

伺服控制原理

德厚技高

务实创新



河南职业技术学院

HENAN POLYTECHNIC

德厚技高

务实创新

1. 伺服驱动原理

- 1.1 伺服概述
- 1.2 伺服系统组成
- 1.3 伺服系统分类

2. 伺服电机

- 2.1 伺服电机概述
- 2.2 伺服电机分类
- 2.3 交流伺服电机组成
- 2.4 交流伺服电机原理

3. 伺服控制器

- 3.1 伺服控制器概述
- 3.2 伺服控制器原理
- 3.3 伺服性能指标
- 3.4 伺服驱动器电子齿轮



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

伺服概述

伺服 (Servo)

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)

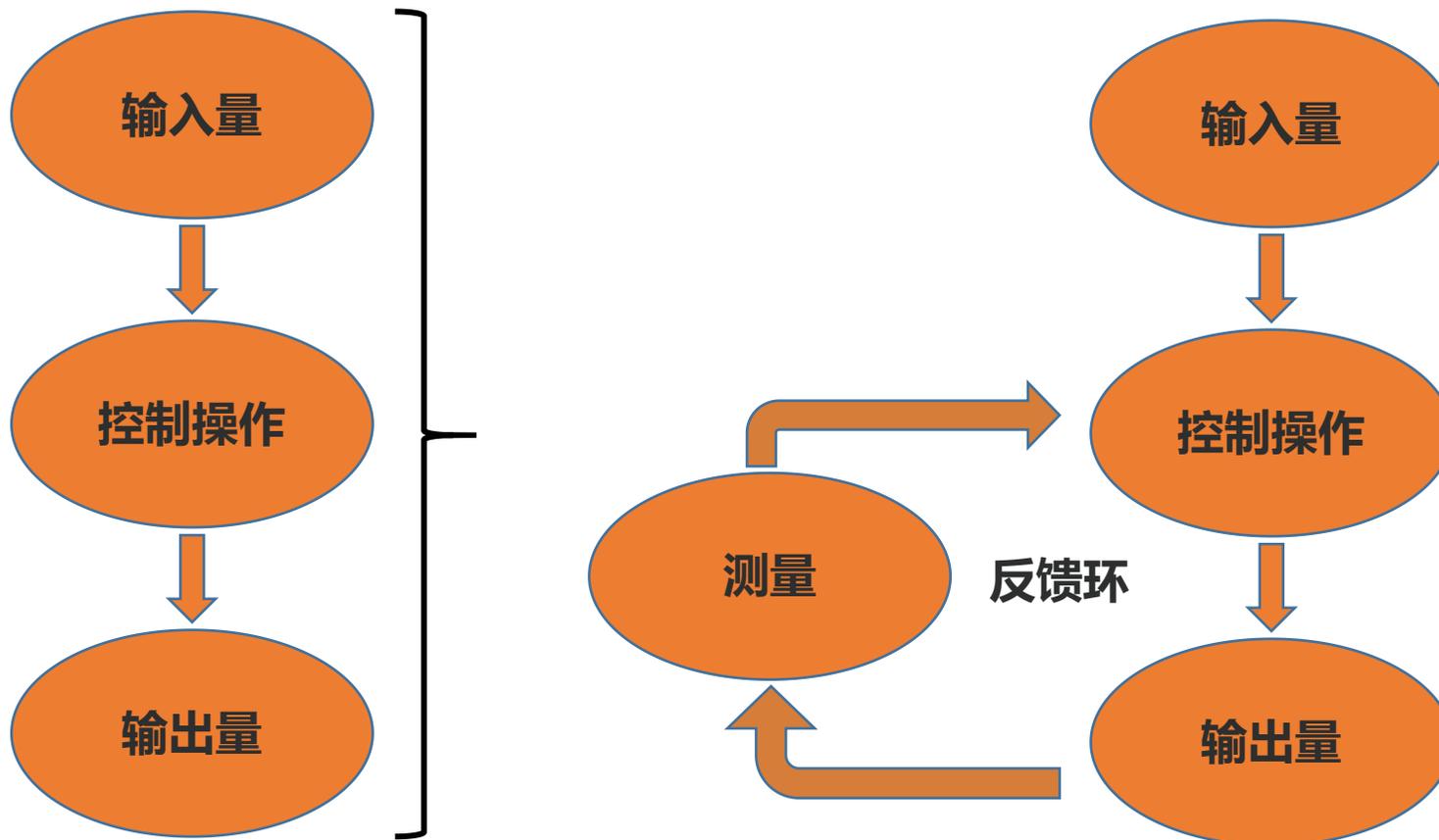
是所有机电一体化设备的核心。

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，像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。

由此可知，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。

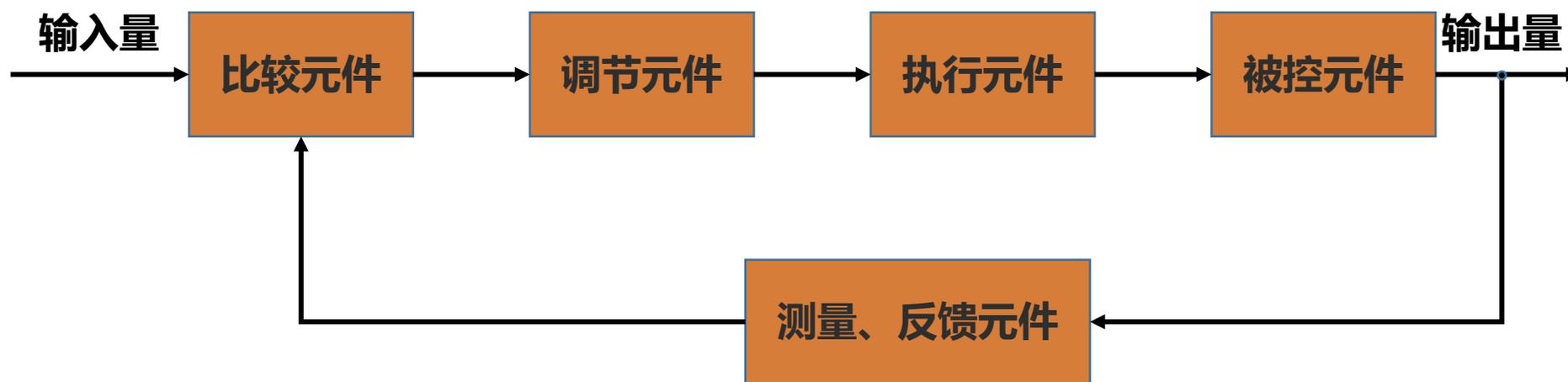


伺服概述



伺服系统组成

从自动控制理论的角度来分析，伺服控制系统一般包括控制器、被控对象、执行环节、检测环节、比较环节五部分，如下图所示。



伺服系统组成原理

伺服系统组成

组成部分	释义
比较环节	将输入的指令信号与系统的反馈信号进行比较，以获得输出与输入间的偏差信号的环节，通常由专门的电路或计算机来实现。
控制器	伺服控制系统里面的调节元件。通常是计算机或PID（比例-积分-微分）控制电路，其主要任务是对比较元件输出的偏差信号进行变换处理，以控制执行元件按要求动作。
执行环节	按控制信号的要求，将输入的各种形式的能量转化成机械能，驱动被控对象工作。
被控对象	指被控制的机构或装置，是直接完成系统目的的主体。一般包括传动装置、执行装置和负载。
检测环节	能够对输出进行测量并转换成比较环节所需要的量纲的装置，一般包括传感器和转换电路。

注意：

在实际的伺服控制系统中，上述每个环节在硬件特征上并不成立，可能几个环节在一个硬件中，如测速直流电机既是执行元件又是检测元件。



伺服系统分类

伺服系统可分为三类：

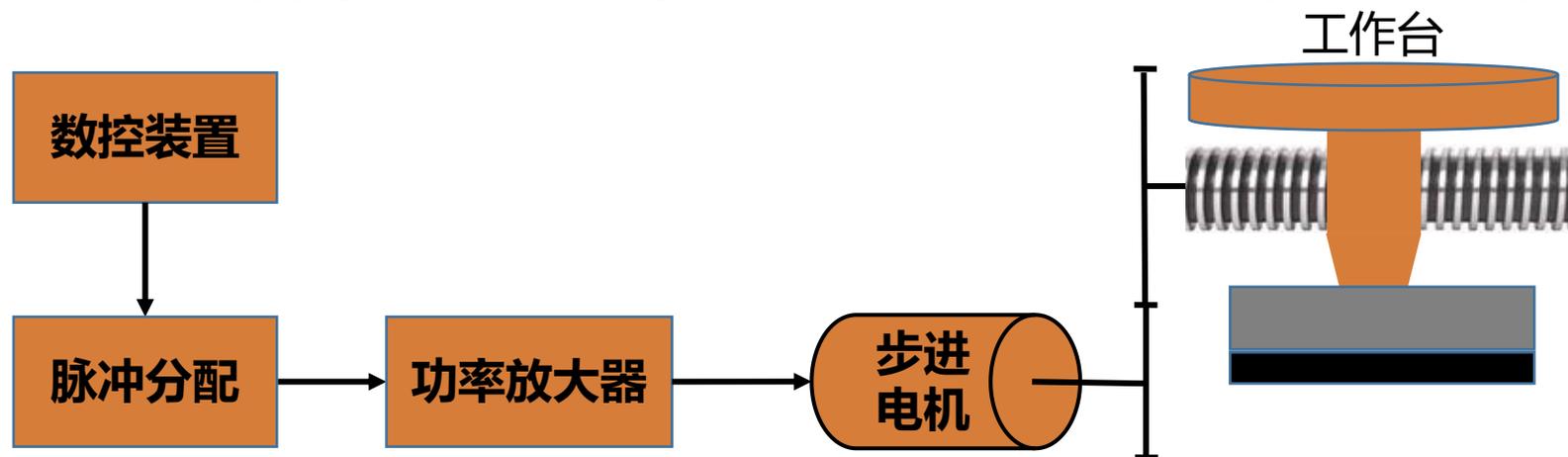
- ◆开环伺服控制系统
- ◆半闭环伺服控制系统
- ◆闭环伺服控制系统



伺服系统分类

开环伺服控制系统 (open loop)

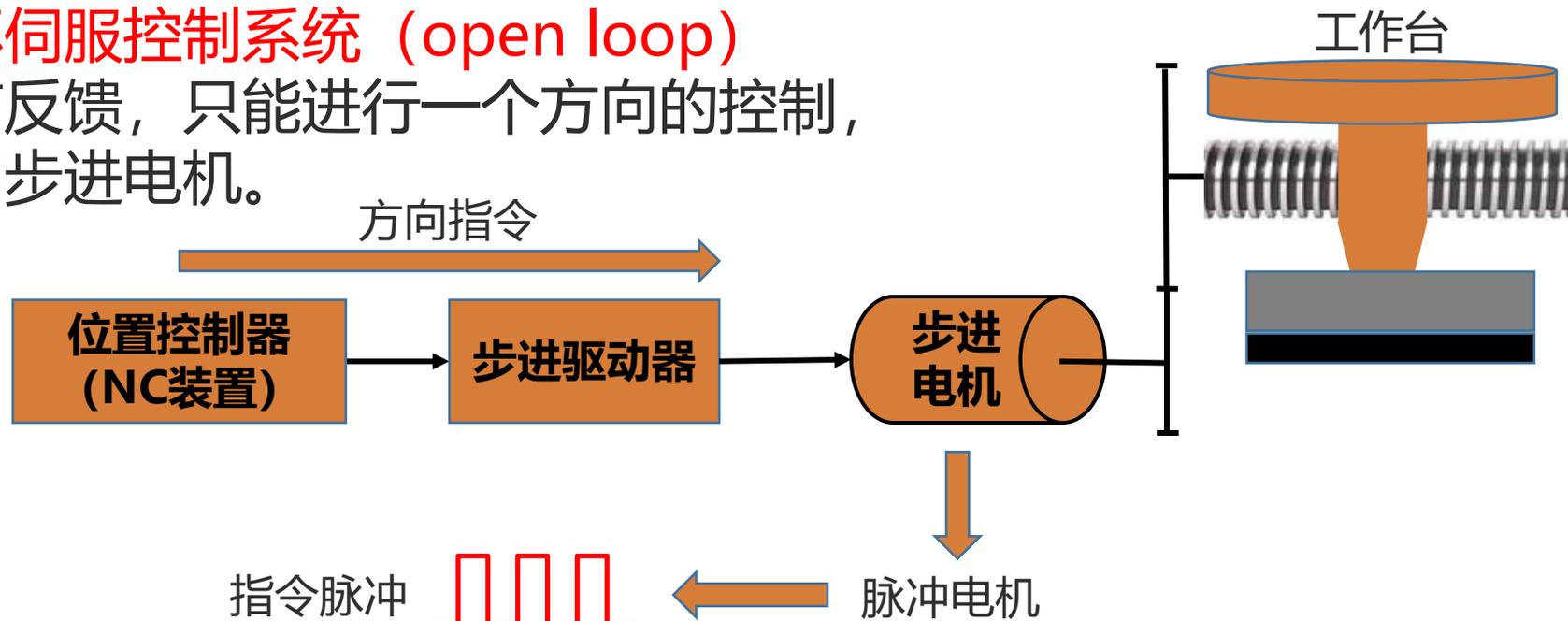
控制系统没有检测反馈装置则成为开环伺服控制系统。常用的执行元件是步进电机，通常以步进电机作为执行元件的开环系统是步进式伺服系统。驱动电路的主要任务是将指令脉冲转化为驱动执行元件所需的信号，开环伺服系统结构简单，但精度不是很高。如下图所示，为开环伺服系统结构简图。



数控装置发出脉冲指令，经过脉冲分配和功率放大后，驱动步进电机和传动件的累积误差。因此开环伺服系统的精度低，一般可达到0.01mm左右，且速度也有一定的限制。

伺服系统分类

开环伺服控制系统 (open loop)
没有反馈，只能进行一个方向的控制，
使用步进电机。



指令脉冲 

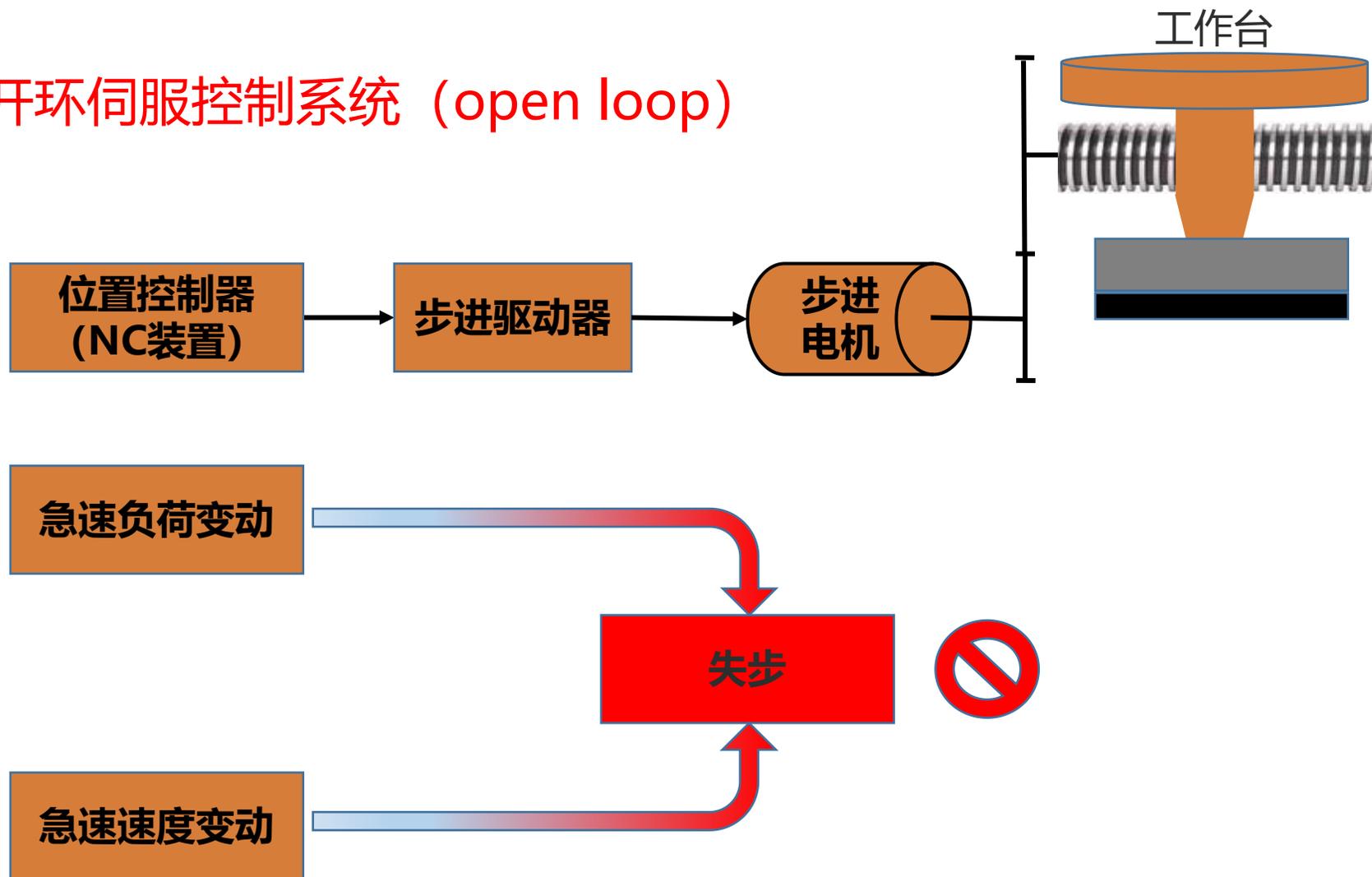
1脉冲 = 1步进角

例：步进角 0.36° 的情况
1脉冲 → 转动 0.36°
1000脉冲 → 转动 360° (1圈)

位置=脉冲数
速度=脉冲频率

伺服系统分类

开环伺服控制系统 (open loop)

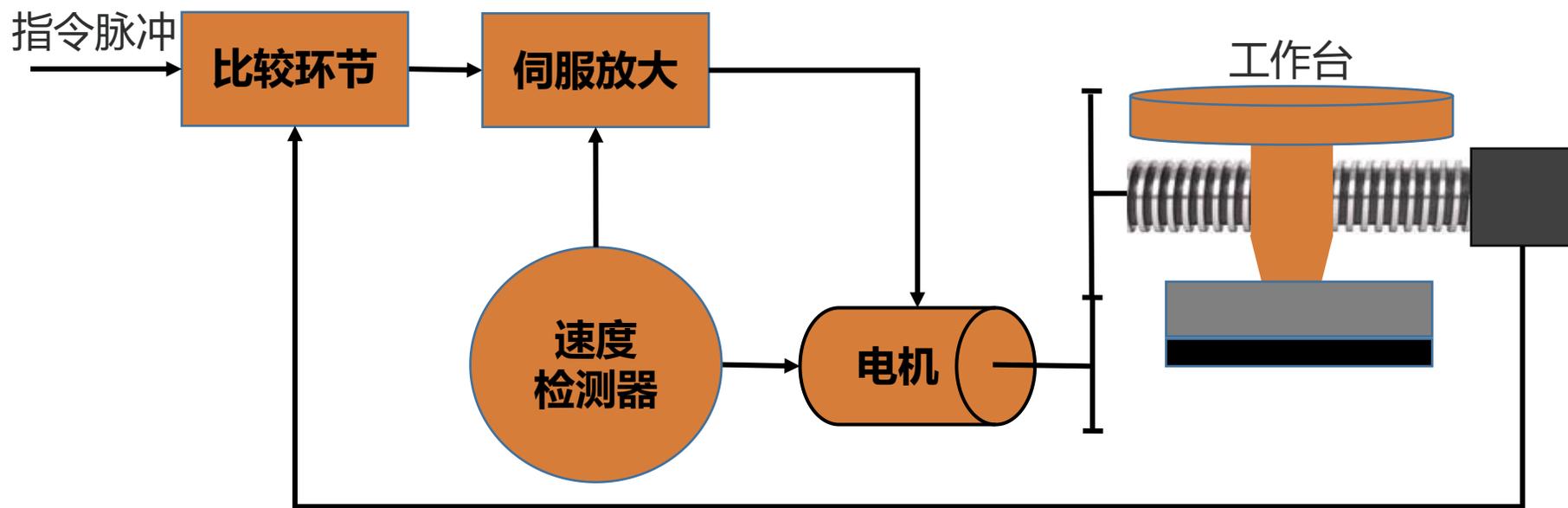


伺服系统分类

半闭环伺服控制系统 (Semi-closed loop)

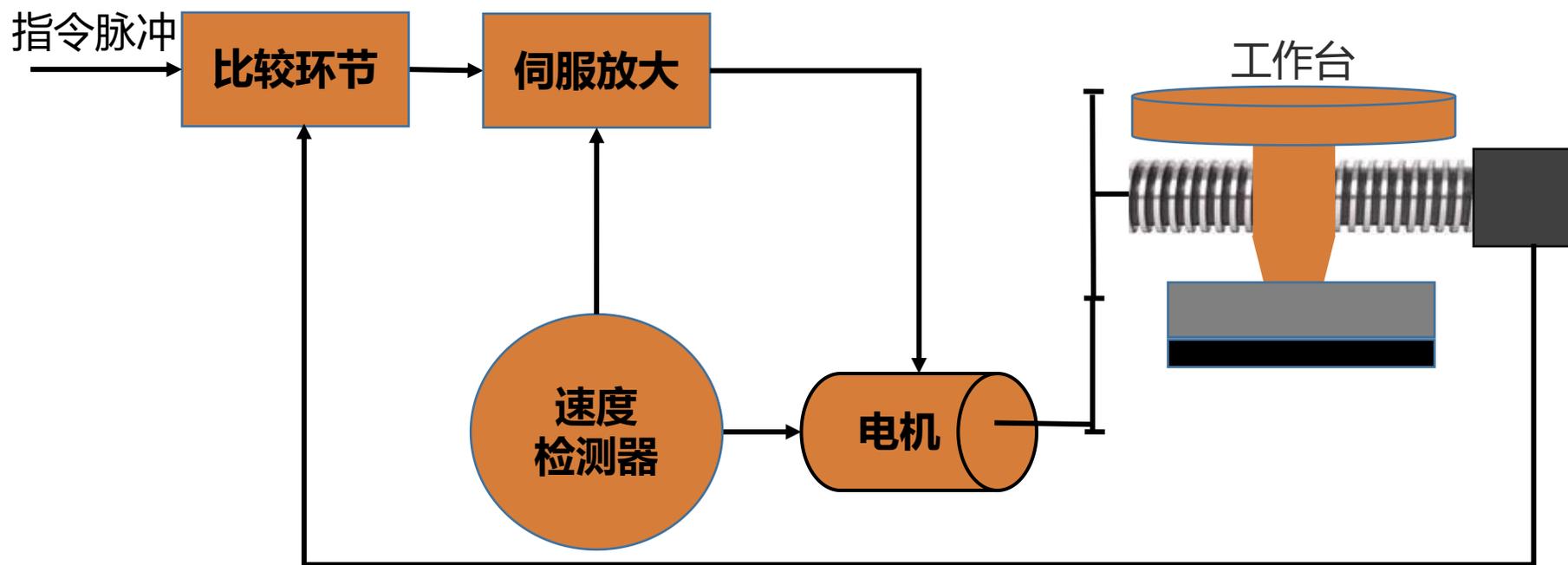
通常把检测元件安装在电机轴端而组成的伺服系统称为半闭环系统。它与全闭环伺服系统的区别在于其检测元件位于系统传动链的中间。

由于有部分传动链在系统闭环之外，故其定位精度比全闭环的稍差。但由于测量角位移比测量线位移容易，并可在传动链的任何转动部位进行角位移的测量和反馈,故结构比较简单，调整、维护也比较方便。如下图所示，为半闭环伺服系统结构简图。



伺服系统分类

半闭环伺服控制系统 (Semi-closed loop)



工作台的位置通过电机上的传感器或是安装在丝杆轴端的编码器间接获得。由于将惯性质量很大的工作台排除在闭环之外，这种系统调试较容易、稳定性好，具有较高的性价比，被广泛应用于各种机电一体化设备。

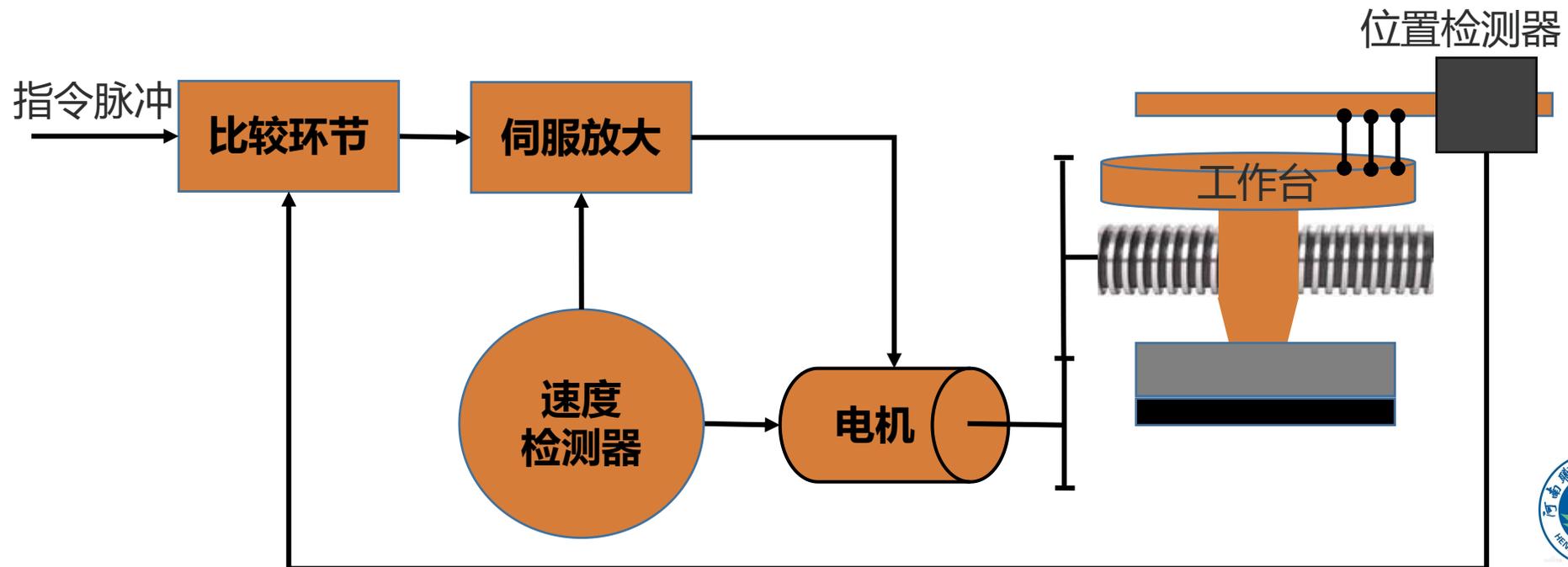
伺服系统分类

全闭环伺服控制系统 (Full-closed loop)

全闭环伺服系统主要由执行元件、检测元件、比较环节、驱动电路和被控对象五部分组成。

在闭环系统中，检测元件将被控对象移动部件的实际位置检测出来并转换成电信号反馈给比较环节。

常见的检测元件有旋转变压器、感应同步器、光栅、磁栅和编码器等。

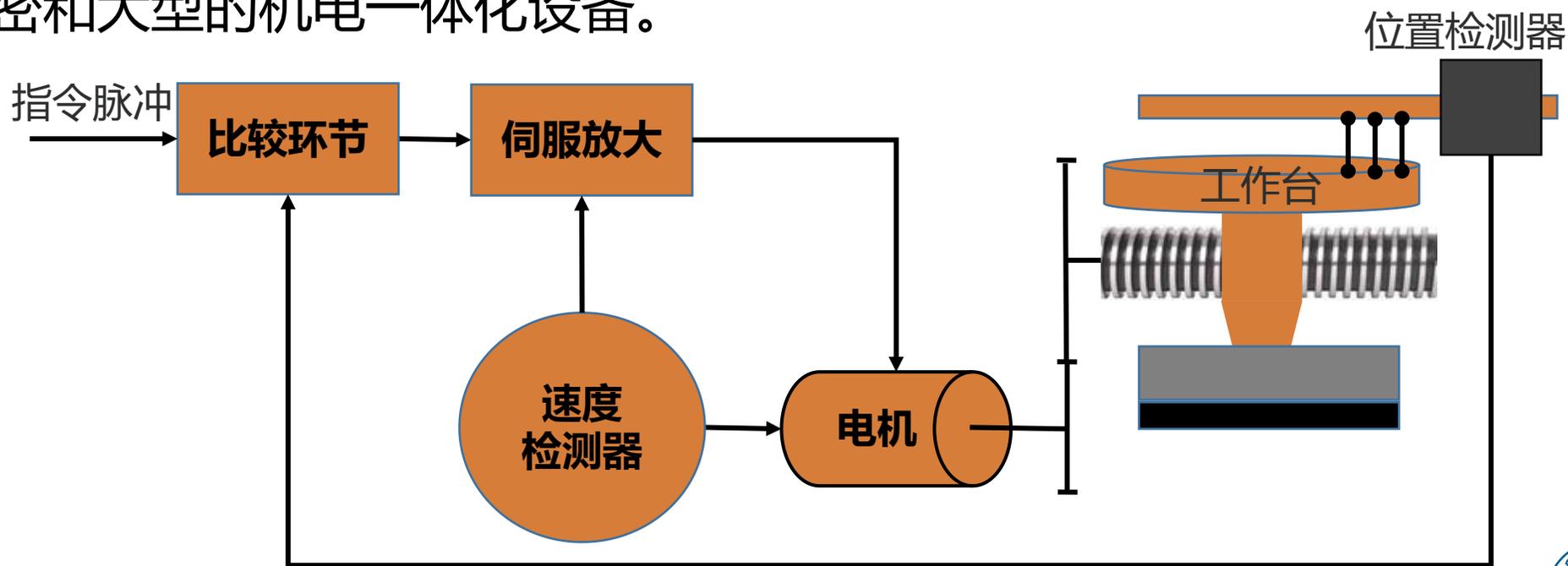


伺服系统分类

全闭环伺服控制系统 (Full-closed loop)

全闭环伺服系统将位置检测器件直接安装在工作台上，从而可获得工作台实际位置的精确信息。

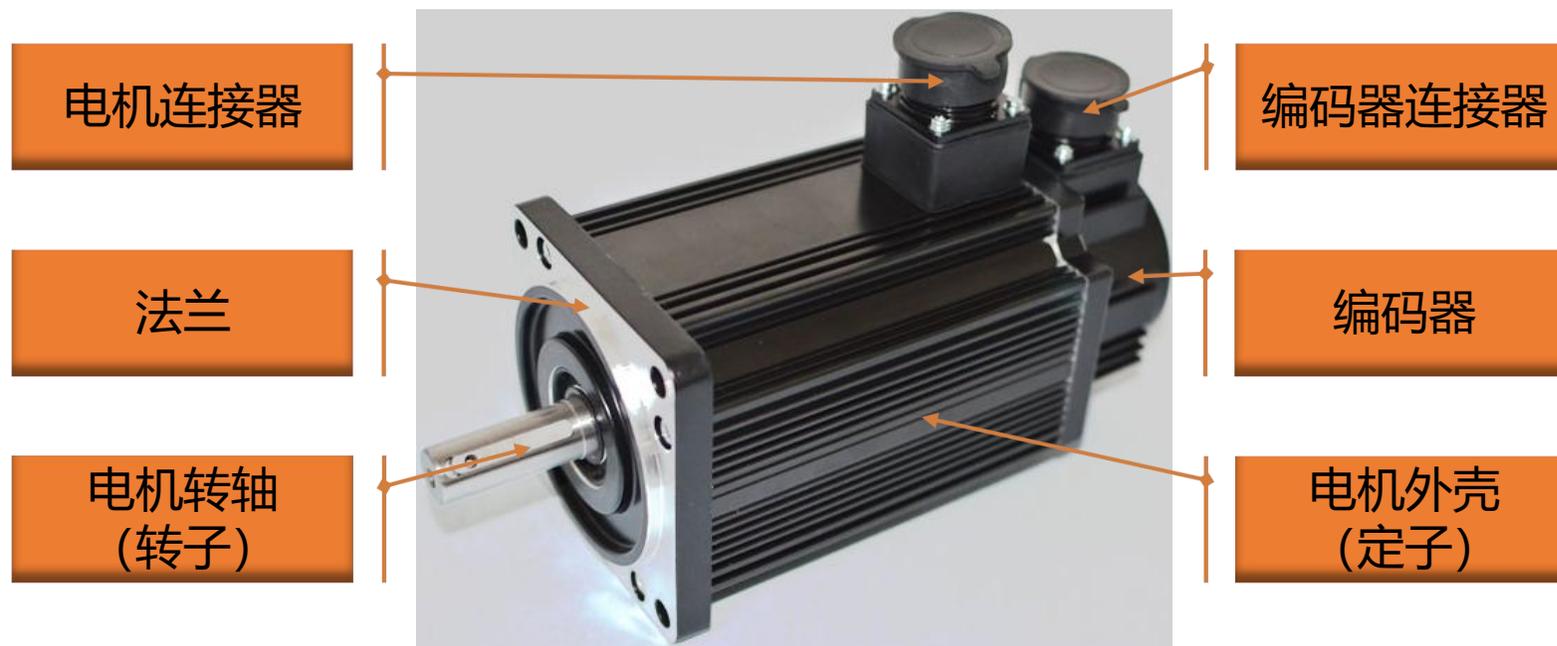
机械传动链的惯量、间隙、摩擦、刚性等非线性因素都会给伺服系统造成影响，从而使系统的控制和调试变得异常复杂，因此，全闭环伺服系统主要用于高精密和大型的机电一体化设备。



伺服电机概述

伺服电动机又叫执行电动机，或控制电动机。

在自动控制系统中，伺服电动机是一个执行元件，它的作用是把信号（控制电压或相位）变换成机械位移，也就是把接收到的电信号变为电机的一定转速或角位移。



伺服电机分类

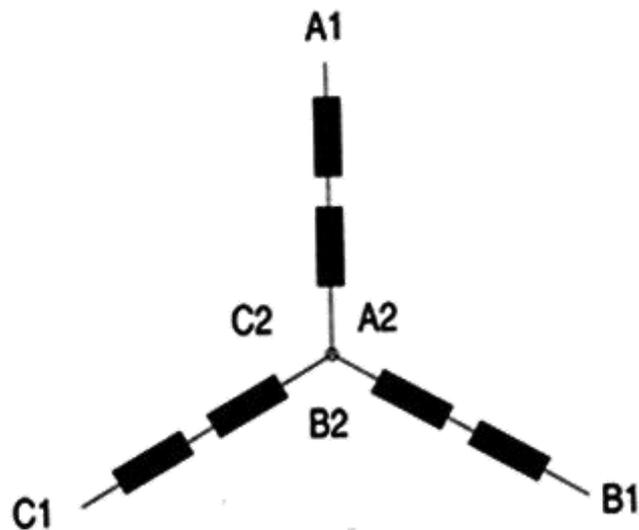
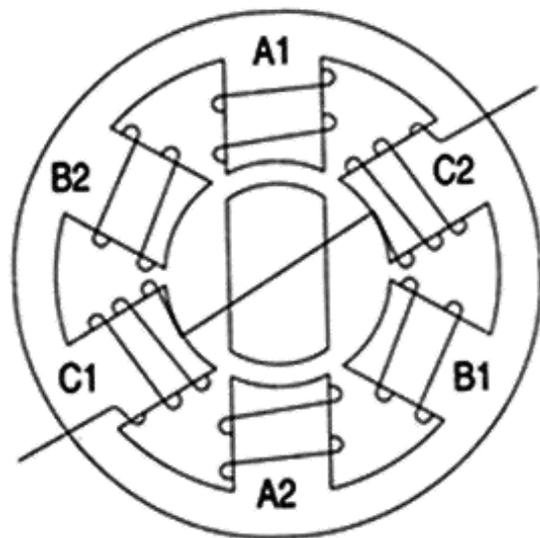
伺服电动机**直流伺服电动机**和**交流伺服电动机**。

在我们实际生产应用当中，使用的是交流伺服电机，其具有显著特点：

- ◆ 起动转矩大
- ◆ 运行范围广
- ◆ 无自转现象



交流伺服电机组成



交流伺服电机主要由定子、转子及测量转子位置的**位置传感器**构成。

定子和采用**三相对称绕组**结构，它们的轴线在空间彼此相差 120° 。

位置传感器一般为**光电编码器**或**旋转变压器**。



交流伺服电机原理

原理:

伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的U/V/W三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。

主要特点:

当信号电压为零时无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。

伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。

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:每个脉冲电机转动的角度为

$$360^{\circ}/121072=0.0027^{\circ}$$

注意:

伺服电机实际使用当中，必须了解电机的型号规格，确认好电机编码器的分辨率，才能选择合适的伺服控制器。



伺服控制器概述

伺服驱动器 (servo drives)

定义： 又称“伺服控制器”、“伺服放大器”，是用来控制伺服电机的一种控制器。其作用类似于变频器作用于普通交流电机，属于伺服系统的一部分，主要应用于高精度的定位系统。

作用：

- ◆按照定位指令装置输出的脉冲串，对工件进行定位控制。
- ◆伺服电机锁定：当偏差计数器的输出为零时，如果有外力使伺服电机转动，由编码器将反馈脉冲输入偏差计数器，偏差计数器发出速度指令，旋转修正电机使之停止在滞留脉冲为零的位置上，该停留于固定位置。
- ◆进行适合机械负荷的位置环路增益和速度环路增益调整。



伺服控制器概述

伺服控制器三种控制方式

1.转矩控制

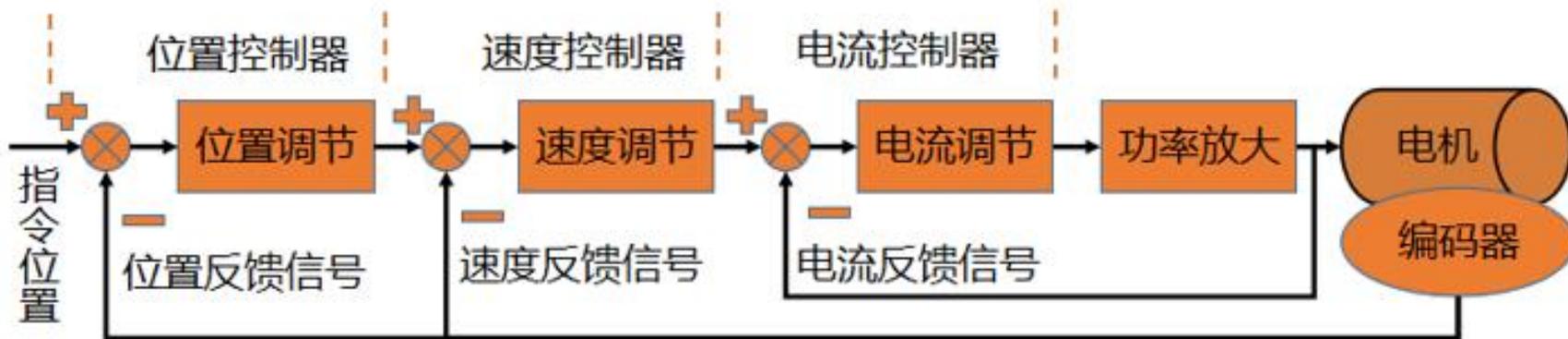
通过外部模拟量的输入或直接的地址的赋值来设定电机轴对外的输出转矩的大小，主要应用于需要严格控制转矩的场合。——**电流环控制**

2.速度控制

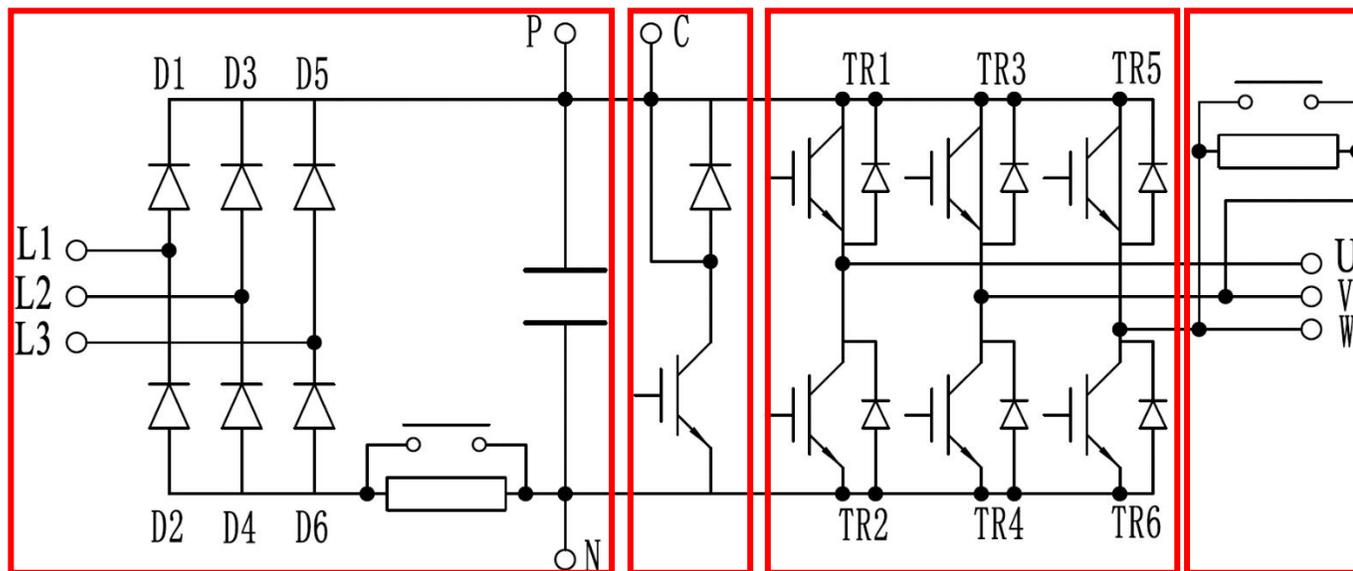
通过模拟量的输入或脉冲的频率对转动速度的控制。——**速度环控制**

3.位置控制

伺服中最常用的控制，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,所以一般应用于定位装置。——**三环控制**



伺服控制器原理



A 整流回路:

A

将交流转变成直流，可分为单相和三相整流桥。

平滑电容：对整流电源进行平滑，减少其脉动成分。

B 再生制动:

B

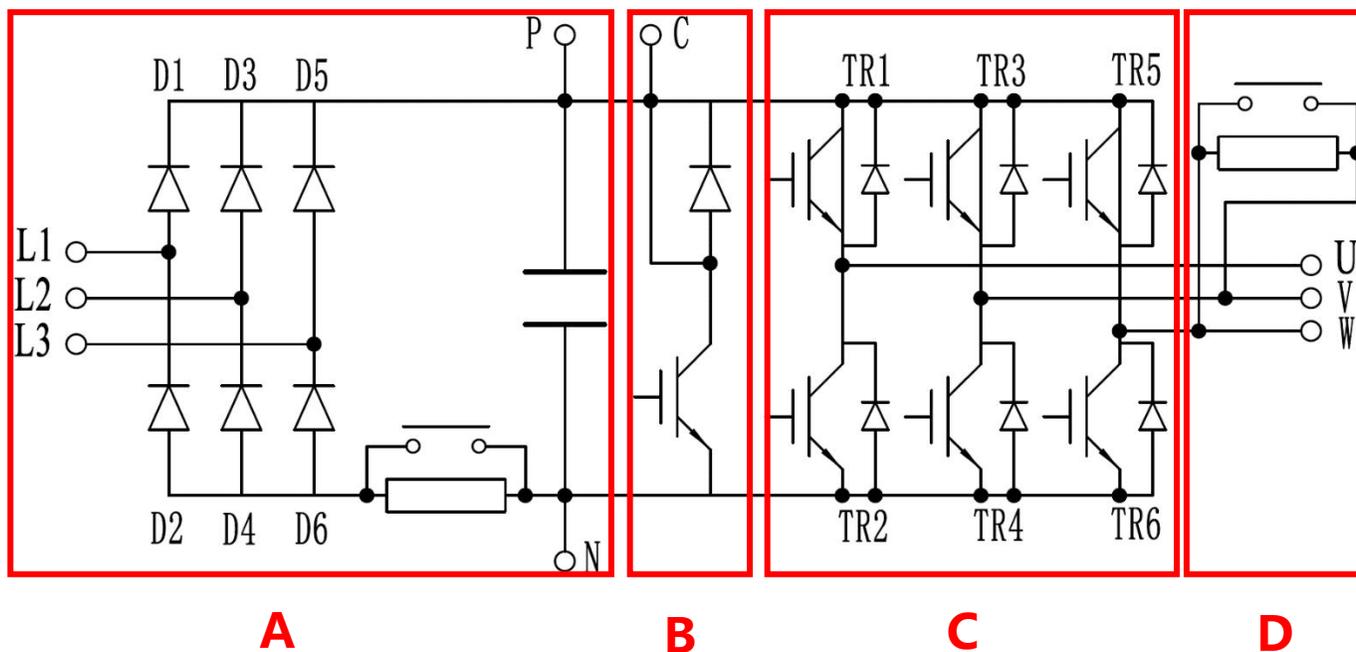
所谓再生制动就是指马达的实际转速高于指令速度时产生能量回馈的现象。

再生制动回路就是用来消耗这些回馈能源的装置。

C

D

伺服控制器原理



C 逆变回路:

生成适合马达转速的频率、适合负载转矩大小的电流，从而驱动马达。
逆变模块采用IGBT开关元件。

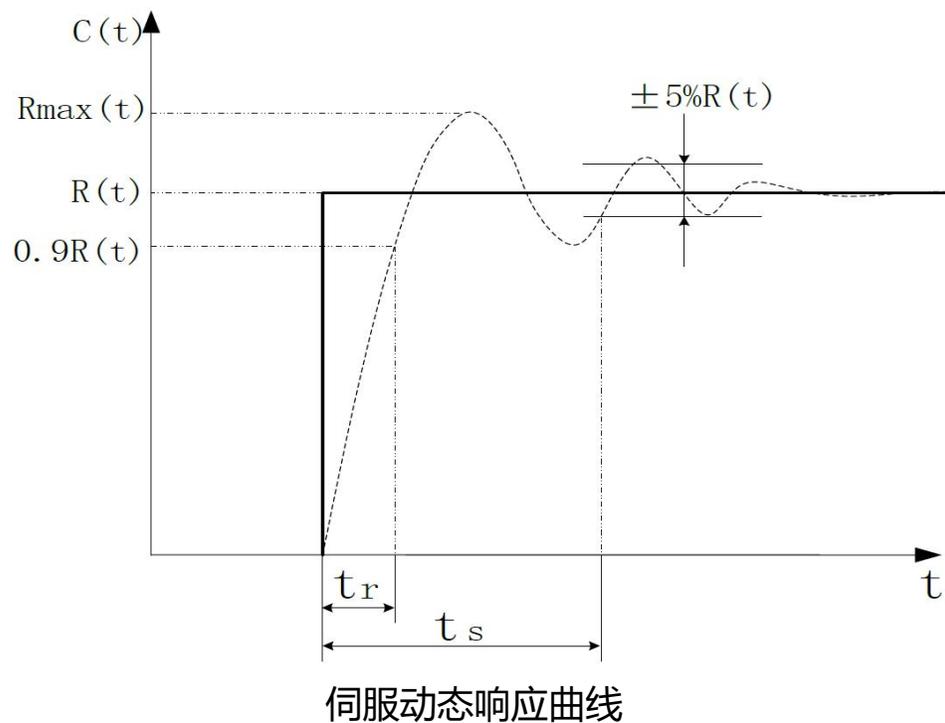
D 动态制动器:

具有在基极断路时，在伺服马达端子间加上适当的电阻器进行短路消耗旋转能，使之迅速停转的功能。

伺服性能指标

1. 伺服动态响应特性

指给定或负载变化时伺服系统的反应速度、动态控制误差和稳态控制误差。



上升时间 t_r :

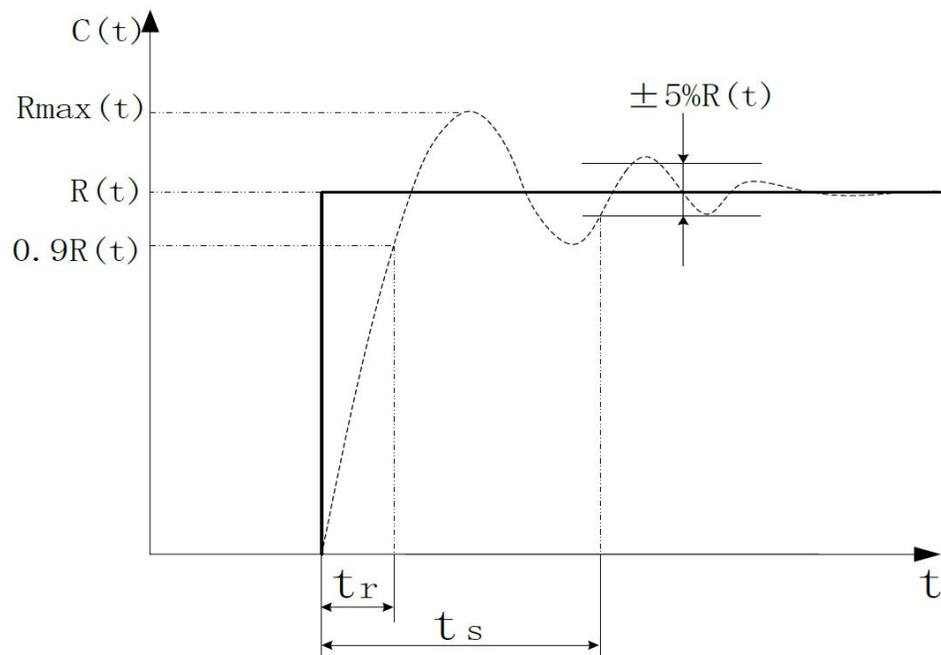
表示转速输出量从零起第一次上升到稳态值 $R(t)$ 的90%所经过的时间，它表示动态响应快速性。

调节时间 t_s :

在阶跃响应曲线稳态值 $R(t)$ 附近取稳态值的 $\pm 5\%$ 范围作为允许误差带，以响应曲线达到并不再超出该误差带的所需最小时间为调节时间，它用来衡量装置的整个调节过程快慢。



伺服性能指标



伺服动态响应曲线

稳态误差:

系统响应在转速进入稳态后，系统的期望输出稳态值与实际输出之差。

超调量 σ

表示转速输出量超出稳态值的最大转速差值 ($R_{max}(t)-R(t)$) 与稳态值 $R(t)$ 之比，它反映伺服装置相对稳定性，用百分数表示时，即

$$\sigma(\%) = \frac{R_{max}(t) - R(t)}{R(t)} \times 100\%$$

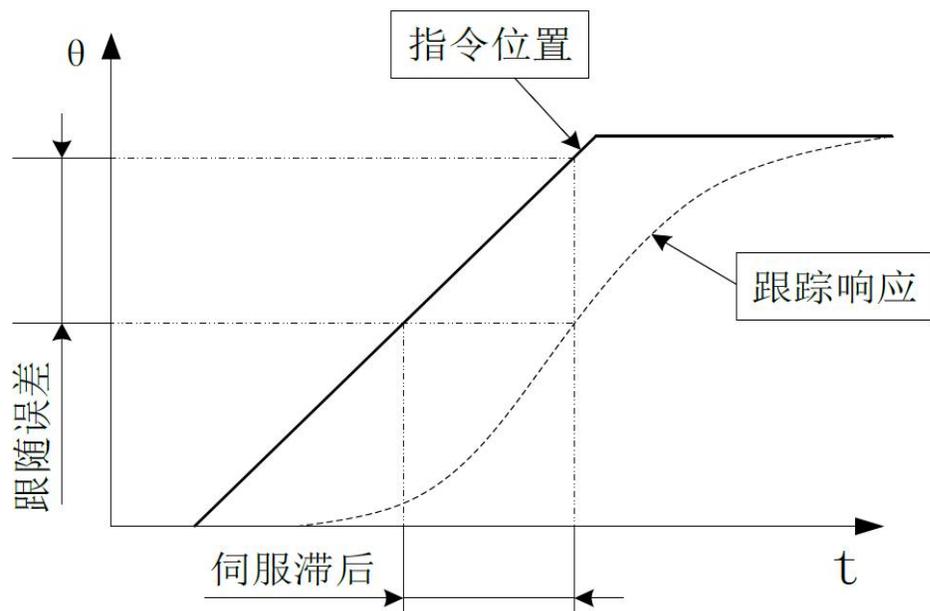
伺服性能指标

2. 伺服静态性能

在伺服控制系统中，最重要的是稳定性问题。

伺服的静态性能指标主要是定位精度，指的是系统过渡过程终了时实际状态与期望状态之间的偏差程度。

影响伺服稳态精度的原因有位置测量装置的误差，也有系统误差，与系统本身的结构和参数有关。



位置伺服静态曲线

跟随误差:

为指令信号要求工作台移动的位置和工作台实际移动位置之差，即

跟随误差 = 指令位置值 - 实际位置值

伺服刚性:

伺服系统抵抗负载干扰带来位置偏差的能力。



伺服驱动器电子齿轮

电子齿轮功能是相对机械变速齿轮而言的，在进行控制时，不用顾及机械的减速比和编码器的线数，通过伺服参数的调整，可以将与输入指令相当的电机移动量设为任意值的功能。

电子齿比由编码器解析度（分辨率C）和计算出的每转的脉冲数(N1) 决定。

电子齿比=编码器解析度/每转的脉冲数

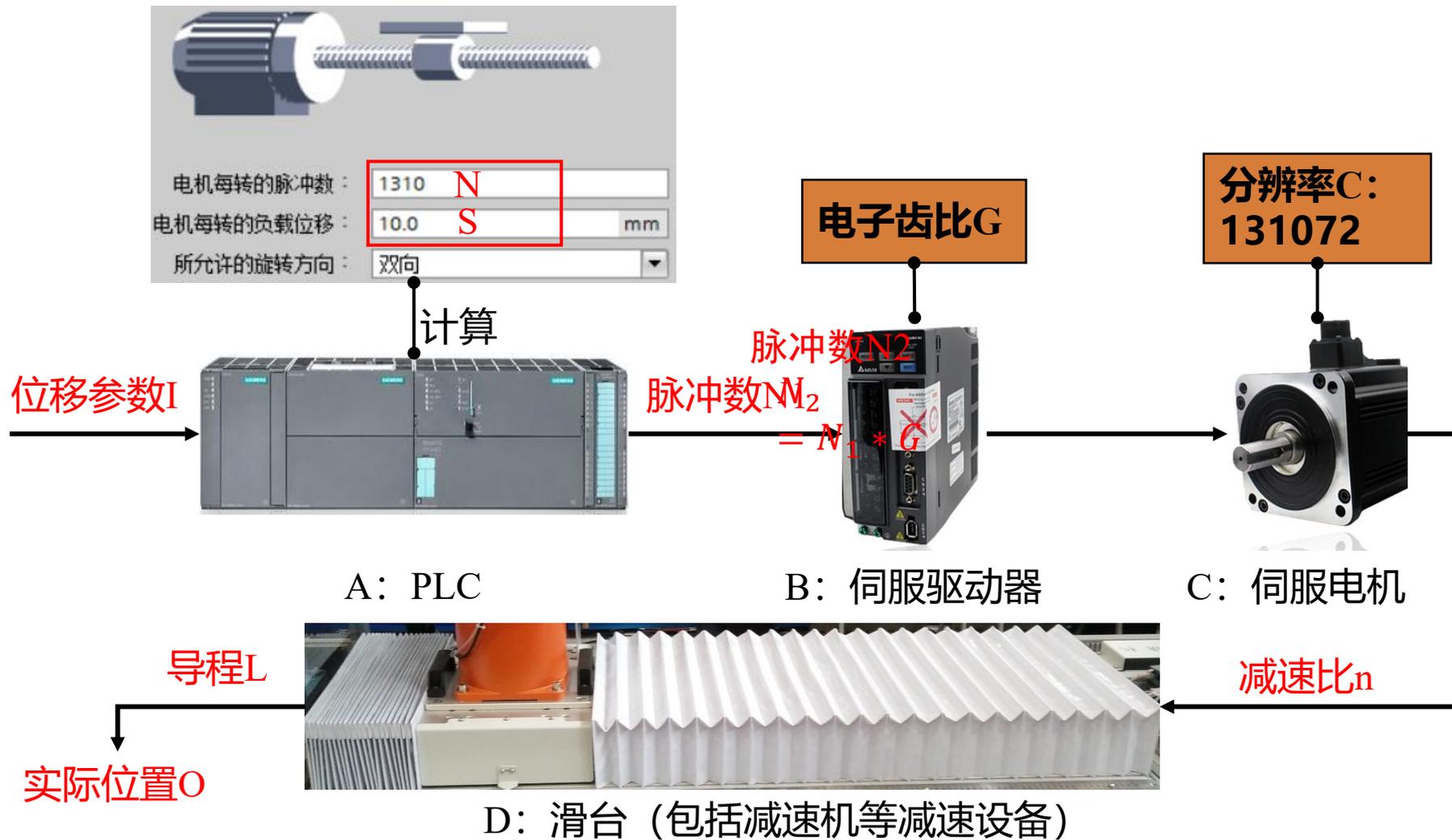
例题:

伺服电机编码器分辨率C为131072 pulses/rev（17线），伺服电机驱动器电子齿轮已设置为G(900:1)，减速机减速比 n_1 (3:1)，同步带减速比 n_2 (1.5:1)，滚珠丝杠导程L(5mm)。

求:在PLC轴工艺参数设置中电机每转的脉冲数N与负载位移S(mm)之间的关系?



伺服驱动器电子齿轮



伺服驱动器电子齿轮

分析:

PLC接收到位移参数I, 根据PLC内部的工艺参数换算出发至驱动器的脉冲数N1, 然后驱动器再将接收到的脉冲数乘以电子齿比G得到N2, 向电机发送N2的脉冲, 电机将接收到的脉冲数与自身分辨率C作商, 得出转动的圈数(角度), 从而再根据外部的机械参数得出实际的目标位置。公式如下:

$$O = \frac{I}{S} \cdot N \cdot G \cdot \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{n} \cdot L$$

解:

设指令输入位置参数为I(mm), 实际输出位移O(mm)。

实际控制的要求为 $I = O$, 则有:

$$S = \frac{N}{C} \cdot G \cdot \frac{1}{n_1} \cdot \frac{1}{n_2} \cdot L = \frac{N}{2^{17}} \cdot 900 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1.5} \cdot 5 = \frac{1000}{131072} N$$

即:

$$\frac{N}{S} = \frac{131072}{1000}$$

因此, 在轴工艺参数设置中, 电机脉冲数与负载位移(mm)在数值上满足131072/1000即可。



德厚技高

务实创新

本次课程到此结束

谢谢观看



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC