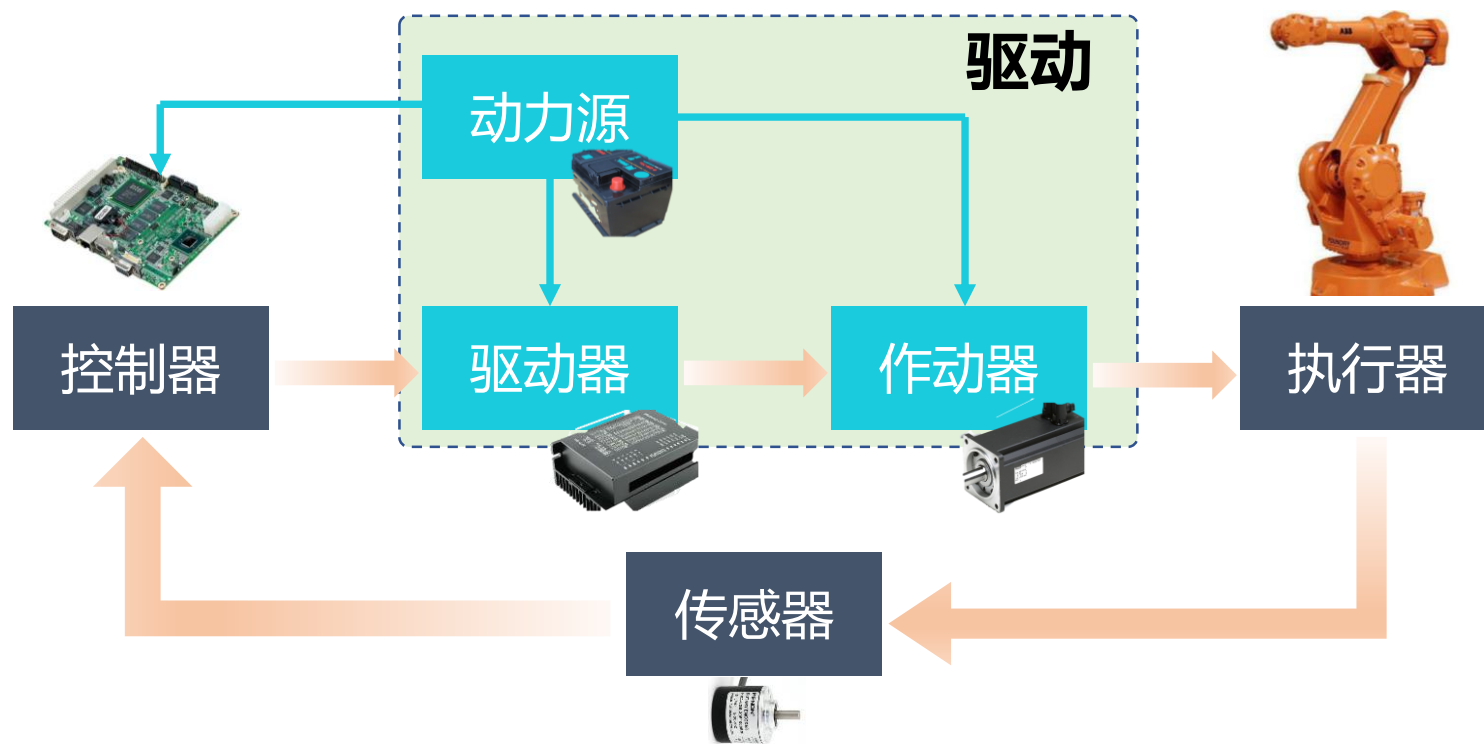


驱动的功能

驱动是机器人的重要组成部分，通常意义上的驱动是一个泛指的概念，它不是一个装置，而是一套系统，包含硬件与软件

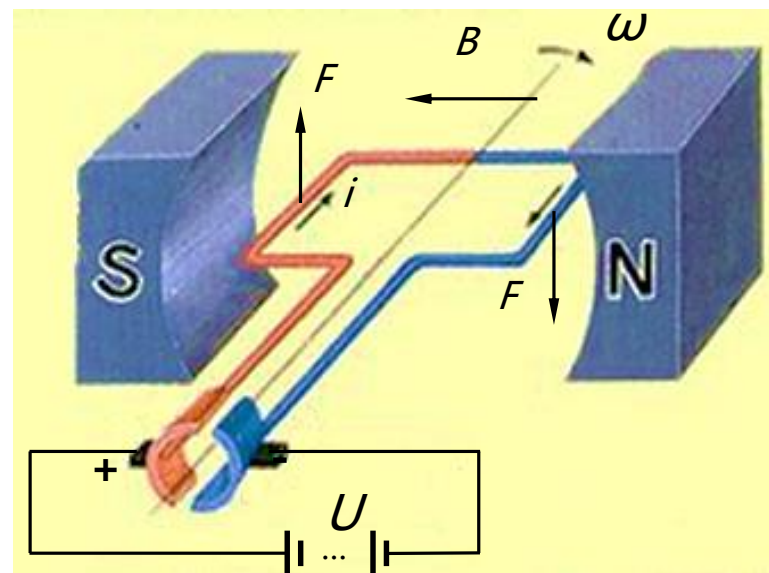
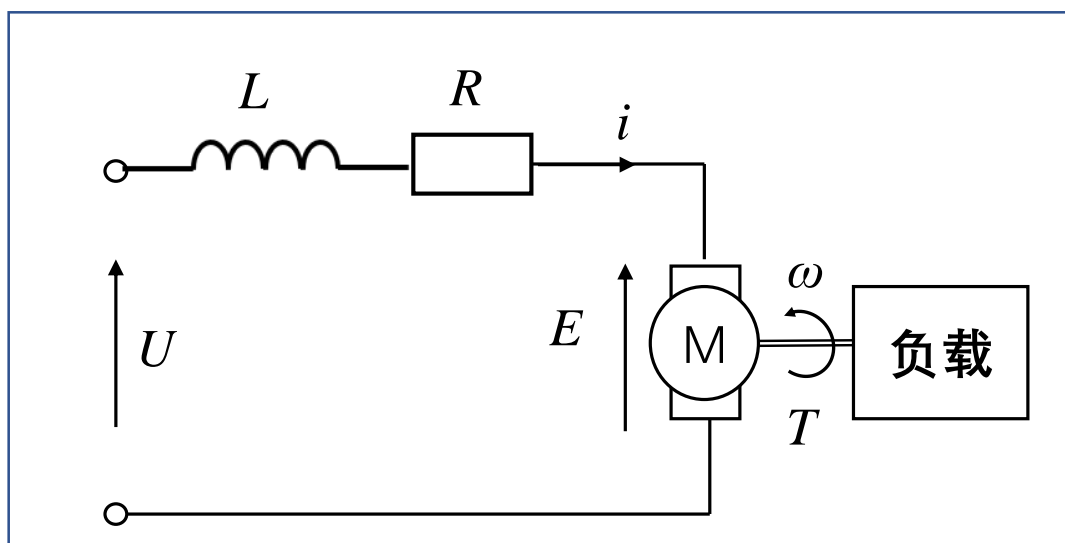


机器人驱动一般指可以使机器人的机构、零件等装置产生运动的系统总成

直流电机模型

- 以串励有刷直流电机为例
- 在电压作用下由等效内阻、电感和反向电动势构成的回路

电机等效电路



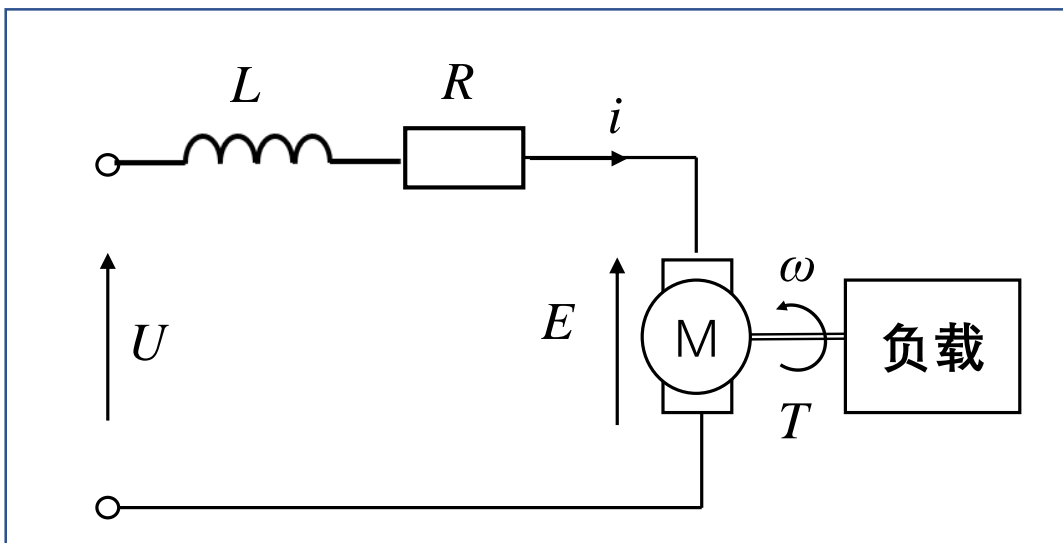
L – 电枢电感, E - 反向电动势, J – 电枢等效转动惯量, U – 电机控制电压, R – 电枢电阻, i – 回路电流
 ω – 电机转速, T – 电机转矩

电压平衡方程

根据电磁感应定律，电机线圈在磁场中旋转时切割磁力线产生反电动势 E ，大小与转速成正比：

$$E = K_e \omega \quad , \quad K_e - \text{电机转速系数}$$

电机等效电路



电压平衡方程

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + K_e \omega \quad (2-1)$$

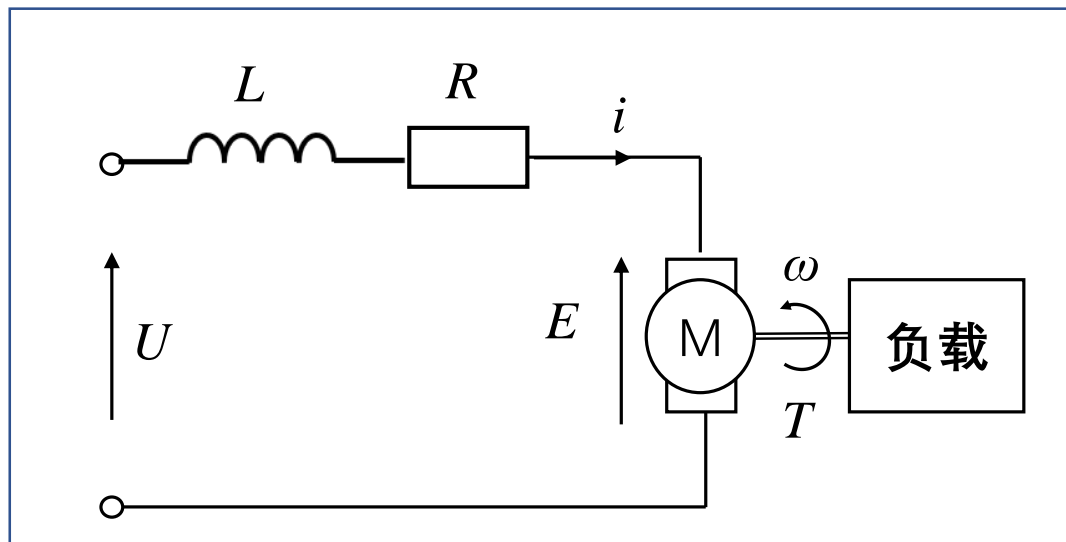
J – 电枢等效内阻, L – 电枢等效电感

转矩平衡方程

根据安培力计算公式，作用在电机转子上的驱动力矩与通过绕组的电流大小成正比：

$$T = K_m i \quad K_m - \text{电机转矩系数}$$

电机等效电路



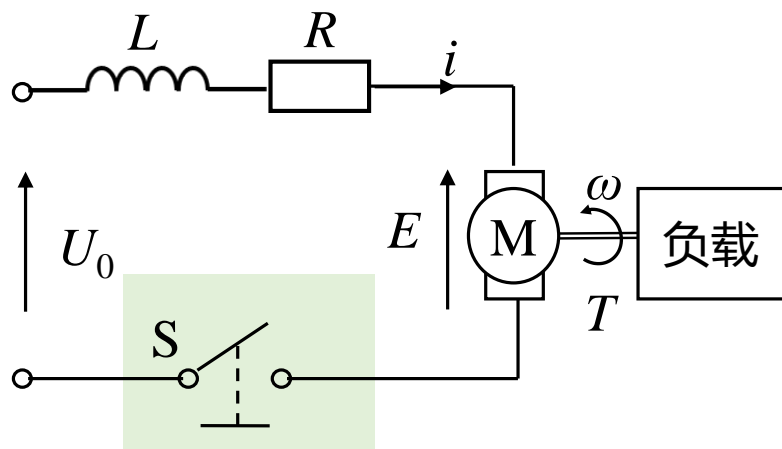
转矩平衡方程

驱动力矩 = 负载力矩 + 阻尼力矩

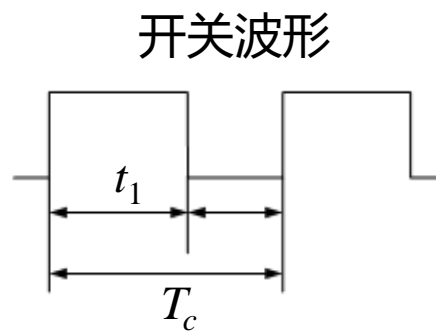
$$T = K_m i = J \frac{d\omega}{dt} + b\omega \quad (2-2)$$

脉宽调制技术

- 开关闭合-断开一个周期时间，记为 T_c
- 开关频率，即开关的速度，记为 $f_c = 1 / T_c$
- 在一个周期内，开关闭合时间占整个周期的比例称为占空比 d



施加到电机的等效电压



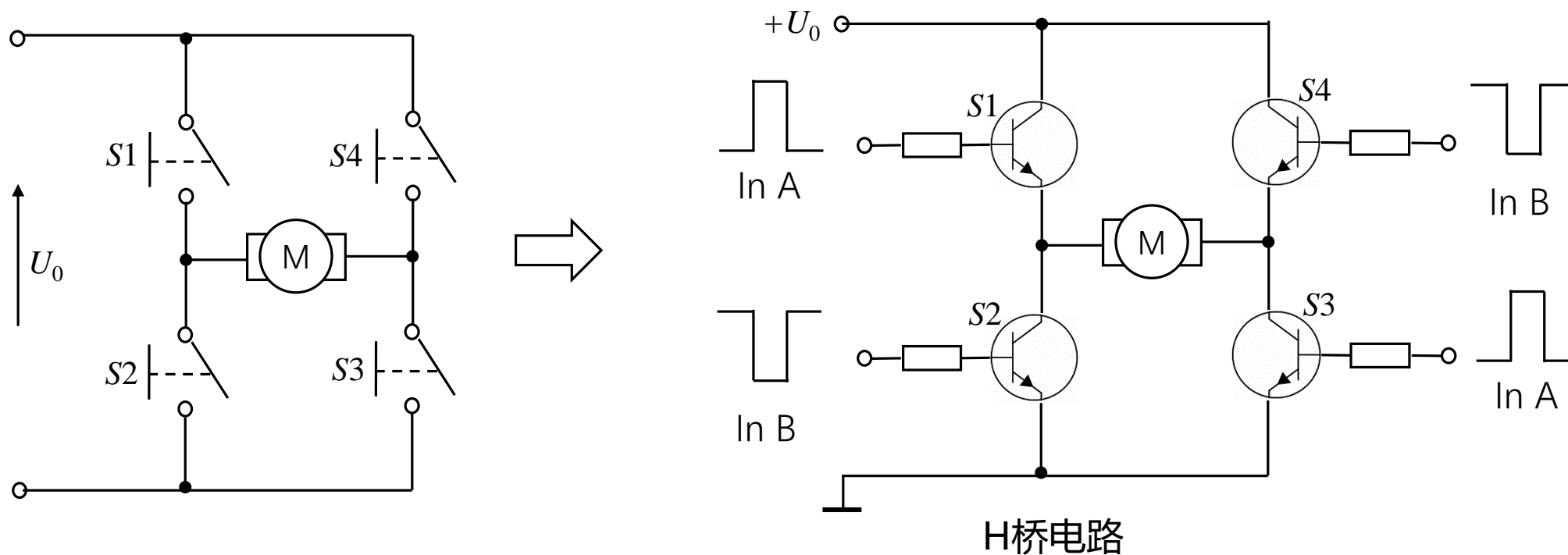
$$d = t_1 / T_c \times 100\%$$

$$U_d \approx d \cdot U_0$$

- 控制占空比 d ，即开关 S 的开合时间，即可控制电机上的电压，实现电机调速

直流电机驱动器

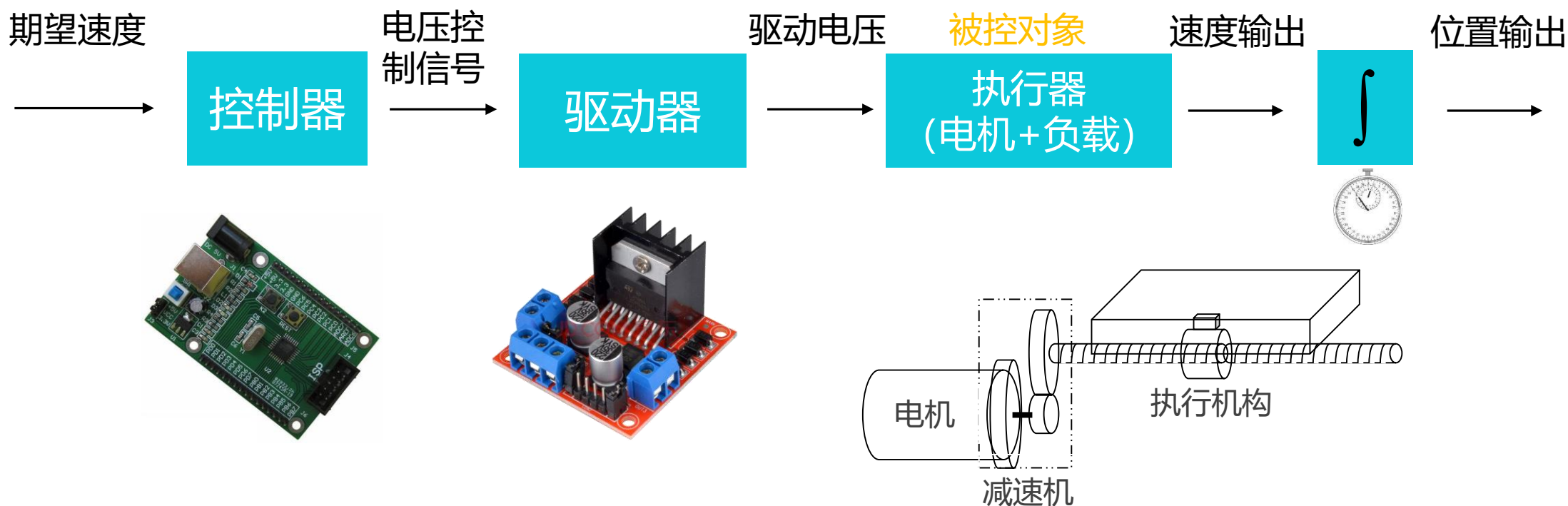
- 半导体器件可用“小功率”方波信号控制，是理想的开关元件



- 常用的开关器件包括：半导体三极管（BJT）、场效应三极管（MOSFET）以及绝缘栅双极型晶体管IGBT等

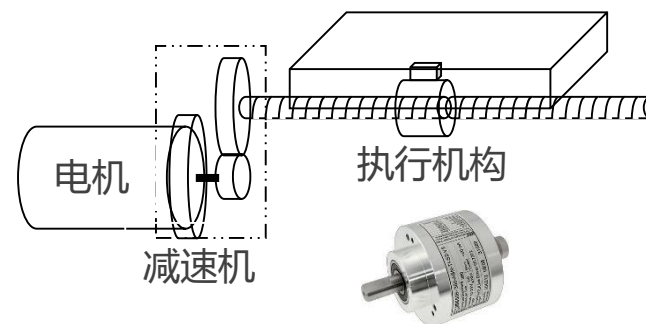
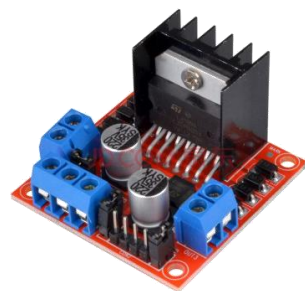
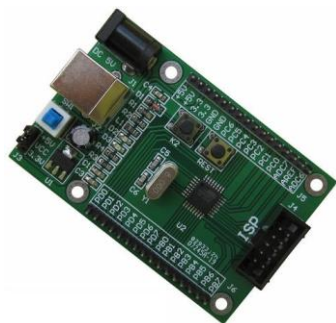
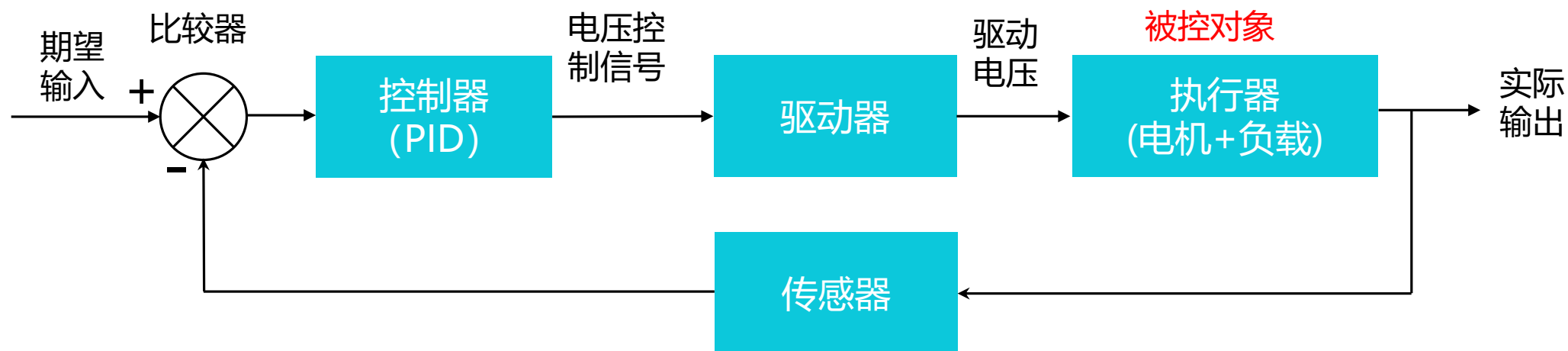
开环控制

- 利用电压与速度的对应关系，直接改变输入电压实现转速控制
- 利用速度对时间的积分估计电机转过的角度，实现位置控制



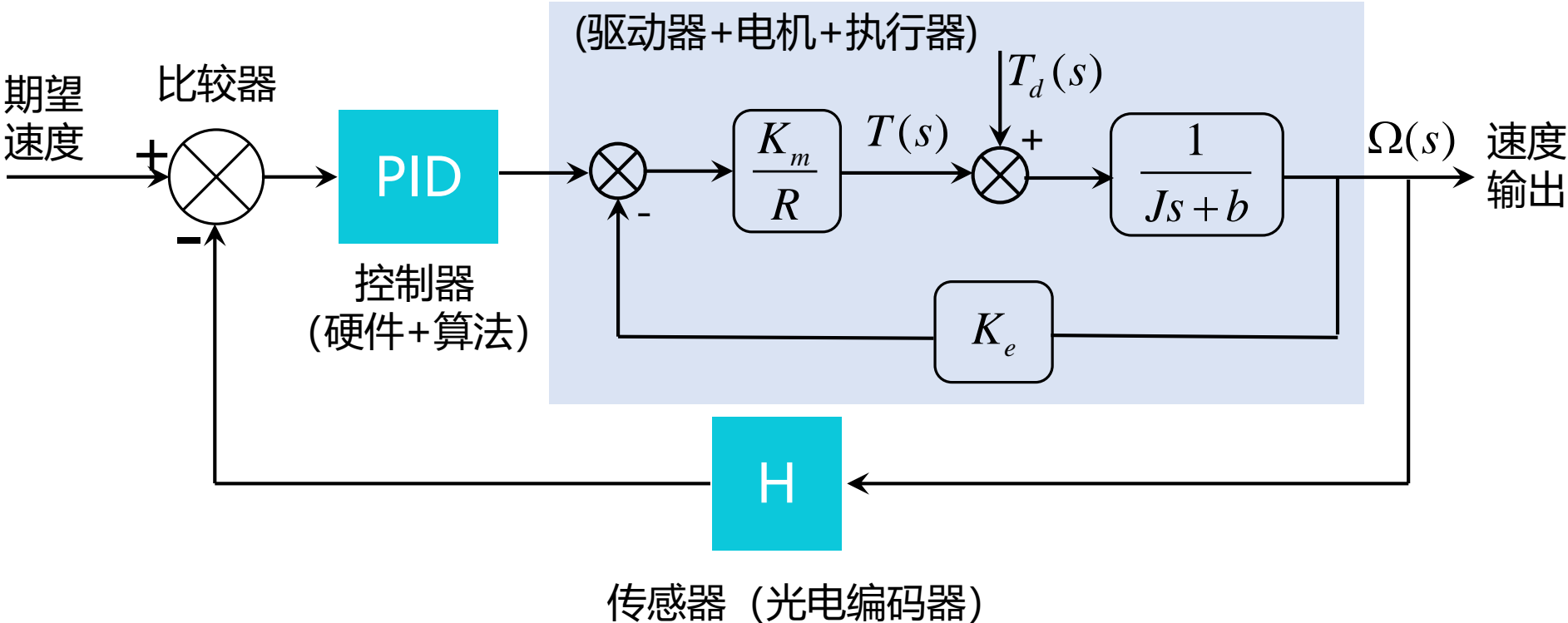
闭环控制

- 使用传感器检测速度（或位置）的实际输出值，以期望速度值与实际速度值之间的差值作为输入，经过控制器处理后生成电压控制信号，又称闭环反馈控制或伺服控制

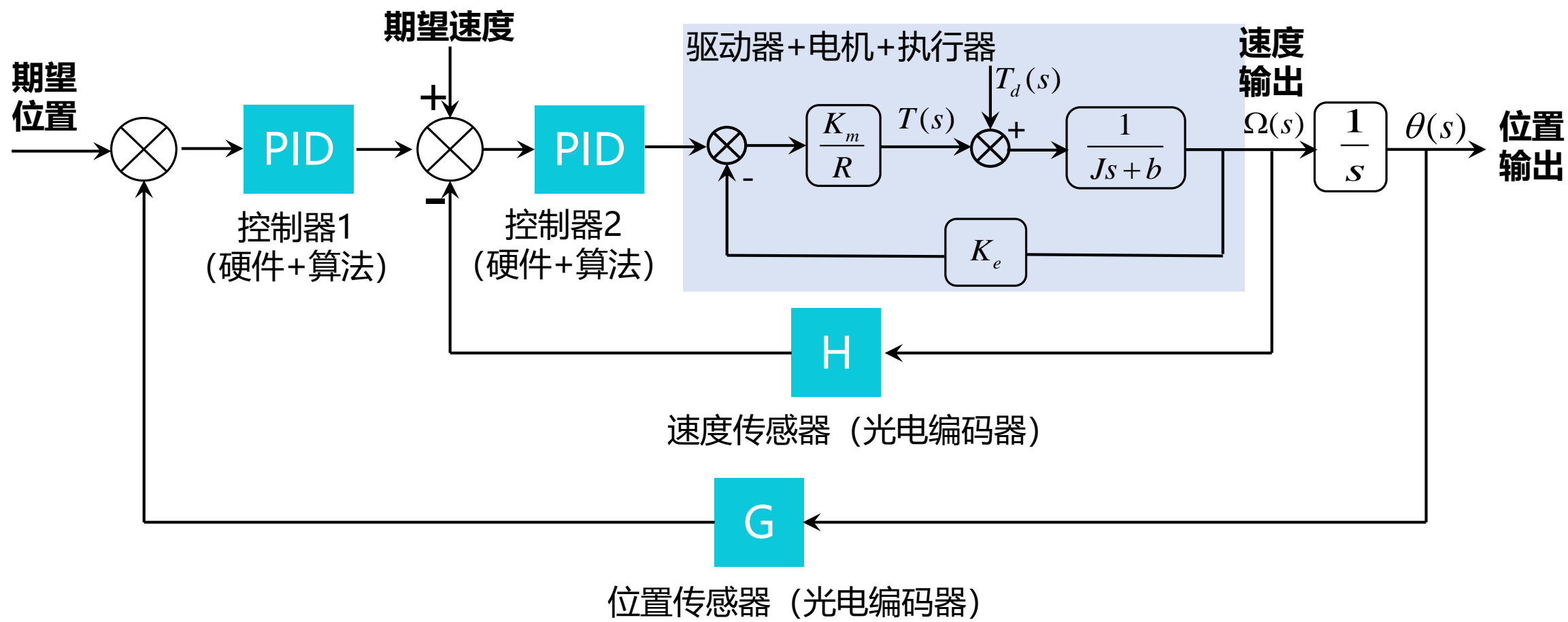




闭环速度控制

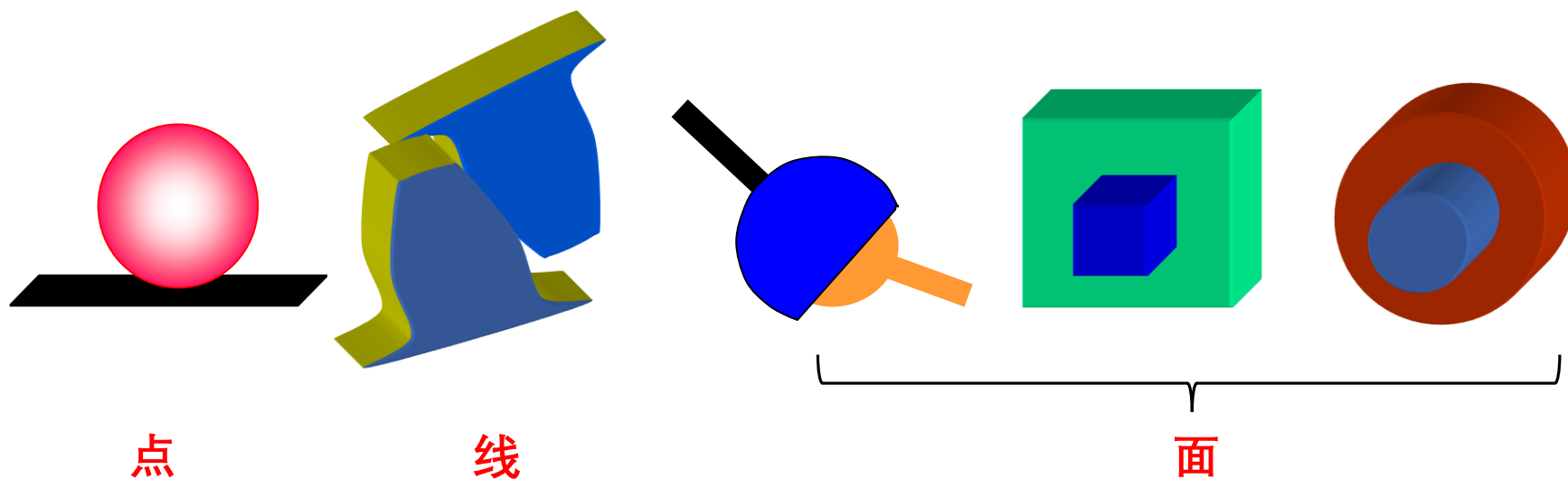


闭环位置控制



机构 (Mechanism)

- **机构** – 多个由运动副连接的机械零件构成的构型可变系统
- **运动副** – 连接在一起的机械零件之间的可动连接方式
- **运动副元素** – 接触点、线、面特征

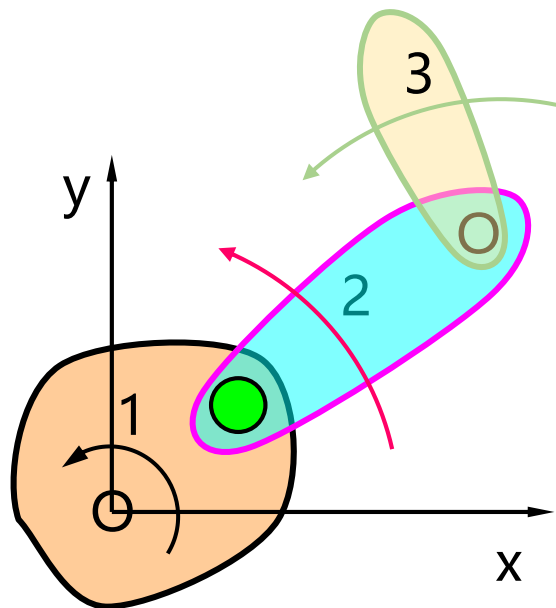


结构 (Structure) – 通常指构型保持稳固不变的机械系统

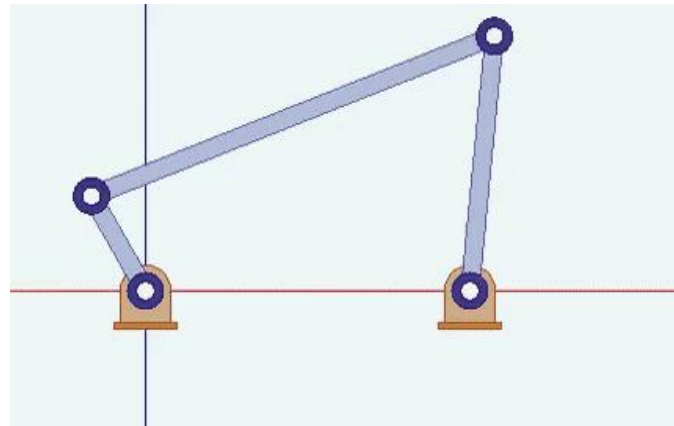
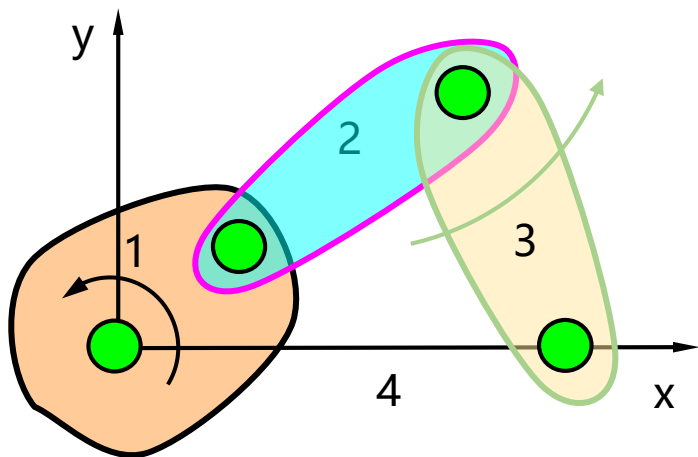
机构类型

多个由运动副连接的机械零件构成的系统

串联开链机构

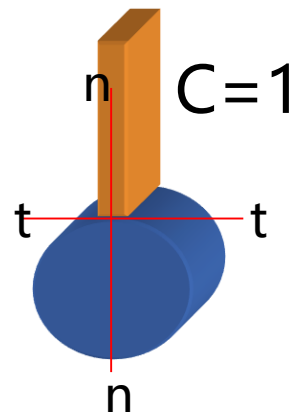
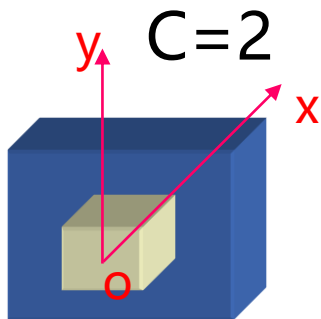
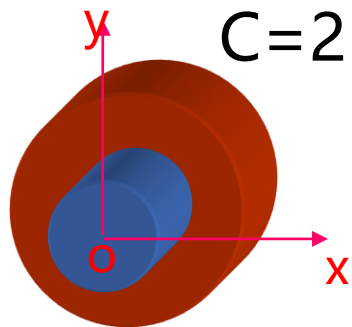
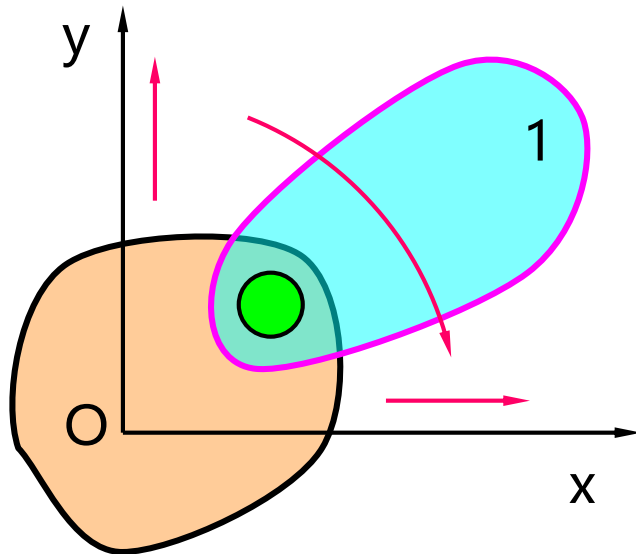


串联闭链机构



平面机构自由度计算

- 平面构件未连接前: $\text{DoF} = 3$
- 用运动副与其它构件连接后, 运动副引入约束, 原自由度减少;
- 平面低副引入2个约束
- 平面高副引入1个约束



自由度计算

活动构件数: n

低副数: L

高副数: H

未连接前总自由度: $3n$

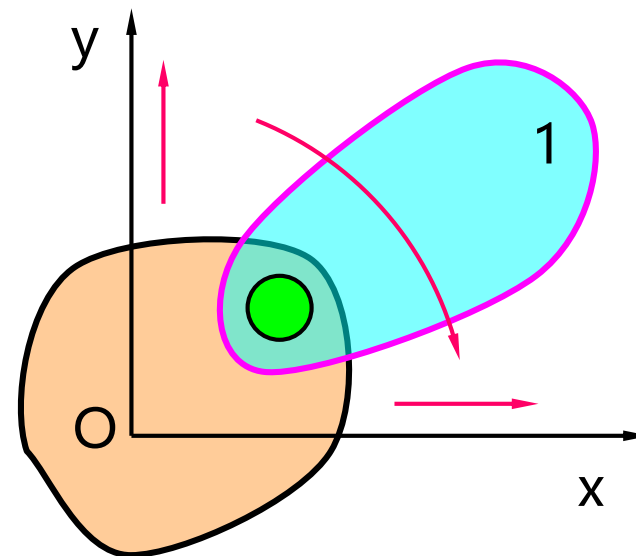
连接后引入的总约束数: $2L + H$

机构自由度计算公式:

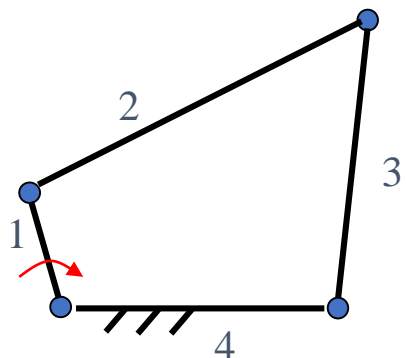
$$F = 3n - (2L + H)$$

构件总数

↓
or $3(N-1)$



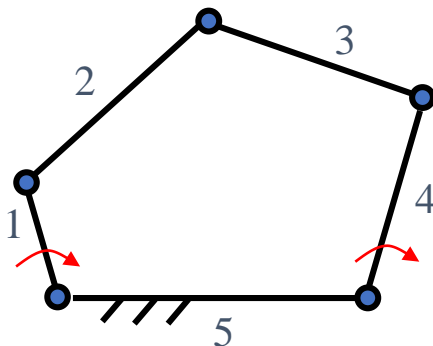
自由度计算举例



$$F = 3n - 2L - H$$

$$= 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0$$

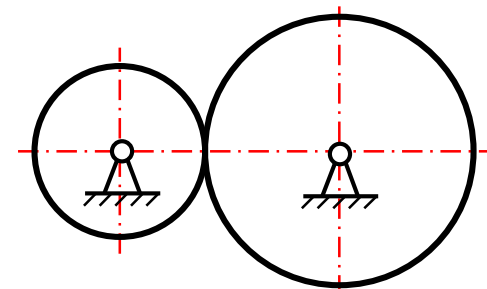
$$= 1$$



$$F = 3n - 2L - H$$

$$= 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0$$

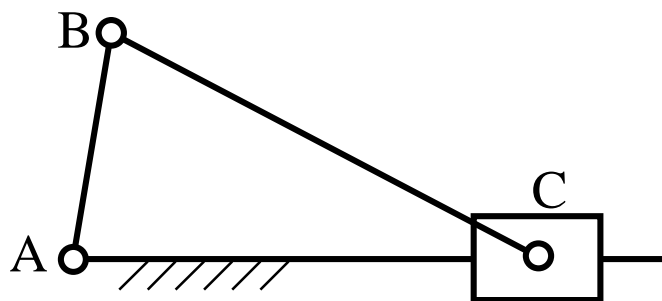
$$= 2$$



$$F = 3n - 2L - H$$

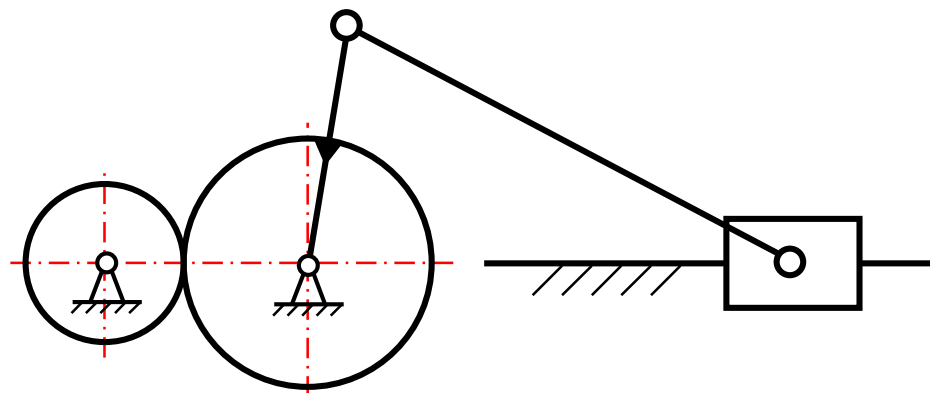
$$= 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1$$

$$= 1$$



$$F = 3n - 2L - H$$

$$= 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

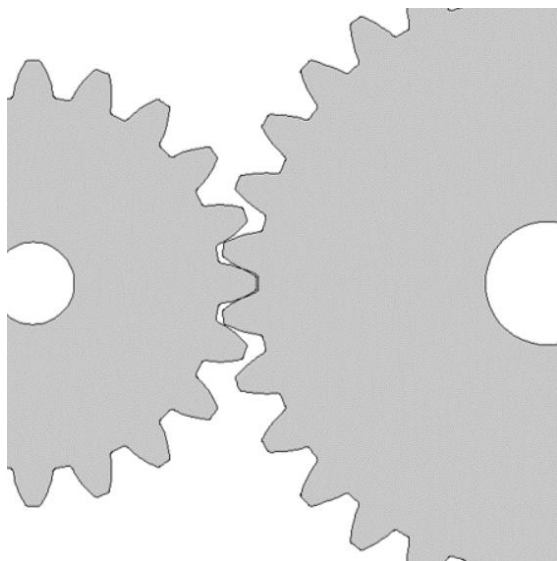


$$F = 3n - L - H$$

$$= 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

齿轮基本参数的计算公式

- **分度圆 d** : 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。**
- **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。**



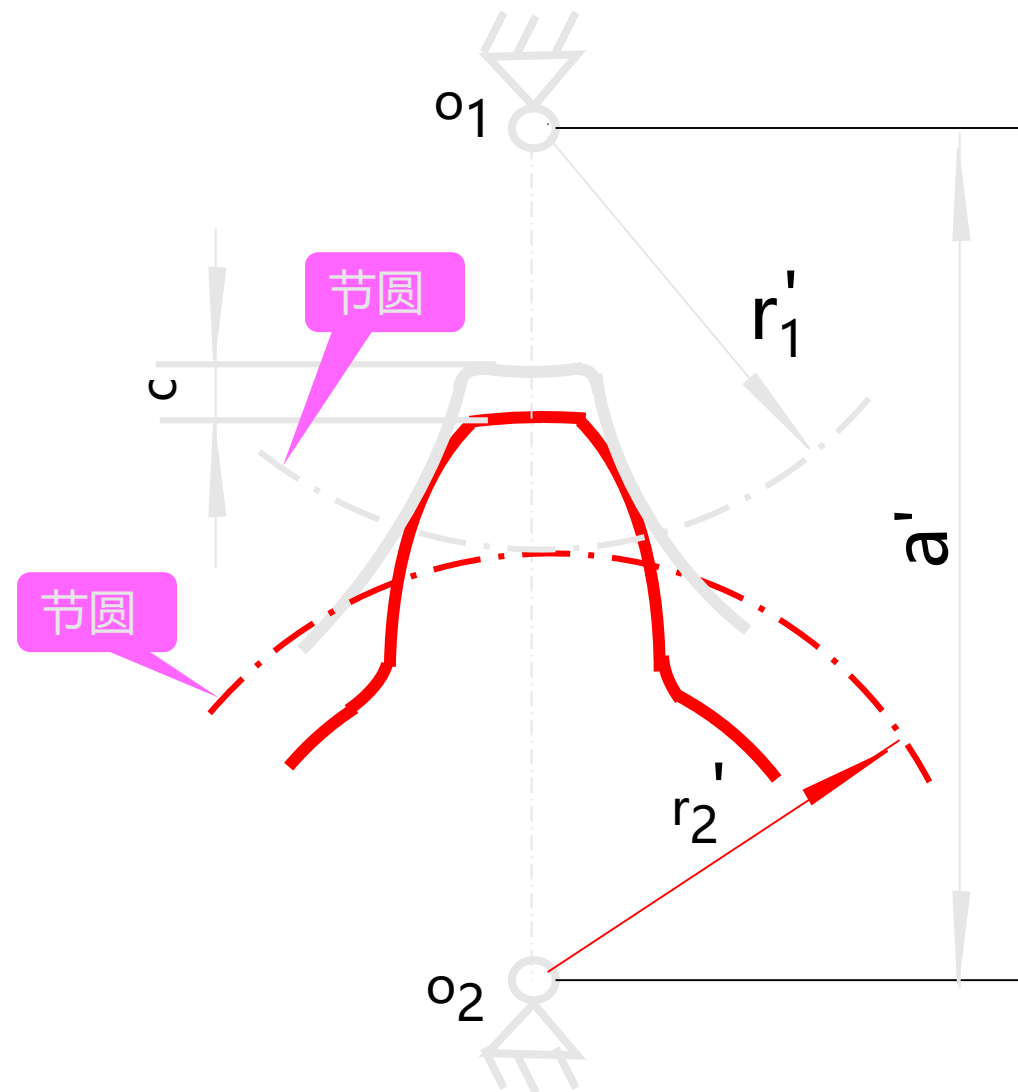
- 国标压力角的标准值为 20°
- 两齿轮正确啮合的条件：模数相等，啮合处压力角相等

分度圆直径为 $d = mz$

无侧隙传动的中心距

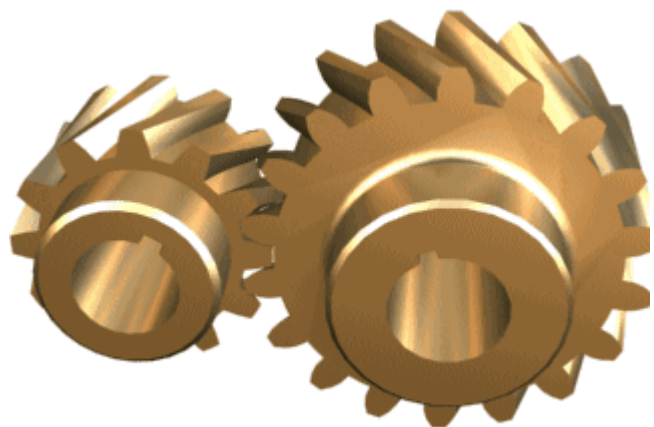
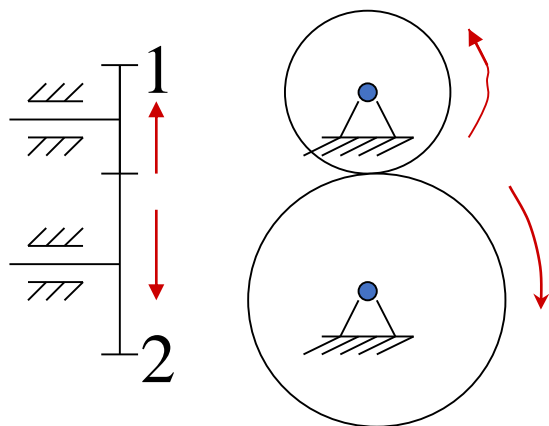
一对齿轮啮合传动时，中心距等于两节圆半径之和

$$\begin{aligned} a &= r_1' + r_2' = r_1 + r_2 \\ &= \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \end{aligned}$$

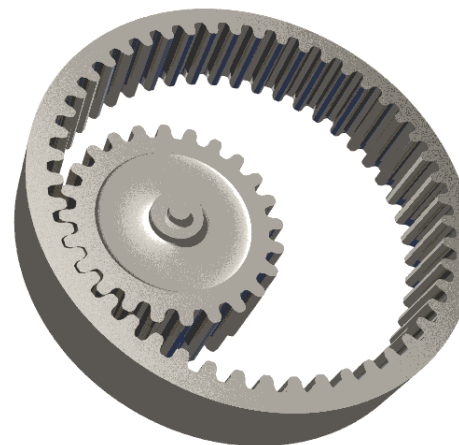
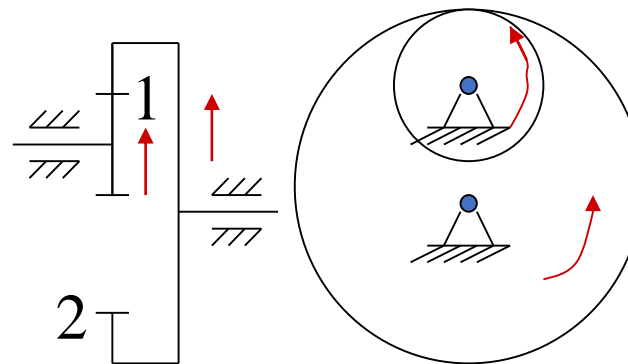


齿轮的啮合形式

外啮合齿轮：方向相反（-）



内啮合齿轮：方向相同（+）

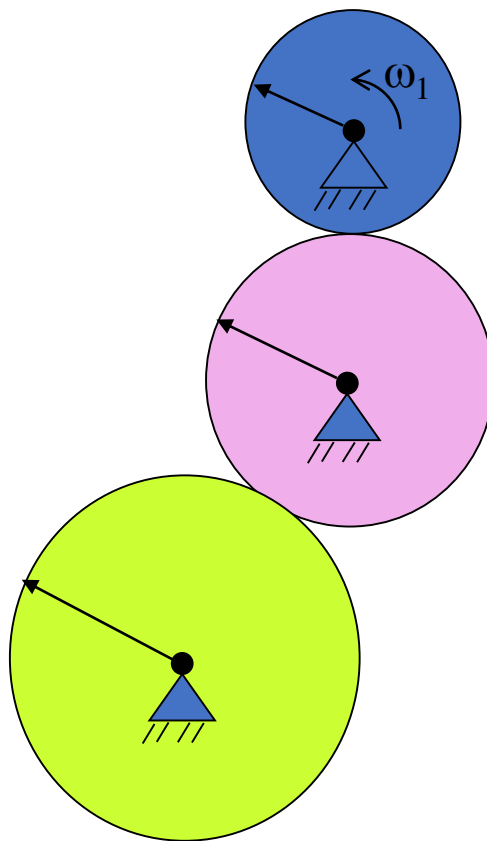


定轴轮系

传动时，所有齿轮的几何轴线为固定的轮系。由一系列齿轮所组成的传动系统。

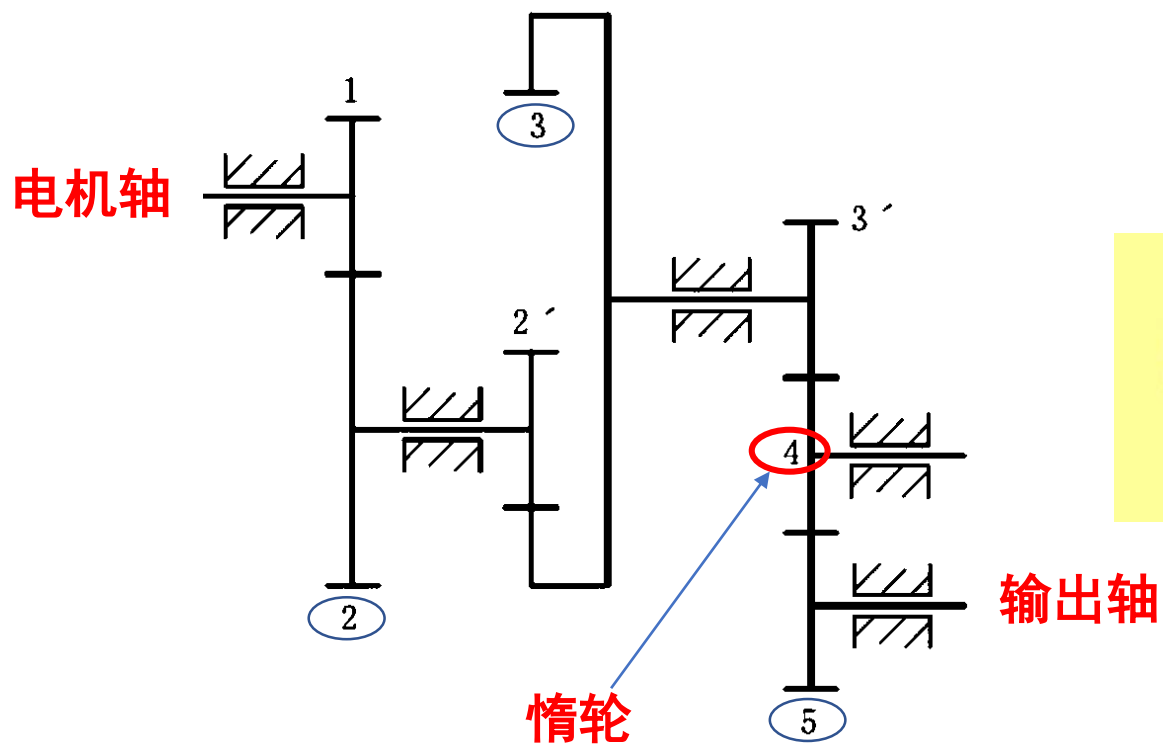
“最简单”的齿轮箱：

- 1、所有转动轴都是平行的；
- 2、每个轴上只有一个齿轮。



定轴轮系传动比（减速比）

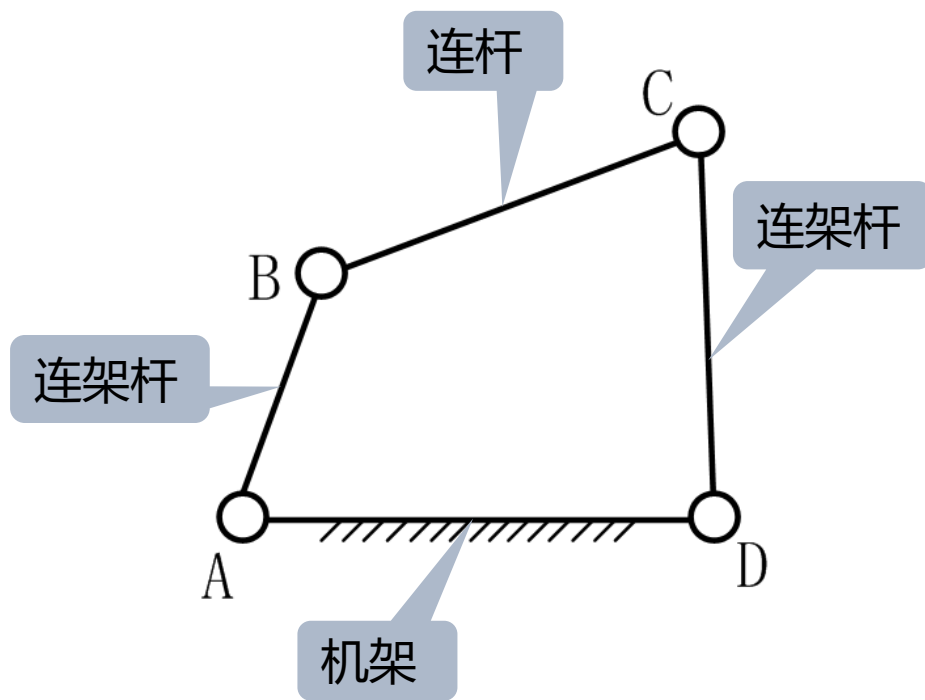
$$i_{1k} = \frac{n_1}{n_k} = \frac{\text{轮系中所有从动轮齿数}}{\text{轮系中所有主动轮齿数}} \quad \begin{matrix} \text{积} \\ \text{积} \end{matrix}$$



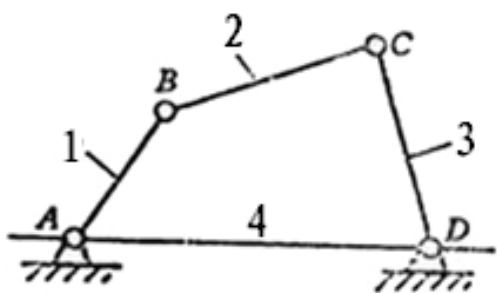
$$i_{15} = \frac{n_1}{n_5} = \frac{z_2 z_3 z_4 z_5}{z_1 z_{2'} z_{3'} z_4}$$

连杆的组成

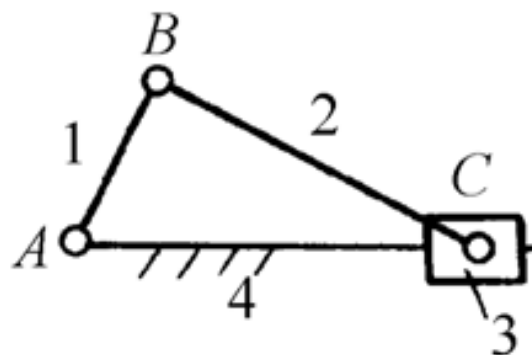
- 铰链四连杆是平面四杆机构的基本形式，其他形式可以认为是它的演化形式。
- 在右图机构中：
 - AD为**机架**
 - BC为**连杆**
 - AB、CD与机架相连为**连架杆**
- 能做整周回转者为**曲柄机构**
- 只能一定范围摆动的为**摇杆机构**



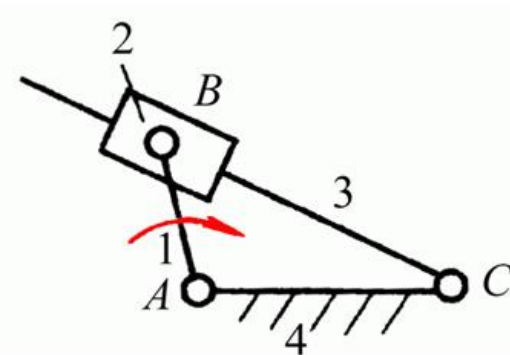
• 常见的四连杆机构



铰链四连杆机构



曲柄滑块机构



导杆机构

- 图中1为原动件，中间件2称为连杆，3为从动件
- 原动件1的运动经过一个不直接与机架相联的中间构件2才能传动从动件3

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： $l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$

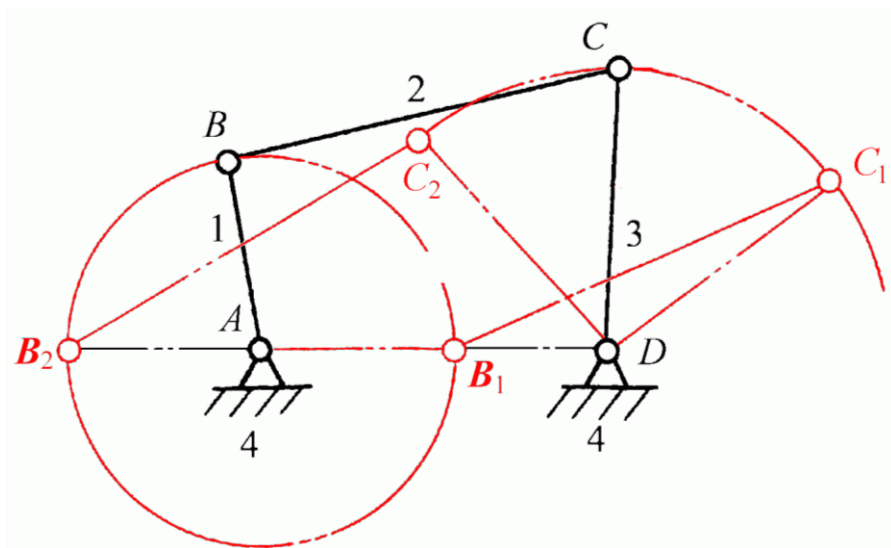
由 $\triangle B_1C_1D$ 可得：

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

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

将以上三式两两相加得（满足曲柄摇杆的条件）：

$$l_1 \leq l_2 \quad l_1 \leq l_3 \quad l_1 \leq l_4 \quad \rightarrow$$



AB 为最短杆，为曲柄摇杆机构

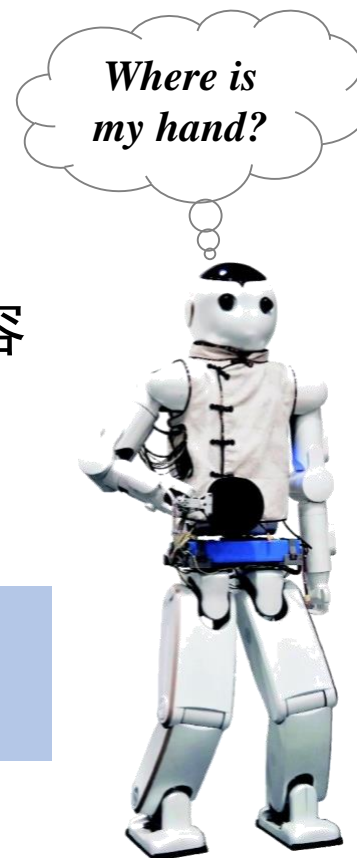
当最短杆为连杆 l_2 时，则为双摇杆机构！

当最短杆为机架 l_4 时，则为双曲柄机构！

机器人运动学

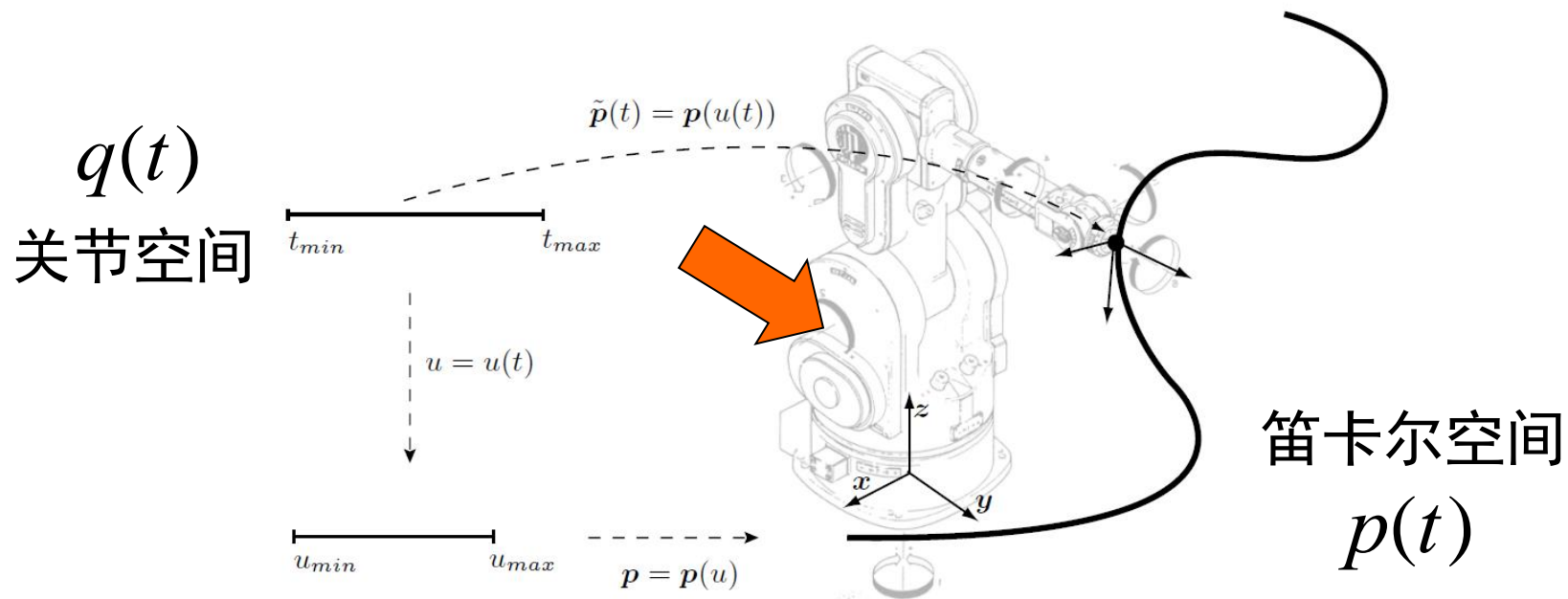
- **运动学 (Kinematics)** :是指机器人连杆的位置和姿态（简称：**位姿**）与关节角度关系的理论。
- **正运动学**：已知关节角，求连杆末端的位姿
- **逆运动学**：已知连杆末端的位姿，求关节角度
- 涉及内容：坐标变化、转动特性、空间速度等内容

**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**



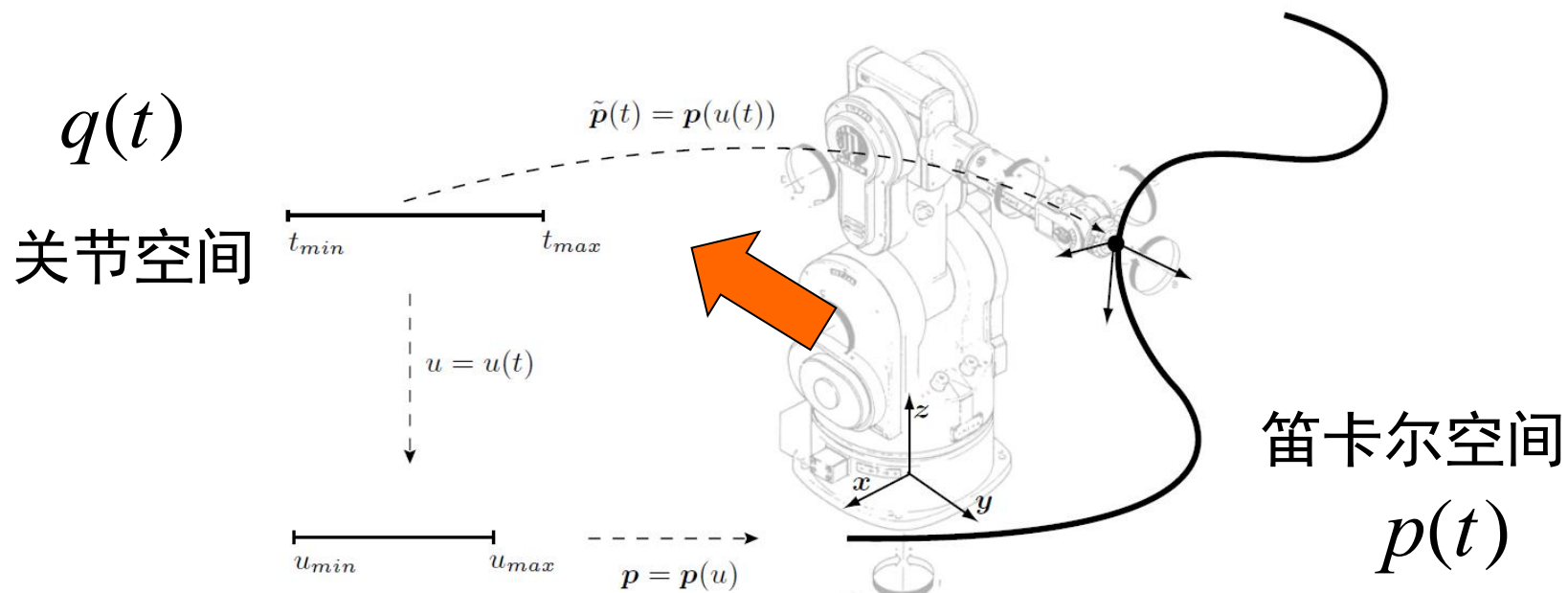
正运动学

- 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