

数控车床实验系统的主轴变频调速系统设计分析

郑艳琴, 唐学哲

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:主要针对要求高精度、快响应的数控车床主轴调速系统的设计要求,通过对变频调速的基本原理和变频方式的分析,提出了变频电机与变频器组合的调速方案。根据数控车床实验系统的运行条件,计算车床的切削力和主轴电机的功率,为选择实验系统的主轴变频调速电机提供依据。根据选定的变频电机的特性,提出了变频器的选择原则,进而选择了额定容量和额定电流均与变频电机匹配的,且采用矢量控制高性能型通用电压型变频器。最后,简要介绍了数控车床实验平台的设计思路。研究表明,选择的变频电机与变频器配置合理且其调整性能和启动转矩均能满足实验系统的要求。

关键词:变频调速;变频电机;变频器;数控车床

中图分类号:TH16;TG502

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)06-0712-03

Spindle variable speed system design and analysis for CNC lathe experiment system

ZHENG Yan-qin, TANG Xue-zhe

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Mainly for the demand of designing high-accuracy, fast-response CNC lathe spindle variable speed system, a speed control proposal of fitting frequency motor and transducer together was raised via analyzing the basic principles and frequency of the variable frequency speed control. According to the CNC lathe experimental system operating conditions, the lathe cutting force and spindle motor power were calculated, evidence for choosing spindle adjustable frequency motor of experiment system was provided. In the light of the selected motor character, the basic principle of choosing transducer was proposed, then a transducer was selected which matched the frequency motor in the rated capacity and rated current. It is a high-performance and general-purpose voltage transducer using vector control. Finally, briefly the design ideas for CNC lathe experimental platform were described. The frequency motor and transducer are reasonable, and its adjustable performance and starting torque can meet the requirements of the experimental system.

Key words: variable frequency speed control; adjustable frequency motor; transducer; CNC lathe

0 引言

随着现代工业技术的发展,变频调速技术在机械加工中已得到广泛的应用^[1]。在数控车床实验系统中,主轴旋转精度决定了零件的加工精度,变频调速调节数控机床主轴的转速,具有高效率、宽范围、高精度的特点,主轴调速越来越多地采用变频调速^[2]。从主轴调速系统的总体性能指标出发,如何正确选择电机和变频器,求得电机与变频器的最佳配合,是主轴变频调速系统设计的关键。

本研究主要探讨数控车床实验系统的主轴变频调速系统的设计。

1 变频调速的基本原理

交流感应电动机的转速为:

$$n_0 = n(1-s) = 60f(1-s)/p \quad (1)$$

式中: f —定子电源频率, s —转差率, p —磁场极对数。

由式(1)知,改变电源的频率 f ,电动机转子转速就随之得到调节,这就是变频调速。变频器利用电力半导体器件的通断作用,可以将工频电源变换为另一频率的电源,提供电动机无级调速所需要的电压、频率,实现异步电动机的平滑调速^[3]。

变频器实现变频的方式主要有交流-交流变频和交流-直流-交流变频(直接转矩控制变频或矢量控制

变频)。交流-交流变频就是改变晶闸管导通控制角 α 的大小和变化的频率,实现交流-交流的电压和频率的调整。利用晶闸管的导通性能,本研究先把工频交流电源转换成直流电源,再利用由晶闸管构成的逆变器主电路,输出三相频率和电压均可调整、等效于正弦波的脉宽调制波(SPWM波),实现交流-直流-交流变频,拖动三相异步电机调速运转^[4-5]。

2 数控车床实验系统主轴调速的变频电机选择

由于切削过程的复杂性,影响切削力的因素非常多,因此目前尚未导出简便的计算切削力 F_x, F_y, F_z 的理论公式,一般都是通过大量实验,建立经验公式来计算切削力。本研究将背吃刀量、进给量及切削速度3个主要因素作为可变因素,而其他影响因素则用修正系数间接计算,可以得出 F_x, F_y, F_z 3个分力的经验公式^[6]:

$$\begin{cases} F_z = C_{F_z} \cdot a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}} \cdot V^{n_{F_z}} \\ F_y = C_{F_y} \cdot a_p^{x_{F_y}} \cdot f^{y_{F_y}} \cdot V^{n_{F_y}} \\ F_x = C_{F_x} \cdot a_p^{x_{F_x}} \cdot f^{y_{F_x}} \cdot V^{n_{F_x}} \end{cases} \quad (2)$$

式中: F_z —切削力; F_y —径向力; F_x —进给力; V —切削速度, $V = \pi nd / (1\,000 \times 60)$; n —工件转速; d —工件直径; f —进给量。

车削时, F_z 比 F_y, F_x 大得多,而且 F_y, F_x 方向上的运动速度又很小,因此, F_y, F_x 所消耗的功率很小(仅为1%~2%),故可忽略不计。适用于车床的切削力的计算公式如下:

$$F_z = 9.81 C_{F_z} \cdot a_p^{x_{F_z}} \quad (3)$$

根据数控车床实验系统的运行条件,取: $C_{F_z} = 40$, $x_{F_z} = 1.0$, $y_{F_z} = 0.75$, $a_{p_{\max}} = 6 \text{ mm}$, $f_{\max} = 0.2 \text{ mm/r}$, $n = 2\,500 \text{ mm/min}$, $d = 30 \text{ mm}$ 。则切削功率 $P_m = F_z \cdot V \times 10^{-3} = 704.13 \times 3.93 \times 10^{-3} = 2.765 \text{ kW}$ 。本研究取机床的传动效率 $\eta_m = 0.75$,则数控机床主轴电机功率 $P_E \geq P_m / \eta_m = 3.687 \text{ kW}$ 。

变频器供电下的异步电机运行条件发生了根本的变化^[7],电机运行时,随着变频器的调频调压控制,机械特性曲线可以任意平移,这使异步电机在性能上大大改善。所以,数控车床实验系统变频电机的选择,还应考虑:①电机与车床主轴功率特性匹配问题;②变频电机与普通电机机座号尽量相同;③强力切削和加工材料的不均匀性,主电机功率应有一定的储备^[8-9]。

该实验系统选用新乡市特种电机制造有限公司的YVP系列4级变频电机,额定功率为5.5 kW,额定转矩30 N·m,额定电流为12 A,可与同类变频装置配套,互换性、通用性强,其功率、底脚安装尺寸和中心高等对应指标与Y系列异步电机完全一致,与实验系统环境要求相符。主要技术指标为电压:三相380 V/50 Hz;

变频调速范围:5 Hz~100 Hz 无级调速。低速时转矩平滑,无爬行现象;能通过变频装置的电压提升,保证电动机在5 Hz时输出额定转矩而不致使电机因发热而烧毁。

3 变频器类型的选择

在数控车床实验系统中,主轴调速变频器的选型应注意:①变频器是实现恒压控制还是恒流控制;②变频器的负载性能曲线;③变频器与负载的匹配问题,变频器的额定电压、电流应与负载的额定电压、电流相符,对于特殊的负载则需要参考电机性能参数,以最大电流确定变频器电流和过载能力,在恒转矩负载或有减速装置时还应注意转矩匹配;④考虑到高次谐波会导致输出电流增大,变频器驱动电机,特别是电抗小的高速电机,其容量应略大于普通电机的选型;⑤电缆、电机对地耦合电容的存在,也会引起电流增大,变频器的容量应适当提高;⑥采用PWM控制逆变器,整流器不可控的变频器,功率因数相对较低、网侧谐波污染严重、无法实现能量的再生利用,在要求较高的场合,整流和逆变过程都采用PWM控制的双PWM变频器^[10]。

在数控车床实验系统中,选择变频器时,变频器的额定电流是一个关键量。对于采用4极以上电动机或者多电动机并联时,必须以总电流不超过变频器的额定电流为原则。数控机床属于连续运转,连续运转时所需的变频器额定容量和额定电流应满足下式:

$$\begin{cases} P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \phi} (\text{kVA}) \\ P_{CN} \geq k \times \sqrt{3} U_M I_M \times 10^{-3} (\text{kVA}) \\ I_{CN} \geq k I_M (\text{A}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_M —负载所要求的电动机的轴输出功率; η —电动机的效率(通常约0.85); $\cos \phi$ —电动机的功率因数(通常约0.75); U_M —电动机电压,V; I_M —电动机电流,A; k —电流波形的修正系数(PWM方式取1.05~1.0); P_{CN} —变频器的额定容量,kVA; I_{CN} —变频器的额定电流,A。

变频器与异步电动机组成不同的调速系统时,变频器容量的计算方法也不同。上述适用于单台变频器为单台电动机供电连续运行的情况,三者是统一的,选择变频器容量时应同时满足3个算式。

在数控车床实验系统中,主轴调速系统变频器是按照选定的电动机型号确定的,电动机的额定电流 I_M 为12 A,额定电压380 V,额定功率为5.5 kW,选择的变频器容量和额定电流应满足下式:

$$\begin{cases} P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \phi} = \frac{1.05 \times 5.5}{0.85 \times 0.75} = 9.0 (\text{kVA}) \\ P_{CN} \geq k \times \sqrt{3} U_M I_M \times 10^{-3} = 8.3 (\text{kVA}) \\ I_{CN} \geq k I_M = 1.05 \times 12 = 12.6 (\text{A}) \end{cases} \quad (5)$$

对动态性能要求较高的数控车床实验系统,原来多采用直传动方式。目前,矢量控制型变频器已经通用化,对于要求高精度、快响应的数控车床的实验系统,采用矢量控制高性能型通用变频器是一种很好的方案^[11],而且中、小容量变频器以电压型变频器为主,此实验系统选用三菱 FR-A740-3.7K-CHT 系列变频器。其基本参数:额定电流为 12.6 A,额定容量为 9 kVA,允许电动机最大功率为 5.5 kW,额定过载电流为 150%,额定输出电压为 3 相 380 V ~ 480 V,电压允许波动为 $\pm 5\%$,需强制风冷。

本研究选择的变频电机与变频器配置合理,且其调整性能和启动转矩均能满足系统要求。

4 数控车床实验装置

数控实验装置属于小型实验机床,调速范围不大,不需要换挡。主轴调速的实验装置接线图如图 1 所示,TA、TB、TC 端子接外部控制电路,PA、PB 端子用来制动,SVC、0V 端子用来改变频率,COM、SCW、SCCW 端子用控制电动机的正反转,QF 是空气开关,有隔离电源、断路、过电流、欠电压等保护作用。

数控车床实验平台示意图如图 2 所示。

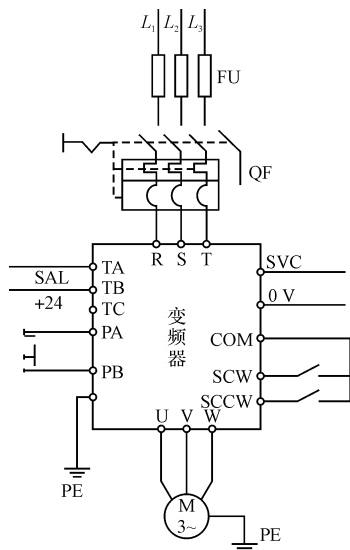


图 1 主轴调速的实验装置接线示意图

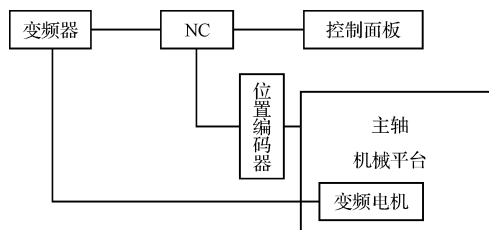


图 2 数控车床实验平台示意图

数控车床的实验系统是利用实验控制面板对工作台进行控制,在面板上能体现各部分的操作情况。出

现的故障能在面板上体现出来,使系统更加直观,便于数控车床的检测、维修及故障排除等方面的学习。主轴变频调速系统设计是数控车床实验系统的一个重要部分,在数控车床实验系统中,主轴调速采用变频电机与变频器配合使用的变频调速,较电磁调速电机结构更加简单,维修方便,且效率高、节能效果显著;调速平滑,范围广,能在 5 Hz ~ 100 Hz 范围内无级调速;启动电流小,不用附加启动设备,低频启动时力矩对负载冲击小;体积小、重量轻、安装尺寸和 Y 系列相同,特别适合在数控车床实验系统中使用。

5 结束语

变频调速的应用范围非常广泛,在 50 Hz 以下可作恒转矩运行,在 50 Hz 以上可作恒功率运行,是一种理想的调速控制方式。用于数控车床主轴调速控制系统的变频调速,其因启动性能优越、高效节能、调速范围大、精度高、无级调速等优点而得到广泛的应用,并逐步取代直流调速。交流变频器和变频电机组成的变频调速系统,应用在数控车床的实验系统中,更便于检测、维修以及故障排除等方面的学习,具有很高的实用价值。

参考文献 (References):

- [1] 丁金福,虞付进. 变频调速技术在数控车床中的应用[J]. 新技术新工艺,2005(5):13-15.
- [2] 周虹,周文军. 数控车床的主轴变频调速实现[J]. 机床与液压,2007,35(1):60-62.
- [3] 朱全印,韩来吉,付云强,等. 数控机床主轴变频调速控制系统原理及应用[J]. 煤矿机械,2009,30(9):194-196.
- [4] 陈和权. 变频调速的基本方法[J]. 工矿自动化,2010(2):122-125.
- [5] LAI Ji-sheng, PENG Fang-zheng. Multilevel converters-a new breed of power converters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,1996,32(3):509-517.
- [6] 黄观尧,刘保河. 机械制造工艺基础[M]. 天津:天津大学出版社,1999.
- [7] 扶蔚鹏,黄守道. 变频调速对三相感应电动机的影响[J]. 防爆电机,2000(3):6-9.
- [8] HONSINGER V B. Sizing equations for electrical machinery[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,1987, EC-2(1):116-121.
- [9] 孟朔,赵争鸣,王祥珩. 变频调速异步电机的优化设计及其性能仿真[J]. 清华大学学报:自然科学版,1999,39(3):125-128.
- [10] MATSUI Kei-ju, TSUBOI Kazuo, MUTO Saburo. Power regenerative controls by utilizing thyristor rectifier of voltage[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,1992,28(4):816-823.
- [11] MARIAN P, KAZMIER K, WALDEMAR S. A novel vector control scheme for transistor PWM inverter-fed induction motor drive[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,1991,38(1):41-47.

[编辑:张翔]