

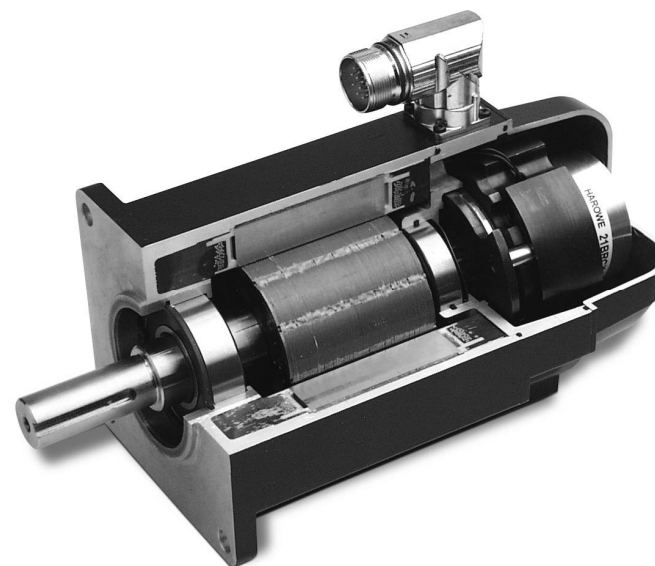


4.2 伺服系统中驱动元件

主讲教师：张立勋 教授

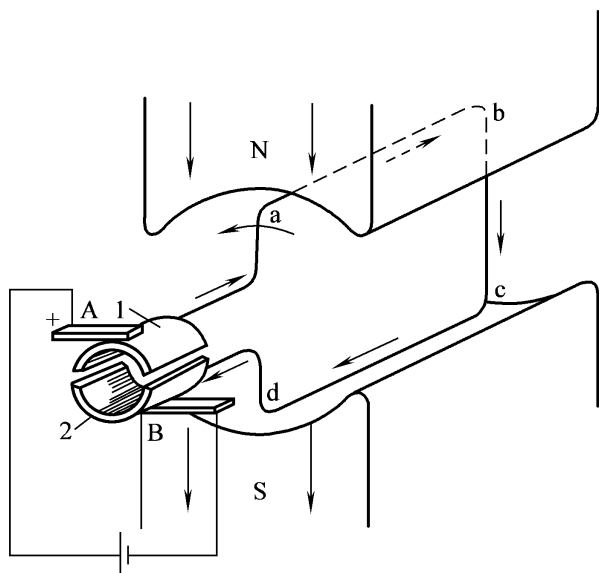
4.2.3 直流伺服电机

- 直流伺服电机的原理
- 直流伺服电机的驱动控制
- 直流伺服电机的主要特点

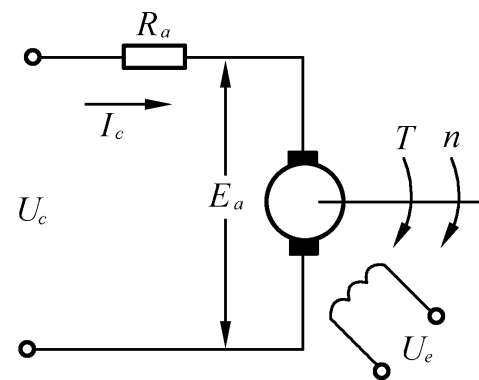


直流伺服电机的原理

1) 直流伺服电机的工作原理



通电线圈产生磁力和磁感应特性



$$n = \frac{U_c}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_M \Phi^2} T$$

主要特点

- 通过改变电枢电压可以改变转速
- 负载力矩变化会引起转速的变化

直流伺服电机的原理

2) 直流伺服电机的主要技术参数

- **额定功率**：在额定状态下运行时的输出功率
- **额定电压**：在额定状态下运行时，励磁绕组和电枢绕组上应加的电压值
- **额定电流**：在额定电压下，驱动负载为额定功率时，绕组中的电流值，长期连续运行所允许的最大电流
- **额定转速**：在额定电压下，输出额定功率时的转数，也称最高转速
- **额定转矩**：在额定状态下运行时的输出转矩

直流伺服电机的原理

- 最大转矩：在短时间内可输出的最大转矩，反映电动机的瞬时过载能力
- 机电时间常数 τ_m 、电磁时间常数 τ_e ：反映电动机两个过渡过程时间的长短
- ✓ $\tau_m < 20\text{ms}$, $\tau_e < 5\text{ms}$, $\tau_m / \tau_e > 3$
- ✓ 一阶惯性系统
- 热时间系数：电动机绕组上升到额定温升的63.2%时所需的时间
- 阻尼系数：又称内阻尼系数，其倒数为机械特性曲线的斜率

直流伺服电机的原理

➤ 直流电机调速的技术指标

调速范围

在额定负载转矩下，可能调到的最高转速与最低转速之比。

静差率

某条机械特性曲线上理想空载到额定负载的转速降落与理想空载转速之比。

平滑性

调速范围内的调节级数和调节量，用平滑系数表示，即相邻两级转速或线速度之比。

容许输出

保持额定电流条件下调速时，电动机容许输出的最大转矩或最大功率与转速的关系，有恒转矩和恒功率调速方法。

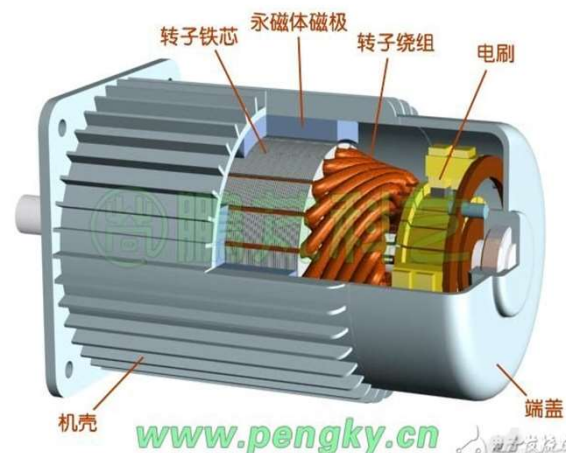
直流伺服电机的原理

3) 直流伺服电机的分类及特点

➤ 按励磁方式分

电磁式：励磁绕组产生磁场 - 普遍使用、大功率驱动

永磁式：永久磁钢产生磁场 - 小功率伺服系统



➤ 按转子转动惯量大小分

小惯量直流伺服电机：加减速能力强、响应速度快，动态特性好

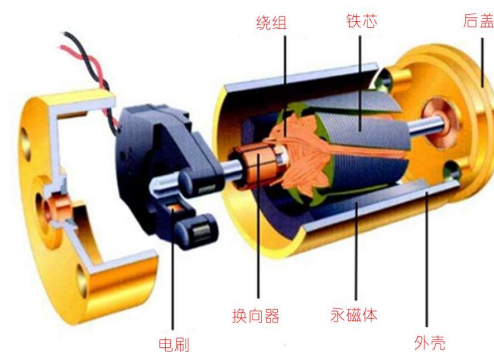
大惯量直流伺服电机：直流力矩伺服电机，负载能力强，易于与机械系统匹配

直流伺服电机的原理

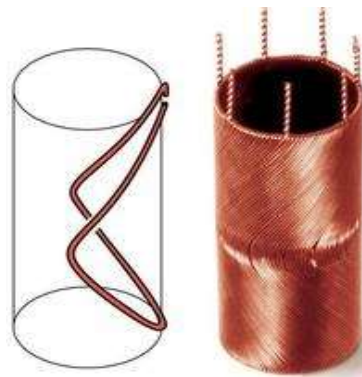
➤按绕组的结构特点分

铁心式电机：传统电机，转速低，效率较低，尺寸大。

空心杯电机：新型电机，转速高，效率高，结构紧凑。



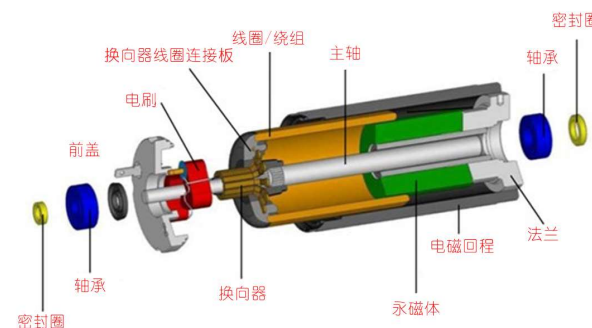
铁芯电机



➤按照供电方式

有刷式：通过电枢供直流电，自动切换绕组通电次序。传统电机，电枢磨损，对电枢要求高

无刷式：对电机绕组直接提供具有一定相续关系的控制电压。新型电机，寿命长，功率大。



无铁芯电机

力矩电机



名称: DANAHER直驱伺服



名称: 意大利PHASE

DMKE
德马克电机



无刷电机

鑫德马克电机

无刷电机



名称: 太平洋科技



名称: 美国mcg直流电机

铁心电机



名称: 瑞士maxon直流电机

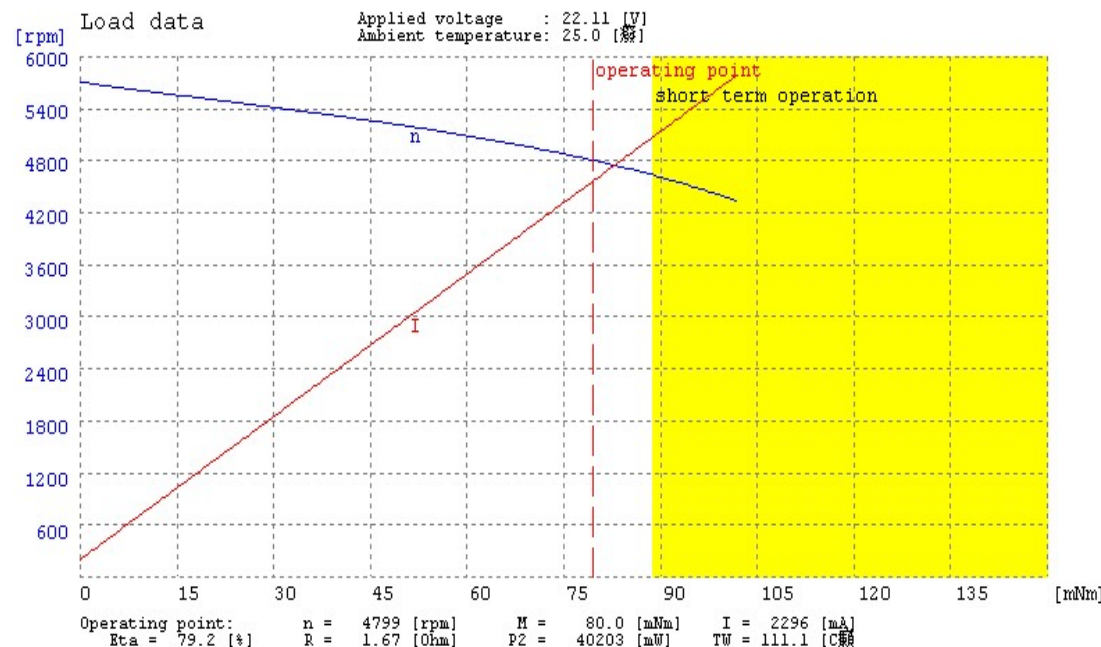
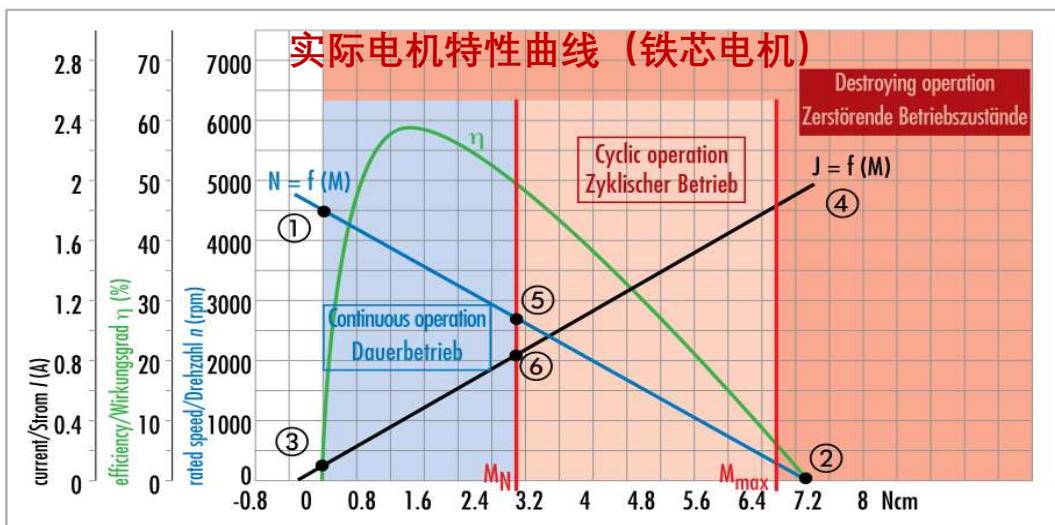
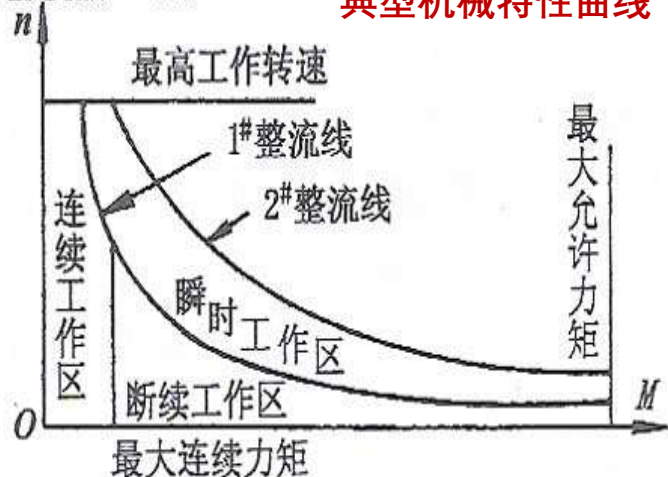
空心杯电机

直流伺服电机机械特性曲线

实际电机特性曲线（空心杯电机）

中国步进电机网 www.zgbjdj.com

典型机械特性曲线



- ◆ 功率 70 W
- ◆ 额定电压 24 V
- ◆ 空在转速 6210 rpm
- ◆ 堵转转矩 783 mNm；最大连续转矩 81.0 mNm
- ◆ 启动电流 21.5 A；最大连续电流 2.44 A

哈尔滨工程大学 机电工程学院

4.2.3 直流伺服电机

□ 直流伺服电机的主要特点

1. 具有很好的调速特性，调速范围宽。电枢串电阻调速、改变电枢电压调速、PWM调速、改变励磁的恒功率调速，双闭环直流调速等各种调速方式。
2. 较大的启动转矩、功率大、响应速度快。
3. 可通过闭环实现调速、力矩和位置伺服控制
4. 断电不能自锁，需要配置专用电磁制动器才能实现断电后的定位。
5. 输出力矩与控制电流成正比，输出转速受到负载变化的影响。
6. 常采用线性驱动和脉宽调制（PWM）驱动两种方式。
7. 常用于机器人、数控机床等高性能伺服控制系统



力矩电机的特点

➤ 直流力矩电机的主要特点

- 力矩电机是一种具有软机械特性和宽调速范围的特种电机。
- 当负载增加时，电动机的转速能自动的随之降低，而输出力矩增加，保持与负载平衡。
- 力矩电机的堵转转矩高，堵转电流小，能承受一定时间的堵转运行。
- 可作为位置和低速随动系统中的执行元件，可以直接驱动负载，结构紧凑，维护简便；反应速度快、特性线性度好，共振频率高，机械噪声小。
- 力矩电机配以高精度检测元件、放大部件及其它校正环节等组成闭环伺服系统，低速控制平稳，调速范围可达几万甚至数十万，位置精度可达角秒级。



4.2.4 交流伺服电机

按结构形式分：

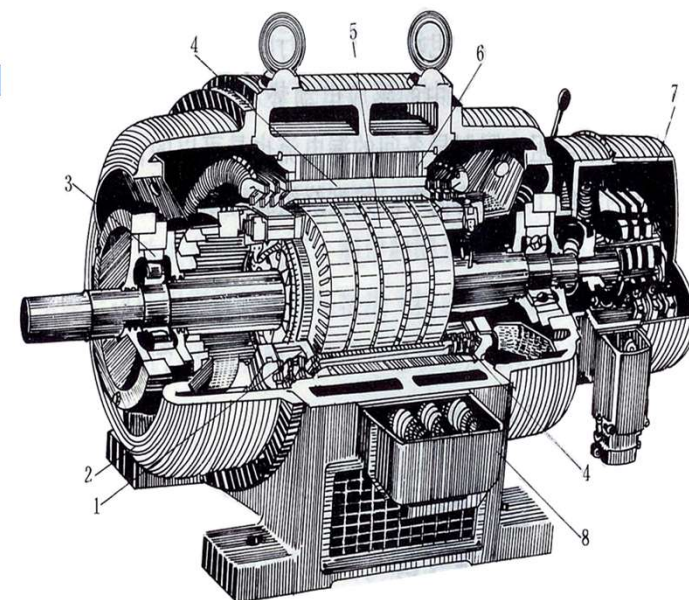
➤ 同步交流伺服电机

永磁式：转子由永磁材料制成，构成转子磁极，定子装有绕组，产生旋转磁场。

励磁式：通过线圈绕组电磁场励磁

➤ 感应式交流伺服电机（鼠笼感应电机）

一相、二相、三相等



1转子绕组 2端盖 3轴承 4定子绕组
5转子 6定子 7集电环 8出线盒

$$n = \frac{60 f (1 - s)}{p} = (1 - s) n_0$$

转速与电源频率，极对数，转差率有关

交流伺服电机的结构和工作原理

感应式电机速度控制

(1) 改变电源频率 f (变频调速)

调节输入到定子的电压（或电流）的频率和幅值，控制电机转速。

转差频率控制和电压-频率比（ U/f ）控制

(2) 改变转差率 s ，即改变电源电压

优点：速度控制范围1:10，可以制动控制

缺点：随着转速降低，损失增加，效率降低

(3) 改变磁极对数 p

如双速电机

$$n = \frac{60 f (1 - s)}{p} = (1 - s) n_0$$



交流伺服电机产品



松下



台达



安川



上海四宏电机



台州亿丰

交流伺服电机

例：松下交流伺服电动机

电机、编码器、电磁制动器集成与一体式结构

(1) 响应频率2.0kHz, 20位编码器 (1圈104万脉冲) . 低齿槽转矩.

半/全闭环控制

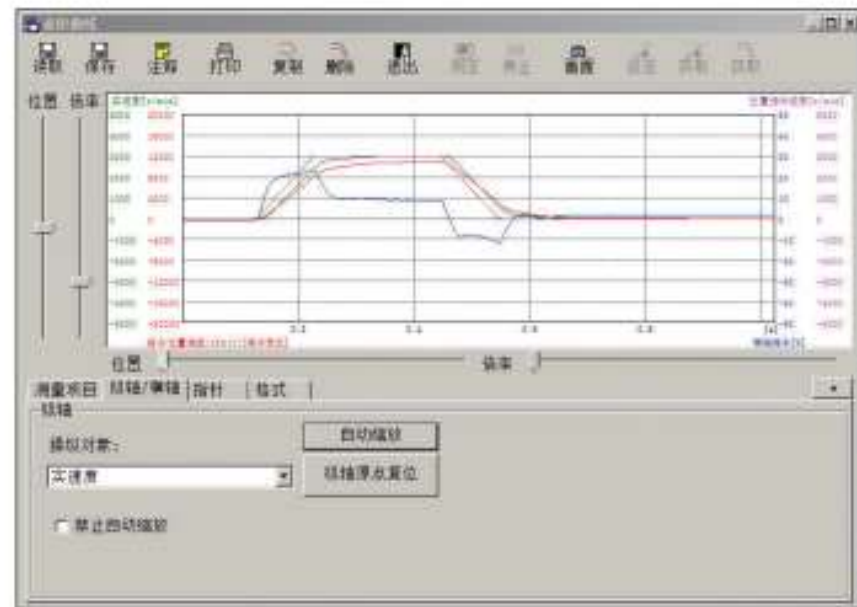
(2) 多功能实时自动增益调整、自动/手动陷波滤波器

制振滤波器、设备仿真

(3) 小型化 (1kW以上电机减轻了10-25%)

(4) 低噪音

(5) 支持软件 “PANATERM”



交流伺服电机



松下交流伺服电动机型号说明

MSME5AZG1S**

特殊规格

电机规格
MSME(50 W ~ 750 W[200 V]), MSMD, MHMD

符号	轴		制动器		密封	
	圆轴	方轴	有	无	有	无
A	●		●		●	
B	●			●	●	
C	●		●			●
D	●			●		●
N		●	●		●	
P		●		●	●	
Q		●	●			●
R		●		●		●
S		●	●		●	
T		●		●	●	
U		●	●			●
V		●	●		●	

MSME(750 W[400 V], 1.0 kW ~ 15.0 kW),
MDME, MFME, MGME, MHME

符号	轴		制动器		密封	
	圆轴	方轴	有	无	有	无
C	●		●		●	
D	●			●		●
G		●	●		●	
H		●		●		●

设计顺序

符号	规格
C	IP65 电机
1	IP67 电机(MSMD, MHMD为IP65)

电机额定功率

符号	额定功率	符号	额定功率
5A	50 W	25	2.5 kW
01	100 W	30	3.0 kW
02	200 W	40	4.0 kW
04	400 W	45	4.5 kW
06	600 W	50	5.0 kW
08	750 W	60	6.0 kW
09	0.9 kW	75	7.5 kW
10	1.0 kW	C1	11.0 kW
15	1.5 kW	C5	15.0 kW
20	2.0 kW		

电压规格

符号	规格
1	100 V
2	200 V
4	400 V
Z	100 V/200 V 通用 (仅限50 W)

旋转编码器规格

符号	方式	脉冲数	分辨率	导线
G	增量式	20bit	1048576	5芯
S	绝对式	17bit	131072	7芯

*符号为S的也可使用增量式

2自由度控制方式
全功能型

A5II 系列

- 额定功率: 50 W ~ 15.0 kW
- 20bit增量式、17bit绝对式/增量式
 - 全功能型:
位置·速度·转矩**·全闭环控制**
- **1 不适用于2自由度控制方式。

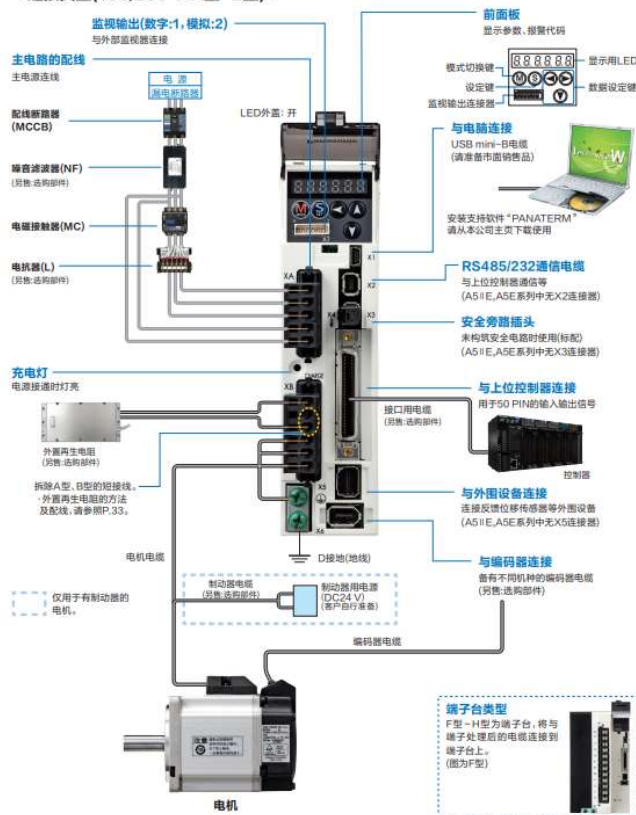
全功能型

A5 系列

- 额定功率: 50 W ~ 15.0 kW
- 20bit增量式、17bit绝对式/增量式
 - 全功能型:
位置·速度·转矩·全闭环控制

交流伺服系统

<连接类型(100/200 V:A型~E型)>

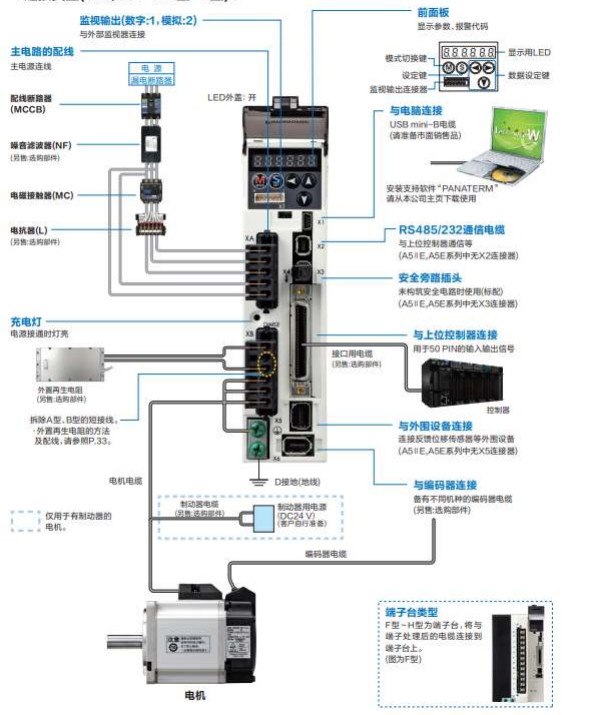


<连接类型(100/200 V:A型~E型)>



交流伺服系统

<连接类型(100/200 V:A型~E型)>



充电灯
电源接通时灯亮

外置再生电阻
(另售:选购部件)

拆除A型、B型的短接线。
外置再生电阻的方法
及配线, 请参照P.33。

电机电缆

仅用于有制动器的
电机。

电机

与上位控制器连接

接口用电缆
(另售:选购部件)

控制器

与外围设备连接

连接反馈位移传感器等外围设备
(A5 II E, A5E 系列中无X5连接器)

与编码器连接

备有不同机种的编码器电缆
(另售:选购部件)

编码器电缆

端子台类型

F型~H型为端子台, 将与
端子处理后的电缆连接到
端子台上。
(图为F型)



4.2.5 液压与气动伺服元件特点

(1) 液压伺服元件

液压伺服元件主要有比例阀和伺服阀两种控制阀，可以用小的直流信号对大功率的流量或压力实现控制，其主要特点为：

- 功率密度大，输出功率大，带载能力强。
- 伺服阀与油缸、马达组成液压伺服系统，实现高性能位置，速度或力控制。
- 响应速度快，低速平稳性好。
- 具有自密封性，可适用于水下、化工等特殊环境。

4.2.5 液压与气动伺服元件特点



径向柱塞马达 减速机、行走齿轮
德国力士乐rexroth



柱塞泵
美国丹尼逊



齿轮泵



叶片泵

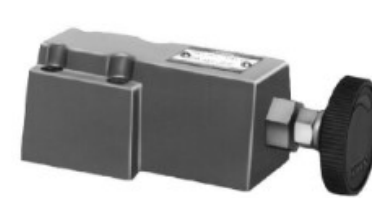


轴向柱塞泵

美国派克Parker



油缸



远程控制溢流阀
日本油研

4.2.5 液压与气动伺服元件特点

(2) 气压伺服元件

气压伺服元件主要有开关阀和比例阀，其**优点**为：

- 工作介质来源于空气，方便且无污染。
- 空气粘性小，在管路中的沿程压力损失为液压系统的千分之一，适于远距离传输与控制。
- 工作压力低，可降低对气动元件的材料和制造精度要求。
- 反应速度快。
- 无污染，适用于各种生产线、食品或药品的生产线。

缺点： 空气压缩性大，精度较低。效率低，噪声大。工作压力低，不易获得大的推力。

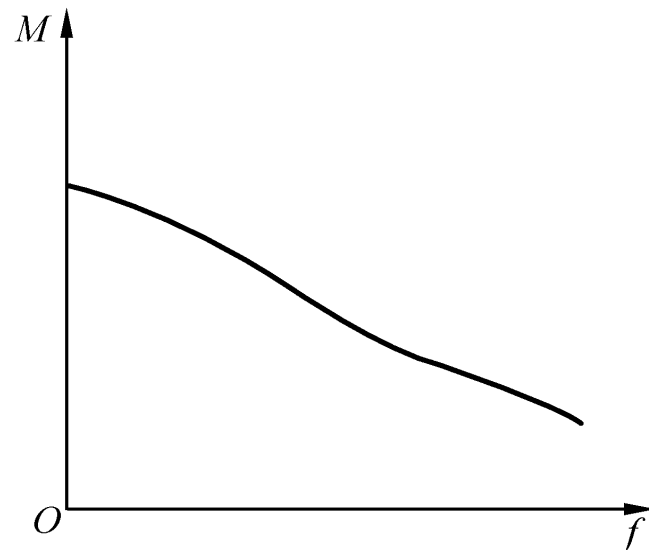


4.3 常用动力驱动元件选择方法

4.3.1 步进电机选择计算方法

步进电机选择原则：

- 按位置精度要求选择步距角。
- 按启动速度、最大工作速度选择启动频率和最高工作频率。
- 按启动负载和工作负载确定启动力矩和工作力矩。
- ◆ 按惯频率特性和矩频特性曲线效验电机的力矩。



4.3.1 步进电机选择计算方法

□ 步进电机的选择计算步骤

(1) 步距角的选择:

按照电机相数不同，有三种步距角：

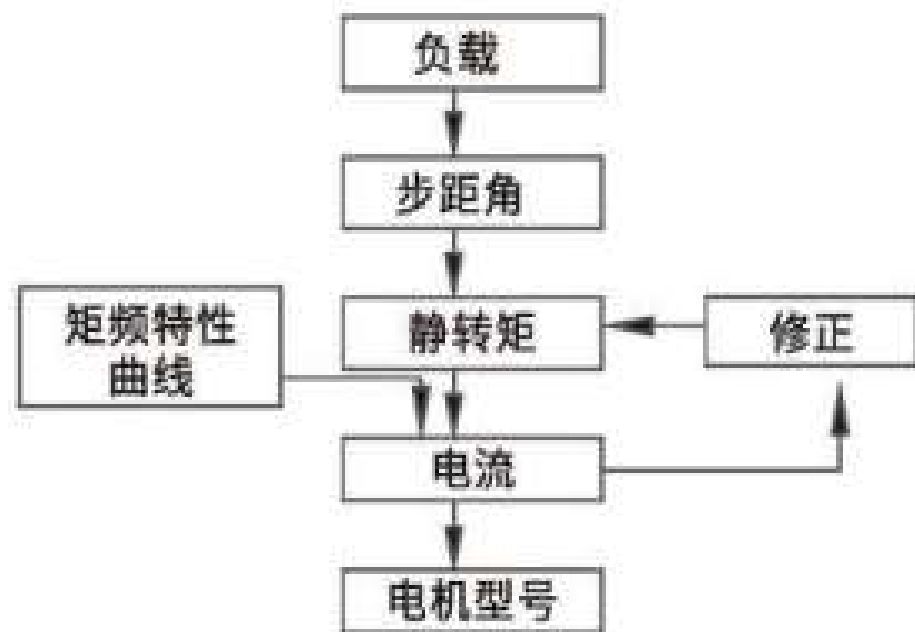
1.8°/两相、1.2°/三相、0.72°/五相

细分技术：根据输出速度，平稳性（谐振）选择系数

例如：丝杠螺母机构，导程5mm，两相步进电机，步距角1.8°，驱动器4细分

细分前：电机每转脉冲数为 $360/1.8=200$ ，脉冲当量为 $5/200=0.025\text{mm}=25\mu\text{m}$

细分后：脉冲当量为 $5/800=0.00625\text{mm}=6.25\mu\text{m}$



4.3.1 步进电机选择计算方法

□ 步进电机的选择计算步骤

(2) 静转矩（保持转矩） T_n 选择

电机机座	保持转矩范围	典型型号
20	0.03~0.05Nm	ABC20H228-4P06
28	0.06~0.13Nm	ABC28H232-4P05
35	0.15~0.4Nm	ABC35H226-4P10
42	0.2~0.8 Nm	ABC42H231-4P06
57	0.6~2.6 Nm	ABC57H242-4P10
60	2.2~3.0 Nm	ABC60H248-4P20
86	3.5~12 Nm	ABC86H260-4C30

计算负载折算到电机轴上的负载转矩 T_1 ，按照电机所需最高运行速度选择。

- 电机转速 $<300\text{rpm}$ 时， $T_n = T_1 * SF$ （安全系数 SF 一般取1.5-2.0）
- 电机转速 $>300\text{rpm}$ 时， $T_n = T_1 * SF$ （安全系数 SF 一般取2.5-3.5），参考上表初选电机，再利用矩频曲线进行检验。在矩频曲线上，对应电机最大转速的最大失步转矩 T_2 ，要求 T_2 比 T_1 大20%以上。

4.3.1 步进电机选择计算方法

□ 步进电机的选择计算步骤（三峰步进电机）

(3) 电机机座号选择

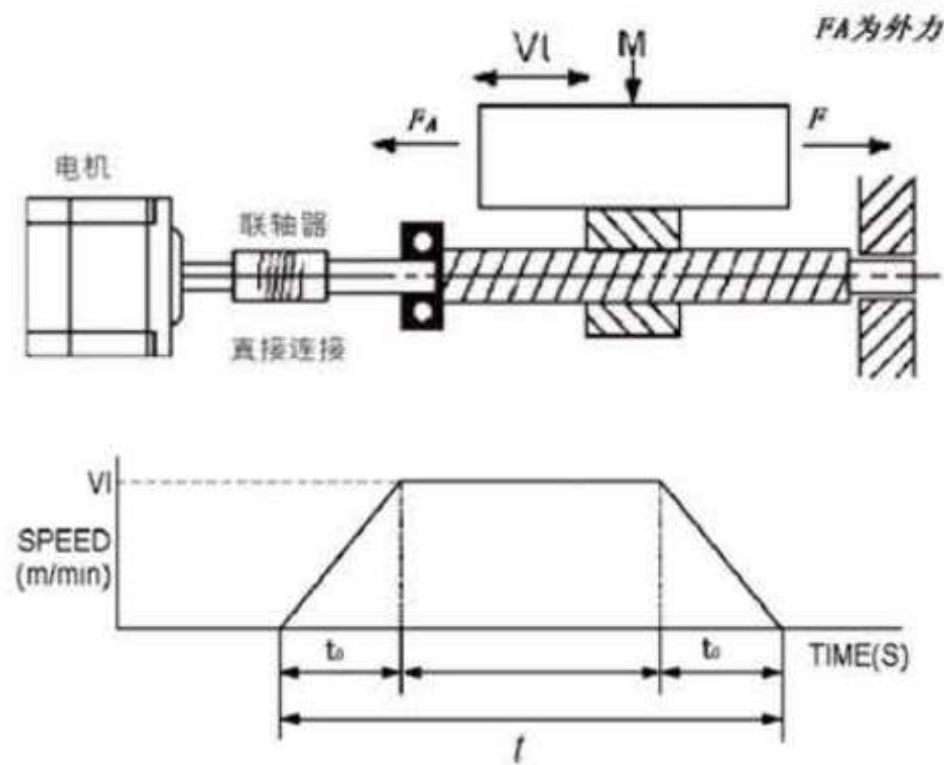
电机机座越大，保持转矩越大。根据电机保持转矩 T_n 选择。

(4) 按照额定电流选择配套步进电机驱动器

例如：某电机额定电流为5A，则驱动器的允许最大电流需5A以上（注意是有效值，不是峰值）

4.3.1 步进电机选择计算方法

□ 步进电机的选择举例



机构参数:

速度 $V=0.2\text{m/s}$, 工件部分质量 $m=15\text{kg}$,
丝杠长度 $L_B=0.5\text{m}$, 丝杠直径 $D_B=0.016\text{m}$,
丝杠导程 $P_B=0.01\text{m}$, 联轴器质量 $M_C=0$,
联轴器直径 $D_C=0$, 摩擦系数 $\mu=0.1$, 移动
距离 $L=0.42\text{m}$, 机械效率 $\eta=0.9$, 定位时
间 $t=2.6\text{s}$, 加减速时间 $t_a=0.05\text{s}$, 外力
 $F_a=0$ 。

4.3.1 步进电机选择计算方法

(1) 电机转速:

$$N_m = V / P_B = 20\text{rps} = 1200\text{rpm}$$

(2) 摩擦转矩:

$$T_L = \frac{\mu M g P_B}{2\pi\eta} = 0.026\text{Nm}$$

速度 $V=0.2\text{m/s}$

工件部分质量 $m=15\text{kg}$

丝杠导程 $P_B=0.01\text{m}$

摩擦因数 $\mu=0.1$

机械效率 $\eta=0.9$

4.3.1 步进电机选择计算方法

(3) 加速转矩

负载折算到电机轴的惯量

$$J_L = m \left(\frac{P_B}{2\pi} \right)^2 = 3.8 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

丝杠惯量

$$J_B = \frac{\pi}{32} \rho L_B D_B^4 = 2.54 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

总惯量 (忽略联轴器) $J_A = J_L + J_B + J_M = 9.5 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$ J_M--电机转子惯量

加速转矩 $T_s = \frac{2\pi N_m J_A}{60 t_a} = 0.24 \text{ Nm}$

工件部分质量 $m=15\text{kg}$

丝杠长度 $L_B=0.5\text{m}$

丝杠直径 $D_B=0.016\text{m}$

丝杠导程 $P_B=0.01\text{m}$

加减速时间 $t_a=0.05\text{s}$

$\rho=7900\text{kg/m}^3$

4.3.1 步进电机选择计算方法

(4) 必须转矩 T

取安全系数 $S=1.5$ ，则

$$T = (T_L + T_s) \times S = 0.36 \text{ Nm}$$

选系列步进电机57CM

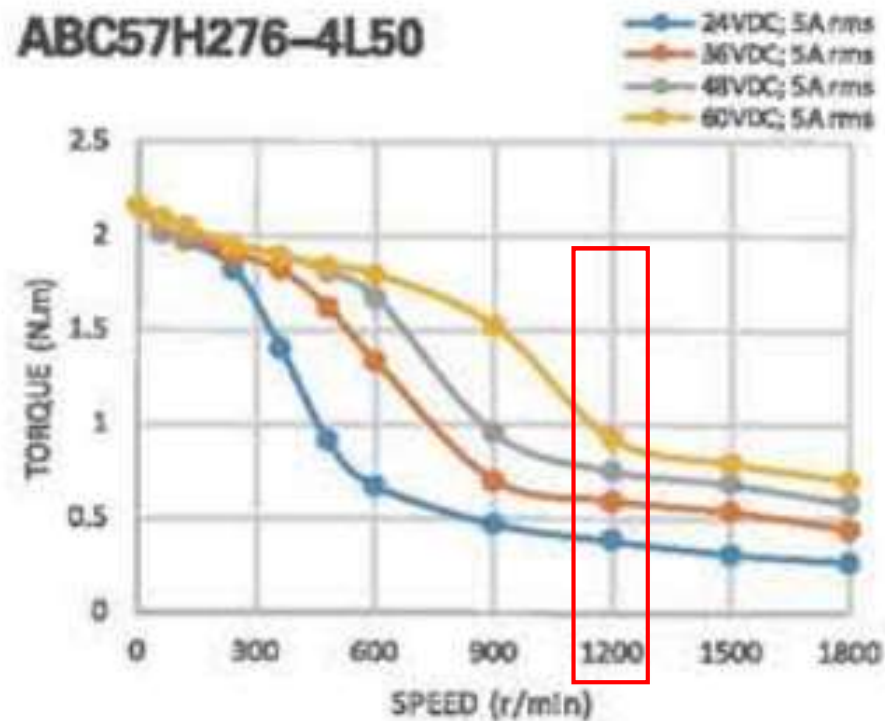
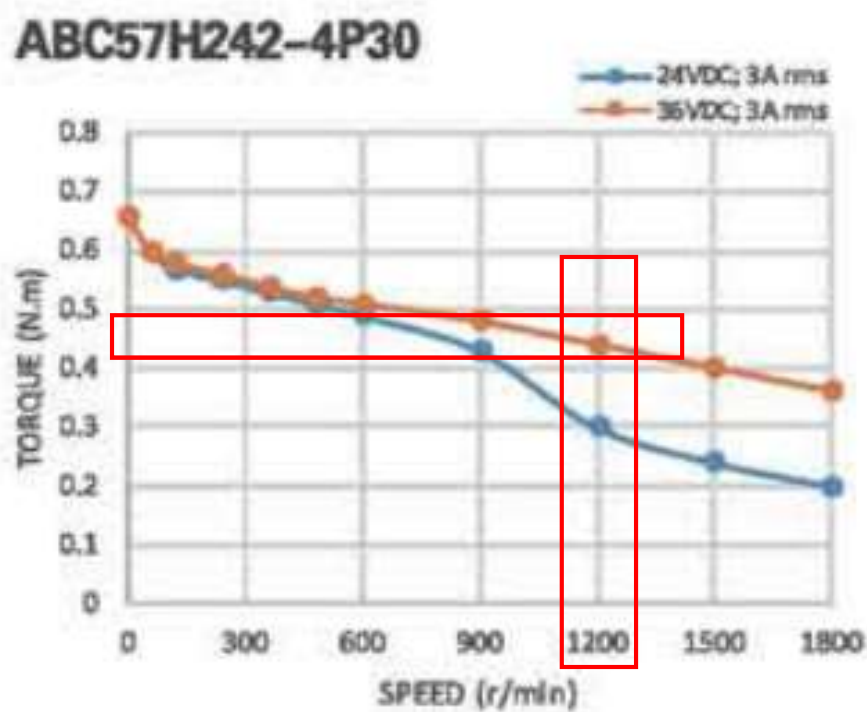
配套驱动器选DM556S

满足要求

型号 Model	保持力矩 N.m	额定电流 A/相	线圈电阻 Ω/相	电感 mH/相	转动惯量 g.cm ²	重量 kg	L mm	匹配 驱动器型号
ABC57H242-4P10□	0.6	1	4.2	8.9	140	0.46	42.5	DM542
ABC57H242-4P20□		2	1.2	2.1				
ABC57H242-4P30□		3	0.51	1				
ABC57H245-4P10□	0.8	1	4.7	10.8	180	0.52	45.5	
ABC57H245-4P20□		2	1.25	2.7				
ABC57H245-4P30□		3	0.57	1.2				
ABC57H251-4P10□	1	1	5.5	16	240	0.64	51.5	
ABC57H251-4P20□		2	1.5	4.3				
ABC57H251-4P30□		3	0.7	1.75				
ABC57H255-4P20□	1.2	2	1.6	5.2	280	0.72	55.5	
ABC57H255-4P30□		3	0.7	2.4				
ABC57H255-4L40□		4	0.45	1.4				

4.3.1 步进电机选择计算方法

动态力矩曲线（参考值）



4.3.2 直流伺服电机选择计算方法

- 1) 电动机在峰值力矩下不断驱动负载（伺服系统属于这种情况），按峰值转矩和峰值转速进行计算：

$$P_m = (1.5 \sim 2.5) \frac{T_{LP} n_{LP}}{\eta}$$

其中： P_m --电动机估算功率； T_{LP} --负载均方根力矩，Nm
 n_{LP} --负载均方根转速，rpm； η --传动装置效率

- 2) 长期连续工作在变载荷下，按均方根力矩和均方根转速进行计算：

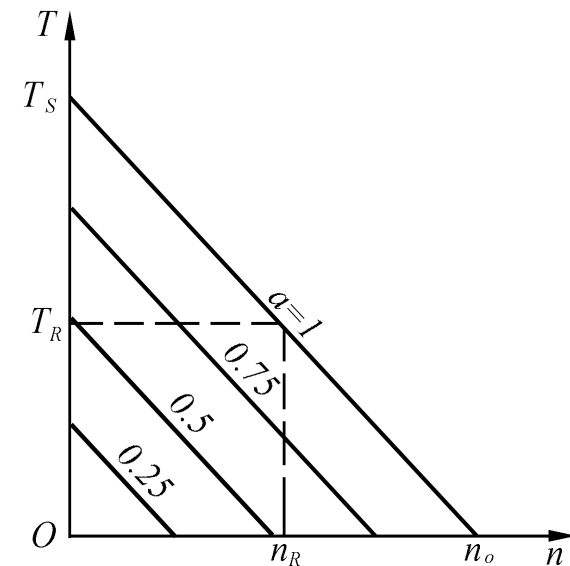
$$P_m = (1.5 \sim 2.5) \frac{T_{Lr} n_{Lr}}{\eta}$$

其中： P_m --电动机估算功率； T_{Lr} --负载均方根力矩，Nm；
 n_{Lr} --负载均方根转速，rpm； η --传动装置效率

4.3.2 直流伺服电机选择计算方法

(3) 按扭矩—转速特性选取

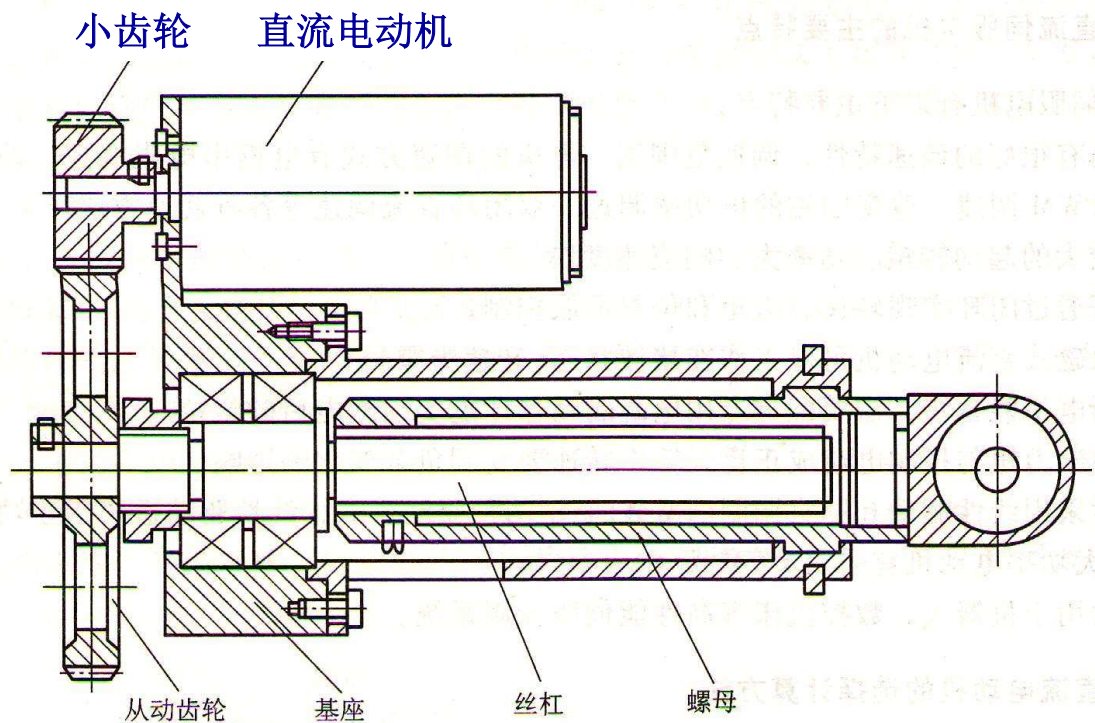
画出电机的扭矩—转速特性曲线，并考虑电机的效率对扭矩的影响（用 ηT 代替 T ）。使电机在整个工作范围内的扭矩、转速始终位于 T — n 曲线的下方。



- (1)、(2) 两种选择方法都是经验法，作为要求不高的场合是可以直接使用的；
- 对于要求较高情况，(1)、(2) 两种方法可作为电机初选方法，再通过方法 (3) 校核。或直接用 (3) 方法来选择电机。

直流电动机的选择计算方法

例题：如图电动推杆机构，已知螺母受负载力 $F=300\text{N}$ ，螺母移动速度 $v=0.04\text{m/s}$ ，丝杠螺距 $p=1.5\text{mm}$ ，齿轮传动比 $i=3$ ，总效率30%。选择直流电机。



解：

螺母受力 $F = 300N$, 螺母速度 $V = 0.04 m/s$

丝杠螺距 (单头) $P = 1.5mm$, 齿轮传动比 $i = 3$,

总效率 $\eta = 30\%$

(1) 计算电机转速 $n = \frac{v}{P} \times i \times 60 = 4800 rpm$

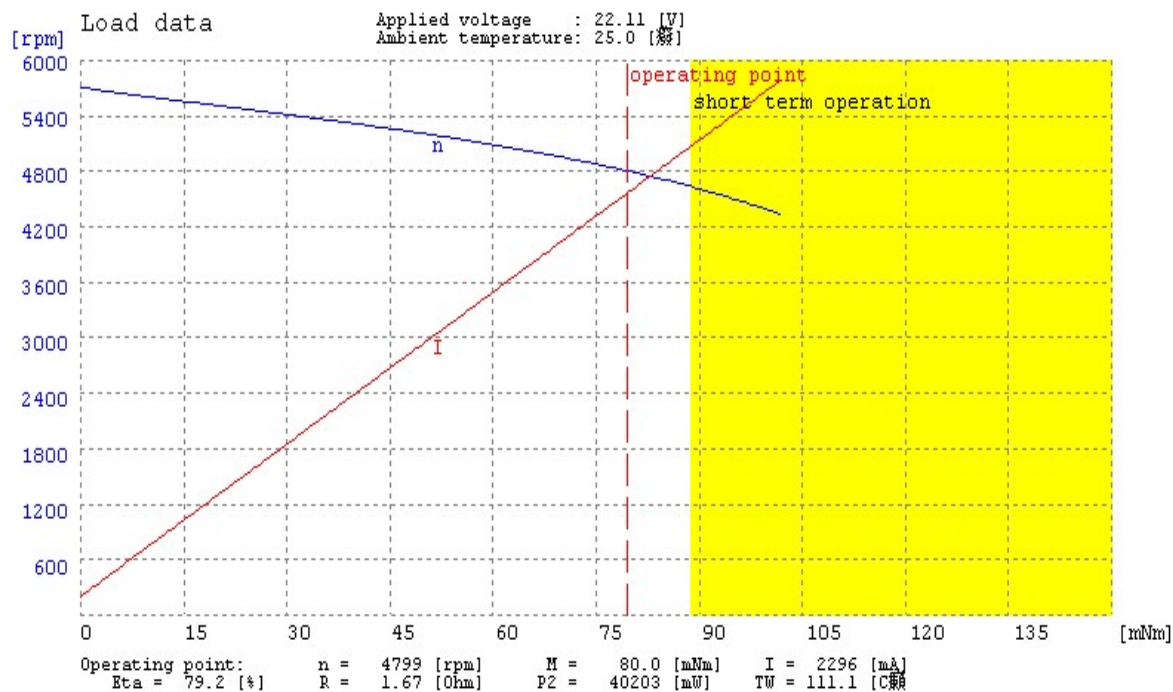
根据功率守恒 $F \times v = \eta \times n \times T$

(2) 计算电机转矩 $T = 0.0796 N \cdot m = 79.6 mN \cdot m$

直流电动机的选择计算方法

(3) 根据额定转矩和转速的要求选电机

按最大连续转矩和额定转速选择电动机，选择瑞士Maxon公司生产的RE36型直流永磁有刷直流伺服电机。



直流电动机的选择计算方法

思考： 若负载具有最大加速度为 a ，则如何进行电机的选择计算？

电动机的角加速度

$$\varepsilon = \frac{a}{P} \times i \times 2\pi$$

负载折算到电动机轴上的等效惯量

$$J_{e2} = \frac{1}{i^2} \times m \left(\frac{p}{2\pi} \right)^2$$

折算到电动机轴上的总等效惯量

$$J_e = J_{e1} + J_{e2}$$

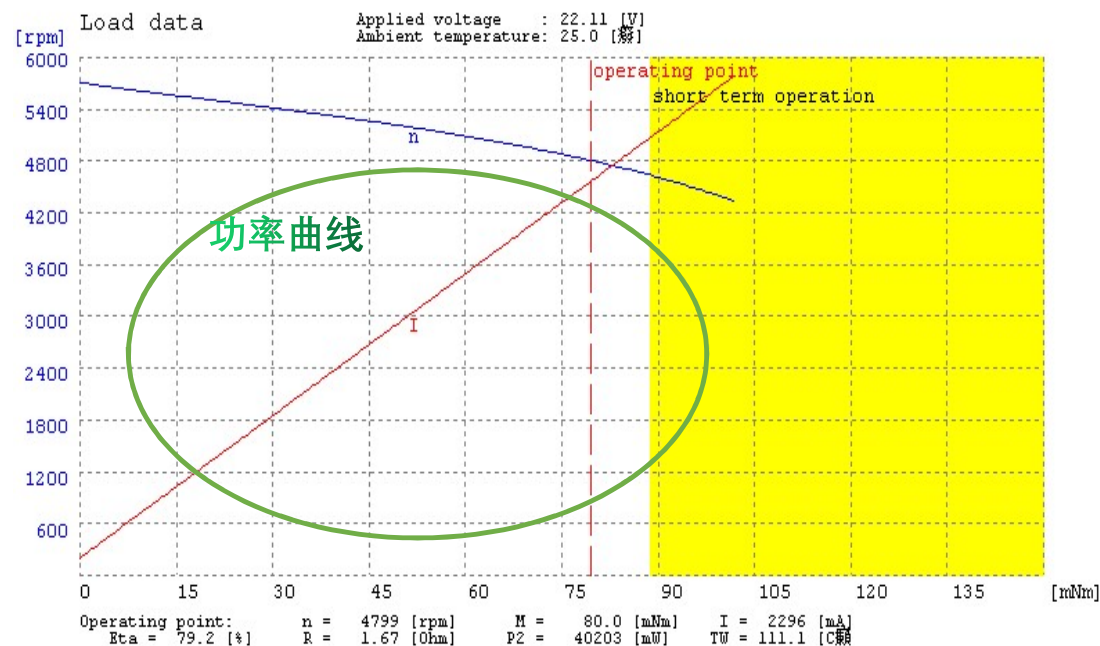
直流电动机的选择计算方法

折算到电动机轴上的惯性力矩

$$T_e = J_e \varepsilon$$

电动机的总驱动转矩

$$T_m = T + T_e$$



- 再根据最大加速度时的速度和总力矩在电机机械特性曲线上校核电动机；
- 准确选择方法，计算全周期动态力矩、动态转速，画出负载功率曲线，使功率曲线处于机械特性曲线下方。

直流电动机的选择计算方法

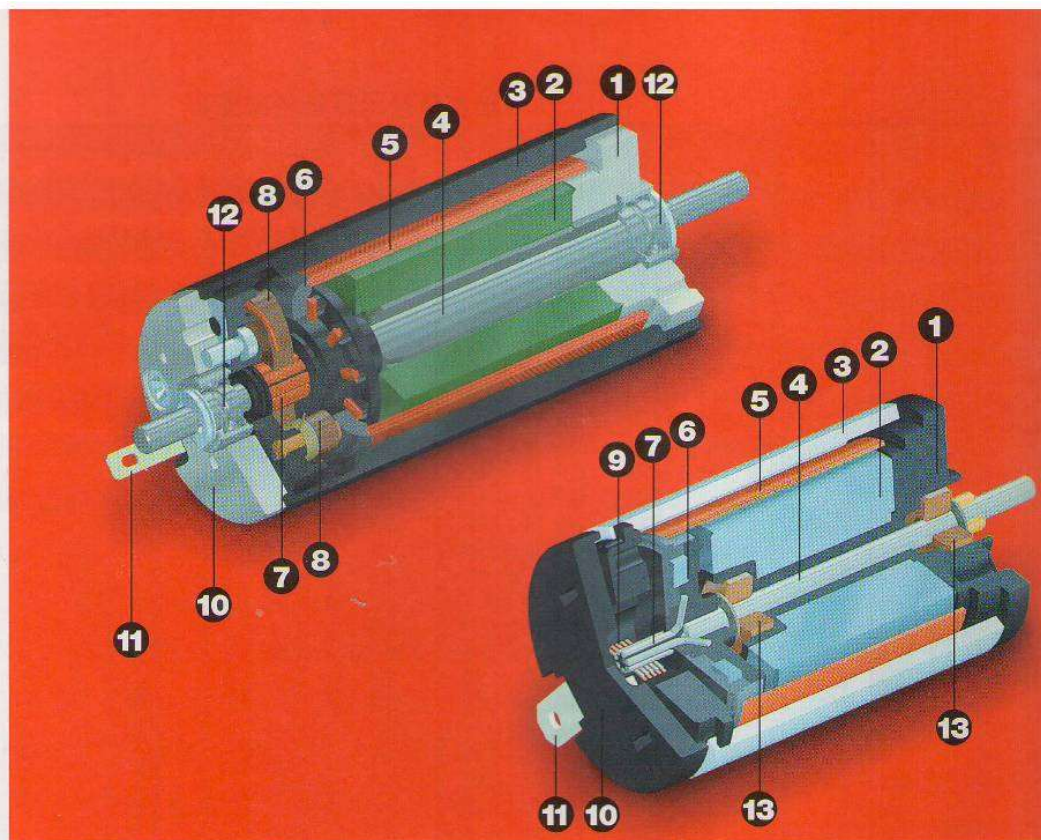
• Maxon 直流电机

技术概述

maxon 直流电机的技术特点:

- 无齿槽效应
- 采用小惯量转子获得高的加速性能
- 电磁干扰小
- 小电感
- 高效率
- 线性的电压/速度曲线
- 线性的负载/速度曲线
- 线性的负载/电流曲线
- 换向器多片设计, 转矩波动小
- 可短时过载
- 结构紧凑、小尺寸
- 能与多种齿轮箱、编码器、直流测速机配合使用

maxon DC motor

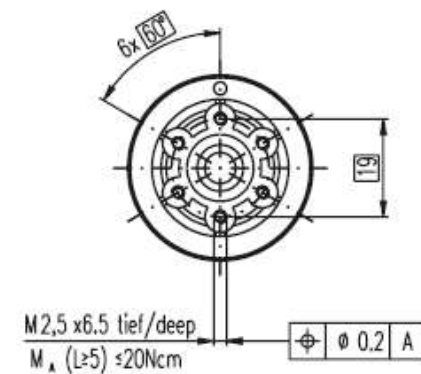
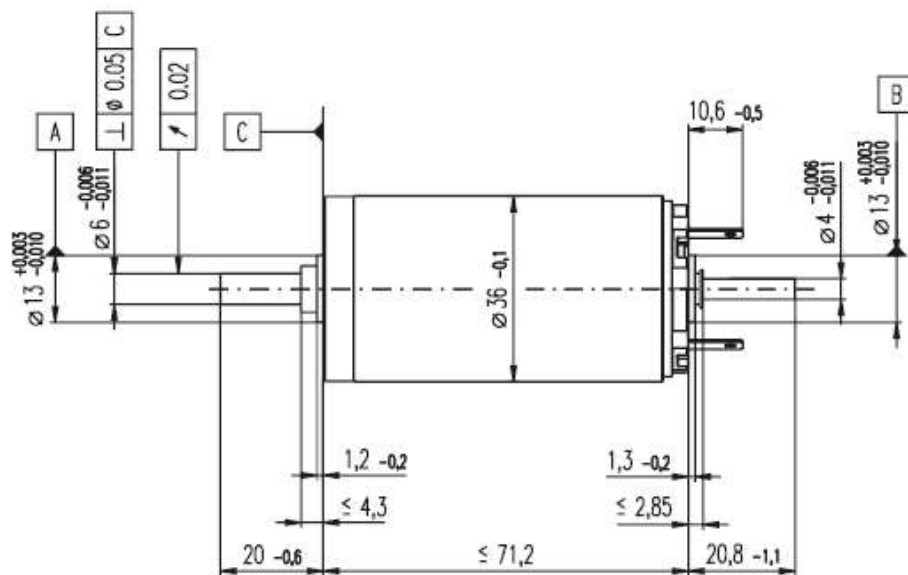
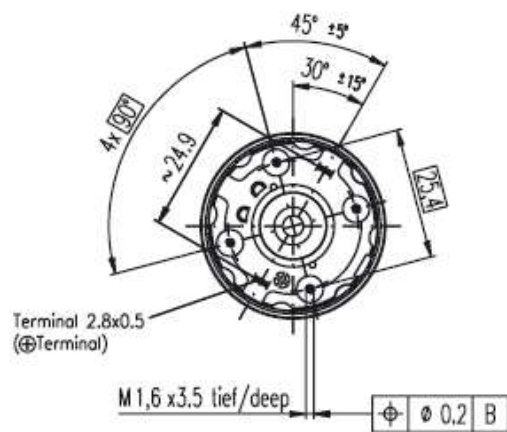


直流电动机的选择计算方法

• RE36的性能参数

RE 36 $\varnothing 36$ mm, Graphite Brushes, 70 Watt

maxon DC motor



M 1:2



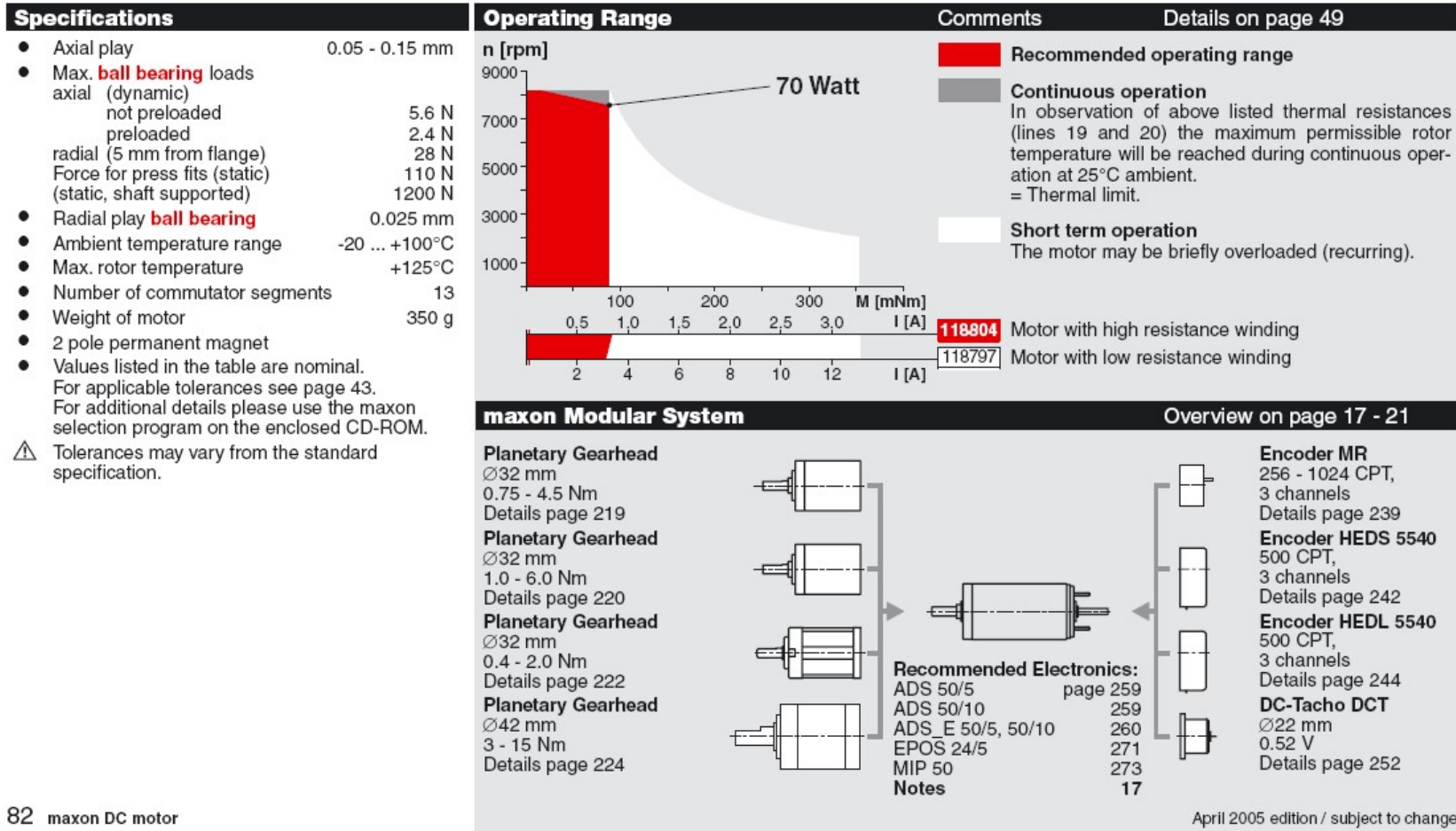
直流电动机的选择计算方法

☒ Stock program
☐ Standard program
☐ Special program (on request!)

Order Number

			118797	118798	118799	118800	118801	118802	118803	118804	118805	118806	118807	118808	118809	118810
Motor Data																
1	Assigned power rating	W	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
2	Nominal voltage	Volt	18.0	24.0	32.0	42.0	42.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
3	No load speed	rpm	6610	6210	6790	7020	6340	6420	5220	4320	3450	2830	2280	1780	1420	1180
4	Stall torque	mNm	730	783	832	865	786	785	627	504	403	326	258	198	158	127
5	Speed / torque gradient	rpm / mNm	9.23	8.05	8.27	8.19	8.14	8.25	8.41	8.65	8.67	8.80	8.96	9.17	9.21	9.51
6	No load current	mA	153	105	89	70	61	55	42	33	25	20	15	12	9	7
7	Starting current	A	28.6	21.5	18.7	15.3	12.6	11.1	7.22	4.80	3.06	2.04	1.30	0.784	0.501	0.334
8	Terminal resistance	Ohm	0.628	1.11	1.71	2.75	3.35	4.32	6.65	10.00	15.7	23.5	36.8	61.3	95.8	144
9	Max. permissible speed	rpm	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
10	Max. continuous current	A	3.18	2.44	1.99	1.59	1.44	1.27	1.03	0.847	0.679	0.556	0.445	0.346	0.277	0.226
11	Max. continuous torque	mNm	81	88.8	88.5	89.8	90.4	90.1	89.8	89.0	89.2	88.8	88.1	87.3	87.2	85.8
12	Max. power output at nominal voltage	W	123	125	146	157	129	131	84.9	56.4	36.0	23.9	15.2	9.09	5.78	3.82
13	Max. efficiency	%	84	85	86	86	86	86	85	84	82	81	79	77	75	72
14	Torque constant	mNm / A	25.5	36.4	44.5	56.6	62.6	70.7	86.9	105	131	160	198	253	315	380
15	Speed constant	rpm / V	375	263	215	169	152	135	110	90.9	72.7	59.8	48.2	37.8	30.3	25.1
16	Mechanical time constant	ms	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
17	Rotor inertia	gcm ²	60.2	67.7	65.2	65.4	65.6	64.6	63.3	61.5	61.3	60.3	59.2	57.8	57.5	55.7
18	Terminal inductance	mH	0.10	0.20	0.30	0.49	0.60	0.76	1.15	1.68	2.62	3.87	5.96	9.70	15.10	21.90
19	Thermal resistance housing-ambient	K / W	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
20	Thermal resistance rotor-housing	K / W	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
21	Thermal time constant winding	s	38	43	41	41	41	41	40	39	39	38	37	36	36	35

直流电动机的选择计算方法



82 maxon DC motor

April 2005 edition / subject to change

4.3.3 交流伺服电机选择计算方法

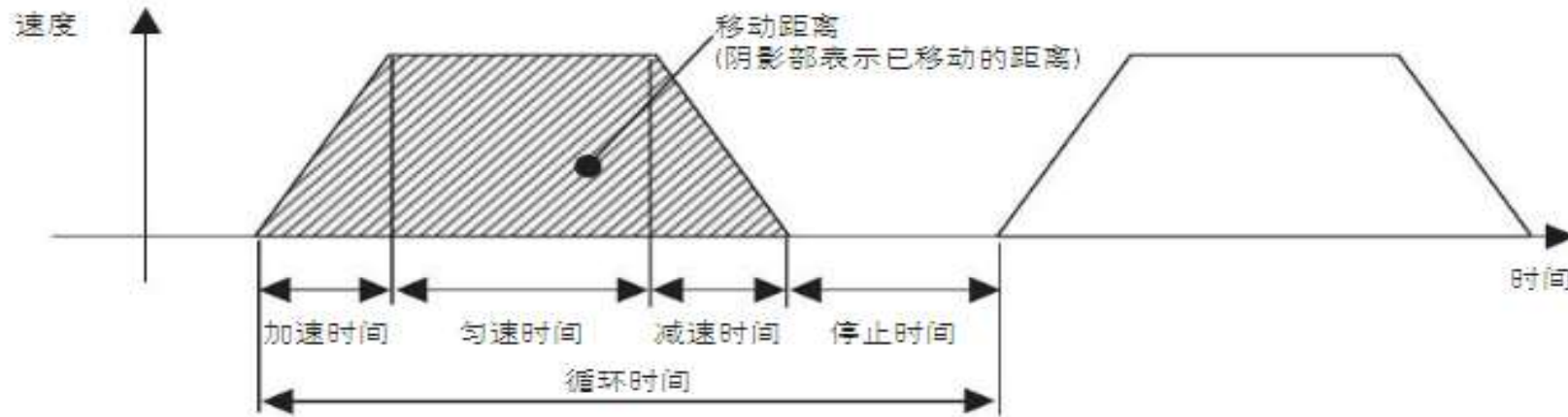
电机选择步骤

(1) 确定传动机构及零件参数

如：滚珠丝杠机构、同步带传动、齿轮齿条

(2) 确定运动模式

如：加减速时间、匀速时间、停止时间、循环时间、移动距离



注：除了特别需要的情况，加减速时间、停止时间尽量大，这样电机容量可以选小些。

4.3.3 交流伺服电机选择计算方法

(3) 计算负载惯量和惯量比

惯量比=负载惯量/电机惯量

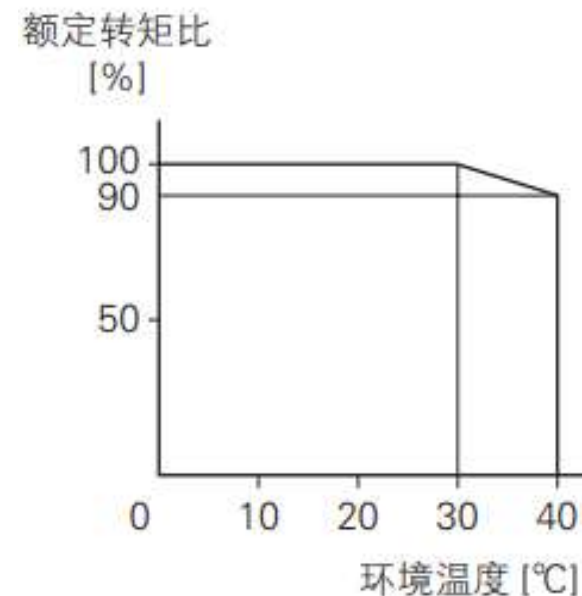
通常，750W以下电机 $KI \leq 20$ ，1000W以上电机 $KI \leq 10$ ；若要求快速响应，需更小的惯量比；若加速时间长，则可采用更大的惯量比。

(4) 计算转速

根据移动距离、加减速时间、匀速时间计算电机转速

最高转速：一般为额定转速以下，需要注意转矩和温升。

* 连续转矩 - 环境温度



4.3.3 交流伺服电机选择计算方法

(5) 计算转矩

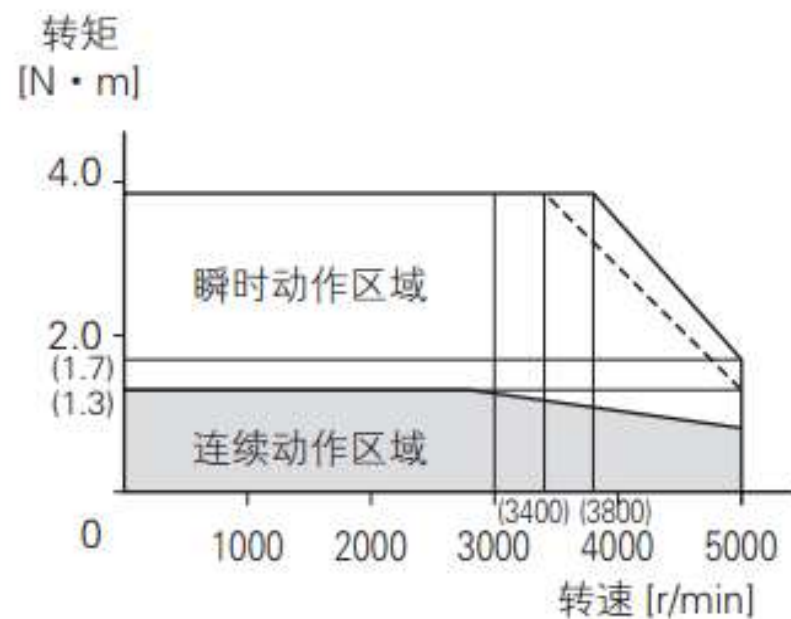
根据负载惯量、加减速时间、匀速时间计算所需的电机转矩

1) 峰值转矩:

运动过程中（主要是加减速时）电机所需的最大转矩，一般是电机最大转矩的80%以下。

2) 移动转矩、停止时的保持转矩

电机长时间运行所需的转矩，一般为电机额定转矩的80%以下。



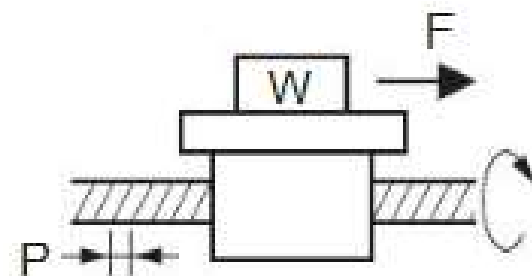
4.3.3 交流伺服电机选择计算方法

常用机构的负载转矩计算

➤ 滚珠丝杠机构

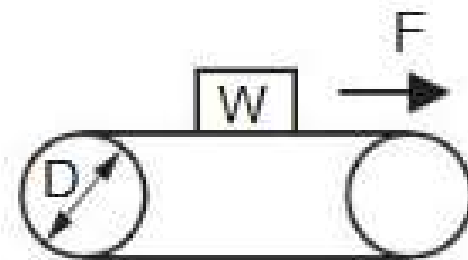
$$T_f = \frac{P}{2\pi\eta} (\mu g W + F)$$

其中：P--导程m， W—质量kg， F—外力



➤ 同步带传动

$$T_f = \frac{D}{2\eta} (\mu g W + F)$$



4.3.3 交流伺服电机选择计算方法

有效转矩计算方法

运动、停止全过程所需转矩的平方平均值的单位时间数值，一般为电机额定转矩的80%以下。

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

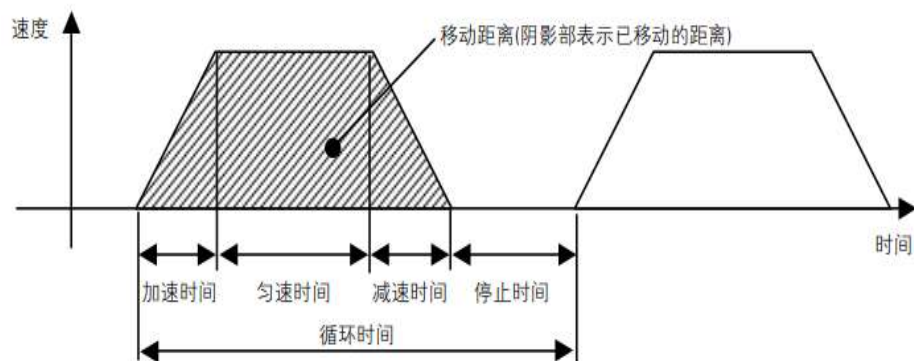
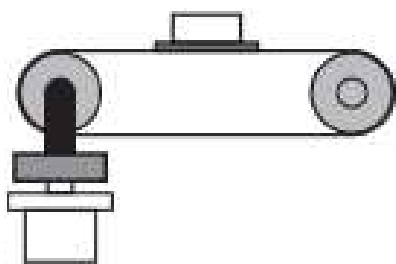
其中： t_a 、 T_a —加速时间与转矩； t_b 、 T_f —匀速时间与转矩

t_d 、 T_d —减速时间与转矩； T_c —循环时间（运动时间+停止时间）

(6) 选择电机：选择能满足以上3~5项条件的电机

交流伺服电机选型举例

使用传送带机构的计算例



1) 已知机构参数

工件部分质量 2kg ，滑轮直径 0.05m ，滑轮质量 0.5kg ，机构效率 0.8 ，联轴器的惯量 0 （电机直连）。

2) 已知运转模式

加速时间 0.1s ，匀速时间 0.8s ，减速时间 0.1s ，循环时间 2s ，移动距离 1m

交流伺服电机选型举例

3) 计算负载部分惯量

$$\begin{aligned} J_L &= J_C + J_B + J_P = J_C + \frac{1}{4} W_A \times P_D^2 + \frac{1}{4} W_P \times P_D^2 \times 2 \\ &= 0 + \frac{1}{4} \times 2 \times 0.05^2 + \frac{1}{8} \times 0.5 \times 0.05^2 \times 2 \\ &= 15.6 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

工件部分质量 $W_A=2\text{kg}$,
滑轮直径 $P_D=0.05\text{m}$,
滑轮质量 $W_P=0.5\text{kg}$,
联轴器的惯量 $J_C=0$ (电机直连),
带传动机构惯量 J_B
滑轮惯量 J_P

交流伺服电机选型举例

4) 预选电机

若选750W， 则

$$J_M = 0.87 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

5) 计算惯量比

$$J_L / J_M = 15.6 \times 10^{-4} / 0.87 \times 10^{-4}$$

$$J_L / J_M = 17.9 \text{倍} < 20.0 \text{倍(推荐惯量比)}$$

A5家族产品	
电机规格	200 V MSMD 750 W

规格			
		AC200 V用	
电机型号 *1	IP65		MSMD082G1□ MSMD082S1□
	IP67		— —
适用驱动器 *2	型号 *3	A5 II、A5系列 MCD◇T3520	
		A5 II E、A5E系列 MCD◇T3520E —	
	外型标识		C型
电源设备容量 (kVA)		1.3	
额定输出 (W)		750	
额定转矩 (N·m)		2.4	
瞬时最大转矩 (N·m)		7.1	
额定电流 (A (rms))		4.0	
瞬时最大电流 (A (o-p))		17.0	
再生制动器频率 (次/分钟) (注1)	无可选零部件		无限制 (注2)
	DV0P4283		无限制 (注2)
额定转速 (r/min)		3000	
最高转速 (r/min)		4500	
转子惯量 (× 10 ⁻⁴ kg·m ²)	无制动器		0.87
	有制动器		0.97
对应转子惯量的推荐负载惯量比 (注3)		20倍以下	
旋转式编码器规格 (注5)		20 bit增量式	17 bit绝对式
每一转的分辨率		1048576	131072

●制动器: (是保持 不能用)

静摩擦转矩

吸引时间(

释放时间(

励磁电流C

释放电压C

励磁电压C

●容许负

组装时	
运转时	

※ 注1~5详

※ 驱动器外

*1 电机型

*2 驱动器

*3 适用驱

有关型

交流伺服电机选型举例

6) 计算最高速度

$$\left(\frac{1}{2}t_a + t_b + \frac{1}{2}t_d\right) V_{MAX} = S$$

$$\left(\frac{1}{2} \times 0.1 + 0.8 + \frac{1}{2} \times 0.1\right) V_{MAX} = 1 \quad V_{MAX} = 1.111[\text{m/s}]$$

7) 计算转速

$$\text{滑轮转1圈: } \pi \times P_D = 0.157[\text{m}]$$

$$N = V_{MAX} / \pi P_D = 1.111 / 0.157 = 7.08[\text{rps}]$$

$$= 424.8[\text{rpm}] < 3000[\text{rpm}] (\text{预选电机额定转速})$$

交流伺服电机选型举例

8) 计算转矩

移动转矩

$$T_f = \frac{P_D}{2\eta} (\mu g W_A + F) = \frac{0.05}{2 \times 0.8} (0.1 \times 9.8 \times 3 + 0) = 0.061 \text{Nm}$$

加速时转矩

$$T_a = \frac{(J_L + J_M) \times 2\pi N[\text{r/s}]}{t_a[\text{s}]} + T_f$$
$$= \frac{(15.6 + 0.87) \times 10^{-4} \times 2\pi \times 7.08}{0.1} + 0.061 = 0.812 \text{Nm}$$

减速时转矩

$$T_d = \frac{(J_L + J_M) \times 2\pi N[\text{r/s}]}{t_d[\text{s}]} - T_f = 0.69 \text{Nm}$$

交流伺服电机选型举例

9) 最大转矩

$$T_{\max} = T_a = 0.812[\text{Nm}] < 7.1[\text{Nm}](750\text{W电机最大转矩})$$

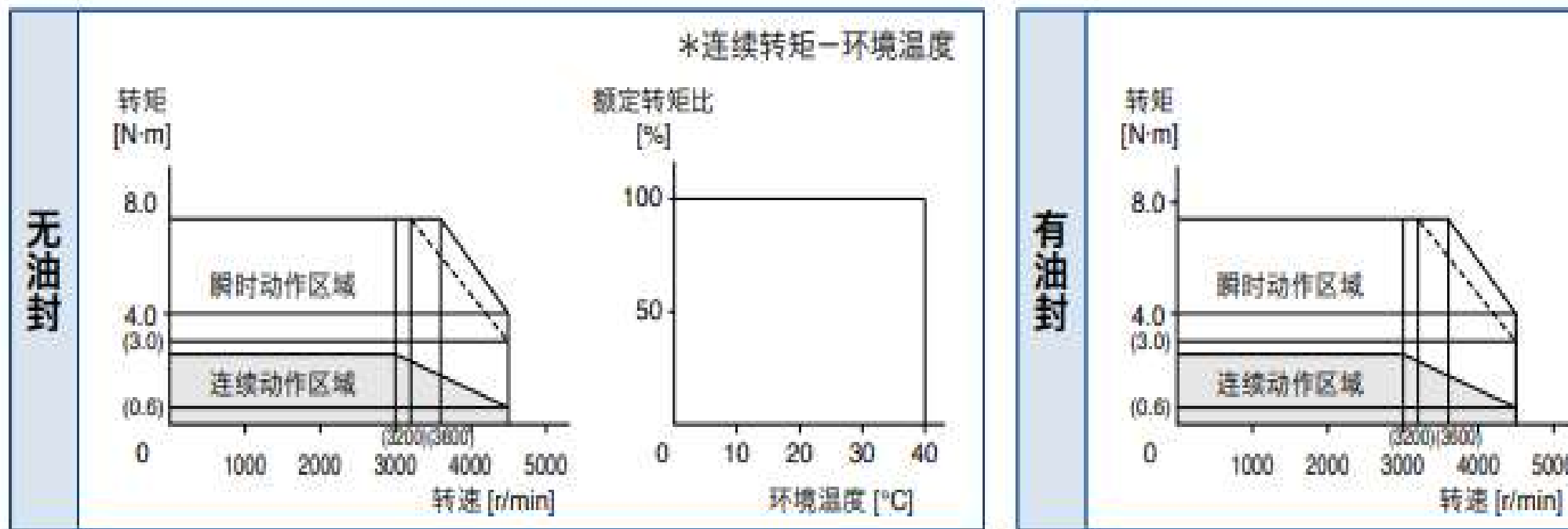
10) 有效转矩

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_a^2 \times t_a + T_f^2 \times t_b + T_d^2 \times t_d}{t_c}} = \sqrt{\frac{0.812^2 \times 0.1 + 0.061^2 \times 0.8 + 0.69^2 \times 0.1}{2}}$$
$$= 0.241 < 2.4\text{Nm}(\text{预选电机额定转矩})$$

11) 根据以上计算结果，选择750W电机。

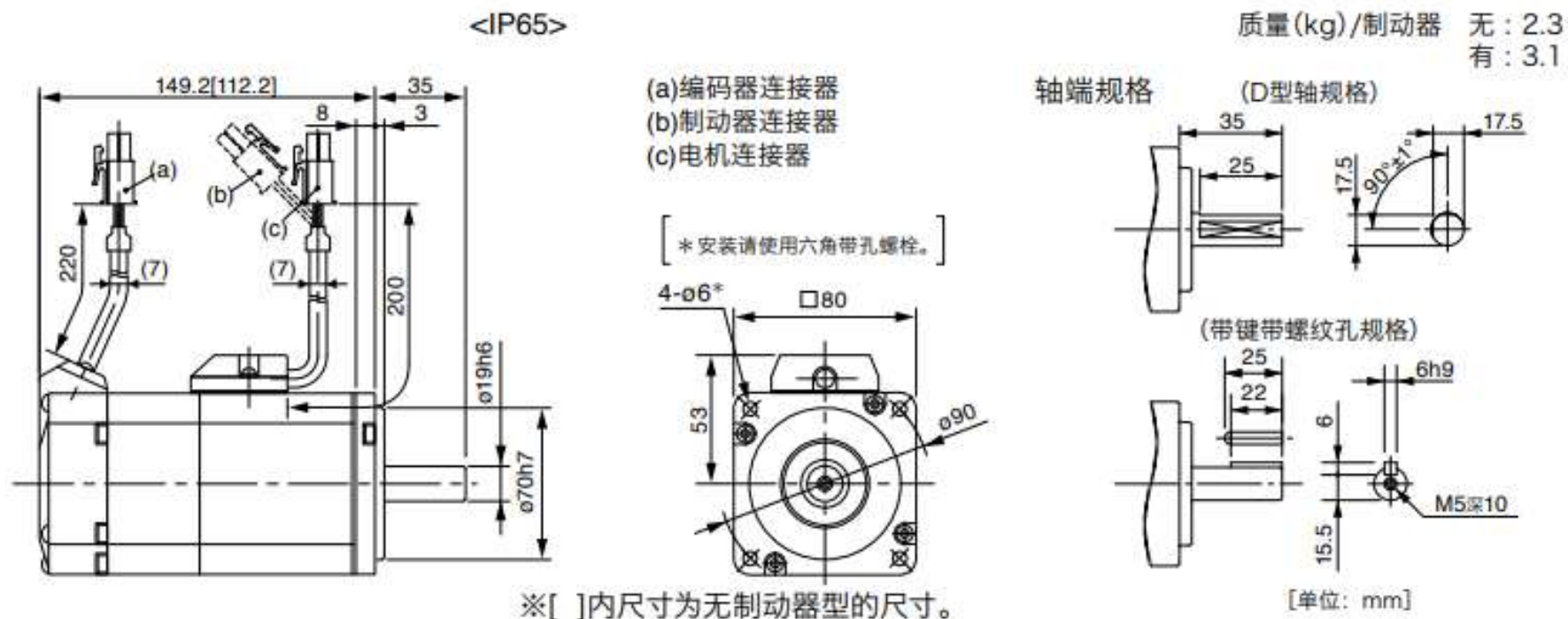
交流伺服电机选型举例

转矩特性（驱动器电源电压：AC200 V时〈虚线表示电源电压降低10%时的情况〉）



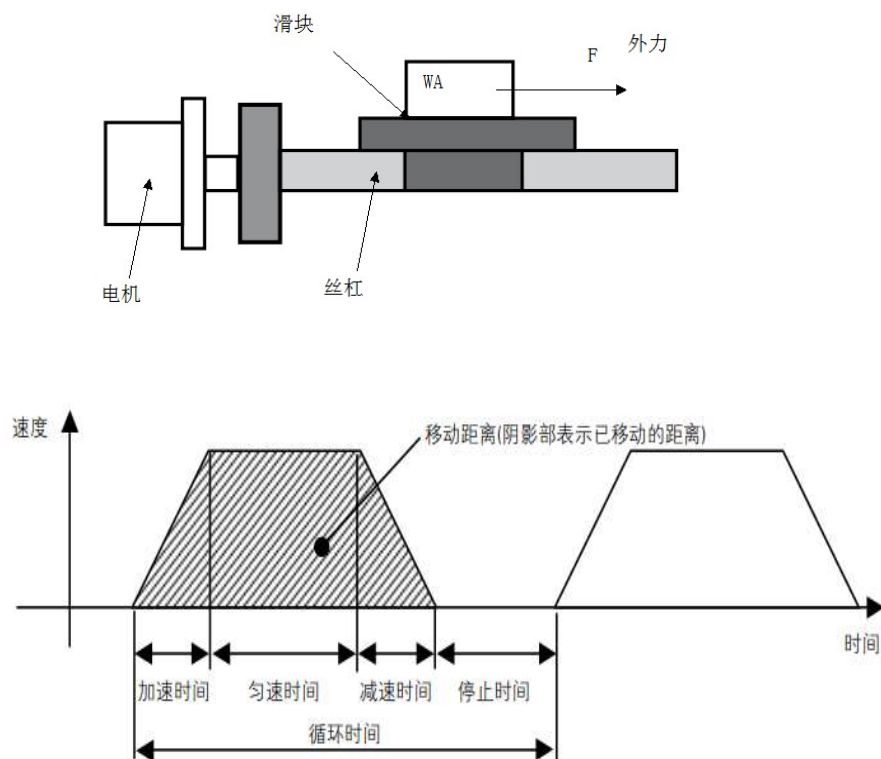
交流伺服电机选型举例

外形尺寸图



交流伺服电机选型举例

使用滚珠丝杠机构选择例



(1) 已知机构参数

工件部分质量10kg，滚珠丝杠的长度0.5m，滚珠丝杠的直径0.02m，滚珠丝杠的螺距0.02m，滚珠丝杠的效率0.9，摩擦系数0.1，移动距离0.3m，联轴器的惯量 $10 \times 10^{-6} \text{kgm}^2$ 。

(2) 已知运转模式

加速时间0.1s，匀速时间0.8s，减速时间0.1s，循环时间2s，移动距离0.3m

交流伺服电机选型举例

(3) 计算滚珠丝杠质量

$$B_w = \rho \times \pi \times \left(\frac{B_D^2}{2} \right) \times B_L = 7.9 \times 10^3 \times \pi \times \left(\frac{0.02^2}{2} \right) \times 0.5 = 1.24[\text{kg}]$$

(4) 计算负载部分惯量

$$\begin{aligned} J_L = J_C + J_B &= J_C + \frac{1}{8} B_w \times B_D^2 + \frac{W_A \times B_P^2}{4\pi^2} = 10 \times 10^{-6} + \frac{1}{8} \times 1.24 \times 0.02^2 + \frac{10 \times 0.02^2}{4\pi^2} \\ &= 1.73 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \end{aligned}$$

交流伺服电机选型举例

(5) 预选电机

若选200W, 则

$$J_M = 0.14 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

(6) 计算惯量比

$$J_L / J_M = 1.73 \times 10^{-4} / 0.14 \times 10^{-4}$$

$$J_L / J_M = 12.3 \text{倍} < 30.0 \text{倍(推荐惯量比)}$$

若选100W, 则

$$J_M = 0.051 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

$$J_L / J_M = 33.9 \text{倍} > 30.0 \text{倍(推荐惯量比)}$$

200 V MSMD 200 W [低惯量
小容量]

规格

		AC200 V用	
电机型号 *1	IP65	MSMD022G1□	MSMD022S1□
	IP67	—	—
适用驱动器 *2	型号 *3	MAD◇T1507	
	A5 II、A5系列		
	A5 II E、A5E系列	MAD◇T1507E	—
	外型标识	A型	
电源设备容量 (kVA)		0.5	
额定输出 (W)		200	
额定转矩 (N·m)		0.64	
瞬时最大转矩 (N·m)		1.91	
额定电流 (A(rms))		1.6	
瞬时最大电流 (A(o-p))		6.9	
再生制动器频率 (次/分钟) (注1)	无可选零部件	无限制(注2)	
	DVOP4283	无限制(注2)	
额定转速 (r/min)		3000	
最高转速 (r/min)		5000	
转子惯量 ($\times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$)	无制动器	0.14	
	有制动器	0.16	
对应转子惯量的推荐负载惯量比 (注3)		30倍以下	
旋转式编码器规格 (注5)		20 bit增量式	17 bit绝对式
每一转的分辨率		1048576	131072

交流伺服电机选型举例

(7) 计算滑块最高速度

$$\left(\frac{1}{2}t_a + t_b + \frac{1}{2}t_d\right) V_{MAX} = S$$

$$\left(\frac{1}{2} \times 0.1 + 0.8 + \frac{1}{2} \times 0.1\right) V_{MAX} = 0.3 \quad V_{MAX} = 0.334[\text{m/s}]$$

(8) 计算转速

$$N = V_{MAX} / B_p = 0.334 / 0.02 = 16.7[\text{rps}]$$

$$= 16.7 \times 60 = 1002[\text{rpm}] < 3000[\text{rpm}] (\text{预选电机额定转速})$$

交流伺服电机选型举例

(9) 计算转矩

移动转矩 $T_f = \frac{B_p}{2\pi B_\eta} (\mu g W_A + F) = \frac{0.02}{2\pi \times 0.9} (0.1 \times 9.8 \times 10 + 0) = 0.035 \text{Nm}$

加速时转矩 $T_a = \frac{(J_L + J_M) \times 2\pi N[\text{r/s}]}{t_a[\text{s}]} + T_f$
 $= \frac{(1.73 + 0.14) \times 10^{-4} \times 2\pi \times 16.7}{0.1} + 0.035 = 0.231 \text{Nm}$

减速时转矩 $T_d = \frac{(J_L + J_M) \times 2\pi N[\text{r/s}]}{t_d[\text{s}]} - T_f = 0.161 \text{Nm}$

交流伺服电机选型举例

(10) 最大转矩

$$T_{\max} = T_a = 0.231[\text{Nm}] < 1.91[\text{Nm}] (200\text{W电机最大转矩})$$

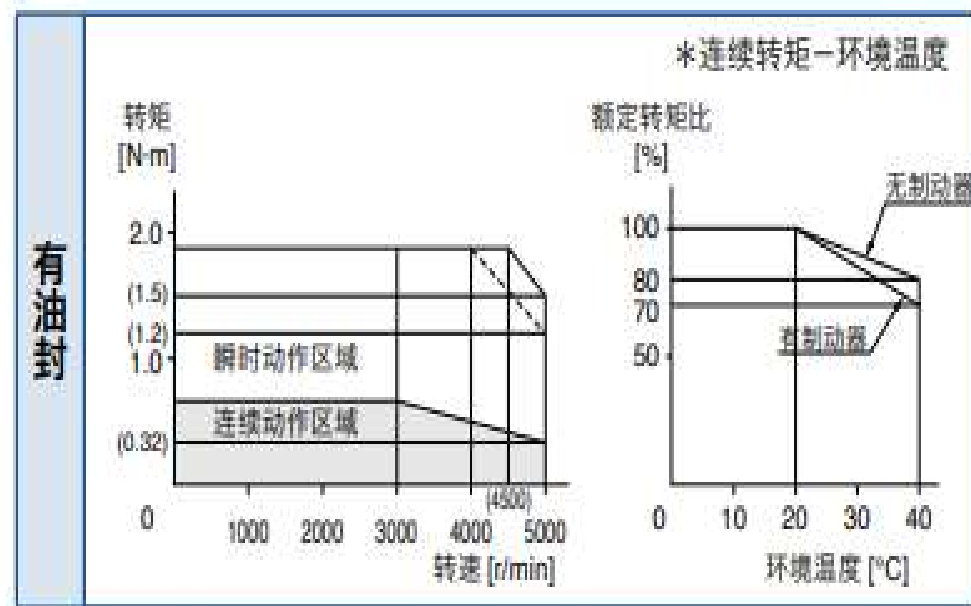
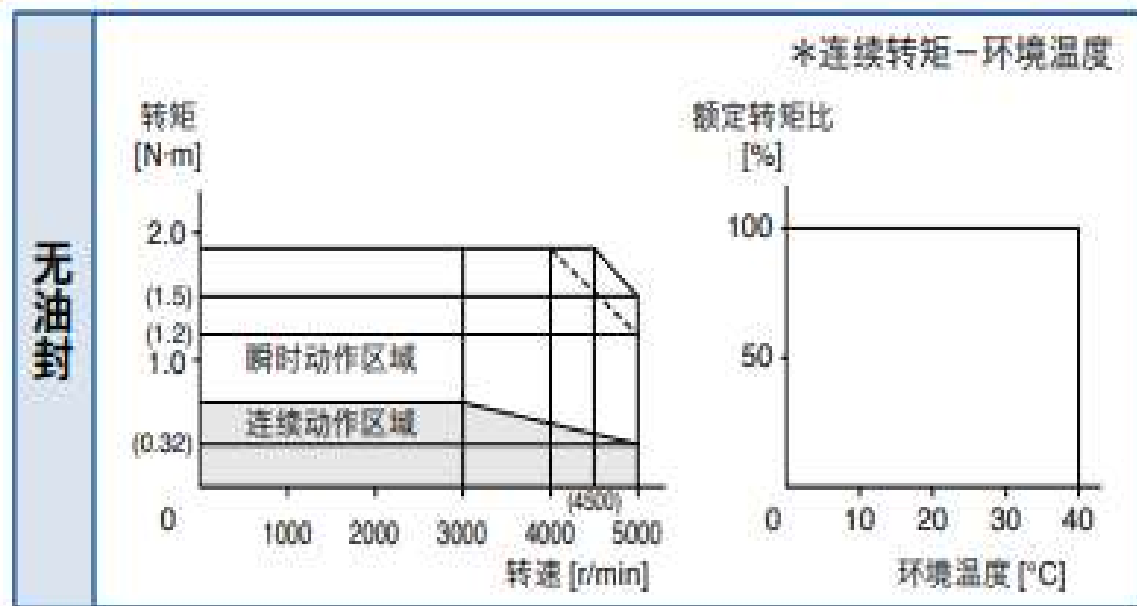
(11) 有效转矩

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_a^2 \times t_a + T_f^2 \times t_b + T_d^2 \times t_d}{t_c}} = \sqrt{\frac{0.231^2 \times 0.1 + 0.035^2 \times 0.8 + 0.161^2 \times 0.1}{2}}$$
$$= 0.067 < 0.64\text{Nm} (\text{预选电机额定转矩})$$

(12) 根据以上计算可知，虽然转矩有较大的余量，但根据惯量比仍选择200W电机。

交流伺服电机选型举例

转矩特性(驱动器电源电压: AC200 V时<虚线表示电压>





感谢聆听

机电一体化系统设计

主讲教师：王岚教授