

# 伺服性能调试指导

姓名：

部门：技术部

密级：公开



A background image showing a group of business professionals in a meeting. A woman with blonde hair is in the foreground, looking at a laptop. Other people in business attire are visible behind her.

## 学习目标

通过本课程的学习，希望你能够：

- 1、生动的理解伺服的性能以及性能调试必要性；
- 2、掌握汇川伺服性能调试的整体流程；
- 3、了解汇川伺服单一性能指标的调试方法。

# 目 录

- 一 汇川伺服调试流程--电机JOG
- 二 汇川伺服调试流程--惯量辨识
- 三 汇川伺服调试流程--自动调整
- 四 汇川伺服调试流程--手动调整
- 五 汇川伺服调试流程--共振抑制
- 六 性能调试问题排查思路

### 整体流程：

#### 1、电机JOG（后台或面板）

检查驱动器、电机的接线是否正确，运行是否正常。

#### 2、惯量辨识

判断电机的负载情况，检查机械连接的状况。

#### 3、自动调整

伺服性能调试的要求往往是：**快、准、稳、易。**

先用Etune或Stune进行自动增益调整，首先推荐Stune默认模式4，一边调节刚性等级一边观察运行效果，可以满足很多应用。

#### 4、手动调整

如果自动调整效果欠佳，改用手动调整，微调相关增益，并采用包括共振抑制、增益切换等在内的一些手段。

# 第一部分

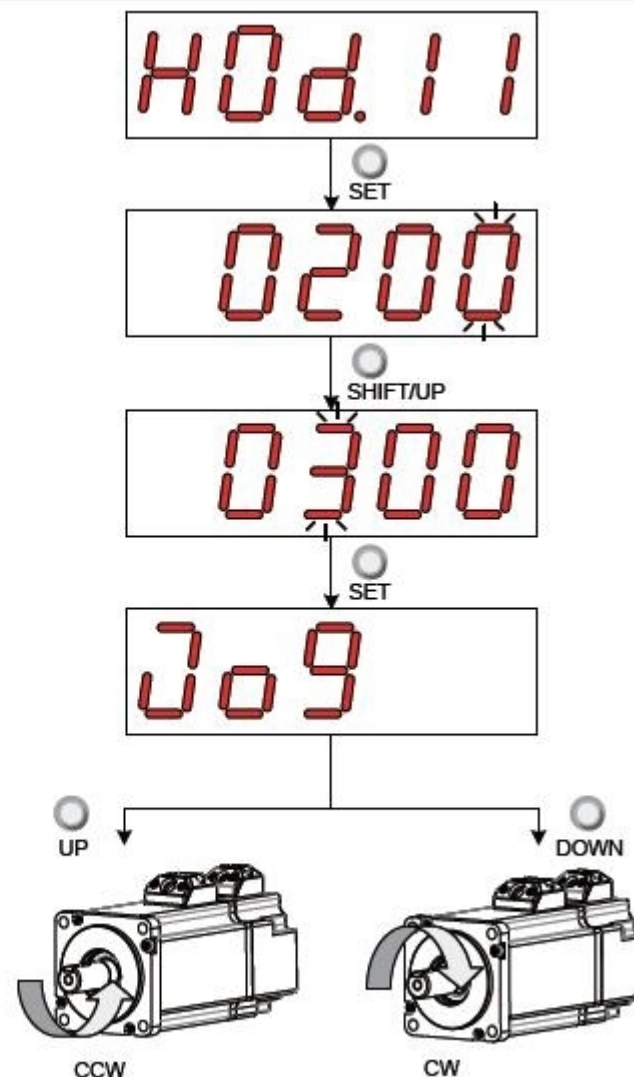
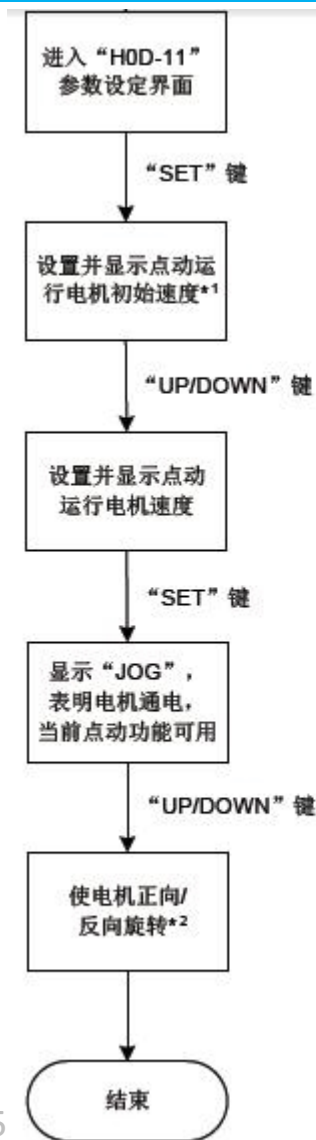
# 汇川伺服调试流程--电机JOG

## JOG类型

### 1、面板点动

- 1) 使用点动功能**检查**控制回路、动力线、编码器线**接线正常**;
- 2) 使用点动运行功能时，**需将伺服使能信号(S-ON)置为无效，否则不能执行！**

**注意：伺服能够点动说明伺服控制回路、动力线、编码器线连接没有问题。**



# 第一部分

# 汇川伺服调试流程--电机JOG

## JOG类型

### 2、后台点动（速度或位置点动）

轴选择: 轴1

速度JOG

JOG速度: 100 rpm (0, 3000)

JOG加减速时间: 500 ms (0, 65535)

伺服ON/OFF: Off

← 长按正转      → 长按反转

轴选择: 轴1

STEP1-使能

转速: 60 rpm (1, 6000)

加速时间: 200 ms (1, 65535)

减速时间: 200 ms (1, 65535)

使能ON

STEP2-极限位置设定

←      当前位置: 20119      →

20132 pulse      (-2147483648, 2147483647)      3668 pulse      (-2147483648, 2147483647)

设为正极限位置      设为负极限位置

STEP3-运行

运行模式: 往复模式

运行次数: 5

等待时间: 500 ms (0, 65535)

生成曲线

位置JOG

Speed[r/min]

Time[s]

运行位置跟踪

## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

### 什么是惯量和负载惯量比:

(1) 刚体对于旋转运动的惯性量度就是转动惯量，简称**惯量**，单位为 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

400W H1电机本体的惯量为 $3.76\times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

400W H4电机本体的惯量为 $6.57\times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

标识	类型
MS1-H 1	低惯量、小容量
2	低惯量、中容量
3	中惯量、中容量
4	中惯量、小容量

(2) **负载惯量比**定义为“外部机械的转动惯量/电机自身的转动惯量”，功能码是H0815。

如果电机轴上不连接任何负载， H0815应设为0.00

如果电机轴上连接一个同样的电机， H0815应设为1.00

## 第二部分

## 汇川伺服调试流程--惯量辨识

如何计算出惯量：

方法1 可以根据机械的类型和参数手工计算，优点是可以预估，便于选型；缺点是需要了解很多机械参数，计算复杂。

<p>实心圆柱</p>	$J = \frac{1}{2} m r^2$ $J = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot l \cdot r^4$	J: 惯量 (kg·m <sup>2</sup> ) m: 物体质量 (kg) r, R: 圆柱体半径
<p>空心圆柱</p>	$J = \frac{1}{2} m \cdot (R^2 + r^2)$ $J = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot l \cdot (R^4 - r^4)$	
	$J = m \cdot \left( \frac{P_B}{2\pi} \right)^2$ <p>P<sub>B</sub>是丝杆导程</p>	经过减速机之后的转动惯量（以电机轴端为基准计算转动惯量）：
<p>薄壁中空</p>	$J = m \cdot r^2$	$J_L = \frac{J}{i^2}$



## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

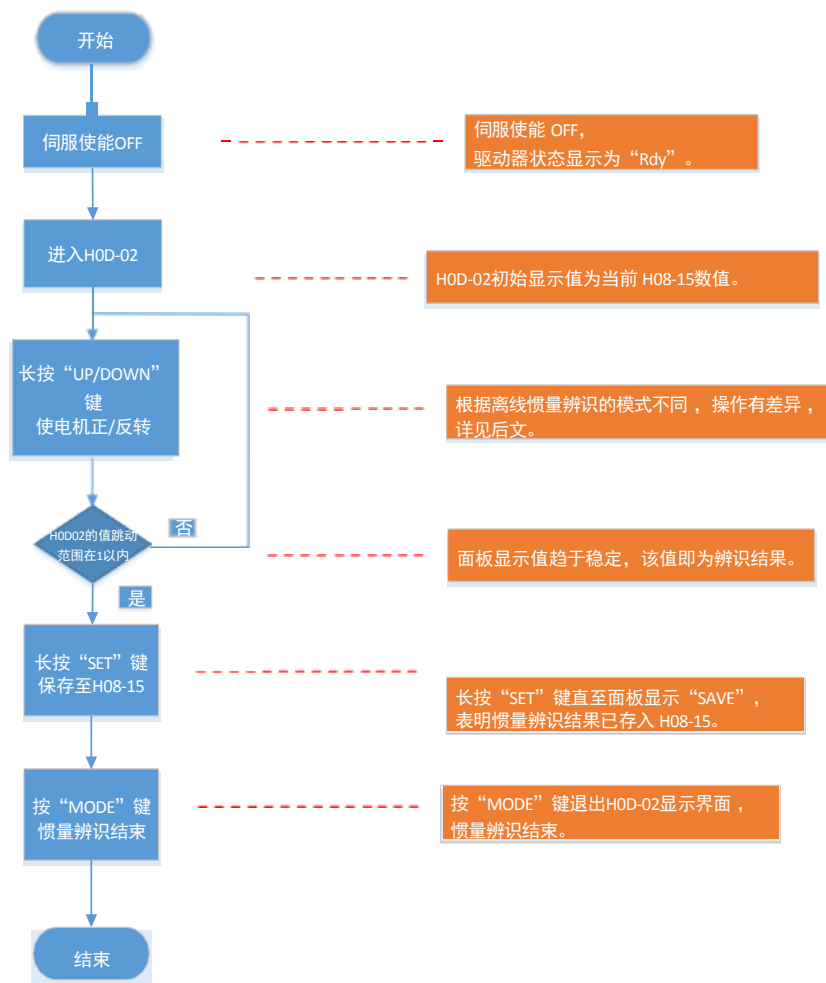
**方法2 惯量辨识。** 可以让伺服驱动器通过快速的加减速运动自动辨识出惯量，方便且准确。注意：惯量辨识无法静态实现。惯量辨识基本原理：

$$\text{整体转动惯量} J = \frac{\text{加速转矩} \tau}{\text{角加速度} \alpha}$$

### 离线惯量辨识（手动惯量辨识）

离线惯量辨识方式1：即使用H0d02进入离线惯量辨识模式。注意：

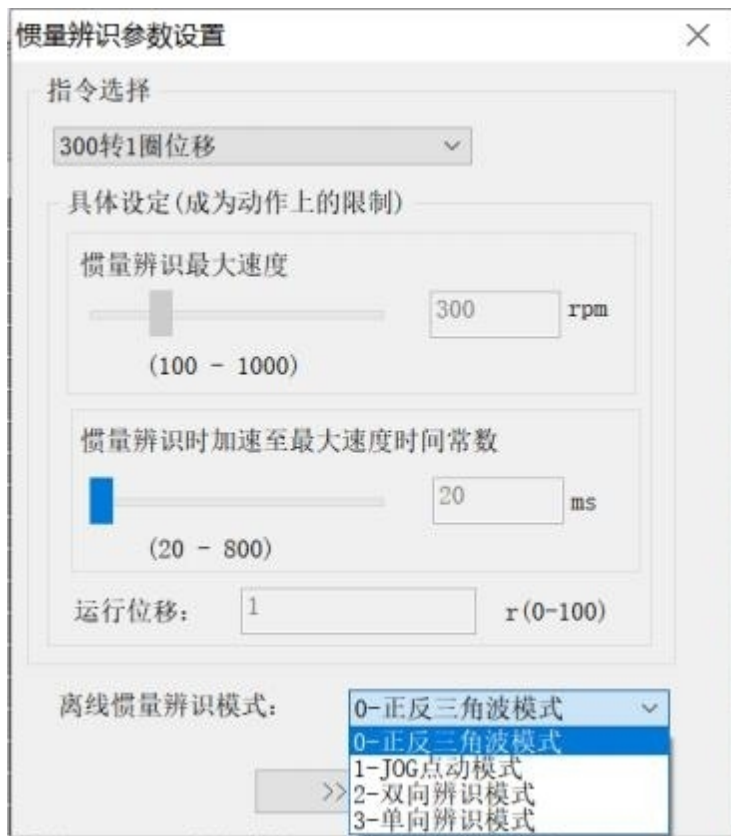
- 1、电机有正反各1圈以上的可运动行程；
- 2、实际负载惯量比必须小于120倍以下；
- 3、电机处于不使能状态；
- 4、机械刚性较高或传动机构背隙较小。



## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

离线惯量辨识方式2：使用伺服后台惯量辨识功能，进入惯量辨识参数设置。

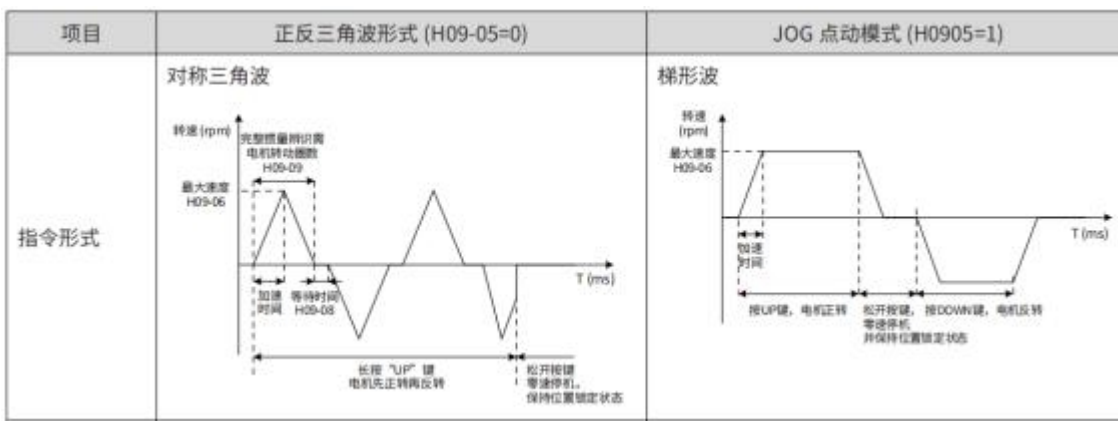


H09-05	名称	离线惯量辨识模式选择		设定方式	停机设定	相关模式	PS
	设定范围	0-3	单位	-	生效方式	立即生效	出厂设定
							0

设置离线惯量辨识的模式，离线惯量辨识功能可通过功能码 H0D-02 使能。

设定值	离线惯量辨识的模式	备注
0	正反三角波模式	适用于电机可动行程较短的场合。
1	JOG 点动模式	适用于电机可动行程较长的场合。
2	双向辨识模式	无需预设惯量比，适用电机能双向转动的场合
3	单向辨识模式	无需预设惯量比，适用电机只能单向转动的场合

离线惯量辨识操作请参考“6.2.1 离线惯量辨识”。



## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

## 在线惯量辨识

不需要输入额外的指令，在伺服正常运行时即可进行在线惯量辨识，分为缓慢变化、一般变化和快速变化3种模式，对应不同的负载惯量比更新速度。

配合上位机位置指令或内部位置指令，可在精确的位置限定下进行惯量辨识。

H0906~H0909同时适用于离线和在线惯量辨识，100rpm以下惯量辨识难以准确。

### 相关功能码：

H09	03	在线惯量辨识模式	0 - 关闭在线辨识 1 - 开启在线辨识，缓慢变化 2 - 开启在线辨识，一般变化 3 - 开启在线辨识，快速变化
H09	06	惯量辨识最大速度	100rpm ~ 1000rpm
H09	07	惯量辨识加减速时间	20ms ~ 800ms
H09	08	单次惯量辨识完成后等待时间	50ms ~ 10000ms
H09	09	完成单次惯量辨识需电机转动的圈数	显示，单位0.01圈

## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

### 惯量辨识注意点：

**(1) 对一批机器只需辨识一次**

同一批机器，可以认为机械一致性很好，因此在一台机器的不同轴上辨识的惯量可以复制到其它机器上，而不用每台都辨识。

**(2) 要多次辨识取平均值，以提高准确度**

用H0D02，多次辨识后面板显示的结果趋于稳定，这时可以认为是准确值。

**(3) 快速、大幅度的动作虽然有利于惯量辨识，但是要考虑机械的承受能力和安全**

**(4) 使用在线惯量辨识时如果初始惯量值很小而实际惯量又很大，初始几次运动有可能发生振动，需要进行小幅度点动，或预设较大的惯量比**

**(5) 只需给H0815设置大致的数值**

虽然辨识的值有小数点后边两位，但是设置时无需这么精确。比如多次辨识的结果是5.64，设置为5.00或者6.00都不会有明显差异。

**(6) 可以调整惯量值以达到调整速度环增益的效果，不必一定要设置成真实的惯量比。**

对于大惯量场合，惯量比H0815可以设置为真实值的一半，这样增益的可调空间会更大。

## 第二部分

## 汇川伺服调试流程--惯量辨识

不同应用场合的推荐惯量比：

(1) 在要求高响应的场合，惯量比要控制在5倍以下，最高不要超过10倍，一般来讲：

皮带轮或齿轮齿条： 10倍以内（连接刚性不太高，精度要求不太高）

丝杠或联轴器直连： 5倍以内（连接刚性较好，精度要求较高）

定位精度或响应要求高的情况： 2倍以内

(2) 对精度、动态响应有一定要求的场合，惯量比要在10倍到30倍之间；

(3) 超过30倍，一般来说都比较难调整，难以进行轨迹控制，只适用于要求低的点到点控制和一些旋转运动的机构，加减速时间不能太短。

## 第二部分

# 汇川伺服调试流程--惯量辨识

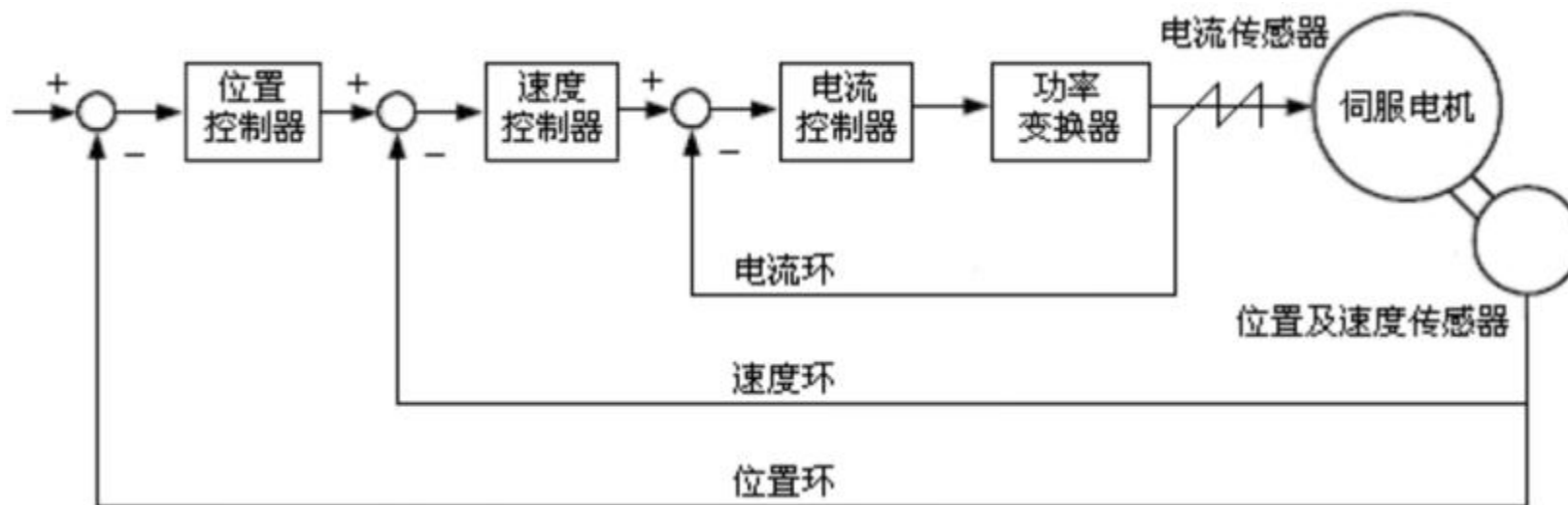
机械负载惯量比较大时，对伺服调试有以下不利影响：

- (1) 固定增益下，负载惯量比越大，响应越慢；
- (2) 需要更高的电流以维持响应，容易产生过载；
- (3) 更容易产生机械共振，这会降低可用增益；
- (4) 电流容易饱和，降低伺服性能。

## 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整

### 伺服三环控制基本结构



**620系列：** 位置环调度4k，速度环调度16K，电流环调度16K

**660N系列：** 位置环调度16k，速度环调度16K，电流环调度625K

调度：三环刷新数据的频率

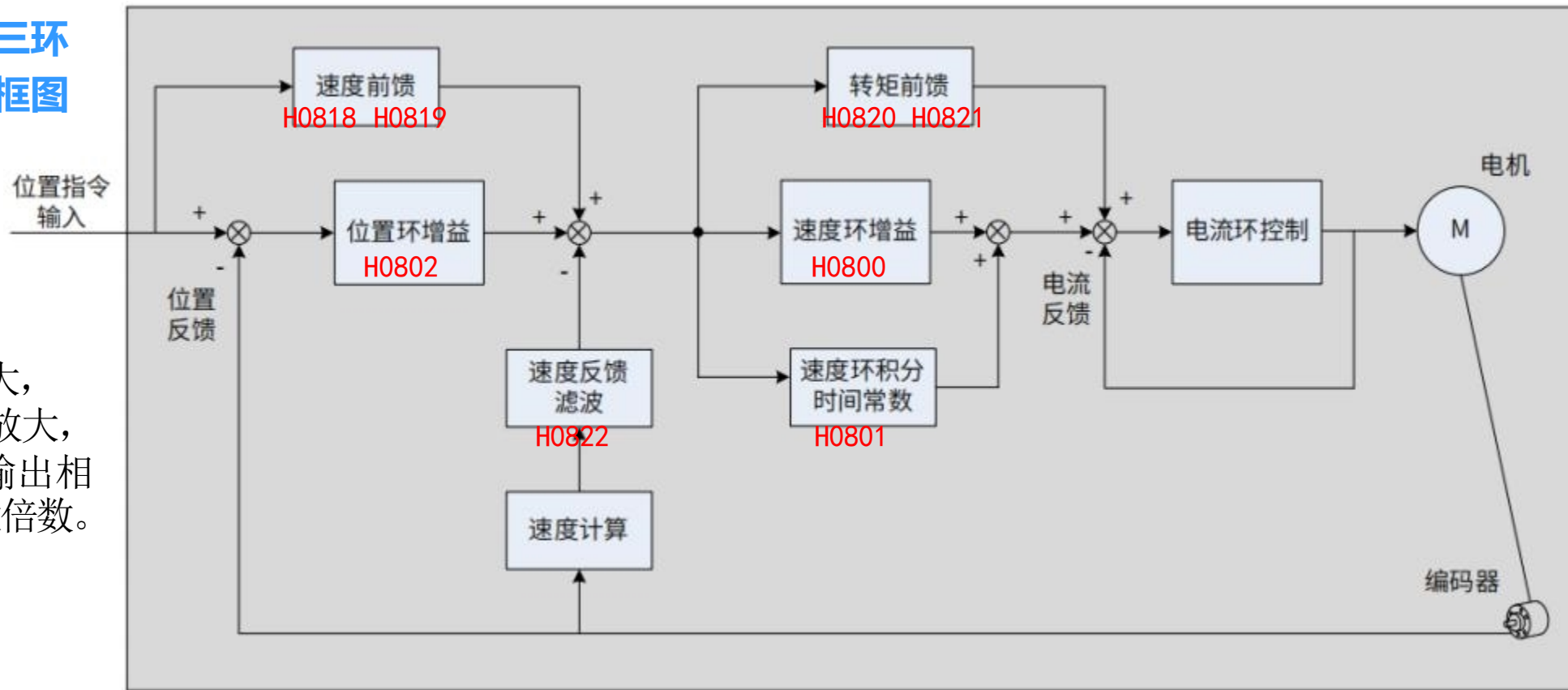
位置指令=转速 (rpm) \*编码器分辨率/ (60\*位置环调度)

### 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整

### 汇川伺服三环控制参数框图

**增益：**  
“增”是放大，  
“益”也是放大，  
则增益代表输出相对输入的放大倍数。



在自控原理中，增益=20lg（输出/输入），单位是dB。

位置环(速度环)增益，单位是Hz，代表输出与输入的比值衰减到0.707倍时对应的频率。

通俗理解：位置环增益和速度环增益就是代表**输出**能够跟得上**输入**的最大频率。



## 第一部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整

### 模型跟踪

模型跟踪本质是现实的一个模拟，最后作用到现实  
模型可想象为一种滤波器，平滑作用，模型增益前馈用来加快定位

### 速度观测

针对速度，对快速定位有较大的帮助，同时可以修正速度波动

### 扰动观测

针对转矩，通过扰动滤波和补偿较好的减小扰动造成的影响

### 振动抑制



- ◆ STune 单参数调整
- ◆ ETune 一键式调整
- ◆ ITune 智能化调整

## 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整

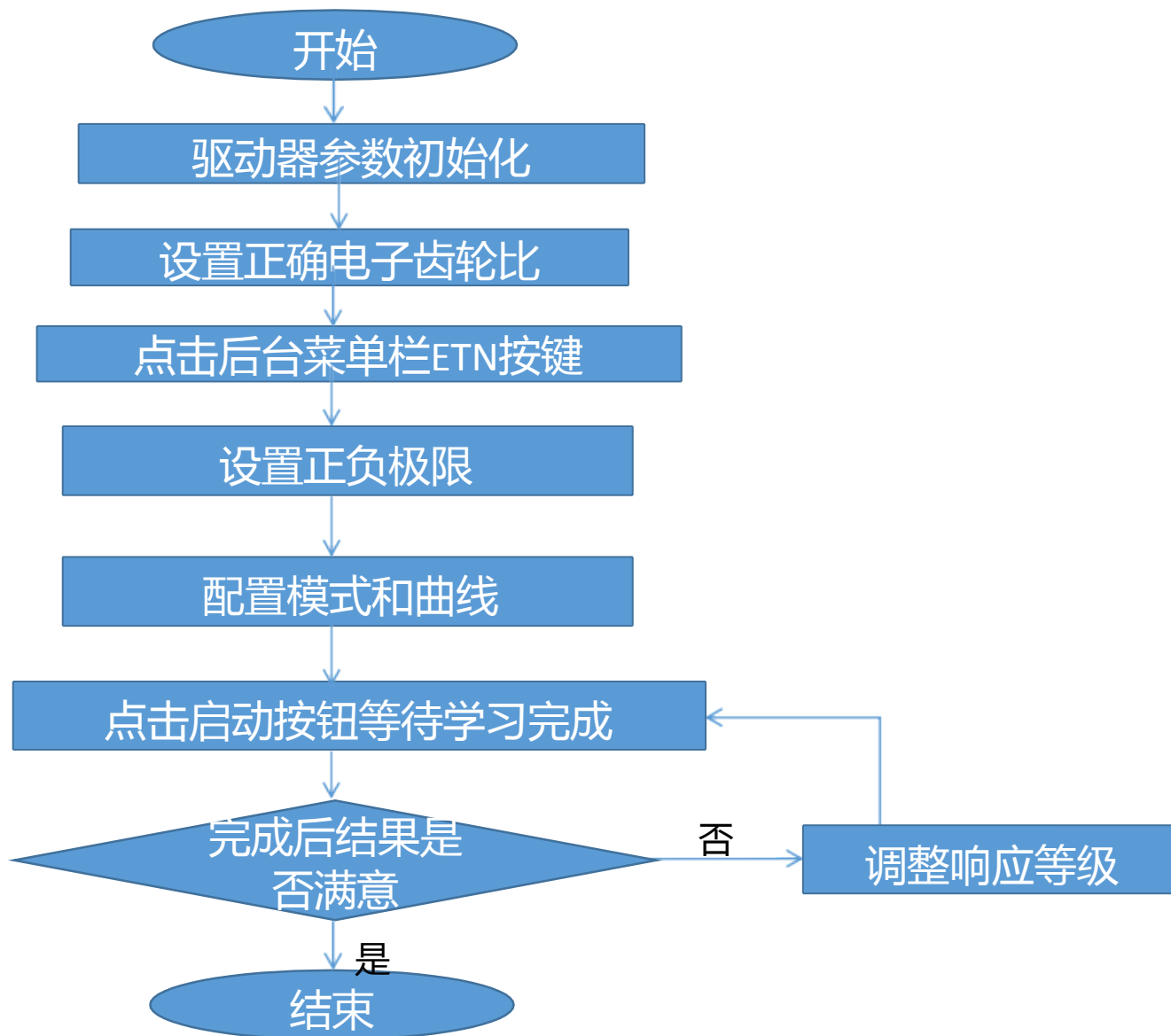
功能	易用性调试步骤	适用范围
Stune (默认)	Stune即Single tune：单参数调谐 1、SV680默认选择Stune自动调整模式4（H09-00=4） 2、先不调整，客户发送指令运行之后，调整刚性等级H09-01，观察效果（单参调试，刚性灵活）	a、惯量变化小的场合 b、无需后台软件支持，面板即可操作 c、一般要求设备都可用模式4调整
Etune	Etune即Easy tune：简单式调试 1、根据后台ETune界面JOG设置正反转限位 2、选择调整模式和是否惯量辨识 3、设置模拟运行曲线 4、自动调整出参数结果并可导出保存（一键调谐，自动寻优）	a、惯量变化小的场合 b、支持FPS模式（即全闭环、位置、速度） c、需要后台软件支持
Itune	Itune即Intelligent tune：智能调谐 1、选择ITune调整模式1（H09-27=1） 2、根据需要调整响应等级（H09-26），观察效果	a、负载惯量不易辨识或有惯量有变化，如收放卷、机械臂等 b、转矩不饱和 c、无需后台软件支持，面板即可操作 d、轨迹及高跟随性场合除外 e、支持FPS模式

### 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )

### ETune一键式调整

**ETune功能是向导式自动调整功能的简称，通过向导指引设置相应的曲线轨迹和响应需求参数后，伺服会自动运行并学习出最优增益参数，学习完成后可以保存参数，还可将参数导出成配方以便同机型拷贝**



## 第三部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )



## 第三部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )

调谐-ETune

位置设定 → 参数配置 → 调谐 → 配方保存

调整模式

定位模式  轨迹模式

响应模式

高  中  低

位置滤波时常

ms [0, 6553.5]

惯量比设置

不进行惯量辨识

惯量比:  [0, 120]

运行曲线参数

最大速度:  rpm      加减速时间:  ms

等待时间:  ms

<<上一步      下一步>>

## 第三部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )



### 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )





### 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )

调谐-ETune

位置设定 → 参数配置 → 调谐 → 配方保存

行号	参...	参数名称	参数值	出厂值	单位
001	H0705	转矩指令滤波时间常数	0.29	0.79	ms
002	H0800	速度环增益	68.4	40.0	Hz
003	H0801	速度环积分时间常数	11.64	19.89	ms
004	H0802	位置环增益	68.4	64.0	Hz
005	H0809	增益切换条件选择	0[0-第一增益固定 (PS)]	0	
006	H0815	负载转动惯量比	19.87	2.00	
007	H0824	伪微分前馈控制系数	100.0	100.0	%
008	H0831	扰动观测截止频率	600	600	Hz
009	H0832	扰动观测补偿系数	0	0	%
010	H0833	扰动惯量修正系数	100	100	%
011	H0834	中高频抑制调相1	0	0	%
012	H0835	中高频抑制频率1	0	0	Hz
013	H0836	中高频抑制补偿1	0	0	%
014	H0837	中频抑制调相2	0	0	%
015	H0838	中频抑制频率2	0	0	Hz
016	H0839	中频抑制补偿2	0	0	%
017	H0842	模型控制使能	1	0	
018	H0843	模型增益	189.1	40.0	

导出

<<上一步 退出

### 相关参数介绍：

#### (1) 位置环比例增益 (H0802)

此参数决定位置环的响应， 设定的越大， 对位置指令的跟随性越好， 随动偏差越小， 定位时间也会缩短。但过大的设定会使机械发生共振或过冲。

#### (2) 速度环比例增益 (H0800)

此参数决定速度环的响应， 设定的越大， 对速度指令的跟随性就越好， 速度的抗扰性也越好。但过大的设定会引起机械共振。位置模式下， 若要加大位置环增益， 需同时加大速度环增益。

### (3) 速度环积分时间常数 (H0801)

速度积分可以消除净差，积分时间常数越小，积分效果越强，位置环响应越快。但是过小的积分时间常数会引起系统不稳定。

建议速度积分时间常数和速度环增益满足以下关系：

$$600 \leq H0800 \times H0801 \leq 800$$

默认速度环增益40.0Hz，默认积分时间常数19.89 ms， $600 < 40.0 \times 19.89 < 800$ ，符合上述关系。

#### (4) 转矩指令滤波时间(H0705)

此参数设定转矩指令的一阶低通滤波器, 通过降低转矩的响应, 可抑制高频段的振动和噪声。但是因为转矩环的响应必须远大于速度环的响应, 转矩指令滤波时间不能太大, 否则会引起控制系统不稳定, 极有可能造成电机异响或设备振动。

实际调试中, 建议转矩低通滤波器的截止频率大于等于4倍的速度环增益, 即转矩指令滤波时间和速度环增益满足以下关系:

$$H0800 \leq \frac{1000}{2\pi \times H0705 \times 4}$$

SV660系列伺服默认参数中, 速度环增益40.0Hz, 转矩指令滤波时间为0.5ms,  $1000/(2\pi*0.5*4) \approx 79.6 \geq 40.0$  Hz, 符合上述关系。

### 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整 ( Etune )

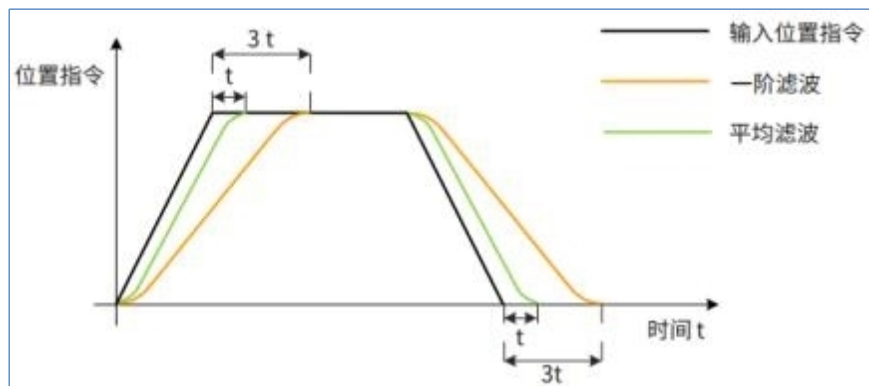
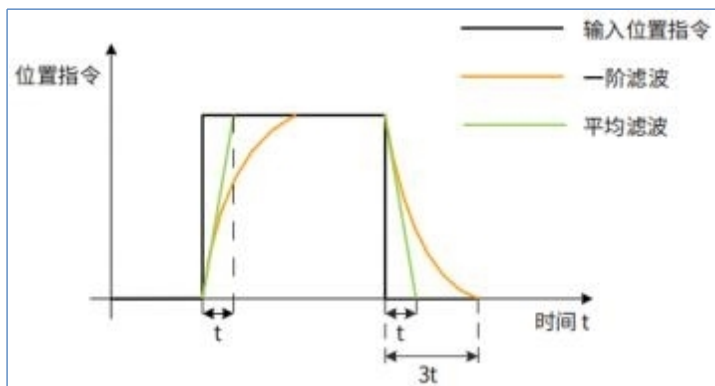
### (5) 一阶低通滤波时间(H0504)

此参数是针对位置指令的一阶低通滤波器，数值越大则位置指令越平滑，但设定值过大会导致响应的延迟性增大。

H0504会带来比H0506更严重的拖尾现象，响应延迟性更大，不过H0504的指令平滑作用一般更明显。

### (6) 平均值滤波时间(H0506)

此参数是针对位置指令的平均值滤波器，数值越大则位置指令越平滑。多数场合采用H0506效果更好，因为相较H0504拖尾较弱，更加精准。



## 第三部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整 (Stune)

### Stune不同模式的应用差异

以SV660系列伺服为例，模式0为手动调整增益，不会自动匹配任何参数；另外提供了5种自动增益调整模式1、2、3、4、6。

STune调整是指通过刚性等级自动调整性能，包括模式3/4/6，并且伺服有运行指令10min后模式4和6将自动关闭，也就是H0900(自调整模式选择)=0。

模式	名称	适用场合
0	无效	需要手动调整增益。
1	标准刚性表模式	根据设定的刚性自动设定增益。
2	定位模式	根据设定的刚性自动设定增益。适用于快速定位场合。
3	插补模式 + 惯量自动辨识	根据设定的刚性自动设定增益。自动识别惯量、抑制振动，适用于多轴插补场合。
4	普通模式 + 惯量自动辨识	根据设定的刚性自动设定增益。自动识别惯量、抑制振动。适用于轨迹跟随场合。
6	快速定位模式 + 惯量自动辨识	根据设定的刚性自动设定增益。自动识别惯量、抑制振动，适用于快速定位场合。

## 第三部分

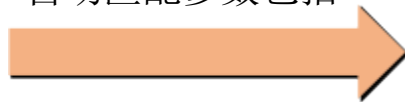
## 汇川伺服调试流程--自动调整 (Stune)

### H0900=1 标准刚性表模式:

以SV660系列为例, 设置负载惯量比之后, 将H0900设为1 (默认为4), 改变H0901(刚性等级)的值, 观察实际效果。

调整H0901 刚性等级

自动匹配参数包括



H0802	位置环比例增益 (Hz)
H0800	速度环比例增益 (Hz)
H0801	速度环积分时间常数 (ms)
H0705	转矩指令滤波时间常数 (ms)



H0900=1时, 这些自动设置的功能码无法手动更改, 除非再改回H0900=0!

## 第三部分

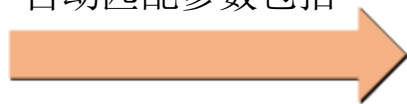
## 汇川伺服调试流程--自动调整 (Stune)

### H0900=2 定位模式:

以SV660系列为例, 设置负载惯量比之后, 将H0900设为2 (默认为4), 改变H0901(刚性等级)的值, 观察实际效果。

调整H0901 刚性等级

自动匹配参数包括



H0800 、 H0801 、 H0802和H07-05 第一增益参数  
H0803 、 H0804 、 H0805和H07-06 第二增益参数  
H0808~H0812 增益切换参数  
H0818 速度前馈滤波时间常数 固定为0.50ms  
H0819 速度前馈增益 固定为30.0%



H0900=1时, 这些自动设置的功能码  
无法手动更改, 除非再改回H0900=0!



## 第三部分

# 汇川伺服调试流程--自动调整 (Stune)

### H0900=3 插补模式:

以SV660系列为例，设置负载惯量比之后，将H0900设为3（默认为4），改变H0901(刚性等级)的值，观察实际效果。

调整H0901 刚性等级

自动匹配参数包括

H0800、H0801、H0802和H07-05 第一增益参数  
H0815 负载转动惯量比（惯量自动辨识）  
H0818 速度前馈滤波时间常数 固定为0.50ms  
H0819 速度前馈增益 固定为18.1%  
H0824 伪微分前馈控制系数 固定为81.9%  
H0837~H0839、H0918~H0924 共振抑制参数

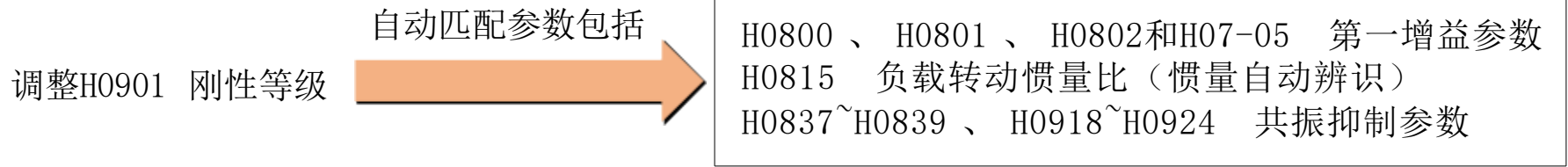
H0900=1时，这些自动设置的功能码  
无法手动更改，除非再改回H0900=0！

## 第三部分

## 汇川伺服调试流程--自动调整 (Stune)

### H0900=4 普通模式:

以SV660系列为例，设置负载惯量比之后，将H0900设为4（默认为4，出厂无需修改），改变H0901(刚性等级)的值，观察实际效果。



H0900=1时，这些自动设置的功能码  
无法手动更改，除非再改回H0900=0!

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/185323303134012004>