

# 电机技术及应用

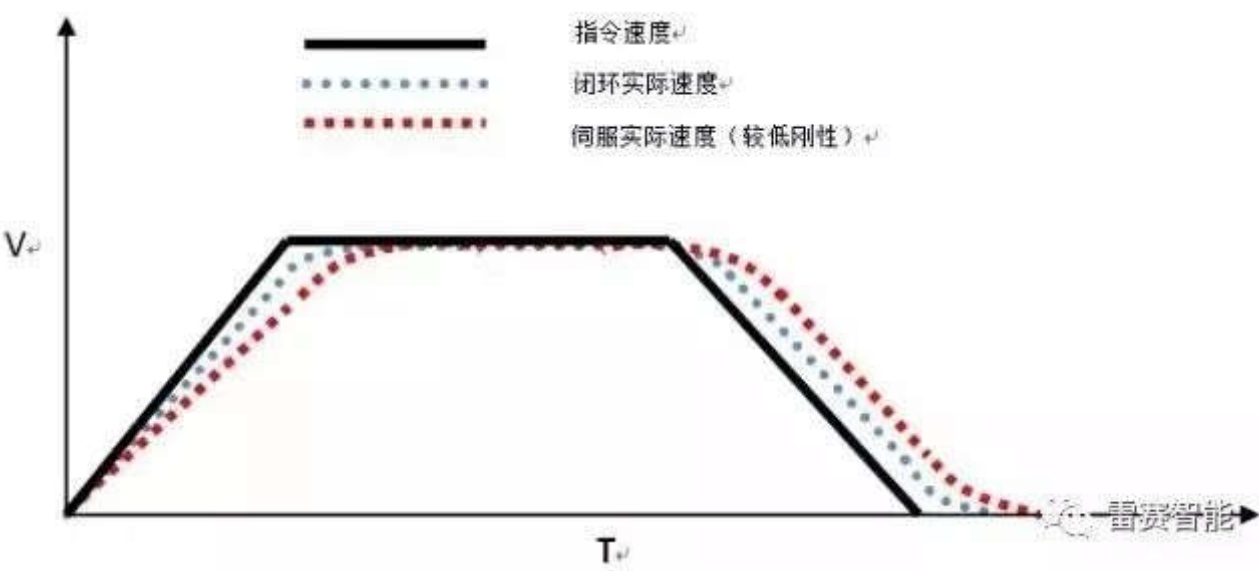
来源：雷赛智能leadshine

本文将介绍步进、闭环步进、交流伺服产品的特点及对比，帮助工程师选择最适合自动化设备应用要求的产品。

## 1、步进、闭环、交流伺服产品对比

性能	步进	闭环步进	伺服
转速	较慢	较快	快
矩频特性	转速越快力矩越小	转速越快力矩越小	额定转速内力矩恒定
过载能力	无过载	小幅度过载	一般三倍过载
调试难易度	无需调试	基本无需调试	复杂
噪音	高	低	微弱
发热	大	小	轻微
振动	大（存在低频共振）	小（存在低频共振）	微弱
工作模式	位置、速度	位置、速度	位置、速度、力矩
位置跟踪误差	无	有（较小）	有（取决于反馈装置和刚性）
精度	低	中	高
价格	低	中	高
速度波动	较大	较小	微小
起跳速度	100-200rpm	100-200rpm	200-300rpm
定位时间	无	<5ms	<10ms
定位完成	静止	微振	微振

表一：步进、闭环、伺服产品性能对比表



图一：闭环步进和伺服位置跟踪误差示意图

产品类别 产品特征	步进		闭环步进		交流伺服	
快速起停(运动周期<200ms, 最大速度<500RPM)	适合几十毫秒快速起停	模板缝纫机, 植毛机, 晶元测试机。	兼顾工作快速起停和空程1000rpm以上高速运行	雕刻机、锁螺丝机、点胶/焊锡设备等	不适合快速起停场合	
快速定位	适合10毫秒内快速定位		适合10~20ms快速定位		丝杆结构定位时间通常>10ms, 皮带结构甚至到100ms	
工作速度	适合转速在0-800RPM的工作场合	包装机, 喷绘机喷头升降轴, 激光切割机, 医疗蠕动泵等	适合转速在0-1500RPM的工作场合	流水线, 取放料机械臂, 接驳台, 开料机等	适合转速在0-5000RPM的工作场合	激光裁床、开料机、各类机械手、物流供包台等
匀速运动速度波动	速度存在波动(共振点1r/s, 2r/s, 5r/s波动更大)		速度波动较小(也存在共振点)		搭载高精度编码器参数调好几乎没有速度波动(无共振点)	
发热、振动、噪声	较大		适中		较小	
惯量匹配	负载惯量在转子惯量3倍以内最佳, 最大不宜超过5倍。		负载惯量在转子惯量3倍以内最佳, 最大不宜超过5倍。		负载惯量在转子惯量5倍以内最佳, 最大不宜超过30倍。	
转矩计算	最大工作速度的电机转矩(需查电机矩频曲线, 不是保持转矩)应是计算得到负载转矩的1.5~2倍。		最大工作速度的电机转矩(需查电机矩频曲线, 不是保持转矩)应是计算得到负载转矩的1.2~1.5倍。		计算得到负载转矩不超过伺服额定转矩的3倍, 匀速运行的摩擦转矩小于负载转矩。	
精度	0.09°		0.072° (5000线码盘)		0.00004° (23位编码器)	
传动机构	常见的同步轮加皮带结构		同步轮加皮带、齿轮齿条、丝杆、蜗轮蜗杆结构		丝杆、减速机等加齿轮齿条、蜗轮蜗杆结构	

表二：步进、闭环步进、伺服选型实例一览表

## 2、步进电机

步进电机是一种将数字脉冲信号转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度即步距角。



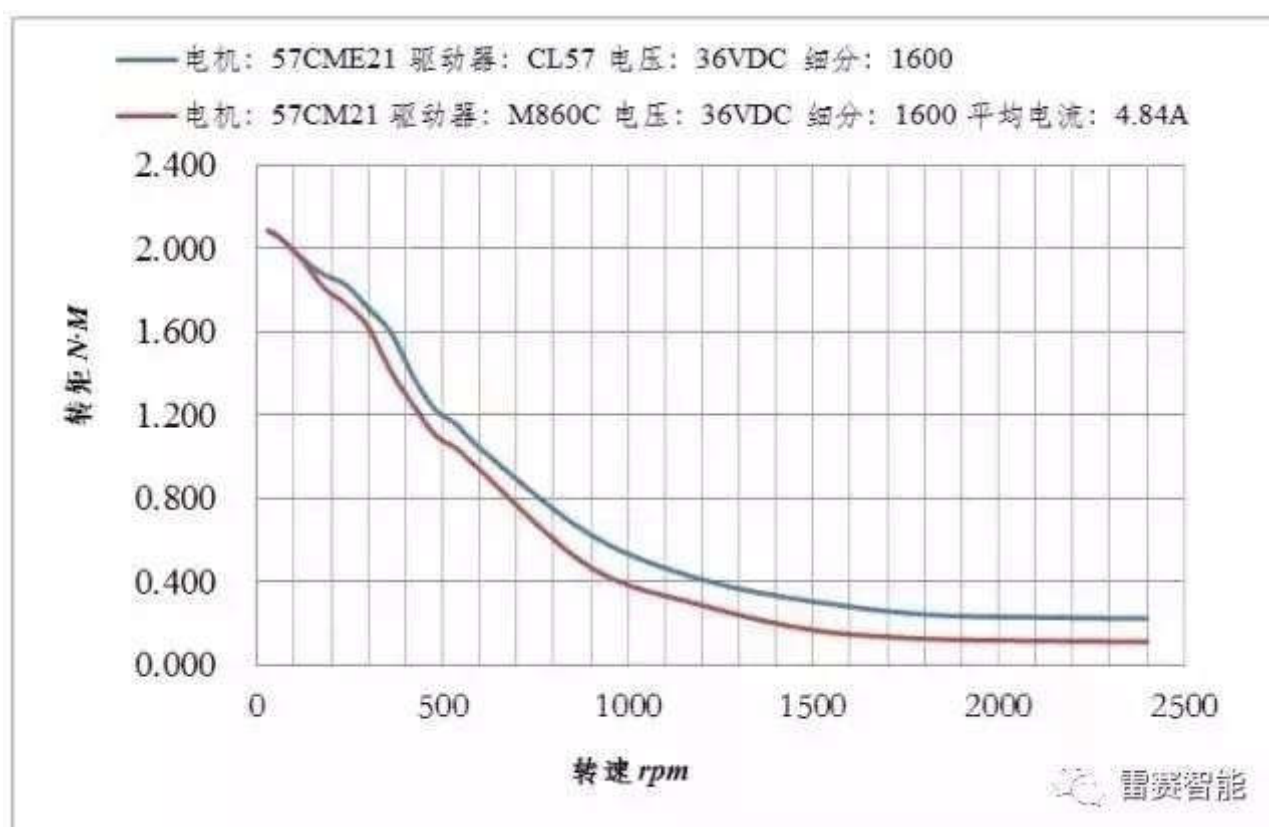


图二:雷赛CM系列步进电机

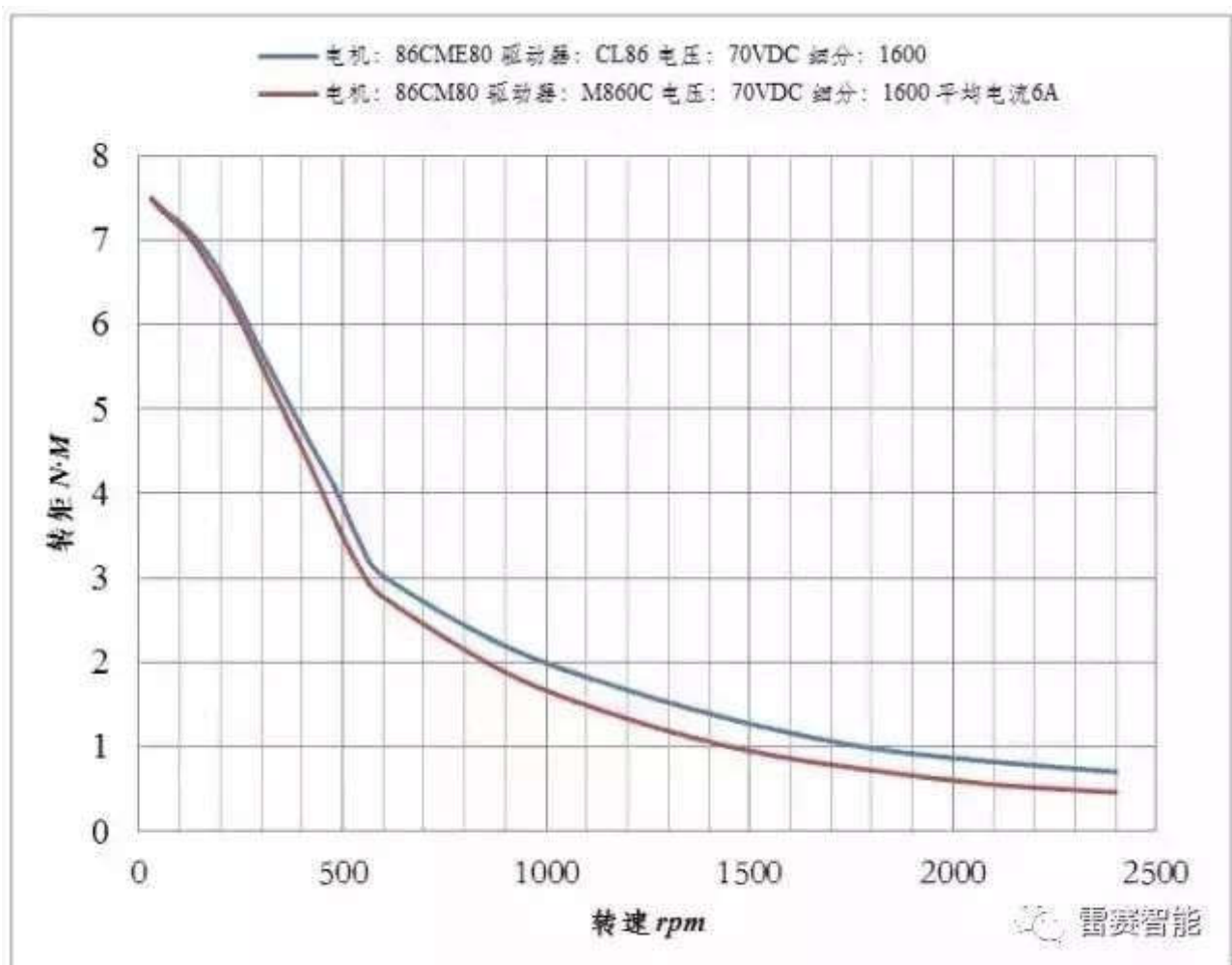
## 2.1 步进电机参数介绍

**保持转矩：**步进电机绕组通额定电流但没有转动时，定子锁住转子的力矩，一般在转速小于1r/s时步进电机输出力矩近似于保持转矩。

**矩频曲线：**描述电机转矩和转速关系的曲线。



图三：雷赛相同转矩57机座开环步进和闭环电机转矩对比



图四：相同转矩86机座开环步进和闭环电机转矩对比

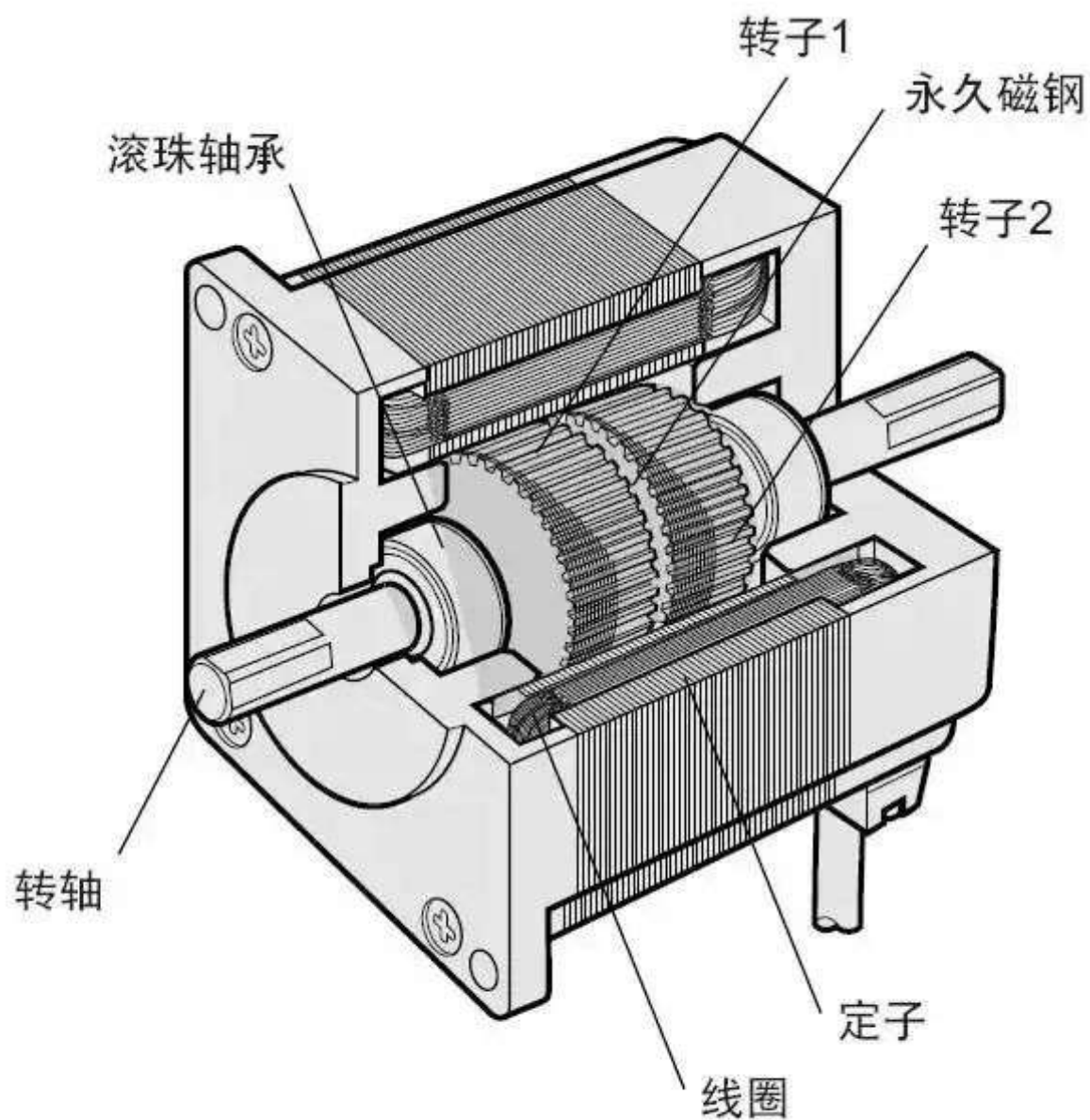
备注：步进电机电压平衡方程式： $U=E+IR$ ，供电电压 $U$ ，电机反电动势 $E$ ，绕组电流 $I$ ，绕组电阻 $R$ 。电机转速越高反电动势越大，能流入电机绕组的电流越小，导致电机力矩越小。

转子惯量：步进电机转子旋转惯量，负载惯量最大不宜超过电机转子惯量5倍。

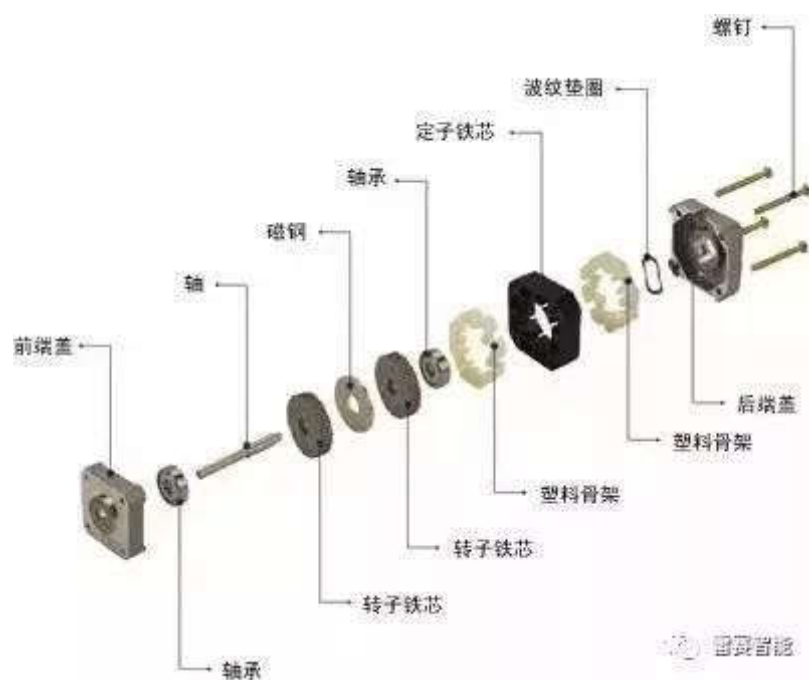
步距角：整步下一个脉冲信号步进电机转过的角度。一般两相混合式步进电机步距角是 $1.8^{\circ}$ ，三相混合步进电机步距角是 $1.2^{\circ}$ ，五相混合步进电机步距角是 $0.72^{\circ}$ 。

## 2.2 步进电机结构



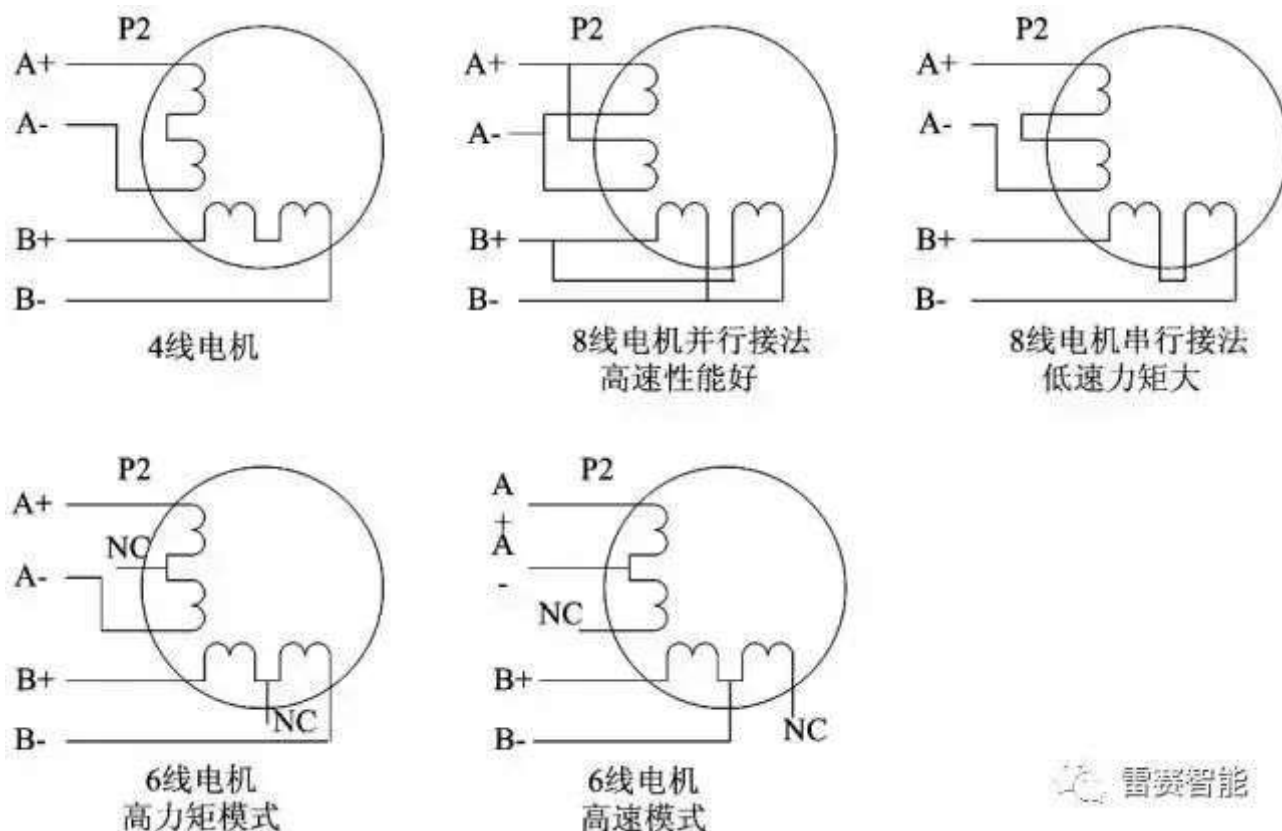


电动机构造图1：与转轴成平行方向的断面图



图五：步进电机内部结构

## 2.3步进电机接线方式



图六：步进电机接线方式

- a) 四线电机：输出电流设成等于或略小于电机额定电流值;
- b) 六线电机高力矩模式：输出电流设成电机单极性接法额定电流的50%;
- c) 六线电机高速模式：输出电流设成电机单极性接法额定电流的100%;
- d) 八线电机并联接法：输出电流可设成电机单极性接法额定电流的140%;
- e) 八线电机串联接法：输出电流可设成电机单极性接法额定电流的70%。

## 2.4步进电机特点

低速力矩大，转矩会随着转速的提高而降低，一般在800rpm以上力矩下降加快，精度是步距角的3%~5%，整圈没有累积误差，两相混合步进电机精度为0.18°;步进电机采用开环控制，系统响应性快，无过冲和整定时间，停止时电机轴无微振动。步进电机存在低频共振，第一个共振点的转速大约是1r/s。步进电机是恒电流控制，发热和噪音较大，同时没有过载能力，电机力不够就会堵转，故选型时应预留1.4-2倍安全系数。步进电机及驱动器使用便捷无需复杂的调试就能使用。

## 3、闭环步进

本体是步进电机，增加位置反馈器件(光电编码器或磁编码器)，运用类似伺服电机的控制方法形成的闭环控制系统。



图七：雷赛CL系列闭环步进3D和实物图

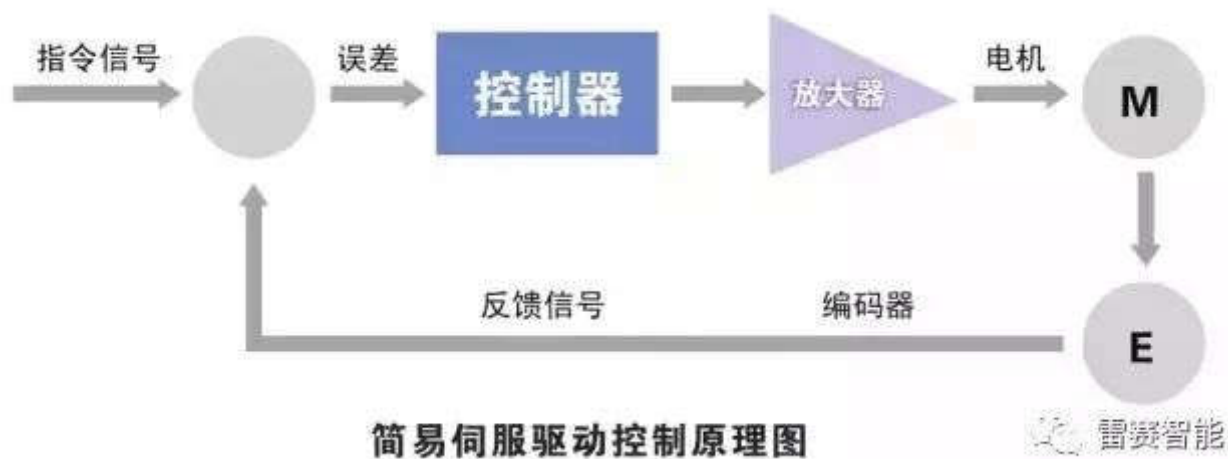
### 3.1闭环步进重要参数

编码器精度：电机转一圈编码器反馈到驱动器的脉冲个数，影响闭环步进精度。闭环步进常规编码器线数有1000线、2500线、5000线。以5000线为例，它的分辨率为 $360^{\circ}/(4*5000)=0.018^{\circ}$ ，精度高于开环控制的步进电机。

矩频曲线：描述电机转矩和转速关系的曲线。

位置误差：指令位置和编码器反馈位置之间的差值。位置误差过大驱动器会报超差报警。

### 3.2闭环步进原理框图



图八：闭环步进原理框图

### 3.3 闭环步进的特点

闭环步进根据负载大小自动调节绕组电流大小，发热和振动小于开环步进，有编码器反馈所以精度高于普通步进电机，电机响应比开环步进慢，运行过程中存在位置误差，误差会在指令停止后数毫秒逐渐降低。高速力矩比开环步进大，常见应用在0-1500rpm场合。做插补机械刚性不足(皮带结构)且负载惯量较大时，会因为位置跟踪误差大导致偏位。小部分闭环步进需要简单的调试才能使用。

## 4、交流伺服

伺服系统是使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标(或给定值)的任意变化的自动控制系统。位置模式下伺服电机靠脉冲来定位，伺服电机接收到1个脉冲，就会旋转1个脉冲对应的角度。同时伺服电机编码器具备反馈功能，伺服电机每旋转一个角度，编码器都会发出对应数量的反馈脉冲，反馈脉冲和伺服驱动器接收的脉冲形成闭环控制，这样伺服驱动器就能够很精确的控制电机的转动，从而实现精确的定位。



图九：雷赛L5系列交流伺服产品实物图

### 4.1 伺服电机重要参数

**额定转速：**电动机输出最大连续转矩(额定转矩)、以额定功率运行时的转速。

**额定转矩：**是指电机能够连续安全输出的转矩大小，在环境温度为25 °C时，在该转矩下连续运行，电动机绕组温度和驱动器功率器件温度不会超过最高允许温度，电动机或驱动器不会损坏。

**最大转矩：**电动机所能输出的最大转矩。在最大转矩下短时工作不会引起电机损坏或性能不可恢复。

**最大电流：**伺服短时间工作允许通过的最大电流，一般为额定电流的3倍。

**最高转速：**电机短时间工作的最高转速，最高转速电机力矩下降，电机发热量更大。

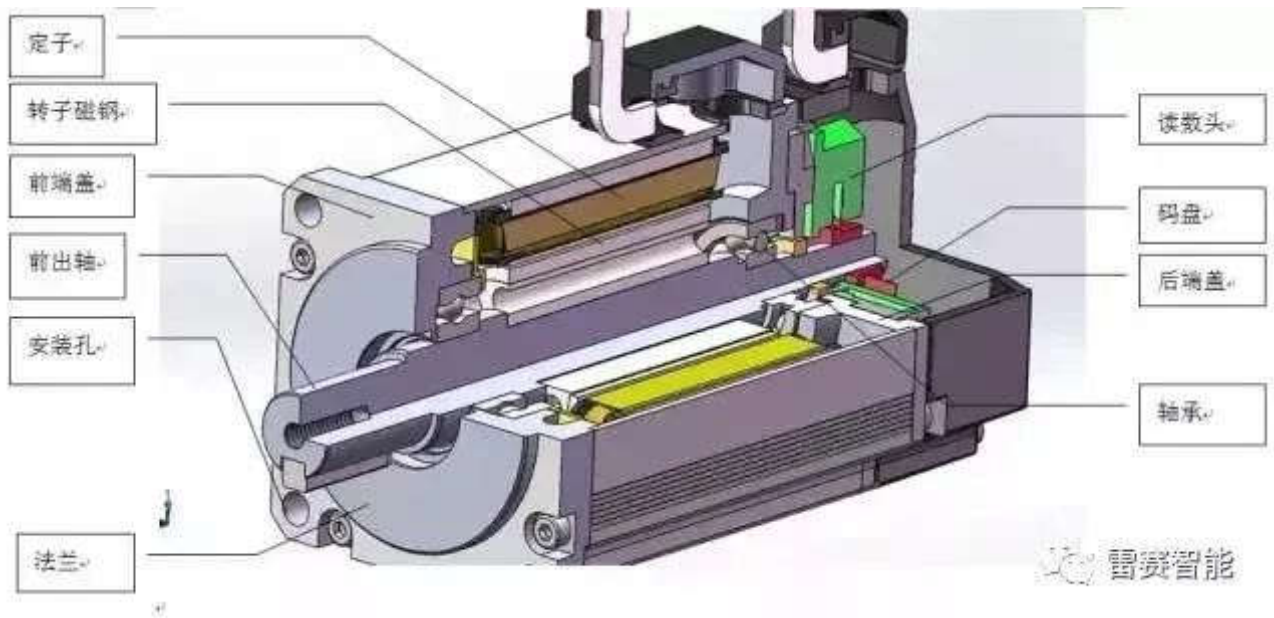


转子惯量J：伺服电机转子旋转惯量单位kgcm<sup>2</sup>，一般负载惯量最大不超过20倍电机转子惯量。

编码器线数：电机转一圈编码器反馈到驱动器的脉冲个数，影响闭环步进精度。伺服常规编码器线数有2500线、5000线、17位和23位编码器。17位编码器精度为0.0027°高于常规的步进和闭环步进。

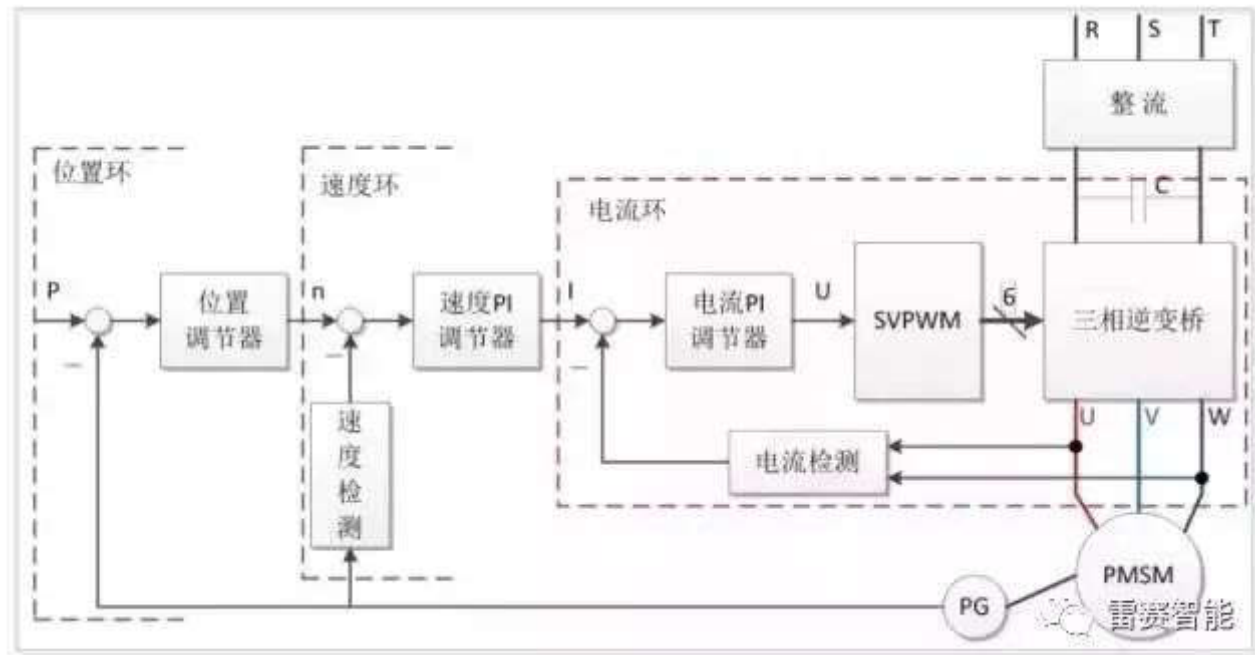
伺服电机两个重要公式： $T=Kt \cdot I$ ， $P=n$ (单位换算成弧度/秒)\* $T$ 。

4.2 伺服电机结构



图十：伺服电机内部结构

4.3 伺服三环控制原理框图



图十一：伺服三环控制原理框图

4.4 伺服电机的特点

交流伺服具备额定转速下力矩恒定的特点，常见200W,400W低中惯量交流伺服额定转速为3000rpm，最高转速5000rpm，转速高。力矩与电流成正比，可以工作在力矩模式，例如锁螺丝，压端子等需要恒定力矩的场合。

交流伺服工作噪音振动极小，发热低。同体积下电机惯量转子惯量小，400W伺服惯量仅相当于57基座2NM步进电机的转子惯量。

伺服具备短时间过载能力，选型时需考虑加减速时电机过载倍数。

伺服采用闭环控制，同闭环步进一样存在位置跟踪误差，雷赛伺服具备轨迹跟踪和共振抑制功能以提高伺服刚性来降低位置误差，和定位时间，以达到更好的插补效果。伺服需要调试才能使用。

## 5、三种电机驱动方案对比总结

1)步进电机适合低速短距离、小角度、快速起停、低机械连接刚性的场合及振动、噪音、发热和精度要求较低的场合。雷赛步进调试简单，经济实惠。做快速插补运动因为无定位时间和位置误差较小比闭环和伺服存在优势。选型时要注意选型电机转矩是理论计算扭矩的 1.4-2 倍，同时负载惯量小于 5 倍转子惯量。

2)闭环步进适用于普通步进达不到的中速场合，中长行程点位运动，对噪音和振动发热和定位时间有一定的要求，精度较高，带报警输出，防止损坏机械设备浪费贵重原材料，雷赛闭环步进基本无需调试、价格适中。选型计算时转矩不用预留安全系数，负载惯量小于 5 倍转子惯量。做快速插补运动要求较强的机械连接刚性(丝杆或齿轮齿条结构)和较小负载惯量比(负载惯量小于 3 倍转子惯量)。

3)伺服适用于高速、中长行程、高精度、低噪音、低振动、低发热场合，雷赛伺服驱动器带多个自定义IO口和分频输出，功能齐全，拓展性强。但调试相对复杂，价格较高。选型计算时转矩不用预留安全系数，负载惯量小于30倍转子惯量。做快速插补运动要求较强的机械连接刚性(丝杆或齿轮齿条结构)和较小负载惯量比(负载惯量小于3倍转子惯量)。

免责声明：本文系网络转载，版权归原作者所有。本文所用视频、图片、文字如涉及作品版权问题，请第一时间告知，我们将根据您提供的证明材料确认版权并按国家标准支付稿酬或立即删除内容！本文内容为原作者观点，并不代表本公众号赞同其观点和对其真实性负责。

让中国制造腾飞

**电机技术**

长按右边二维码直接订阅





推荐



ARVR社区

微信号: ARVR\_S

新鲜的 有趣的 有价值的  
国内外ARVR资讯



长按二维码关注

工业导航

WWYGZXCJY

让中国制造业腾飞



智能制造 / 工业工程 / 物联网 / 机器人

为制造业强国 工业4.0服务



长按二维码关注

## 电机技术及应用

微信号：wwygzxcpi

---

让中国制造业腾飞

技术解析 / 故障分析 / 行业资讯

掌握先进技术 为中国工业导航





长按二维码关注



感谢您的阅读！转发是对我们最大的支持！



微信扫一扫  
关注该公众号