

Ballbar球杆分析仪的扩展应用

■ 神龙汽车有限公司襄阳工厂（湖北 441004） 薛泽波 尹吉春

摘要：通常对机床精度的检查都是静态打表检查，而现在数控机床多是高速机床，本身精度很高，传统打表方法不适用。介绍高速机床动态检测球杆仪的功能、检测原理、应用及扩展应用。

1. 应用背景

目前各大汽车厂的机械加工机床多为数控机床。数控机床本身制造精度高、加工精度高，效率更高。如果机床本身的精度有损失，则会导致大批产品报废、成本流失。因此，机床精度的保证非常重要。传统的精度检测方式是利用机械仪表检测，并且是静态检测。现在数控机床多数是高速机床，而静态精度检测用于高速机床就会有些力不从心。多数情况是需要知道机床运动过程中的动态精度如何。图1所示为英国Renishaw公司的Ballbar球杆分析仪，本文介绍这款高速机床动态精度检测仪器的应用及扩展应用。

2. 球杆仪功能

Ballbar球杆分析仪可以分析机

床各移动方向的导轨垂直度、直线度以及三维空间任意两方向组成平面动态运动时两轴配合的直线度情况。

3. 球杆仪检测原理

Ballbar球杆分析仪的检测原理是：利用机床NC程序驱动机床运动，运动过程中使用Ballbar球杆分析仪器的数据产生仪器，将运动时产生的数据实时反馈给Renishaw Ballbar软件，对数据进行采集、筛选，输出分析结果，技术人员根据软件分析结果（见图2）来判断机床精度是否有损失。

4. 球杆仪的应用分析

我公司将该仪器应用于COMAU机床加工中心上。下面以一个XY方向垂直度补偿的分析为例介绍其应用。

既然是动态分析，就需要机床是运动的。数控机床的运动是靠NC代码驱动，这就需要我们编辑相应的合理的NC程序。而COMAU机床提供了相应的NC程序。

(1) 参数程序设置说明：

```
%_N_PARAM_SPF //程序文件名
DEF REAL Centre_Z //定义Z轴变量实数
DEF BOOL Util_W //定义有无W轴变量位
UTIL_W=0 //有W轴时测量W轴时改为1
if UTIL_W //如果带W轴测量
R0=300 //画圆默认半径为300 mm，可以修改
R1=2400 //画圆速度2 400 mm/min，可以修改
else //测量X、Y、Z轴
R0=150 //画圆默认半径为150 mm，可以修改
R1=1000 //画圆速度1 000 mm/min，可以修改
endif
GEOAX() //几何轴变换，几何轴的基本配置有效
if Util_W //带W轴测量
STOPRE
MSG("Veuillez effectuer la mesure en
```

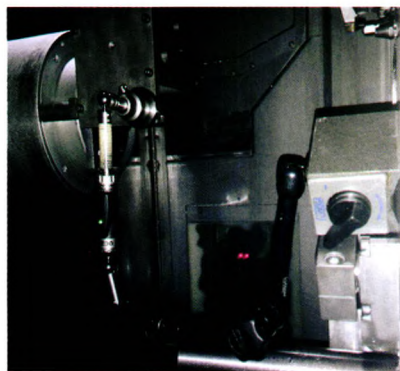


图1 Ballbar球杆仪

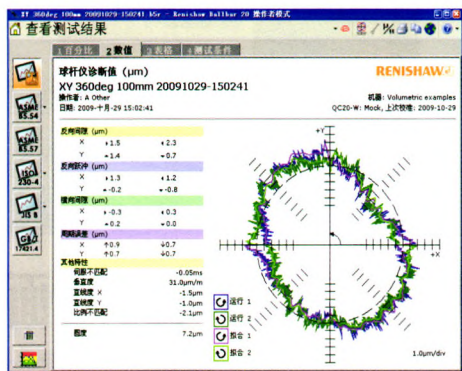


图2 软件分析结果

```
mode maintenance" )
M0
G1 F2000 Z-400 //走到Z轴的安全位置
GEOAX(3,W) //W轴为几何轴的第3轴
Centre_Z=400 //Z轴G57坐标系的零点相对于机械坐标的位置
Else //不带W轴的测量
Centre_Z=-200 //Z轴G57坐标系的零点相对于机械坐标的位置, 可根据情况修改
endif
if $MA_POS_LIMIT_PLUS[X1]>700
// X轴大于700, URAN25为800
$P_UIFR[4]=CTrans(X,400,Y,350,Z,Centre_Z) //设置G57 X、Y、Z的原点坐标, 根据情况修改。
else
$P_UIFR[4]=CTrans(X,315,Y,250,Z,Centre_Z) //调用G57坐标系URANE 20
endif
R3=COS(45)*R0
( R A Y O N _ 4 5 _
BALLBAR=COS(45)*RAYON_BALLBAR)
程序中未用上
R2=R0+1.5
FFWON
SOFT
G64
RET
```

因我公司有些COMAU机床加工中心是带有W轴的, 参数程序设置中带有W轴的判定。后续会在扩展应用中提供相应的NC程序。

(2) 测量XY平面运行主程序说明:

```
%_N_RENIS_XY_SPF //程序文件名, 该程序是XY平面运动程序
;R0 = Rayon_Ballbar //画圆半径
;R1 = Vitesse_Ballbar //画圆速度
```

```
;R2 = Degagement_Ballbar //画圆半径的基础上加1.5 mm
;R3 = Rayon_45_Ballbar //半径的0.707倍
MSG( " ATTENTION CE PRG UTILISE LE DECALAGE G57 VERIFIER SI IL NE SERT PAS DEJA" )
M0
PARAM //调用程序文件名为%_N_PARAM_SPF参数程序
G90 G57 G01 X0 Y0 Z10 F=R1 //走G57坐标系中对中放10 mm钢球位置
G01 F500 Z0 //10 mm钢球顶在主轴与表架之间的测头安装面
MSG ( " MISE EN PLACE DES SUPPORTS MAGNETIQUES PLAN XY " )
//准备进行XY平面测量
M0
G01 Z10
G01 F=R1 X=-R2 //走到XY平面画圆起始点
G01 Z0
MSG ( " MISE EN PLACE DU BALLBAR " ) //放上Ballbar测头
M0
DYNAXYSA //调用反转程序
DYNAXYSH //调用正转程序
MSG ( " ENLEVER LE BALLBAR " ) //拆掉测头
M0
M02
```

(3) XY平面反转子程序:

```
%_N_DYNAXYSA_SPF
PARAM //调用程序文件名为%_N_PARAM_SPF参数程序
G90 G57 G17 // G17 XY 平面中调用G57坐标系
G01 X=-R2 Y0 F300 //走到测量起始点使测头拉伸1.5 mm
MSG ( " DEPART CYCLE DYNAMIQUE PLAN XY SENS ANTI-
```

```
HORAIRE " ) //提示开始反转测量
M00
MSG ( " MESURE EN COURS " )
//测量循环中
G01 X=-R0 Y0 ; ENGAGEMENT //真正的测量起点
G03 X=-R0 Y0 I=AC(0) J=AC(0) F=R1
G03 X=-R0 Y0 I=AC(0) J=AC(0) //反转两圈
G01 X=-R2 Y0 F300 //测量完成停止的位置, 使测头拉伸1.5 mm
RET
```

(4) Ballbar球杆分析仪使用步骤: ①在主轴上装入Ballbar测量使用的专用夹具(见图3)。夹具在主轴上的安装位置如图4所示, 测量仪安装图如图5所示, 测量仪摆杆如图6所示。②运行Ballbar球杆分析仪的测试程序及前述测量XY平面运行主程序。③运行预先安装在笔记本电脑上的Ballbar分析软件。④调试好Ballbar球杆分析仪分析软件相应的功能。⑤在机床内部无干涉的情况下, 按照机床操作面板上的提示装入Ballbar球杆分析仪

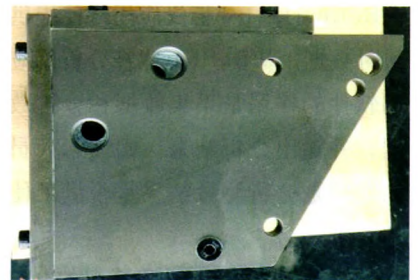


图3 夹具本体



图4 夹具主轴上安装位置

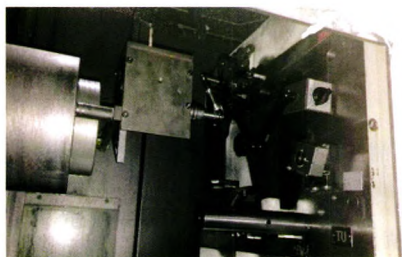


图5 测量仪安装图



图6 测量仪摆杆

相应的测量仪机械件。

(5) Ballbar结果分析：上述整个过程完毕后，Ballbar分析软件会将分析结果输出，技术人员只需根据机床制造厂和工艺生产要求，分析结果是否满足加工制造精度，即可判定是否需要对该设备的机械部分修整或更换。

5. 球杆仪的扩展应用

从以上分析可得出：①NC程序的作用是驱动机床运动。②Ballbar球杆分析仪的作用是产生信号，并向Ballbar球杆分析仪应用软件提供实时数据。③Ballbar球杆分析仪应用软件的作用是采集数据和分析数据，并输出分析结果。④技术人员的作用是分析测量结果是否满足使用要求。

由此可以看出，机床的NC程序是通用条件，只要根据相应数控机床NC代码规则将NC程序加以更改，便可在其他数控机床上使用。我们根据Ballbar球杆仪工作原理及上述结论，使其在我厂另一款数控机床上得以扩展应用（因保密原因，具体厂家的机床类型和型号在

此不便公开），NC程序编制同样以XY平面测量为例，根据要测量的设备的NC代码规则编制相应的NC程序，具体程序如下：

%_N_RENIS_XY_SPF //该程序是XY平面运动程序，文件名可以任意，但需符合命名规则

DEF REAL Centre_Z //定义Z轴变量实数

R0=150 //给定画圆默认半径为150 mm，可以修改

R1=1000 //给定画圆速度为1 000 mm/min，可以修改

R2=R0+1.5 //给定画圆默认半径为150 mm基础上加1.5 mm

MSG(“jichuangyunxing guo chengshiyong G57 zuobiao xipianzhi”)

M0

Centre_Z=-200 //Z轴G57坐标系的零点相对于机械坐标的位置，可根据情况修改

\$P_UIFR[4]=CTrans(X,400,Y,350,Z, Centre_Z) //设置调用G57，X、Y、Z的原点坐标根据情况修改

FFWON

SOFT

G64

RET

G90 G57 G01 X0 Y0 Z10 F=R1 //走G57坐标系对中对放10 mm钢球位置

G01 F500 Z0 //10 mm钢球顶在主轴与表架之间的测头安装面

MSG(“zhu beice liang XY ping mian”) //准备进行XY平面测量

M0

G01 Z10

G01 F=R1 X=-R2 //走到XY平面画圆起始点

G01 Z0

MSG(“qing an zhuang BALLBAR cetou”) //放上Ballbar测头

M0

G90 G57 G17 // G17 XY平面中调用G57坐标系

G01 X=-R2 Y0 F300 //走到测量起始点使测头拉伸1.5 mm

MSG(“cetoukaishi fan zhuan”) //提示开始反转测量

M00

MSG(“ce liang xunhuanzhong”) //测量循环中

G01 X=-R0 Y0 ; ENGAGEMENT //真正的测量起点

G03 X=-R0 Y0 I=AC(0) J=AC(0) F=R1

G03 X=-R0 Y0 I=AC(0) J=AC(0) //反转两圈

G01 X=-R2 Y0 F300 //测量完成停止的位置，使测头拉伸1.5 mm

RET

G90 G57 G17 // G17 XY平面中调用G57坐标系

G01 X=R2 Y0 F300 //走到测量起始点使测头拉伸1.5 mm

MSG(“cetoukaishizhengzhuan”) //提示开始正转测量

M00

MSG(“ce liang xunhuanzhong”) //测量循环中

G01 X=-R0 Y0 //真正的测量起点

G02 X=-R0 Y0 I=AC(0) J=AC(0) F=R1 //正转一圈

G01 X=-R2 Y0 F300 //测量完成停止的位置，使测头拉伸1.5 mm

RET

MSG(“chai diaocetou”) //拆掉测头

M0

M02

上述程序编制完成后，只需要

以分段床身导轨面为基准的接长工艺

■ 青海第二机床制造有限责任公司（西宁 810021） 史耀华

摘要：长床身导轨的加工难度大，加工后精度稳定性差。采用将长导轨以分段床身导轨面为基准的工艺性分析，经过现场多次加工实践，研究和制定出接长床身导轨的加工工艺。按此工艺加工生产的接长床身，精度稳定性好，导轨基准面不易变形，生产效率高。



我公司在开发新产品时为适应市场需要，开发研制出了床身较长的产品，该产品精度要求高，加工难度大，且床身（见图1）的刚性和精度对铣削加工工件时的效率及加工精度影响很大。由于我公司加工设备能力有限，并考虑到床身的铸造质量、热处理方式及批量生产

的效率等特点，最终采用以分段床身导轨面为基准的对接工艺。采用床身对接工艺后，达到了图样设计要求，更是解决了我公司设备能力不足的困难，为我公司生产大型产品提供了一套可行的工艺措施。

1. 确定对接工艺

在决定采用以分段床身导轨面

为基准的对接工艺时，主要考虑到在床身结构中对接端面时最重要的安装基准和导向基准，要求具有良好的导向精度及严格的形状位置精度，并能长期保证床身导轨基准面的精度。我们将床身分为前、中、后三段，并根据床身导轨端面的结构特点，安排床身对接工艺为：铸造→粗加工→人工时效→喷漆→划线→粗刨→刨（粗刨对接端面）→自然时效（一周）→划线→钻孔→

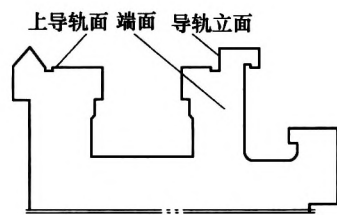


图 1

将程序装载在相应的机床上，连接好带有Ballbar分析软件的笔记本电脑，按照前述使用步骤就可以应用了。

6. 结语

明白Ballbar测量软件的工作原理后，整个扩展应用过程可以实施的关键在于机床如何实现自行运动。测量过程使用的硬件和软件都无需更改。只要善于总结、细心观

察，工作中很多应用是可以移木嫁接的。

参考文献：

- [1] Siemens公司. SINUMERIK 840D/840Di/810D基础部分编程手册 [E]. 北京：SIEMENS公司，2003.4.
- [2] Siemens公司. SINUMERIK 840D/840Di/810D高级部分编程手册 [E]. 北京：SIEMENS公司，

2004.10.

MW（收稿日期：20140709）

专家点评

通过对球杆仪的应用及扩展应用，介绍了数控机床的动态精度检测，并给出了具体的应用程序，可以很方便地借鉴到其他数控机床。