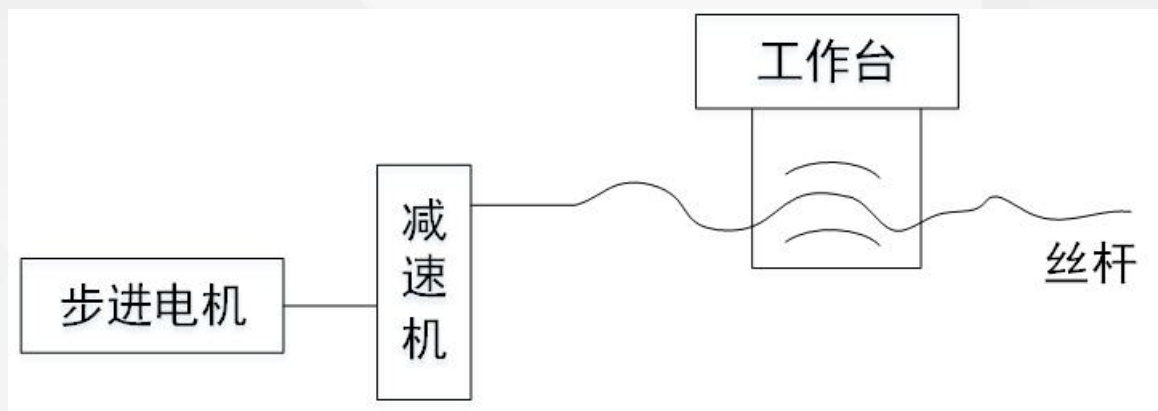


01-06步进电机系统的机电匹配设计

一、步进系统方案设计

如图是一套步进电机控制的数控机床，采用步进电机+减速机+滚珠丝杆的传动系统，系统的负载状态已确认。

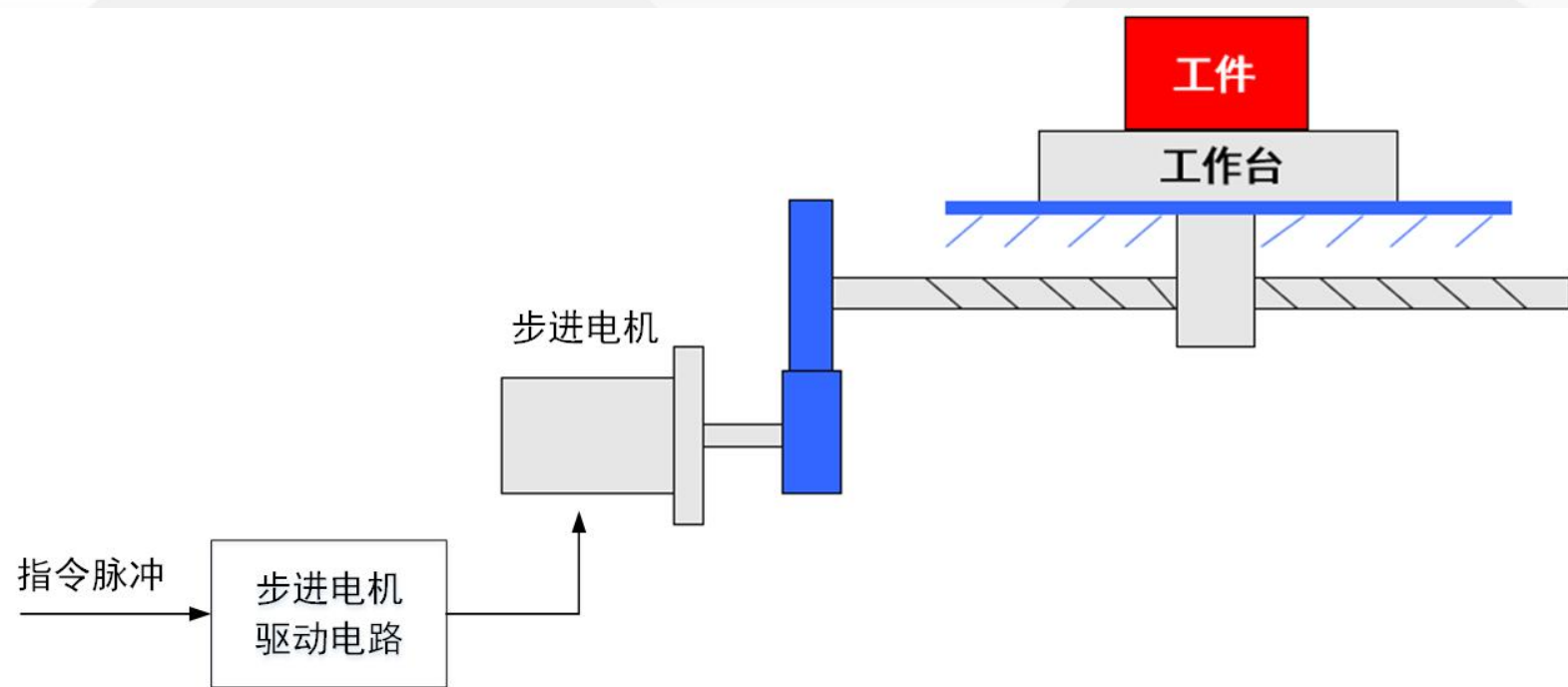
现要求对步进电机系统的惯量、精度、转矩等进行计算，判断所选电机在精度、转矩以及惯量匹配等方面是否满足要求。



一、步进系统方案设计

1、开环步进系统的特点

步进电机开环系统由于具有**结构简单、使用维护方便、可靠性高、制造成本低**等一系列优点，在**中小型机床和速度、精度要求不高的场合得到了广泛应用**，并适合于发展功能简单的经济型数控机床和对现有的普通机床进行数控化技术改造。



// 一、步进系统方案设计

2、设计目标

- 1) 步进电机、驱动器选择;
- 2) 传动机构方案选择;
- 3) **机电系统匹配设计。**

二、机电匹配设计

1、确定脉冲当量，初选步进电机

① **脉冲当量的定义**：脉冲当量是指电机接收1个脉冲信号，最终的运动部件的位移量。

② **脉冲当量的选择**

脉冲当量应当根据系统精度要求来确定，**通常取精度要求的1/10或更小。**

脉冲当量问题不仅步进电机系统独有。脉冲当量直接影响加工零件的精度、表面的粗糙度及进给速度。一般对精度要求较高的数控机床如线切割机床、坐标镗床，脉冲当量可取 $0.001\sim 0.0025$ mm/pulse，以保证 $0.01\sim 0.02$ mm的加工精度。对于同步驱动系统，脉冲当量 还可选择更小些。

二、机电匹配设计

2. 计算减速机的减速比

减速机的传动比（主动轴/从动轴，减速时其值大于1）可按式（1-1）计算：

$$i = \frac{\theta_b p}{360 \delta_p}$$

式中， i 是减速机的传动比； θ_b 是步进电机的步距角，单位（°）； p 是滚珠丝杆的导程，单位mm； δ_p 是工作台的脉冲当量，单位mm/pulse。

如果算出的传动比值较小，可采用同步齿形带或一级齿轮传动，否则应采用多级齿轮传动或减速机传动。传动机构和减速机的选择可参考项目1相关章节。

二、机电匹配设计

3. 计算系统转动惯量

计算转动惯量的目的是进行惯量匹配。有些传动件（如齿轮、丝杆等）的转动惯量不易精确计算，可将其等效成圆柱体近似计算，则圆柱体转动惯量计算为：

$$J = \frac{\pi}{32} \rho \cdot l \cdot d^4$$

式中， ρ 为材料密度，单位kg/m³； l 为传动件的轴向长度，单位m； d 为传动件的等效直径，单位m。其他相关的系统转动惯量计算参考《理论力学》的书籍，转动惯量的另一种测算方法是通过三维模型得到。

二、机电匹配设计

4、确定步进电机的主要技术参数

① 电机负载转矩的计算

作用在步进电机轴上的总负载转矩计算公式为：

$$T_{\text{total}} = (J_d + J_m) \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + \frac{p}{2\pi \cdot i \cdot \eta} \cdot (F_f + F_0 + F_w)$$

式中， J_d 是电机轴上的总当量负载转动惯量，单位 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ； J_m 是电机轴自身的转动惯量，单位 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ； $\frac{d^2 \theta_m}{dt^2}$ 是电机轴的角加速度，单位 rad/s^2 ； p 是滚珠丝杆的导程，单位 mm ； η 是传动系统的机械效率； i 是减速机的减速比； F_f 、 F_0 、 F_w 分别是摩擦力、预紧力及其他外力，单位 N 。

二、机电匹配设计

4、确定步进电机的主要技术参数

② 电机最大静转矩的确定

根据电机的实际启动情况（空载或带载），计算出启动时的负载转矩 T_q ，然后按照下表选取启动时所需要的步进电机的最大静转矩 T_{s1} 。

步进电机 相数	3		4		5		6	
	运行拍数	3	6	4	8	5	10	6
T_q / T_{s1}	0.5	0.866	0.707	0.707	0.809	0.951	0.866	0.866

二、机电匹配设计

4、确定步进电机的主要技术参数

② 电机最大静转矩的确定

根据电机正常运行时的受力情况，按公式计算出负载转矩 T_1 ，然后按下式计算正常运行时所需步进电机的最大静转矩 T_{s2} 。

$$T_{s2} = \frac{T_1}{0.3 \sim 0.5}$$

按 T_{s1} 和 T_{s2} 中的较大者选取步进电机的最大静转矩 T_s ，并要求

$$T_s \geq \max \{T_{s1}, T_{s2}\}$$

二、机电匹配设计

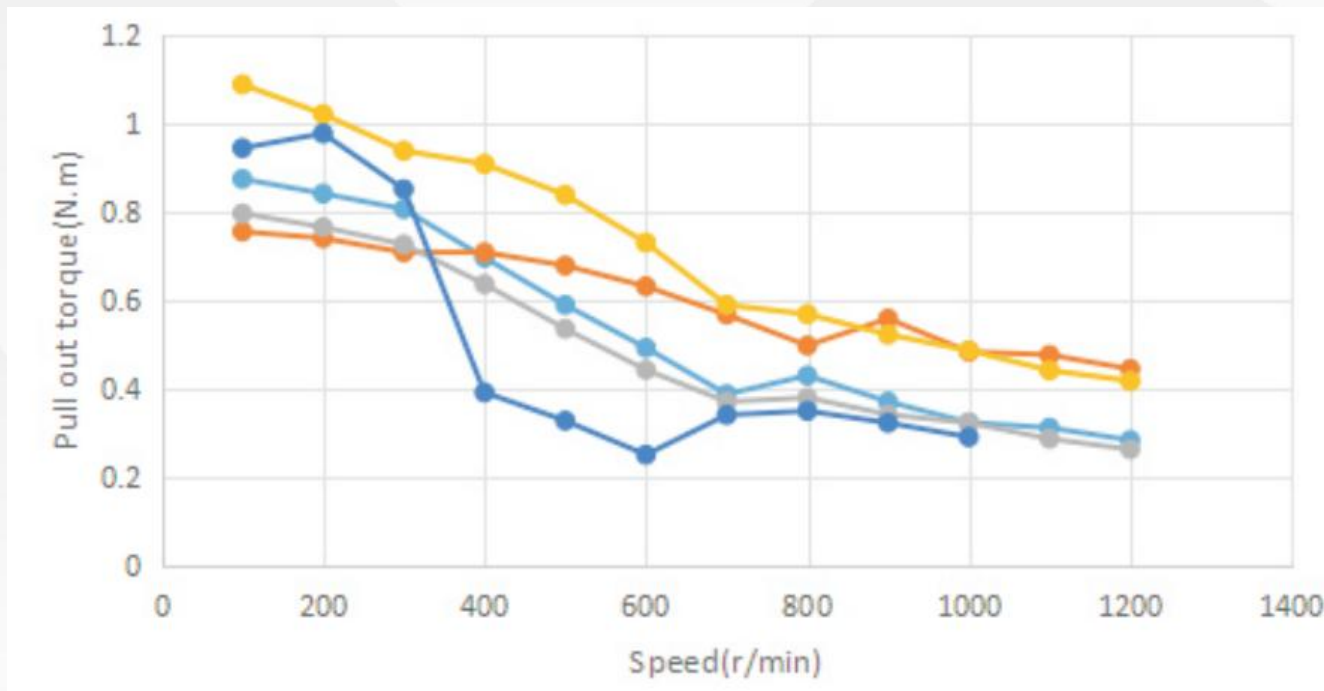
4、确定步进电机的主要技术参数

③ 电机最大启动频率的确定

步进电机在不同启动负载下所允许的最大启动频率是不一样的，因而根据计算出的启动转矩 T_q ，按照电机的启动转矩特性曲线确定最大启动频率。

④ 电机最大运行频率的确定

步进电机在连续运行时的输出转矩随着脉冲频率的增加而下降，因而根据计算出的负载转矩 T_1 ，按照电机的运行转矩特性曲线确定最大运行频率。



二、机电匹配设计

5、验算惯量匹配

根据实践经验，惯量比应当满足

$$\frac{1}{4} \leq \frac{J_d}{J_m} \leq 5$$

如果该比值太小，说明电动机方案选择或传动系统设计不太合理，经济性较差。为使系统惯量比较合理的匹配，一般应将该比值控制在上式规定的范围内。

如果验算发现不满足上式要求，应返回修改原设计。通过减速机传动比*i*和丝杠导程*p*的适当搭配，往往可以使惯量匹配趋于合理。

二、机电匹配设计

6、机电匹配设计小结

步进电机开环系统设计过程中，各参数需要权衡、折中，合理选择。

- ① 脉冲当量的选择需要根据工艺要求进行，通常为机械末端直线位移精度的1/10左右；
- ② 步距角和丝杆导程可根据市场常见产品和性价比综合考虑；
- ③ 传动比*i*的选择，要综合考虑脉冲当量、机械末端的最高速度和转矩要求，也要考虑市场上常用的减速机参数和性价比。

机械系统初定后，可以计算或试验出折算到电机轴的转动惯量 J_d ，计算系统的总负载转矩 T_d ，还要进行惯量验算和机械校核等过程，如果不符合要求，需要重新修改设计。机电匹配设计是整个运动控制系统性能达到要求的关键一步。