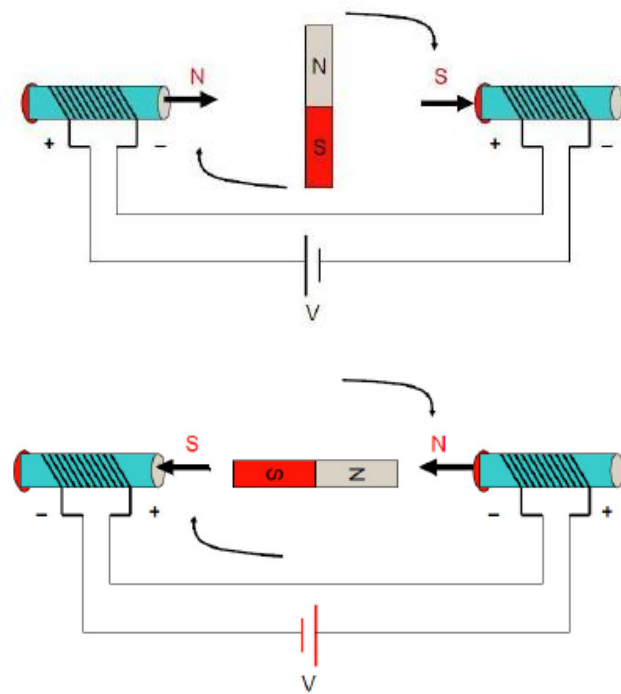
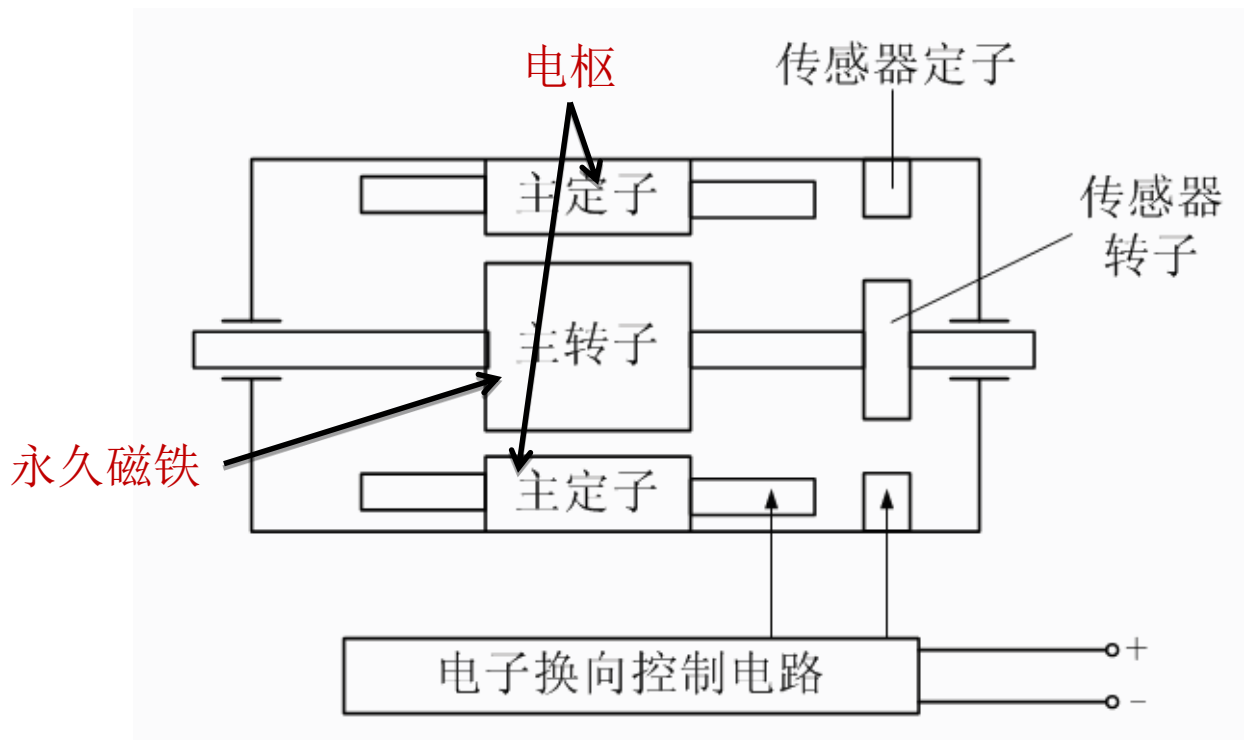

机器人导论-复习课



朱秋国
控制科学与工程学院

2024年4月17日

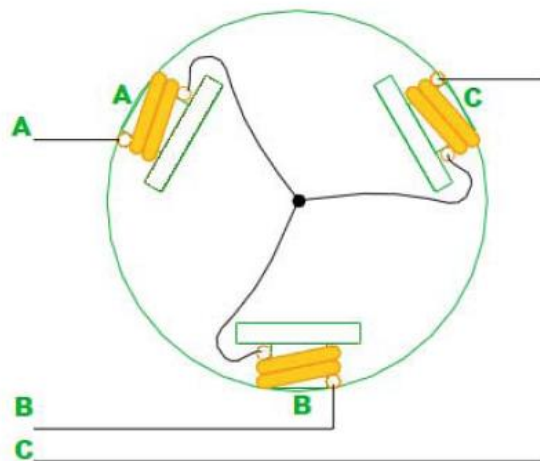
无刷直流电机结构



- 1、无刷直流电机由**电机本体**、**位置传感器**、**电子换向电路**三大部分组成。
- 2、电机主体由主定子、主转子组成。**主转子是永久磁铁**，**主定子是电枢**。当定子绕组通直流电时，与转子作用产生电磁转矩，定子电流必须根据转子的位置变化适时换向，才能获得单一方向的电磁转矩，使电机转动。

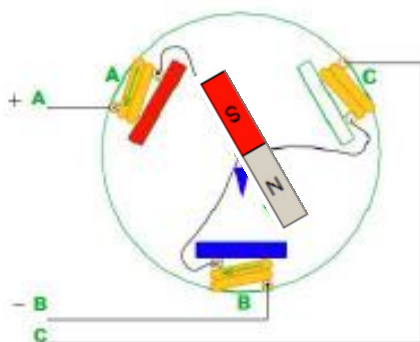
无刷直流电机结构

一般而言，无刷电机的绕组有星形联结方式和三角联结方式，而三相星形联结（Y型）的二二导通方式最为常见。我们以三相3绕组2极（1对极）为例：

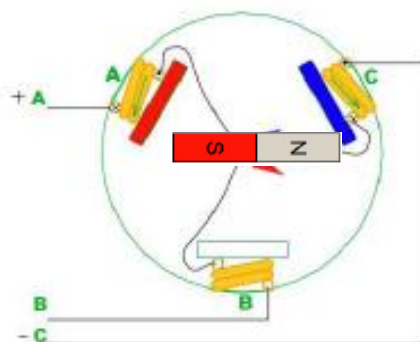


整个电机就引出三根线A, B, C。当它们之间两两通电时，有6种情况，分别是AB, AC, BC, BA, CA, CB。

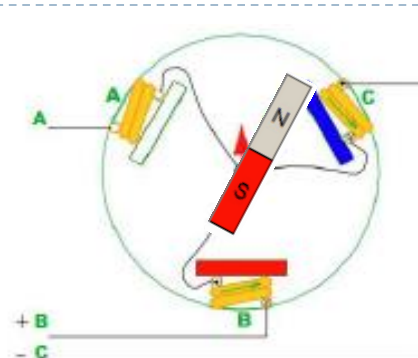
红色和蓝色分别表示磁感应强度的方向



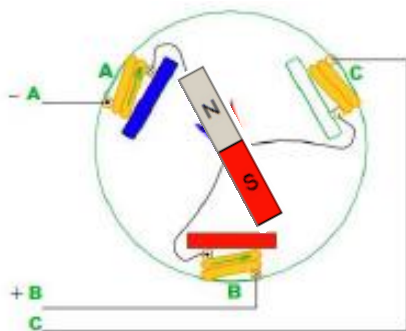
(a) AB 相通电情形



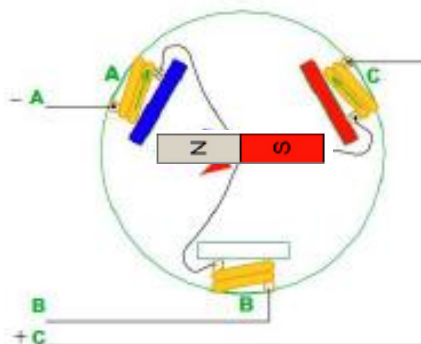
(b) AC 相通电情形



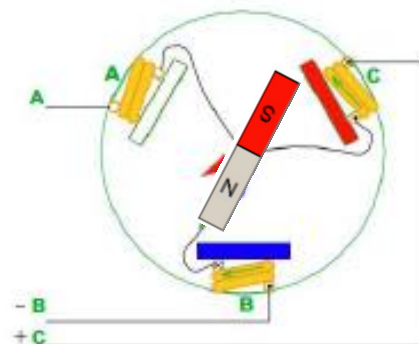
(c) BC 相通电情形



(d) BA 相通电情形



(e) CA 相通电情形



(f) CB 相通电情形

注意：换相只与转子位置有关，与速度无关

三个最重要的物理量

电枢电动势 E_a 、电磁转矩 T 和电磁功率 P

$$E_a = K_e n$$

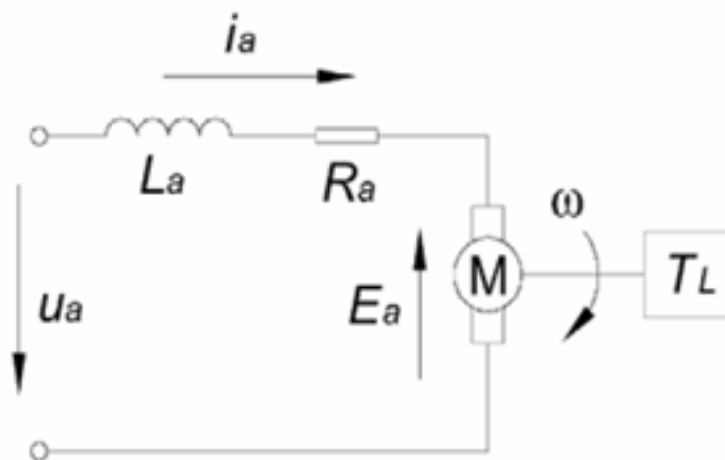
$$T = K_m I$$

$$P = E_a \cdot I = T \cdot \omega$$

K_e 是速度常数

K_m 是力矩常数

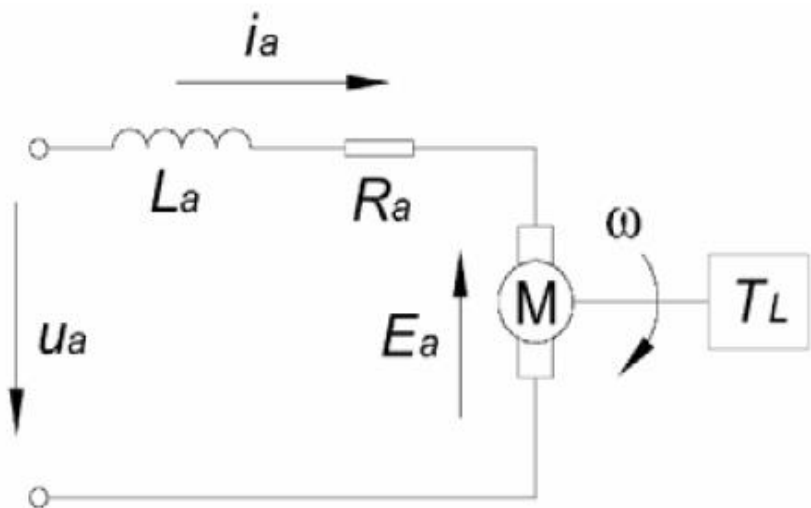
n 是电机转速， I 是电枢电流， ω 是角速度



- 转速与感应电动势成正比
- 力矩与电流大小成正比

转矩和转速的关系

直流伺服电机电枢等效电路



$$U = E_a + I \cdot R_a = K_e \cdot n + I \cdot R_a$$

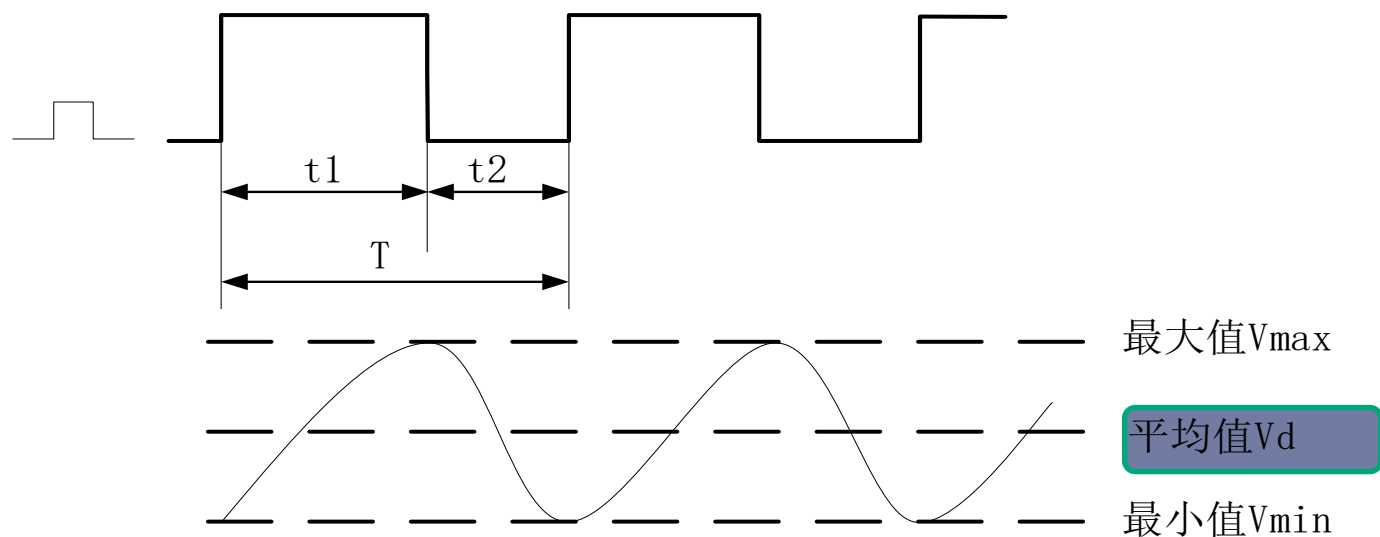
$$n = \frac{U - I \cdot R_a}{K_e}$$

简单起见，可以忽略电枢回路中的调节电阻。

检查电机是否烧坏，可以通过测量电机绕组的值是否正常来判断。

直流电机PWM调速

用改变电机电枢电压接通与断开的的时间占空比来控制电机转速的方法，称为**脉冲宽度调制(PWM)**。



电机PWM调速原理

在脉冲的作用下，当电机通电时，速度增加；电机断电时，速度逐渐减少。只要按一定规律改变通、断电时间，即可让电机转速得到控制。

设电机永远接通电源时，其转速最大为 V_{\max} ，设占空比为 $D=t_1/T$ ，则电机的平均速度为

$$V_d = V_{\max} \cdot D$$

V_d : 电机的平均速度

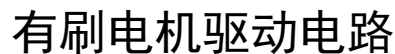
V_{\max} : 电机全通时的最大速度

$D = t_1/T$: 占空比

得到结论：

- 1、电机的转速与电机电枢电压成比例，而电机电枢电压与控制波形的占空比成正比；
- 2、电机的速度与占空比成比例，占空比越大，电动机转得越快，当占空比等于1，电机转速最大。

▶ 最常用的一种驱动方式



- A为正，B为负的时候，电机进行正转；
- A为负，B为正的时候，电机进行反转；
- A、B都为正的时候，电机停止转动；

驱动芯片 L298



Inputs		Function
$V_{en} = H$	$C = H ; D = L$	Forward
	$C = L ; D = H$	Reverse
	$C = D$	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	$C = X ; D = X$	Free Running Motor Stop

L = Low

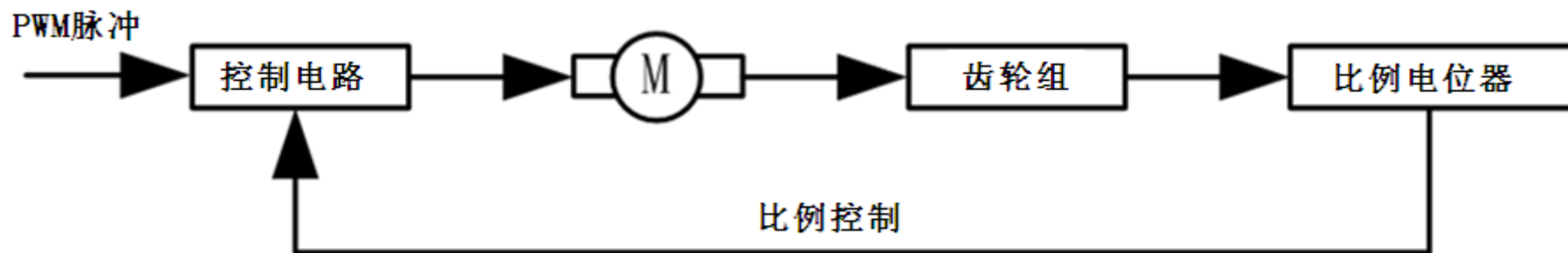
H = High

X = Don't care

L298芯片是一种高压、大电流双H桥式驱动器。L298N内部同样包含4通道逻辑驱动电路，可以方便的**驱动两个直流电机**。

- 1、L298N可接受标准TTL逻辑电平信号（4.5~7 V电压），**输出电流可达2.5 A**，可驱动电感性负载。
- 2、1脚和15脚下管的发射极分别单独引出以便接入电流采样电阻，形成**电流传感信号**。
- 3、L298可驱动2个电动机，OUT1，OUT2和OUT3，OUT4之间可分别接电机。

模拟舵机



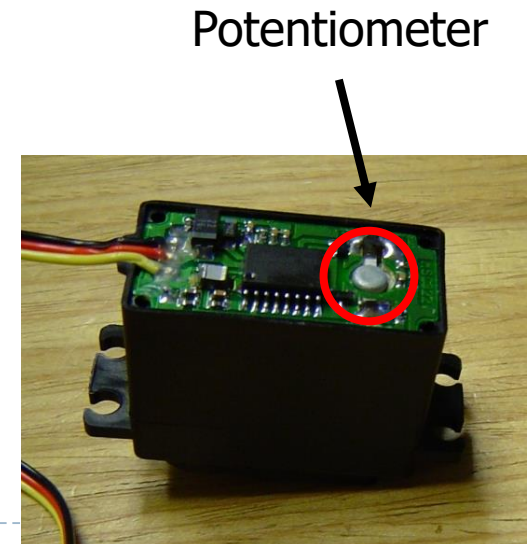
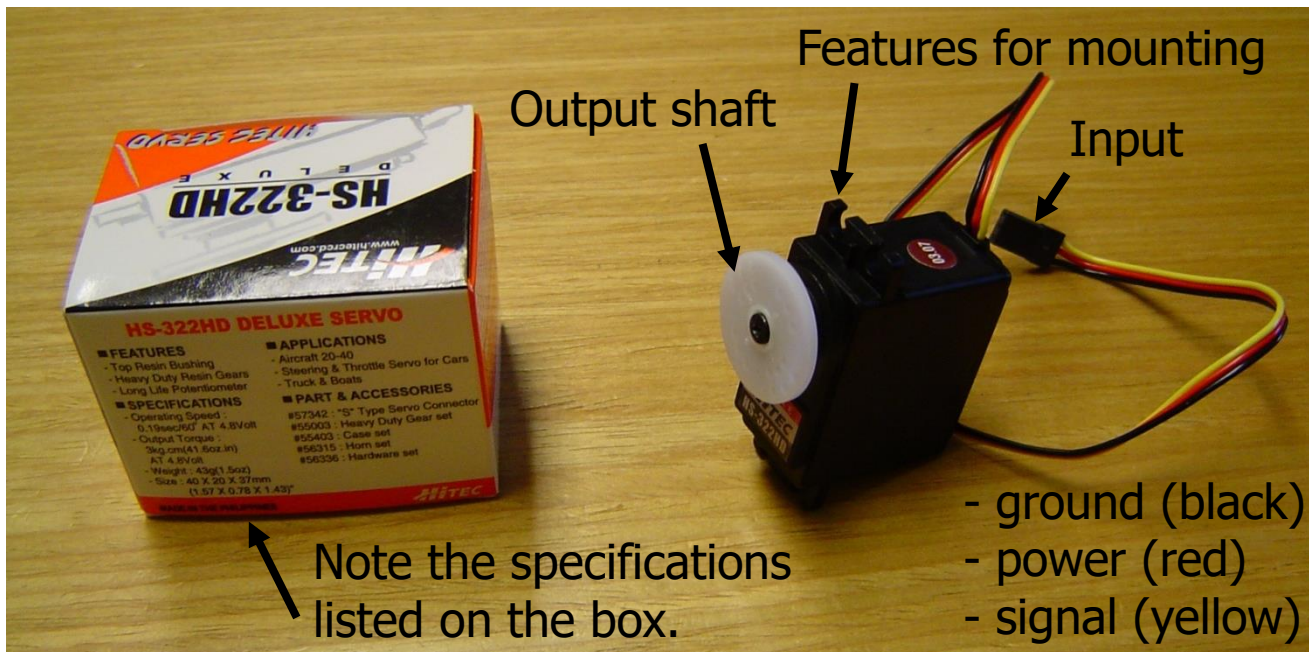
舵机系统原理图

根据上图，请问舵机采用的是什么控制？

模拟舵机

减速齿轮组由电机驱动，其输出带动一个线性的比例电位器作为位置检测，该电位器把转角坐标转换为比例电压反馈给控制线路板，控制线路板将其与输入的控制脉冲信号比较，产生纠正脉冲，并驱动电机正/反转。

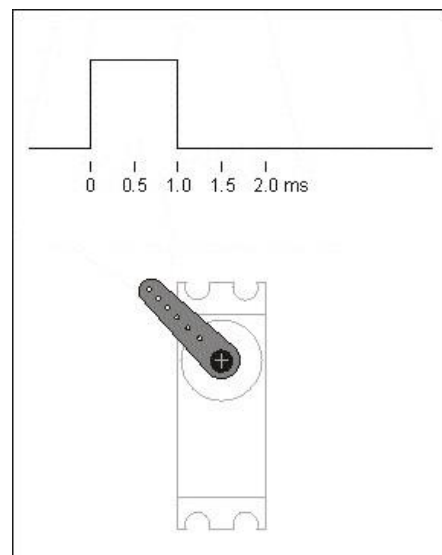
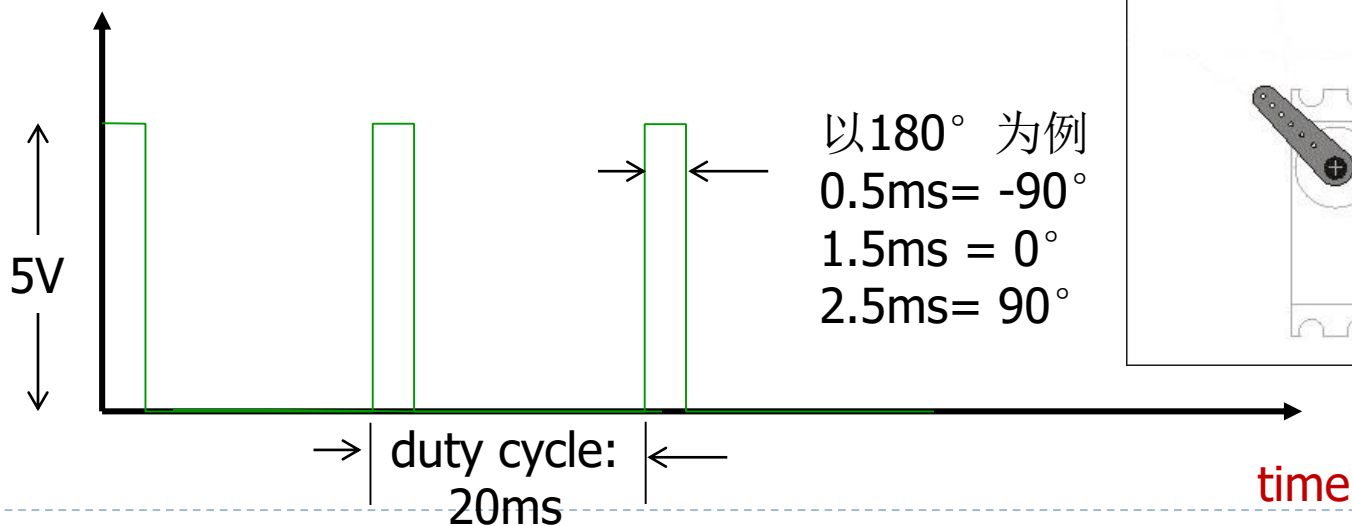
标准舵机有三条控制线，分别为**电源线**、**地线**和**控制线**。控制线连接到控制芯片上。



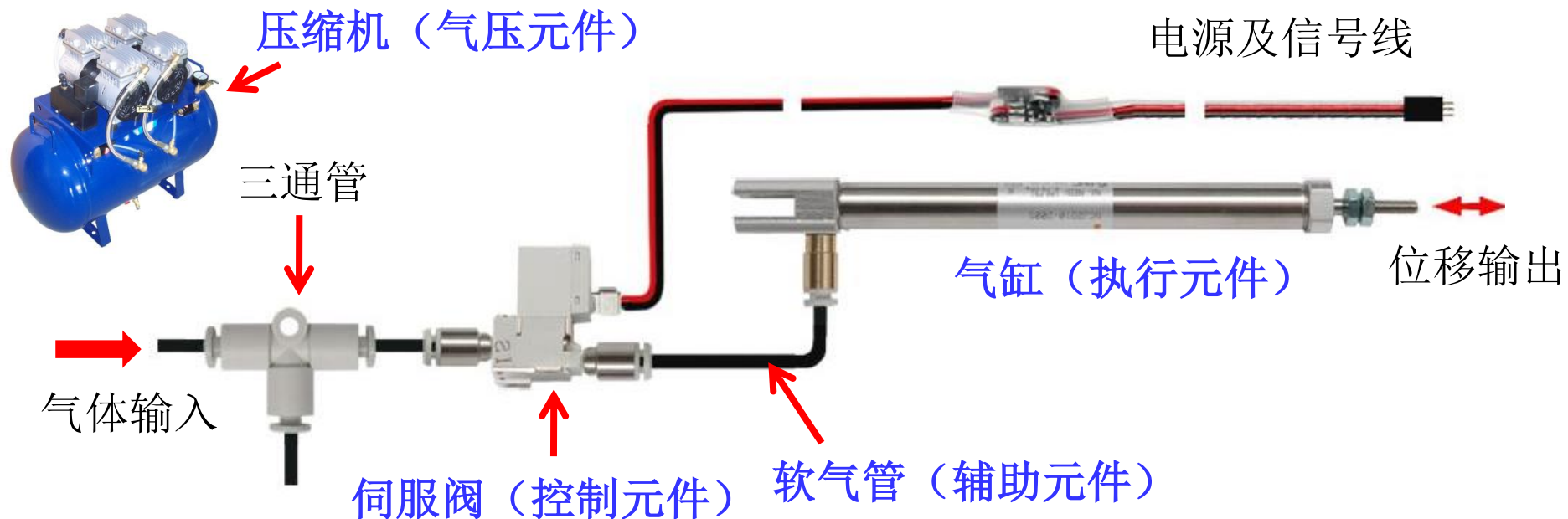
舵机位置控制

- ← 舵机转动角度由**PWM**（脉冲宽度调制）信号的占空比来实现；
- ← **PWM**周期为**20ms**，脉宽分布在**0.5~2.5ms**之间；
- ← 不同脉宽对应不同转角位置。

黄色信号线的电压值



机器人用简易气动设计

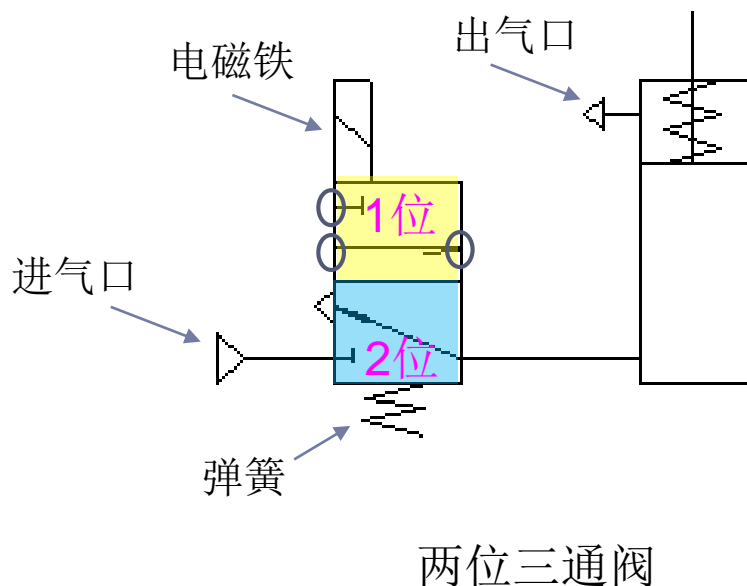


一个简易的气动系统由：气压元件、控制元件、执行元件和辅助元件组成。使用气动要注意安全。

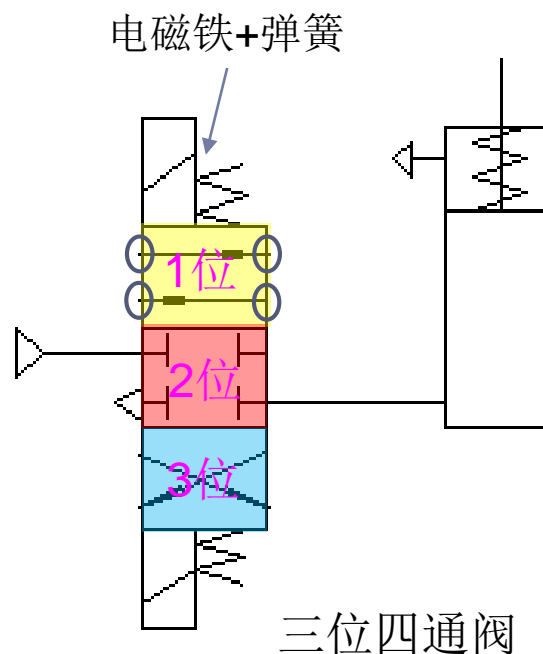
方向控制回路

► 单作用气缸换向回路

► 掌握几位几通的概念



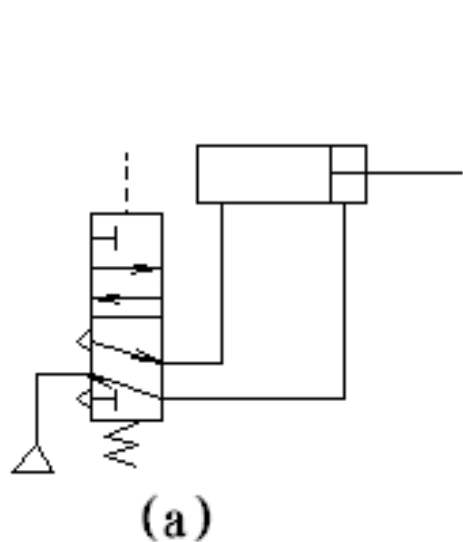
(a)



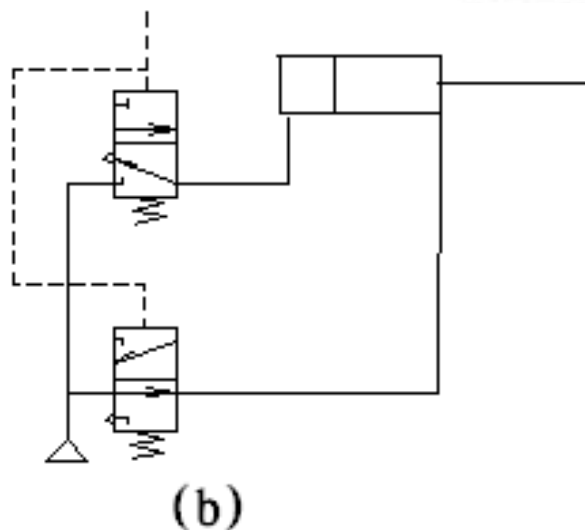
(b)

方向控制回路

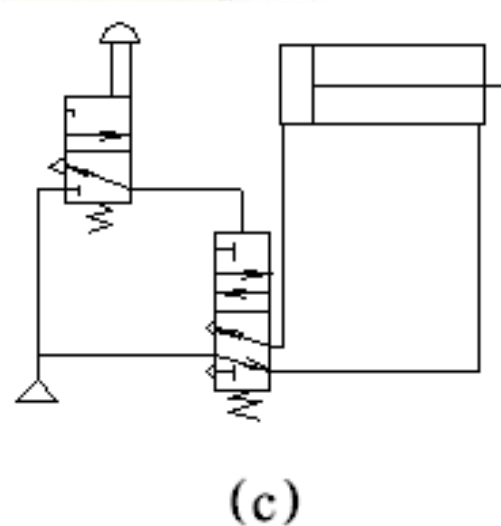
► 双作用气缸换向回路



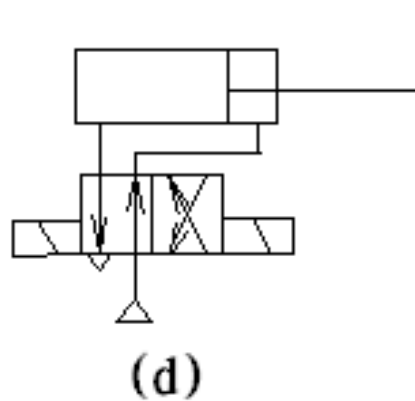
(a)



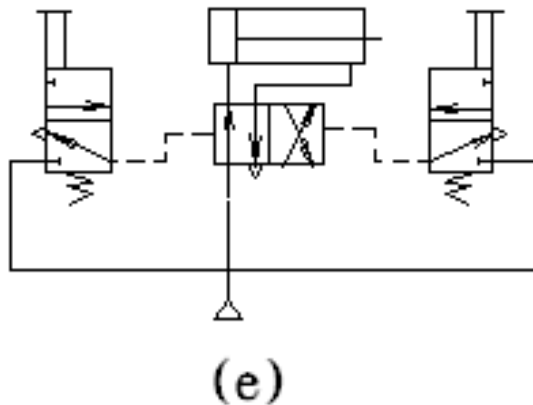
(b)



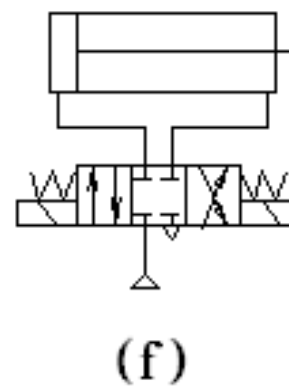
(c)



(d)



(e)



(f)

齿轮基本参数的计算公式

分度圆与模数

模数 m : 人为地把 p_i / π 规定为一些简单的有理数，该比值称为模数，用 m 表示。模数越大，齿厚就越大，齿轮的承载能力就越高。

分度圆 d : 是齿轮上一个人为地约定的轮齿计算的基准圆，规定分度圆上的模数和压力角为标准值。分度圆又称节圆。

国标压力角的标准值为 20°



✓分度圆直径为 $d = mz$

基圆直径为 $d_b = d \cos \alpha = mz \cos \alpha$

基圆上的齿距 $P_b = \pi d_b / z = \pi m \cos \alpha$

齿顶圆直径 $d_a = d + 2h_a$

齿根圆直径 $d_f = d - 2h_f$

法节 $P_n = P_b = \pi d_b / z = \pi m \cos \alpha$

一般情况下：

$$h_a^* = 1, \quad c^* = 0.25$$

$$h_f^* = (h_a^* + c^*)$$

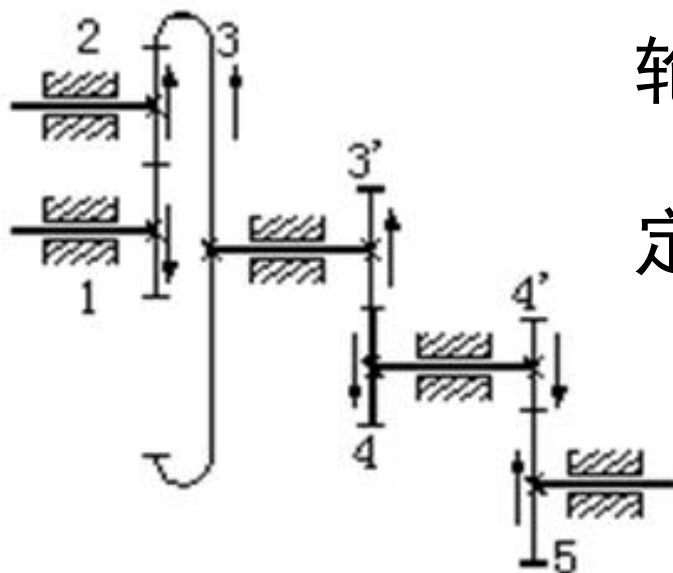
$$h_a = h_a^* \times m$$

$$h_f = h_f^* \times m$$

欲使两齿轮正确啮合，两轮的模数必须相等

减速比计算

定轴轮系的传动比 $\left\{ \begin{array}{l} 1、\text{传动比} \\ 2、\text{转向关系} \end{array} \right.$

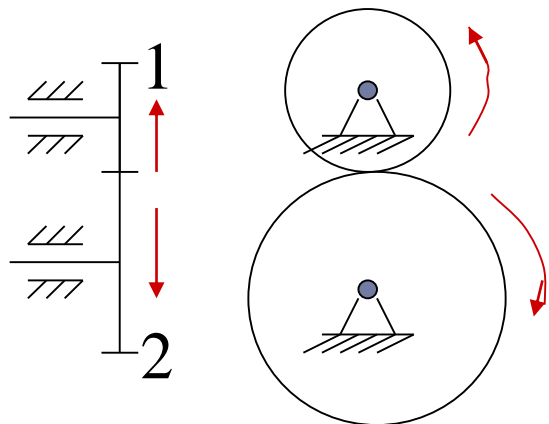


轮系的传动比: $i_{\text{首末}} = \frac{\omega_{\text{首}}}{\omega_{\text{末}}} = \frac{z_{\text{首}}}{z_{\text{末}}}$

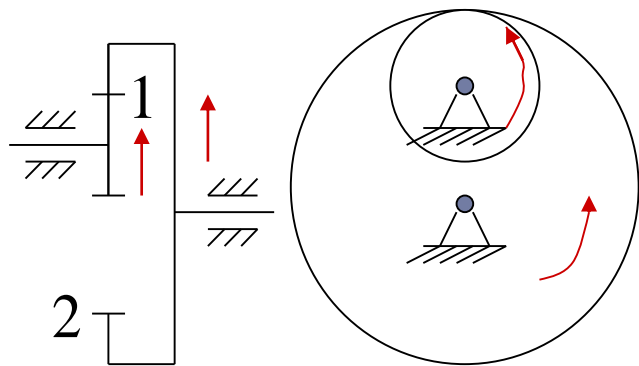
定轴轮系传动比:

$$i_{15} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega_2}{\omega_3} \frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{\omega_4}{\omega_5} = \frac{\omega_1}{\omega_5}$$
$$= \frac{z_2}{z_1} \frac{z_3}{z_2} \frac{z_4}{z_3} \frac{z_5}{z_4} = \frac{z_5}{z_1}$$

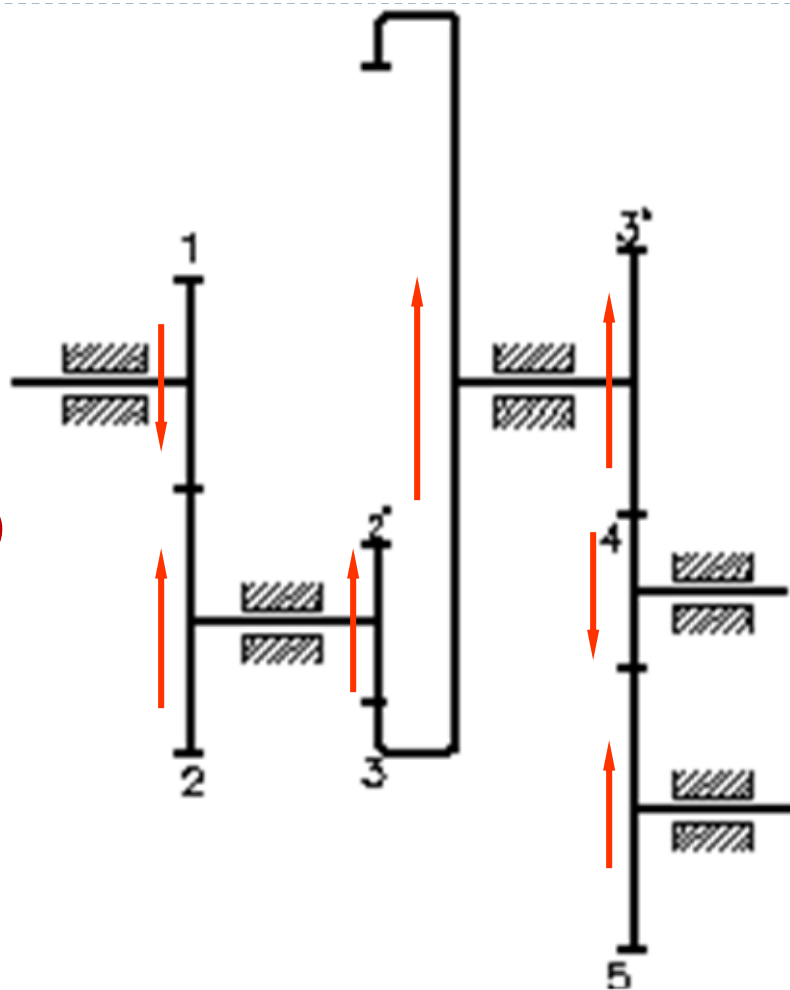
转向关系



外啮合：方向相反 (-)



内啮合：方向相同 (+)



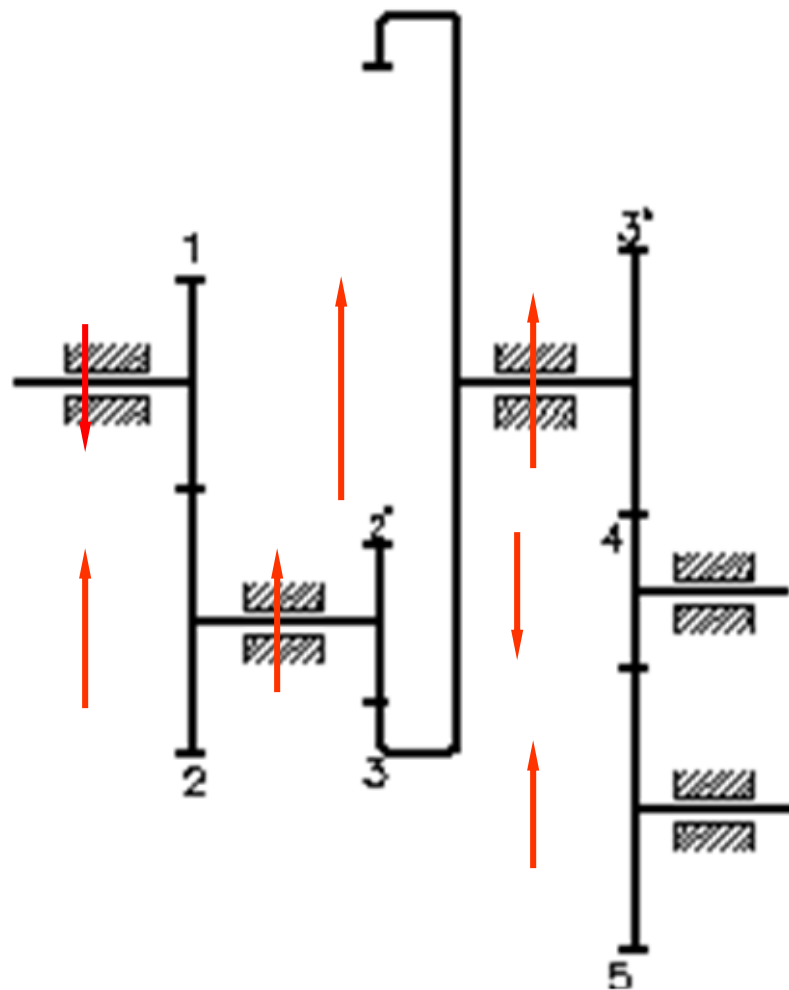
减速比计算

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{z_2}{z_1}$$

$$i_{2,3} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = +\frac{z_3}{z_2}$$

$$i_{3',4} = \frac{\omega_{3'}}{\omega_4} = -\frac{z_4}{z_{3'}}$$

$$i_{4',5} = \frac{\omega_{4'}}{\omega_5} = -\frac{z_5}{z_{4'}}$$



$$i_{1,2} \cdot i_{2,3} \cdot i_{3',4} \cdot i_{4',5} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_{2'}}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_{3'}}{\omega_4} \cdot \frac{\omega_{4'}}{\omega_5} = \left(-\frac{z_2}{z_1}\right) \left(+\frac{z_3}{z_{2'}}\right) \left(-\frac{z_4}{z_{3'}}\right) \left(-\frac{z_5}{z_4}\right)$$

$$\therefore i_{1,5} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = i_{1,2} \cdot i_{2',3} \cdot i_{3',4} \cdot i_{4,5} = (-1)^3 \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_{2'}} \cdot \frac{z_5}{z_{3'}}$$

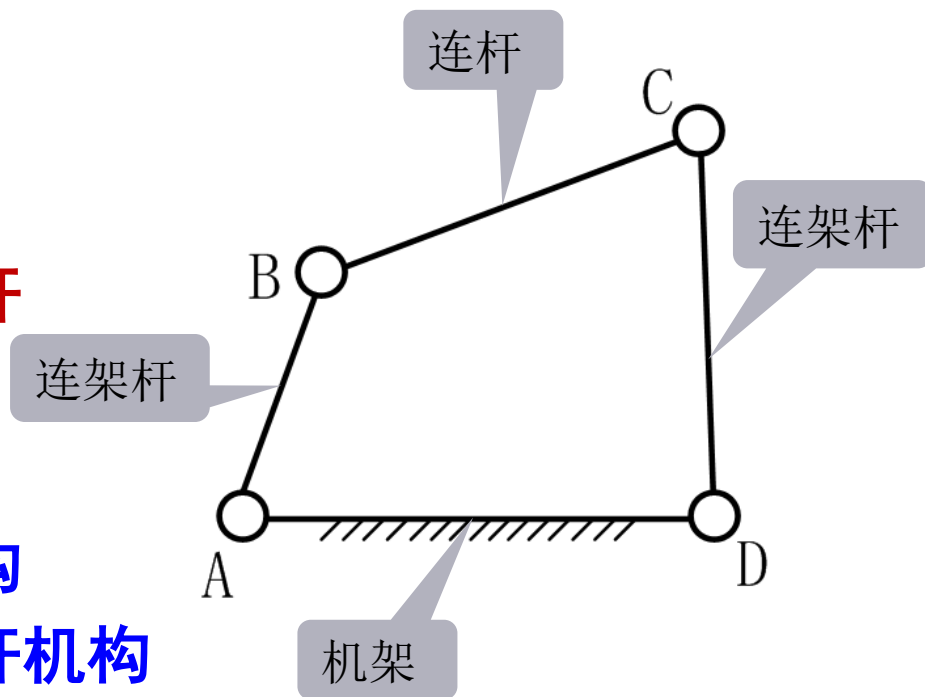
连杆的组成

- ▶ 铰链四连杆是平面四杆机构的基本形式，其他形式可以认为是它的演化形式。

- ▶ 在右图机构中：

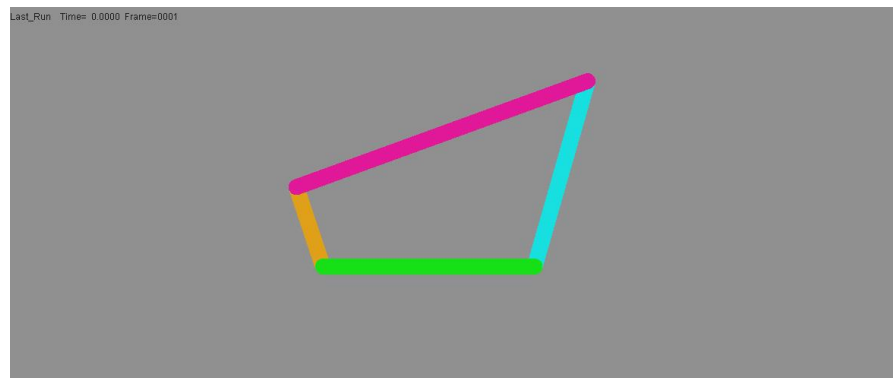
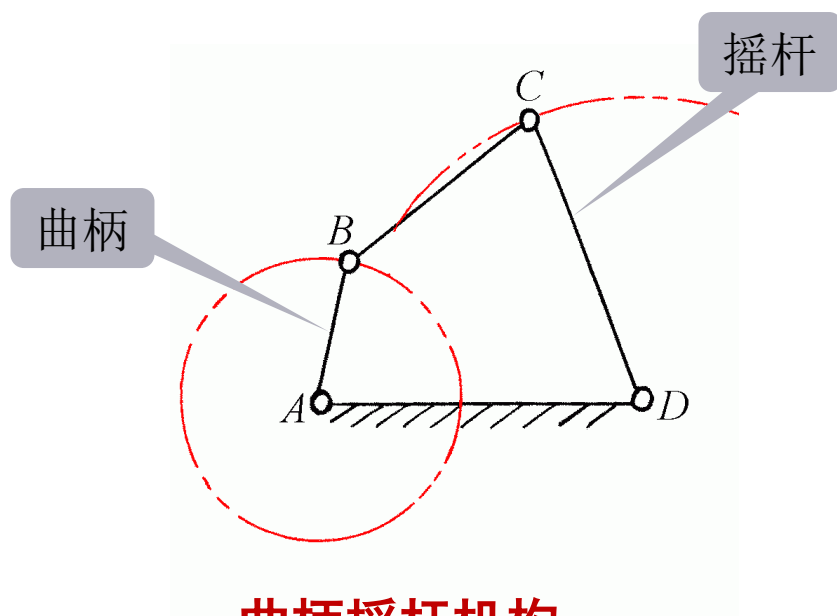
- ▶ AD为**机架**
- ▶ BC为**连杆**
- ▶ AB、CD与机架相连为**连架杆**

- ▶ 能做整周回转者为**曲柄机构**
- ▶ 只能一定范围摆动的为**摇杆机构**



基本形式一：曲柄摇杆机构

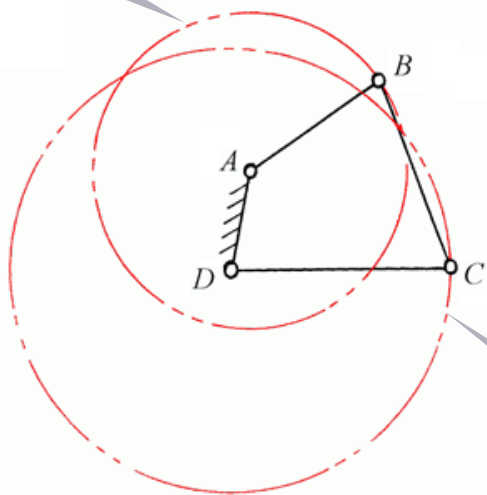
- ▶ **曲柄摇杆机构**：铰链四杆机构的两个连架杆中，有一个为曲柄，另一个为摇杆。



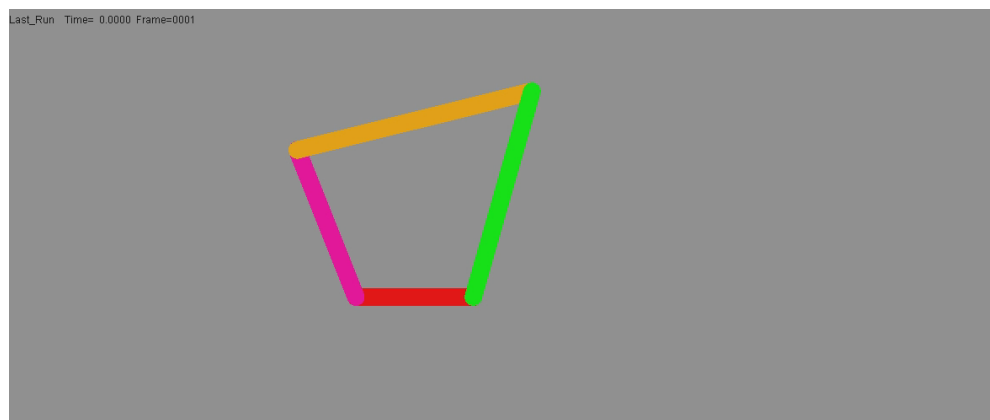
基本形式二：双曲柄机构

- 若铰链四杆机构中的两个连架架均为曲柄，则称其为**双曲柄机构**。

曲柄1



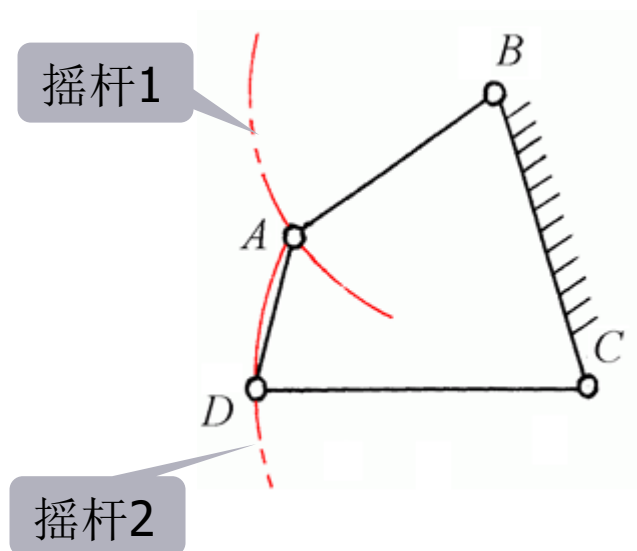
曲柄2



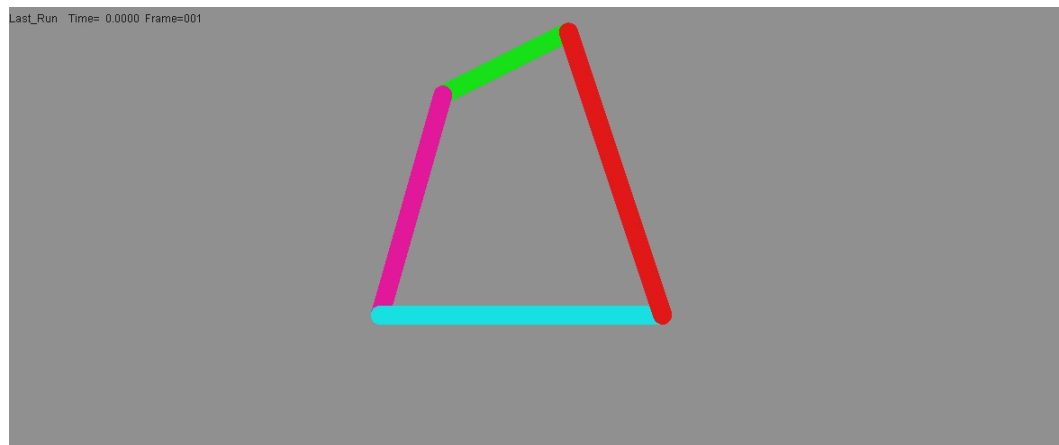
双曲柄机构

基本形式三：双摇杆机构

- 若铰链四杆机构中的两个连架架均为摇杆，则称其为**双摇杆机构**。



双摇杆机构



曲柄摇杆机构的条件

平面四杆机构具有**整转副** → 则可能存在曲柄

若**连架杆1**若能整周回转，
必有**两次**与机架共线。

由 $\triangle B_2C_2D$ 可得：

$$l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$$

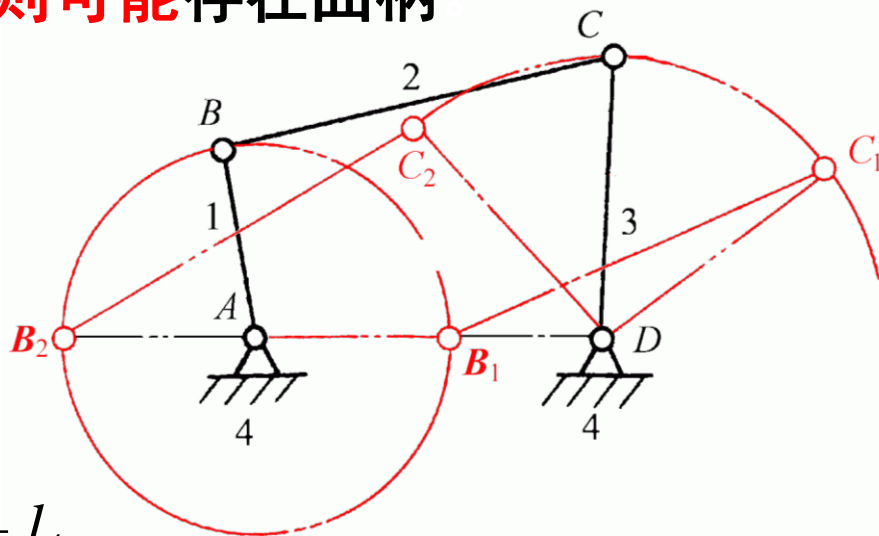
由 $\triangle B_1C_1D$ 可得：

$$l_3 \leq (l_4 - l_1) + l_2 \quad \Rightarrow \quad l_1 + l_3 \leq l_2 + l_4$$

$$l_2 \leq (l_4 - l_1) + l_3 \quad \Rightarrow \quad l_1 + l_2 \leq l_3 + l_4$$

将以上三式两两相加得（满足曲柄摇杆的条件）：

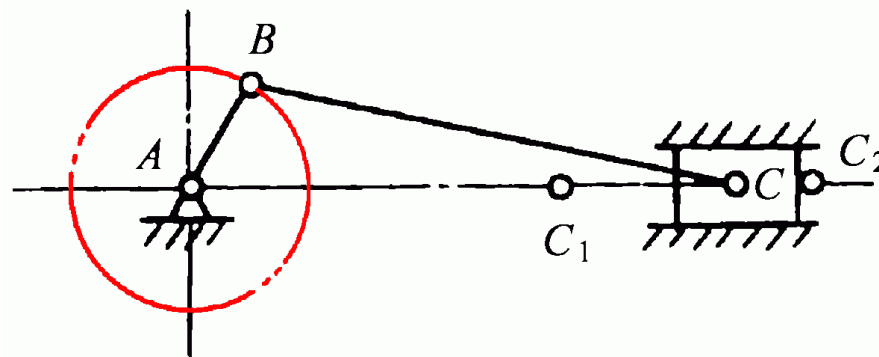
$$l_1 \leq l_2 \quad l_1 \leq l_3 \quad l_1 \leq l_4 \quad \Rightarrow \quad \text{AB 为最短杆，为曲柄摇杆机构}$$



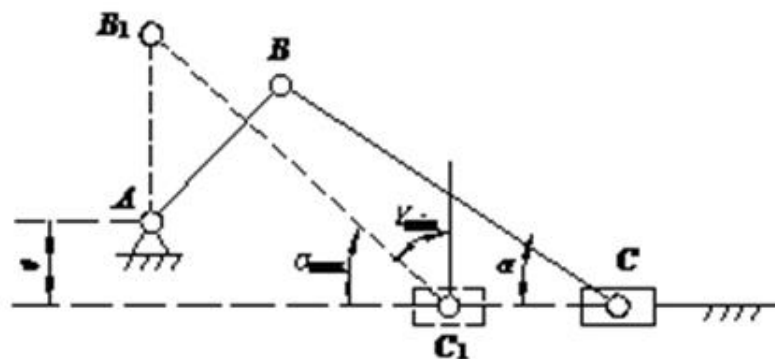
当最短杆为连杆 l_2 时，则为双摇杆机构！
当最短杆为机架 l_4 时，则为双曲柄机构！

演化形式一：曲柄滑块机构

曲柄滑块机构：

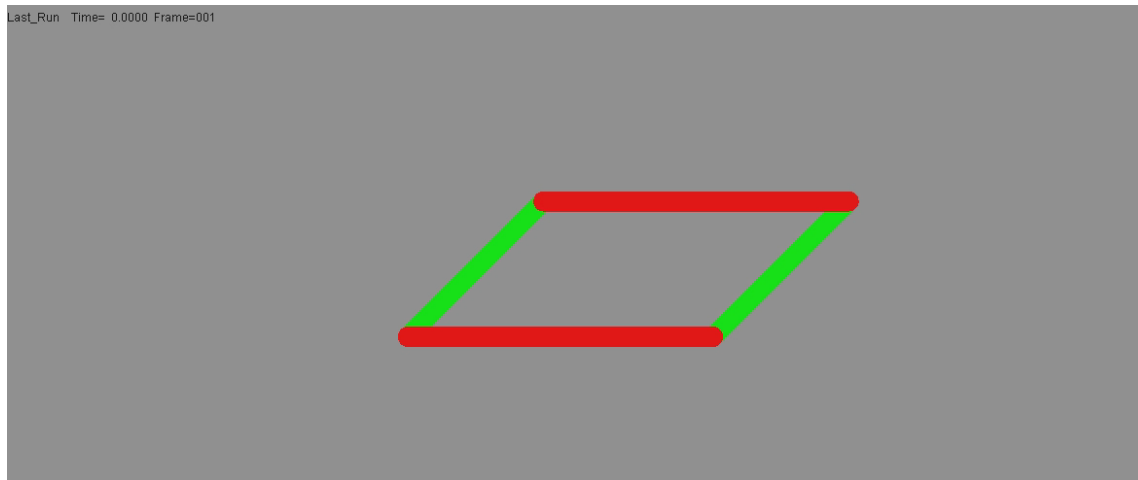


偏置曲柄滑块机构：

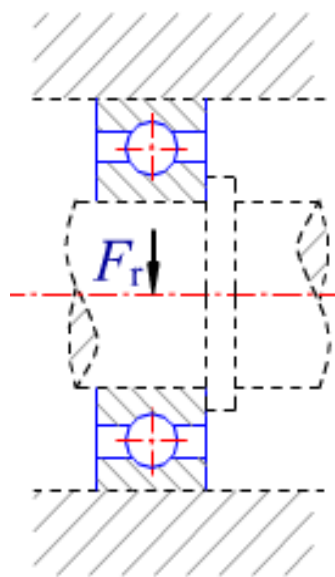


移动副可认为是回转中心由无穷远处的转动副演化而来。

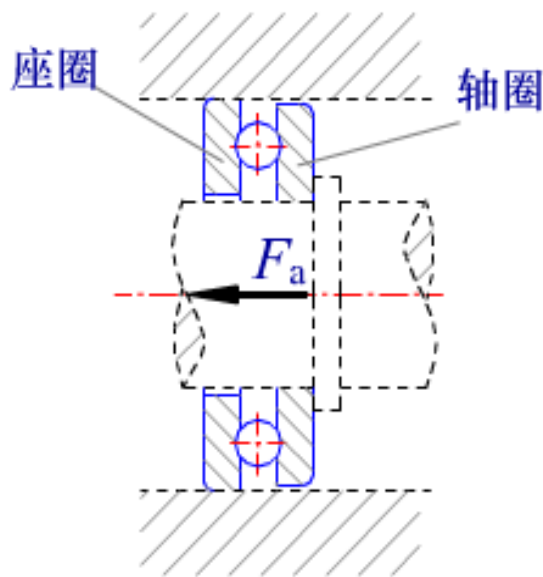
演化形式二：平行四边形机构



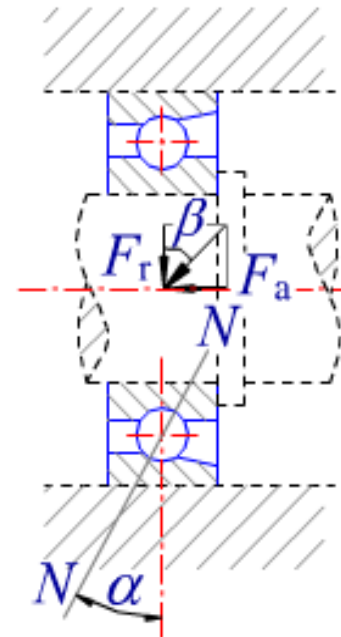
按可承受的载荷方向不同，滚动轴承分为三类：



径向接触轴承



轴向接触轴承



向心角接触轴承

- 主要用来承受径向力
- 主要用来承受轴向力
- 能同时承受径向力和较大的轴向力

接触角 α ：滚动体的载荷方向线与轴承径向平面之间的夹角；

α 越大，可以承受的轴向力越大

如何在机器中合理地使用轴承？——轴承的安装和固定

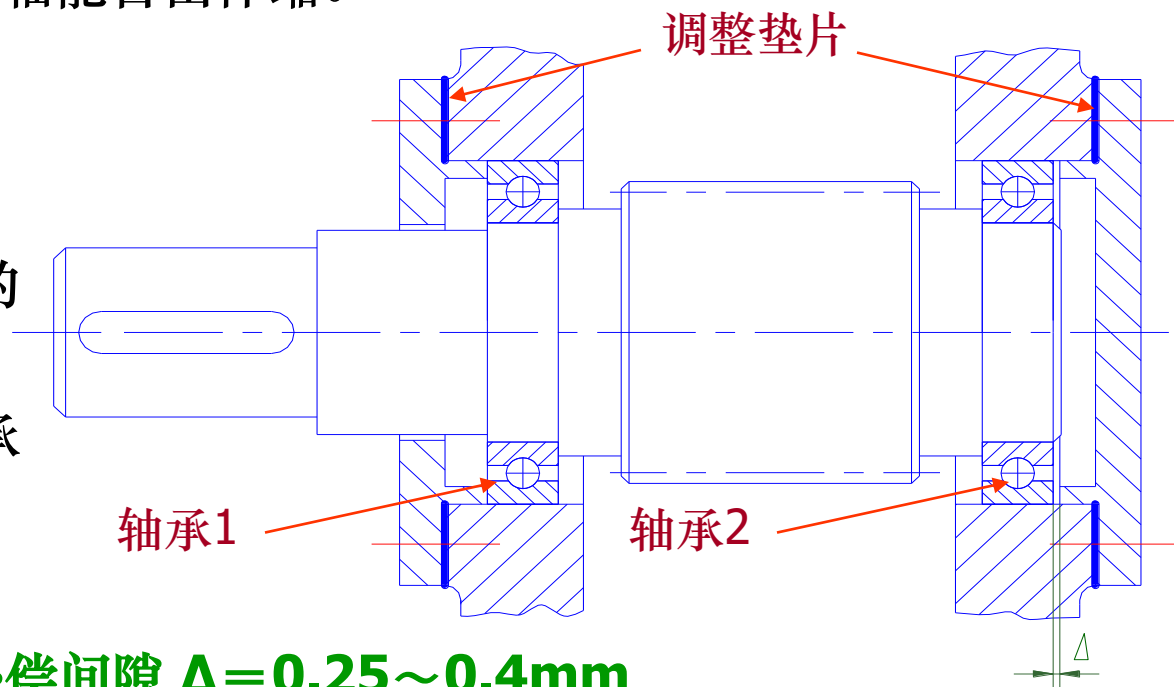
目的：通过轴承与轴和轴承座间的联接固定，使轴系在机器中有确定位置。

要求： { 1) 使轴上的载荷能可靠地传到机架上去，防止轴沿轴向串动。
2) 受热膨胀时，轴能自由伸缩。

➤轴系固定的三种方法：

两端固定支承（最常用）

通过两个轴承共同限制轴的双向串动。其中，轴承1限制轴一个方向的串动，轴承2限制反方向的串动。



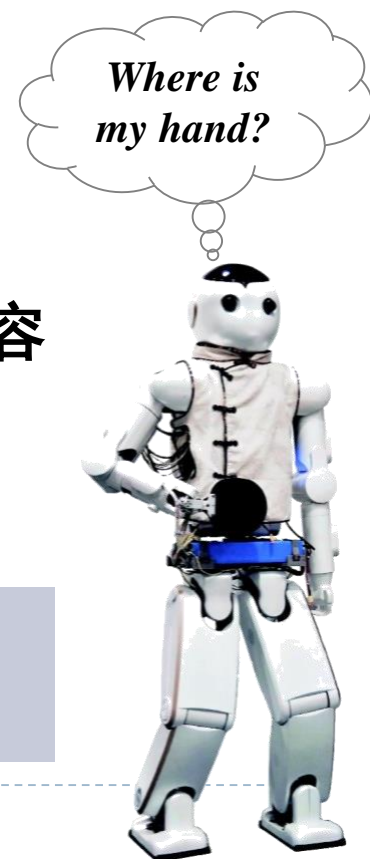
对于深沟球轴承，应留热补偿间隙 $\Delta = 0.25 \sim 0.4 \text{mm}$

特点：结构简单，安装调整容易，适用于温度变化不大的短轴。

机器人运动学

- ▶ **运动学 (Kinematics)** : 是指机器人连杆的位置和姿态（简称：**位姿**）与关节角度关系的理论。
- ▶ **正运动学**：已知关节角，求连杆末端的位姿
- ▶ **逆运动学**：已知连杆末端的位姿，求关节角度
- ▶ **涉及内容**：坐标变化、转动特性、空间速度等内容

运动学只研究物体的运动
而不考虑引起（或影响）这种运动的力



机器人逆运动学

- ▶ 逆运动学是指根据机器人末端位姿求解关节角
- ▶ 正运动学一般用于检验逆运动学是否正确
- ▶ 逆运动学的难度高于正运动学

求解结果：

无解

多解（可根据一定的原则，选择最优解）

唯一解

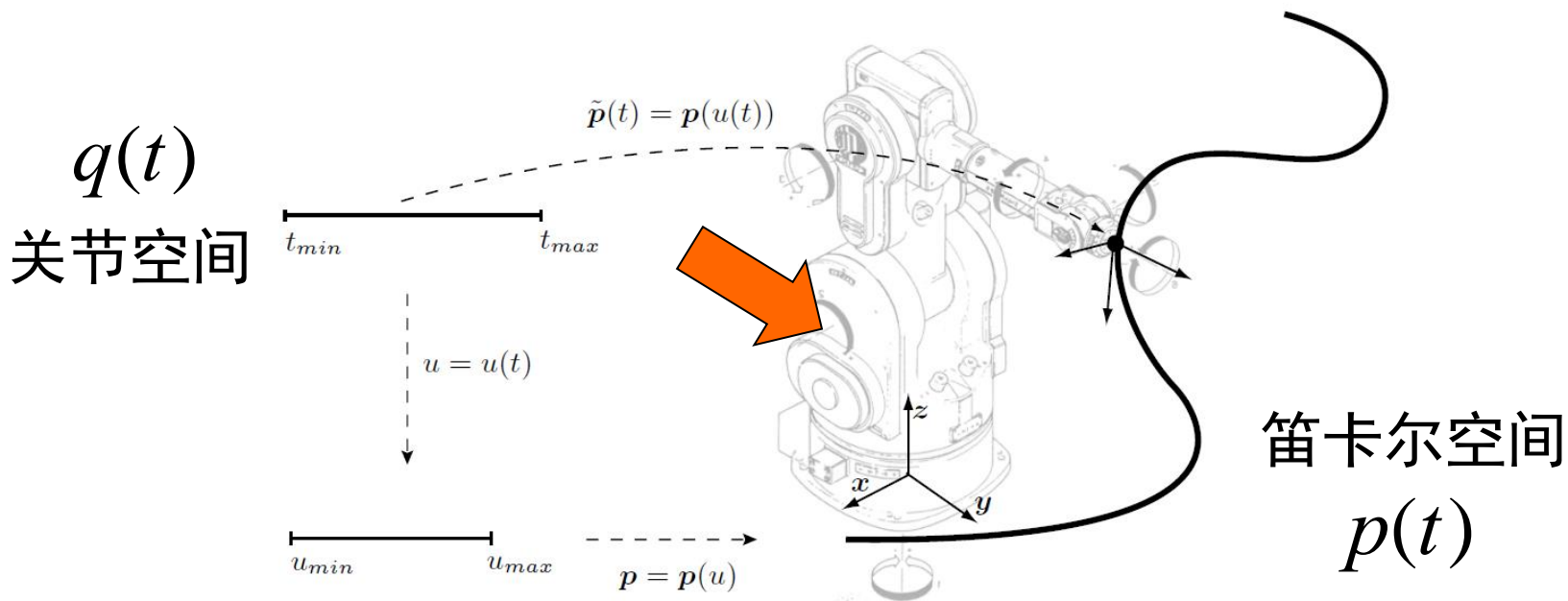
求解方法：

数值方法（需迭代，实时性差，通用性好）

解析方法（无需迭代，实时性好，通用性差）

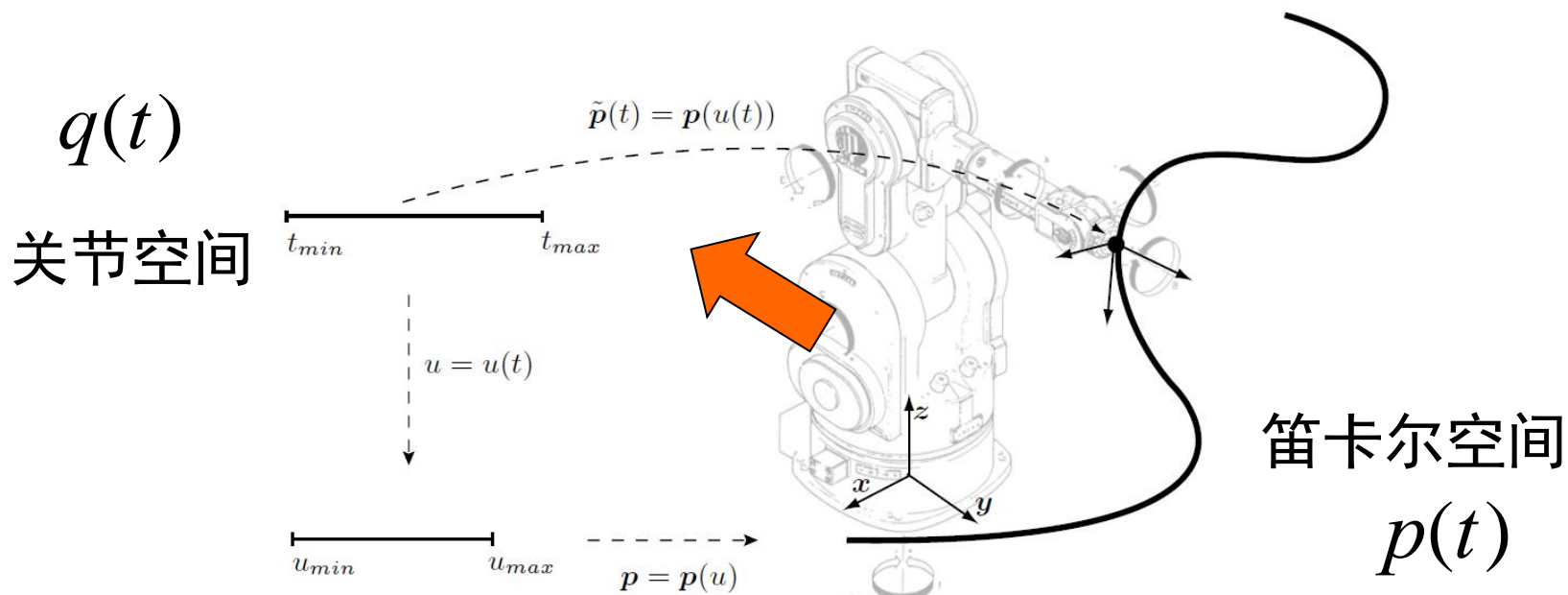
正运动学

- ▶ 给定一组关节角的值，计算工具坐标系相对于基坐标系的位置和姿态，即末端执行器位置和姿态



逆运动学

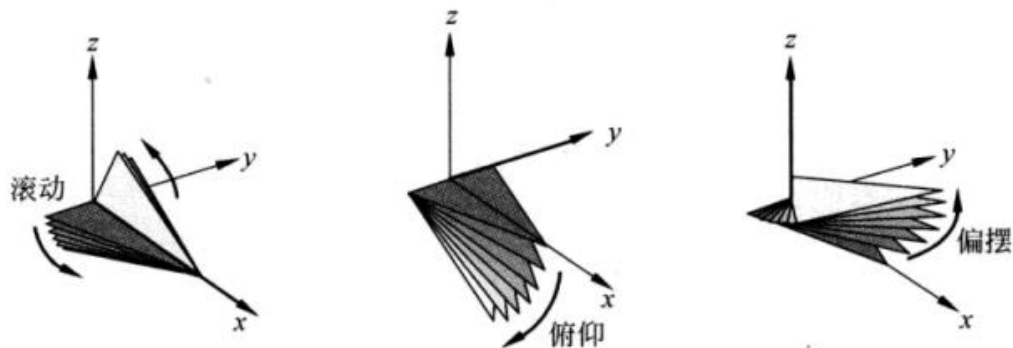
- ▶ 给定操作臂末端执行器的位置和姿态，计算所有可达位置和姿态的关节角



由于运动学方程是非线性的，很难得到封闭解，甚至无解同时提出了解的存在性和多解问题

转动特性

- 最基本的转动: 是绕 X , Y 和 Z 轴的旋转运动, 分别称为滚动 (roll)、俯仰 (pitch) 和偏摆 (yaw)



转 动 轴	名 称	所 用 符 号
x 轴	滚动 (roll)	ϕ
y 轴	俯仰 (pitch)	θ
z 轴	偏摆 (yaw)	ψ

转动特性

- ▶ 对应于滚动（ ϕ ）、俯仰（ θ ）和偏摆（ ψ ）的旋转矩阵依次为：

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



转动特性

- ▶ Z-Y-X欧拉角：如果有一点 p 绕原点依次作滚动、俯仰和偏摆，其位置将变成：

$$p' = R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\varphi)p$$

- 其中：

$$R_{rpy}(\varphi, \theta, \psi) = R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\varphi)$$

$$= \begin{bmatrix} c_\psi c_\theta & -s_\psi c_\varphi + c_\psi s_\theta s_\varphi & s_\psi s_\varphi + c_\psi s_\theta c_\varphi \\ s_\psi c_\theta & c_\psi c_\varphi + s_\psi s_\theta s_\varphi & -c_\psi s_\varphi + s_\psi s_\theta c_\varphi \\ -s_\theta & c_\theta s_\varphi & c_\theta c_\varphi \end{bmatrix}$$

- 利用上式，可以实现三维空间中从一个给定的姿态到任一姿态的变换。

The End.

Thanks for your attention.

