

德厚技高

务实创新

伺服电机选型方法与案例



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

德厚技高

务实创新

一、伺服电机选型方法

二、伺服电机选型案例



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

伺服电机选型方法

本节以工作站集成项目中最为常用的交流伺服电机为例，讲解伺服电机及驱动的选型方法。在进行伺服电机选型前，需要了解相关的概念及计算方法，然后结合选型原则，参照对应的步骤进行合理选型。

伺服电机主要用于位置和速度控制系统中，智能制造单元系统集成应用平台中执行单元的伺服电机主要用于驱动伺服轴沿导轨运动，实现工业机器人工作空间的扩展。

进行伺服电机选型时，主要从以下方面考虑：**负载转矩、负载转动惯量、加速/减速时间和运行模式**，交流伺服电机的选择原则及计算公式如下。

1.电机最高转速

电机选择依据被驱动部件的快速行程速度。快速行程的电机转速应该严格控制在电机的额定转速之内。



伺服电机选型方法

2.转动惯量匹配

负载惯量对电机的控制特性和快速移动的加减/速时间有很大影响，为了保证系统反映灵敏性和系统的稳定性，负载惯量 J_L 应该限制在一定倍数电机惯量 J_M 之内，具体限定需参考电机的选型手册。

常见传动机构的转动惯量换算公式见表1。

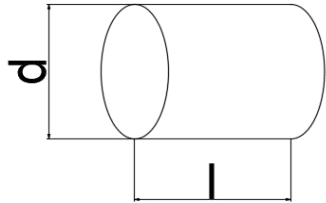
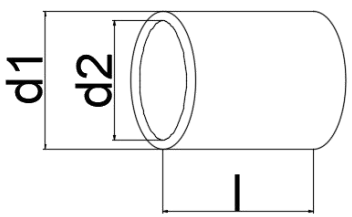
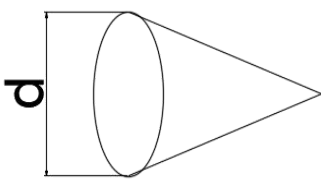
电机与滚珠丝杠直接传动时，输送物负载折算到电机轴的负载惯量如下：

$$J_d = W \left(\frac{p}{2\pi} \right)^2 \cdot i^2$$

其中， W 是电机驱动下，随滚珠丝杠一同运动的输送物负载，质量单位是kg； p 是丝杠的螺距， m 是质量； i 是丝杠到电机的减速比。

伺服电机选型方法

表1 常见传动机构的转动惯量换算公式

序号	类型	形状尺寸	转动惯量	参数说明
1	实心圆柱体		$J = \frac{md^2}{8} = \frac{\pi l \gamma d^4}{32g}$	γ是材料的比重, 单位N/m^3; d是圆柱体直径, 单位m; l是圆柱体长度, 单位m; m是圆柱体质量, 单位kg; g是重力加速度, 单位m/s^2。
2	空心圆柱体		$J = \frac{m(d_1^2 - d_2^2)}{8}$ $= \frac{\pi l \gamma (d_1^4 - d_2^4)}{32g}$	
3	实心圆锥体		$J = \frac{3md^2}{4}$	



伺服电机选型方法

3.空载转矩

设备在无负载运行时，加在电机上的力矩应小于电机连续额定力矩的50%以下，否则在进行加速/减速运动时电机将会过热。

4.负载转矩

在正常工作状态下，负载转矩 T_{ms} 不超过电机额定转矩 T_{MS} 的80%~90%。按照下面的公式初选电机功率 P_Z ：

$$P_Z = \frac{T_L \cdot n}{9535.4 \cdot \eta}$$

式中， T_L 是对电机轴换算的负载转矩，单位 $N \cdot m$ ； n 是伺服电机额定转速，单位 r/min ； η 是传动系统的总效率。

电机与滚珠丝杠直接传动时，输送物负载折算到电机轴的负载转矩是：

$$T_L = \frac{\mu W g + F}{2\pi\eta} \cdot p \cdot i$$

伺服电机选型方法

其中， μ 是摩擦因数； W 是可动部分总质量，单位kg； g 是重力加速度，单位 m/s^2 ； F 是轴向载荷，单位N； p 是丝杠的螺距，单位m； i 是丝杠到电机的减速比， η 是传动系统的总效率。

5.核算加速/减速时间

对于初选电机，根据机械系统要求，减速时间必须小于机械系统要求值。通常，负载力矩能够帮助电机减速。如果加速能够在允许的时间内完成，那么减速也可以在相同的时间内完成，只需要核算加速时间或者转矩即可。加速/减速时间及转矩计算公式如下。

最短加速/减速时间：

$$t_{AC} = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60(T_{AC} - T_L)}$$



伺服电机选型方法

加速/减速转矩:

$$T_{AC} = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60t_{AC}} + T_L$$

式中, t_{AC} 是加速/减速时间, 单位s; J_M 是伺服电机惯性矩, 单位 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$; J_L 是对电机轴换算的负载惯性矩, 单位 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$; T_L 是对电机轴换算的负载转矩, 单位 $\text{N}\cdot\text{m}$; T_{AC} 是加速/减速转矩, 单位 $\text{N}\cdot\text{m}$; n_1 是最高转速, 单位 r/min ; n_0 是加速初始启动转速或减速终止转速, 单位 r/min 。

若 T_L 大于初选电机的额定转矩, 但小于电机的瞬间最大转矩 (5~10倍额定转矩), 可以认为电机初选合适。

6.不同工作方式时的热校核

当电机在频繁定位、加速或减速以及负载波动工作情况时, 电机发热, 所以需要计算一个工作周期的负载力矩的均方根值, 并使其小于电机的额定力矩。



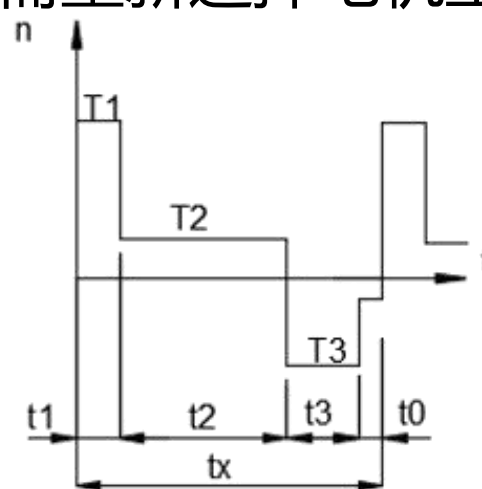
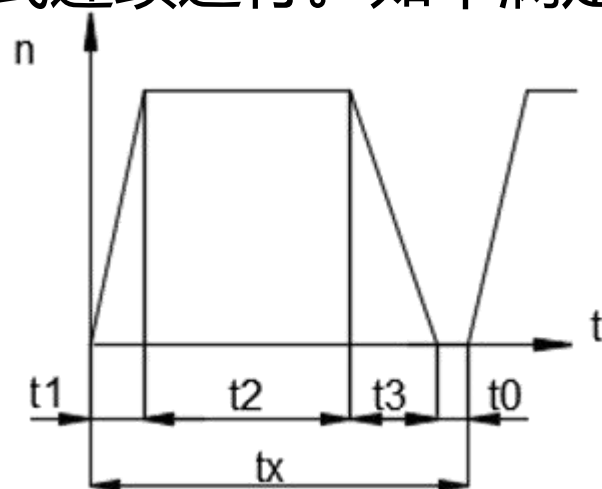
伺服电机选型方法

例如采用下图所示的工作方式时，一个循环周期内负载力矩的均方根计算公式为：

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \times t_1 + T_2^2 \times t_2 + T_3^2 \times t_3}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3}}$$

其中， t_1 为启动时间，单位s； T_1 为启动时间内减速转矩； t_2 时间段内为正常运行时间， T_2 为正常运行时间内的负载转矩； t_3 时间段为减速时间， T_3 为减速转矩； t_0 为停歇时间。

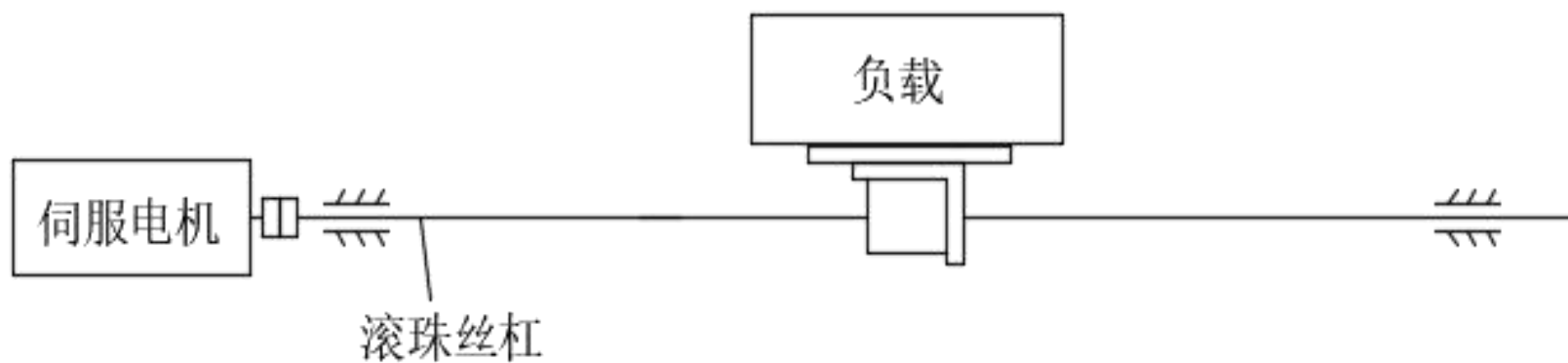
当 $T_{rms} \ll T_e$ 时，即实际转矩小于额定转矩，则可按照指定的运行模式连续运行。如不满足要求，需重新选择电机型号。



伺服电机选型案例

假设执行单元的伺服电机驱动示意图如图1- 15所示，电机与滚珠丝杠直线传动，以此为前提讲解伺服电机选型方法。

负载重量 $W=30\text{kg}$ 。滚珠丝杠质量 3.50kg ，螺杆螺距 5mm ，螺杆直径 25mm ，螺杆长度 $BL=1\text{m}$ ，总机械效率 $\eta=0.9$ ，摩擦系数 $\mu=0.1$ 。负载移动最大距离 $S=0.78\text{m}$ ，负载随滚珠丝杠移动的最大速度是 250mm/s 。案例设备运行模式如图1- 14所示，加速时间、减速时间、正常运行时间均为 0.1s ，一个工作周期时间为 0.5s ，根据以上条件选择功能满足且经济适用的电机。



伺服电机选型案例

1. 电机转速预选

要求负载随滚珠丝杠移动的速度是250mm/s，可得到预选电机的额定转速应大于等于3000r/min。

2. 计算负载惯性矩

首先计算滚珠丝杠折算到电机轴的负载惯量 J_1 ，滚珠丝杠可简化为实心圆柱体，进行转动惯量的计算。根据公式表1-10中的公式可得出：

$$J_1 = \frac{md^2}{8} \cdot i^2 = \frac{3.5 \times 0.025^2}{8} \times 1^2 = 2.73 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

根据公式（1-3）计算移动负载折算到电机轴上的负载惯性矩 J_2 ：

$$J_2 = W \left(\frac{p}{2\pi} \right)^2 \cdot i^2 = 30 \times \left(\frac{1}{2\pi} \times \frac{5}{1000} \right)^2 \cdot 1^2 = 1.9017 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

伺服电机选型案例

由上可得到总惯性矩 J_L :

$$J_L = J_1 + J_2 = 2.92 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2.$$

3. 计算负载转矩

根据公式计算输送物负载折算到电机轴的负载转矩，如下：

$$T_L = \frac{\mu W g + F}{2\pi\eta} \cdot p \cdot i = \frac{0.1 \times 30 \times 9.8 + 0}{2\pi\eta} \times \frac{5}{1000} \times 1 = 0.026 \text{N} \cdot \text{m}$$

4. 电机容量预选

(1) 根据转动惯量预选

图1-16所示三菱电机推荐负载惯性比为15倍以下，
即： $\frac{J_L}{J_M} \ll 15$ ，可得 $J_M \gg \frac{J_L}{15} = \frac{2.92 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2}{15} = 0.195 \text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。由上可知，功率为0.2kw、0.4kw和0.75kw的电机均符合要求。



伺服电机选型案例

三菱电机选型手册

伺服电机			HG-KN系列（低惯性・小容量）			
项目			13（B）J-S100	23（B）J-S100	43（B）J-S100	73（B）J-S100
电源设备容量			参照伺服放大器技术资料集“伺服放大器的电源设备容量和发生损耗”			
连续特性（注1）	额定输出	[kW]	0.1	0.2	0.4	0.75
	额定转矩	[N・m]	0.32	0.64	1.3	2.4
最大转矩		[N・m]	0.95	1.9	3.8	7.2
额定转速（注1）		[r/min]	3000			
最大转速		[r/min]	5000			
瞬时允许转速		[r/min]	5750			
连续额定转矩时的功率比	标准	[kW/s]	12.9	18.0	43.2	44.5
	有电磁制动器	[kW/s]	12.0	16.4	40.8	41.0
额定电流		[A]	0.8	1.3	2.6	4.8
最大电流		[A]	2.4	3.9	7.8	14
惯量J	标准	[$\times 10^{-4}$ kg・m ²]	0.0783	0.225	0.375	1.28
	有电磁制动器	[$\times 10^{-4}$ kg・m ²]	0.0843	0.247	0.397	1.39
推荐负载惯量比（注2）			15倍以下			
速度・位置检测器			增量17位编码器 （伺服电机每转的分辨率：131072pulses/rev）			
油封			有			
耐热等级			130（B）			
结构			全闭环自冷（防护等级：IP65（注3））			
环境条件（注4）	环境温度	运行	0° C ～ 40° C（无冻结）			
		保管	-15° C ～ 70° C（无冻结）			
	环境湿度	运行	80 %RH以下（无凝露）			
		保管	90 %RH以下（无凝露）			
	周围环境		室内（无阳光直射）， 无腐蚀性气体・可燃性气体・油雾・尘埃等			
	海拔		海拔1000m以下			
耐振动（注5）		X、Y：49m/s ²				
振动等级（注6）			V10			
轴的允许负载（注7）	L	[mm]	25	30	40	
	径向	[N]	88	245	392	
	轴向	[N]	59	98	147	
质量	标准	[kg]	0.57	0.98	1.5	3.0
	有电磁制动器	[kg]	0.77	1.4	1.9	4.0

伺服电机选型案例

(2)根据负载转矩预选

电机的额定转矩应满足以下条件：

$T_e \gg T_L / \eta = 0.026 / 0.9 = 0.029 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，功率为0.2kw、0.4kw和0.75kw的电机均符合要求。

5.最短加速/减速时间计算

(1)如选择功率为0.2kw的电机

$$t_{AC} = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60(T_{AC} - T_L)} = \frac{2\pi \times (0.225 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times (1.9 - 0.026)} = 0.053 \text{ s}$$

(2)如选择功率为0.4kw的电机

$$t_{AC} = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60(T_{AC} - T_L)} = \frac{2\pi \times (0.375 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times (3.8 - 0.026)} = 0.025 \text{ s}$$

(3)如选择功率为0.75kw的电机

$$t_{AC} = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60(T_{AC} - T_L)} = \frac{2\pi \times (1.28 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times (7.2 - 0.026)} = 0.018 \text{ s}$$

通过计算可知，上述电机均满足对加减速时间的要求。



伺服电机选型案例

6.不同工作方式时的热校核计算

(1)如选择功率为0.2kw的电机

其加速和减速转矩:

$$T_1 = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60t_{AC}} + T_L = \frac{2\pi \times (0.225 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times 0.1} + 0.026 = 1.014 \text{ N}\cdot\text{m}$$

则其一个循环工作周期内负载力矩的均方根为:

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_1^2 \times t_1 + T_2^2 \times t_2 + T_3^2 \times t_3}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{1.014^2 \times 0.1 \times 2 + 0.026^2 \times 0.1}{0.5}} = 0.6414 \text{ N}\cdot\text{m}$$

0.2kw电机的额定转矩为0.64N·m，与案例设备一个周期内的负载力矩均方根相近，将有可能造成电机的过热，从而影响电机的使用寿命，不建议选择。

伺服电机选型案例

(2)如选择功率为0.4kw的电机
其加速和减速转矩:

$$T_1 = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60t_{AC}} + T_L = \frac{2\pi \times (0.375 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times 0.1} + 0.026 = 1.0612 \text{ N}\cdot\text{m}$$

则其一个循环工作周期内负载力矩的均方根为:

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_1^2 \times t_1 + T_2^2 \times t_2 + T_3^2 \times t_3}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{1.0612^2 \times 0.1 \times 2 + 0.026^2 \times 0.1}{0.5}} = 0.6712 \text{ N}\cdot\text{m}$$

0.4kw电机的额定转矩为1.3N·m，大于案例设备一个周期内的负载力矩均方根，满足案例设备要求，且为负载增加留有余量，建议选择。

伺服电机选型案例

(3)如选择功率为0.75kw的电机
其加速和减速转矩:

$$T_1 = \frac{2\pi(J_M + J_L)(n_1 - n_0)}{60t_{AC}} + T_L = \frac{2\pi \times (1.28 + 2.92) \times 10^{-4} \times (3000 - 0)}{60 \times 0.1} + 0.026 = 1.3455 \text{ N}\cdot\text{m}$$

则其一个循环工作周期内负载力矩的均方根为:

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_1^2 \times t_1 + T_2^2 \times t_2 + T_3^2 \times t_3}{t_0 + t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{1.3455^2 \times 0.1 \times 2 + 0.026^2 \times 0.1}{0.5}} = 0.8510 \text{ N}\cdot\text{m}$$

0.75kw电机的额定转矩为2.4N·m，大于案例设备一个周期内的负载力矩均方根，满足案例设备要求，且为负载增加留有余量，可以选择。

伺服电机选型案例

7.确认电机型号

根据上述的计算，可以得知400w和750w的电机都满足功能要求，且均留有余量。在选型时，从经济实用型考虑，优先选择400w的电机。型号为HG-KN43。

德厚技高

务实创新

本次课程到此结束

谢谢观看



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC