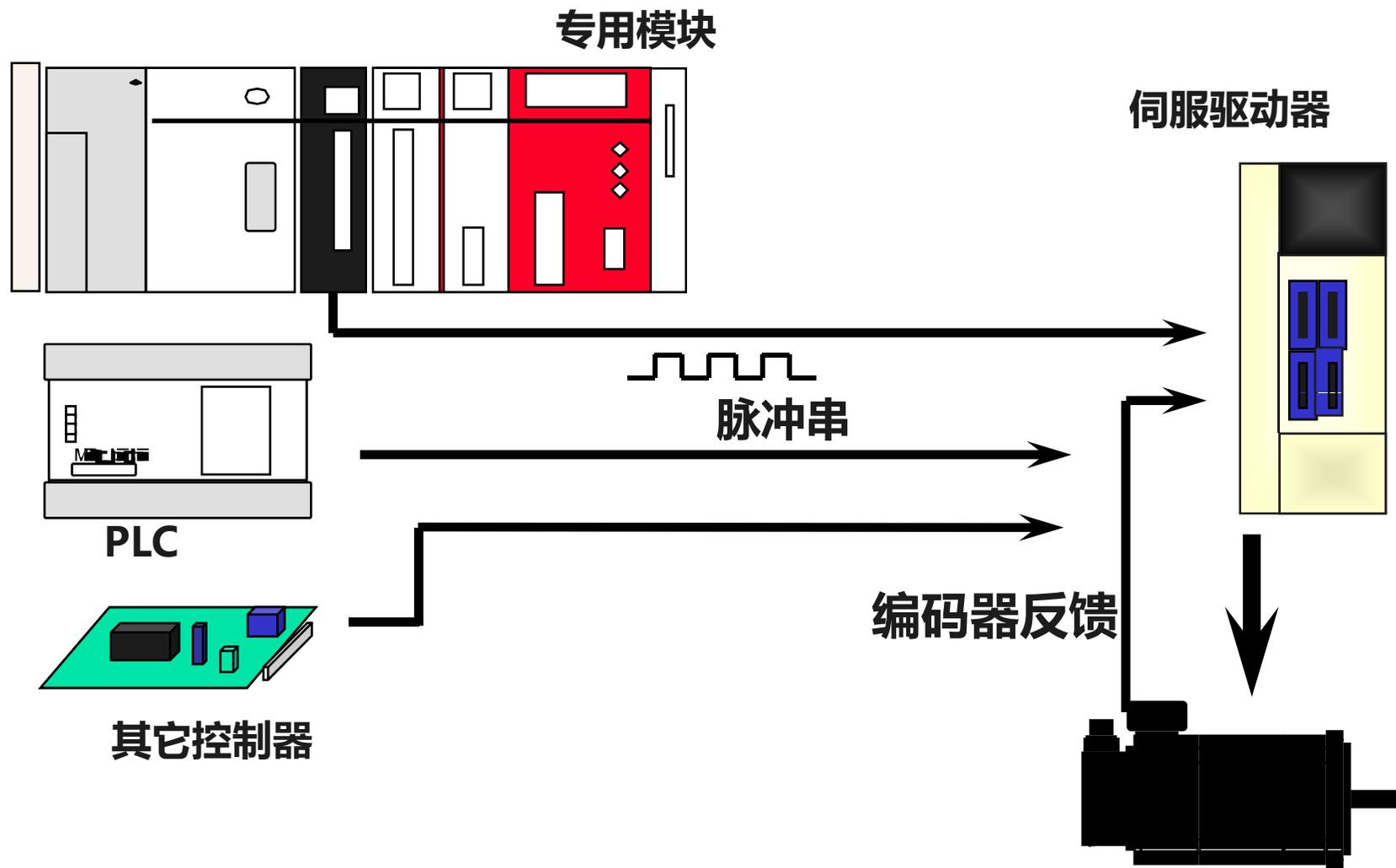


# 伺服基础

# 伺服应用图例



# 1. 伺服的基本概念

1.1 名词

1.2 伺服驱动的控制环

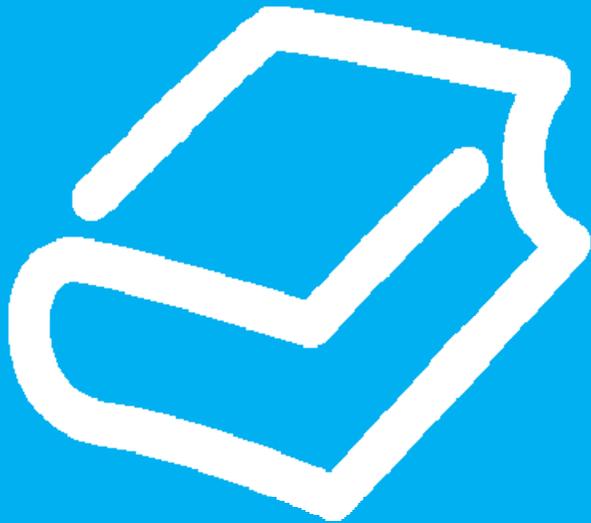
1.3 伺服的控制方式

1.3.1 转矩模式

1.3.2 位置模式

1.3.3 速度模式

1.4 控制模式的选择



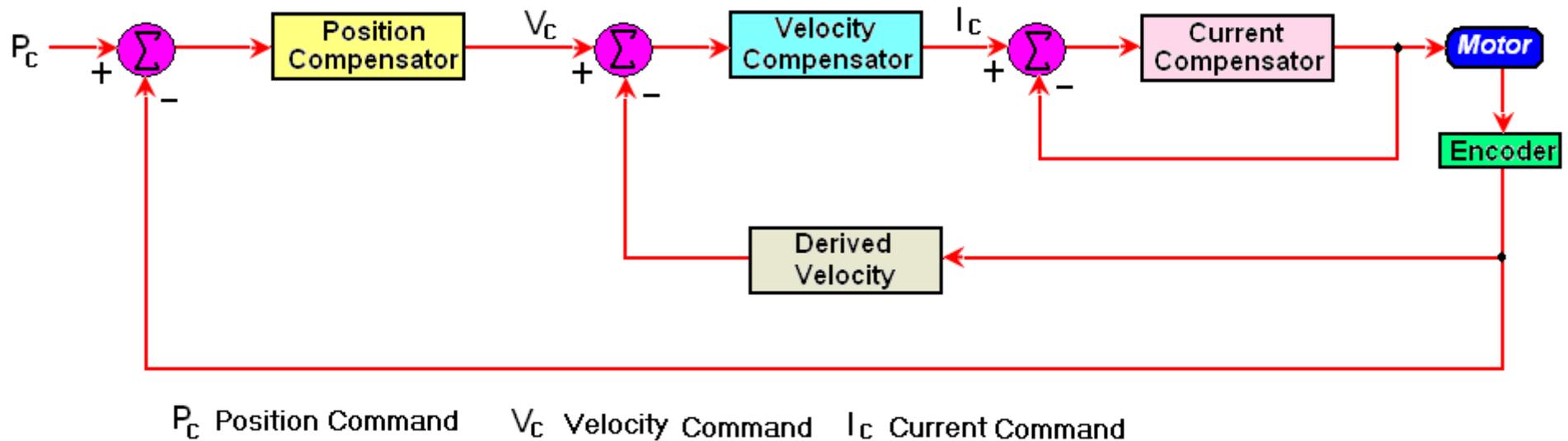
## 1.1 名词

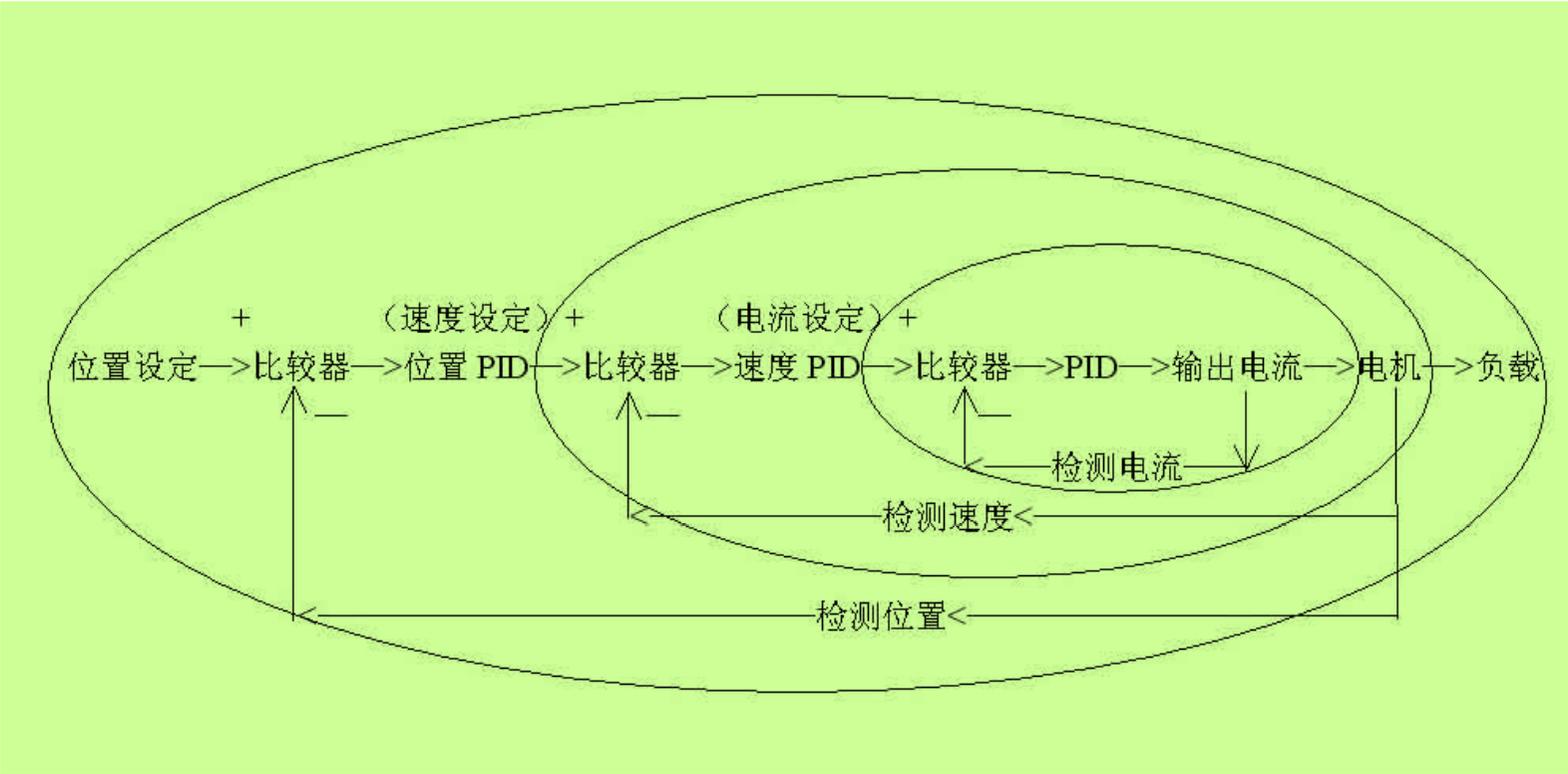
伺服(Servo)来自希腊词Servus(servant)，指系统跟随外部指令进行人们所期望的运动，运动要素包括位置、速度、加速度和力矩。伺服控制系统(servo control system)是所有机电一体化设备的核心，它的基本设计 requirements 是输出量能迅速而准确地响应输入指令的变化，如机械手控制系统的目标是使机械手能够按照指定的轨迹进行运动。象这种输出量以一定准确度随时跟踪输入量（指定目标）变化的控制系统称为伺服控制系统，因此，伺服系统也称为随动系统或自动跟踪系统。它是以机械量如位移、速度、加速度、力、力矩等作为被控量的一种自动控制系统。

## 1.2 伺服驱动的控制环

3 个控制环存在于伺服驱动器中的串级调节中

- 电流环 - 内环
- 速度环 - 中环
- 位置环 - 外环





## 1.3 伺服的控制方式

### 1.3.1 转矩控制

转矩控制方式是通过外部模拟量的输入或直接的地址的赋值来设定电机轴对外的输出转矩的大小，具体表现为例如10V对应5Nm的话，当外部模拟量设定为5V时电机轴输出为2.5Nm:如果电机轴负载低于2.5Nm时电机正转，外部负载等于2.5Nm时电机不转，大于2.5Nm时电机反转（通常在有重力负载情况下产生）。可以通过即时的改变模拟量的设定来改变设定的力矩大小，也可通过通讯方式改变对应的地址的数值来实现。应用主要在对材质的受力有严格要求的缠绕和放卷的装置中，例如饶线装置或拉光纤设备，转矩的设定要根据缠绕的半径的变化随时更改以确保材质的受力不会随着缠绕半径的变化而改变。

### 1.3.2 位置控制

位置控制模式一般是通过外部输入的脉冲的频率来确定转动速度的大小，通过脉冲的个数来确定转动的角度，也有些伺服可以通过通讯方式直接对速度和位移进行赋值。由于位置模式可以对速度和位置都有很严格的控制，所以一般应用于定位装置。应用领域如数控机床、印刷机械等等。

### 1.3.3 速度模式:

通过模拟量的输入或脉冲的频率都可以进行转动速度的控制，在有上位控制装置的外环PID控制时速度模式也可以进行定位，但必须把电机的位置信号或直接负载的位置信号给上位反馈以做运算用。位置模式也支持直接负载外环检测位置信号，此时的电机轴端的编码器只检测电机转速，位置信号就由直接的最终负载端的检测装置来提供了，这样的优点在于可以减少中间传动过程中的误差，增加了整个系统的定位精度。

## 1.4 控制模式的选择

如果对位置和速度有一定的精度要求，而对实时转矩不是很关心，用转矩模式不太方便，用速度或位置模式比较好。如果上位技术相对于控制器有比较好的闭环控制功能，用速度控制效果会好一点。如果本身要求不是很高，或者，基本没有实时性的要求，用位置控制方式对上位控制器没有很高的要求。

就伺服驱动器的响应速度来看，转矩模式运算量最小，驱动器对控制信号的响应最快；位置模式运算量最大，驱动器对控制信号的响应最慢。

对运动中的动态性能有比较高的要求时，需要实时对电机进行调整。那么如果控制器本身的运算速度很慢（比如 PLC，或低端运动控制器），就用位置方式控制。如果控制器运算速度比较快，可以用速度方式，把位置环从驱动器移到控制器上，减少驱动器的工作量，提高效率（比如大部分中高端运动控制器）；如果有更好的上位控制器，还可以用转矩方式控制，把速度环也从驱动器上移开，这一般只是高端专用控制器才能这么干，而且，这时完全不需要使用伺服驱动器了。

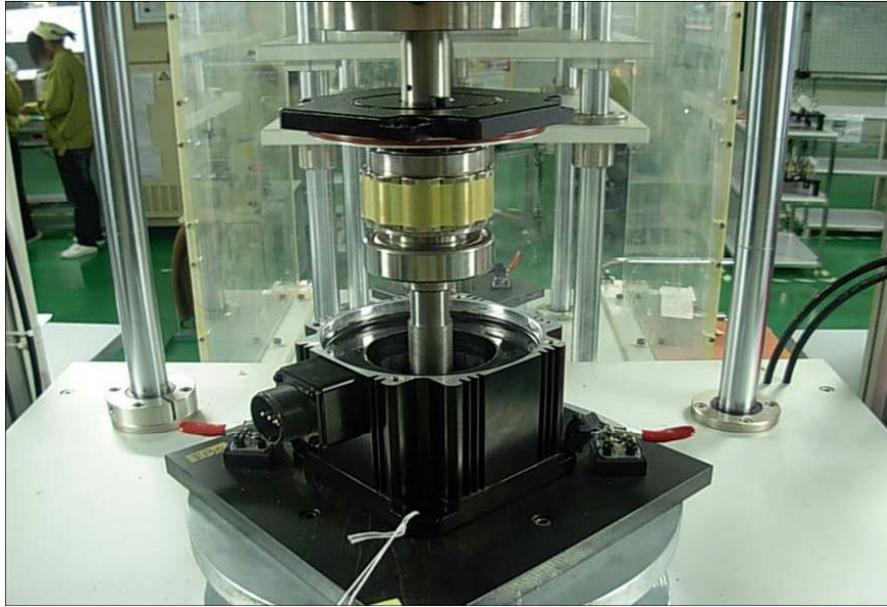
# 2. 伺服电机

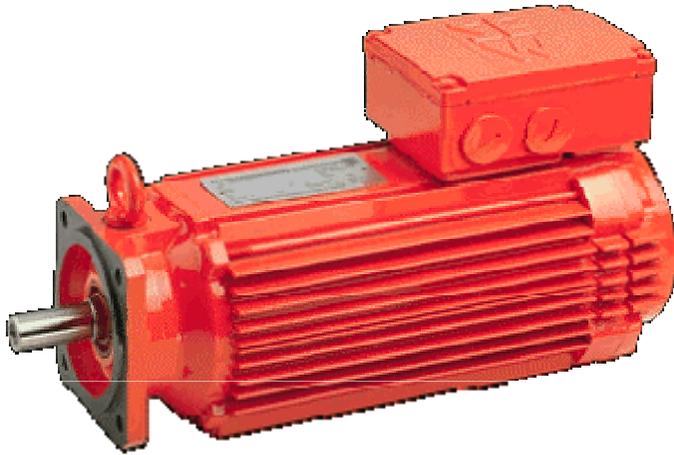
2.1 伺服电机的构造

2.2 伺服电机的体积

2.3 伺服电机的型号













## 2.1 伺服电机的构造

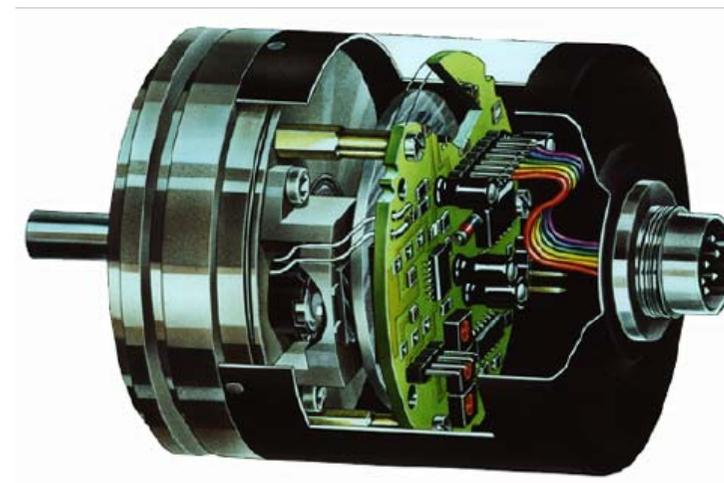
### 定子及定子绕组

- 三相绕组在空间相差 $120^\circ$
- 要求输入电源时间相差 $120^\circ$
- 产生旋转磁场

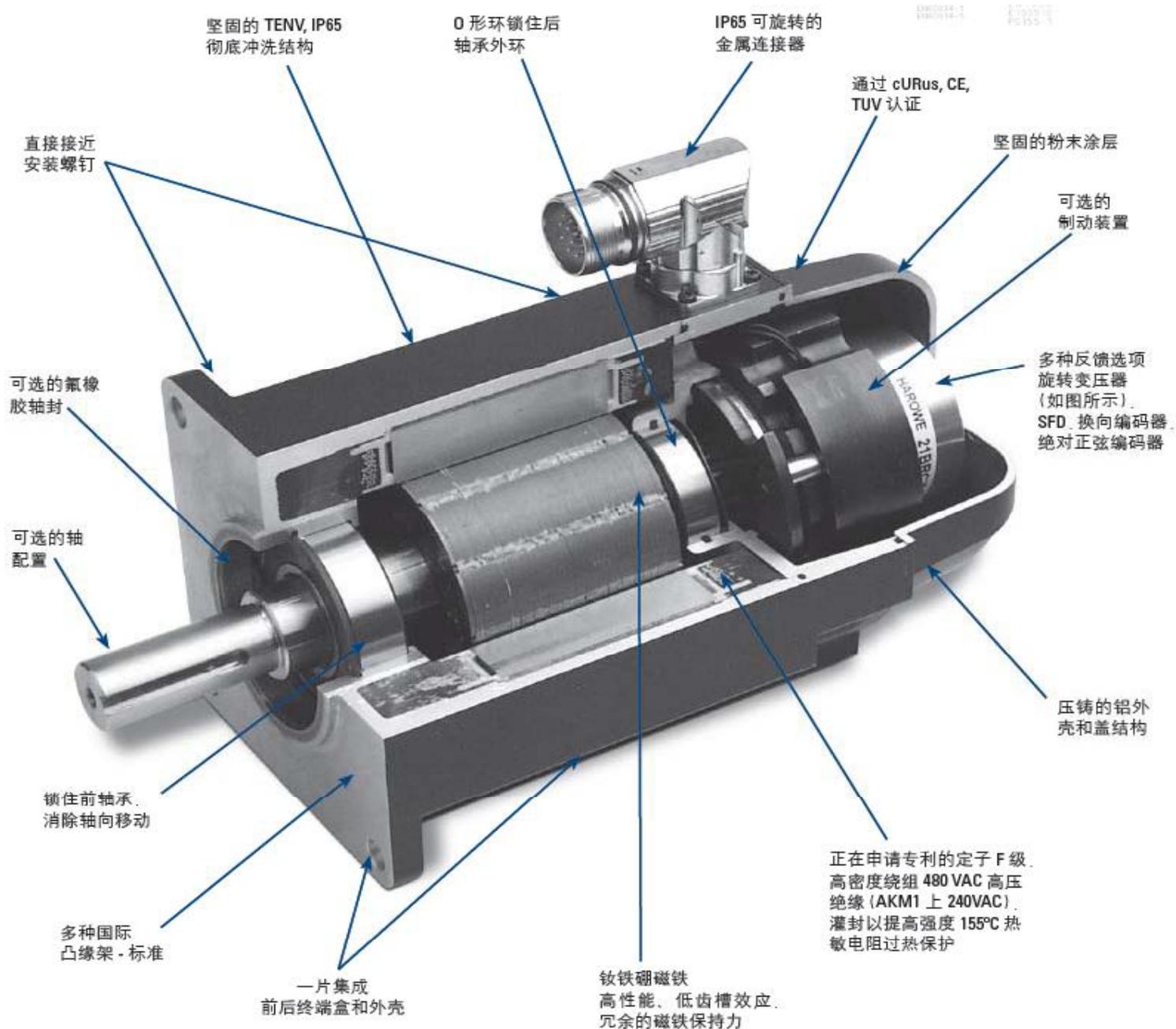
### 转子及转子磁条

- 转子结构永久磁体
- 产生恒定磁场

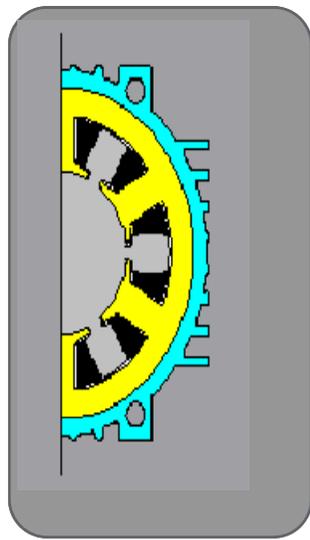
### 光电编码器



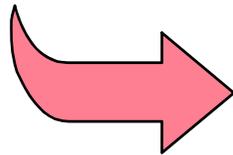
电机运转必须的三根电缆：动力电缆，电机动力线，电机编码器线。



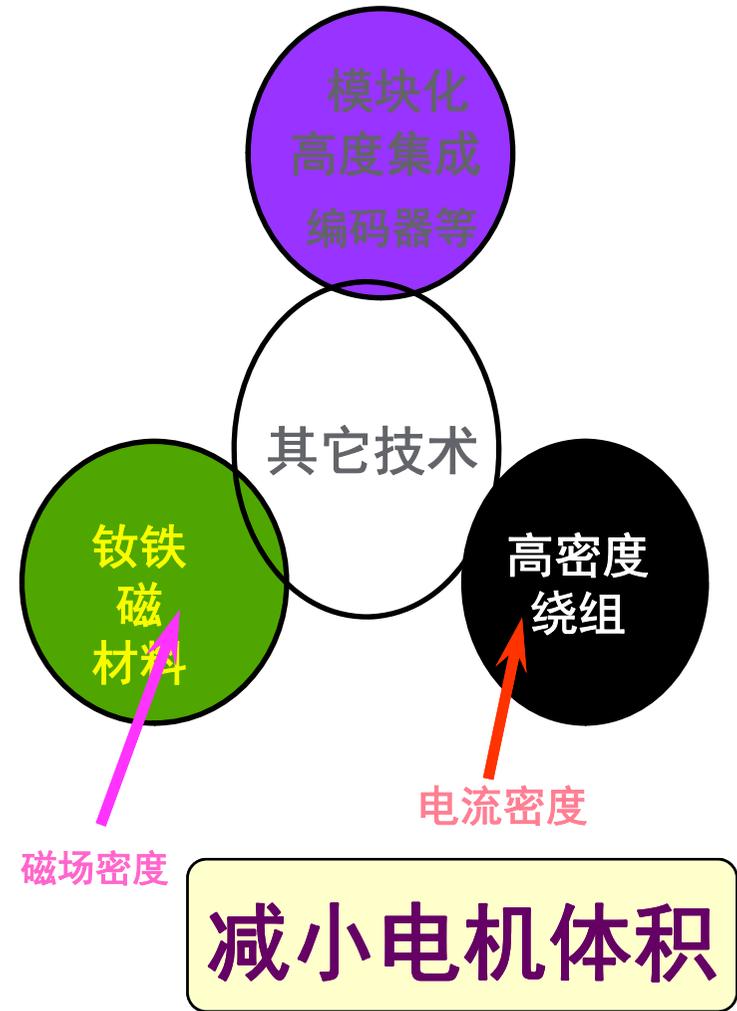
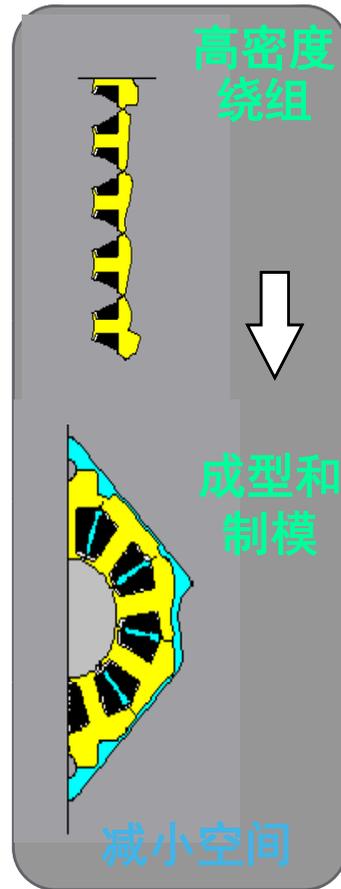
## 2.2 伺服电机的体积



传统的方法  
需更大的空间和绕组



新方法



## 2.3 伺服电机的型号 (以施耐德 BMH 为例)

	BMH	070	1	P	0	0	A	1	A
--	-----	-----	---	---	---	---	---	---	---

**产品系列:** 同步电机 - 中等转动惯量

**机座尺寸 (机壳)**  
 070 = 70 mm 法兰  
 100 = 100 mm 法兰  
 140 = 140 mm 法兰  
 205 = 205 mm 法兰

**机座长度**  
 1 = 1 Stack  
 2 = 2 Stack  
 3 = 3 Stack

**绕组**  
 P = 为实现最佳转矩和转速而优化  
 T = 为实现高转速而优化

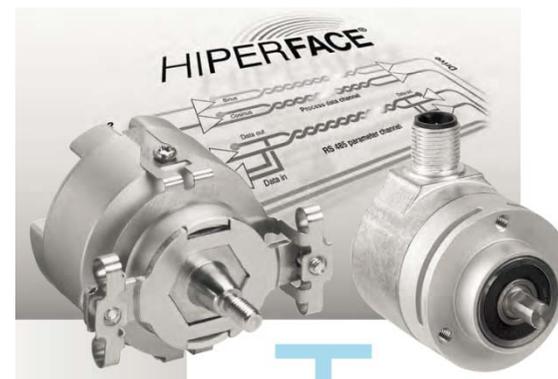
**轴和防护等级**  
 0 = 光轴; 防护等级: 轴 IP54<sup>1)</sup>, 机壳 IP65  
 1 = 导向键, 防护等级: 轴 IP54<sup>1)</sup>, 机壳 IP65  
 2 = 光轴; 防护等级: 轴和机壳 IP65<sup>2)</sup>  
 3 = 导向键; 防护等级: 轴和机壳 IP65<sup>2)</sup>

**机械接口 - 安装**  
 A = 国际电工委员会标准

**接线种类**  
 1 = 直式连接器  
 2 = 90° 弯角连接器, 可旋转

**止动闸**  
 A = 无制动器  
 F = 有制动器

**编码器系统**  
 1 = 每转 128 个正弦 / 余弦周期单圈绝对式编码器 (SKS36)  
 2 = 每转 128 个正弦 / 余弦周期多圈绝对式编码器 (SKM36)  
 6 = 每转 16 个正弦 / 余弦周期单圈绝对式编码器 (SEK37)  
 7 = 每转 16 个正弦 / 余弦周期多圈绝对式编码器 (SEL37)



# 3. 伺服品牌一览



### 3.1 数控和高端运控伺服品牌

Siemens、Fanuc、三菱、Rexroth等等；

数控伺服情况与数控系统状况相当，Siemens和Fanuc为主，三菱次之。

### 3.2 国外品牌(47家)

西门子(德国)、施耐德(德国)、Danaher、罗克韦尔自动化、Fanuc(美国-日本)、松下、ELMO(以色列)、安川(日本)、富士(日本)、欧姆龙(德国)、Lenze(德国)、KB(德国)、LUST(德国)、三菱(日本)、B&R、艾默生、CT、OMRON、瑞诺(瑞士)、迈克斯(德国)、Trio(英国)、Bosch Rexroth(德国)、maxon、麦特斯(韩国)、SEW、baldor、OEMAX、斯德博(德国)、Beckhoff(德国)、美国贝赛德、NORD、SHINKO(日本)、SSD、PPD(瑞典)、西班牙玛威诺、阿尔法、华纳(美国)、MOOG、台湾大内、Aurotek、DASATECH、PARKER(美国)、士林、罗兰(美国)、SEEK、PITTMAN、贺尔碧格(德国)、STOEBER

### 3.3 国产通用伺服主要有(23家):

台达、埃斯顿、珠海运控、星辰伺服、深圳步进科技、时光、和利时、浙江卧龙、兰州电机、雷赛机电、宁波甬科、固高科技、大连普传、武汉登奇、贝能科技、鄂尔多斯、海蓝机电、北京宝伦、南京晨光、北京首科凯奇、西安微电机、南京高士达、中国电子集团21所等;

### 3.4 国产数控伺服主要有(13家):

华中数控、广州数控、大森数控、北京航天数控、凯奇数控、开通数控、众为兴数控、苏强数控、绵阳圣维数控、北京凯恩帝数控、南京华兴数控、南京新方达数控、高金数控等;

### 3.5 国产伺服电机主要有(16家):

东元、华大、登奇、强磁(苏强)、中源、海顿(直线电机)、大族(直线电机)、先川电机、硕阳电机、南京思展、上海蒂凯艾姆、上海赢双、北京贝赛德、博山华兴(直流伺服)、博山微电机(直流伺服)、亚博微电机(直流伺服)、上海三意电机等。

# 4. 运动控制基本术语

## 4.1 运动和运动学

### 4.1.1 运动

### 4.1.2 运动学

### 4.1.3 直线速度和角速度的关系

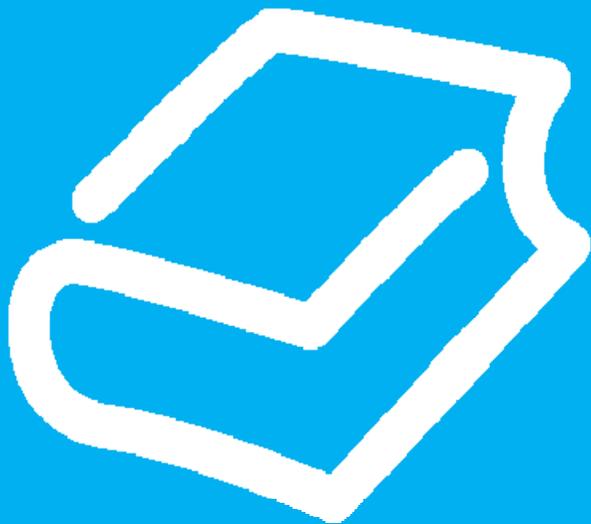
## 4.2 惯量，动量，反作用力，及力矩

## 4.3 两种摩擦力类型

## 4.4 齿隙（回差）

## 4.5 硬度和弹性系数，机械共振

## 4.6 功，能，功率



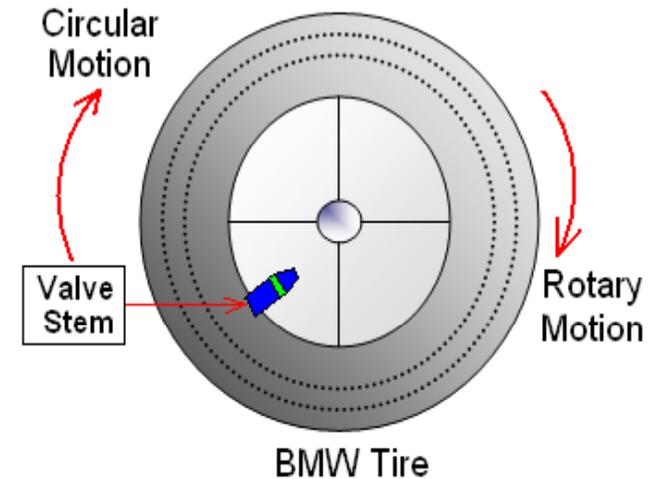
## 4.1 运动和运动学

### 4.1.1 运动

直线运动 - 运动物体沿直线运动，而不是围绕某一个点旋转

圆周运动 - 运动物体沿圆弧路径运动。

旋转运动 - 运动体以一个轴做旋转运动。



直线	旋转
$V_f = V_i + at$	$\omega_f = \omega_i + \alpha t$
$d = 1/2(V_f + V_i)t$	$\theta = 1/2(\omega_f + \omega_i)t$
$d = v_i t + 1/2at^2$	$\theta = \omega_i t + 1/2\alpha t^2$
$V_f^2 = V_i^2 + 2ad$	$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta$

## 4.1.2 运动学

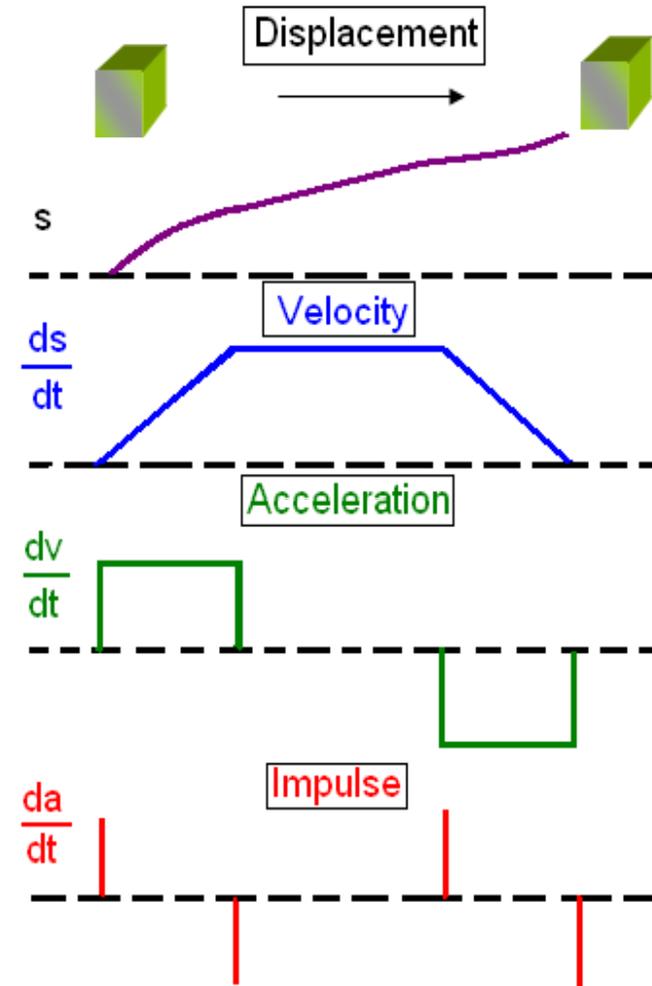
位移 - 物体位置的变化.

速度 - 位移变化的速率

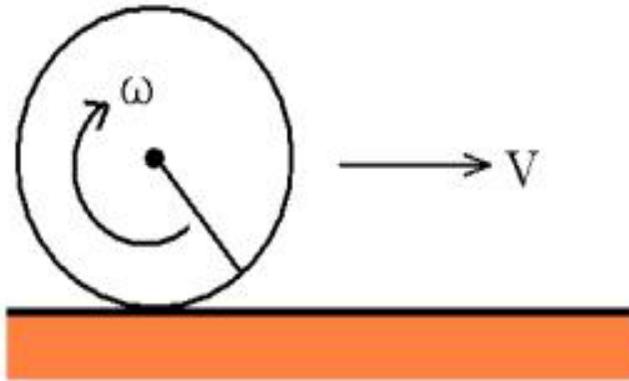
加速度 - 速度变化的速率.

冲量 (冲力) - 加速度变化的快慢.

(注意, 冲力可以采用S速度曲线来消除 )



### 4.1.3 直线速度(或切线的,圆周的)和角(旋转)速度的关系



$$S = r \theta, \omega = \theta/t = (s/t)(1/r) = v/r \text{ --- (b)}$$

从方程式 (b)

$$\omega = v/r \text{ or } v = \omega r \text{ --- (c)}$$

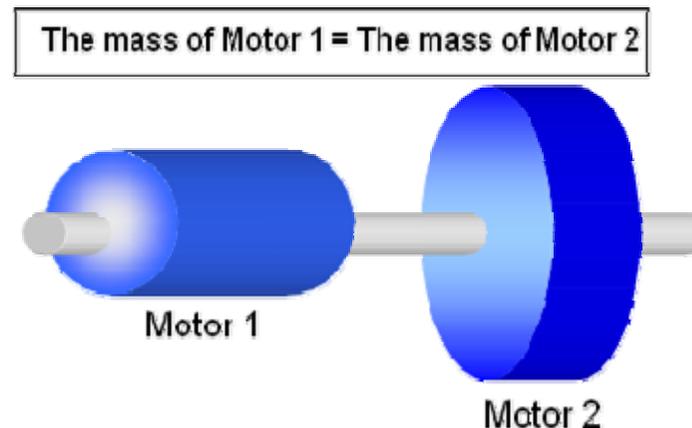
等式 (c) 显示

线速度与半径和角速度成正比.

## 4.2. 惯量, 动量, 反作用力, 及力矩

惯量 - 保持当前运动状态不变的特性. ( $m = F/a$ )

- 转动惯量 - 旋转中产生的惯量. ( $J = T/\alpha$ ), 关联到旋转轴上的惯量, 如, 图示电机 2 比电机 1 加速要困难很多
- 转动惯量和转矩没有关系的。
  - 转动惯量单位 $\text{kgm}^2$ , 简单的说和旋转物的密度和形状有关;

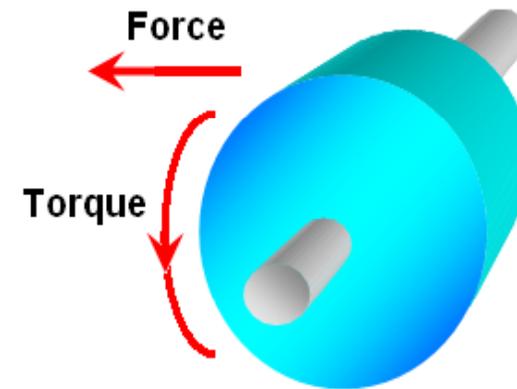
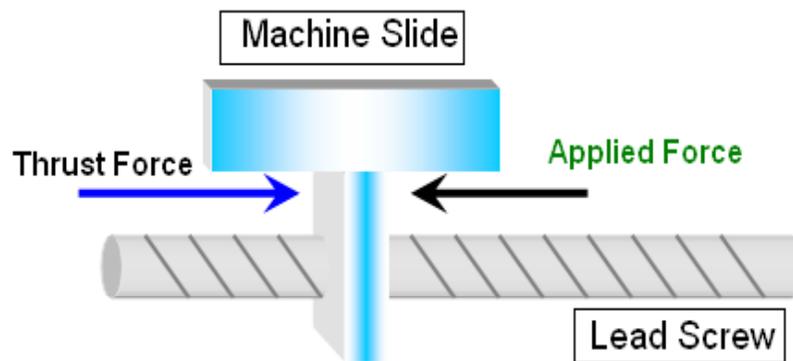


小惯量的系统, 启动, 加速, 制动的性能好, 反应快。因为低惯量电机, 其转子惯量比较低, 转子比较轻, 所以要停下来, 回生的能量比较少。比如, 以同样的速度撞墙, 胖子撞的力量会比瘦的大, 加减速也越困难。

动量 - 一个物体的动量 = 质量 x 速度，运动体的质量，任何静止物体没有动量

反作用力 - 施加在运动体上推力的反作用力.

力矩 - 产生旋转运动的力，转矩单位 Nm，是施加力的大小和力臂的乘积，与被施力物体无关。



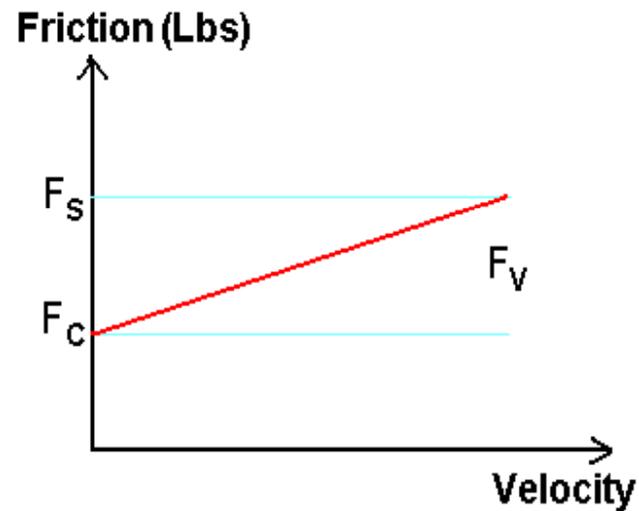
### 4.3 两种摩擦力类型

V粘滞摩擦力 ( $F_V$ ) – 与速度成正比

$F_V = B * \text{Velocity}$ , B: 粘滞摩擦系数, lbf-min/in

静滑动摩擦力 ( $F_C$ ) – 取决于速度.

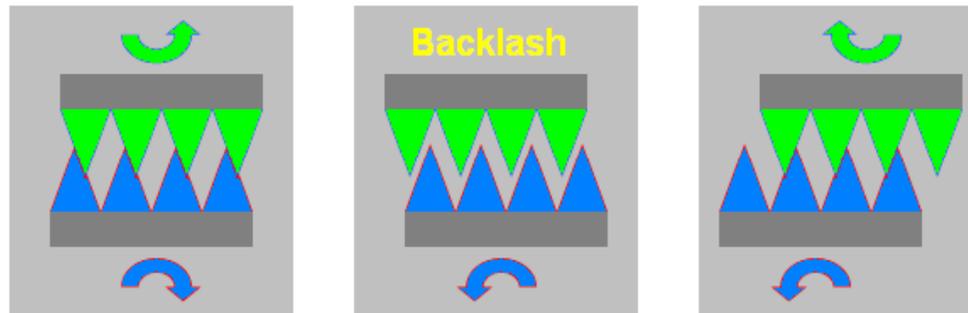
静止摩擦力 ( $F_S$ ) – 非线性静止摩擦力取决于机械运动部件的材料特性



## 4.4 齿隙（回差）

- 运动中的第一齿（绿）和第二齿（兰）之间的作用
- 当运动的方向改变时，误差产生
- 运动的滞后现象

齿隙导致了一致性和精度的变化



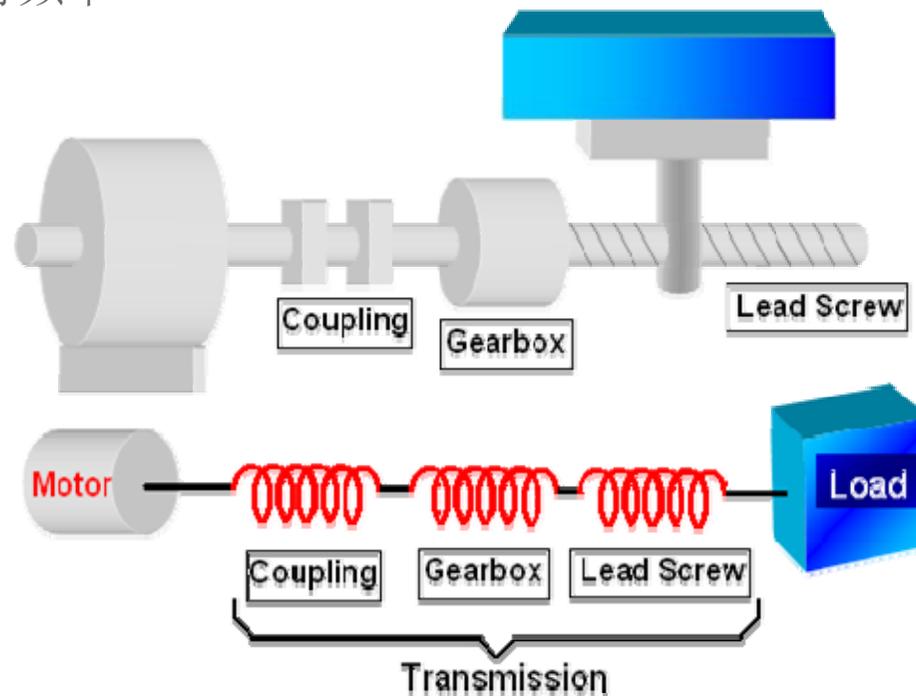
## 4.5 硬度和弹性系数，机械共振

### 硬度和弹性系数

- 弹簧压缩/伸长的恒力测量单位.
- 弹簧的弹性力越大，弹簧的硬度越大

### 机械共振

- 固有频率
- 每个物体都有自己的固有频率
- 共振频率
- 物体在固有频率下振动



## 4.6 功，能，功率

### 功

- 当力施加在一个物体上，引起 这个物体位移 ， 我们说对物体做了功.
- 功 = 力 \* 位移
- 1 焦耳 = 1 牛顿 \* 1 米
- 功与时间无关.



## 能

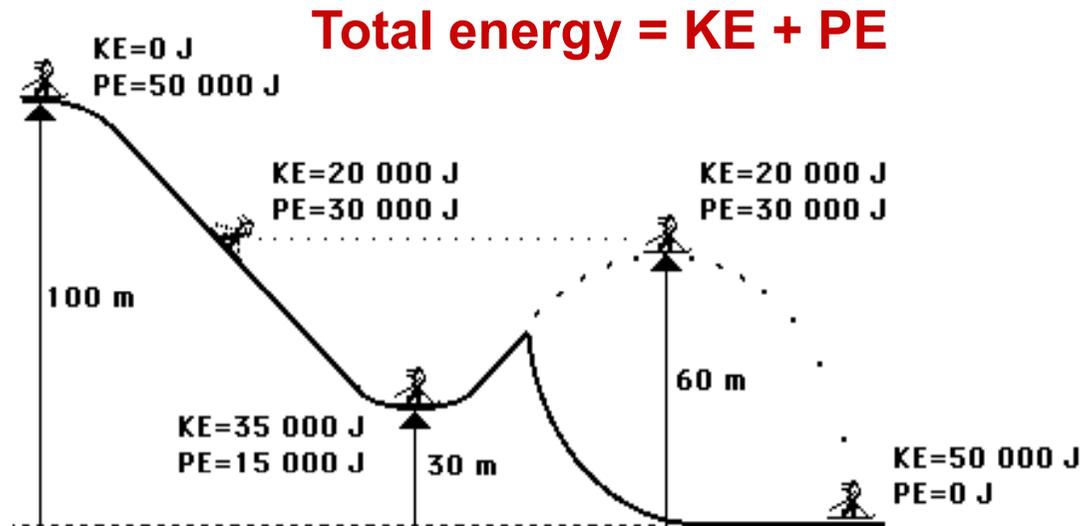
- 当对物体做了功，这个物体就有了能
- 做功的结果产生能

## 动能（运动的能量）KE

- 物体在运动中具有的能称为动能 ( $KE = \frac{1}{2} m v^2$ )

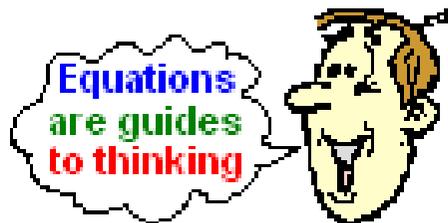
## 势能（位置储存的能量）PE

- 相对于零位来说的增加位置具有的位置能量



## 功率

- 做功的快慢
- 功率 = 功/时间  
= 力\*位移/时间
- 1 watt = 1 joule/second
- 功率 = 力 \* 速度 (直线运动)
- 功率 = 力矩 \* 速度 (旋转运动)



一台拖拉机与一辆汽车具有同样功率100 HP, 哪一个跑的快?

# 5. 伺服选型

- 5.1 如何选定伺服电机
- 5.2 伺服电机的选用流程
- 5.3 机械技术规格的掌握
- 5.4 速度曲线的制作



## 5.1 如何选定伺服电机

### 电机选用考虑因素

- 负载机构
- 动作模式
- 负载速度
- 定位精度
- 使用环境

### 电机选用的规格

- 电机功率 (W)
- 电机额定转速 (rpm)
- 额定扭矩及最大扭矩 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )
- 转子惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
- 是否需要报闸 (制动器)
- 体积、重量、尺寸

## 减速机构对伺服电机的影响

- 回转速度：  $N_M = N_t \times R$
- 扭力：  $T_L = T_t \times (1 \div R)$
- 惯量 ( $GD^2$ )：  $GD^2_L = GD^2_t \times (1 \div R)^2$

## 负载扭力

- 加速扭力  $\leq$  电机最大扭力
- 连续实际负载扭力  $\leq$  电机额定扭力
- 消耗回生能量  $<$  驱动器内回生容量
- 负载扭力  $<$  电机额定扭力

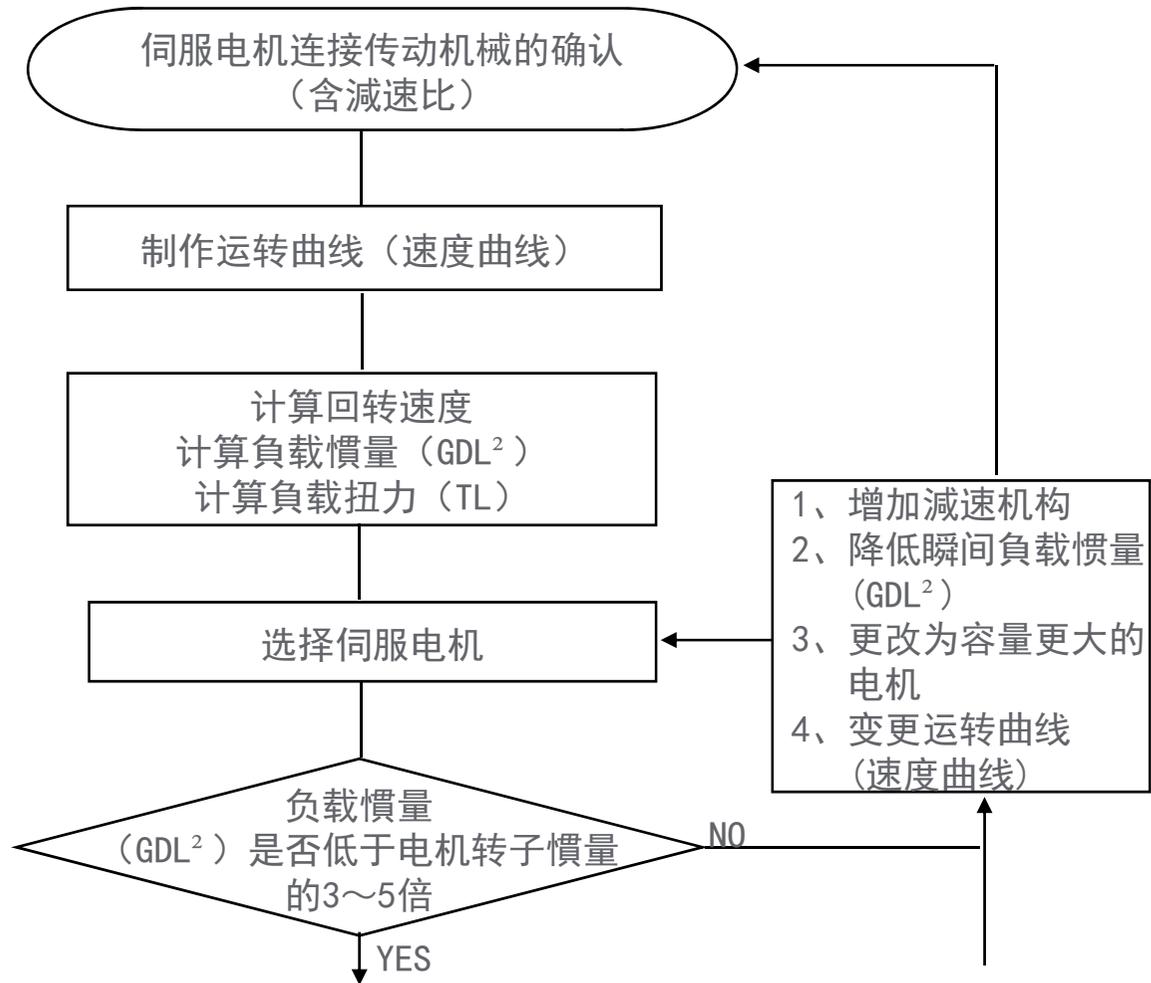
负载惯量  $<$  3~5倍电机转子惯量

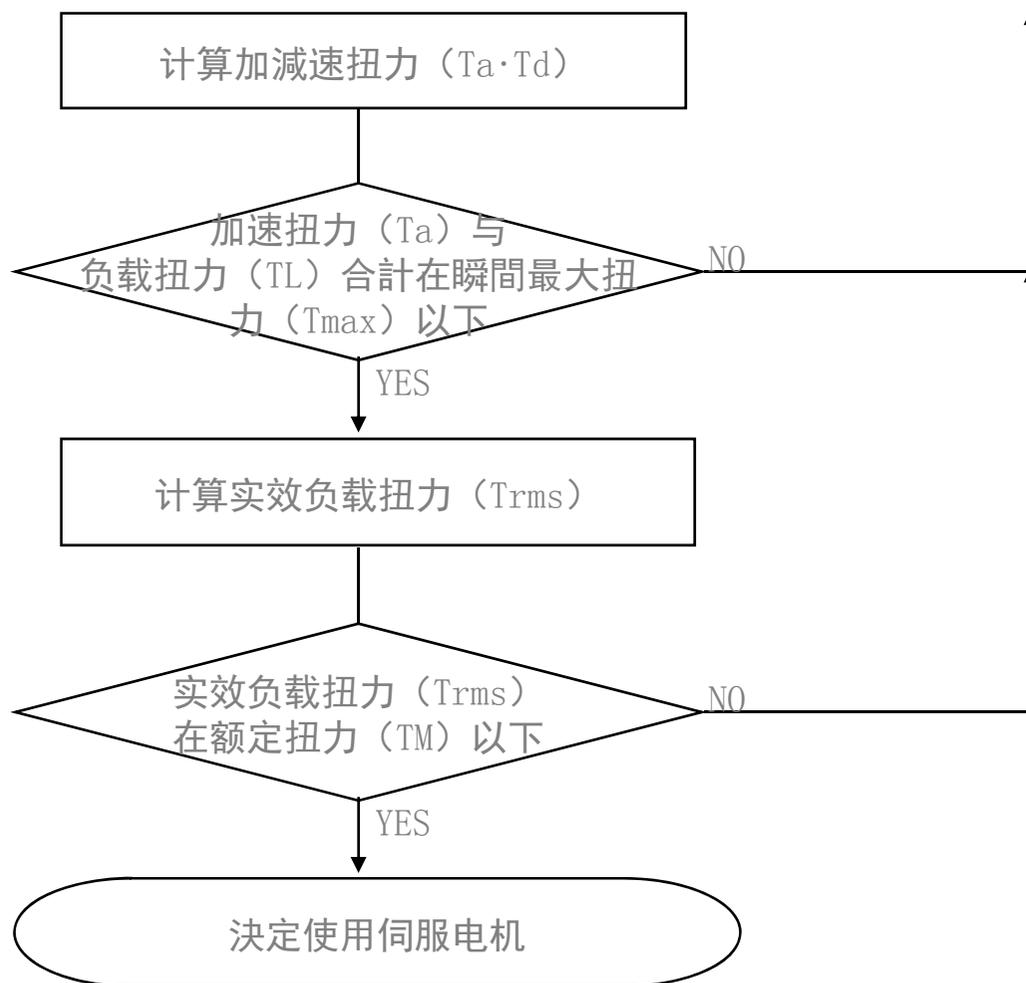
最大速度  $<$  电机最大转速

负载在85%以下

电机的扭矩特性

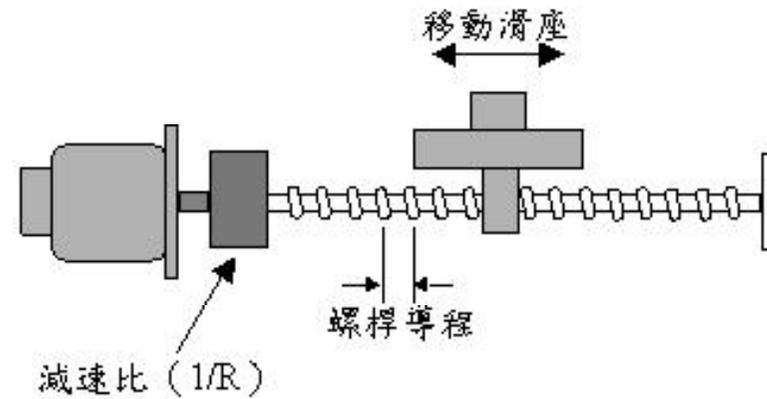
## 5.2 伺服电机的选用流程





### 5.3 机械技术规格的掌握

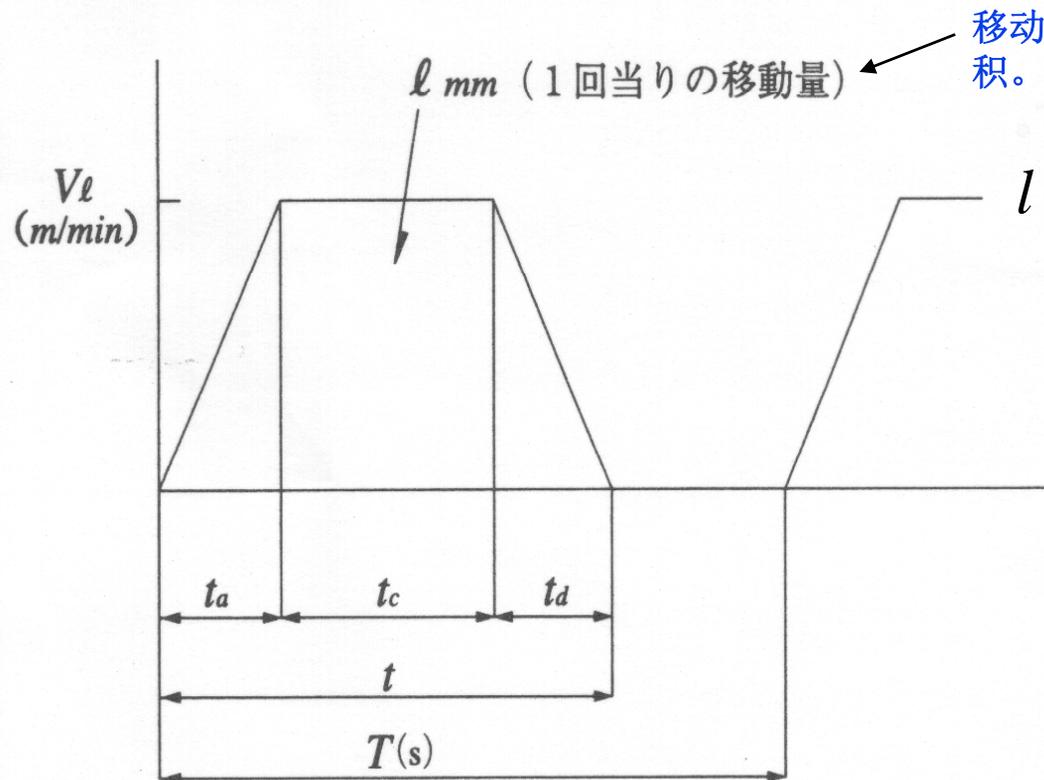
计算所必需的机械诸要素以及机械构成（从电机到机械运动部分动力传达机构）。



举一个具体例子如下：螺旋丝杠，直接连结，工作台水平移动。

- 工作台质量 (含工件)  $M = 500 \text{ kg}$
- 工作台速度  $V_l = 1.5 \text{ m/min}$
- 滑动摩擦系数  $\mu = 0.2$
- 机械效率  $\eta = 0.9$
- 螺旋环丝杠
  - 长度  $LH = 1400 \text{ mm}$
  - 直径  $DB = 36 \text{ mm}$
  - 导程  $PB = 10 \text{ mm/rev}$
- 联轴节
  - 质量  $MC = 1.5 \text{ kg}$
  - 直径  $DC = 60 \text{ mm}$
- 运行一次的移动量  $l = 275 \text{ mm}$
- 周期时间  $T = 1.5 \text{ s}$
- 移动时间  $t = 1.2 \text{ s}$

## 5.4 速度曲线的制作



移动量就是速度曲线所围成部分的面积。

$$l = \frac{V_l \times 10^3}{60} \times \frac{t_a + 2t_c + t_d}{2} \quad (1)$$

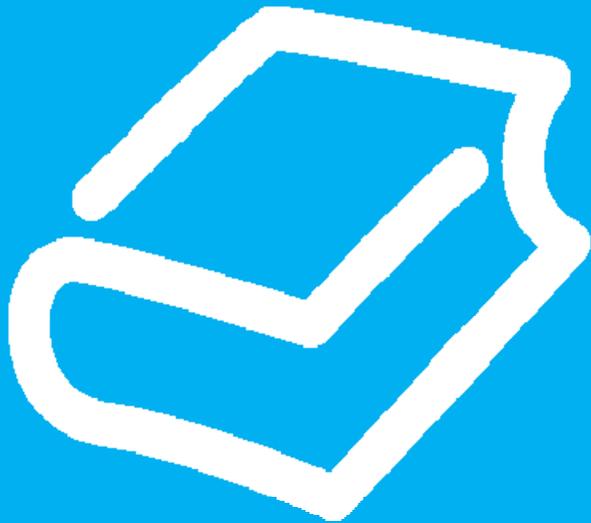
要达成设计的动作就必须使移动量、速度和时间关系满足公式 (1)。

公式 (1) 中如果使加速时间、减速时间相同 ( $t_a = t_d$ ) 就得到公式 (2)。

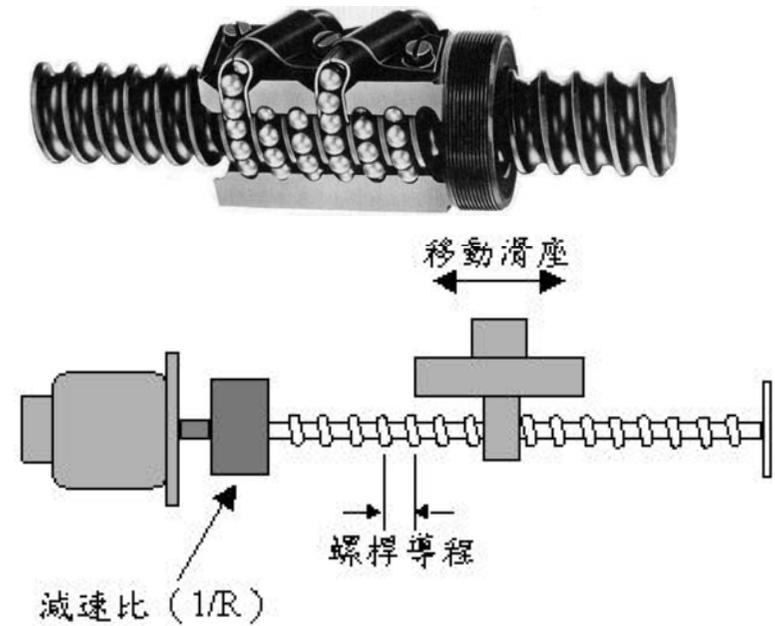
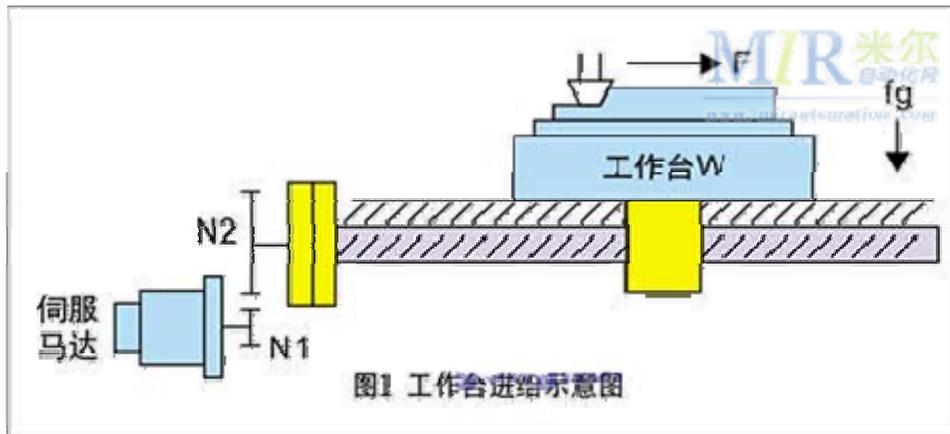
$$t_a = t - \frac{60l}{V_l \times 10^3} \quad (2)$$

# 6. 常用机械传动的分类

- 6.1 滚珠螺杆传动
- 6.2 齿条及小齿轮移动
- 6.3 时规皮带传动
- 6.4 链条传动
- 6.5 滚轮送料传送
- 6.6 运动方向

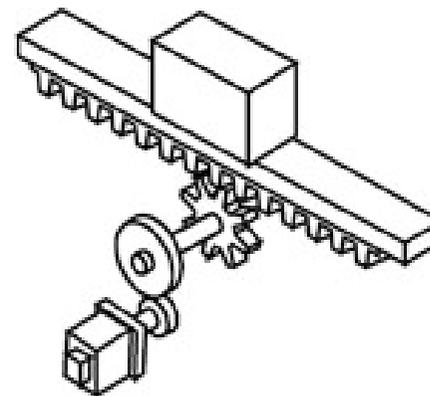


## 6.1 滚珠螺杆传动



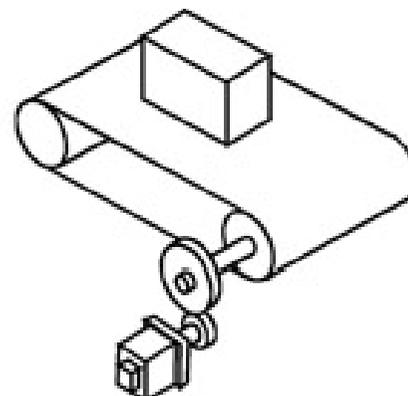
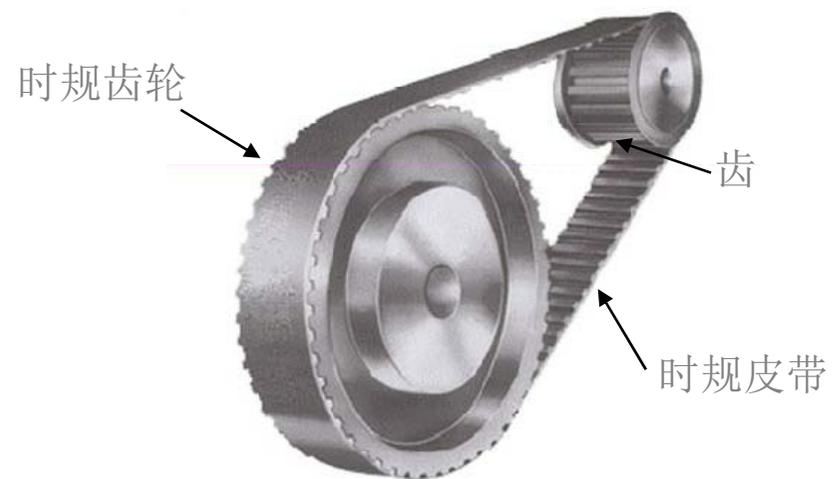
应用场合：短距离移动，高精度

## 6.2 齿条及小齿轮移动



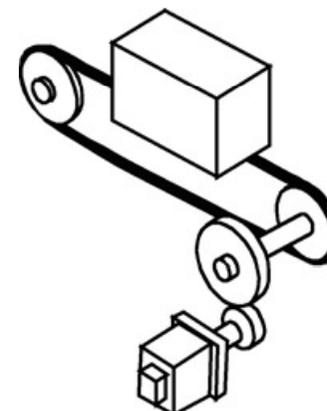
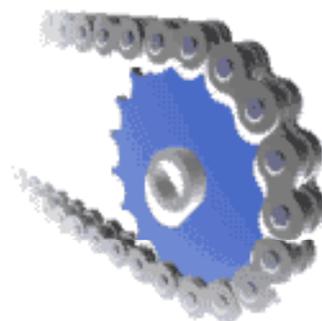
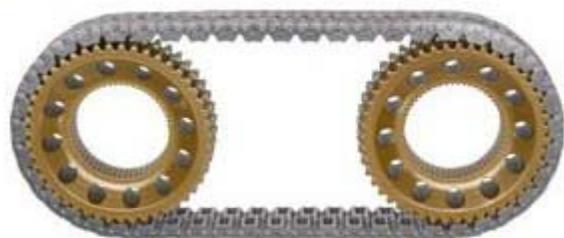
应用场合：较长距离移动

### 6.3 时规皮带传动



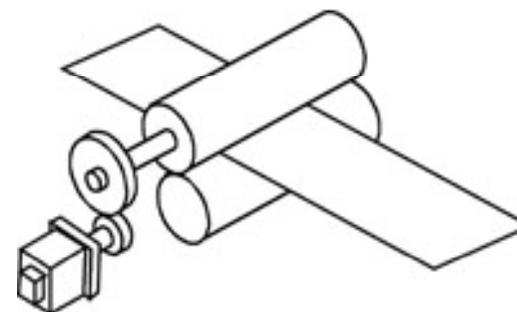
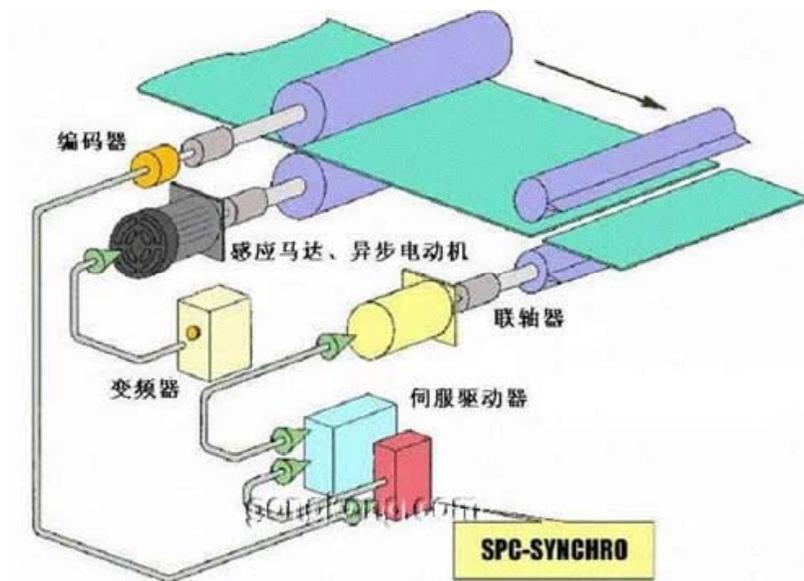
应用场合：大型搬运及精密机械

### 6.4 链条传动



应用场合：长距离及高速位移

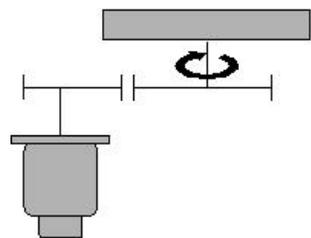
## 6.5 滚轮送料传送



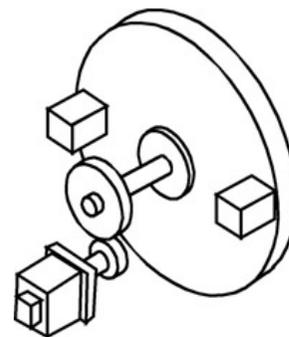
应用场合：冲床机械定尺寸送料及切割机

## 6.6 运动方向

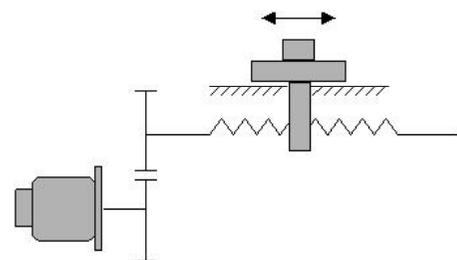
- 旋转运动



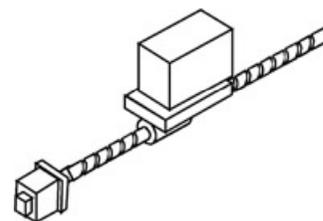
通常应用于分度盘



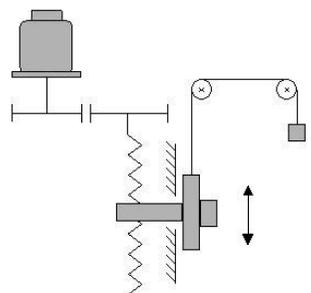
- 水平运动



通常应用于滚珠丝杆、齿轮、皮带、链条传动元件



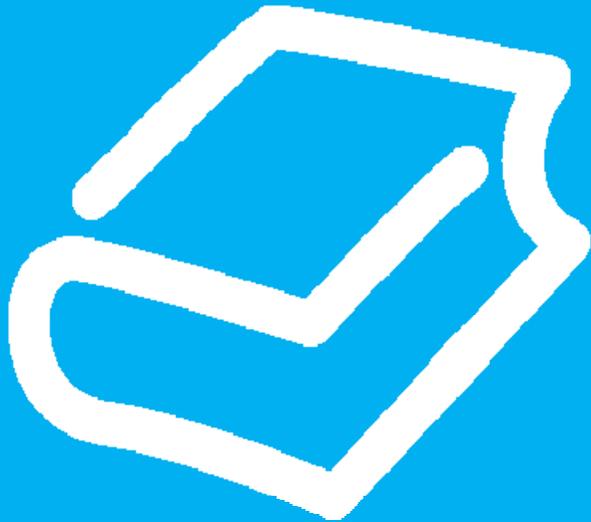
- 垂直运动



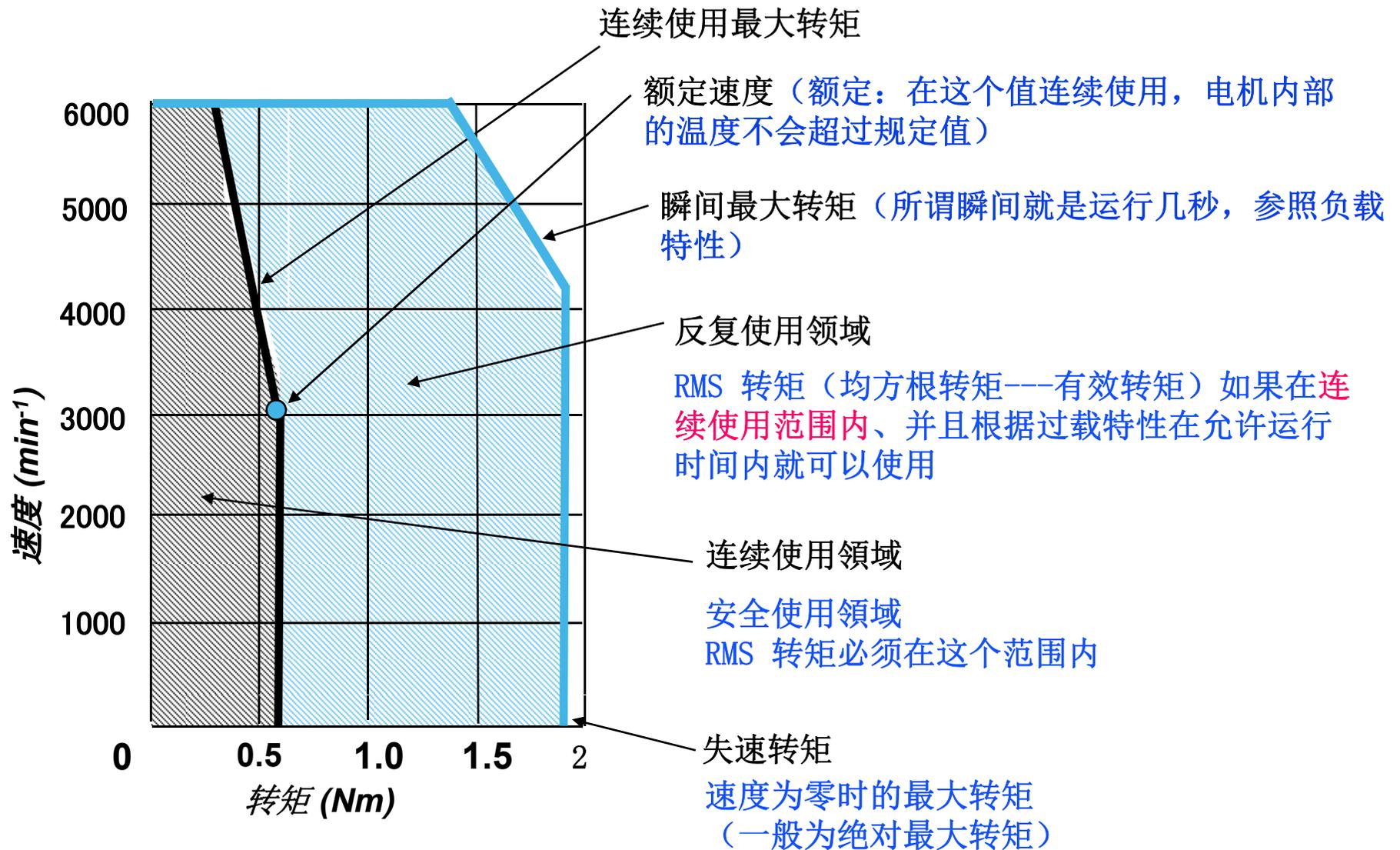
通常应用于机械升降轴、机械手臂上下轴

# 7. 附录

- 7.1 速度-转矩特性曲线
- 7.2 过负载特性
- 7.3 IP 防护等级
- 7.4 伺服驱动与变频器的区别
- 7.5 伺服电机和步进电机的区别
- 7.6 转动惯量和扭矩



## 7.1 速度-转矩特性曲线



## 7.2 过负载特性

在多少秒钟之内，流过的最大电流是额定值的多少倍才合适（所加的最大负载是额定负载的多少倍才合适）

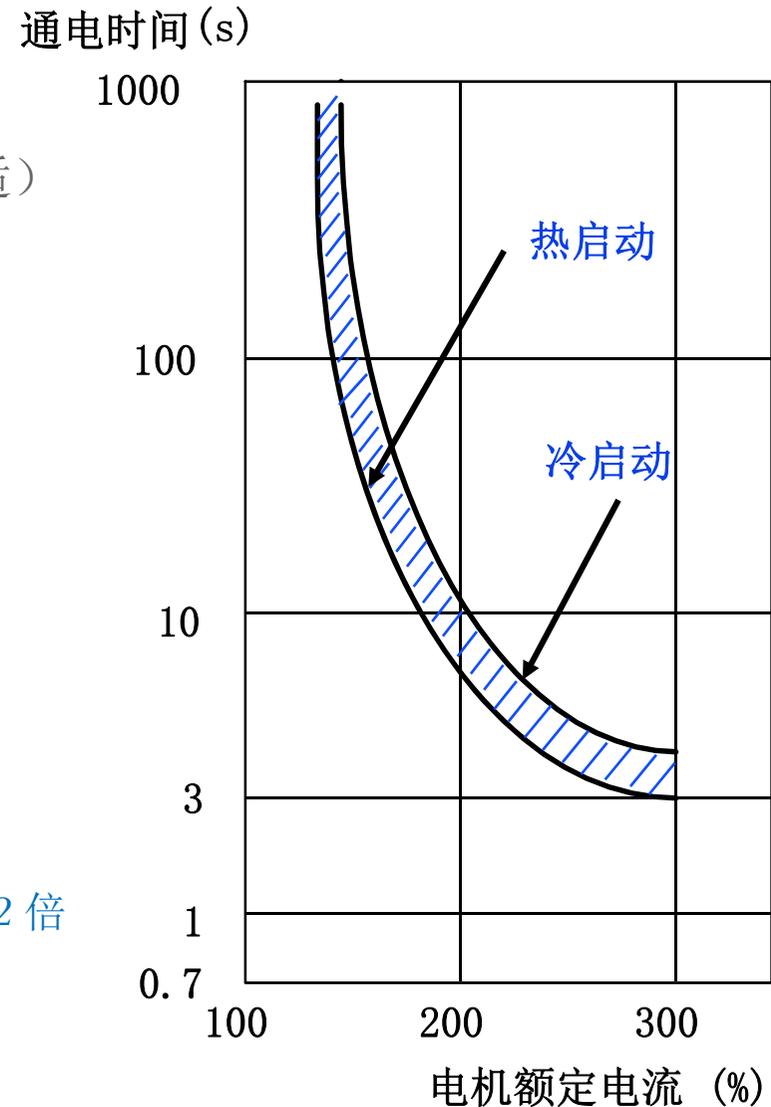
冷启动：

电机在充分冷却的状态下启动

热启动：

电机在热饱和状态下启动

如右图所示，在冷启动的状态下，流过 2 倍于额定值的电流可以运行 10 秒。



### 7.3 IP 防护等级

IP等级有2个数字组成，每个数字代表一种特性。其具体的等级代表产品防护杂质侵入的程度，包括湿度和粉尘。数值越高，保护性也越好。

表 1 防止危险发生（第一个数字）

Number	Description
0	Not protected 无保护
1	防止手伸入 (50 mm)
2	防止手指伸入 (12 x 80 mm)
3	防止工具伸入 (2.5 mm)
4, 5, 6	防止电线伸入 (1.0 mm)

表 2 防止固体物质侵入（第一个数字）

Number	Description
0	无保护
1	防止等于或大于 50 mm 的物体
2	防止等于或大于 12.5 mm 的物体
3	防止等于或大于 2.5mm 的物体
4	防止等于或大于 1mm 的物体
5	灰尘防护
6	无尘

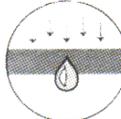
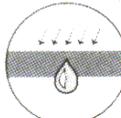
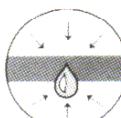
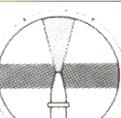
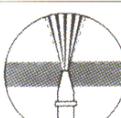
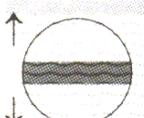
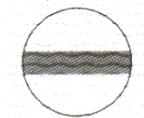
表 3 防止液体侵入（第二个数字）

0	无保护
1	防止垂直水滴
2	防止从垂直方向两侧 15 度内水滴
3	防止从垂直方向两侧 60 度内水滴
4	防止任何方向的喷溅水
5	防止任何方向的喷射水
6	防止任何方向的强力喷射水
7	防止浸入水中浸水
8	防止浸入压力水中浸水

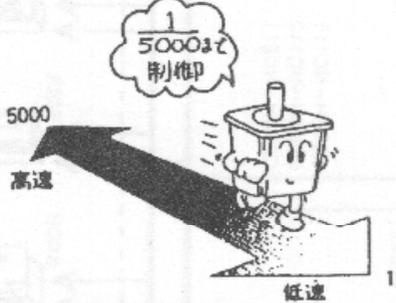
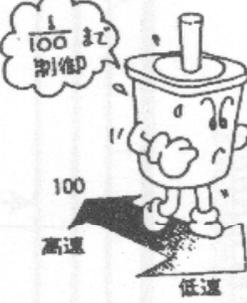
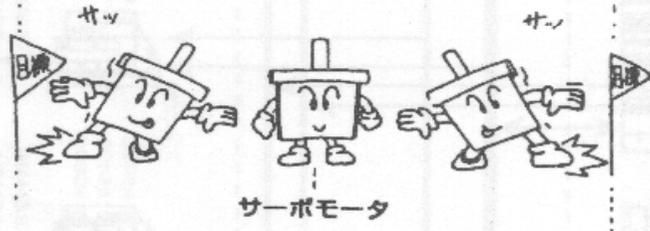
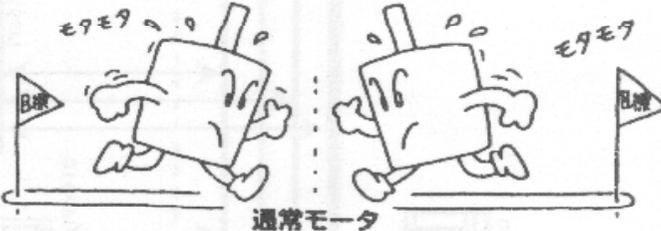
第一位数  
防固体物侵入的级别

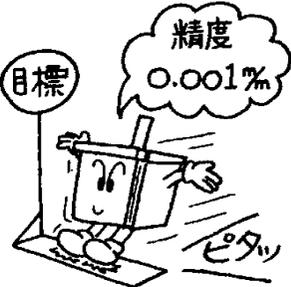
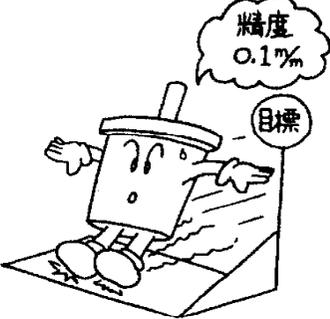
0		无防护
1		防护大于50mm的物体(如手)
2		防护大于12mm的物体(如手指)
3		防护大于2.5mm的物体(如工具或导线)
4		防护大于1.0mm的物体(如导线或细棍)
5		防护足以造成危害的粉尘的侵入

第二位数  
防水侵入的级别

0		无防护
1		防护滴水(如凝结液)
2		防护滴水, 下滴倾斜角度小于15°
3		防护喷洒水, 倾斜角度小于60°
4		防护来自所有方向的溅水
5		防护来自所有方向的水柱
6		防护水淋或高压水柱
7		浸于水中150mm-1m深 防护水的侵入
8		埋于水中, 适合连续 浸于水中

## 7.4 伺服驱动与变频器的区别

比較項目	ACサーボドライブ	インバータ
速度制御範囲		
最大加速トルク (瞬間最大トルク)		
始動・停止頻度 (GD <sup>2</sup> ,最大トルク)		

<p>位置決め精度</p>		
<p>周波数特性</p>		
<p>速度変動率 (負荷稼働率) :負荷が0~100%の 範囲で変化した場合</p>	<p>0.01%程度 (定格回転速度で)</p>	<p>1~5%程度</p>
<p>出力</p>	<p>3W~60kW程度</p>	<p>100W~300kW程度</p>
<p>適用</p>	<p>~電気サーボ一般~ 工作機、電子部品実装機、半導体製造装置 搬送機、印刷機、射出成形機</p>	<p>~単純可変速~ ファン、ブロア、ポンプ、コンベア</p>

項目	サーボドライブ	パルスモータ (ステッピングモータ)
制御方式	クローズドループ制御→エンコーダが必要 ※エンコーダにより速度・位置を検出し、指令通りに動いたかを確認・修正している。	オープンループ制御→エンコーダは不要 ※速度・位置の検出は行っていない。 指令通りに動くことを前提としている。
指令パルス信号	符号+パルス列 (S+P) 方式が主	正転・逆転パルス (CW+CCW) 方式が主
回転速度 トルク	連続回転 連続トルク → 動きがスムーズで 騒音・振動は少ない	ステップ回転 ステップトルク → 動きがステップ的になるため騒音・振動 が大きい
最高回転速度	6000min <sup>-1</sup> ※高速シリーズの場合。	1200~2400min <sup>-1</sup> ※最大応答周波数や高速時の出力トルク逡減などにより制約がある。
分解能	(例) 17ビットエンコーダ使用時 32768 パルス/rev (4倍) ↓ 0.00275 度/パルス	(例) 10000 パルス/rev  0.036 度/ステップ  ※マイクロステップにより100000 パルス/revも可

位置決め時間	Σ III Plusシリーズは、偏差パルスが少ないのでパルスモータと同じ。	1パルス応答のため 位置決め時間は短い。一般的にモータ1回転以内の位置決めには適しているといわれている。
発熱効率	モータ停止時は 負荷に応じた電流しか流さないため発熱は少なく、効率も良い。	停止位置を保持するため モータに大きな電流を流している。このためモータは著しく <b>発熱する</b> 。負荷に関係なく電流を流しているため <b>効率が悪い</b> 。
信頼性	負荷や速度の急な変化にも確実に追従する(偏差カウンタのはたらき)ので信頼性が高い。	負荷や速度の急な変化に追従できず <b>脱調現象(誤動作)を起こす</b> ことがある。信頼性が重視される用途には不向きといえる。
出力	3W~100kW ※小容量から大容量まで機種が豊富	数W~300W位 ※小容量のみ

## 7.5 伺服电机和步进电机的区别

比较项目	步进电机	伺服电机
1. 控制精度	两相混合式步进电机步距角一般为 $3.6^\circ$ 、 $1.8^\circ$ ，五相混合式步进电机步距角一般为 $0.72^\circ$ 、 $0.36^\circ$ 。	交流伺服电机的控制精度由电机轴后端的旋转编码器保证。对于带17位编码器的电机而言，驱动器每接收 $2^{17}=131072$ 个脉冲电机转一圈，即其脉冲当量为 $360^\circ / 131072=9.89$ 秒。是步距角为 $1.8^\circ$ 的步进电机的脉冲当量的 $1/655$ 。
2. 低频特性	步进电机在低速时易出现低频振动现象。振动频率与负载情况和驱动器性能有关，一般认为振动频率为电机空载起跳频率的一半。这种由步进电机的工作原理所决定的低频振动现象对于机器的正常运转非常不利。当步进电机工作在低速时，一般应采用阻尼技术来克服低频振动现象，	交流伺服电机运转非常平稳，即使在低速时也不会出现振动现象。交流伺服系统具有共振抑制功能，可涵盖机械的刚性不足，并且系统内部具有频率解析机能（FFT），可检测出机械的共振点，便于系统调整。

比较项目	步进电机	伺服电机
3. 矩频特性	<p>步进电机的输出力矩随转速升高而下降，且在较高转速时会急剧下降，所以其最高工作转速一般在300~600RPM。</p>	<p>交流伺服电机为恒力矩输出，即在其额定转速（一般为2000RPM或3000RPM）以内，都能输出额定转矩，在额定转速以上为恒功率输出。</p>
4. 过载能力	<p>步进电机一般不具有过载能力。步进电机因为没有这种过载能力，在选型时为了克服这种惯性力矩，往往需要选取较大转矩的电机，而机器在正常工作期间又不需要那么大的转矩，便出现了力矩浪费的现象。</p>	<p>交流伺服系统具有速度过载和转矩过载能力。其最大转矩为额定转矩的三倍，可用于克服惯性负载在启动瞬间的惯性力矩。</p>

比较项目	步进电机	伺服电机
5. 运行性能	<p>步进电机的控制为开环控制，启动频率过高或负载过大易出现丢步或堵转的现象，停止时转速过高易出现过冲的现象，所以为保证其控制精度，应处理好升、降速问题。</p>	<p>交流伺服驱动系统为闭环控制，驱动器可直接对电机编码器反馈信号进行采样，内部构成位置环和速度环，一般不会出现步进电机的丢步或过冲的现象，控制性能更为可靠。</p>
6. 速度响应性能	<p>步进电机从静止加速到工作转速（一般为每分钟几百转）需要200~400毫秒。</p>	<p>交流伺服系统的加速性能较好，以松下MSMA 400W交流伺服电机为例，从静止加速到其额定转速3000 RPM仅需几毫秒，可用于要求快速启停的控制场合。</p>

## 7.6 转动惯量和扭矩

对转动惯量的分析主要是从能量的角度分析转动问题，转动惯量是表征物体本身的物理特性，只跟质量和惯性转动半径相关。简单来说，在转速一定的情况下，转动惯量越大，其能就越大。总质量越大转动惯量就越大，反之就越小。惯性半径越大转动惯量就越大，反之就越小。

对扭矩的分析主要是从电动机带动机械转动的“劲头”来分析转动问题，它是物体转动或者移动的外源力量。如果电机转矩太小，就带不动所要带的物体，也就是感觉电机的“劲”不够大。

转动惯量和扭矩没有直接关系，是两个不同的概念。

两个扭矩相同的电机，转动惯量不一定相同，而相比扭矩较大的电机，转动惯量也不是一定就大。

惯量越大，加、减速越不容易；扭矩越大，出力越大。反之，惯量越小，加、减速越容易；扭矩越小，出力越小。

## 转动惯性有两大因素

- 总质量：总质量将是决定转动惯量的重要因素，比如，柴油机上用的飞轮，飞轮有储存能量的作用和均衡速度的作用，一般来说，飞轮的质量都比较重，才能起到上述作用，但是，如果将飞轮做成像汽车方向盘一样，就会是轻飘飘的，根本起不到储存能量和均衡速度的作用。
- 惯性半径：惯性半径是另外一个决定因素，还是拿柴油机的飞轮来说明，飞轮一般都是将边缘做得很厚，其目的就是将重量分布在最外缘，通俗的说，就是将外缘处做得很重，通俗说来，型心距离飞轮中心的距离就越远（这就是惯性半径），这样就可以使得飞轮在转动时，惯性更大，试想，将飞轮的中心集中在很小的半径上，这个飞轮的惯性是不是就会减小呢？

## 惯量说明举例

1. 一辆重型卡车与一辆小轿车以相同的速度前进，紧急刹车时，卡车需要更大的刹车力才能让车停下来，而小轿车只需要很小的刹车力就可以让车停下来，从刹车印的长短也可以看出来，这说明：卡车的运动惯量大于小轿车的运动惯量。
2. 公园里的旋转木马，在没坐人的时候，转动很轻松的，一旦坐上人之后，就需要更大的电力去驱动这个旋转木马，这说明：旋转木马空载的时候，转动惯量小，重载的时候，转动惯量大。
3. 转动惯量大：需要大的动力去驱动它旋转，也需要大的刹车力让它停止。

转动惯量只决定于刚体的形状、质量分布和转轴的位置，而同刚体绕轴的转动状态（如转动快慢）无关。规则形状的均质刚体，其转动惯量可直接计得。不规则刚体或非均质刚体的转动惯量，一般用实验法测定。

## 扭矩说明举例

什么是扭矩？扭矩是怎样产生的？百度百科里写道：“扭矩在物理学中就是力矩的大小，等于力和力臂的乘积，国际单位是牛米Nm...”。通俗点、不那么严谨点说扭矩就是力。有力才能推动车辆前进。

为了更好的说明这个问题，举个简单的例子：在换轮胎的时候如果我们想把车轮上的螺丝拧下来，只靠手的力量一般人是做不到，解决办法就是用脚去踩扳手。其实这是个很简单的道理，无非就是初中学过的力和力臂的关系，这样的例子很多，总而言之，如果施加的力不变，想增加力矩，唯一的办法就是增长力臂。

***Thanks***  
***for your attention***