Kinco步科

伺服选型计算

应用技术部
——李勇

2022

Kinco步科

1 物理概念及公式

2 选型计算概述

3 选型计算

物理概念及公式

直线运动：

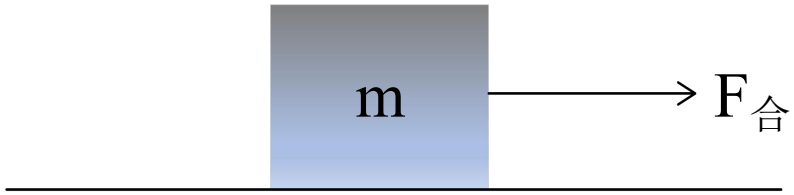
$$F=ma$$

$$S=\frac{1}{2}at^2$$

$$V=at$$

$$P=FV$$

$$W=FS$$



参数	描述	国际单位
S	距离	mm， cm， m
V	速度	mm/s， cm/s， m/s
a	加速度	mm/s^2， m/s^2
t	时间	s

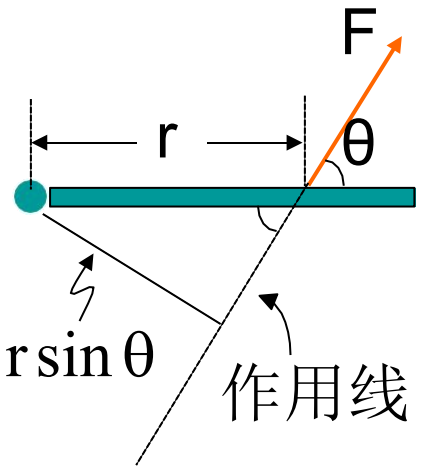
参数	描述	国际单位
F	力	N
P	功率	W
W	功	J
m	质量	kg

Kinco步科
让中国制造成为全球顶级制造

物理概念及公式

转矩：

- 转矩的意义：使物体转动状态产生变化的因素，即当物体受到不为零的外力矩作用，原来静止的将开始转动，原来已转动的，转速将产生改变。
- 转矩的定义：考虑开门的情况，如右图，欲让门产生运动，必须施加一个外力F 。施力点离转轴越近越容易让门转动。而外力平形于门面的分力对门的转动并无效果，只有垂直于门面的分力能让门转动。综合以上因素，定义转矩，以符号T表示。



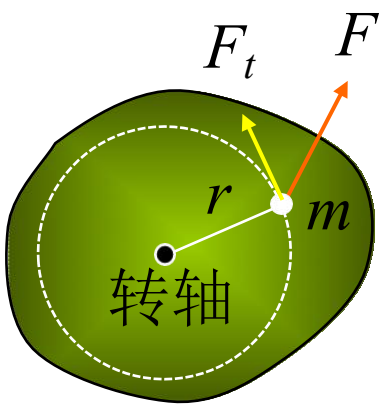
$$\mathrm{T} = rF\sin\theta = F(r\sin\theta) = \text{力量} \times \text{力臂}$$

Kinco步科
让中国制造成为全球顶级制造

物理概念及公式

转动方程式：

考虑一绕固定轴转动的刚体（如右图）。距离转轴r处的一质量为m的质点，受到一力量F的作用，这个力会产生一个切向力F_t，切向力对运动物体的作用会产生加速度，这个加速度就是切向加速度，它起到了改变瞬时速度大小的作用。据切线方向的牛顿第二运动定律：



$$F_t = ma_t \qquad \alpha = ra_t$$

$$\Rightarrow rF_t = rma_t$$

$$\Rightarrow T = mr^2\alpha$$

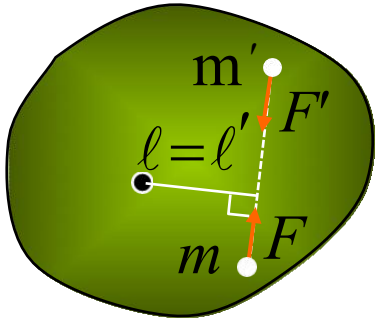
a_t切向加速度　　α角加速度

Kinco步科
让中国制造成为全球顶级制造

物理概念及公式

将刚体看成是由许多质点所构成，则每一个质点都满足类似的方程式

$$T_i = m_i r_i^2 \alpha \qquad i = 1, 2, 3, \cdots, n$$



对每一个质点做累加即可得到：

$$\sum_i T_i = \left(\sum_i m_i r_i^2\right)\alpha$$

左边的合力矩只需考虑外力所产生的力矩，由内力所产生的力矩将会两两互相抵消，如右上图所示。括号中的量称为刚体的转动惯量，以符号J表示。转动惯量的定义：各质点的质量与该质点到转轴距离平方乘积之和，为描述转动惯性大小的物理量。

$$J = \sum_i m_i r_i^2$$

则上面导出的转动方程式可写为：

$$T = J\alpha$$

此方程式为绕固定轴转动的刚体所必须遵守的基本力学方程式

物理概念及公式

旋转运动：

$T=J\alpha$　　$F=ma$

$\omega=\alpha t$　　$V=at$

$P=T\omega$　　$P=FV$

$W=T\theta$　　$W=FS$

角度、弧度、转之间的关系：

1r（转）=2π（弧度）=360度

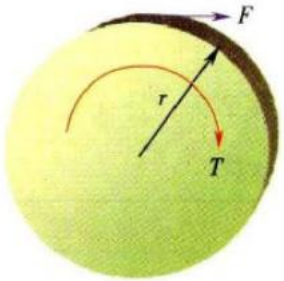
参数	描述	国际单位
θ	角度	rad（弧度）
ω	角速度	rad/s
α	角加速度	rad/s^2
t	时间	s
n	转速	RPM

参数	描述	国际单位
T	转矩	N·m
P	功率	W
W	功	J
J	转动惯量	$kg.m^2$

物理概念及公式

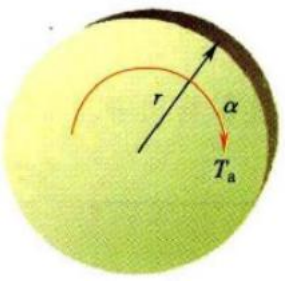
转矩分类：

- 普通转矩主要是克服摩擦力、重力等外力需要的转矩
- 加速转矩是克服物体惯量需要的转矩



普通转矩：

T=Fr



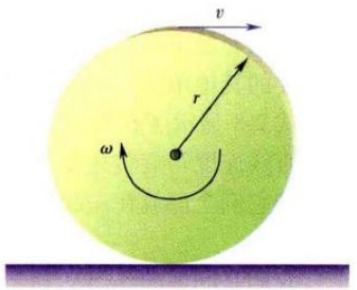
加速转矩：

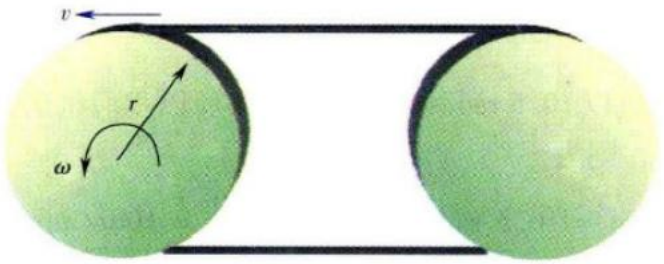
Ta=Jα

物理概念及公式

线速度与角速度：

- 线速度V反映单位时间内直线位移的变化
- 角速度ω反映单位时间内角度的变化
- v=r*ω





选型计算概述

伺服的选型原则：

- 伺服系统由伺服驱动器和伺服电机组成，其中最关键的又是伺服电机的确定，伺服电机型号的确定遵循以下原则：
  1. 电机最大转速 > 系统所需之最高移动转速。
  2. 电机的转子惯量与负载惯量相匹配。
  3. 连续负载工作转矩<电机额定转矩
  4. 电机最大输出转矩 > 系统所需最大转矩（加速时转矩）
- 总结：**扭矩、速度达到系统要求，转子惯量与负载惯量相匹配。**

选型计算概述

选型计算步骤：

1.转矩计算

连续负载工作转矩(T_L)；

加速时转矩(T_S)；

2. 速度计算

负载端转速；

电机端转速；

3. 惯量匹配计算（J_L/J_M）

选型计算概述

转矩计算：

- 电机转矩计算包括负载转矩T_L和启动转矩T_S，$T=(T_L+T_S)\ xS$，S: 安全系数。

  T_L:克服外力所需要的力矩，跟机械结构有关，如果是水平运动时主要是克服摩擦力，垂直运动时还要克服重力等的影响。
  T_S: 启动需要的转矩，也就是产生角加速度所需要的转矩，根据公式$Ts=J\alpha$
  J = 电机转子惯量和负载惯量折算到电机轴的惯量的和
  α=电机轴角加速度。

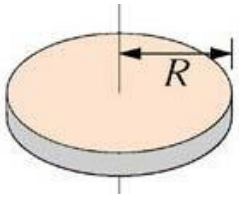
  计算TS的关键为惯量的计算。

选型计算

常见物体惯量的计算：

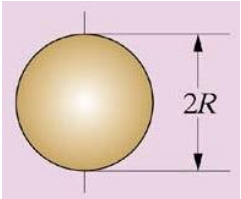
- 转动惯量在转动力学中的角色就像质量在移动力学中所扮演的角色，即转动惯量越大的刚体角速度越不容易产生变化。刚体的转动惯量与其转轴的位置与质量的分布有关。
- 刚体的质量如果呈连续分布，则转动惯量必须以积分的方式计算。

圆盘



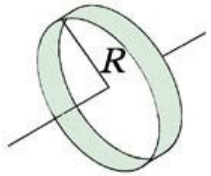
$$J = \frac{1}{2} mR^2$$

实心球体



$$J = \frac{1}{5} mR^2$$

薄圆环

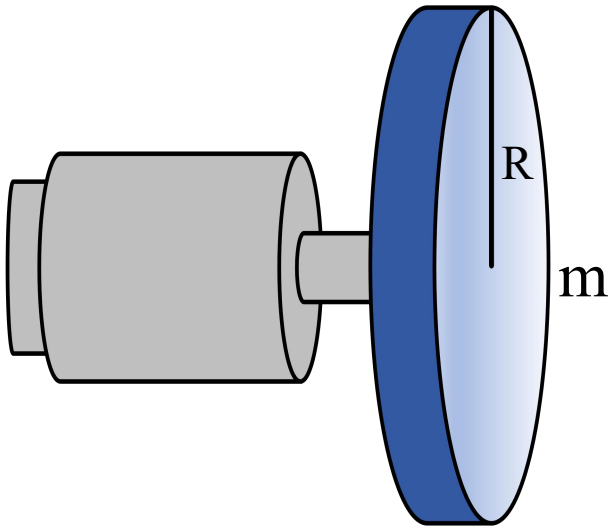


$$J = mR^2$$

选型计算

常见传动机构转动惯量的计算：

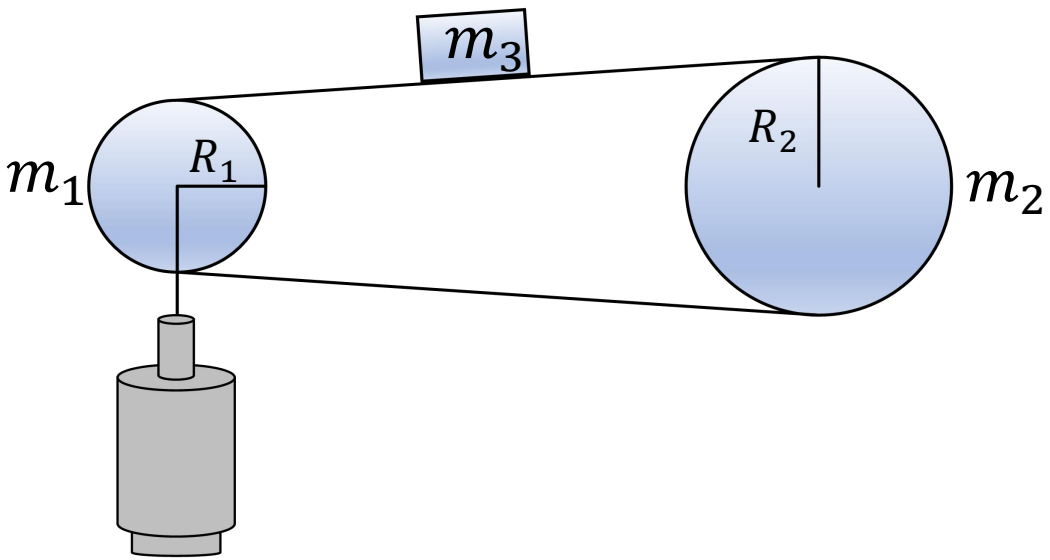
- **直接驱动**
  J_T：负载折算到电机转子的总惯量
  J_L：负载惯量；J_M：电机转子惯量
  $J_T = J_L + J_M$
  $J_L = \frac{1}{2} m R^2$



选型计算

常见传动机构转动惯量的计算：

- **同步带传动**



J_T：负载折算到电机转子的总惯量
J_L：负载惯量；J_M：电机转子惯量
$J_T = J_L + J_M$
小轮质量m_1(kg)
小轮半径R_1(m)
小轮2质量m_2(kg)
小轮2半径R_2(m)
重物及同步带总质量m_3(kg)
减速比$i = \frac{R2}{R1}$

$$J_L = \frac{1}{2} m_1 {R_1}^2 + (\frac{1}{2} m_2 {R_2}^2)/i^2 + m_3 {R_1}^2$$

选型计算

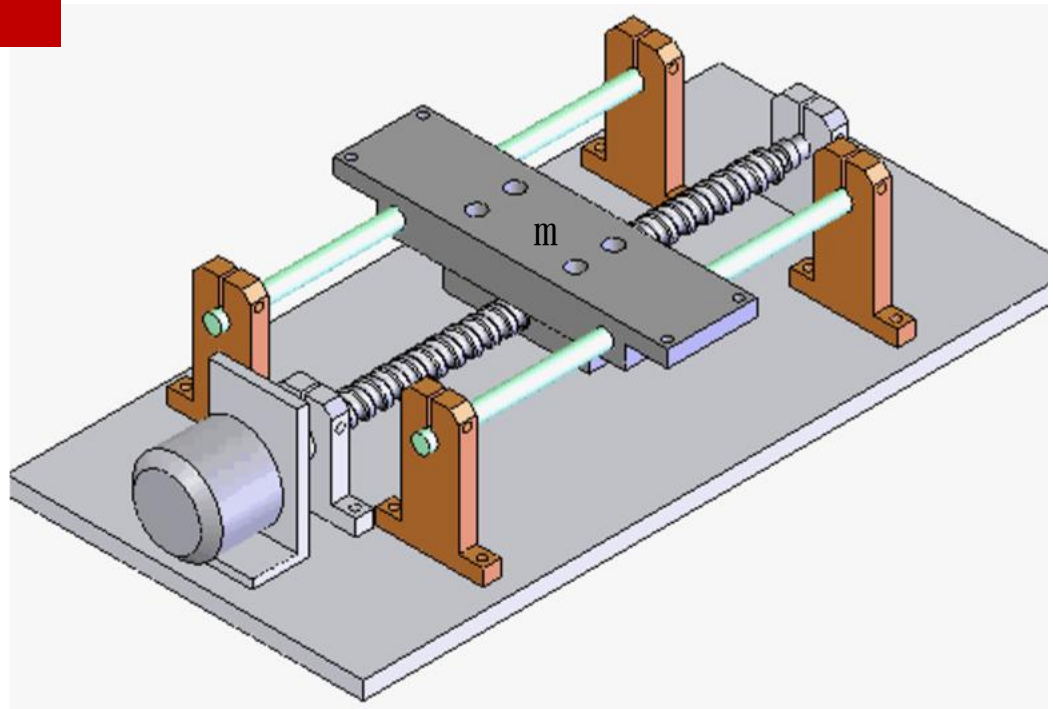
常见传动机构转动惯量的计算：

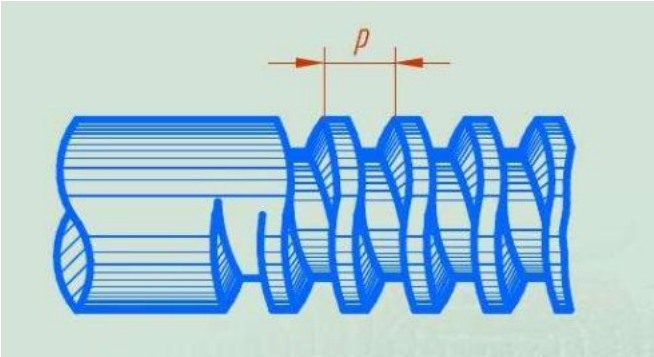
- **丝杠传动**

P： 导程，m：负载的质量，J_B：丝杆惯量 J_M：电机惯量

$$J_L = m\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2$$

$$J_T = J_L + J_M + J_B$$





选型计算

例1：直接驱动

当电机直接驱动一个圆盘，要求转速在300RPM，
启动时间为1s，圆盘的质量为10Kg，半径100mm。

根据圆盘惯量的计算公式：

$J_L=0.5M\ R^2=0.5x10x0.1^2=0.05kg.m^2$

计算角加速度α:

$\alpha=(2\pi)\ x300/(60x1)=31.4rad/s^2$

计算启动转矩Ts:

$Ts=(J_L+J_M)\ \alpha=(0.05+J_M)x31.4=1.57+31.4J_M$

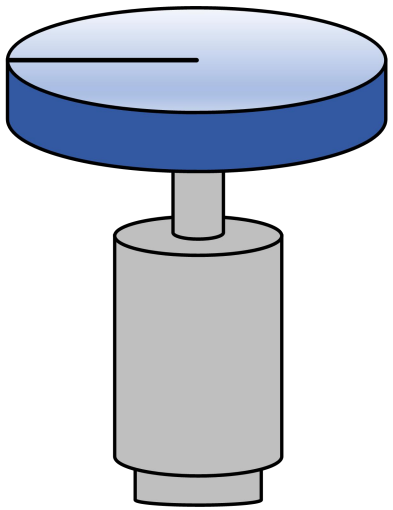
必须扭矩：

T= S x Ts(在这里把克服空气阻力略去）S＝2，得出：

$T=3.14+62.8J_M>3.14N.m$

取最大惯量电机，惯量$J_M=1.1x10^{-3}$ kg.m2，$J_L/J_M=46$

考虑到惯量比远大于3 - 5的理想范围，所以，该系统不适合直接驱动，可以考虑通过减速比减小惯量比，选型时也需要注意这点。



选型计算

- **例2：滚珠丝杆传动**

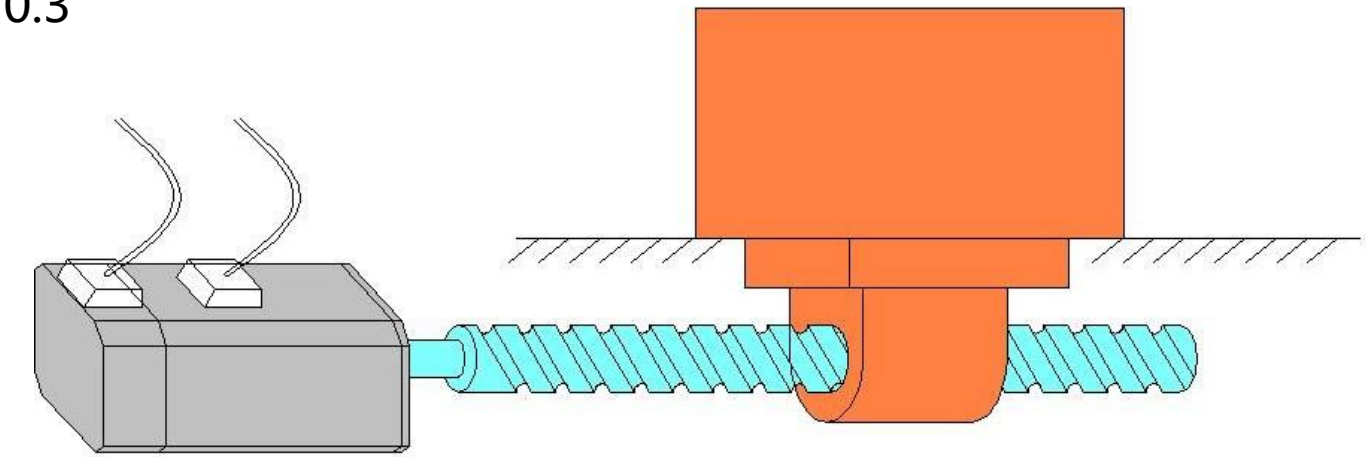
  物体运动速度要求V=5.0m/min; 滑动部分质量：M=50Kg

  丝杆长度 L_B=1.4m; 丝杆直径D_B=0.012m;

  丝杆导程P_B=0.01m; 联轴器质量Mc=0.2Kg

  联轴器外径D_C=0.04m; 磨擦系数：u =0.3

  加速时间t_0 =0.1s; 机械效率n=0.9



选型计算

(1) 电机转速：$n=V/P_B=5.0/0.01=500(rpm)$

(2) 克服磨擦力需要的扭矩：

$f P_B = T_L 2\pi\eta$, f - 摩擦力 $f = \mu Mg$

$T_L=Mg\mu P_B/(2\pi\eta)=50x9.8x0.3x0.01/(2\pi x0.9)=0.26N.m$

(3)根据前面的计算公式得出负载惯量为

水平直线运动负载 $J_{LM}=M\ (P_B/2\pi)^2=50x(0.01/2\pi)^2=1.26x10^{-4}(Kg.m^2)$

滚珠丝杆 $J_B=0.224x10^{-4}(Kg.m^2)$按圆柱体的方式计算

联轴器 $J_C=0.4x10^{-4}(Kg.m^2)$

负荷惯量 $J_L=J_{LM}+J_B+J_C=1.88\ x10^{-4}(Kg.m^2)$

(4)根据惯量计算启动所需要的扭矩：

$Ts=(J_L+J_M)\alpha$

$\alpha=2\pi*N/60t_0=523.6\ rad/s^2$

$Ts=0.0984+523.6J_M(N.m)$

(5)最终计算的电机扭矩

负载扭矩：$T_L=0.26(N.m)$

产生加速度所需扭力： $Ts=0.0984+523.6J_M\ (N.m)$

选型计算

必须扭矩：

$T = (T_L + T_S) \times S$, S为安全系数，一般为2～3

$T = (0.26 + 0.0984 + 523.6J_M) \times 2$

$= (0.36 + 523.6J_M) \times 2$

$= (0.36 + 0.575) \times 2 = 1.87(N.m)$

按最大惯量电机J_M计算，$J_M = 1.1 \times 10^{-3}\ kg.m^2$

选型计算

《力矩计算的另外一种简化算法》

- 以上的计算也可以从能量守恒的角度出发:
  （力）x（力运动方向的位移）＝电机扭力 x（轴旋转角度）

- 简单计算方法:
  电机转动一圈（2 π角位移），物体移动距离P, 得出 FxP =Tx2π计算。其中F是作用在负载上的合力在以上的计算中F=M a+f，a=Vl/t0.

选型计算

惯量匹配

惯量比：负载惯量J_L与电机转子惯量J_M之比

1．转动惯量对伺服系统的精度，稳定性，动态响应都有影响，惯量大，系统的机械常数大，响应慢，会使系统的固有频率下降，容易产生谐振，因而限制了伺服带宽，影响了伺服精度和响应速度，因此，机械设计时在不影响系统刚度的条件下，应尽量减小惯量。

2. 衡量机械系统的动态特性时，惯量越小，系统的动态特性反应越好；惯量越大，马达的负载也就越大，越难控制，但机械系统的惯量需和马达惯量相匹配才行。不同的机构，对惯量匹配原则有不同的选择，且有不同的作用表现。

理论：$J_L \leq 3J_M$

谢 谢

Thank you

Kinco步科

聚焦行业与客户深度链接

www.kinco.cn
sales@kinco.cn