轻松数控网 http://www.cnctechnet.com/

2008 年 11 月
第 36 卷 第 11 期

机床与液压
MACHINE TOOL & HYDRAULICS

Nov. 2008
Vol. 36 No. 11

FANUC 系统数控精度补偿方法

符强，付毅，师堂存，梁莹
（广州宏力数控设备有限公司，广东广州 511430）

摘要：详细阐述了 FANUC CNC 数控精度补偿的方法和技巧，通过更合理的途径，提高了加工精度。

关键词：FANUC；数控精度；螺补
中图分类号：TP271 +.82　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001 -3881（2008）11 -035 -3

FANUC CNC Numerical Control Precision Compensation

FU Qiang, FU Yi, SHI Tangcun, LIANG Ying
(Guangzhou Hongli NC Equipment Co., Ltd, Guangzhou Guangdong 511430, China)

Abstract: FANUC CNC precision compensation methods and techniques were elaborated, by using a more reasonable way, the machining accuracy was improved.

Keywords: FANUC; Numerical control precision; Pitch error compensation

目前所使用的机床，大多数都是伺服电机连接丝杠通过丝母进行传动的。由于加工条件的限制，所有的丝杠都存在误差，所以当电机按照系统指令转动足够圈数后，反映到移动轴上的位置总会出现误差。丝杠精度越差，行程越长，累计误差也就越大。另外，丝杠安装误差及导轨制造误差也会影响移动轴的定位精度，这样加工出来的工件很难满足公差要求。

通过利用数控系统的补偿功能可以提升机床精度和性能。笔者重点阐述了 FANUC 系统的反向间隙补偿和螺距误差补偿功能的使用，因为这两项补偿是最常用也是效果最明显的。

1　轴的分类

数控机床轴的类型分为直线轴和旋转轴两种，直线轴通过电机旋转带动丝杠、齿轮或是直线电机直接驱动，从而实现直线的进给，计量单位为长度单位。当输入单位采用 IS - B 标准时，参数中最小单位为 1 μm。

旋转轴通过电机带动蜗轮、蜗杆或是内装式电机直接驱动，使轴实现 360°旋转进给，计量单位为角度单位。当输入单位采用 IS - B 标准时，参数中最小单位为 3.6s。

2　直线轴的补偿

2.1　参数设定

直线轴的数控精度补偿必须设定的参数有：

（1）No. 1800#4 切削进给和快速移动是否分别进行反向间隙补偿，0：否，1：是。

（2）No. 1851# 各轴的反向间隙补偿量，单位：μm。

（3）No. 1852# 各轴快速移动时的反向间隙补偿量，单位：μm。

根据进给速度的变化，在快速移动或切削进给时用不同的反向间隙值可实现较高精度的加工。此参数设定为 1 时，需要对参数 No. 1851# 和 No. 1852# 分别进行补偿，若切削进给时测量的反向间隙为 A，快速移动时测量的反向间隙为 B，根据进给率的变化和移动方向的变化，反向间隙的补偿值如表 1 所示。

表 1　反向间隙的补偿值

移动方向变化	进给速度变化			
	切削进给到切削进给	快速移动到快速移动	快速移动到切削进给	切削进给到快速移动
相同方向	0	0	$\pm\alpha$	$\pm(-\alpha)$
相反方向	$\pm A$	$\pm B$	$\pm(B+\alpha)$	$\pm(B+\alpha)$

注：$\alpha=(A-B)/2$；补偿值的正负符号与移动方向相同。

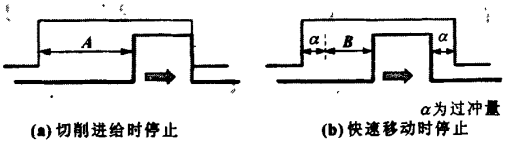

图 1　切削进给和快速移动时的反向间隙比较

（4）No. 3620# 各轴参考点的螺距误差补偿号码，范围：0—1 023。

（5）No. 3621# 各轴负方向最远端的螺距误差补偿点号码，范围：0—1 023。

（6）No. 3622# 各轴正方向最远端的螺距误差补偿点号码，范围：0—1 023。

（7）No. 3623# 各轴螺距误差补偿倍率，范围：0—100。

收稿日期：2008 -05 -22
作者简介：符强（1983—），男，从事立式、卧式加工中心电气设计。电话：020 -34796421，13430367123。E - mail：totovip@163.com。

万方数据

轻松数控网 http://www.cnctechnet.com/

（8）No. 3624#各轴的螺距误差补偿点的间距，范围：0—99 999 999。

2.2 补偿前的准备工作

（1）参数检查

①No. 1825#位置环增益

βi 系列电机设定范围 3 000—5 000，一般情况下设定 3 000。

αi 系列电机设定范围 3 000—7 000，一般情况下设定 5 000。

需要特别注意的是，插补轴的位置环增益必须设定相同值，否则插补轨迹。

②No. 1851#、No. 1852#及螺距误差补偿值清零。

（2）机械检查

①检查机床是否振动，在 JOG 方式、手脉方式下以各种倍率移动机床各轴，检查是否在某种速度下存在振动。

②检查导轨防护罩是否有明显划痕及运行时是否发出响声。

③观测电机负载电流是否稳定，运行中变化不能超出 30%。

④机床快速连续运行 30min，使机床基本达到正常使用状态的热平衡。

2.3 设定补偿参数和程序

（1）设定参数

在补偿之前需要先确定各轴的行程和方向，确定了行程和方向后有效补偿距离也就随之确定，通常补偿的原点为各轴的参考点，补偿的方向非正即负。根据有效补偿距离确定激光干涉仪的测量点数、补偿点数和补偿点间距，再将确定的值分别设定在参数 No. 3620#、No. 3621#、No. 3622#、No. 3624#中。

确认以上参数后输入检测程序，以 *X* 轴为例进行参数设定。

假设机床的 *X* 轴行程为 +10.000 ~ −810.000，补偿的原点为 *X* 轴的参考点，*X* 轴的有效补偿距离就是 0 ~ −800.000，如果测量 10 个点，每点的距离为 80.000，每间隔 20.000 补偿 1 点，共补偿 40 个点。

No. 3620# = 100　此参数在 0 ~ 1 023 之间根据需要设定

No. 3621# = 61　负向最远端

No. 3622# = 101　正向最远端

No. 3624# = 20 000　补偿间隔 20.000

（2）编写程序

以上述设定为例，检测程序包括主程序 O0001、子程序 O0002 和 O0003 3 个部分（程序号可随意设定）。*X* 轴补偿范围 0 ~ −800.000，补偿 40 点，每点间距 20.000 时，程序如下：

```
00001
N0010 G90 G0 X0          X轴移动至参考点，G54里面不能键入偏移值
N0020 X5.                X轴向正方向移动5.000
N0030 X0                 X轴向负方向移动5.000(测出反向间隙)
N0040 G04 X5.            暂停5s(等待激光干涉仪测量并计数)
N0050 M98 P100002        调用00002程序并连续循环10次(共测量10个点)
(N0050 M98 P0002 L10)    同上
N0060 G0 X-5.            X轴向负方向移动5.000
N0070 X5.                X轴向正方向移动5.000(测出反向间隙)
N0080 G04 X5.            暂停5s(等待激光干涉仪测量并计数)
N0090 M98 P100003        调用00003程序并连续循环10次(共测量10个点)
(N0090 M98 P0003 L10)    同上
N0100 M99                循环(5遍反复测量)
00002
N10 G91 G0 X-80.         X轴向负向移动80.000(测量点间隔)
N20 G04 X5.              暂停5s(等待激光干涉仪测量并计数)
N30 M99                  返回主程序
00003
N10 G91 G0 X80.          X轴向正方向移动80.000(测量点间隔)
N20 G04 X5.              暂停5s(等待激光干涉仪测量并计数)
N30 M99                  返回主程序
```

图中 X 中的 X 为当前要检测的轴名称；-80.、80. 数字为每点间距，符号为移动方向；P100002 或 P0002 L10、P100003 或 P0003 L10 调用子程序 O0002、O0003 各 10 次。

2.4 测量和补偿数据

（1）测量

数控精度标准有 3 个基本的概念和指标，即定位精度、重复定位精度和反向间隙。从参考点开始向各点逐点快速移动可以检测出定位精度。运行到负向最末点，调头返回逐点移动可以检测出反向间隙。不间断反复检测 5 次可检测出比较准确的重复定位精度。

如图 2 所示，*X* 轴实测定位精度 ±3μm，重复定位精度 1μm，反向间隙 3μm。

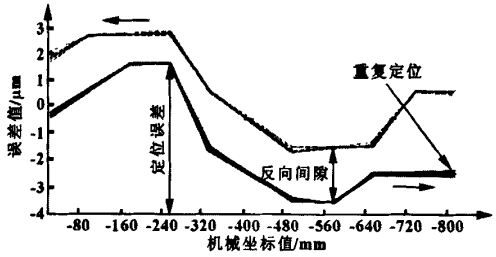

图 2　未经补偿的测量图

（2）反向间隙补偿

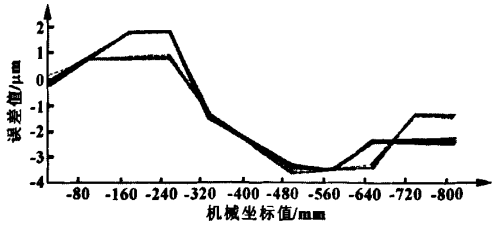

图 3　经反向间隙补偿后的测量图

得出第一次测量的图形和数据后，第一项工作是反向间隙补偿，从图 2 中可以看出，往返 2 条线之间的最大间隙是 3μm，最小间隙是 1μm，综合定位精度等因素考虑，快速移动时取中间值 2μm 补偿，分

万方数据

轻松数控网 http://www.cnctechnet.com/

别设置 No. 1851# = 3 和 No. 1852# = 2。补偿后结果如图 3 所示，X 轴实测反向间隙为 1μm。

（3）螺距误差补偿

补偿完反向间隙后，接下来就是螺距误差补偿，根据测量结果得出一组测量数据，如表 2 所示。

表 2　螺距误差表

-800	-720	-640	-560	-480	-400	-320	-240	-160	-80
1	0	1	0	-1	-1	-3	0	1	1

表 2 中的数据表示误差大小，单位为 μm。根据测量数据，将补偿数据填入补偿表（表 3）即可，测量数据反映的是实测误差值，所以补偿数据为测量数据取负，通常将每点补偿数据分散填入每个测量点的多个补偿点中，例如，-800.000 点测量数据为 1，补偿数据就应该为 -1，根据 No. 3624# = 20 000 有的设置，每间隔 20.000 有一个补偿点，应该补偿 4 个点，-800.000 为负向最远端，所以应该根据 No. 3621# = 61 的设置，从 0061 开始补偿，0061 = 0、0062 = -1、0063 = 0、0064 = 0，4 个点补偿和为 -1，正好是测量点 -800.000 的补偿数据。

表 3　螺距误差补偿参数表

No.	螺补	No.	螺补	No.	螺补	No.	螺补
0061	0	0071	0	0081	0	0091	0
0062	-1	0072	0	0082	1	0092	0
0063	0	0073	0	0083	0	0093	0
0064	0	0074	0	0084	0	0094	-1
0065	0	0075	0	0085	1	0095	0
0066	0	0076	0	0086	0	0096	0
0067	0	0077	0	0087	1	0097	0
0068	0	0078	1	0088	1	0098	-1
0069	0	0079	0	0089	0	0099	0
0070	-1	0080	0	0090	0	0100	0

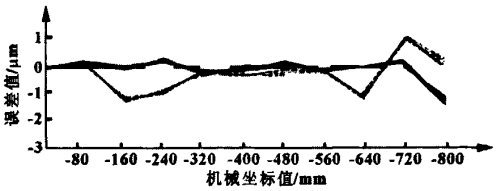

图 4　经反向间隙补偿和螺距误差补偿后的测量图

经过数控精度补偿过后，X 轴实测 10 点的定位精度 ±1.5μm，重复定位精度 1μm，反向间隙 1μm。

3　旋转轴的补偿

旋转轴的补偿与直线轴的测量、补偿方法基本相同，只是数据单位不同，进行旋转轴的螺距误差补偿时，还需要对 No. 1852# 回转轴螺距误差补偿的每转移动量进行设置。具体内容请参见 FANUC 资料 B-64120《0i 参数说明书》或 B-64113《0i 连接说明书（功能）》。

4　双向螺距误差的补偿

对于一些高端系统，FANUC 还提供双向螺距误差补偿功能，此功能是在机床正、反移动的 2 个方向上分别设定补偿量，从而在正、反向移动时分别进行补偿，提高了补偿精度。此外，当行程移动反向时，补偿量可根据补偿数据自动计算，与通常的存储型螺距误差补偿方法一样进行补偿。双向螺距误差补偿可减小机床正、反移动的位置误差。具体内容请参见 FANUC 资料 B-64120《0i 参数说明书》或 B-64113《0i 连接说明书（功能）》。

5　通常影响数控机床精度的因素

（1）参数

FANUC 系统关于精度的参数有很多，主要分为位置精度和轮廓精度，数控补偿也主要是对位置精度进行调整，其中位置增益、负载惯量最为重要，其次加减速的定义、到位宽度及一些伺服参数都对精度有一定的影响。

（2）机械精度

机械装配精度对机床精度的影响最大，导轨之间的平行度、导轨和丝杠间的平行度、丝杠精度等都直接影响机床的精度，机械精度是保证机床精度的基础。

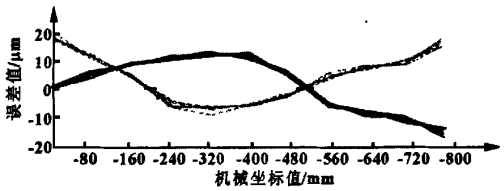

图 5　机械装配精度差导致的机床精度误差

（3）温差

丝杠等传动部件存在热伸缩性，在温度差异很大的情况下，机床精度会出现不稳定的情况。

（4）其它情况

导轨防护罩安装不合理，丝杠预紧不当等也会影响机床精度。如图 6、7 所示。

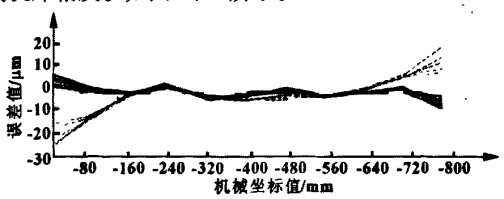

图 6　导轨防护罩两端受挤压导致两端精度差

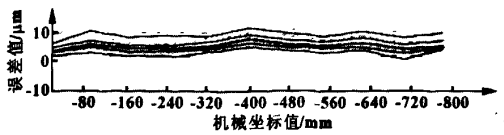

图 7　丝杠欲紧不当导致线段飘移

（下转第 21 页）

万方数据

轻松数控网 http://www.cnctechnet.com/

表 1

压力的微分	压力偏差				
	PB	*PS*	*ZO*	*AS*	*AB*
PB	ΔU	ΔU	$\Delta U/4$	$\Delta U/4$	$\Delta U/4$
PS	ΔU	$\Delta U/2$	$\Delta U/2$	$\Delta U/4$	$\Delta U/4$
ZO	ΔU	$\Delta U/2$	$\Delta U/2$	$\Delta U/2$	$\Delta U/4$
AS	ΔU	$\Delta U/2$	ΔU	$\Delta U/2$	$\Delta U/2$
AB	ΔU	$\Delta U/2$	ΔU	$\Delta U/2$	$\Delta U/2$

模糊控制器的输出在该模糊逻辑的基础上进行二次加权，所以当压力差过大或者压力微分（增长）过大时，频率给定保持不变，此时控制油压会经过缓慢地增加后自动停止增长；如果在这种情况下减小频率给定，会产生油压的振荡，进而影响胶带的张力变化，这在长胶带的启动过程是不允许的；当压力差小且压力的微分小时，系统会减半增长给定，当压力差为负且压力的微分较小时，频率给定增加按期望增加量增加。这种控制方法即称为符合模糊控制规律的油压变化截止负反馈控制方法。该控制方法在宣城海螺石灰石长胶带运输机控制系统中得以验证，实现了胶带机的平稳启动和功率平衡；但是夏季和冬季的环境问题和散热条件对 *CS* 点和 *CE* 点的影响比较大，不同的季节需要对 *CS* 点和 *CE* 点进行人工调整。

3　结束语

液粘软启动可以实现长胶带运输机软启动和调速运行；国内有不少厂家有自主生产液粘软启动装置，并在工程中得以应用。如果能尽快在制造精度、压力控制、信号检测、建模及降噪方面得到进一步改善，则可以进一步加快长距离大运量输送系统的国产化进程。液粘软启动装置在进一步加大推广之前要考虑在如下方面进行研究：

（1）液粘软启动装置的动态建模。通过系统实测建立系统模型，同时完善故障诊断系统，避免飞车断轴和断带的严重事故。

（2）继续加大力度进行提高所用阀门的可靠性研究，关键的传感器如油温、控制油压等采用多传感器信息融合的方法提高其可靠性。

（3）研究液粘软启动专用控制器，实现机电一体化；减小设备的占地面积。

（4）减少设备的运行噪声，优化散热方式。

（5）研究适合液粘特性的智能控制方法，例如模糊控制、专家系统与模糊控制相结合的复合控制等。

总之，与液体电阻、变频器及 CST 等众多长胶带运输机的控制方式相比，液粘软启动是一种性价比较高的方案。如果在设备的安全性、可靠性、控制的便捷性等方面得到改善，其应用范围会进一步扩大。

参考文献

【1】M M Razzzaque，T Kato. Effects of Groove Orientation on Hydrodynamic Behavior of Wet Clutch Coolant Films［J］. ASME Journal of Tribology，1999，121：56－611.

【2】MM Razzzaque，T Kato. Effects of a Groove on the Behavior of a Squeeze Film between a Grooved and a Plain Rotating Annular Disk［J］. ASME Journal of Tribology，1999，121：808－8151.

【3】MM Razzzaque，T Kato. Squeezing of a Porous Faced Rotating Annular Disk over a Grooved Annular Disk［J］. STLE Tribology Transactions，2001，44：97－1031.

【4】杨锐. 液粘传动性能研究［J］. 驱动系统技术，2004（10）.

【5】陈宁，邱敏秀. 液体粘性软启动装置启动平稳性研究［J］. 中国机械工程，2005，16（16）.

【6】石延平，刘成文，张永忠. 长距离带式输送机软启动过程中的动载荷分析［J］. 煤矿机电，2003（3）.

【7】Huang Xiao-Guang，Wei Chen-Guan. Stability of Oil Film and Output Speed of Hydro Viscous Drive Affected by the Pressure of Control Oil［J］. Journal of Beijing Institute of Technology，2001，10（3）.

【8】范同勋，沈力民. 液体粘性传动装置的控制与应用［J］. 煤矿机械，2004（12）.

【9】洪跃，刘谨. 粘性调速离合器传动机理与数值计算［J］. 润滑与密封，2003（2）.

【10】陈伯时，等. 电力拖动自动控制系统［M］. 3 版. 机械工业出版社，2006.5.

【11】李国勇. 智能控制器及其 MATLAB 实现［M］. 北京：电子工业出版社，2005.5.

【12】欧阳名三，莫丽红. 采用参数预测及模糊控制的胶带多机驱动功率平衡的研究［J］. 煤炭学报，2005，30（2）.

（上接第 37 页）

6　总结

数控系统精度补偿功能是一种非常有效的系统功能，可以提高机床精度，同时可以通过机床数控精度的检测，反映出机械装配的情况。在机械装配合理的情况下，通过数控系统的补偿功能，可以借助电气参数进行一定的补偿，如果这两项精度的实测数据超出一定的范围，就需要重新安装调整机械部分。重复定位精度受机械丝杠精度等级和机械装配好坏的影响，不能通过电气改善，重复定位精度如果在检测的时候超标，就必须重新安装调整机械部分。所以数控精度补偿只是个辅助功能，只有提高机床设计和装配的合理性，才是提高机床精度的必要方法。

万方数据