

伺服电机选型的原则和注意事项

王军锋, 唐 宏

(江西理工大学, 江西 赣州 341000)

摘要: 阐述了伺服电机的优点、用途和选型的原则, 并对选型中难理解的概念做了详细解释, 介绍了选型时需要注意的事项, 为选择合适的伺服电机提供了技术参考。

关键词: 伺服电机; 选型; 制动; 转动惯量; 负载电机惯量比

中图分类号: TM383.4

文献标识码: B

文章编号: 1672-545X(2009)11-0129-03

为了满足机械设备对高精度、快速响应的要求, 伺服电机应有较小的转动惯量和大的堵转转矩, 并具有尽可能小的时间常数和启动电压, 还应具有较长时间的过载能力, 以满足低速大转矩的要求, 能够承受频繁启动、制动和正、反转, 如果盲目地选择大规格的电机, 不仅增加成本, 也会使得设计设备的体积增大, 结构不紧凑, 因此选择电机时应充分考虑各方面的要求, 以便充分发挥伺服电机的工作性能; 下面介绍伺服电机的选型原则和注意事项。

1 交流伺服电动机的特点及比较

1.1 交流伺服电动机的特点

- (1) 起动转矩大;
- (2) 运行范围较广;
- (3) 无自转现象。

1.2 与步进电机的比较

- (1) 控制精度更高;
- (2) 低频特性好, 即使在低速时也不会出现振动现象;
- (3) 矩频特性不同, 即在其额定转速(一般为 2 000 r/min 或 3 000 r/min) 以内, 都能输出额定转矩, 在额定转速以上为恒功率输出;

(4) 具有较强的速度过载和转矩过载能力, 最大转矩为额定转矩的 2~3 倍;

(5) 交流伺服驱动系统为闭环控制, 驱动器可直接对电机编码器反馈信号进行采样, 内部构成位置环和速度环, 控制性能更为可靠;

(6) 交流伺服系统的加速性能较好, 从静止加速到其额定转速 3000 r/min 仅需数 ms, 可用于要求快速启停的控制场合^[1]。

因此, 伺服电机广泛应用于对精度有较高要求的机械设备, 如印刷设备、机床和 CNC 数控设备、装配线和材料夹持自动生产、印刷设备、打浆成纸及网面处理和自动机载系统包装设备、纺织设备、激光加工设备、机器人、自动化生产线等对工艺精度、加工效率和工作可靠性等要求相对较高的设备。

2 伺服电机选型的原则

2.1 负载 / 电机惯量比

正确设定惯量比参数是充分发挥机械及伺服系统最佳效能的前提, 此点在要求高速高精度的系统上表现尤为突出, 伺服系统参数的调整跟惯量比有很大的关系, 若负载电机惯量比过大, 伺服参数调整越趋边缘化, 也越难调整, 振动抑制能力也越差, 所以控制易变得不稳定; 在没有自适应调整的情况下, 伺服系统的默认参数在 1~3 倍负载电机惯量比下, 系统会达到最佳工作状态, 这样, 就有了负载电机惯量比的问题, 也就是我们一般所说的惯量匹配, 如果电机惯量和负载惯量不匹配, 就会出现电机惯量和负载惯量之间动量传递时发生较大的冲击; 下面分析惯量匹配问题。

$$T_M - T_L = (J_M + J_L) \alpha \quad (1)$$

式中, T_M ——电机所产生的转矩;

T_L ——负载转矩;

J_M ——电机转子的转动惯量;

J_L ——负载的总转动惯量;

α ——角加速度。

由上式^[2]可知, 角加速度 α 影响系统的动态特性, α 越小, 则由控制器发出的指令到系统执行完毕的时间越长, 系统响应速度就越慢; 如果 α 变化, 则系统响应就会忽快忽慢, 影响机械系统的稳定性。由于电机选定后最大输出力矩值不变, 如果希望 α 的变化小, 则 $(J_M + J_L)$ 应该尽量小。 J_M 为伺服电机转子的转动惯量, 伺服电机选定后, 此值就为定值, 而 J_L 则根据不同的机械系统类型可能是定值, 也可能是变值, 如果 J_L 是变值的机械系统, 我们一般希望 $(J_M + J_L)$ 变化量较小, 所以我们就希望 J_L 在总的转动惯量中占的比例就小些, 这就是我们常说的“惯量匹配”^[3]。

通过以上分析可知: ①转动惯量对伺服系统的精度、稳定性, 动态响应都有影响, 惯量越小, 系统的动态特性反应越好, 惯量大, 系统的机械常数大, 响应慢, 会使系统的固有频率下降, 容易产生谐振, 因而限制了伺服带宽, 影响了伺服精度和

收稿日期: 2009-08-01

作者简介: 王军锋(1980—), 男, 河北巨鹿人, 讲师, 硕士, 主要从事机电一体化产品的设计、研究及应用。

响应速度,也越难控制,惯量的适当增大只有在改善低速爬行时有利,因此,机械设计时在不影响系统刚度的条件下,应尽量减小惯量。②机械系统的惯量需和电机惯量相匹配才行,负载电机惯量比是一个系统稳定性的问题,与电机输出转矩无关,是电机转子和负载之间冲击、松动的问题^[4]。不同负载电机惯量比的电机可控性和系统动态特性如下:

(1) 一般情况下,当 $J_L \leq J_M$ 时,电机的可控性好,系统的动态特性好;

(2) 当 $J_M < J_L \leq 3J_M$ 时,电机的可控性会些稍降低,系统的动态特性较好;

(3) 当 $J_L > 3J_M$ 时,电机的可控性会明显下降,系统的动态特性一般。

不同的机械系统,对惯量匹配原则有不同的选择,且有不同的作用表现,但大多要求负载惯量与电机惯量的比值小于10,总之,惯量匹配的确定需要根据具体机械系统的需求来确定的^[5]。

需要注意的是,不同系列型号的伺服电机给出的允许负载电机惯量比是不同的,可能是3倍、15倍、30倍等,需要根据厂家给定的伺服电机样本确定。

常见的机械类型驱动方式有:①滚珠丝杠(直接连接),②滚珠丝杠(减速),③齿条和小齿轮,④同步皮带(传送带),⑤链条驱动,⑥进料辊,⑦主轴驱动等,计算时需要根据具体的机械类型驱动方式来计算负载惯量。式(2)为负载发电量的通用计算公式。

$$J_L = \sum_{j=1}^M J_j \left(\frac{\omega_j}{\omega} \right)^2 + \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{V_j}{\omega} \right)^2 \quad (2)$$

式中, J_j ——各转动件的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$;

ω_j ——各转动件角速度, rad/min ;

m_j ——各移动件的质量, kg ;

V_j ——各移动件的速度, m/min ;

ω ——伺服电机的角速度, rad/min 。

2.2 转速

电机选择首先应依据机械系统的快速行程速度来计算,快速行程的电机转速应严格控制在电机的额定转速之内,并在接近电机的额定转速的范围使用,以有效利用伺服电机的功率;额定转速、最大转速、允许瞬间转速之间的关系为:允许瞬间转速 > 最大转速 > 额定转速。

伺服电机工作在最低转速和额定转速之间时为恒转矩调速,工作在额定转速和最大转速之间时为恒功率调速;在运行过程中,恒转矩范围内的转矩是负载的转矩决定;恒功率范围内的功率是负载的功率决定;恒功率调速是指电机低速时输出转矩大,高速时输出转矩小,即输出功率是恒定的;恒转矩调速是指电机高速、低速时输出转矩一样大,即高速时输出功率大,低速时输出功率小。

2.3 转矩

伺服电机的额定转矩必须满足实际需要,但是不需要留有过多的余量,因为一般情况下,其最大转矩为额定转矩的3倍。

需要注意的是,连续工作的负载转矩 ≤ 伺服电机的额定转矩,机械系统所需要的最大转矩 < 伺服电机输出的最大转矩。

在进行机械方面的校核时,可能还要考虑负载的机械特

性类型,负载的机械特性类型一般有:恒转矩负载、恒功率负载、二次方律负载、直线律负载、混合型负载^[6]。

2.4 短时间特性(加减速转矩)

伺服电机除连续运转区域外,还有短时间内的运转特性如电机加减速,用最大转矩表示;即使容量相同,最大转矩也会因各电机而有所不同。最大转矩影响驱动电机的加减速时间常数^[7],使用公式(3),估算线性加减速时间常数 t_a ,根据该公式确定所需的电机最大转矩,选定电机容量。

$$t_a = \frac{(J_L + J_M) n}{95.5 \times (0.8 T_{\max} - T_L)} \quad (3)$$

式中, n ——电机设定速度, r/min ;

J_L ——电机轴换算负载惯量, $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

J_M ——电机惯量, $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

T_{\max} ——电机最大转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

T_L ——电机轴换算负载(摩擦、非平衡)转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

2.5 连续特性(连续实效负载转矩)

对要求频繁启动、制动的数控机床,为避免电机过热,必须检查它在一个周期内电机转矩的均方根值,并使它小于电机连续额定转矩,其具体计算可参考其它文献。在选择的过程中依次计算此五要素来确定电机型号,如果其中一个条件不满足则应采取适当的措施,如变更电机系列或提高电机容量等^[8]。

3 伺服电机选型时的注意事项

3.1 伺服电机常用的几种制动方式

我们容易对电磁制动,再生制动,动态制动的作用混淆,选择了错误的配件,以下对这几个概念加以澄清。

动态制动器由动态制动电阻组成,在故障、急停、电源断电时通过能耗制动缩短伺服电机的机械进给距离。

再生制动是指伺服电机在减速或停车时将制动产生的能量通过逆变回路反馈到直流母线,经阻容回路吸收。

电磁制动是通过机械装置锁住电机的轴。

三者的区别:

1) 再生制动必须在伺服器正常工作时才起作用,在故障、急停、电源断电时等情况下无法制动电机。动态制动器和电磁制动工作时不需电源。

2) 再生制动的工作是系统自动进行,而动态制动器和电磁制动的工作需外部继电器控制。

3) 电磁制动一般在 SV OFF 后启动,否则可能造成放大器过载,动态制动器一般在 SV OFF 或主回路断电后启动,否则可能造成动态制动电阻过热。

4) 动态制动和再生制动都是靠伺服电机内部的激磁完成的,也就是向旋转方向相反的方向增加电流来实现。

5) 电磁制动,也就是常说的抱闸,是靠外圈的直流电源控制,常闭,得电后抱闸打开,失电即闭合,属于纯机械摩擦制动。

选择配件的注意事项:

1) 有些系统如传送装置,升降装置等要求伺服电机能尽快停车,而在故障、急停、电源断电时伺服器没有再生制动,无法对电机减速。同时系统的机械惯量又较大,这时对动态制动器的要依据负载的轻重、电机的工作速度等进行选择。

2) 有些系统要维持机械装置的静止位置,需电机提供较大的输出转矩,且停止的时间较长。如果使用伺服的自锁功能,往往会造成电机过热或放大器过载,这种情况就要选择带电磁制动的电机。

3) 有的伺服驱动器有内置的再生制动单元,但当再生制动较频繁时,可能引起直流母线电压过高,这时需另配再生制动电阻。再生制动电阻是否需要另配,配多大,可参照相应样本的使用说明来配。

4) 如果选择了带电磁制动器的伺服电机,电机的转动惯量会增大,计算转矩时要进行考虑^[9]。

3.2 速度/位置检测器

交流伺服电机的控制精度是由电机轴后端的旋转编码器来保证,用来测量电机的工作速度或转过位置量。

常用的旋转编码器是增量式的,其编码器码盘是由很多光栅刻线组成的,有两个(或4个)光眼读取A、B信号的,刻线的密度决定了这个增量型编码器的分辨率,也就是可以分辨读取的最小变化角度值。代表增量编码器的分辨率的参数是PPR,也就是每转脉冲数。有些增量编码器,其原始刻线是2048线(2的11次方,11位),通过16倍(4位)细分,得到15位PPR,再次4倍频(2位),得到了17位(Bit)的分辨率,一般用“位、Bit”来表达分辨率。这种编码器在较快速度时,内部要用未细分的低位信号来处理输出,否则响应跟不上,所以不要被它“17位”迷惑,在设计选择伺服电机时要注意^[10]。

3.3 再生制动频率

再生制动频率表示无负载时电机从额定速度到减速停止的可允许频率。

需要注意的是,一般样本列表上的制动次数是电机在空载时的数据。实际选型中要先根据系统的负载惯量和样本上的电机惯量,算出惯量比。再以样本列表上的制动次数除以(惯量比+1),这样得到的数据才是允许的制动次数^[11]。

3.4 伺服电机轴上的径向和轴向负载

确保在安装和运转时加到伺服电机轴上的径向和轴向负载控制在每种型号的规定值以内,否则会加速伺服电机的磨损,降低电机的寿命,甚至影响所要求达到的精度。

3.5 输出轴的公差配合

要注意电机轴伸与其它零部件的配合关系。对于普通旋转电机圆柱形轴伸(GB/T 756-1990)的公差带见表1^[12],轴伸与其它零部件一般为间隙配合,而伺服电机的轴伸公差带一般为h6。

表1 普通旋转电机圆柱形轴伸直径公差

普通旋转电机圆柱形轴伸直径	公差带
6~30	j6
32~50	k6
55~400	m6

4 伺服电机安装使用注意事项

4.1 伺服电机油和水的保护

1) 伺服电机可以用在有水或油滴侵袭的场所,但它不是全防水或防油的。因此,伺服电机不应当放置或使用在水中

或油浸的环境中。

2) 如果伺服电机连接到减速齿轮,使用伺服电机时应当加油封,以防止减速齿轮的油进入。

3) 伺服电机的电缆不要浸没在油或水中。

4.2 伺服电机电缆→减轻应力

1) 确保电缆不因外部弯曲力或自身重量而受到力矩或垂直负荷,尤其是在电缆出口处或连接处。

2) 在伺服电机移动的情况下,应把电缆(随电机配置的)牢固地固定到一个静止的部分(相对电机),并且应当用一个装在电缆支座里的附加电缆来延长它,这样弯曲应力可以减到最小。

3) 电缆的弯头半径尽可能大。

4.3 伺服电机允许的轴端负载

1) 在安装一个刚性联轴器时要格外小心,特别是过度的弯曲负载可能导致轴端和轴承的损坏或磨损。

2) 最好用柔性联轴器,以便使径向负载低于允许值,此物是专为高机械强度的伺服电机设计的。

4.4 伺服电机安装注意

1) 在安装、拆卸耦合部件到伺服电机轴端时,不要用锤子直接敲打轴端(锤子直接敲打轴端,伺服电机轴另一端的编码器要被敲坏)。

2) 竭力使轴端对齐到最佳状态(对不齐,可能导致振动或轴承损坏)^[1]。

5 结束语

本文详细地论述了伺服电机选型的原则和需要注意的各方面问题,对选型时难以理解的概念给予了清晰的解释,对于技术人员选择合适的电机有着很好的参考意义。

参考文献:

- [1] wingwm. 伺服电机 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/515079.htm>, 2009-06-03/2009-10-02.
- [2] 邓星钟. 机电传动控制(第三版) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001, (3): 6.
- [3] 教主. 浅析伺服电机在使用中的常见问题 [EB/OL]. <http://www.gkbk.com/more.asp?name=zhouqqzhou&id=58337>, 2008-8-9/2009-10-02.
- [4] 刘志斌. 电机惯量的疑问 [EB/OL]. <http://www.gongkong.com/Forum/ForumTopic.aspx?Id=2008071608564400001>, 2008-7-16/2009-9-10-02.
- [5] 醉卧霜天. 伺服系统重要参数之“惯量” [EB/OL]. <http://user.qqzone.qq.com/362217000/blog/1244772562>, 2009-06-12/2009-10-02.
- [6] Yunbusan. 变频调速时的几种负载类型 [EB/OL]. <http://hi.baidu.com/yunbusan/blog/item/0220222e862596544ec22676.html>, 2007-12-25/2009-10-02.
- [7] 赵宏伟. 如何正确选择伺服电机的容量 [J]. 机械工人: 冷加工, 2003, (8): 20-21.
- [8] 郭维新. 数控机床进给伺服电机的选择 [J]. 机械研究与应用, 1996, (2): 13-15.
- [9] 如火. 伺服电机的几种制动方式分析 [EB/OL]. <http://www.gongkong.com>

(下转第133页)

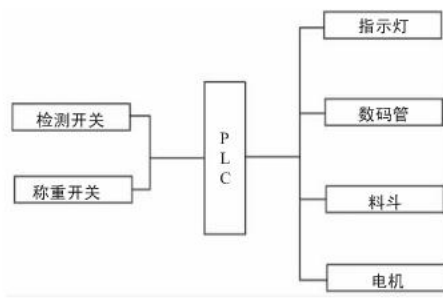


图2 自动送料车系统控制图

检测开关和称重开关信号,连接到 PLC 的一个输入端,作为 PLC 的输入信号,PLC 的输出信号控制指示灯、数码管、直流电机和料斗。

3 PLC 机型及软件设计

目前,市场上可供选择的可编程控制器的种类很多,性能各异,按照本例实际需要,我们可选择三菱小型可编程控制器 FX2N 系列。

在装料车到来时,X0 表示车辆称重开关,只要装料车行驶到指定位置,车辆称重开关根据车辆的重量发出信号使 X0 闭合,输出继电器 Y0 得电,使指示灯红灯亮,表示装料开始。输出继电器 Y1、Y2、Y3 分别驱动直流电机 M1、M2、M3 运转,PLC 内部有专门的定时器 T,我们可以通过定时器来设定延长时间,使直流电机 M3、M2、M1 每隔 2 s 依次启动。当料斗中料满时,输出继电器 Y4 得电,使料斗打开,料就沿着皮带轮自动

流入装料车中。当料斗为空的时候,检测开关发出信号使 X1 闭合,输出继电器 Y4 不得电,料斗不打开,同时输出继电器 Y5 得电,驱动进料开关打开,自动往料斗中添料,待到料满时再关闭进料开关,打开料斗。

当装料车装满料时,车辆称重开关根据车辆的重量,发出信号使 X0 断开。输出继电器 Y4 失电,关闭料斗,由定时器设置时间使输出继电器 Y1、Y2、Y3 依次失电,使直流电机 M1、M2、M3 间隔 2 s 停止运转。此时,输出继电器 Y0 失电,使指示灯绿灯亮,表示结束装料。

输出继电器 Y10~Y16、Y20~Y26 分别驱动两个数码管,显示每日的装车数量,以 X0 作为输入信号,可以用 INC 指令来实现。

4 结束语

运用 PLC 来设计自动送料车系统,无论是从设计思路还是设计过程来说,都非常的方便,并且调试管理简单明了,使用起来得心应手。PLC 无论在工业生产上,还是在民用商用设计上,都具有十分巨大的现实意义和商业价值。

参考文献:

- [1] 俞国亮. PLC 原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 史宜巧. PLC 技术及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 刘曙光. 基于 PLC 的立体仓库运行系统[J]. 物流技术,2006,(9):50-51.

A System of Automatic Vehicle for Material Transportation based on PLC

HE De-kai

(Suzhou Vocational and Technical Training Center, Suzhou Jiangsu 215006,China)

Abstract: This article describes a system which is based on Programmable Logic Controller. This system can check and weigh the vehicle automatically, start and stop electric motors. Also it can turn the hopper on or off to control the material entering or releasing, this system is suitable for various material transportation.

Key words: PLC; automatic vehicle for material transportation; control system

(上接第 131 页)

- com/Forum/ForumTopic.aspx?Id=0-97CF-24FA6A7F81D7,2006-2-20/2009-10-02.
- [10] shanty1215. 旋转编码器与光栅尺 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/1579459.html>, 2008-10-23/2009-10-02.

- [11] 三菱电机自动化(上海)有限公司. 三菱通用交流伺服样本[Z]. 2005.
- [12] 成大先. 机械设计手册(第五版)第2卷[M]. 北京:化学工业出版社,2008.4.6-11.

Servo Motor Selection Principles and Precautions

WANG Jun-feng, TANG Hong

(Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi 341000,China)

Abstract: This paper discusses the advantages and use of servo motors, the principles of selection of servo motors be described in detail, and the concept of selection which difficult to understand has made the detailed explanation, finally it elaborated the items which need to pay attention while the selection of servo motor, which provides a good reference for technical personnel that is going to select a suitable servo motor.

Key words: servo motor selection; servo motor brake; inertia; load motor inertia ratio