

1. 实验名称及目的

1.1. 实验名称

多旋翼动力系统静拉力测量（选做实验）

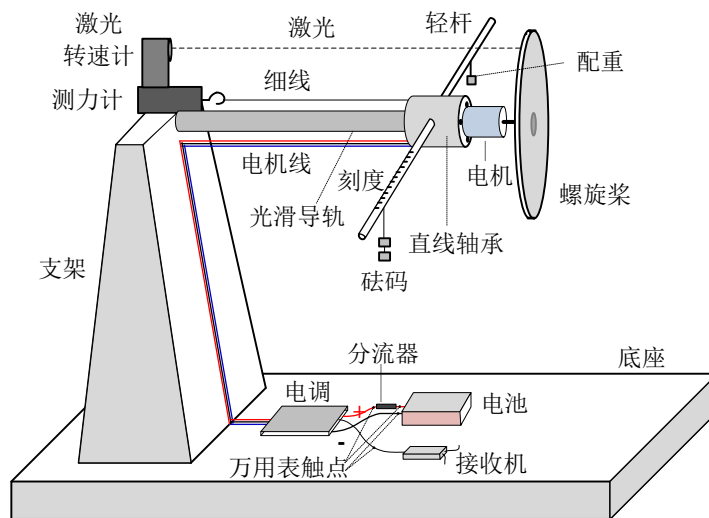
1.2. 实验目的

了解如何测试并记录辨识多旋翼动力系统静拉力模型所需的各种数据（主要是输入 PWM——输出螺旋桨产生的拉力和力矩），这里使用的动力系统综合测试台及配套系统非必需品，只要测力计的量程和精度足够且采集数据的频率符合 PWM 信号发送频率即可

1.3. 关键知识点

动力单元安装示意图

将所需测量动力单元（电机、螺旋桨、电调等）固定于动力测试台；如下图连接线路与装置



测试台需要采集的数据

名称	单位
电池输出电压	电压 (V)
电池输出电流	-
PWM 值	转/分 (rpm)
电机/螺旋桨转速	牛 (N)
螺旋桨拉力	牛·米 (N·m)
螺旋桨扭矩	瓦特 (W)
系统输入功率	瓦特 (W)
电机输出功率	-
电机效率	-
螺旋桨力效率	克每瓦特 (g/W)
动力系统力效	电流 (A)

分类	项目	指标	
储存	存储温度	-40 ~ +70 °C	
	保存湿度	< 90%	
	使用温度	-10 ~ +50 °C	
	使用湿度	< 80%	
设备	净重	10 ± 0.5 kg	
	毛重	12 ± 0.5 kg	
	尺寸	680 x 540 x 550 mm	
	测试电机最大直径	100 mm	
	测试动力系统最大质量	30 kg	
	测试螺旋桨最大直径	32 英寸	
	采样频率	10000 (G10) / 200 (L10) Hz	
	拉力传感器	量程	10 Kg
		传感器精度	0.1% ± 10 g
	温度传感器	环境温度量程	-40 ~ +125 °C
电机温度量程		-40 ~ +350 °C	
环境温度精度		±1.0 °C ± 1.5	
电机温度精度		±1.5 °C ± 1.5	
电压电流传感器	电压量程	11 ~ 100 V	
	电压精度	±0.1% ± 0.1 V	
	电流量程	2.0 ~ 80 A	
	电流精度	±0.4% ± 0.3 A	
转速传感器	量程（两极电机）	1500 ~ 300000 rpm	
	精度	0.5% ± 20	
扭矩传感器	量程	6 N·M	
	传感器精度	±0.2% ± 0.01 N·M	
来流速度传感器	量程	5 ~ 50 m/s	
	精度	3% ~ 8%	

2. 实验效果

3. 文件目录

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e2_MultiModelCtrl\1.MultiModelCtrl\](#)

文件夹/文件名称	说明
Ref	测试台相关资料

4. 运行环境

序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 ^①	1
2	数据采集与记录工具（动力测试台配套测试软件）	测量设备（动力系统综合测试台及配套系统）	1
3	MATLAB 2017B 及以上 ^②	动力供电电源（格氏 6S 5300mah 30C 动力电池）	1
4		动力电机（朗宇 35 08 580KV 电机）	1
5		动力桨（T1255 桨叶）	1
6		动力驱动控制电调（好盈乐天 40A 电调（无 BEC））	1
7		动力单元连接工具（香蕉头、电烙铁等配套工具）	1
8		重物固定测试台	1

①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/>

②：若更换需测试其他的动力套件，将对应的电机、桨叶以及电调进行更换即可

5. 实验步骤

5.1. 选做实验：静拉力静态模型测量

Step 1: 清理实验环境

将实验场地清理干净，保证动力测试台前有至少 3 米的气流缓冲区域，左后和右后有至少 2 米的气流缓冲区域。

检查线路缆连接是否正常，保证螺旋桨旋转范围无阻挡物，撤离实验无关或不在安全区域人员。

Step 2: 连接 5V 电源

给动力测试台供电，指示灯正常亮起之后，将动力电池连接“动力电源输入口”（“动力电源输出口”是与电调线连接的），打开计算机控制软件，观察软件连接状态及数据是否有波动，如未正确连接或通信将会有错误弹窗提示（如图 1 所示），按照提示检查错误；



图 1 错误弹窗提示

Step 3: 测试螺旋桨转向

软件与测试台连接正常后，在“控制”选项卡下设置对应电机的极对数，一般为“7”，并同时点击“清零”按钮对数据进行清零（并非按“电压清零”）。采用“手动控制”选项卡中的“手动油门”旁边的上小三角来调节 PWM 大小至 1100 或 1200，此时螺旋桨将会随电机转动而转动，待转动 3 秒左右后，将 PWM 用下小三角调节回落至 1000，此时认真观察螺旋桨的停止转动的方向是否正确（正确的转动方向应该是厚的一侧（前缘）迎风转动）。若转动方向反了，则将任意电调线的两根进行换接来实现反向转动。上述操作如图 2 所示；



图 2 动力测试台预设置

Step 4: 设定阶梯测试

在“控制”选项卡下的“手动油门”变更为“等距油门”；将数据“清零”，在“等距油门”选项卡下填写“初始 PWM”为 1000，“结束 PWM”为 1900，“步距”设置为 50，“单步时间”设置为 5s；点击“新建文件”，关闭“过采数据记录”与“高频数据记录”并打开“阶梯数据记录”，上述操作如图 3 所示；



图 3 动力测试台主界面

Step 5: 阶梯测试

设置好所有参数之后，点击“等距油门”选项卡下的“开启时间联动”，并立马点击“时间重置”，然后立刻点击打开“等距油门开启”。在 PWM 到达 1900 并运行 5s 之后，点击使得“等距油门关闭”以完成整个阶梯测试；

Step 6: 保存数据并断电

测试完成之后，点击打开“保存精简数据”，保存数据；然后先将动力电源（电池）断开（一定要先将动力电池断开），将动力测试台电源断开。

注 1: 为保证实验安全，实验过程中若有不在操控范围内的情况发生，请使用“控制”选项卡下“急停快捷键 ESC”按钮或者按下键盘的“ESC”键来使电机停机，若此操作仍然不可用，那在安全条件下将动力电源断开，再查找原因。操作中若有不清楚地方，请仔细查看“高频测试台软件使用说明书 1.141.pdf”以防设置错误；

注 2: 若软件设置与线缆连接皆没有问题，但是测量出来的数值偏差较大，则考虑以下两个方面：1）软件版本是否有问题，版本 G10.622 经测试没有问题；2）电调是否校准，校准方法为：软件显示数据后（暂不连接动力电源），将“手动油门”调至最大（2000），接通动力电源（电池与动力测试台上“动力电源输入”相连），此时会听到“滴”一声，再点击“急停”按钮，校准完成；

注 3: 当适配其他更小型号电机时，可能需要用到电机底座转接板，电机的连接就需要先连接转接板再固定至测试台上，如图 4 所示。

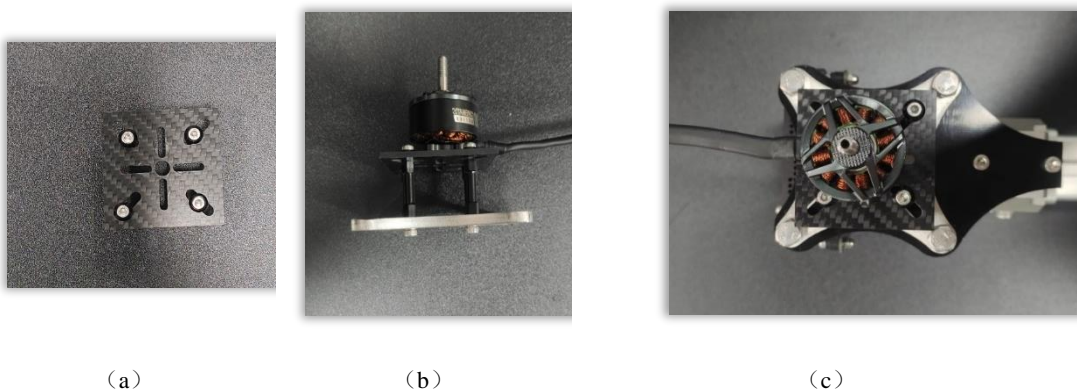


图 4 小型电机与动力测试台的连接

5.2. 选做实验：静拉力动态模型测量

Step 1: 确认实验装置安装正确

按照[选做实验：静拉力静态模型测量](#)中的 step1~3 进行实验

Step 2: 设定扫频测试。

在“控制”选项卡下的“手动油门”变更为“程控油门”；将数据“清零”，在“程控油门”选项卡下选择“波形”为“正弦波”，“控制频率”填写为正弦扫频信号的初始频率，“执行时间”填写为30（程控最大时间为30s），“扫频幂”设置为1.02，“初始最高PWM”为1900，“初始最低PWM”为1200，“末端最高PWM”设置为1700，“末端最低PWM”设置为1200；参数设置完成之后，点击“新建文件”，打开“过采数据记录”与“高频数据记录”。修改扫频的PWM范围等参数按需修改即可，设置如图5所示；



图5 扫频测试的相关设置

注：在扫频测试中，实际上采样频率是可调节的。在“设置”选项卡中，采样频率（Hz）等于10000/过采率；其余设置也可以在此选项卡中设置，请使用时认真阅读“高频测试台软件使用说明书 1.141.pdf”。

Step 3: 扫频测试。

设置好所有参数之后，参数设置如图6所示，点击“程控油门”选项卡下的“执行”；耐心等待实验完成，在其中若出现电机有烧焦味道传出，要视情况考虑是否采用“ESC”急停按钮停止实验；在测试完成之后，电机将会停转；



图6 扫频参数详细设置

Step 4: 保存数据并断电。

按照[选做实验：静拉力静态模型测量](#)中的 step6 进行实验

6. 参考资料

- [1]. 【第三期：载具运动建模与仿真（下）】 https://www.bilibili.com/video/BV1oE4m1X79t?vd_source=0380b6479dcd6152badff9c466134c51

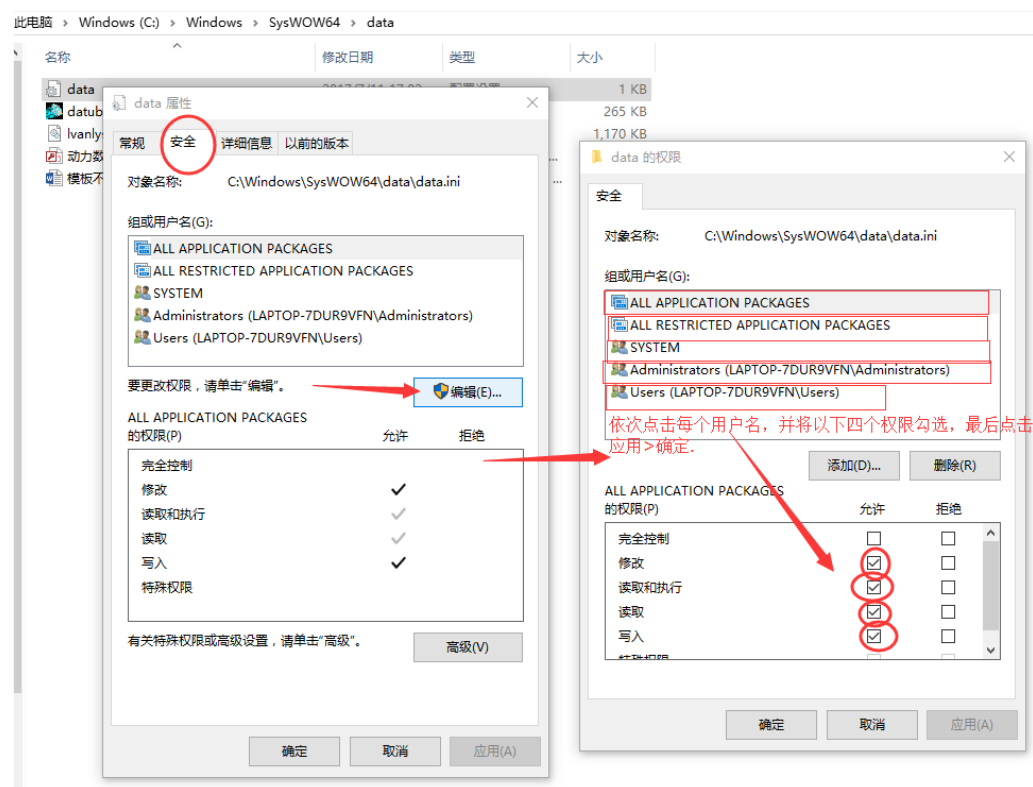
7. 常见问题

Q1: 安装螺旋桨时如何在弯轴上进行平衡校准

A1: 参见 [ref\桨平衡器的正确使用方法.pdf](#)

Q2: 测试台配套软件不能保存数据

A2: 因为系统更改了 UAS-TEST-G10 文件夹的权限，导致设置无法保存，可以按照以下步骤修改权限：



右键点击文件夹（UAS-TEST-G10）或文件（如 data.ini），选择“属性”。

在属性窗口中，切换到“安全”选项卡。

点击“编辑”按钮，进入权限修改界面。

选择每个用户组（例如 Administrators、SYSTEM、Users）。

对于每个选中的用户组，勾选“完全控制”、“修改”、“读取和执行”和“读取”这四个权限。

点击“应用”然后“确定”保存更改。

Q2: 编译报错，无法加载库文件



The screenshot shows a compiler error window with the following text:

```
Exp1_MinModelTemp 信息:源文件完成或工件缺失。 无法编译。有关详细信息，请参阅编译日志。 0d  
编译了 0 个模型，共 1 个模型(0 个模型已经是最新的)  
编译持续时间: 0h 0m 3.7699s  
无法加载 "pixhawk_slib_advi/CounterforceModel" 引用的库 "pixhawk_slib_advi".  
组件: Simulink]类型: block diagram 错误  
代码映射 - 组件窗口
```

A2: 这可能是由于安装平台时 PX4PSP 工具箱未更新到最新版，更新 RflySim 安装包后按照如下配置重新安装平台即可

Toolbox one-key installation script: RflySimA... — □ ×

(1) Software package installation directory
C:\PX4PSP

(2) PX4 firmware compiling command: firmware versions <= PX4-1.8 use format px4fmu-v3_default; >= PX4-1.9 use format px4_fmu-v3_default
px4_fmu-v6c_default

(3) PX4 firmware version (1: PX4-1.7.3, ... , 6: PX4-1.12.3, 7: PX4-1.13.2, 8: PX4-1.14.4, 9: PX4-1.15.0)
9

(4) PX4 firmware compiling toolchain (1: WinWSL[suitable for all versions], 2: Msys2[suitable for <= PX4-1.8], 3: Cygwin[for >=PX4-1.8])
1

(5) Whether to reinstall PSP toolbox (yes to reinstall and no to remain current installation)
yes

(6) Whether to reinstall the dependent software packages (CopterSim, QGroundControl, CopterSim, etc. About 5 minites)
no

(7) Whether to reinstall the selected compiling toolchain (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no

(8) Whether to reinstall the selected PX4 firmware source code (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no

(9) Whether to pre-compile the selected firmware with the selected command (yes to compile and no to remain unchanged, about 5 minites)
no

(10) Whether to block the actuator outputs in the PX4 firmware code ("yes" to use Simulink controller, "no" to use PX4 official controller)
no

OK Cancel