

840D 数控系统的伺服参数优化*

郭 亮,梅雪松*,张东升,盛晓超

(西安交通大学 机械工程学院,陕西 西安 710049)

摘要:为了使机床的电气系统与机械部件之间的匹配性得到提高,通过对机床伺服参数进行合理地调节,提升了机床的动态特性和加工精度。针对 840D 的数控系统,利用其系统自带的 Start-Up 优化软件对机床的伺服参数进行了手动优化,通过频率响应、圆测试、伺服跟踪方式来检验优化效果的优劣。最后,总结了一套手动调节伺服参数的方法。研究结果表明,利用该方法可以有效地优化伺服驱动,使机床的总体性能得到提升。

关键词:伺服系统;参数调节;频率响应;圆度测试

中图分类号:TH16;TG659

文献标志码:B

文章编号:1001-4551(2011)04-0444-04

Servo parameters tuning for SINUMERIK 840D and 611D

GUO Liang, MEI Xue-song, ZHANG Dong-sheng, SHENG Xiao-chao

(College of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: For improving the machine ability of electrical system and machine elements, the dynamic characteristics and machine accuracy were promoted by tuning servo parameters. Servo optimization was manually performed by software Start-UP for SINUMERIK 840D system. The advantage and disadvantage of results can be checked by frequency response, circularity test, servo trace. And a way of manually tuning servo parameters was summarized. The research results show that this method could be used to improve total performance of machine tools.

Key words: servo system; parameters tuning; frequency response; circularity test

0 引 言

数控机床的伺服驱动系统是以机床移动部件的速度和位移为控制量的自动控制系统,作为数控系统的主要组成部分,伺服系统的优劣决定了整个加工过程的精度^[1-2]。提高机械部件的加工精度和电气控制系统的控制精度是提高伺服系统精度的重要方法。但是目前机床传动系统的机械部件如导轨、丝杠等精度已经接近极限,很难得到有效地提高,因此控制器精度的提高对于提高工件加工精度有着重要的作用^[3]。通过系统的半闭环、全闭环控制可以提高整个驱动系统的控制精度,实现机床高速、高精度的生产需求。

一般情况下机床调试时会有一组设定的默认参

数,但这些参数是为了保证系统的正常运行而设定的,比较保守。控制系统的性能并没有达到最大程度的发挥^[4],整个伺服系统的机械系统和电气系统没有达到较好的匹配。为了进一步提高驱动系统的动态特性,需要对控制器的 PID 参数进行优化,使得电气部分与机械部分的匹配性能达到最佳状态,进而提高加工精度和质量。本研究针对西门子 840D 数控系统,对伺服系统的优化流程和参数调节过程进行了研究。

1 伺服优化的本质和原理

在理想情况下,电机的输出端到工作台之间是一个线性传递环节,输出与输入之比为一常数,输出总是跟输入同步的,没有时间上的滞后。但是从数控机床

收稿日期:2010-11-02

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2009ZX04001-022,2009ZX04014-023)

作者简介:郭 亮(1987-),男,陕西丹凤人,主要从事高速、高精度数控机床方面的研究。E-mail: guoliangdf@126.com

通信联系人:梅雪松,男,教授,博士生导师。E-mail: xsmei@mail.xjtu.edu.cn

的传动结构和控制系统的角度来看,电机的输出端到工作台之间可以看成线性环节和弹性环节的组合,即一个2阶传递系统^[5]。由于弹性环节的频率是由许多频率组合而成的,反映到工作台端,某些频率处输出会被压抑,降低系统的动态特性,而有些频率处的输出会得到放大产生共振。共振会造成机床的振动,严重影响了工件的加工精度,这是必须要避免的^[6]。驱动优化过程就是一个使输出尽可能跟随输入的参数调节过程,即增大被压抑部分的输出,同时消除共振。增益的提高会放大系统的输出,但同时可能产生共振,使用电流滤波器令某些频率的输出得到抑制以消除共振,提高系统的动态特性^[7]。

西门子所采用的是611D驱动系统,其伺服控制系统由电流环、速度环、位置环三环组成,电流环、速度环的控制器均由比例积分调节器组成,而位置环是一个比例调节器。伺服优化的过程就是调节三环控制器的增益和积分时间常数,使系统的性能得到提升。其中,内环性能的优劣会影响到外环性能的发挥,因此速度环是优化的重点。

2 611D 伺服优化步骤

在优化伺服参数的过程中,通过系统频率响应来观察优化结果的优劣。频率特性曲线的带宽越宽,拐点频率越高,曲线越平滑,则系统的动态特性愈好,系统的轮廓精度同时也得到了提高。也可以通过圆测试结果更加直接地评价优化结果,其轮廓误差愈小,则优化结果愈好,这与频率响应曲线是相一致的,二者并不发生矛盾。当系统的频率特性较好时,在同一组伺服参数下反映到圆测试结果的轮廓精度会得到提高。

通过840D数控系统的Start-UP Tool可以进行三环的频率响应测试和圆测试、阶跃响应及伺服轨迹跟踪功能,进行伺服参数的调节。由于电流环的响应较速度环快,而速度环又比位置环响应快,必须遵循内环到外环的优化顺序,即“电流环-速度环-位置环”。

2.1 电流环参数优化

电流环控制器是一个比例积分调节器,因此对电流环的优化主要包括电流环增益MD1120和积分时间常数MD1121的调节。一般情况下,机床出厂时,电机与驱动是比较相匹配的,因此不用进行太大幅度的调节。只要频率特性满足带宽和拐点要求,不存在共振点即可。

先测定一下电流环的阶跃响应曲线和频率响应曲线,如果其阶跃响应时间和拐点频率满足要求,则该组

控制器参数是可以接受的。响应时间和拐点频率根据机床系统的不同有所变化,根据实际情况确定。如图1所示,实验结果说明随着增益的提高,系统频率特性会逐渐好转。此处对MD1120和MD1121的调节只是初步的调节,在对速度环进行优化的过程中还需要对该参数进行更进一步的调节。一般情况下,可以将该组参数调节得较为保守一点,以便为后面速度环的优化提供充足的裕度。

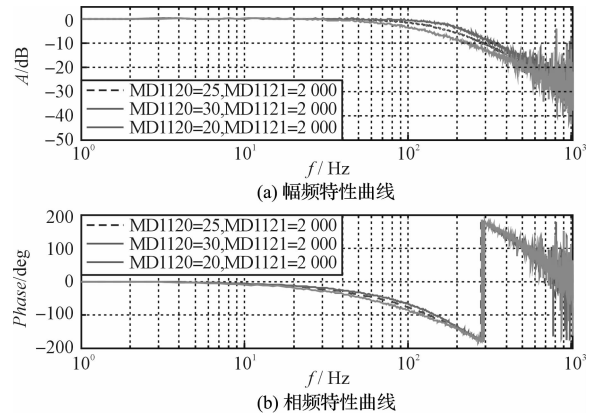


图1 提高增益对频率特性的影响

2.2 速度环参数优化

速度环是参数优化的重点,速度环优化的参数有速度环增益MD1407、速度环积分时间常数MD1409、电流环滤波器的相关参数MD1120-MD1121。

先对增益和积分时间进行调节,在机床能够正常运行的情况下使增益尽量大、积分时间尽量小^[8]。将MD1409速度环积分时间调到500ms,然后逐渐增加MD1407增益,直至电机啸叫或有较为明显的振动。MD1407调节完毕后,减小MD1409积分时间值,一般应小于20ms,可以恢复到原本的默认值。最终频率响应曲线上的最高点不能超过3dB,否则机床就会发生明显的振动。

增益增大的同时,频率响应会在某些频率处产生较大的峰尖,通过电流滤波器可以将这些峰尖屏蔽掉。840D有4个电流滤波器,一般将第1个滤波器设置为低通的,其余的为带阻滤波器。当低频处的频率响应较差时,可以采用低通滤波使低频段频率特性稳定。带阻滤波器可以消除共振点处的尖峰现象,由于滤波器的使用相当于给系统增加了非线性环节,造成了系统的迟滞,因此尽可能少地使用滤波器。

MD1200设置滤波器生效个数,MD1201可以设置生效滤波器的类型是带通还是带阻,0表示低通滤波,1表示带阻滤波。如果MD1201的第1位设置为0时,则参数MD1202、MD1203有效,而MD1210、MD1211、

MD1212、MD1222 失效,否则相反。以第 1 个生效滤波器为例,当 MD1201 设置为带通滤波器时,则可调节 MD1202 低通频率和 MD1203 滤波器深度。MD1202-MD1209 为 4 个带通滤波器的调节参数。当滤波器设置为带阻时,需要调节 MD1210、MD1211、MD1212、MD1222,主要是对共振点频率、带宽、滤波器的深度、百分比的调节,4 个带阻滤波器的参数调节范围从 MD1210 到 MD1225。由于频率对这些参数较为敏感,这些参数的是否合理决定了速度环特性的优劣。共振频率应该是 Bode 图中峰值最大点,它的数值必须准确,可以根据具体的情况作细微的变化,但是调节幅度不能过大。带宽是共振频率两侧超过 0 dB 的频率宽度,当它确定后,可以进行微调,使得频率特性提高,不能过大或过小。滤波器深度的调节也较为重要,它的值越小,滤波器对峰尖抑制的效果越强,但是会在附近的频率处压出新的峰尖,因此它的值也应该进行微调,直到达到较好的效果。独立的带阻滤波器和整个传递函数中带阻滤波器的频率特性^[9]如图 2、图 3 所示。

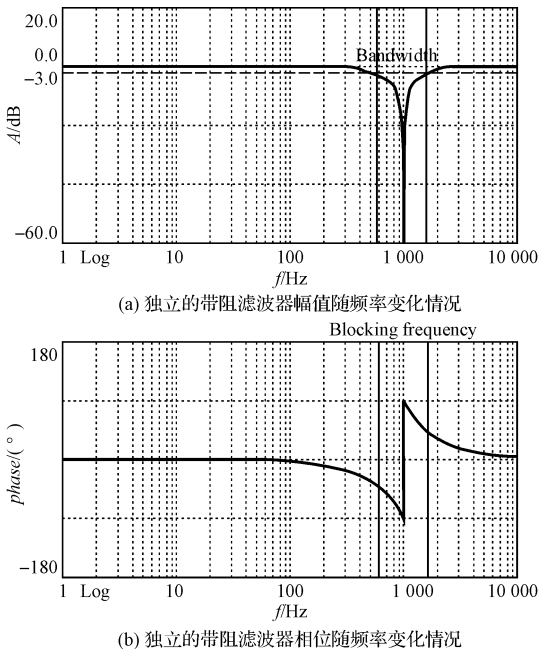


图 2 独立的带阻滤波器情况

在对滤波器参数调节结束后,如果频率响应特性还是不能达到理想状态,可以对电流环的增益 MD1120 和 MD1121 积分时间进行调节。MD1120 越大,速度环频率特性越好,MD1121 越小,频率特性也得到提高,但应该在电流环频率特性得到保证的情况下对该参数进行调节。速度环优化结束后,可以再次测量电流环的频率响应,以保证 MD1120 和 MD1121 参数的合理。

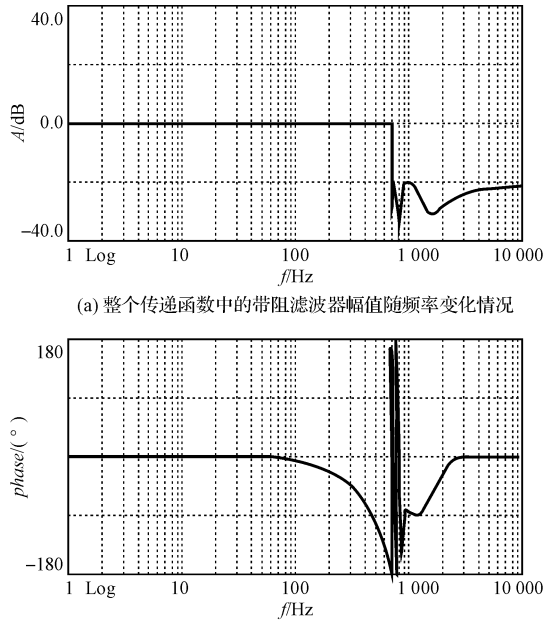


图 3 整个传递函数中带阻滤波器情况

2.3 位置环优化

在对位置环参数进行优化时,只有位置环增益可以通过参考频率响应来优化,其余的参数需要伺服跟踪或是圆测试来优化,当增大位置环增益 MD32200 时,频率响应曲线向上翘,反之,则频率响应曲线下压。调节加速度 MD32300 时,加速度越大,动态性能越好,但容易产生过冲;加速度越小,则动态性能越差,为此加速度的设定要根据实际情况合理地设置^[10]。

在完成了三环参数的优化后,可以进一步通过伺服跟踪和圆度测试调节前馈参数和摩擦补偿参数,以进一步提高工件加工精度。

3 实验对比前后优化结果

当没有对系统的伺服参数进行调节时,对其进行圆测试和频率响应曲线如图 4、图 5 所示。当对其进行了伺服优化后,其圆测试和频率响应曲线如图 6、图 7 所示^[11]。

调节步骤如下:

- (1) 调节电流环参数 MD1120, MD1121。增大 MD1120,减小 MD1121 观察期频率响应,反复调节参数直至频率特性曲线达到要求。
- (2) 调节 MD1407, MD1409。增大 MD1407,减小 MD1409,反复调节直至频率特性达到要求。
- (3) 增加电流滤波器消除频率特性曲线中的峰尖,通过设置 MD1200, MD1201, MD1213, MD1214, MD1215 的数值直至峰尖得到抑制。

(4) 调节位置环增益 MD32200。在机床不产生振动的情况下,合适地增加 MD32200 的值。

(5) 调节前馈参数 MD32610, MD32620, MD32630, 一般设置 MD32610 为 1。

(6) 调节 MD32490, MD32500, MD32520, MD32540 进行摩擦补偿。

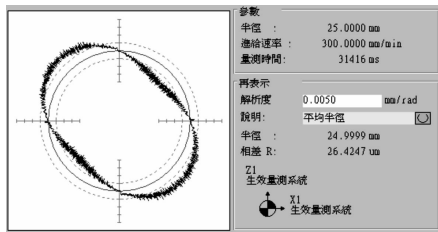


图4 优化前圆测试结果

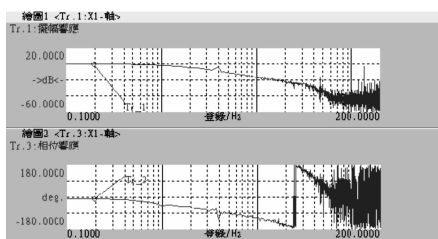


图5 优化前频率响应结果

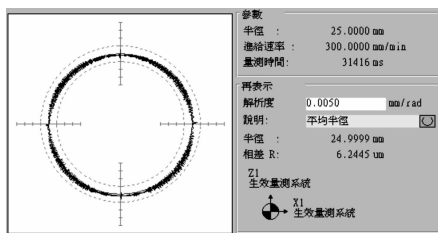


图6 优化后圆测试结果

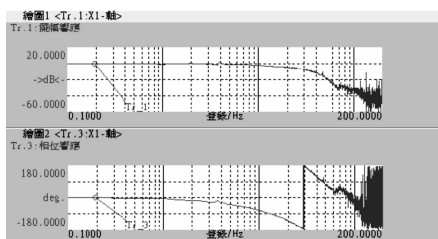


图7 优化后频率响应测试结果

可以看出,经过优化后,数控系统伺服不匹配的现象得到了消除,位置环的频率响应特性得到了提高,圆测试结果的轮廓精度也得到了提高,整个数控机床的性能得到了提升。

4 结束语

伺服优化的关键是对三环控制器的参数调节,对于 840D 的 611D 驱动系统,一般电流环、速度环采用 PI 控制,而位置环采用比例控制。因此其优化实质是对控制器的 PID 参数进行合理的调节,在机床稳定的前提下尽量提高其增益而减小积分时间常数^[12]。这需要大量的实践来总结一套合适的方法,此处只是对其优化流程进行了探讨。除此之外,如果机床加工精度仍需得到提高,就需要调节相关补偿参数以满足要求。

参考文献 (References):

- [1] 杨 诚,张为民. 西门子 611D 驱动工程应用的优化研究[J]. 制造技术与机床,2008(3):53-56.
- [2] 何 勋,郭君霞. 数控机床伺服系统的典型故障分析与排除方法[J]. 机电工程技术,2009,38(12):93-95.
- [3] 曲改玉,周生伟,李 敏. 优化 840D 系统参数实现机床的高精度加工[J]. 制造技术与机床,2009(11):133-136.
- [4] 高 峰,王清标. SINUMERK 840D 数字驱动伺服 611D 参数分析与优化[J]. 机床电器,2006(5):16-17.
- [5] KIM M Y, LEE C O. An experimental study on the optimization of controller gains for an electro-hydraulic servo system using evolution strategies [J]. **Control Engineering Practice**,2006(14):137-147.
- [6] 边 江,马国春. 西门子 840D 系统驱动优化详解(上)[J]. 金属加工:冷加工,2009(4):66-69.
- [7] 王 莉,罗学科,张超英. 数控机床伺服特性调试技术研究[J]. 机械工程与自动化,2009(5):125-126.
- [8] CHILDAMBARAM M, SREE R P. A simple method of tuning PID controllers for integrator/dead-time processes [J]. **Computers and Chemical Engineering**,2003(27):211-215.
- [9] SIEMENS. SINUMERIK 840D Installation and Start-Up Guide[CD]. SIEMENS,2006.
- [10] KUO Lun-yu, YEN Jia-yush. Servo parameter tuning for a 5-axis machine center based upon GA rules[J]. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**,2001(41):1535-1550.
- [11] 边秀娟. 数控加工生物组织微阵列系统[J]. 轻工机械,2010,28(3):100-102.
- [12] 吴子敬. 驱动优化在提高系统动态特征中的应用[J]. 山东文学,2008(10):161-162. [编辑:张 翔]