

万图直线电机选型安装调试指南

V1.2 郑华文

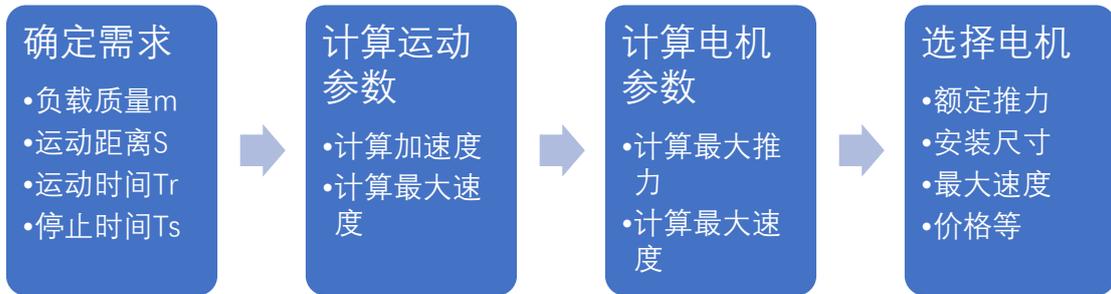
万图机器人（宁波）有限公司

版本	时间	修改记录
1.0	2022.4.1	文档初稿
1.1	2022.4.3	数据修改
1.2	2022.5.9	选型部分修改
1.3	2022.5.11	修改龙门选型部分

直线电机选型

选型方法

电机选型时需要的数据请参考选型样本，此处仅对选型的步骤和计算进行说明。选型时的基本步骤如下：



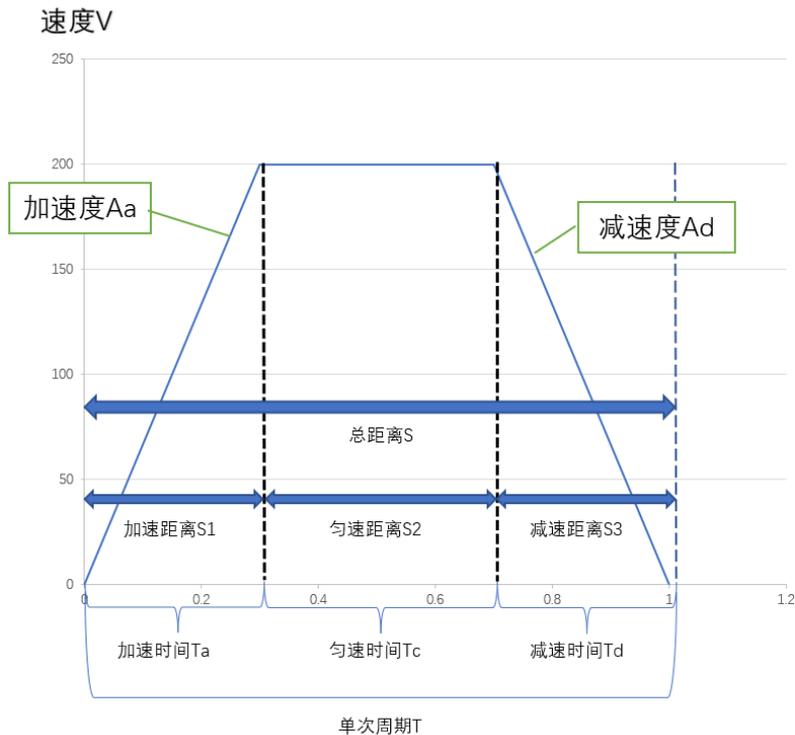
推力计算公式：

$$F=ma+m*u+V*b$$

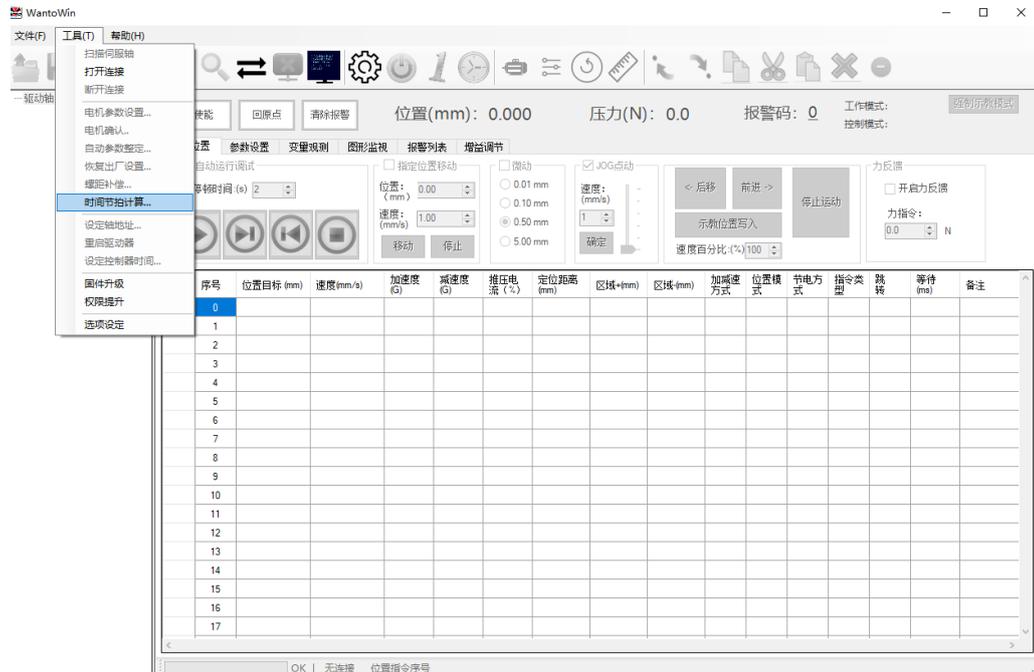
其中：

a 表示加速度，m 表示质量，u 表示摩擦系数，b 表示粘滞摩擦系数，V 表示运行速度

然后根据运动距离、负载质量等需求信息，按照梯形加减速来计算时间和推力。



具体选型时无需这么复杂的计算，利用调试软件的“时间节拍计算”工具可以直接得到推力数据。点击调试软件的工具菜单，然后点击“时间节拍计算...”打开计算工具。界面如下：



时间节拍计算

运动条件输入

距离 (mm): 100

速度 (mm/s): 500

加速度 (G): 1.00

减速度 (G): 1.00

负载质量 (kg): 10.0

停顿时间 (s): 0.30

动摩擦系数: 0.10

计算 >>

时间节拍

加速距离 (mm): 12.8

减速距离 (mm): 12.8

匀速距离 (mm): 74.5

加速时间 (s): 0.051

减速时间 (s): 0.051

匀速时间 (s): 0.149

最高速度 (mm/s): 500.00

总运动时间 (s): 0.251

总时间 (s): 0.551

推力

加速推力 (N): 107.8

减速推力 (N): 88.2

摩擦力 (N): 9.8

最大推力 (N): 107.8

推荐电机型号

序号	模型型号	电机型号	额定推力 (N)	额定电流 (A)	反电势 (V/m/s)
1	MF6-C3	LM35-C3 直线电机定子	105.0	4.5	20.2
2	MT120-C2, MF7-C2, MF9-C2	LM45-C2 直线电机定子	100.0	4.5	18.2
3	MT120-C2P, MF7-C2P, MF9-C2P	LM45-C2 并联直线电机定子	100.0	9.0	9.1
4	MT170-C1, MF15-C1	LM75-C1 直线电机定子	115.0	4.5	20.9

时间节拍计算工具中，“计算”按钮左侧的数字框是条件输入，可以填入运动距离、速度、加减速、负载质量，停顿时间和摩擦系数后，电机“计算”按钮，软件将自动计算出需要的数据，包括加速距离、减速距离、匀速距离、加速时间、减速时间、匀速时

间、最高运动速度、总运动时间、减速推力、减速度、摩擦力、最大推力。这些数据中，需要关注的是**总运动时间**和**最大推力**两项，**总运动时间可以判断是否能够满足节拍要求**，**最大推力则可以用于选择合适的电机**。

有时只知道负载、距离和节拍约束，这时可以多次尝试计算来检查输入的运动条件是否能够满足需求，可以先增大速度、一般直线电机的运动速度不超过 2m/s，如果速度到了上限仍然无法满足需求，则可以增大加速度和减速度，直到满足时间要求。

软件会根据计算得到的最大推力要求，查询数据库中的电机数据，然后推荐一些满足要求的电机型号和模组型号，并列出了每种电机的参数供选择和参考。

也根据最大推力查阅直线电机选型样本来找到合适的电机，一般按照：

电机持续推力 \approx 计算最大推力 $\pm 20\%$ (可允许 $\pm 20\%$ 的偏差)

来选型，可保证电机满足需求而不会出现过载情况。这里以电机持续推力当做最大推力选型相当于给一个较大的安全系数，故推力允许的偏差较大，在 $\pm 20\%$ 以内都可以接受。

很多时候能够满足推力需求的电机型号会有多种，这时需要考虑其它约束条件来进行综合考虑，比如尺寸约束、负载扭矩约束、价格因素等。通常推力类似的电机，定子宽度越小则长度越长，宽度越小定子价格也更低，但是电机定子长度变长后会影响到行程，和电机整体长度，所以需要根据具体的应用需求来选择最合适的电机。

注意：摩擦系数一般按照 0.1 计算，根据实际情况需要做相应的增减。

龙门应用选型方法

龙门应用时是双驱同时提供动力，选型时考虑总推力为两根轴推力相加，所以计算出总推力后按照总推力的一半进行选型即可。

如果需要龙门应用时，有两种方式实现：

1. 单驱动器驱动双轴，驱动器选择 30A 规格，龙门的两轴动力线并联接入驱动器，两轴推力相同，同时提供动力。由于从动轴无编码器反馈，所以连接龙门两轴的横梁必须刚性足够高才能保证从动轴的运动精度。
2. 双驱动器驱动两根轴，驱动器之间进行互相同步控制，外部控制信号可以把驱动器当做一根轴来处理。由于两根轴都有反馈，所以可以保证比较高的精度，但是也要注意横梁的刚性不能太高，由于两轴安装的编码器不可能完全保证相同，所以会存在误差，如果刚性太高会导致两轴互相憋住，需要保持一定的柔性。

所以选择龙门驱动方式时，需要考虑从动轴的重复定位精度要求以及横梁的跨度是否够大，如果是大跨度且要保证高重复精度，则建议用双驱动器；如果是小跨度或者是对从动轴的重复定位精度要求不高则可以用单驱动器。

选型案例

以实际案例来说明选型过程。

1. 一个客户需要选型直线电机，其负载为 40kg，运行速度为 1m/s，加速和减速区间均为 60mm。

此处知道了负载和速度、加速度要求，那么就可以直接通过计算软件来计算电机的最大推力。

序号	模组型号	电机定子型号	额定推力(N)	额定电流(A)	反电势(V/m/)
1	MT120-C6P, MF7-C6P, MF9-C6P	LM45-C6并联直线电机定子	300.0	9.0	27
2	MT120-C8P, MF7-C8P, MF9-C8P	LM45-C8并联直线电机定子	400.0	9.0	36
3	MT140-C4, MF11-C4	LM55-C4直线电机定子	300.0	4.5	54
4	MT140-C4P, MF11-C4P	LM55-C4并联直线电机定子	300.0	9.0	27
5	MT170-C3, MF15-C3	LM75-C3直线电机定子	345.0	4.5	62
6	MT210-C2	LM100-C2直线电机定子	335.0	4.0	68

加速度可以通过公式来计算：

$$A=V^2/2S=1/0.12=8.3m/s^2=0.85g$$

如果不计算，也可以通过微调加速度后不断计算来得到大概的加速度值。

根据推荐结果，选择比较常用的，尺寸尽量小的，最终选择 LM55-C4 较为合适。

2. 客户选型时，要求负载为 5kg，运行距离为 500mm，要求越快越好。

一般由于导轨限制，推荐直线电机的运行速度不要超过 2m/s，加速度 3g，因此，按照这个限制来计算推力。

时间节拍计算

运动条件输入

距离(mm): 500

速度(mm/s): 2000

加速度(g): 3.00

减速度(g): 3.00

负载质量(kg): 5.0

停顿时间(s): 0.00

动摩擦系数: 0.10

计算>>

时间节拍

加速距离(mm): 68.0

减速距离(mm): 68.0

匀速距离(mm): 363.9

加速时间(s): 0.068

减速时间(s): 0.068

匀速时间(s): 0.182

最高速度(mm/s): 2000.00

总运动时间(s): 0.318

总时间(s): 0.318

推力

加速推力(N): 151.9

减速推力(N): 142.1

摩擦力(N): 4.9

最大推力(N): 151.9

推荐电机型号

序号	模组型号	电机定子型号	额定推力(N)	额定电流(A)	反电势(V/m/s)
1	MF6-C4	LM35-C4直线电机定子	140.0	4.5	26.9
2	MF6-C4P	LM35-C4并联直线电机定子	140.0	9.0	13.5
3	MT120-C3, MF7-C3, MF9-C3	LM45-C3直线电机定子	150.0	4.5	27.3
4	MT140-C2, MF11-C2	LM55-C2直线电机定子	150.0	4.5	27.3
5	MT140-C2P, MF11-C2P	LM55-C2并联直线电机定子	150.0	9.0	13.6
6	MT210-C1	LM100-C1直线电机定子	167.0	4.0	34.1

将条件输入软件进行计算，可得单程运动时间 0.318s，最大推力约 152N，软件筛选出 5 种电机定子能够满足需求。由于小负载，考虑尺寸要尽量小，因此选择 LM45-C3 或者 LM35-C3 作为最终选型，相应的模组型号为 MF6-C3 和 MF7-C3。

直线电机安装

模组形式安装

1. 普通模组

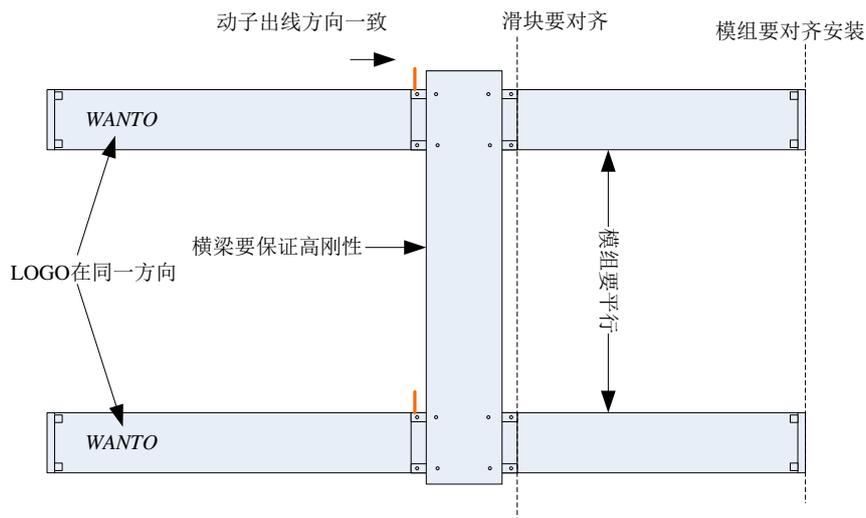
模组在出厂前已经经过精确调整，其直线度、重复精度、噪声均已经达到设计指标。

2. 龙门双驱安装

用一台驱动器带双电机组成龙门驱动，可保证较高的同步精度，在设计和安装时需要注意。下订单时需要注明是龙门双驱同动应用，工厂制造时两根直线电机需要完全一致的定子安装方向、一致的动子中心位置、一致的动子出线方向，一致的整体尺寸。出厂前需要进行同动测试。出厂时公司 LOGO 贴的位置统一在电机模组的 S 端，以方便客户现场安装时辨认。另外，驱动器需配 30A 版本。

客户现场安装时需要注意：

1. 两根直线电机需要保持平行，平行度要求在 (0.1mm/m) 以下。
2. 电机上的 LOGO 要在同一个方向，动子出线方向要一致，以保证电机出力方向一致。
3. 连接两根直线电机的横梁需要保证高刚性，否则影响同步精度。
4. 横梁安装好之后，需要确保两个动子的位置对齐，对齐精度确保在 (0.1mm) 以内。安装完成后可以将滑块推到模组的极限点（防撞块）上，查看是否两个动子都碰到防撞块来确认是否对齐。



双驱动器驱动龙门轴时只需将保证两轴平行安装，驱动器设置成相同参数，主动轴的 186 号参数设置为 1，从动轴设置为 2 即可进行同步控制。（注意：需要双驱动器龙门同步控制功能时，驱动器软件不同，订购时需要说明。）

自主设计安装

客户需要采购动子和定子自主设计结构时，需要注意以下几点。

1. 导轨安装

- 安装前用油石和软布擦拭安装面，去除毛刺
- 测量安装面和定位面的直线度
- 清理导轨安装面（导轨反面）
- 安装导轨
- 确认主导轨直线度
- 确认副导轨直线度和主副轨平行度
- 确认主副轨等高度
- 测量双规综合直线度

安装视频：[维懂百科-导轨安装 - 西瓜视频 \(ixigua.com\)](https://www.ixigua.com)

导轨安装之后最重要的指标是双轨平行度、双轨等高度，直线度需要在 (0.03mm) 以内。

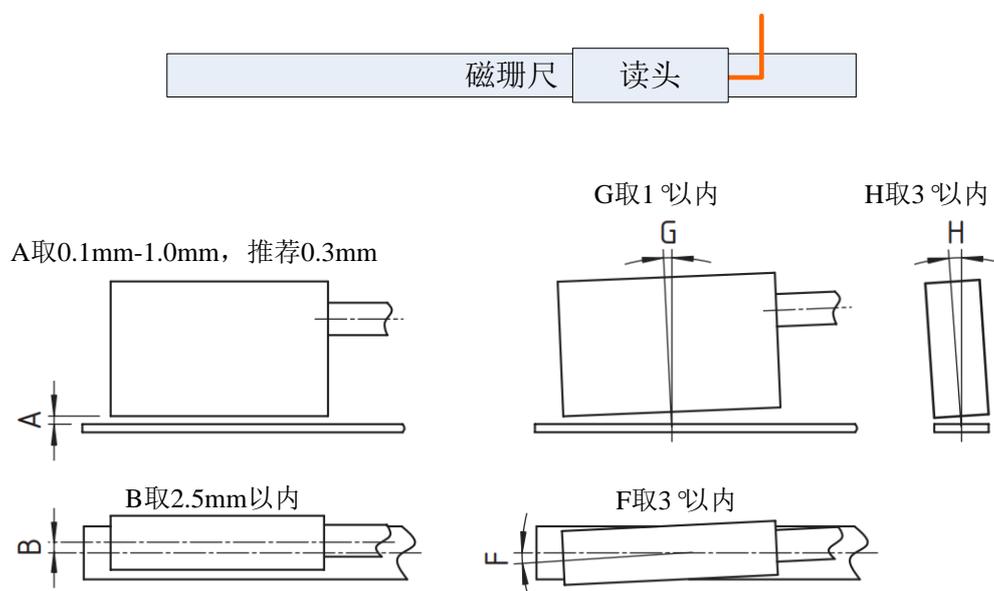
2. 动定子安装

- 定子安装时需注意安全!!!，由于定子上带强磁，如果操作不当吸合在一起可能夹伤手指，拿出定子时请务必注意。
- 每块定子板上都有一个“S”标记，为强磁的 S 极，另外一端是 N 极，安装时需要按顺序安装，并且 N 极连接 S 极，不能 S 极对 S 极 或者 N 极对 N 极。
- 在设计时需要计算确保，动子和定子的气隙保持在 0.4mm-0.8mm 之间。



3. 编码器安装

- 首先安装磁栅尺，磁栅尺为预先充磁好的弱磁条状栅尺，注意不要碰到强磁或者带磁性的物品!!! 比如螺丝刀等尖部带磁性有可能会将磁栅尺重新磁化，影响电机的位置反馈，造成电机跳动、报警故障。
- 平板式直线电机，磁栅尺距离电机定子的正面距离要大于 40mm，侧面距离需大于 20mm，背面距离大于 10mm。
- 安装编码器读头时需要保证编码器读头和磁栅尺正对，且安装距离在 0.1-1mm 之间，理论上安装间距越近，读头的重复精度以及线性度越好，所以应该让读头和磁栅尺尽量保持靠近。推荐间距为 0.3mm，安装时可以使用塞尺来确保间距，如果没有塞尺可以使用 A4 纸来代替，普通办公打印用 A4 纸的厚度一般为 0.1mm，多张折叠在一起可得到不同的厚度。其他安装误差要求如下图所示。



直线电机调试

一台新的直线电机，出厂时已经调好，但是如果改变了负载，或是要适配新的控制器，则需要重新调整参数，不然会出现抖动、噪声、过冲等情况。下面说明一下如何去调整控制参数，达到满意的控制效果。

调整需要用到的参数包括以下几个：

- 11 号参数，软限位正
- 12 号参数，软限位负
- 13 号参数，导程
- 21 号参数，编码器分辨率
- 28 号参数，极对数
- 34 号参数，位置比例增益
- 35 号参数，速度比例增益
- 36 号参数，速度积分增益
- 41 号参数，扭矩滤波器截止频率
- 83 号参数，控制模式
- 131 号参数，陷波滤波器开关
- 132 号参数，陷波滤波器频率
- 133 号参数，陷波滤波器品质因数

1. 调整基础参数

1. 调整正负限位，11 号参数正限位一般设定为轴行程的最大值+0.3mm，表示最大到该位置，超过会报警。同理，12 号参数负限位一般设定为-0.3mm。
2. 调整 13 号参数 直线电机目前的磁距为 32mm。
3. 调整 21 号参数 编码器分辨率 32000 和 1048576 以及 131072 三种，具体可以询问售后编码器型号。一般增量 1um 的编码器分辨率为 32000，协议型磁栅编码器为 1048576，而协议型内置编码器的分辨率为 131072。
4. 调整 28 号参数 极对数：1。
5. 调整 29 号参数，编码器计数方向。取值为 0 和 1。一般如果上使能后报警 24

或者 26（过流报警），则需要调整编码器的计数方向。

- 调整 83 号参数 控制模式，0 对应点位控制模式、4 对应脉冲模式、5 对应电磁阀模式、30 对应 CANopen 总线模式、40 对应 EtherCAT 总线模式。具体可参考伺服说明文档。

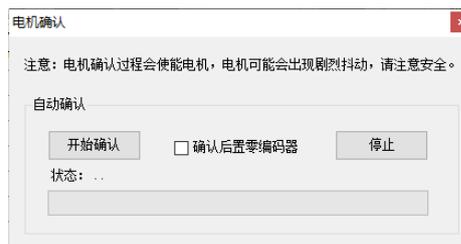
基础参数设置除了手动逐项设置之外，也可以通过上位机软件的“电机参数设置”界面来导入基础数据库中的值，这样可以简化设置。电机上位机软件的 工具菜单-> 电机参数设置 选项来打开电机设置界面。



选择好之后，点击“保存”按钮将设定信息保存到驱动器中。要设定生效，需要重启驱动器，点击上位机软件的“重启驱动器”按钮来重启驱动器。



重启之后，确认电机编码器的计数方向是否正确，点击 工具->电机确认，进入点击确认界面。然后点击“开始确认”按钮，进入确认过程。等待确认完成后，软件将自动调整编码器的计数方向，重启驱动器，使得确认信息生效。



到此，电机应该已经能够驱动运动，可以用上位机软件使能电机并点动运行看电机是否能够正常运动。为了让电机运行更加平稳，定位更加精确，需要再对参数进行细调。

2. 调整增益参数

自动设定增益参数

点击调试软件的工具->自动参数整定，进入自动增益调整界面。

1. 刚性调整

电机刚性等级分为32等级：
0代表最低刚性，31代表最高刚性。
刚性越高电机表现越“硬”，位置和速度跟随性能越好，但是刚性过高也会导致振动甚至失控。
一般不同机械传动结构刚性设置不同：
皮带传动：15以下
丝杆或齿轮传动：15-20
直驱类：20以上

2. 负载惯量设定

如果已知负载质量M，则请直接输入，软件将自动折算相应的惯量。
如果不清楚负载质量，请使用负载质量估算来进行自动计算。
注意：自动计算的负载质量不一定准确，负载质量设置过大会导致电机啸叫或者振荡，此时可适当减小该值。

3. 保存设定

设定好刚性等级和惯量比之后保存参数，并重启驱动器。

电缸行程(mm): 32.00 滑块质量(Kg): 2.00 电机类型: 直线

增益相关参数

位置环增益: 5.00 速度环增益: 5.00 刚性: 15

速度环积分增益: 200.00 转矩滤波器: 300.00

惯量比: 0.00

负载相关参数

已知负载质量 负载质量(Kg): 0.00 估算时加速度(g): 0.30

负载质量(kg): 0.00

自动估算负载惯量

已知负载质量可直接输入

刚性值15适合大部分应用场合

保存 关闭

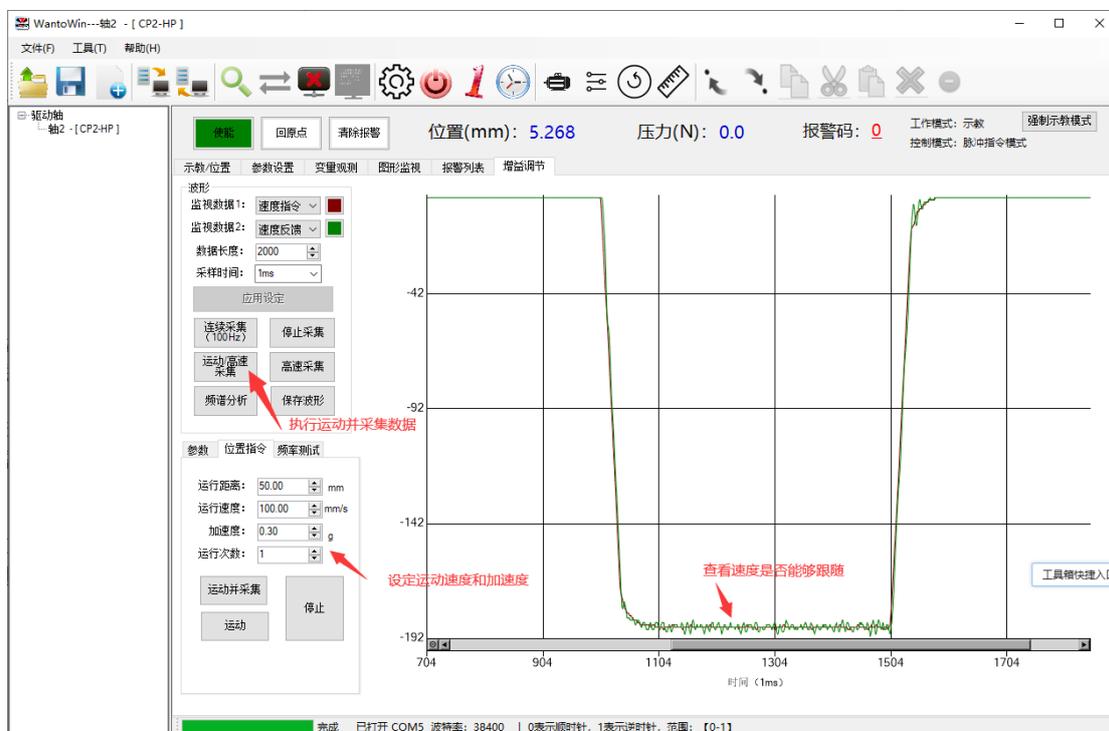
先调整刚性值，一般刚性值设定为15可以满足大部分应用需求。然后设定惯量比，惯量比通过负载质量计算出来，如果已知负载质量，则直接输入即可，如果未知，可以用软件自动估算。

注意自动估算时电机可能会产生小幅运动，要注意不要产生碰撞，可让滑块先定位到模組的中间位置再运行自动估算功能。如存在摩擦力较大等情况时，自动估算的值和实际值会存在比较大的偏差，需根据具体情况来判断是否接受设定的值。

设定完成后，保存参数，并重启驱动器生效。

查看波形

要确认设定的参数是否可以接受，需要查看波形来确认。打开上位机软件的“增益调整”选项卡，进入增益调整界面。



如果速度反馈波形能够跟随速度指令，则增益设定可接受。如果有较大的过冲、振荡，则增益设定不对，需要手动调整。查看波形界面，可以设定不同的查看数据，以及采样时间，从而从不同尺度和变量来评估电机的运行情况。

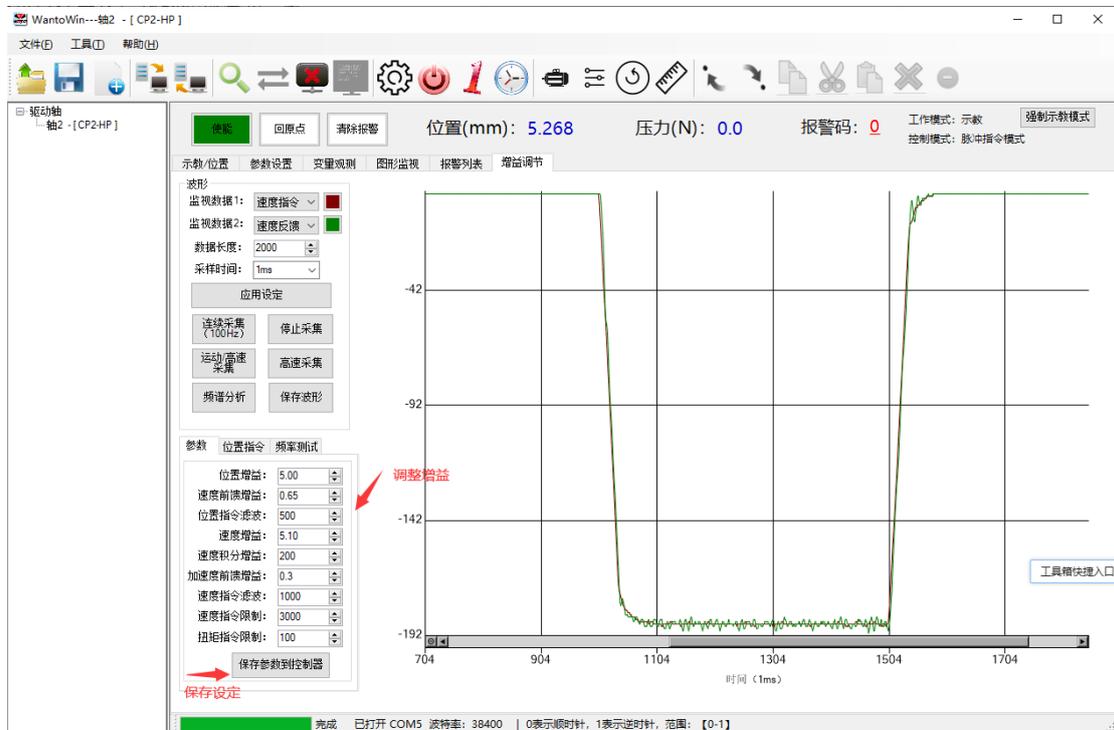
手动调整参数

需要理解各项参数的意义，主要调节的参数包括位置比例增益、速度比例增益、速度积分增益、速度前馈、加速度前馈、扭矩滤波器截止频率、惯量比、陷波滤波器。每项参数的意义如下：

1. 位置比例增益，设置范围：5-25，针对直线电机该值一般设定为 **5** 可以比较好的跟随位置指令而不发生振荡。如需减小位置跟随误差，可以适当调大该值，但不能太大，太大了容易产生振荡。
2. 速度比例增益，设置范围：10-50，针对直线电机该值一般设定为 **15**。该值越大，PPU 的整体刚性越好，但是设置过大会产生振荡，出现较大的谐振和噪声。
3. 速度积分增益，该值一般设置为 **60** 即可，如果有过冲现象，或者振荡，可以适当调大该值。
4. 速度前馈增益，取值范围：0-1，速度前馈增益可以提高位置环的整体带宽，减小位

置跟随误差，一般设定为 0.65 是一个比较合适的值。

5. 加速度前馈增益，取值范围：0-1，加速度前馈增益可以提高速度环的整体带宽，减小速度跟随误差和速度过冲等问题。该值需要在惯量比、电机惯量等参数设定正确的情况下才会获得应有的效果，如果惯量比等值设置不对会导致加速度前馈过大或者过小，输出过冲或者无效等问题。
6. 扭矩滤波器截止频率，一般针对直线电机该值设置为 **300**，如果电机运行的时候噪声较大，可以适当减小该值，一般合适的范围为 100-500.太小了会导致整体带宽下降，低速运行时就会抖动，太大了会产生谐振的噪声，调整的时候可以尝试修改再看运行效果然后逐步调整该参数值。
7. 惯量比，惯量比是负载质量和滑座动子质量的比值，默认为 0，表示空载，该值相当于对 35 号参数进行放大，所以调整的时候需要慢慢增加该值。

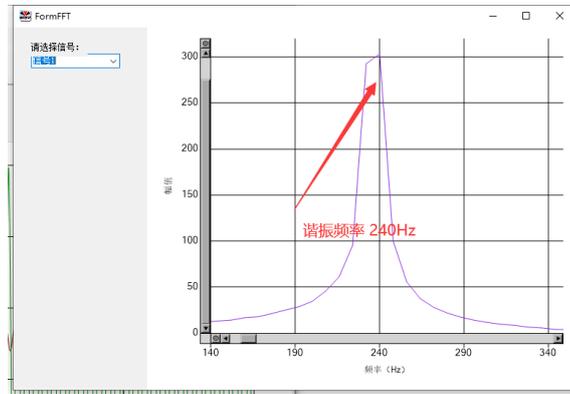
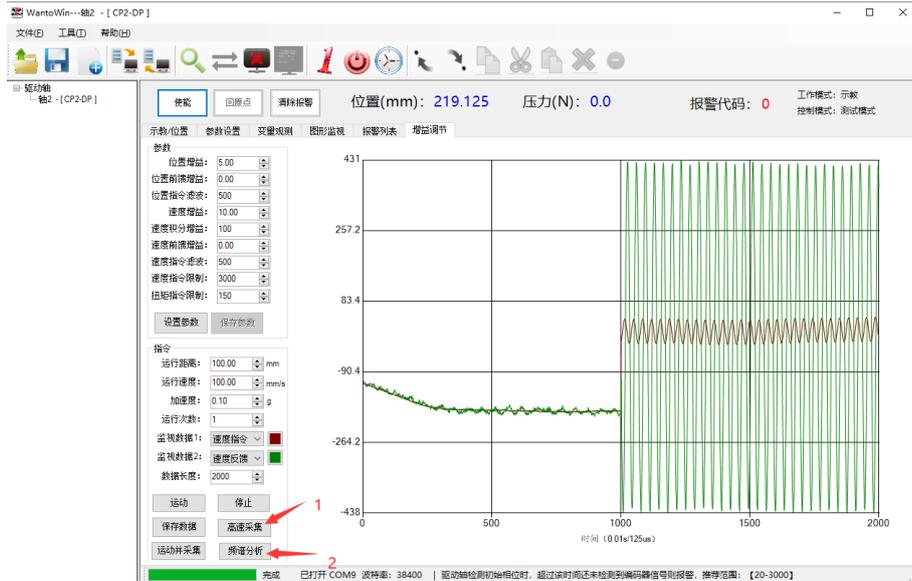


在增益调节界面，可以直接设定这些比较关键的参数，调整参数后可以采集运动波形，确认效果，最后完成参数调试。一般修改最多的是速度增益，该值对整体运行的性能影响最大，逐步调整该值，直到速度反馈波形可接受。

3. 解决机械谐振

如果由于机械刚性不高导致产生了机械谐振，则需要加入陷波滤波器来过滤谐振频率，从而去掉噪声，提高增益。

当电机产生振荡时，记录速度波形，并进行傅里叶分析，获得谐振频率，然后调整 131、132、133 号参数通过陷波滤波器对谐振进行抑制。当电机产生谐振时，会发出比较大的声响。在调试软件的增益调节页面，点击（高速采集）按钮，可以将振荡波形记录下来。然后点击频谱分析可以得到振荡频率。



在 132 号参数中填入频谱分析得到的谐振频率，如上图 240Hz，然后调整 133 号参数品质因数为 85，该值越大，陷波滤波器的下陷越快，下陷带宽越窄。然后设置 131 号参数为 1，打开第一组陷波滤波器。经过上述调整可以获得比较好的效果。