意，因为这里电阻很多很占用空间，所以这部分电阻使用了 0402 封装，注意下单的时候不要选错!!! 本项目其他大多数电阻电容都是使用的 0603 封装，为了更容易焊接。

(7) 上管升压驱动电路

说明：因为上管的栅极需要更高的驱动电压，所以使用了这种电荷泵的方式来获取高于 VBAT 的电压来驱动，这部分电路也是十分的经典，其实这里的电容是需要查阅 MOS 管的栅极电容来计算大小的（B 站 唐老师讲电赛 讲过很多），但是这里使用 10uF 或者 22uF 肯定是足够大没有问题的。

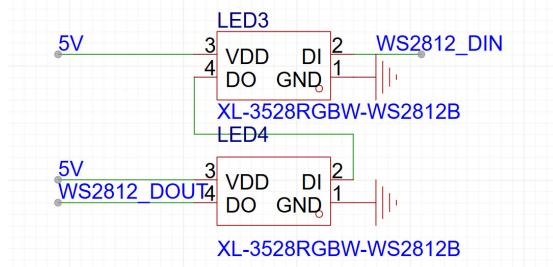


(8) 红外信标 LED (可忽略)



说明：因为项目涉及到室内精确定位，所以预留了红外 LED 的焊接位置，用于主动红外定位，并引出预留驱动焊盘，不焊接对飞行无任何影响。

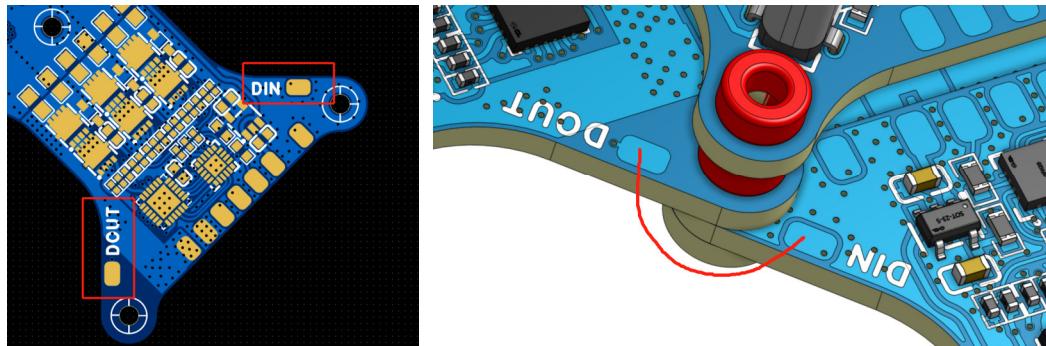
(9) WS2812 彩灯 (可忽略)



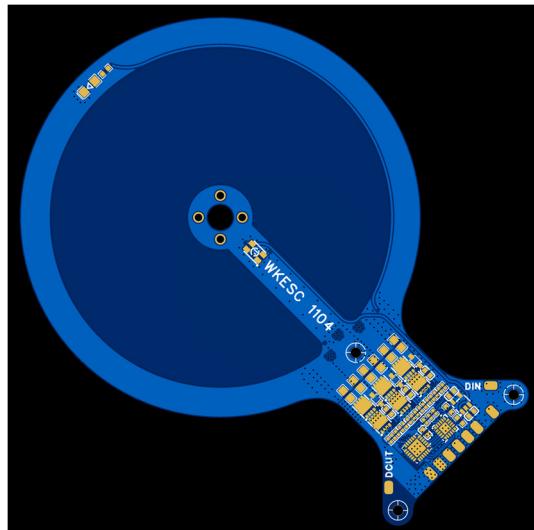
WS2812: C2890364

说明：一个机臂预留了两个 WS2812 RGB 彩灯，并进行串联，只是为了夜间飞行辨别飞机方向，不焊接对飞行无任何影响。

四个机臂的 WS2812 通过 DIN DOUT 焊接相联。



2.PCB 以及 下单说明:



(为什么要斜 45 度??? 嘉立创下单有一个十分神奇的特性，下单时不会对板子进行自动旋转以确定其最小尺寸，如果不旋转 45 度，则通过横平竖直的矩形框来确定大小的话是超出 10x10cm 的，手动旋转之后便可以正常免费下单)

首先是选择板子，不用说，肯定是 FR4：



这里的成品板厚需要注意一下，对于免费的工艺，只有 1.0 1.2 1.6mm 板厚可供选择，板子越厚，飞机越耐炸，但是重量也会更大，可以自行选择，我使用的板厚是 1.2mm。

注意目前对于 4 层板子的颜色免费的只有绿色可选。



这个客编，就是会在 PCB 上印上一串数字，如果觉得不美观可以收费不加或者是自行指定位置。

其他要求

生产条码	<input checked="" type="checkbox"/> 需要标签	<input type="checkbox"/> 不需要标签	<input type="checkbox"/> 自定义标签 (黑白, 免费)	<input type="checkbox"/> 自定义标签 (彩色, 收费2元)
标志增加方式	<input checked="" type="checkbox"/> 无要求	每个单片内增加		
板上加标志	<input type="checkbox"/> 动态二维码	<input checked="" type="checkbox"/> 加说明书图文二维码 (免费)	<input checked="" type="checkbox"/> 加嘉立创客编 (免费)	<input type="checkbox"/> 动态二维码
	<input type="checkbox"/> 动态二维码	<input type="checkbox"/> 加溯源序列号 (免费)	<input type="checkbox"/> 加时间周期+序列号 (免费)	<input type="checkbox"/> 动态二维码
PCB订单备注	选填			

加客编

客编位置	<input checked="" type="checkbox"/> 无要求	<input type="checkbox"/> 指定位置添加(立即添加)
	<input type="checkbox"/> 指定位置添加(文件已有位置)	
标志增加方式	<input checked="" type="checkbox"/> 无要求	<input type="checkbox"/> 每个单片内增加
<input type="button" value="确认"/>		

选择交期 [查看交期规则](#)

交期	板厚	油墨	数量
<input type="radio"/> 48小时免费加急 (SMT专享) <small>SMT专享</small>	1.6	● 绿色	5
<input type="radio"/> 24小时加急交期 (出货率100%)	1.6	● 绿色	5
<input type="radio"/> 48小时加急交期 (出货率100%)	1.6	● 绿色	5
<input checked="" type="radio"/> 48-72小时免费加急 (出货率95%)	1.6	● 绿色	5

SMT贴片/激光钢网

是否SMT贴片	<input checked="" type="checkbox"/> 不需要	<input type="checkbox"/> 需要
<small>* 1.因SMT生产工艺需要，我们会帮您添加或修改工艺边或MARK点，且不另行通知 * 2.PCB订单审核通过后，可在SMT在线下单/计价菜单中下SMT</small>		
是否开钢网	<input checked="" type="checkbox"/> 不需要	<input type="checkbox"/> 常规SMT钢网(带框) SMT阶梯钢网(带框) SMT钢片(不带框)
<small>* 1.因生产地点不同，钢网和PCB需分开发货，运费另算。 * 2.激光钢网订单统一按《嘉立创钢网制作规范及协议》制作</small>		

后面的开票以及快递的部分根据自己的情况填写即可，上述没有出现的部分保持默认即可。



随后提交订单即可。

主结构板/分电板制作

1. 总体说明

这个板子我有点偷懒，只是直接焊接了一个买来的 5V DCDC 模块上去，毕竟无论是从成本还是稳定性来说还是直接买一个更好。代价就是底部突出来了一部分容易压到电池，并且相对来说重了一些。

这个板子的主要功能就是为整机提供 5V 电源，并作为一个分电板，将电池的功率电引出到各个电调的焊盘附近。

DCDC 模块：注意是 5V 的不要选错 以及模块的大小也不要选错（当然也可以自行绘制封装）

[DC-DC 电源模块 3A 降压模块 车载 24V 12V 9V 转 5V 3.3V 固定输出 - 淘宝网](#)

5V版本

输入7V-20V(DC)，压差最小2V
长跑超过4A需要加散热，不能超过5A



模块芯片温度曲线
(测试条件: 室温25℃, 无加散热装置)

输出电压/V	输入电压(V)	输入电流(A)	输出电压(V)	输出电流(A)	效率(%)
5.0V/2A	12	0.85	5.0	2	98.0%
5.0V/4A	12	1.72	4.99	4	96.7%
5.0V/5A	12	2.17	4.98	5	95.6%

88VIP 开88VIP可享全年无限次免费退货，可与运费险叠加使用 [去开通>](#)

DC-DC 电源模块3A降压模块 车载 24V 12V 9V 转5V 3.3V固定输出
¥2.1 · 已售 1万+

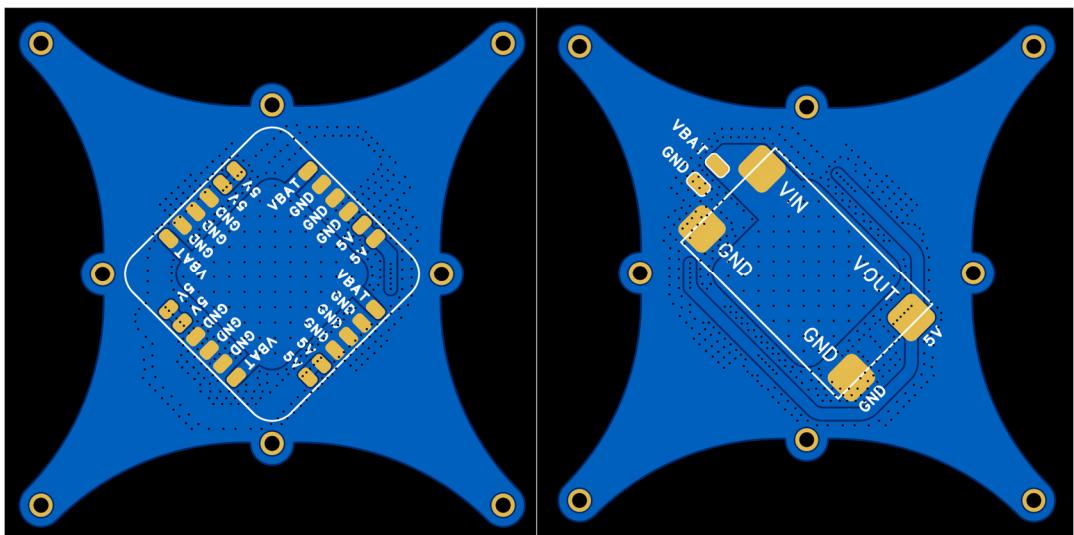
保 障: 7天无理由退货 极速退款

颜色分类:

- 3A降压模块 (3.3V)
- 3A降压模块 (5V)
- 3A降压模块 (9V)
- 3A降压模块 (12V)
- 5A降压模块 (3.3V)
- 5A降压模块 (5V)
- 5A降压模块 (9V)
- 5A降压模块 (12V)
- 5A降压模块 (15V)
- 5A降压模块 (3.3V) 升级版
- 5A降压模块 (5V) 升级版
- 5A降压模块 (9V) 升级版
- 5A降压模块 (12V) 升级版

数 量: - 1 + 有货(限购4660726件)

[立即购买](#) [加入购物车](#) [收藏](#) [加采购](#)



2.PCB 下单

分电板是二层板，所以可以自行选择颜色，在下单的时候大部分和上面的一致。

基本信息

板材类别	FPC软板	FR-4	铝基板	铜基板	罗杰斯高频板	铁氟龙高频板				
板子尺寸	6.74 CM	6.74 CM								
板子数量	5	样板订单								
板子层数	1	2	4	6	8	10	12	14	16	更多层数
产品类型	工业/消费/其他类电子产品	航空	医疗							
确认生产稿	需要 (确认2次, 收费3元)	需要 (确认多次, 收费10元)	不需要	为什么官方推荐确认生产稿?						

板子厚度同样可以自行决定，我使用的同样是 1.2mm 板厚

PCB工艺

拼板款数	1	+	请填写文件内有多少款不同的板子																																									
出货方式	单片	拼板																																										
成品板厚	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	默认选项设置																																				
板材选项	<table border="1"> <thead> <tr> <th>指定品牌</th> <th>型号</th> <th>TG值</th> <th>玻璃布(张数)</th> <th>阻燃性</th> <th>加收价格</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="radio"/> 不指定 (真A级) </td> <td>随机品牌</td> <td>TG135</td> <td>6</td> <td>94V0</td> <td>不加价</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> KB (真A级) </td> <td>KB6164(有水印)</td> <td>TG135</td> <td>6</td> <td>94V0</td> <td>起步价20+10元/m²</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> 台湾南亚 (真A级) </td> <td>NP-140F(有水印)</td> <td>TG140</td> <td>6</td> <td>94V0</td> <td>起步价20+50元/m²</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> 生益 (真A级) </td> <td>S1141(无水印)</td> <td>TG140</td> <td>6</td> <td>94V0</td> <td>起步价20+70元/m²</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> 生益 (真A级) </td> <td>S1000H(无水印)</td> <td>TG155</td> <td>6</td> <td>94V0</td> <td>起步价40+100元/m²</td> </tr> </tbody> </table>								指定品牌	型号	TG值	玻璃布(张数)	阻燃性	加收价格	<input checked="" type="radio"/> 不指定 (真A级)	随机品牌	TG135	6	94V0	不加价	<input type="radio"/> KB (真A级)	KB6164(有水印)	TG135	6	94V0	起步价20+10元/m ²	<input type="radio"/> 台湾南亚 (真A级)	NP-140F(有水印)	TG140	6	94V0	起步价20+50元/m ²	<input type="radio"/> 生益 (真A级)	S1141(无水印)	TG140	6	94V0	起步价20+70元/m ²	<input type="radio"/> 生益 (真A级)	S1000H(无水印)	TG155	6	94V0	起步价40+100元/m ²
指定品牌	型号	TG值	玻璃布(张数)	阻燃性	加收价格																																							
<input checked="" type="radio"/> 不指定 (真A级)	随机品牌	TG135	6	94V0	不加价																																							
<input type="radio"/> KB (真A级)	KB6164(有水印)	TG135	6	94V0	起步价20+10元/m ²																																							
<input type="radio"/> 台湾南亚 (真A级)	NP-140F(有水印)	TG140	6	94V0	起步价20+50元/m ²																																							
<input type="radio"/> 生益 (真A级)	S1141(无水印)	TG140	6	94V0	起步价20+70元/m ²																																							
<input type="radio"/> 生益 (真A级)	S1000H(无水印)	TG155	6	94V0	起步价40+100元/m ²																																							
<small>1.市场上个别同行双面板1.6mm板材采用低档6层布(标准8张)，嘉立创给予抵制及曝光。 2.在此公布板材质量识别教程，大家可以按此方法识别避免踩坑。</small>																																												
外层铜厚	1盎司	2盎司	3.5盎司	4.5盎司																																								
阻焊颜色	<input checked="" type="radio"/> 绿色 <input type="radio"/> 红色 <input type="radio"/> 黄色 <input type="radio"/> 蓝色 <input type="radio"/> 白色 <input type="radio"/> 哑黑色 <input type="radio"/> 嘉立创紫																																											
字符颜色	<input checked="" type="radio"/> 白色																																											
阳焊覆盖	<input checked="" type="radio"/> 过孔盖油 <input type="radio"/> 过孔开窗 <input type="radio"/> 过孔塞油 <input type="radio"/> 过孔塞树脂+过孔电镀盖帽																																											
<small>过孔塞铜浆+过孔电镀盖帽 过孔处理图示</small>																																												

其他部分和上面下单的一致就可以。

飞控制作

1. 元器件采购

主控芯片：STM32F405RG

[原装正品 STM32F405RG LQFP-64 ARM Cortex-M4 32位微控制器 MCU - 淘宝网](#)

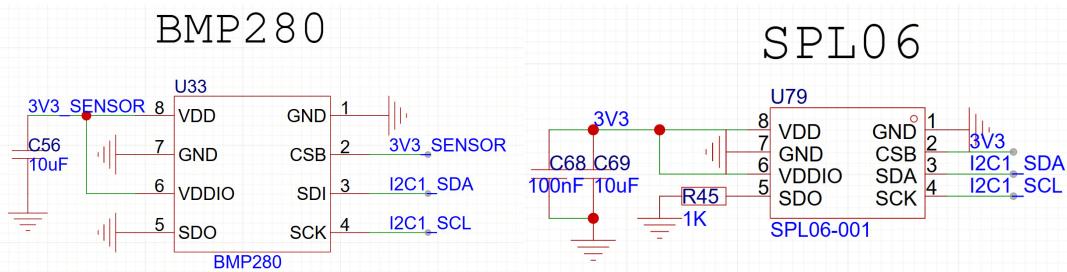


IMU：LSM6DS3



气压计：BMP280 或者 SPL06-001

说明：这两种传感器是引脚兼容的，都是可以焊接上去使用的，但是强烈建议使用 BMP280，因为 Betaflight 源码中没有 SPL06 的驱动，目前我也在适配中，所以直接使用 BMP280 就好。



其他的器件在立创下单即可

2. PCB 下单

飞控板是 4 层板，和电调板下单过程一致，板子厚度自行决定，可选 1.2mm。

机械组装

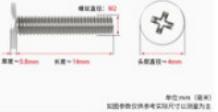
零件采购

本项目螺丝全部使用 M2 规格

1. M2x14 螺丝：需要 8 个固定机体板子

[黑色 304 不锈钢十字扁平头螺丝 CM 大平头薄头电脑螺丝钉 M2M3M4M5M6-tmall.com 天猫](#)

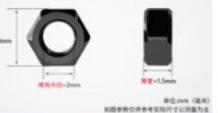
304不锈钢 50 个	【活动价】黑色304不锈钢十字 扁平头螺丝CM大平头薄头电... M2x14*4[50只]304本色 假一赔四 7天无理由退换 买贵...	¥ 3.30 x1
----------------	--	--------------



2. M2 螺母

[黑色 304 不锈钢六角螺母螺帽螺丝帽大全 M2M3M5M6M8M10M12M14M16M20-tmall.com 天猫](#)

304黑色 50 个	【活动价】黑色304不锈钢六角螺母螺帽 螺丝帽大全... M2[50只] 假一赔四 7天无理由退换 买贵...	¥ 4.80 x1
---------------	--	--------------



3. 塑料垫片：用于螺丝或者螺母和 PCB 的接触面 防止刮伤 PCB

[尼龙垫片塑料黑色垫片垫圈白色加大绝缘圆型平垫 MM2M3M4M5M6M8M10-tmall.com 天猫](#)

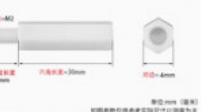
薄款白色平垫圈 100只	【活动价】尼龙垫片塑料黑色垫 片垫圈白色加大绝缘圆型平垫... 白 M2*5*0.5 (100个) 假一赔四 7天无理由退换 买贵...	¥ 2.50 x1
-----------------	---	--------------



4. 塑料柱：用于简易起落架

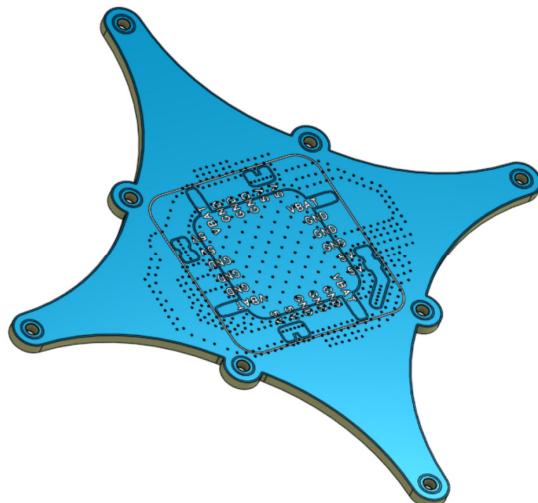
[单头隔离柱单通六角尼龙柱塑料支撑柱间隔柱绝缘柱螺柱 M2M2.5M3M4-tmall.com 天猫](#)

白色尼龙 10 个	【活动价】单头隔离柱单通六角 尼龙柱塑料支撑柱间隔柱绝缘... 2*30+6[10只] 假一赔四 7天无理由退换 买贵...	¥ 3.20 x1
--------------	---	--------------

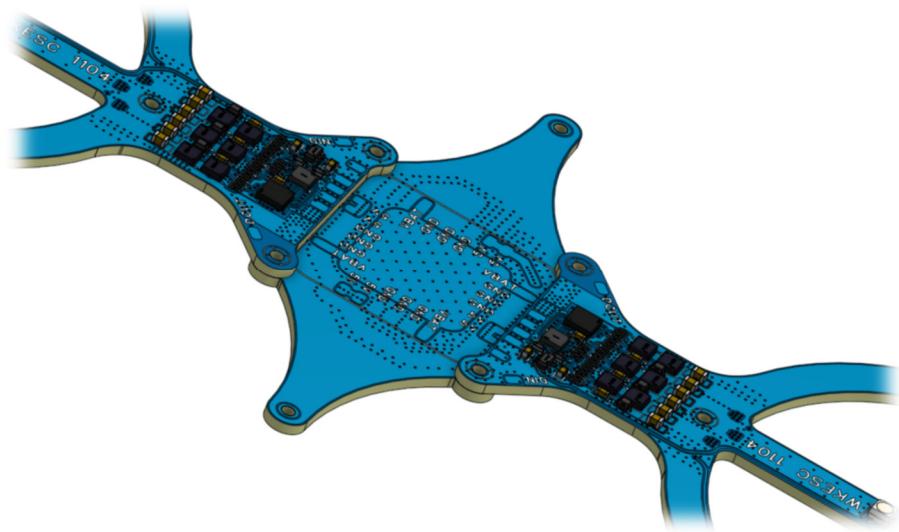


组装

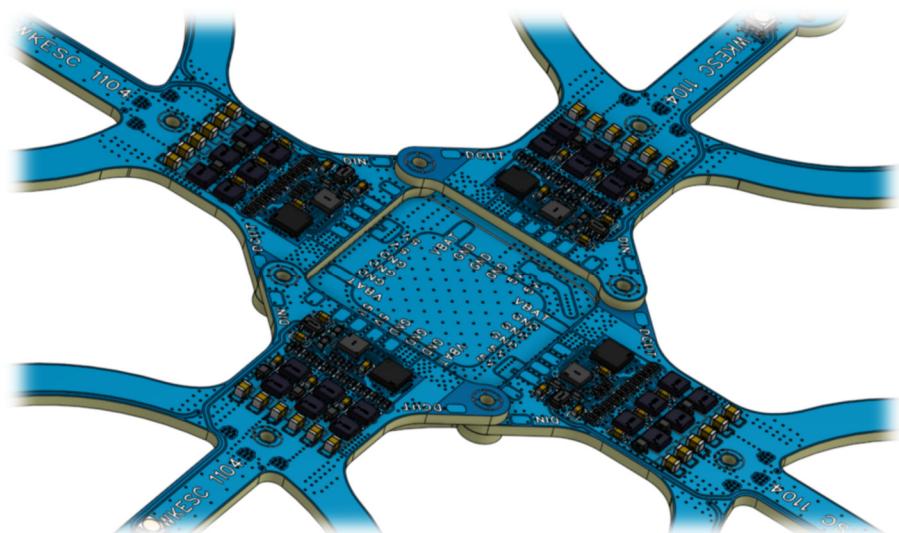
注意不含有 DCDC 电源的部分朝上:



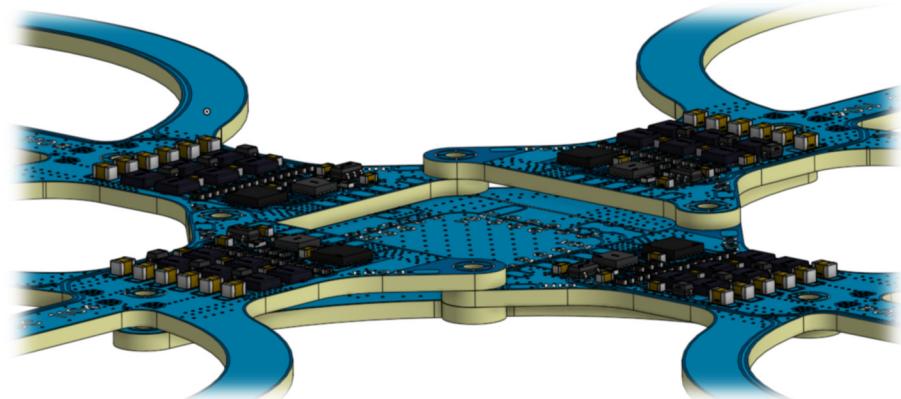
随后安装底部的两个机臂 (随便对称的两个):



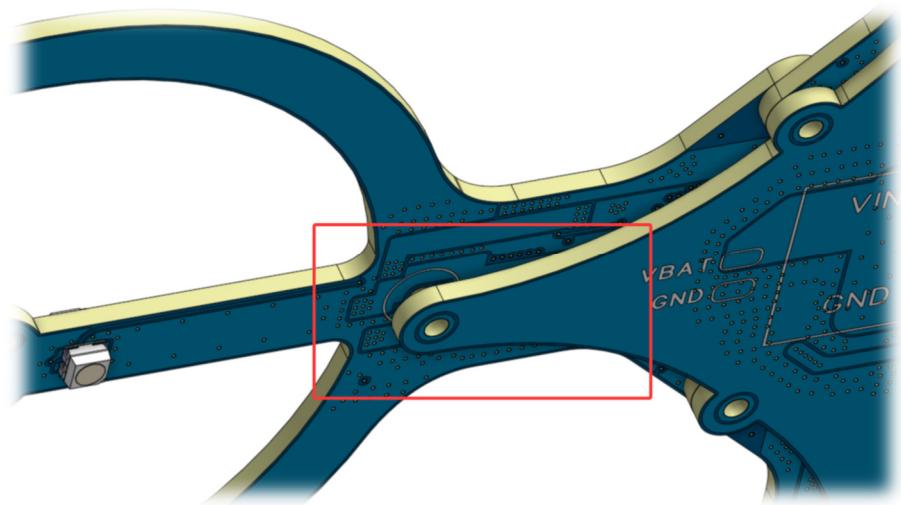
之后再叠放剩下两个:



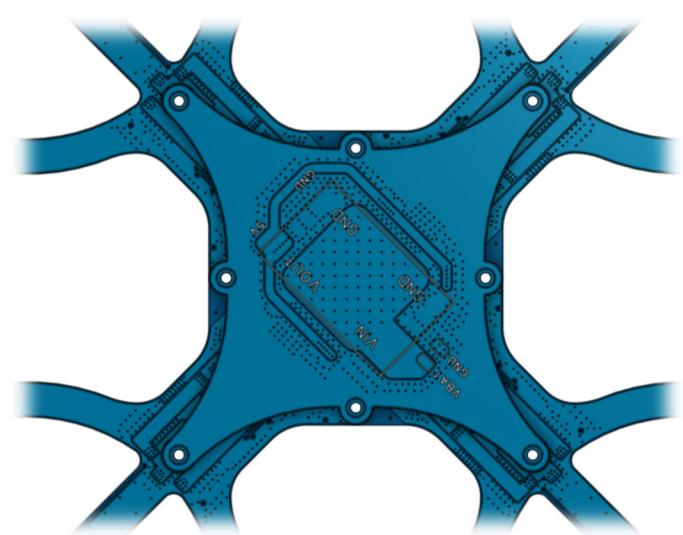
看起来大概是这样的：

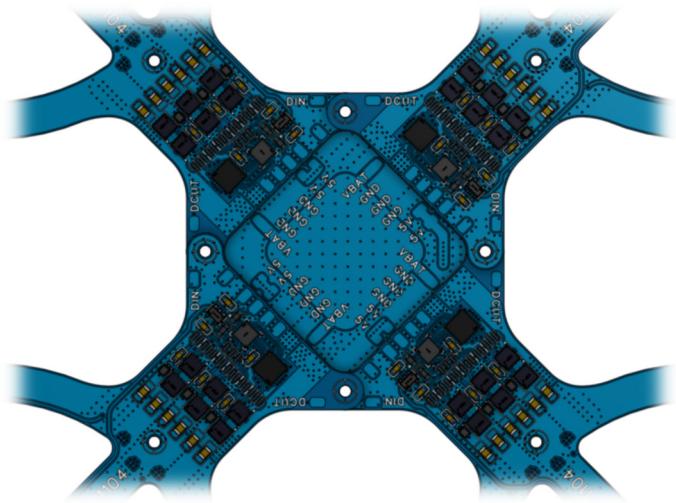


有两边这里是空的，后续会安装垫片：



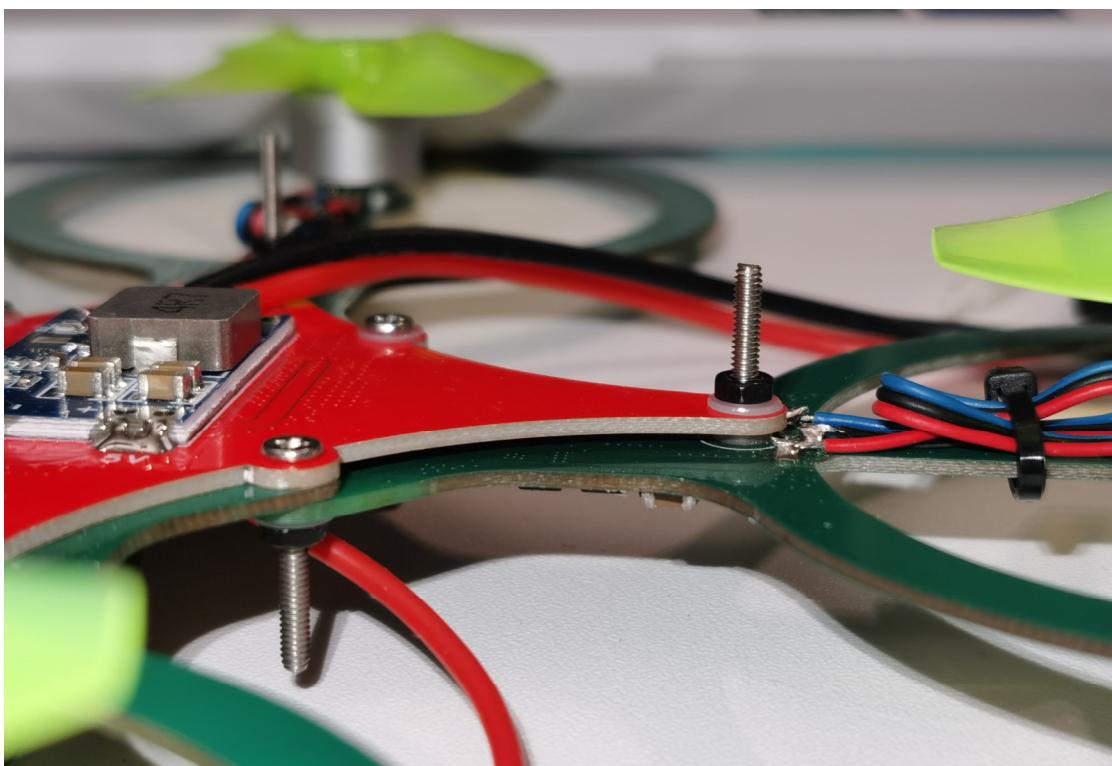
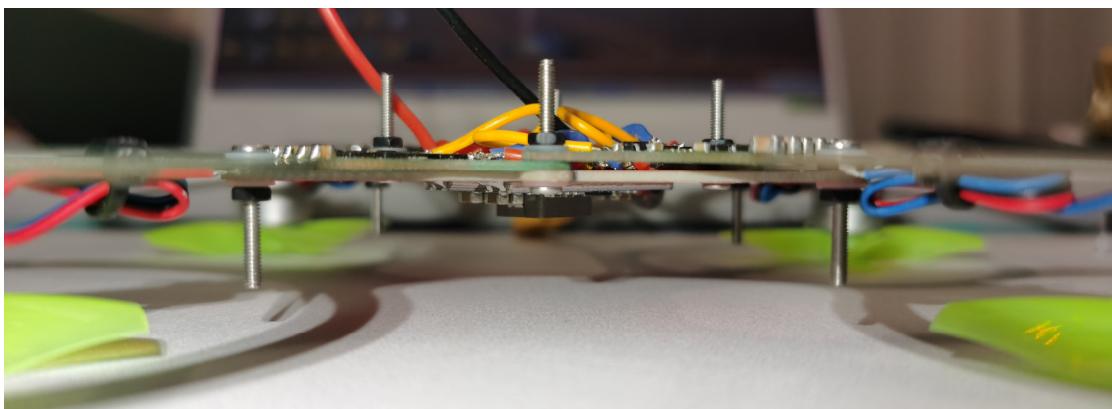
随后是安装主要的 8 个长螺丝：





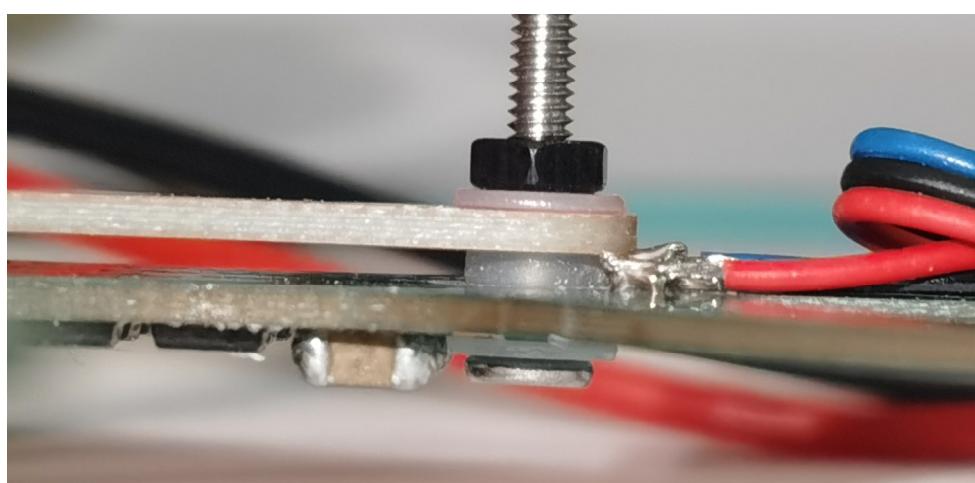
其中中间的四个螺丝向上安装，为了固定顶部的飞控，外边的四个螺丝向下安装，可以作为脚架固定位点。

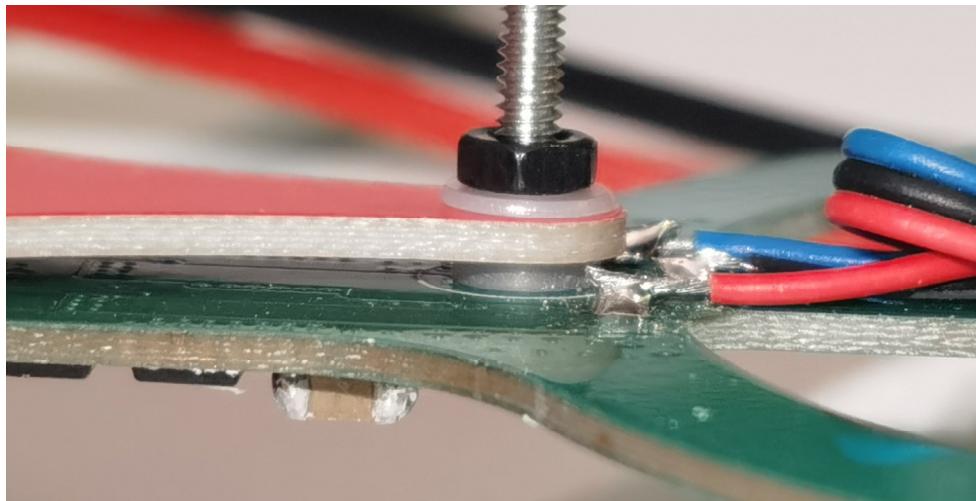
具体安装看图即可：





关于含有垫片的地方的安装：

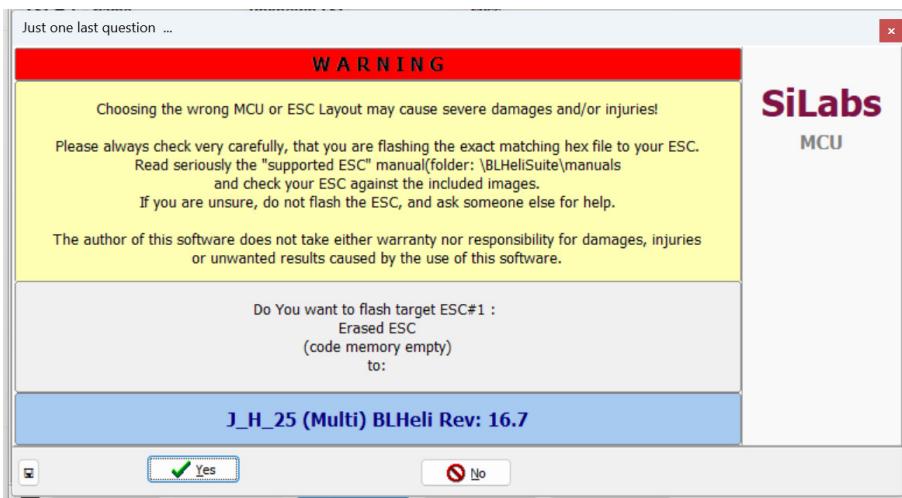
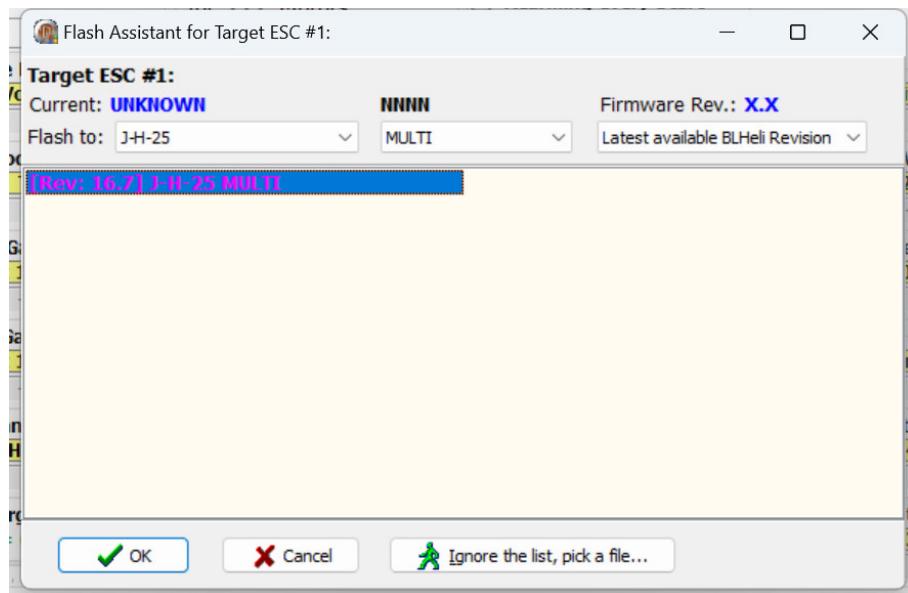




Blheli 电调固件烧录

这部分教程还是很多的，随便一搜就有很多，这里不再赘述。

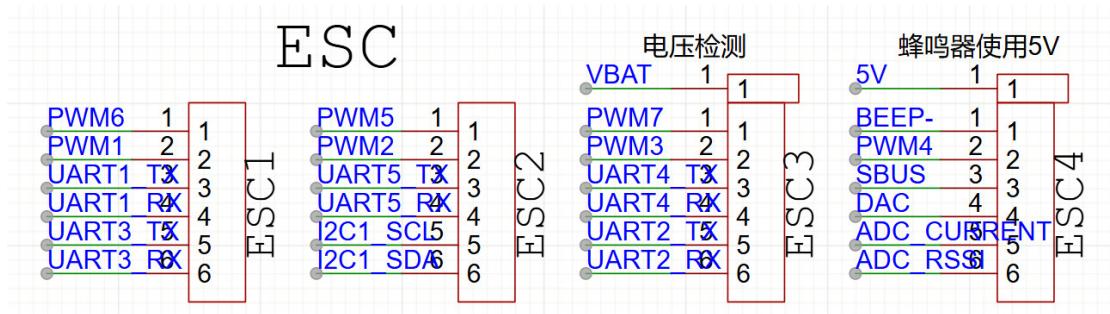
其中有一步需要选择电调类型(引脚分配) **这里需要按照如下配置!!!!!!**



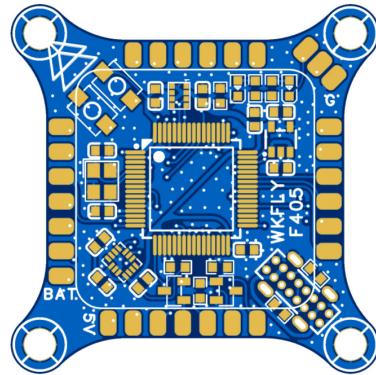
电调接口说明

VBAT	功率电源输入 直接连接到电池 支持 2-3S
GND	系统电源地 直接连接到电池负极
C2D	Blheli 电调固件烧录接口
C2CK	Blheli 电调固件烧录接口
PPM	电调控制信号输入接口 支持 PWM DSHOT 等等
5V	电调控制电源输入 5V 电压
IR	信标红外 LED 电源接口 (不使用则忽略)

飞控接口说明



这个就是板子边上四边的连接接口定义，具体位置可以参考 PCB



一般对于接收机焊接在 UART2

四个机臂的电调分别连接到 PWM1-PWM4 即可

对于蜂鸣器可以直接焊接在 5V 和 BEEP-之间 注意正负极

说明

如有其他问题或者对文章感到有错误或者缺失的部分欢迎 B 站私信或者评论区评论，感谢支持。