

# 案例11：上坡平皮带输送负载计算和伺服选型

## 条件

1. 输送方式：上坡输送，坡度 $\theta=10^\circ$ ，输送物最大质量  $m_1=25\text{kg}$ (含输送皮带)
2. 输送皮带支撑面：钢板，摩擦系数  $\mu=0.2$
3. 运转模式：间歇运转，每次起停输送物前进距离  $L=0.5\text{m}$
4. 每次起停加速时间  $t_a=0.1\text{s}$ ，匀速时间  $t_c=0.8\text{s}$ ，减速时间  $t_d=0.1\text{s}$   
停顿时间  $t_e=1\text{s}$ ，每分钟间歇循环次数=30次
5. 牵引滚筒直径  $D_1=\Phi 0.05\text{m}$ （半径 $R_1=0.025\text{m}$ ），每支滚筒（牵引和被牵引滚筒）质量  $m_2=2\text{kg}$
6. 两个同步带轮尺寸相同，节圆直径 $D_2=\Phi 0.06\text{m}$ （半径 $R_2=0.03\text{m}$ ），每个同步带轮质量  $m_3=1\text{kg}$
7. 同步带质量  $m_4=1\text{kg}$

## 计算

1. 运动曲线
2. 计算连续最大负载转矩

- 1) 输送物质量（含皮带）产生的摩擦转矩 $M_1$

$$M_1 = m_1 \times 9.8 \times \cos\theta \times \mu \times R_1$$

$$= 25 \times 9.8 \times \cos 10^\circ \times 0.2 \times 0.025 = 1.21\text{N} \cdot \text{m}$$

- 2) 输送物上坡产生的提升分力负载转矩 $M_2$

$$M_2 = m_1 \times 9.8 \times \sin\theta \times R_1$$

$$= 25 \times 9.8 \times \sin 10^\circ \times 0.025 = 1.06\text{N} \cdot \text{m}$$

- 3) 连续最大负载转矩 $M_3$

$$M_3 = M_1 + M_2 = 1.21 + 1.06 = 2.27\text{N} \cdot \text{m}$$

3. 计算瞬间最大负载转矩

- 1) 换算到减速电机输出轴的负载惯量 $J_1$

输送物（含输送皮带）惯量 $J_2$   
 牵引滚筒惯量 $J_3$   
 同步带轮惯量 $J_4$   
 同步带惯量 $J_5$

$$J_1 = \frac{m_1 \times D_1^2}{4} + \frac{m_2 \times D_1^2}{8} \times 2 + \frac{m_3 \times D_2^2}{8} \times 2 + \frac{m_4 \times D_2^2}{4}$$

$$= \frac{25 \times 0.05^2}{4} + \frac{2 \times 0.05^2}{8} \times 2 + \frac{1 \times 0.06^2}{8} \times 2 + \frac{1 \times 0.06^2}{4}$$

$$= 0.0156 + 0.00125 + 0.0009 + 0.0009 = 0.0187\text{kg} \cdot \text{m}^2$$

- 2) 最高负载移动速度  $V_1$

根据运动曲线：

$$\frac{t_a \times V_1}{2} + t_c \times V_1 + \frac{t_d \times V_1}{2} = 0.5\text{m} \quad \text{即} \quad \frac{0.1 \times V_1}{2} + 0.8 \times V_1 + \frac{0.1 \times V_1}{2} = 0.5\text{m}$$

$$0.9V_1 = 0.5\text{m} \quad \text{求得} \quad V_1 = 0.556\text{m/s}$$

- 3) 最高负载转速 $n_1$

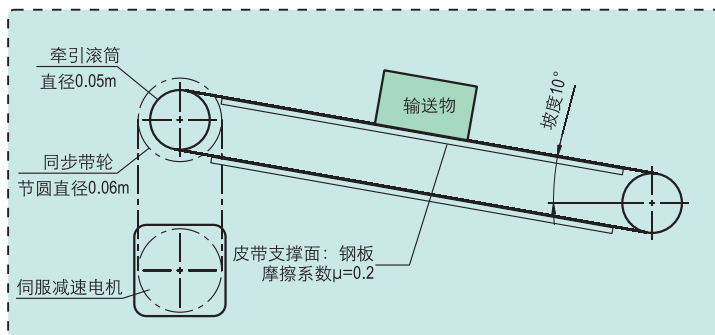
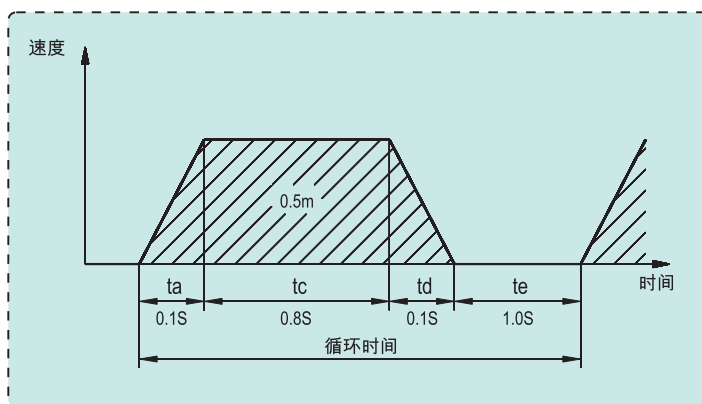
$$n_1 = \frac{V_1}{\pi D_1} = \frac{0.556}{\pi \times 0.05} = 3.54\text{r/s} = 212.5\text{r/min}$$

- 4) 负载加速度转矩 $M_4$

$$M_4 = \frac{J_1 \times 2 \pi \times n_1}{t_a} = \frac{0.0187 \times 2 \pi \times 3.54}{0.1} = 4.16\text{N} \cdot \text{m}$$

- 5) 瞬间最大负载转矩 $M_5$

$$M_5 = M_3 + M_4 = 2.27 + 4.16 = 6.43\text{N} \cdot \text{m}$$



为防止电机过热，电机每分钟的瞬间最大转矩累计时间一般不大于10秒  
 本案例中每分钟间歇循环次数为30次，累计时间=30×0.1s=3s，符合要求

4. 根据以下条件选择合适的伺服减速电机

- 1) 伺服减速电机额定转速  $n_{m1} > n_1=212.5r/min$
- 2) 伺服减速电机额定转矩  $M_{m1} > M_3 \times 1.5$ 倍安全系数 $=2.27 \times 1.5=3.4N \cdot m$
- 3) 伺服减速电机瞬间最大转矩  $M_{m2} > M_5 \times 2$ 倍安全系数 $=6.43 \times 2=12.9N \cdot m$

查阅综合目录，选400W伺服减速电机，速比  $i=5$ ，型号 **MG60A040Y22HF5**

额定转速  $n_{m1} = 600r/min > 212.5r/min$

额定转矩  $M_{m1} = 5.8N \cdot m > 3.4N \cdot m$

瞬间最大转矩  $M_{m2} = 20.2N \cdot m > 12.9N \cdot m$

伺服减速电机输出端型式为标准法兰式，方便安装同步带轮，

并实现正反转无间隙配合



伺服减速电机：MG60A040Y22HF5

伺服驱动器：MKA040Y22

5. 验算惯量比JR

所选电机转子惯量  $J_m = 42 \times 10^{-6} kg \cdot m^2$

$$\text{惯量比 } JR = \frac{J_1}{J_m \times i^2} = \frac{0.0187}{42 \times 10^{-6} \times 5^2} = 17.8 \text{ 倍} < 20 \text{ 倍}$$



编码器线：MXA60E □

6. 验算径向负载与轴向负载

- 1) 换算到减速电机输出轴的径向负载 $F_{r1}$

$F_{r1}$ =同步带传递转矩时的切向力  $F_t$  + 同步带张紧力  $F_0$

$$\text{其中：} F_t = \frac{M_4 \times 2 \text{倍安全系数}}{R_2} = \frac{6.43 \times 2}{0.03} = 429N$$

$F_0$ 可依据同步带型和带宽，从机械设计手册查得，或以 $F_0=0.5F_t$ 估算

此处设  $F_0 = 215N$

则  $F_{r1} = 429N + 215N = 644N$

设同步带轮宽  $B_1=22mm$ ，依据综合目录中的对应的“径向、轴向容许负载表”

计算伺服减速电机输出轴可承受的径向力  $F_r$

$$F_r = \frac{39060}{x+25.5} = \frac{39060}{B_1 \div 2 + 25.5} = \frac{39060}{22 \div 2 + 25.5} = 1070N$$

则  $F_{r1} = 644N < F_r = 1070N$ 满足要求

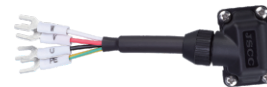
- 2) 正常安装同步带轮，轴向力  $F_{a1}=0$

依据综合目录中对应的“径向、轴向容许负载表”

查得伺服减速电机输出轴可承受的轴向力  $F_a = 605N$

则  $F_{a1} = 0 < F_a = 605N$ 满足要求

通过上述步骤，验证了本次选型的伺服减速电机在容量上符合使用条件



动力线：MXA60M □

7. 计算电子齿轮比D

- 1) 伺服电机编码器分辨率  $E = 131072$  脉冲/圈
- 2) 电气停止精度  $\delta = \pm 0.01mm$ ，机构运动分辨率  $W = 0.01 mm/脉冲$

$$D = \frac{F1-09/F1-10}{F1-11/F1-12} = \frac{W \cdot E \cdot i}{P_h} = \frac{0.01 \times 131072 \times 1}{10} = \frac{131072}{1000}$$

F1-09/F1-10：电子齿轮比分子，F1-11/F1-12：电子齿轮比分母，菜单设定范围：1~9999。

- 3) 求得 F1-09 = 13 F1-10 = 1072 F1-11 = 0 F1-12 = 1000

8. 验算PLC或运动控制器高速脉冲最高输出频率能否满足伺服电机最高工作转速要求，若无法满足，需增大机器运动分辨率W，修改电子齿轮比D。

- 1) 伺服电机未减速前最高工作转速  $n_2 = n_1 \times i = 3.54 \times 5 = 17.7r/s$
- 2) 电机以最高工作转速运转时所需的高速脉冲最高频率  $f_1 = \frac{n_2 \times E}{D} = \frac{17.7 \times 131072 \times 1570}{65536} = 55.58kHz$

PLC或运动控制器高速脉冲最高输出频率  $f_2 = 100kHz > f_1 = 55.58kHz$  满足要求

通过上述步骤，验证了本次选型的伺服减速电机在位置控制上符合使用条件