

技术资料



选用计算

关于
使用寿命

AC 小型
标准电动机

无刷直流
电动机

步进
电动机

关于
减速机

电动
传动装置

冷却
风扇

选用计算	G-2
关于使用寿命	G-15
AC 小型标准电动机	G-18
无刷直流电动机	G-26
步进电动机	G-29
关于减速机	G-38
电动传动装置	G-46
冷却风扇	G-48

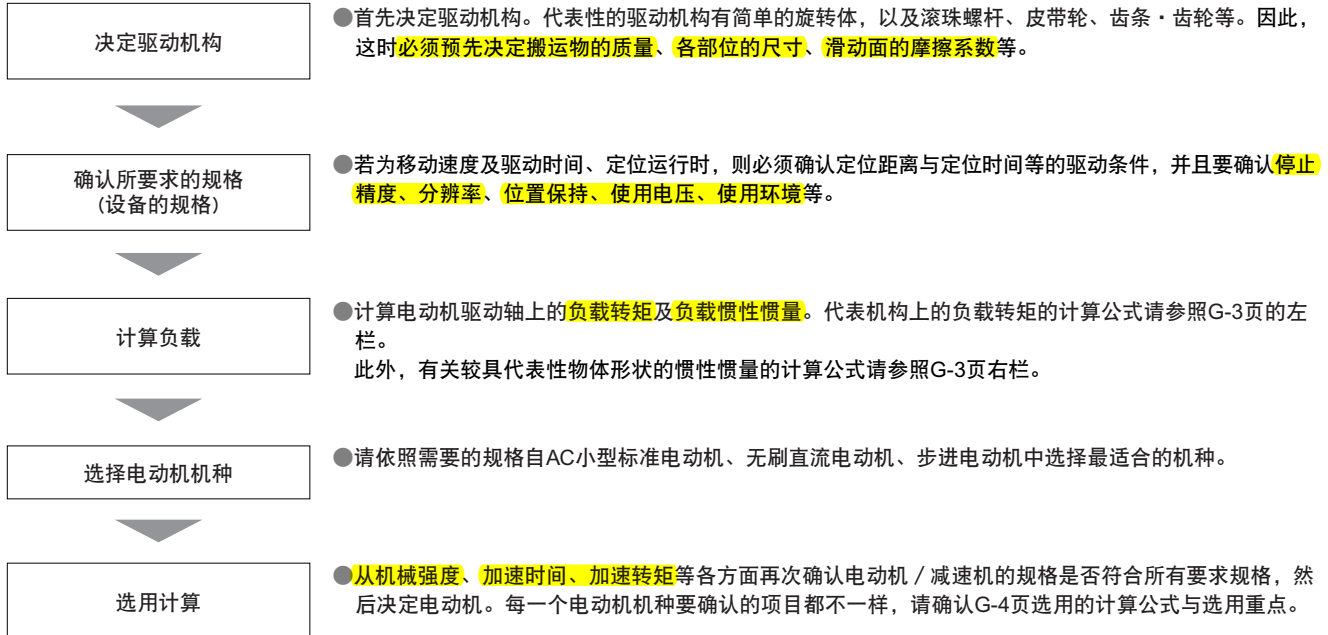
选用计算

电动机

选择符合设备要求规格、功能完备的电动机是提高设备的可靠性与经济效益的重要因素。以下介绍此电动机的**选用步骤**、**选用计算公式**、**选用重点**以及选用例。

■ 选用步骤

这里说明步骤的概述。



不同驱动机构的负载转矩的计算公式

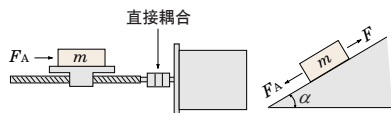
● 负载转矩的计算公式

计算不同驱动机构的摩擦转矩。

◇ 滚珠螺杆驱动

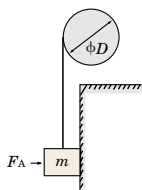
$$T_L = \left(\frac{FP_B}{2\pi\eta} + \frac{\mu_0 F_0 P_B}{2\pi} \right) \times \frac{1}{i} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad \text{①}$$

$$F = F_A + mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad [\text{N}] \quad \text{②}$$



◇ 滑轮驱动

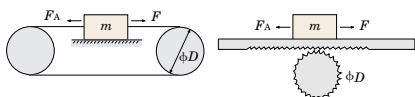
$$T_L = \frac{\mu F_A + mg}{2\pi} \cdot \frac{\pi D}{i} = \frac{(\mu F_A + mg)D}{2i} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad \text{③}$$



◇ 金属线 · 皮带驱动 齿条 · 齿轮驱动

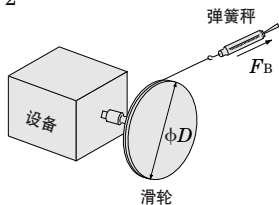
$$T_L = \frac{F}{2\pi\eta} \cdot \frac{\pi D}{i} = \frac{FD}{2\eta i} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad \text{④}$$

$$F = F_A + mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad [\text{N}] \quad \text{⑤}$$



◇ 实测计算方法

$$T_L = \frac{F_B D}{2} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad \text{⑥}$$



F = 轴方向负载 [N]

F_0 = 预负载 [N] ($\approx 1/3F$)

μ_0 = 预压螺帽的内部摩擦系数 (0.1 ~ 0.3)

η = 效率 (0.85 ~ 0.95)

i = 减速比 (机构的减速比, 不是本公司减速机的减速比)

P_B = 滚珠螺杆螺距 [m/rev]

F_A = 外力 [N]

F_B = 主轴开始运转时的力量 [N]

($F_B = [\text{弹簧秤值}] (\text{kg}) \times g [\text{m/s}^2]$)

m = 工作物与工作台的总质量 [kg]

μ = 滑动面的摩擦系数 (0.05)

α = 倾斜角度 [°]

D = 终段滑轮直径 [m]

g = 重力加速度 [m/s^2] (9.807)

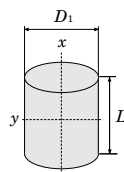
惯性惯量的计算公式

● 惯性惯量的计算公式

◇ 圆柱体的惯性惯量

$$J_x = \frac{1}{8} m D_1^2 = \frac{\pi}{32} \rho L D_1^4 \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑦}$$

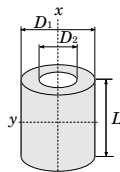
$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑧}$$



◇ 中空圆柱体的惯性惯量

$$J_x = \frac{1}{8} m (D_1^2 + D_2^2) = \frac{\pi}{32} \rho L (D_1^4 - D_2^4) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑨}$$

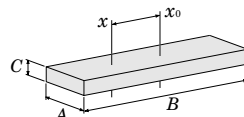
$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑩}$$



◇ 不通过重心的轴的惯性惯量

$$J_x = J_{x_0} + ml^2 = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2 + 12l^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑪}$$

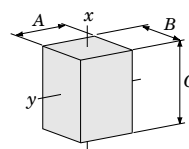
l = x轴与 x_0 轴的距离 [m]



◇ 棱柱体的惯性惯量

$$J_x = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (A^2 + B^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑫}$$

$$J_y = \frac{1}{12} m (B^2 + C^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (B^2 + C^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑬}$$



◇ 直线运动物体的惯性惯量

$$J = m \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2 \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑭}$$

A = 单位移动量 [m/rev]

密度

铁 $\rho = 7.9 \times 10^3$ [kg/m^3]

铝 $\rho = 2.8 \times 10^3$ [kg/m^3]

黄铜 $\rho = 8.5 \times 10^3$ [kg/m^3]

尼龙 $\rho = 1.1 \times 10^3$ [kg/m^3]

J_x = x轴的惯性惯量 [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_y = y轴的惯性惯量 [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_0 = x_0 轴(通过重心的轴)的
惯性惯量 [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

m = 重量 [kg]

D_1 = 外径 [m]

D_2 = 内径 [m]

ρ = 密度 [kg/m^3]

L = 长度 [m]

选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

关于减速机

电动传动装置

冷却风扇

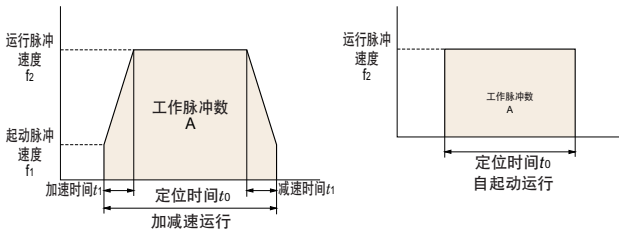
电动机选用计算公式

说明脉冲控制步进电动机时必备的计算公式。

运行模式

运行模式有下图二种。

通常是以左边的加减速运行模式为一般的情形，转速低速、负载惯性小时，可以采取右图的自启动运行。



工作脉冲数 A 的计算公式

工作脉冲数是以脉冲信号来表示将工作物由 A 点移至 B 点时，电动机必需转动的角度。

$$\begin{aligned} \text{工作脉冲数} A[\text{脉冲}] &= \frac{\text{由A点到B点的移动量}}{\text{电动机每运转一周的移动量}} \times \text{电动机每运转一周所需的脉冲数} \\ &= \frac{l}{l_{\text{rev}}} \times \frac{360^\circ}{\theta_s} \quad \theta_s: \text{步距角} \end{aligned}$$

运行脉冲速度 f_2 的计算公式

运行脉冲速度可通过工作脉冲数与定位时间及加减速时间进行计算。

① 加减速运行时

加减速时间的长短是选用时的重点，但是除此之外还必须考虑加速转矩及加减速常数的平衡，所以不能轻易决定。

因此，开始计算时，设定定位时间的 25% 左右为标准来进行计算的（最后必须调整）。

$$\text{加减速时间} [\text{s}] = \text{定位时间} [\text{s}] \times 0.25$$

$$\begin{aligned} \text{运行脉冲速度} f_2 [\text{Hz}] &= \frac{\text{工作脉冲数}[\text{脉冲}] - \text{起动脉冲速度}[\text{Hz}] \times \text{加减速时间}[\text{s}]}{\text{定位时间}[\text{s}] - \text{加减速时间}[\text{s}]} \\ &= \frac{A - f_1 \cdot t_1}{t_0 - t_1} \end{aligned}$$

② 自启动运行时

$$\begin{aligned} \text{运行脉冲速度} f_2 [\text{Hz}] &= \frac{\text{工作脉冲数}[\text{脉冲}]}{\text{定位时间}[\text{s}]} \\ &= \frac{A}{t_0} \end{aligned}$$

加减速常数 T_R 的计算公式

是本公司控制器使用的数值。

表示脉冲速度的加速程度，以下述公式计算。

$$\begin{aligned} \text{加减速常数} T_R &= \frac{\text{加减速时间}[\text{ms}]}{\text{运行脉冲速度}[\text{kHz}] - \text{起动脉冲速度}[\text{kHz}]} \\ &= \frac{t_1}{f_2 - f_1} \end{aligned}$$

※脉冲速度请按整步换算。

运行脉冲速度至运行速度的换算公式

$$\text{运行速度} [\text{r/min}] = \text{运行脉冲速度} [\text{Hz}] \times \frac{\text{步距角}}{360} \times 60$$

负载转矩的计算公式

请参阅 G-3 页的公式。

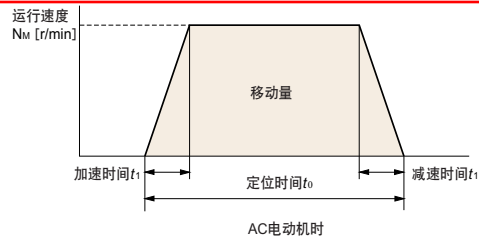
加速转矩的计算公式

不论电动机种类为何，速度变化时，加速及减速转矩都是不可缺少的要素。

每一种电动机的基本公式都是一样的，但是步进电动机多数是根据脉冲速度考虑的，公式如下述，与其它电动机不同。

〈AC电动机〉（无刷直流电动机亦同）

$$\begin{aligned} \text{加速转矩} T_a [\text{N} \cdot \text{m}] &= \frac{\text{转动惯量} + \text{全惯性惯量}}{\text{系数}} \times \frac{\text{运行速度} [\text{r/min}]}{\text{加减速时间} [\text{s}]} \\ &= \frac{(J_0 + J_L)}{9.55} \times \frac{N_M}{t_1} \end{aligned}$$



〈步进电动机〉

① 加减速运行时

$$\begin{aligned} \text{加速转矩} T_a [\text{N} \cdot \text{m}] &= \left(\frac{\text{转动惯量}}{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]} + \frac{\text{全惯性惯量}}{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]} \right) \times \frac{\pi \times \text{步距角} [^\circ]}{180^\circ} \times \frac{\text{运行脉冲速度} [\text{Hz}] - \text{起动脉冲速度} [\text{Hz}]}{\text{加减速时间} [\text{s}]} \\ &= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s}{180} \times \frac{f_2 - f_1}{t_1} \end{aligned}$$

② 自启动运行时

$$\begin{aligned} \text{加速转矩} T_a [\text{N} \cdot \text{m}] &= \left(\frac{\text{转动惯量}}{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]} + \frac{\text{全惯性惯量}}{[\text{kg} \cdot \text{m}^2]} \right) \times \frac{\pi \times \text{步距角} [^\circ]}{180^\circ} \times \frac{\text{运行脉冲速度} [\text{Hz}]}{180^\circ \times \text{系数}} \\ &= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s \cdot f_2^2}{180 \cdot n} \quad n: 3.6^\circ / \theta_s \end{aligned}$$

必要转矩 T_M 的计算公式

负载转矩与加速转矩的和，乘以安全率即是必要转矩。

$$\begin{aligned} \text{必要转矩} T_M &= (\text{负载转矩} + \text{加速转矩}) \times \text{安全率} \\ &= (T_L + T_a) \times S_f \end{aligned}$$

■ 选用重点

因 AC 小型标准电动机、步进电动机的特性各自不同，选用时需注意下述几个重点（确认项目）。

● AC 小型标准电动机

① 转速的负载变动

感应电动机、可逆电动机依据负载转矩不同，其转速会发生几个百分比的变化。

必须在因负载产生的变动为前提下选用。

② 额定时间

即使是输出效率同样的电动机，因电动机规格不同，则连续额定·短时间额定也各不相同。应依据驱动时间（模式）来选用。

③ 减速机的容许负载惯性惯量

使用减速机，执行瞬时停止（制动器）或是频繁的断续运行、瞬时正反运行等时，因负载的惯性惯量过大时，可能造成减速机的损坏，因此选用时必须选在减速机的容许负载惯性惯量以下。（参阅 A-9 页）

● 步进电动机

① 工作状态的确认

步进电动机不适用于连续运行的用途。

适用于以运行时间与停止时间的关系所表示的工作状态的 50% 以下为标准的用途。

$$\text{工作状态} = \frac{\text{运行时间}}{\text{运行时间} + \text{停止时间}} \times 100$$

② 惯性比

若惯性比大，则起动、停止时的过冲与回冲亦变大，因而会影响起动、稳定时间。此外，因使用条件不同亦有无法驱动的情形。请按以下公式计算惯性比并确认计算结果是否在表中规定的范围以下。

$$\begin{aligned} \text{惯性比} &= \frac{\text{机器全惯性惯量} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]}{\text{电动机转动惯量} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]} \\ &= \frac{J_L}{J_0} \end{aligned}$$

惯性比（参考值）

对象组合产品	安装尺寸	惯性比
<i>Q</i> STEP	28、42、60、85	30以下
步进电动机	20、28	5以下
组合产品	42、60、85	10以下

● 减速机型除外。

若超过表中数值范围时，建议使用减速机型。因使用减速机型能增大可驱动的惯性负载。

$$\begin{aligned} \text{惯性比} &= \frac{\text{机器全惯性惯量} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]}{\text{电动机转动惯量} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \times \text{减速比}^2} \\ &= \frac{J_L}{J_0 \cdot i^2} \end{aligned}$$

③ 确认加减速常数

一般的控制器，加减速时的脉冲速度变化是呈阶段状的变化，设定上的加速度与实际加速度不同，因此如果是步进电动机，虽经由加速转矩的计算判断为可以驱动时，仍可能发生不能驱动的情况。请确认依前述计算公式计算的加减速常数在下表的数值以上。

加减速常数（与 *XG9200*、*SG9200* 系列组合时的参考值）

对象组合产品	安装尺寸	加减速常数 T_R [ms/kHz]
<i>Q</i> STEP	28、42、60、85	0.1以上※
步进电动机	42、60	20以上
组合产品	85、90	30以上

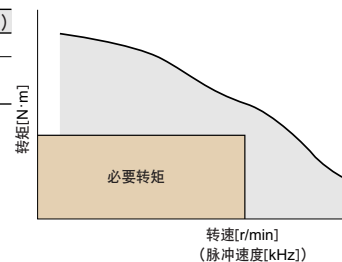
※ *Q*STEP 不需此项目的确认。表中的数值为 *XG9200*、*SG9200* 系列设定下限值。

④ 确认必要转矩

确认必要转矩为转速—转矩特性的最大同步转矩以内，故电动机可以使用。

安全率 S_f 的参考值

对象组合产品	安全率(参考值)
<i>Q</i> STEP	1.5~2
步进电动机	2
组合产品	2



选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

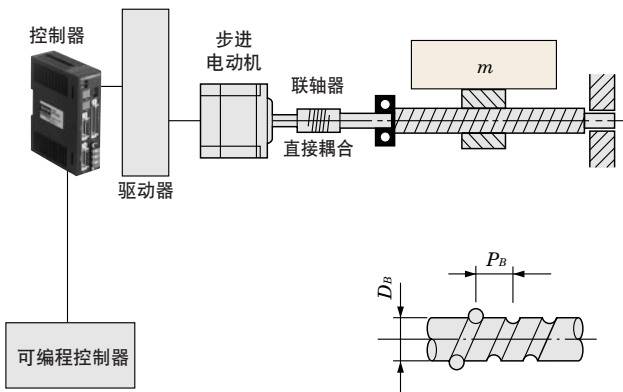
关于减速机

电动传动装置

冷却风扇

■ 选用事例

● 滚珠螺杆的机构 步进电动机 (αSTEP)



◇ 决定驱动机构

工作台与工作物的总质量... $m = 40\text{kg}$

滑动面的摩擦系数... $\mu = 0.05$

滚珠螺杆的效率... $\eta = 0.9$

预压螺帽的内部摩擦系数... $\mu_0 = 0.3$

滚珠螺杆的轴径... $DB = 15\text{mm}$

滚珠螺杆的全长... $LB = 600\text{mm}$

滚珠螺杆的材质...铁 (密度 $\rho = 7.9 \times 10^3 [\text{kg}/\text{m}^3]$)

滚珠螺杆的螺距... $P_B = 15\text{mm}$

分辨率... $\Delta l = 0.03\text{mm}/\text{step}$

(1 脉冲的移动量)

移动量... $l = 180\text{mm}$

定位时间... $t_0 = 0.8$ 秒以内

◇ 算出必要分辨率

$$\begin{aligned} \text{必要分辨率 } \theta_s &= \frac{360^\circ \times \text{要求分辨率} (\Delta l)}{\text{滚珠螺杆的螺距} (P_B)} \\ &= \frac{360^\circ \times 0.03}{15} = 0.72 [^\circ] \end{aligned}$$

可直接耦合使用步进电动机组合产品 αSTEP 系列。

◇ 决定运行模式 (请参阅 G-4 页的基本公式)

(1) 算出工作脉冲数 A [脉冲]

$$\begin{aligned} \text{工作脉冲数 } A &= \frac{\text{1次移动量} (l)}{\text{滚珠螺杆的螺距} (P_B)} \times \frac{360^\circ}{\text{步距角} (\theta_s)} \\ &= \frac{180}{15} \times \frac{360^\circ}{0.72^\circ} = 6000 [\text{脉冲}] \end{aligned}$$

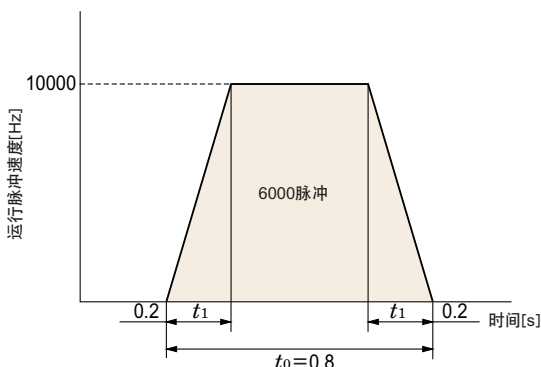
(2) 决定加减速时间 t_1 [s]

加减速时间以定位时间的 25% 为适。

加减速时间 $t_1 = 0.8 \times 0.25 = 0.2$ [s]

(3) 算出运行脉冲速度 f_2 [Hz]

$$\begin{aligned} \text{运行脉冲速度 } f_2 &= \frac{\text{工作脉冲数} (A) - \text{一起动脉冲速度} (f_1) \times \text{加减速时间} (t_1)}{\text{定位时间} (t_0) - \text{加减速时间} (t_1)} \\ &= \frac{6000 - 0}{0.8 - 0.2} = 10000 [\text{Hz}] \end{aligned}$$



(4) 算出运行速度 N [r/min]

$$\begin{aligned} \text{运行速度} &= f_2 \times \frac{\theta_s}{360} \times 60 \\ &= 10000 \times \frac{0.72}{360} \times 60 \\ &= 1200 [\text{r}/\text{min}] \end{aligned}$$

◇ 算出必要转矩 T_M [N·m] (参阅 G-4 页)

(1) 算出负载转矩 T_L [N·m]

$$\begin{aligned} \text{轴向负载 } F &= F_A + mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \\ &= 0 + 40 \times 9.807 (\sin 0 + 0.05 \cos 0) \\ &= 19.6 [\text{N}] \end{aligned}$$

$$\text{预负载 } F_0 = \frac{F}{3} = \frac{19.6}{3} = 6.53 [\text{N}]$$

$$\begin{aligned} \text{负载转矩 } T_L &= \frac{F \cdot P_B}{2\pi \eta} + \frac{\mu_0 \cdot F_0 \cdot P_B}{2\pi} \\ &= \frac{19.6 \times 15 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.9} + \frac{0.3 \times 6.53 \times 15 \times 10^{-3}}{2\pi} \\ &= 0.0567 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

(2) 算出加速转矩 T_a [N·m]

① 算出全惯性惯量 J_L [kg·m²]

(请参阅 G-3 页的基本公式)

$$\begin{aligned} \text{滚珠螺杆的惯性惯量 } J_B &= \frac{\pi}{32} \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4 \\ &= \frac{\pi}{32} \times 7.9 \times 10^3 \times 600 \times 10^{-3} \times (15 \times 10^{-3})^4 \\ &= 0.236 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工作台与工作物的惯性惯量 } J_T &= m \left(\frac{P_B}{2\pi} \right)^2 \\ &= 40 \times \left(\frac{15 \times 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 = 2.28 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{全惯性惯量 } J_L &= J_B + J_T \\ &= 0.236 \times 10^{-4} + 2.28 \times 10^{-4} = 2.52 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

② 算出加速转矩 T_a [N·m]

$$\begin{aligned} \text{加速转矩 } T_a &= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s}{180^\circ} \times \frac{f_2 - f_1}{t_1} \\ &= (J_0 + 2.52 \times 10^{-4}) \times \frac{\pi \times 0.72}{180^\circ} \times \frac{10000 - 0}{0.2} \\ &= 628J_0 + 0.158 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

(3) 算出必要转矩 T_M [N·m]

$$\begin{aligned} \text{必要转矩 } T_M &= (T_L + T_a) \times 2 \\ &= \{0.0567 + (628J_0 + 0.158)\} \times 2 \\ &= 1256J_0 + 0.429 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

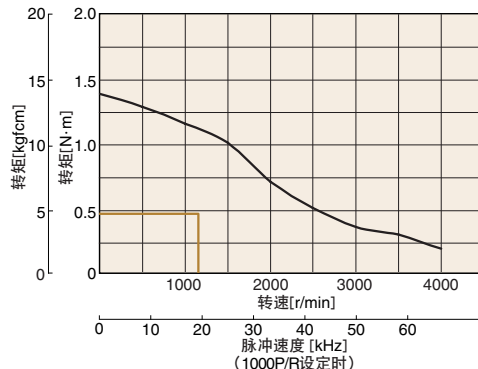
◇ 电动机的选用

(1) 暂时选用的电动机

品名	转动惯量 [kg·m ²]	必要转矩 [N·m]
AS66AA	405×10^{-7}	0.48

(2) 依据转速—转矩特性来决定电动机

AS66AA

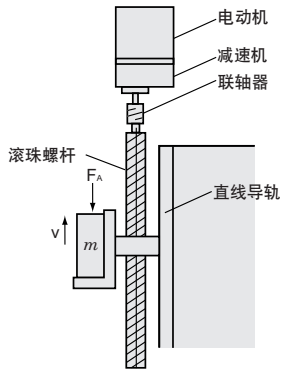


必要转矩在转速—转矩特性的最大同步转矩以内，故可以使用。

AC 电动机

以下为在滚珠螺杆机构的工作台上下方向使用带电磁制动电动机时的选用例。

须按下述要求规格来选用电动机。



〈要求规格及机构规格〉

- 工作台·工作物的总质量..... $m = 40$ [kg]
- 工作台的移动速度..... $V = 15 \pm 2$ [mm/s]
- 外力..... $F_A = 0$ [N]
- 滚珠螺杆的倾斜角度..... $\alpha = 90$ [度]
- 滚珠螺杆的全长..... $L_B = 800$ [mm]
- 滚珠螺杆的轴径..... $D_B = 20$ [mm]
- 滚珠螺杆导程间距..... $P_B = 5$ [mm]
- 每 1 转时滚珠螺杆的移动距离..... $A = 5$ [mm]
- 滚珠螺杆的效率..... $\eta = 0.9$
- 滚珠螺杆的材质.....铁 (密度 $\rho = 7.9 \times 10^3$ kg/m³)
- 预压螺帽内部的摩擦系数..... $\mu_0 = 0.3$
- 滑动面的摩擦系数..... $\mu = 0.05$
- 电动机电源.....单相 220V 50Hz
- 工作时间.....1 天 5 个小时间歇运行
反复起动·停止
需保持负载

◇决定减速机的减速比

$$\text{减速机输出轴转速: } N_G = \frac{V \cdot 60}{P} = \frac{(15 \pm 2) \times 60}{5} = 180 \pm 24 \text{ [r/min]}$$

因电动机 (4 极) 在 50Hz 时的额定转速为 1200 ~ 1300r/min, 所以, 应选择在此范围内减速机的减速比 $i = 7.5$ 。

$$\text{减速机的减速比 } i \text{ 为 } i = \frac{1200 \sim 1300}{N_G} = \frac{1200 \sim 1300}{180 \pm 24} = 5.9 \sim 8.3$$

◇计算必要转矩

$$\begin{aligned} \text{滚珠螺杆的轴向负载 } F &= F_A + mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \\ &= 0 + 40 \times 9.807 (\sin 90^\circ + 0.05 \cos 90^\circ) \\ &= 392 \text{ [N]} \end{aligned}$$

$$\text{滚珠螺杆的预负载 } F_0 = \frac{F}{3} = 131 \text{ [N]}$$

$$\begin{aligned} \text{负载转矩 } T_L &= \frac{F \times P_B}{2\pi \eta} + \frac{\mu_0 \times F_0 \times P_B}{2\pi} \\ &= \frac{392 \times 5 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.9} + \frac{0.3 \times 131 \times 5 \times 10^{-3}}{2\pi} \\ &= 0.378 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned}$$

此负载转矩为减速机输出轴的数值, 因此需换算成电动机输出轴的数值。

电动机输出轴的必要转矩 T_M

$$T_M = \frac{T_L}{i \cdot \eta_G} = \frac{0.378}{7.5 \times 0.81} = 0.0622 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 62.2 \text{ [mN} \cdot \text{m]}$$

(减速机的传动效率 $\eta_G = 0.81$)

还考虑安全率为 2 倍

$$62.2 \times 2 = 124.4 \text{ [mN} \cdot \text{m]}$$

起动转矩为 124.4mN·m 以上的电动机, 根据世界规格 K 系列的规格表来挑选

电动机: **4RK25GN-CWMJG**。

为保持负载的带电磁制动机型。

选用可与**4RK25GN-CWMJG**组合的减速比为7.5的减速机**4GN7.5K**。

◇确认负载惯性

$$\begin{aligned} \text{滚珠螺杆的惯性 } J_B &= \frac{\pi}{32} \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4 \\ &= \frac{\pi}{32} \times 7.9 \times 10^3 \times 800 \times 10^{-3} \times (20 \times 10^{-3})^4 \\ &= 0.993 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工作台·工作物的惯性 } J_m &= m \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2 \\ &= 40 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 \\ &= 0.253 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

减速机输出轴的全负载惯性

$$J = 0.993 \times 10^{-4} + 0.253 \times 10^{-4} = 1.246 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$$

减速比 7.5 的减速机 **4GN7.5K** 的容许负载惯性请参阅 A-9 页

$$\begin{aligned} J_G &= 0.31 \times 10^{-4} \times 7.5^2 \\ &= 17.44 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

因 $J < J_G$, 即负载惯性为容许值以下, 故可以使用。转矩已有一定宽余时, 再确认无负载时转速 (约 1470r/min) 的移动速度。

$$V = \frac{N_M \cdot P_B}{60 \cdot i} = \frac{1470 \times 5}{60 \times 7.5} = 16.3 \text{ [mm/s]}$$

(电动机转速 N_M)

以上确认结果均能满足规格要求。

选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

关于减速机

电动传动装置

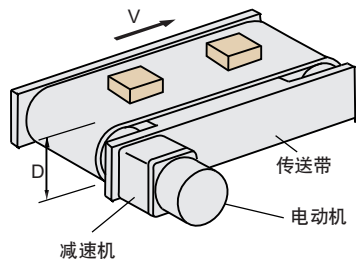
冷却风扇

● 滑轮机构

AC 电动机

此为在传送带驱动上使用感应电动机时的选用例。
须按下述要求规格来选用电动机。

〈要求规格及机构规格〉



- 皮带与工作物的总质量..... $m_1 = 20\text{kg}$
- 滑动面的摩擦系数..... $\mu = 0.3$
- 滚筒的直径..... $D = 100\text{mm}$
- 滚筒的质量..... $m_2 = 1\text{kg}$
- 传送带 · 滚筒的效率..... $\eta = 0.9$
- 皮带的速度..... $V = 140\text{mm/s} \pm 10\%$
- 电动机电源.....单相 220V 50Hz
- 工作时间.....1 天 8 个小时运行

◇ 决定减速机的减速比

$$\begin{aligned} \text{减速机的输出轴转速: } N_G &= \frac{V \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{(140 \pm 14) \times 60}{\pi \times 100} \\ &= 26.7 \pm 2.7 \text{ [r/min]} \end{aligned}$$

因电动机（4 极）在 50Hz 时的额定转速为 1200 ~ 1300r/min，所以应选择在此范围内减速机的减速比 $i = 50$ 。

$$\text{减速机的减速比 } i \text{ 为 } i = \frac{1200 \sim 1300}{N_G} = \frac{1200 \sim 1300}{26.7 \pm 2.7} = 40.8 \sim 54.2$$

◇ 计算必要转矩

传送带启动时所需的的转矩为最大。先计算启动时的必要转矩。

滑动部的摩擦力 F ,

$$F = \mu m \cdot g = 0.3 \times 20 \times 9.807 = 58.8 \text{ [N]}$$

$$\text{负载转矩 } T_L = \frac{F \cdot D}{2 \cdot \eta} = \frac{58.8 \times 100 \times 10^{-3}}{2 \times 0.9} = 3.27 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

此负载转矩为减速机输出轴的数值，因此需换算成电动机输出轴的数值。

电动机输出轴的必要转矩 T_M

$$T_M = \frac{T_L}{i \cdot \eta_G} = \frac{3.27}{50 \times 0.66} = 0.0991 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 99.1 \text{ [mN} \cdot \text{m]}$$

（减速机的传动效率 $\eta_G = 0.66$ ）

从商业电源的电压变动（220V ± 10%）等的角度来考虑，设定安全率为 2 倍。

$$99.1 \times 2 \doteq 198 \text{ [mN} \cdot \text{m]}$$

启动转矩为 198mN·m 以上的电动机，根据世界规格 K 系列的规格表来挑选电动机：**5IK40GN-CWEG**。

选用可与 **5IK40GN-CWEG** 组合的减速比为 50 的减速机 **5GN50K**。

◇ 确认负载惯性

$$\begin{aligned} \text{皮带 · 工作物的惯性惯量 } J_{m1} &= m_1 \times \left(\frac{\pi \times D}{2\pi} \right)^2 \\ &= 20 \times \left(\frac{\pi \times 100 \times 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 \\ &= 500 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \\ \text{滚筒的惯性惯量 } J_{m2} &= \frac{1}{8} \times m_2 \times D^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1 \times (100 \times 10^{-3})^2 \\ &= 12.5 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

减速机轴的全负载惯性

$$J = 500 \times 10^{-4} + 12.5 \times 10^{-4} \times 2 = 525 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$$

此处 **5GN50K** 的容许负载惯性请参阅 A-9 页

$$\begin{aligned} J_G &= 0.75 \times 10^{-4} \times 50^2 \\ &= 1875 \times 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

因 $J < J_G$ ，即负载惯性为容许值以下，故可以使用。且所选用的电动机额定转矩为 315mN·m，较实际负载转矩为大，因此电动机能以比额定转速更快的转速运行。

再依据无负载时的转速（约 1470r/min）来计算皮带速度，确认所选产品是否符合规格要求。

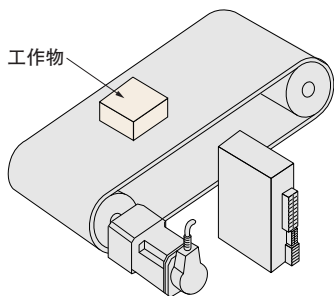
以上确认结果均能满足规格要求。

$$V = \frac{N_M \cdot \pi \cdot D}{60 \cdot i} = \frac{1470 \times \pi \times 100}{60 \times 50} = 153.9 \text{ [mm/s]}$$

（电动机转速 N_M ）

无刷直流电动机

如下图所示，为了驱动传送带，选用无刷直流电动机。



●性能

皮带速度 V_L 为 0.015m/s ~ 1m/s

●皮带与工作物的规格

- 条件：电动机电源.....单相 100V
 传送带驱动
 滚筒的直径..... $D = 0.1\text{m}$
 滚筒的质量..... $m_2 = 1\text{kg}$
 皮带与工作物的质量..... $m_1 = 15\text{kg}$
 滑动面的摩擦系数..... $\mu = 0.3$
 传送带·滚筒的效率..... $\eta = 0.9$

◇计算所使用的转速范围

减速机的减速比请参考 B-12 页的「联体型的容许转矩」表，选出最低转速与最高转速均在速度范围之内、速度控制范围为 2 ~ 200 的「15」。

$$N_G = \frac{60V_L}{\pi D} \quad N_G: \text{减速机轴转速}$$

皮带速度

$$0.015\text{m/s} \cdots \cdots \frac{60 \times 0.015}{\pi \times 0.1} = 2.86\text{r/min}(\text{最低转速})$$

$$1\text{m/s} \cdots \cdots \frac{60 \times 1}{\pi \times 0.1} = 191\text{r/min}(\text{最高转速})$$

◇计算负载惯性惯量 J_G

滚筒的负载惯性惯量： J_{m2}

$$J_{m2} = \frac{1}{8} \times m_2 \times D^2 = \frac{1}{8} \times 1 \times 0.1^2 = 12.5 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

皮带与工作物的负载惯性惯量： J_{m1}

$$J_{m1} = m_1 \times \left(\frac{\pi D}{2\pi}\right)^2 = 15 \times \left(\frac{\pi \times 0.1}{2\pi}\right)^2 = 375 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

负载惯性惯量 J_G 是

$$J_G = J_{m2} \times 2 + J_{m1} = 2 \times 12.5 \times 10^{-4} + 375 \times 10^{-4} \\ = 400 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

依据 B-13 页的规格，**BX5120A-15** 的适用负载惯性惯量为 $420 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

◇计算负载转矩 T_L

滑动部的摩擦力： $F = \mu \cdot m_1 \cdot g = 0.3 \times 15 \times 9.807 = 44.1 \text{N}$

$$\text{负载转矩 } T_L = \frac{F \cdot D}{2\eta} + \frac{44.1 \times 0.1}{2 \times 0.9} \\ = 2.45 \text{N} \cdot \text{m}$$

参阅 B-12 页的联体型机种容许转矩表选用 **BX5120A-15**。

容许转矩为 $5.4 \text{N} \cdot \text{m}$ 、安全率为

$$T_M / T_L = 5.4 / 2.45 \approx 2.2。$$

通常安全率在 1.5 ~ 2 以上即可运行。

选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

关于减速机

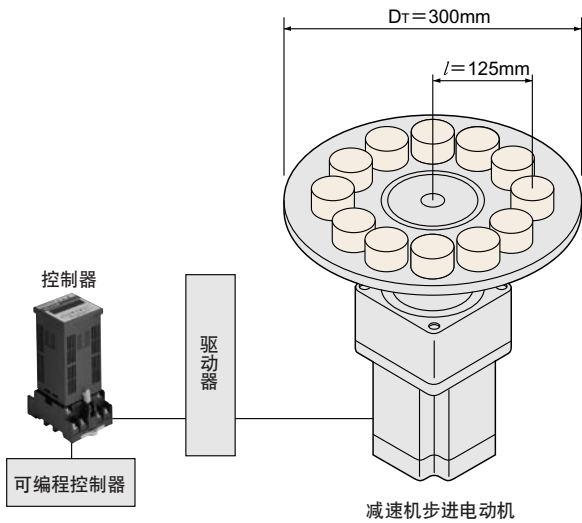
电动传动装置

冷却风扇

● 分度盘机构

分度盘之类的大惯性驱动，以使用减速机型步进电动机为宜。

◇ 决定驱动机构部



- 分度盘的直径..... $DT = 300\text{mm}$
- 分度盘的厚度..... $LT = 10\text{mm}$
- 工作物的直径..... $Dw = 40\text{mm}$
- 工作物的厚度..... $Lw = 30\text{mm}$
- 工作物的材质..... 铁 (密度 $\rho = 7.9 \times 10^3 \text{kg/m}^3$)
- 工作物的数量..... 12 个 (每 30° 放置 1 个)
- 由分度盘中心至
工作物中心的距离..... $l = 125\text{mm}$
- 定位角度..... $\theta = 30^\circ$
- 定位时间..... $t_0 = 0.3$ 秒

可使用 α STEP PN 减速机型 (减速比 1 : 7.2、分辨率 / 脉冲 = 0.05°)。

※ PN 减速机型可以在最大转矩范围使用惯性驱动的起动停止转矩。

- 减速比..... $i = 7.2$
- 分辨率 / 脉冲..... $\theta_s = 0.05^\circ$

◇ 决定运行模式 (请参阅 G-4 页的基本公式)

(1) 算出工作脉冲数 A [脉冲]

$$\begin{aligned} \text{工作脉冲数 } A &= \frac{\theta}{\theta_s} \\ &= \frac{30^\circ}{0.05^\circ} \\ &= 600 \text{ [脉冲]} \end{aligned}$$

(2) 决定加减速时间 t_1 [s]

加减速时间以各定位时间的 25% 为宜。

$$\begin{aligned} \text{加减速时间 } t_1 &= t_0 \times 0.25 = 0.3 \times 0.25 \\ &= 0.075 \text{ [s]} \end{aligned}$$

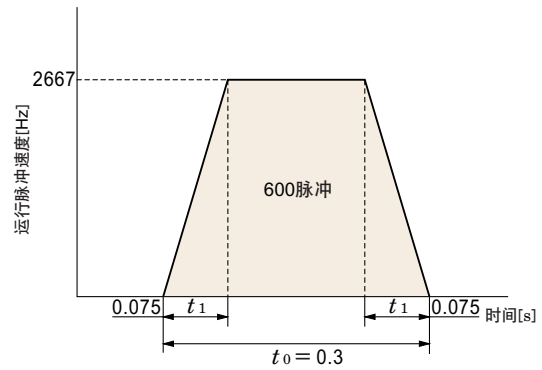
(3) 算出运行转速 N [r/min]

$$\begin{aligned} \text{运行转速 } N &= \frac{60}{360} \times \frac{\theta}{t_0 - t_1} = \frac{60}{360} \times \frac{30}{0.3 - 0.075} \\ &= 22.2 \text{ [r/min]} \end{aligned}$$

※ PN 减速机减速比 1 : 7.2 的容许速度范围为 0 ~ 416r/min。

(4) 算出运行脉冲速度 f_2 [Hz]

$$\begin{aligned} \text{运行脉冲速度 } f_2 &= \frac{A}{t_0 - t_1} = \frac{600}{0.3 - 0.075} \\ &= 2667 \text{ [Hz]} \end{aligned}$$



◇算出必要转矩 T_M [N·m] (参阅 G-4 页)

(1) 算出负载转矩 T_L [N·m]

因摩擦负载极小故可省略, 负载转矩可考虑为 0。
负载转矩 $T_L = 0$ [N·m]

(2) 算出加速转矩 T_a [N·m]

① 算出全惯性惯量 J_L [kg·m²]

(请参阅 G-3 页的基本公式)

$$\begin{aligned} \text{工作台的惯性惯量 } J_T &= \frac{\pi}{32} \times \rho \times L_T \times D_T^4 \\ &= \frac{\pi}{32} \times 7.9 \times 10^3 \times (10 \times 10^{-3}) \times (300 \times 10^{-3})^4 \\ &= 6.28 \times 10^{-2} \text{ [kg·m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工作物的惯性惯量 } J_{W1} &= \frac{\pi}{32} \times \rho \times L_W \times D_W^4 \\ \text{(工作物中心轴旋转)} \\ &= \frac{\pi}{32} \times 7.9 \times 10^3 \times (30 \times 10^{-3}) \times (40 \times 10^{-3})^4 \\ &= 0.596 \times 10^{-4} \text{ [kg·m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工作物质量 } m_W &= \frac{\pi}{4} \times \rho \times L_W \times D_W^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 7.9 \times 10^3 \times (30 \times 10^{-3}) \times (40 \times 10^{-3})^2 \\ &= 0.3 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

对于旋转中心的工作物的惯性惯量 J_W [kg·m²] 可以依据工作物中心与旋转中心的距离 l [mm]、工作物质量 m_W [kg]、工作物中心轴旋转的工作物惯性惯量 J_{W1} [kg·m²] 求得。

工作物个数 $n = 12$ [个]

$$\begin{aligned} \text{工作物的惯性惯量 } J_W &= n \times (J_{W1} + m_W \times l^2) \\ \text{(运转中心旋转)} \\ &= 12 \times [(0.596 \times 10^{-4}) + 0.3 \times (125 \times 10^{-3})^2] \\ &= 5.66 \times 10^{-2} \text{ [kg·m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{全惯性惯量 } J_L &= J_T + J_W \\ &= (6.28 + 5.66) \times 10^{-2} \\ &= 11.9 \times 10^{-2} \text{ [kg·m}^2\text{]} \end{aligned}$$

② 算出加速转矩 T_a [N·m]

$$\begin{aligned} \text{加速转矩 } T_a &= (J_0 \times i^2 + J_L) \times \frac{\pi \times \theta_s}{180} \times \frac{f_2 - f_1}{t_1} \\ &= (J_0 \times 7.2^2 + 11.9 \times 10^{-2}) \times \frac{\pi \times 0.05}{180} \times \frac{2667 - 0}{0.075} \\ &= 1.61 \times 10^3 J_0 + 3.70 \text{ [N·m]} \end{aligned}$$

(3) 算出必要转矩 T_M

以安全率 $S_f = 2.0$ 计算。

$$\begin{aligned} \text{必要转矩 } T_M &= (T_L + T_a) \times S_f \\ &= \{0 + (1.61 \times 10^3 J_0 + 3.70)\} \times 2.0 \\ &= 3.22 \times 10^3 J_0 + 7.4 \text{ [N·m]} \end{aligned}$$

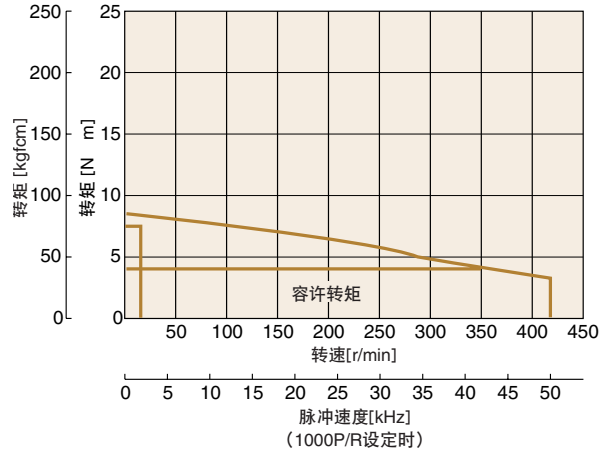
◇电动机的选用

(1) 暂时选用的电动机

品名	转动惯量 [kg·m ²]	必要转矩 [N·m]
AS66AA-N7.2	$J_0 = 405 \times 10^{-7}$	$T_M = 7.53$

(2) 依据转速—转矩特性来决定电动机

AS66AA-N7.2



必要转矩在速度—转矩特性内, 故电动机可以使用。
使用 **PN** 减速机型可使驱动惯性负载所需的加速转矩在最大转矩范围内进行起动与停止。
必要转矩在转速—转矩特性的范围内, 所以可以使用。
有负载转矩施加时, 选用上必须确认负载转矩×安全率的值在容许转矩以下。

选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

关于减速机

电动传动装置

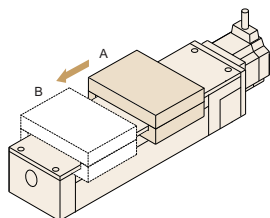
冷却风扇

电动传动装置

找寻最适当的直动产品，必须要进行选用计算。
这里介绍选用步骤与例题。

■ 电动滑台、电动缸、小型电动传动装置

● 在选用如下图的工作物要从 A 点搬运到 B 点的直动产品时，必须有如下参数（要素）。（图中无论电动滑台、电动缸、小型电动传动装置，其计算皆相同。）



● 必要参数如下述。

- 搬运物（工作物）的质量（以 m 表示）
或者推力（以 F 表示）
- 搬运（定位）距离（以 L 表示）
- 搬运（定位）时间（以 T 表示）
上述参数以下统称为生产周期时间。
- 反复定位精度
- 最大冲程

● 上述参数中，推力及生产周期时间可由下述公式计算。

● 推力计算公式

电动滑台

规格值的最大推力是指等速运行时工作台上没有装载搬运物时的值。
在推拉外力的用途上，一般是以工作台上的搬运物（钻模等）承受外力的使用方法最为常见，这时的推力确认如下述。

① 算出加速运行工作台上搬运物时的必要推力

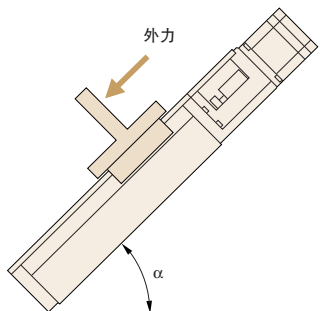
$$Fa = m \times \{a + g \times (\mu \times \cos \alpha + \sin \alpha)\}$$

② 算出可推拉的推力

$$F = Fmax - Fa$$

加在搬运物上的外力比 F 小时，可以推拉。

- $Fmax$: 电动滑台的最大推力 [N]
- Fa : 加减速运行的必要运行推力 [N]
- F : 可推拉外力的推力 [N]
- m : 工作台上的搬运物质量 [kg]
- a : 加速度 [m/s^2]
- g : 重力加速度 9.807 [m/s^2]
- μ : 电动滑台的摩擦系数 0.01
- α : 移动方向与水平面的角度 [$^\circ$]



电动缸与小型电动传动装置

规格内的最大推力是等速运行时活塞杆上未安装搬运物时的值。
在推拉外力的用途上，一般是以安装于活塞杆的搬运物来承受外力的使用方法最为常见，这时的推力确认如下述。

① 计算出安装于活塞杆的搬运物执行加速运行时的必要推力

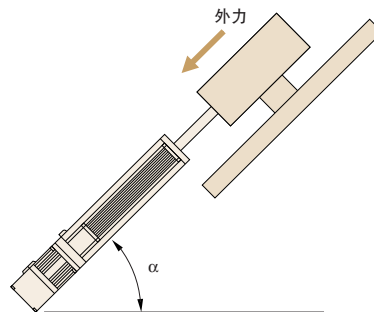
$$Fa = m \times \{a + g \times (\mu \times \cos \alpha + \sin \alpha)\}$$

② 算出可推拉的推力

$$F = Fmax - Fa$$

加在搬运物上的外力较 F 小时，可以推拉。

- $Fmax$: 电动缸与小型电动传动装置的最大推力 [N]
- Fa : 加减速运行的必要运行推力 [N]
- F : 可推拉外力的推力 [N]
- m : 安装于活塞杆上的搬运物质量 [kg]
- a : 加速度 [m/s^2]
- g : 重力加速度 9.807 [m/s^2]
- μ : 支撑搬运物的导杆的摩擦系数 0.01
- α : 移动方向与水平面的角度 [$^\circ$]



● 生产周期时间计算公式

确认电动滑台 · 电动缸 · 小型电动传动装置是否可以在希望时间内进行定位。确认的方法有二种，一是依据观看图形求取概略定位时间的方法与实际进行计算以求取较正确定位时间的另一种方法。各个确认步骤如下述。

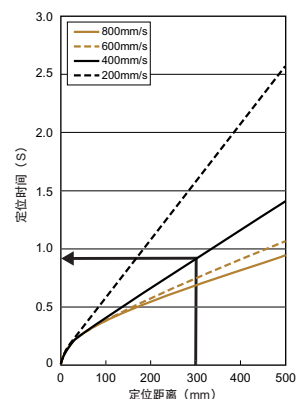
此外，与实际的工作时间会产生若干误差，所以此值仅为参考值。

以图表求取

例) 暂选 EZHS4A-50I，
希望于 1.0 秒以内定位
300mm 距离。搬运质量为
15kg 水平驱动。

确认右图可以得知以
400mm/s 驱动可在 1.0 秒
以内完成 300mm 的定位
距离。

[生产周期时间图]
水平 · 垂直方向安装时



以实际计算求取定位时间

① 确认运行条件

请确认以下的条件

安装方向、搬运质量、定位距离、起动速度、加速度、运行速度

② 从上述运行条件可确认驱动方式是三角驱动或梯形驱动

自定位距离、起动速度、加速度、运行速度计算出三角驱动时的最大速度。最大速度为运行速度以下时，是为三角驱动，超过运行速度时是为梯形驱动。

$$V_{Rmax} = \sqrt{L \times a \times 10^3 + V_s^2}$$

$$V_{Rmax} \leq V_R \rightarrow \text{三角驱动}$$

$$V_{Rmax} > V_R \rightarrow \text{梯形驱动}$$

③ 算出定位时间

梯形驱动时

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

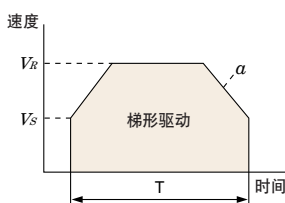
$$= \frac{V_R - V_s}{a_1 \times 10^3} + \frac{V_R - V_s}{a_2 \times 10^3} + \frac{L}{V_R} - \frac{(a_1 + a_2) \times (V_R^2 - V_s^2)}{2 \times a_1 \times a_2 \times V_R \times 10^3}$$

三角驱动时

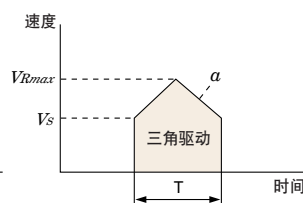
$$T = T_1 + T_2$$

$$= \frac{V_{Rmax} - V_s}{a_1 \times 10^3} + \frac{V_{Rmax} - V_s}{a_2 \times 10^3}$$

(模式1)



(模式2)



V_{Rmax} : 为三角驱动时计算出的最大速度 [mm/s]

V_R : 运行速度 [mm/s]

V_s : 起动速度 [mm/s]

L : 定位距离 [mm]

a_1 : 加速度 [m/s^2]

a_2 : 减速度 [m/s^2]

T : 定位时间 [s]

T_1 : 加速时间 [s]

T_2 : 减速时间 [s]

T_3 : 定速时间 [s]

● 其它换算公式如下

脉冲速度与运行速度可以下列公式换算。在运行速度在规格的最大速度以下时使用。

$$\text{脉冲速度[Hz]} = \frac{\text{运行速度[mm/s]}}{\text{分辨率[mm]}}$$

工作脉冲数与移动量可以下列公式换算。

$$\text{工作脉冲数[脉冲]} = \frac{\text{移动量[mm]}}{\text{分辨率[mm]}}$$

加减速常数与加速度可以下列公式换算。

$$\text{加减速常数[ms/kHz]} = \frac{\text{分辨率[mm]} \times 10^3}{\text{加速度}[m/s^2]}$$

速度、移动量、加速度的输入方法依控制器而异，请根据使用情况计算。

■ 齿条 · 齿轮 (LH 系列)

齿条 · 齿轮 (LH 系列) 的选用时，以确认搬运工作物的质量及搬运速度等是否符合产品规格的方式，做决定。

选用计算

关于使用寿命

AC 小型标准电动机

无刷直流电动机

步进电动机

关于减速机

电动传动装置

冷却风扇

冷却风扇时

■ 选用步骤

在风扇的使用方法上，以具代表性的换气冷却的基本选用方法来说明。

● 装置的规格、条件

设计装置时，首先须明确内部温度应为几℃。

● 装置内部的发热量

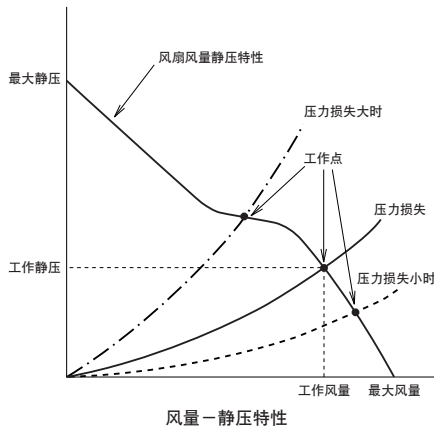
依据装置的输入 / 输出效率等条件计算内部会发生的热量。

● 计算必要风量

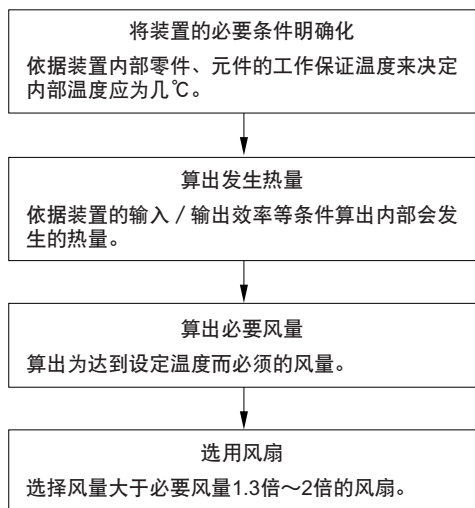
确定须将发生热量降低至几℃并在确定环境温度后再计算所需风量。

● 选用风扇

依据所需风量来选用风扇。风扇在实际使用时的风量可依风扇的风量-静压特性与装置的压力损失来计算。但因装置的压力损失事实上很难计算，所以应选择最大风量为必要风量1.3倍~2倍的风扇。



■ 风扇选用流程图



■ 选用例—控制盘的换气冷却—

项目	记号	规格
设置环境		一般的工厂
控制盘	尺寸	W 宽度 0.48 m
		H 高度 1.44 m
		D 长度 0.36 m
	S 表面积 2.42 m ² *※	
材质		铁
热通过率	U	5W
容许温度上升	ΔT	10℃ 最高外部温度 T ₁ 25℃ 内部容许温度 T ₂ 35℃
总发热量	Q	1200W
安全率	Sf	2 算出必要风量时，请务必考虑内部的压力损失。一般来说，控制盘内部的压力损失是未知数，所以工作点的风量假定为最大风量的50%，考虑安全率 (Sf) 2。
电源		60Hz AC115V

【控制盘的规格】

※以下公式求取 (环境全开放时)

$$\begin{aligned} \text{控制盘的表面积} &= \text{侧面积} + \text{顶面积} \\ &= 1.8 \times H \times (W + D) + 1.4 \times W \times D \end{aligned}$$

① 必要风量的求取方式

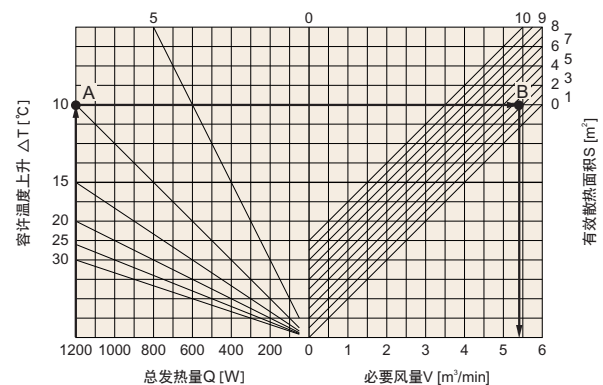
这里说明以简易计算求取的方法。

◇ 以计算求取的方法

$$\begin{aligned} V &= 1 \div 20 \times (Q \div \Delta T - U \times S) \times Sf \\ &= 1 \div 20 \times (1200 \div 10 - 5 \times 2.42) \times 2 \\ &= 10.8 \text{ [m}^3/\text{min]} \end{aligned}$$

◇ 以图表求取的方法

- ① 计算出发热量 Q1200W 与容许温度上升值 ΔT10℃ 的交点 A。
- ② 以交点 A 点为起点，拉出横轴与平行线。
- ③ 计算出平行线与表面积 S2.42m² 的交点 B。
- ④ 从图 B 点向横轴拉出垂直线，求得必要风量约 5.4 [m³/min]。
- ⑤ 依据前述的理由，考虑安全率 (Sf) 2 倍，能够导出 10.8 [m³/min] 的必要风量。



【必要风量求取图】

② 最适合的风扇

根据求取结果，选用 MRS 系列 MRS18-BTM。

输入电压 V	频率 Hz	输入 W	电流 A	转速 r/min	最大风量 m ³ /min	最大静压 Pa	噪音 dB(A)
115	60	95	1.0	3350	12.8	245	61

【MRS18-BTM 的规格】