

伺服电机容量选择指南

引言

本文档以实例为基础，通过对机械系统部件构成及运行情况的计算，得出必要的电机容量参数，方便客户选择合适的伺服电机。容量选择计算，主要流程如图 1 所示，主要计算项目包括：

负载惯量（机械负载系统的惯量）

负载转矩（驱动机械所需转矩）

运行模式（加/减速时间）

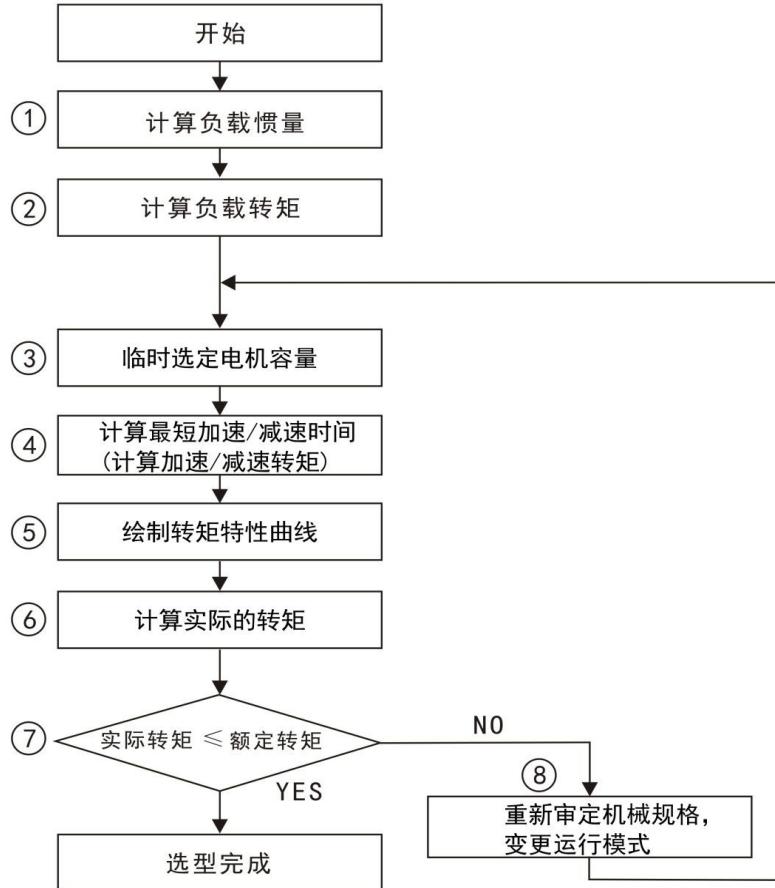


图 1 容量选择流程图

容量选择流程

1) 计算负载惯量 (J_L)

计算对于电机轴换算的机械系统负载惯量；
计算电机旋转时随转动部分的惯量，并求出总和；

2) 计算负载转矩 (T_L)

计算对于电机轴换算的负载转矩；

3) 临时选定电机容量

电机负载惯量 (J_R)

$$J_R \geq J_L / m$$

m 一般选择在(0 ~ 30)，视运行场景而定（运动部件移动速度快数值可以选择小点，运动部件移动速度缓慢数值可以选择大点）；

电机负载转矩 (T_N)

$$T_N \geq T_L / \lambda$$

λ 为安全系数；

4) 计算最短的加速/减速时间

根据临时选定电机参数计算出最短加速/减速时间
最短加速/减速时间：

$$t_{ac} = \frac{(J_R + J_L) \times 2\pi \times (N_1 - N_0)}{60 \times (T_P - T_L)}$$

已知最短加速/减速时间 t_{ac} ，计算加速/减速转矩

加速/减速转矩：

$$T_{AC} = \frac{(J_R + J_L) \times 2\pi \times (N_1 - N_0)}{60 \times t_{AC}} + T_L$$

J_R 伺服电机额定转子惯量

J_L 负载对电机的惯量

N_1 结束速度

N_0 开始速度

T_P 峰值力矩

T_L 负载转矩

t_{ac} 最短加减速时间

5) 绘制转矩特性曲线

由运动模式，周期运行时间和速度关系如图 2，输出转矩绘制输出转矩特性曲线如图 3 所示。

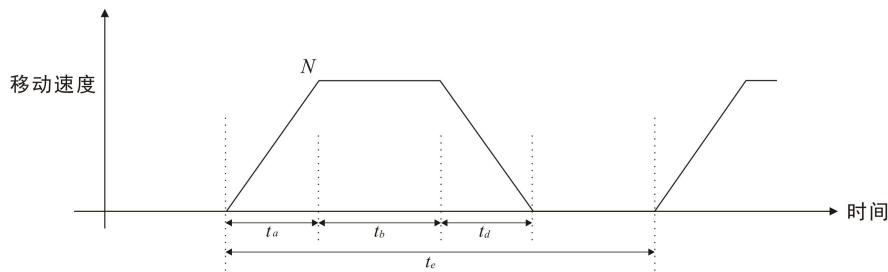


图 2 电机运转速度与时间关系图

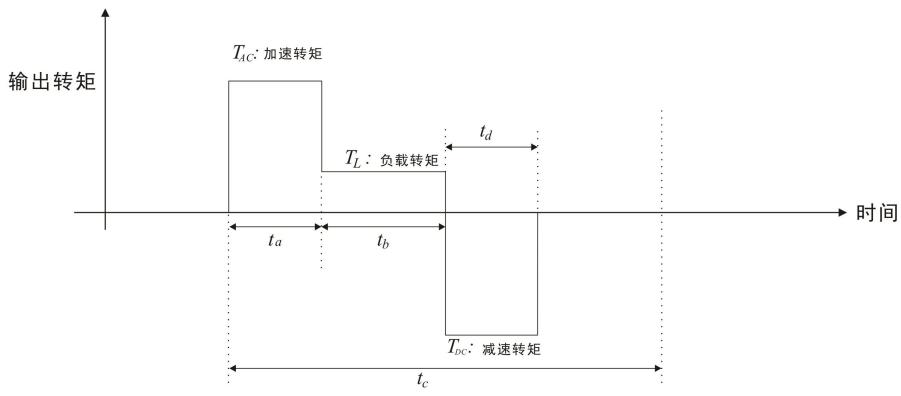


图 3 电机负载转矩与时间关系图

6) 计算实际转矩 (T_{rms})

计算一个循环周期内实际转矩。

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{(T_{AC}^2 \times t_a) + (T_L^2 \times t_b) + (T_{DC}^2 \times t_d)}{t_C}}$$

7) 比较实际转矩和额定转矩

如果实际转矩小于额定转矩，则符合运转需求，可以购买使用。

如果实际转矩大于额定转矩，则重新审核方案。

8) 电机方案重新审核

- 加大电机容量
- 延长运转频率（周期时间）
- 允许范围内，将加速/减速时间加长一些
- 当旋转速度有余量时，加大减速比
- 当升降机型停止时间长时，加机型制动
- 高频率运行时，尽量加大减速比，减少惯量矩

容量选择计算实例

滚珠丝杆机构为例

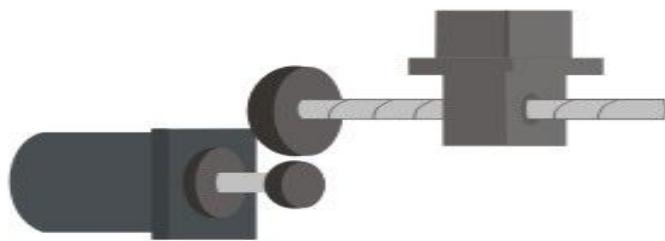


图 4 滚珠丝杆模型图

丝杆直径: $B_d = 20\text{mm}$

丝杆长度: $B_l = 0.5\text{m}$

丝杆螺距: $B_p = 20\text{mm}$

负载质量: $W_l = 10\text{kg}$

摩擦系数: $\mu = 0.1$

机型效率: $\eta = 0.9$

减速比: $GL = 0.5$

安全系数: $\lambda = 0.9$

减速部件惯量: $J_c \approx 10 \times 10^{-6} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$

-----可参考附录

运转模式

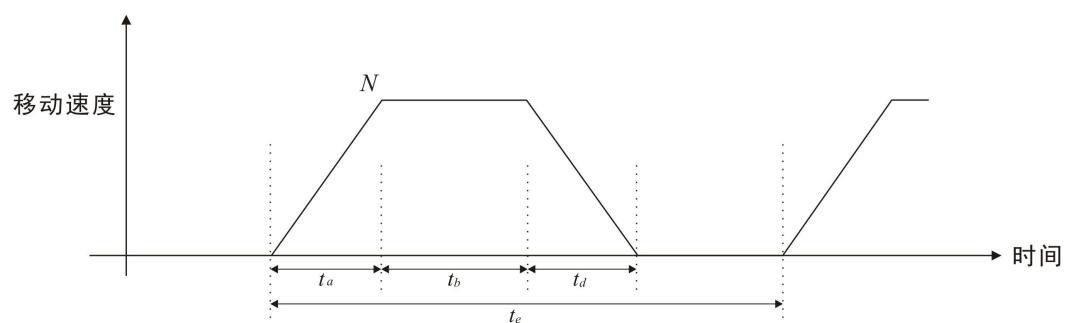


图 5 模型台面移动速度与时间关系图

加速时间 $t_a = 0.1\text{s}$

匀速时间 $t_b = 0.8\text{s}$

减速时间 $t_d = 0.1\text{s}$

循环时间 $t_c = 2\text{s}$

移动距离 $l = 0.3\text{m}$

◆ 计算负载惯量 (J_L)

丝杆质量:

$$\begin{aligned} B_w &= \rho \pi \left(\frac{B_d}{2} \right)^2 B_l \\ &= 7.9 \times 10^3 \times 3.14 \times \left(\frac{20}{1000 \times 2} \right)^2 \times 0.5 \\ &= 1.24 \text{ Kg} \end{aligned}$$

丝杆惯量:

$$\begin{aligned} J_b &= \frac{1}{2} \cdot B_w \cdot \left(\frac{B_d}{2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1.24 \times \left(\frac{20}{2 \times 1000} \right)^2 \\ &= 6.2 \times 10^{-5} \text{ Kg} \cdot m^2 \end{aligned}$$

台面负载惯量:

$$\begin{aligned} J_t &= \frac{W_l \cdot B_p^2}{4 \pi^2} \\ &= \frac{10 \times 0.02^2}{4 \times 3.14^2} \\ &= 1.0 \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot m^2 \end{aligned}$$

负载总惯量:

$$\begin{aligned} J_L &= J_c + J_b + J_t \\ &= 10 \times 10^{-6} + 6.2 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-4} \\ &= 1.72 \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot m^2 \end{aligned}$$

◆ 计算负载转矩 (T_L)

负载转矩:

$$\begin{aligned} T_L &= \frac{(\mu \cdot g \cdot W_l + F)}{2\pi\eta} \left(\frac{B_p}{1000} \right) GL \\ &= \frac{(0.1 \times 9.81 \times 10)}{2 \times 3.14 \times 0.9} \times \left(\frac{20}{1000} \right) \times 0.5 \\ &= 0.017 \text{ Nm} \end{aligned}$$

◆ 临时选定电机容量

假设惯量比: $m = 15$

电机额定惯量:

$$\begin{aligned} J_R &\geq \frac{J_L}{m} \\ &\geq 1.72 \times 10^{-4} / 15 \\ &\geq 1.15 \times 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

电机额定力矩:

$$\begin{aligned} T_N &\geq \frac{T_L}{\lambda} \\ &\geq 0.017 / 0.9 \\ &\geq 0.019 \text{ Nm} \end{aligned}$$

查电机参数列表, 初步选择电机为 60BL A20-30 (200W) 型号电机。

该型号额定转子惯量 $J_R = 0.167 \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

额定力矩 $T_N = 0.637 \text{ Nm}$

峰值力矩 $T_P = 1.911 \text{ Nm}$

◆ 计算最短的加速/减速时间

已知移动距离 0.3m, 求得最大速度 V_{\max}

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times V_{\max} \times t_a + V_{\max} \times t_b + \frac{1}{2} \times V_{\max} \times t_d &= l \\ V_{\max} &= 0.334 \text{ m/s} \end{aligned}$$

换算成电机转速 N

$$\begin{aligned} N &= 60 \frac{V_{\max}}{B_p \times GL} \\ &= 60 \times \frac{0.334}{0.02 \times 0.5} \\ &= 2004 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$N <$ 预选电机额定转速 $n_N(3000_{\text{rpm}})$ -----符合要求

最短加减速时间:

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{(J_R + J_L) \times 2\pi \times (N_1 - N_0)}{60(T_P - T_L)} \\ &= \frac{(0.167 + 1.72) \times 10^{-4} \times 2 \times 3.14 \times 2004}{60 \times (1.911 - 0.017)} \\ &= 0.02 \text{ s} \end{aligned}$$

知最短加减速时间 $t_{AC} = 0.1s$, 求加减速转矩

$$T_a = \frac{(J_R + J_L) \times 2\pi \times (N_1 - N_0)}{60t_{AC}} + T_L$$

$$= \frac{(0.167 + 1.72) \times 10^{-4} \times 2 \times 3.14 \times 2004}{60 \times 0.1} + 0.017$$

$$= 0.41 \text{ Nm}$$

$$T_d = \frac{(J_R + J_L) \times 2\pi \times (N_1 - N_0)}{60t_{AC}} - T_L$$

$$= \frac{(0.167 + 1.72) \times 10^{-4} \times 2 \times 3.14 \times 2004}{60 \times 0.1} - 0.017$$

$$= 0.37 \text{ Nm}$$

$T_a(0.41 \text{ Nm}) < T_p(1.911 \text{ Nm})$ (预选电机最大转矩) -----符合要求

◆ 绘制转矩特性曲线

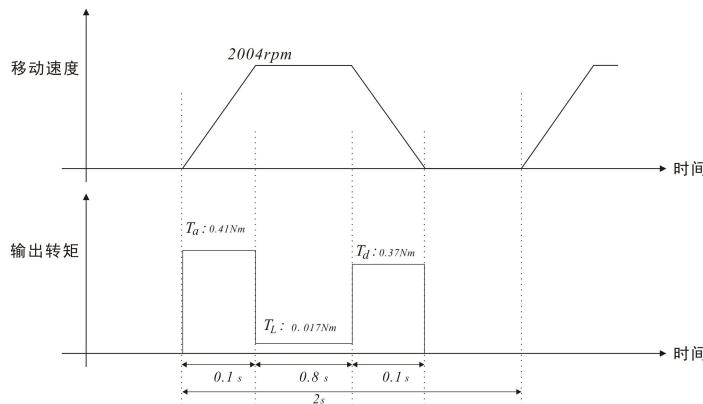


图 6 模型台面移动速度与输出转矩关系图

◆ 计算实际转矩 (T_{rms})

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{(T_a^2 \times t_a) + (T_L^2 \times t_b) + (T_d^2 \times t_d)}{t_c}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0.41^2 \times 0.1) + (0.017^2 \times 0.8) + (0.37^2 \times 0.1)}{2}}$$

$$= 0.124 \text{ N}_m$$

◆ 实际转矩对比预选电机额定力矩

$T_{rms}(0.124 \text{ N}_m) < T_N(0.637 \text{ N}_m)$ -----符合要求

(说明预选电机各项参数指标在合理使用范围内, 预选电机 60BLA20-30 (200W) 型号电机可以使用。)

附录

〈参考〉

摩擦系数 μ 的目标值

机构	摩擦系数
轨道和铁车轮 (台车, 吊车)	0 . 0 5
直线导轨	0 . 0 5 ~ 0 . 2
滚珠花键轴	
滚柱工作台	
滚柱系统	

材质密度

材质	密度: kg/m ³
铜	8.96X10 ³
黄铜	8.54X10 ³
不锈钢	7.91X10 ³
铁	7.85X10 ³
铝	2.7 X10 ³
聚缩醛	1.43X10 ³

机械效率 η 的目标值

机构	机械效率
台式丝杠	0.5 ~ 0.8
滚珠丝杠	0.9
齿条和小齿轮	0.8
齿轮减速器	0.8 ~ 0.95
蜗轮减速器(起动)	0.5 ~ 0.7
蜗轮减速器 (运行中)	0.6 ~ 0.8
皮带传动	0.95
链条传动	0.9

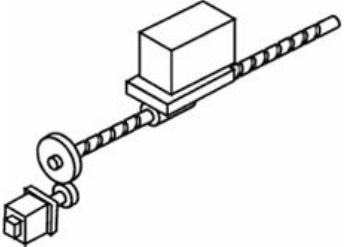
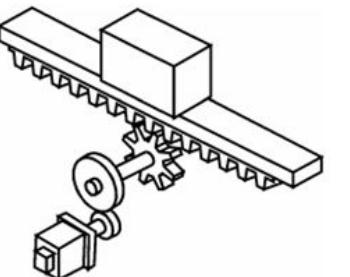
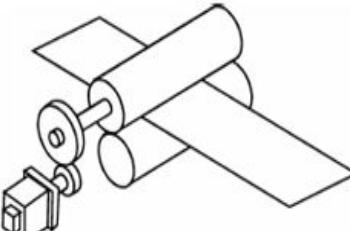
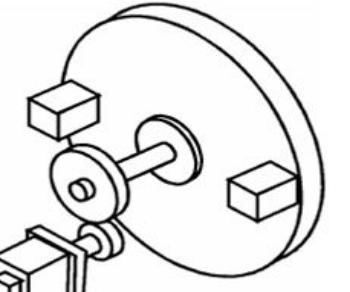
附录

〈惯量计算〉

<p>Diagram of a cylindrical object with two different diameters, D_1 and D_2, rotating about its longitudinal axis (J_z). The cylinder has length L. Axes J_x and J_y are shown perpendicular to the cylinder's longitudinal axis.</p>	$J_z = \frac{W}{8} \left[\left(\frac{D_2}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{D_1}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $= \frac{\pi \rho}{32} \left(\frac{L}{10^{-3}} \right) \left[\left(\frac{D_2}{10^{-3}} \right)^4 + \left(\frac{D_1}{10^{-3}} \right)^4 \right]$ $J_x = J_y = \frac{W}{16} \left[\left(\frac{D_2}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{D_1}{10^{-3}} \right)^2 \right] + \frac{W}{12} \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2$ $W = \frac{\pi \rho}{4} \left(\frac{L}{10^{-3}} \right) \left[\left(\frac{D_2}{10^{-3}} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{10^{-3}} \right)^2 \right]$
<p>Diagram of a rectangular prism rotating about its longitudinal axis (J_z). The prism has length L, width B, and height A. Axes J_x and J_y are shown perpendicular to the cylinder's longitudinal axis.</p>	$J_x = \frac{W}{12} \left[\left(\frac{B}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $J_y = \frac{W}{12} \left[\left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{A}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $J_z = \frac{W}{12} \left[\left(\frac{B}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{A}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $W = \rho \left(\frac{A}{10^{-3}} \right) \left(\frac{B}{10^{-3}} \right) \left(\frac{C}{10^{-3}} \right)$
<p>Diagram of a rectangular prism with two different widths, A_1 and A_2, and two different heights, B_1 and B_2, rotating about its longitudinal axis (J_z). The prism has length L. Axes J_x and J_y are shown perpendicular to the cylinder's longitudinal axis.</p>	$J_x = \frac{W_2}{12} \left[\left(\frac{B_2}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 \right] - \frac{W_1}{12} \left[\left(\frac{B_1}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $J_y = \frac{W_2}{12} \left[\left(\frac{A_2}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 \right] - \frac{W_1}{12} \left[\left(\frac{A_1}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $J_z = \frac{W_2}{12} \left[\left(\frac{A_2}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{B_2}{10^{-3}} \right)^2 \right] - \frac{W_1}{12} \left[\left(\frac{A_1}{10^{-3}} \right)^2 + \left(\frac{B_1}{10^{-3}} \right)^2 \right]$ $W = \rho \left[\left(\frac{A_2}{10^{-3}} \right) \left(\frac{B_2}{10^{-3}} \right) - \left(\frac{A_1}{10^{-3}} \right) \left(\frac{B_1}{10^{-3}} \right) \right] \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)^2$ $W_2 = \rho \left(\frac{A_2}{10^{-3}} \right) \left(\frac{B_2}{10^{-3}} \right) \left(\frac{L}{10^{-3}} \right) \quad W_1 = \rho \left(\frac{A_1}{10^{-3}} \right) \left(\frac{B_1}{10^{-3}} \right) \left(\frac{L}{10^{-3}} \right)$

附录

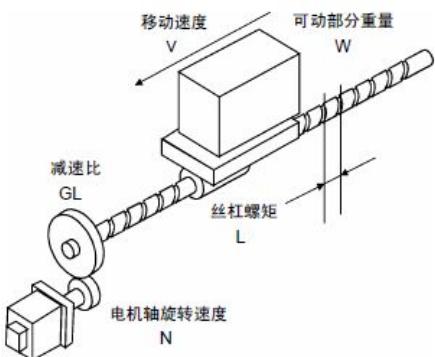
〈惯量换算〉

 <p>滚珠丝杠</p>	$J = W \left(\frac{1}{2\pi} \times \frac{BP}{10^3} \right)^2 \times GL^2$ <p>W: 可动部分总质量[Kg] BP: 丝杆螺距[mm] GL: 减速比</p>
 <p>齿条和小齿轮・传送带・链条传动</p>	$J = W \left(\frac{1}{2\pi} \times \frac{D}{10^3} \right)^2 \times GL^2$ <p>W: 可动部分总质量[Kg] D: 齿轮直径[mm] 链轮直径[mm] GL: 减速比</p>
 <p>进料辊</p>	$J = W \left(\frac{1}{2} \times \frac{D}{10^3} \right)^2 \times GL^2$ <p>W: 可动部分总质量[Kg] D: 辊子直径[mm] GL: 减速比</p>
 <p>旋转体・转盘驱动</p>	<p>物体相对于旋转轴的惯量</p> $J_{物} = \left[J + W \left(\frac{L}{10^3} \right)^2 \right] \times GL^2$ <p>W: 物体质量[Kg] J: 通过物体重心的惯量 L: 跟旋转轴的距离[mm] GL: 减速比</p>

附录

〈转矩计算〉

滚珠丝杠



$$T_L = \frac{(\mu W + F) \times 9.81}{2\pi\eta} \left(\frac{BP}{10^3} \right) \times GL$$

μ : 摩擦系数

BP: 丝杠螺矩[mm]

W, W_1 : 可动部分重量[kg]

W_2 : 配重重量[kg]

GL: 减速比(无单位) F: 推力[kg]

- 上升时(垂直)

$$T_L = \frac{((\mu + 1) W_1 - W_2) \times 9.81}{2\pi\eta} \left(\frac{BP}{10^3} \right) \times GL$$

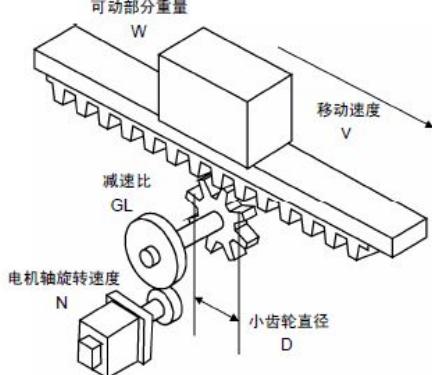
- 下降时(垂直)

$$T_L = \frac{((\mu - 1) W_1 - W_2) \times 9.81}{2\pi\eta} \left(\frac{BP}{10^3} \right) \times GL$$

- 停止时(垂直)

$$T_L = \frac{(W_1 - W_2) \times 9.81}{2\pi\eta} \left(\frac{BP}{10^3} \right) \times GL$$

传送带・齿条和小齿轮



$$T_L = \frac{(\mu W + F) \times 9.81}{\eta} \left(\frac{D}{2} \times \frac{1}{10^3} \right) \times GL$$

μ : 摩擦系数

D: 直径[mm]

W, W_1 : 可动部分重量[kg]

W_2 : 配重重量[kg]

GL: 减速比(无单位)

- 上升时(垂直)

$$T_L = \frac{((\mu + 1) W_1 - W_2) \times 9.81}{\eta} \left(\frac{D}{2} \times \frac{1}{10^3} \right) \times GL$$

- 下降时(垂直)

$$T_L = \frac{((\mu - 1) W_1 - W_2) \times 9.81}{\eta} \left(\frac{D}{2} \times \frac{1}{10^3} \right) \times GL$$

- 停止时(垂直)

$$T_L = \frac{(W_1 - W_2) \times 9.81}{\eta} \left(\frac{D}{2} \times \frac{1}{10^3} \right) \times GL$$