

大型落地镗铣加工中心多附件头挠度补偿的解决方法

赵红淑

南京高速齿轮制造有限公司 江苏南京 211100

摘要：分析了方滑枕前端安装质量较大的附件头后，在方滑枕伸出时出现挠度弯曲的问题，对于高精度加工要求的大型工件，肯定会带来精度误差。通过西门子数控系统的垂直补偿功能，结合大型设备双丝杠的特点，可动态消除挠度变化带来的精度影响。

关键词：落地镗铣加工中心；多附件头；双丝杠；挠度；差别补偿

1 序言

本文讨论的设备是来自德国SCHIESS的落地镗铣加工中心（见图1）。图2所示的Y轴属于龙门轴YF+YL，双丝杠、双测量系统；Z轴是方滑枕轴，行程可以伸出1800mm，配备多个附件头，各种附件头质量、长短不一（见图3）。



图1 落地镗铣加工中心

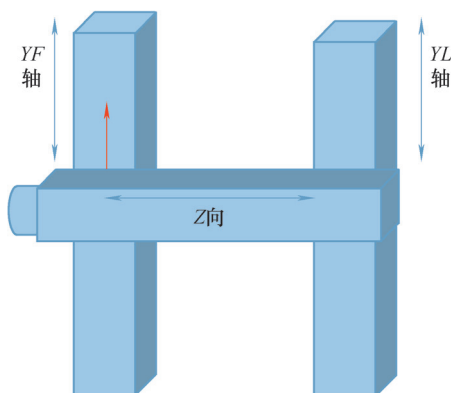


图2 龙门轴示意



图3 附件头

2 挠度误差的组成

对于大型设备，特别是带附件头的镗铣加工中心，在伸出方滑枕时，由于重力原因会产生“垂头”现象，随着方滑枕伸出越长，“垂头”现象越明显，产生的挠度误差越大。

分析“垂头”产生的挠度误差可以发现，大型镗铣床方滑枕的挠度误差由两部分组成：高度落差 H 和角度偏差 θ （见图4）。对于 H ，很容易想到利用西门子的垂直度补偿功能（Sag compensation）来消除其影响，但 θ 的影响无法消除。 θ 会影响主轴的旋转轴线和垂直面的垂直度误差，结合本设备的特点，利用Y轴双丝杠的优势，对两根轴做差别补

偿。在做差别补偿时，由于两者相互制约，相互影响，所以必须注意顺序和方法。

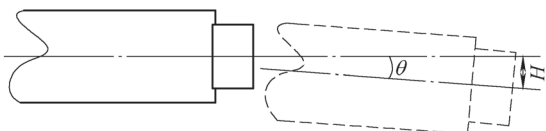


图4 方滑枕挠度误差的组成

3 挠度值的检测

如图5所示，在设备做完水平调整后，在工作台上放置并调整好大理石量具。首先设定步长为50mm（步长取决于补偿的精细度要求），移动W轴，伸出Z轴做“盘圆”检查（检查主轴旋转轴心线和XY平面垂直度的手段），记录差值，通过完整的记录可以看出 θ 对机床产生的挠度影响，这种误差在精加工特别是精铣面时会带来表面粗糙度、纹路等问题。

其次通过在方尺上表面打表，移动Z轴看“垂头”带来的差值。显然Z轴伸出越多，差值 H 越大。通过完整的记录也可以看出 H 对挠度造成的影响，这种误差在多级镗孔精加工工序中会造成平行度、垂直度超差等问题。

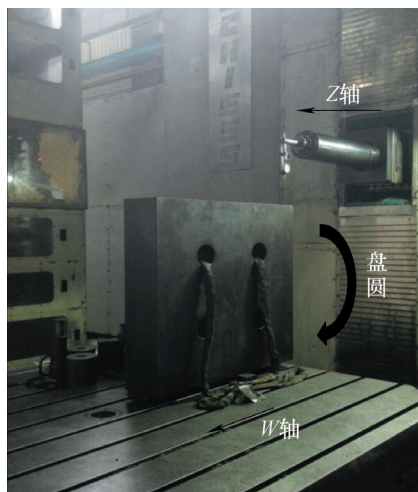


图5 挠度检测示意

4 对单个附件头补偿

上述所测的 H 、 θ 值只能用来衡量挠度产生的程度，不能直接用于往垂直补偿CEC程序里填写补偿，需要先做 θ 的差别补偿，再做 H 的同步补偿。正

式做 θ 补偿时，需要按照下面的步骤进行。

1) 做好准备工作后，各轴移动到准备位置，通过修改参数MD37140=1（GANTRY-BREAK-UP），打开YL+YF的龙门轴结构，此时YL和YF可以分别移动，但两者没有误差报警防护。

2) 开始第一挡“盘圆”。由于没有龙门轴的保护，所以此时两根Y轴只能做微调。误差产生后，通过手轮微调YL轴，YF轴不动，实现差别移动，将“盘圆”误差值抵消，并记录该微调值。

3) 前进一个步长50mm，同样微调并记录，以此类推记录全行程的微调值，最终形成完整的记录表格，见表1。

表1 全行程微调值记录（单位：mm）

Z轴伸出量	0	50	100	150	200		1800
YL轴微调值	0.236	0.218	0.200	0.186	0.170		0

4) 恢复龙门轴配置，修改参数MD37140=0，防止出现误操作，然后生成补偿程序（见图6）。

```

$AN_CEC_IS_MODULO[7]=0
$AN_CEC[8,0]=0.236
$AN_CEC[8,1]=0.218
$AN_CEC[8,2]=0.2
$AN_CEC[8,3]=0.186
$AN_CEC[8,4]=0.17
$AN_CEC[8,5]=0.165
$AN_CEC[8,6]=0.162
$AN_CEC[8,7]=0.14
$AN_CEC[8,8]=0.123
$AN_CEC[8,9]=0.101
$AN_CEC[8,10]=0.092
$AN_CEC[8,11]=0.085
$AN_CEC[8,12]=0.076
.....
$AN_CEC[8,39]=0
$AN_CEC_INPUT_AXIS[8]=(AX3)
$AN_CEC_OUTPUT_AXIS[8]=(AX2)
$AN_CEC_STEP[8]=50
$AN_CEC_MIN[8]=0
$AN_CEC_MAX[8]=1800
$AN_CEC_DIRECTION[8]=0
$AN_CEC_MULT_BY_TABLE[8]=0
$AN_CEC_IS_MODULO[8]=0

$AN_CEC_IS_MODULO[9]=0
$AN_CEC[9,0]=0
$AN_CEC[9,1]=-0.008
$AN_CEC[9,2]=-0.01
$AN_CEC[9,3]=-0.01
$AN_CEC[9,4]=-0.01
$AN_CEC[9,5]=-0.012
$AN_CEC[9,6]=-0.003
$AN_CEC[9,7]=-0.017
$AN_CEC[9,8]=-0.018
$AN_CEC[9,9]=-0.02
$AN_CEC[9,10]=-0.018
$AN_CEC[9,11]=-0.018
$AN_CEC[9,12]=-0.015
.....
$AN_CEC[9,39]=0
$AN_CEC_INPUT_AXIS[9]=(AX3)
$AN_CEC_OUTPUT_AXIS[9]=(AX2)
$AN_CEC_STEP[9]=50
$AN_CEC_MIN[9]=0
$AN_CEC_MAX[9]=1800
$AN_CEC_DIRECTION[9]=0
$AN_CEC_MULT_BY_TABLE[9]=0
$AN_CEC_IS_MODULO[9]=0

$AN_CEC_IS_MODULO[10]=0
$AN_CEC[10,0]=0
$AN_CEC[10,1]=-0.008
$AN_CEC[10,2]=-0.01
$AN_CEC[10,3]=-0.01
$AN_CEC[10,4]=-0.01
$AN_CEC[10,5]=-0.012
$AN_CEC[10,6]=-0.003
$AN_CEC[10,7]=-0.017
$AN_CEC[10,8]=-0.018
$AN_CEC[10,9]=-0.02
$AN_CEC[10,10]=-0.018
$AN_CEC[10,11]=-0.018
$AN_CEC[10,12]=-0.015
.....
$AN_CEC[10,39]=0
$AN_CEC_INPUT_AXIS[10]=(AX3)
$AN_CEC_OUTPUT_AXIS[10]=(AX12)
$AN_CEC_STEP[10]=50
$AN_CEC_MIN[10]=0
$AN_CEC_MAX[10]=1800
$AN_CEC_DIRECTION[10]=0
$AN_CEC_MULT_BY_TABLE[10]=0
$AN_CEC_IS_MODULO[10]=0
    
```

图6 补偿程序

补偿程序简要说明如下。

\$AN_CEC_INPUT_AXIS[8]=(AX3)

\$AN_CEC_OUTPUT_AXIS[8]=(AX2)

以上两行程序分别表示补偿是移动Z轴、YL轴来做补偿，因此输入轴是Z轴（AX3），输出轴是YL轴（AX2）。

\$AN_CEC_STEP[8]=50

\$AN_CEC_MIN[8]=0

\$AN_CEC_MAX[8]=1800

以上3行程序表示输入轴从0~1800mm，每50mm长做一次补偿节点。

\$AN_CEC_DIRECTION[8]=0

此行表示方向选择，补偿可以做成双向补偿，等于1表示正向移动时单独补偿；等于-1表示负向移动时单独补偿；等于0表示两个方向补偿一样。

\$AN_CEC_MULT_BY_TABLE[8]=0

此行表示设定补偿相乘表。

\$AN_CEC_IS_MODULO[8]=0

此行表示直线轴为0，旋转轴为1。

\$AN_CEC[8,n]

此行表示每个点的补偿数值。

以上是完成了对 θ 的差别补偿程序制作，修改参数对应41300标号和轴参数32710使其生效，在Dignose界面下观察SAG+Temperature Compensation Value，可看到补偿的数值。通过再次“盘圆”验证正确生效后，再做 H 的整体补偿。

H 的补偿就和垂直补偿通用方法一样，但需要注意的是做 Y 轴补偿时必须两根轴同步补偿。

在图6的补偿程序中，\$AN_CEC[8, n]是单独对AX2（ YL 轴）补偿的，用来抵消 θ 的影响；\$AN_CEC[9,n]和\$AN_CEC[10,n]是同样的补偿值同时对AX2和AX12（ YF 轴）补偿的，用来抵消 H 的影响。

从补偿程序可以看出，补偿值主要还是集中在\$AN_CEC[8,n]，也就是说 θ 的影响还是很大的。当然，由于在补偿 θ 的同时也会降低 H 的影响，所以\$AN_CEC[9,n]和\$AN_CEC[10,n]相对较小。

5 对多个附件头补偿和生效

由于该设备有多个附件头，且附件头的大小、质量不一，因此每个附件头都要单独做补偿程序。这里就牵涉到生效的问题，我们平时做的补偿程序都是固定不变的，通过修改轴参数32710来确认生效与否。但此设备附件头是来回交换使用的，仅通过修改参数显然不现实。除此之外，补偿程序不仅需要使新换上去的附件头补偿生效，还要让换下来的所有附件头的补偿都失效，否则会累加，导致产生新的误差。

这里采用的方法是让所有补偿程序的轴参数32710都生效，且把补偿值都读入NC，然后利用参数41300 \$sn_cec_table_enable[n]补偿程序生效可读写的特点，在附件头交换的程序中对关联附件对应

的table号进行置位或复位，通过附件号进行判断，从而实现各个附件头在更换后都能让其对应的补偿程序生效，并让其他附件头对应的补偿程序失效的功能。比如在更换2号附件头后，在制造商循环中程序会执行到下列赋值语句，使得2号附件头的所有补偿生效，1号和3号附件头补偿失效，其中5、6、7号table是对应附件头1的补偿程序，8、9、10号table是对应附件头2的补偿程序，11、12、13号table是对应附件头3的补偿程序。具体设置如下。

\$sn_cec_table_enable[5]=0

\$sn_cec_table_enable[6]=0

\$sn_cec_table_enable[7]=0

\$sn_cec_table_enable[8]=1

\$sn_cec_table_enable[9]=1

\$sn_cec_table_enable[10]=1

\$sn_cec_table_enable[11]=0

\$sn_cec_table_enable[12]=0

\$sn_cec_table_enable[13]=0

6 结束语

随着经济的日益增长，多个领域都出现了跨越式发展，工业领域比如风电、核电等出现了众多大型高精度产品，这也对大型化设备提出了更高的要求，如何在设备变大的同时保持高精度，甚至优于中小设备的精度成为了重要课题。本文从细节入手，结合大型设备的特性，提高了设备加工精度。

参考文献：

- [1] 王建中，黄成军．大型落地镗铣床方滑枕精度变形补偿措施[J]．制造技术与机床，2006（7）：67，82．
- [2] 吴凤和，王少伟，杨育林，等．超重型数控落地镗铣床滑枕挠曲变形补偿研究[J]．中国机械工程，2010（20）：2416-2420．
- [3] 杨桂华，曹济国．数控镗铣床滑枕补偿系统的分析[J]．兵工自动化，1999（1）：41-43．
- [4] 刘月明，甄秀仙，陈庆雪．影响加工中心机床精度的因素[J]．科技风，2014（17）：199．
- [5] 赵红淑．大型数控加工中心龙门轴和主从轴结构及应用[J]．金属加工（冷加工），2018（6）：76-78．

MW 20210102