进口精密镗铣加工中心主轴精度在机修复调整

宗建军，陆文鹏，李叶青
中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司　江苏常州　213011

摘要：针对进口精密镗铣加工中心的主轴现状、结构和机床精度进行研究，通过对机床的静态精度进行检测、调整操作，对机床动态精度进行检测和补偿后，利用小型高速精密研磨机设备实施主轴精度在机修复调整。
关键词：精密镗铣加工中心；主轴；精度；在机修复；调整

1　序言

日本仓敷镗铣加工中心是公司唯一一台精密数控镗铣加工中心，是关键数控加工设备，自动化程度高，加工精度高，单台设备价值大。其承担着各类型稳定车箱体、捣固装置箱体和齿轮箱箱体等大型养路机械关键零部件的精加工工序。设备2007年引进安装，已两班制运行加工16年，长期使用后主轴内锥孔损伤，导致主轴精度超差，影响设备部分加工性能。

该机床的主轴为传统机械型主轴结构，具备*W*轴功能，常规主轴部件维修时拆卸难度大、修复费用高。笔者通过检测分析主轴现状、结构和精度情况，探究并实施主轴在机修复调整方案，在不拆卸主轴的情况下修复主轴内锥孔损伤，恢复设备主轴精度，提升了设备性能，降低了维修成本，缩短了维修周期，延长了进口精密机床的使用年限。

2　设备修复

2.1　设备现状检查及分析

仓敷镗铣加工中心是一台精密数控卧式镗床，如图1所示。*X*轴行程2000mm，*Y*轴行程1500mm，*Z*轴行程1450mm，*W*轴行程500mm，工作台尺寸1400mm×1600mm。机床镗削主轴直径110mm，主轴转速5～3000r/min[1]。机床采用可储存40把刀具的链式刀库，由换刀机械手自动进行刀具交换。数控系统采用FANUC 16*i*-MB，NC系统非常成熟，可靠性强。



图1　仓敷镗铣加工中心

机床在长期运行后，主轴内锥孔碰伤变形，导致主轴精度超差，影响精加工产品精度。经主轴芯棒检测，近端径向圆跳动0.03mm，远端径向圆跳动0.13mm，垂直平面（上母线）主轴轴线直线度检测0.09mm/300mm，水平平面（侧母线）主轴轴线直线度检测0.03mm/300mm。精加工稳定车箱体主轴孔几何公差超差。

机床主轴部件为机械式主轴（见图2），与主轴变速箱为一体式结构。若拆卸主轴部件后更换中心轴，则工作量大，周期长，维修费用高。结合机床主轴结构及现状，探究利用小型高速精密研磨机设备实施主轴在机修复，在修复主轴精度的同时，避免拆卸主轴部件。为保证主轴在机修复的精度，需要先对机床的静态精度进行检测及调整，并对机床动态精度进行检测和补偿。

2.2　实施方案

（1）机床静态精度检测及调整　按照机床的出

厂精度检测表，利用精密水平仪、大理石检测方尺和检测芯棒等检测工具进行机床静态精度检测[2]，包括机床水平度、各轴间平行度及垂直度检测（见图3）。

检测后记录数值，根据精度要求，利用机床下部的调整垫铁对不合格点进行逐一调整。调整时要注意兼顾相关联的精度，调整后检测时要确保紧固螺钉全部拧紧。调整后检测，机床各静态精度值均在准许值范围内（见表1），为后续的主轴在机修复奠定基础。



图2　主轴部件



图3　机床*Y*轴、*Z*轴垂直度检测

表1　机床静态精度调整前后检测值对比

序号	检测项目		准许值	调整前检测值	调整后检测值
1	*Z*轴方向水平度	*Y-Z*平面内	0.03mm/m	0.03mm/m	0.01mm/m
		*X-Y*平面内	0.03mm/m	0.03mm/m	0.01mm/m
2	*X*轴方向水平度	*Y-Z*平面内	0.03mm/m	0.03mm/m	0.02mm/m
		*X-Y*平面内	0.04mm/m	0.18mm/m	0.01mm/m
3	各轴运动相互垂直度	*X*轴与*Y*轴	0.01mm/500mm	0.04mm/1000mm	0.008mm/1000mm
		*Y*轴与*Z*轴	0.01mm/500mm	0.04mm/1000mm	0.01mm/1000mm
		*Z*轴与*X*轴	0.01mm/500mm	0.04mm/1000mm	0.018mm/1000mm
4	*X*轴方向运动平行度		0.03mm/1000mm	0.02mm/1000mm	0.01mm/1000mm
5	*Z*轴方向运动平行度		0.03mm/1000mm	0.004mm/1000mm	0.012mm/1000mm
6	*X*轴方向运动与主轴中心线的垂直度		0.01mm/500mm	0.011mm/500mm	0.011mm/500mm
7	*Y*轴方向运动与主轴中心线的垂直度		0.01mm/500mm	0.04mm/500mm	0.004mm/500mm

（2）*X*、*Y*、*Z*轴激光螺距检测及补偿　机床静态精度检测调整后，利用雷尼绍激光干涉仪对机床*X*、*Y*、*Z*轴的进给螺距误差进行检测（见图4），并进行系统参数补偿。

经过补偿后，*X*、*Y*、*Z*轴的定位精度和重复定位精度得到大幅提升。*X*轴定位精度0.08mm提升至0.006mm，反向误差精度0.004mm提升至0.002mm；*Y*轴定位精度0.03mm 提升至0.006mm，反向误差精度0.002mm提升至0.001mm；*Z*轴定位精度0.02mm



图4　机床*Z*轴激光螺距检测

提升至0.005mm，反向误差精度0.002mm提升至0.001mm。

（3）修复前主轴检测　主要有两方面检测。

1）*W*轴外表面旋转径向圆跳动检测。利用数控镗铣加工中心的*W*轴外表面来检测主轴的径向圆跳动误差，如图5所示。

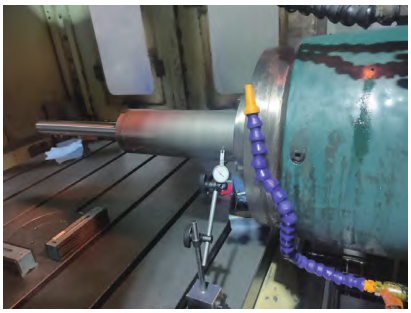


图5　*W*轴外表面旋转近端径向圆跳动检测

*W*轴的径向圆跳动误差检测值（见表2）都在准许值范围内，表明主轴旋转跳动误差正常，轴承无异常。

表2　*W*轴外表面旋转径向圆跳动检测值对比

（单位：mm）

检测项目		准许值	检测值
*W*轴外表面旋转径向圆跳动	*W*轴近端位置	0.008	0.004
	*W*轴300mm位置	0.015	0.006

2）主轴芯棒径向圆跳动、主轴轴线直线度误差检测。利用300mm长标准芯棒检测主轴径向圆跳动，如图6所示。同时检测主轴轴线直线度误差。

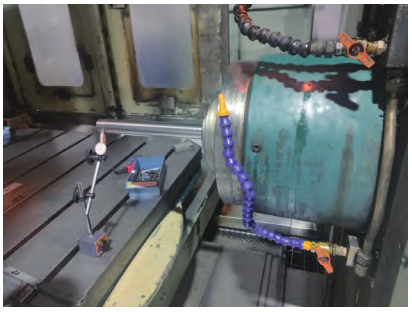


图6　主轴芯棒远端径向圆跳动检测

检测后发现，主轴芯棒径向圆跳动、主轴轴线直线度误差严重超差，见表3。主轴芯棒近端和远端位置的径向圆跳动误差分别达到0.03mm和0.13mm。由于*W*轴外表面旋转径向圆跳动检测结果良好，因此误差应为主轴内锥孔损伤变形所导致。

（4）主轴在机修复　主要有两方面的修复。

1）修磨设备调整（见图7）。选择高速精密研磨机作为主轴在机修复的设备。首先通过杠杆千分表在研磨机主轴外表面检测，然后往复移动机床*X*轴，由研磨机安装工装来调整研磨机和机床主轴的同轴度，调整紧固后打表检测误差必须在0.002mm以内，确保主轴在机修复的精度。

2）主轴内锥孔修磨。研磨机与机床主轴同轴度调整后，依据机床主轴锥孔结构SK50，锥度比7∶24，圆锥角16°35′40″，结合所需修磨量，通过计算移动轨迹并编辑在机修磨加工程序来进行主轴在机修磨[3]。在机修磨加工程序如下。

表3　机床主轴芯棒径向圆跳动、主轴轴线直线度误差检测值对比　（单位：mm）

序号	检测项目		准许值	检测值
1	主轴芯棒表面旋转径向圆跳动	芯棒近端位置	0.01	0.03
2		芯棒300mm远端位置	0.02	0.13
3	主轴轴线（主轴芯棒母线）直线度（300mm长度上）	垂直平面（上母线）	0.012	0.09
4		水平平面（侧母线）	0.012	0.03

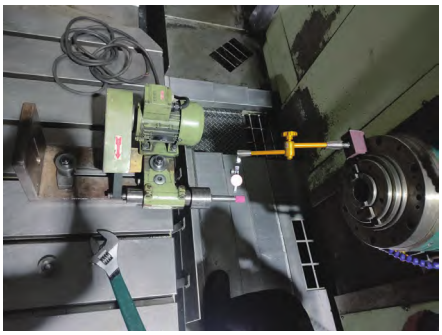


图7　修磨设备调整

```
O0110 S500 M03;
G90 G54 G01 Z100. F1000;
G01 X0 Y0 F1000;
Z3.;
Y15.283;
G91 G01 Y-15.283 Z-104.8 F50;
```

```
G90 G01 Z100. F1000;
M30;
%
```

首次执行时利用单步运行，确保程序正确。

对研磨机进行接线供电，开启研磨机。执行自动修磨程序，观察研磨时的火花来判断修磨量。每次研磨完毕后仔细观察主轴内锥孔情况，必要时要对研磨机砂轮进行修整，确保主轴修磨的精度。先初磨再精磨，精磨时减小进给量，确保修磨后主轴内锥孔表面粗糙度。

主轴修磨完成后，在检测芯棒的锥柄外部均匀涂上红丹粉作为显色剂。将芯棒装入主轴内，观察整个主轴内锥孔的接触面情况（见图8）。经检测，主轴内锥孔修磨后接触面在75%以上，符合要求。



图8　主轴锥孔接触面检测

用芯棒对在机修复完成后的主轴精度进行检测，修复后主轴芯棒近端和远端位置的径向圆跳动误差为0.008mm和0.02mm。主轴轴线（主轴芯棒母线）直线度误差也在合格范围内，见表4。主轴精度已符合要求。

表4　机床主轴芯棒径向圆跳动和主轴轴线直线度误差修复后检测值对比　（单位：mm）

序号	检测项目		准许值	检测值
1	主轴芯棒表面旋转径向圆跳动	芯棒近端位置	0.01	0.008
2		芯棒300mm远端位置	0.02	0.02
3	主轴轴线（主轴芯棒母线）直线度误差（300mm长度上）	垂直平面（上母线）	0.012	0.01
4		水平平面（侧母线）	0.012	0.006

（5）修复后试加工　修复后对刀具安装后的轴向尺寸进行测量，偏差值满足使用要求，对刀具主轴夹紧、刀具自动交换无影响。机床的回转中心重新标定后，进行主轴修复后的试加工。典型大型箱体类零部件，稳定车箱体两孔精加工后同轴度精度为0.01mm，完全符合要求的0.015mm。其他大型养路机械箱体类零部件加工完全符合精加工质量要求。

3　修复效果

仓敷镗铣加工中心经过在机修复调整，主轴修复精度良好，符合机床出厂精度要求。

1）主轴锥孔修复后与刀柄接触面积超过75%。

2）主轴芯棒表面旋转径向圆跳动：芯棒近端位置跳动由0.03mm提升至0.008mm；芯棒300mm远端位置跳动由0.13mm提升至0.02mm。

3）主轴轴线（主轴芯棒母线）直线度误差：300mm长度上垂直平面（上母线）主轴轴线直线度误差由0.09mm提升至0.01mm，水平平面（侧母线）误差由0.03mm提升至0.006mm。

4）大型养路机械的典型箱体类零部件，稳定车箱体两孔精加工后同轴度精度：两孔精加工后同轴度精度由0.05mm提升至0.01mm。其他典型零部件加工完全符合产品精加工工序质量要求。

4　结束语

该修复方法比常规拆卸主轴部件修复节省维修周期3周以上，可直接节省主轴维修费用十几万元。实施修复后进行精加工的试加工，主轴精度恢复至出厂精度标准，满足现场工件精加工工序质量要求。该两班制运行16年的进口镗铣加工中心主轴精度得以恢复，主轴和机床各功能无影响，同时主轴锥孔内表面硬化层仍保留部分厚度，未影响其表面硬度，使该长年限使用进口精密机床可进一步延长工作使用寿命。

参考文献：

[1] 仓敷机械株式会社. KBT-11W-A CNC卧式镗铣床设备使用说明书[Z]. 2007.

[2] 李金伴，马伟民，陆一心，等. 实用数控机床技术手册[M]. 北京：化学工业出版社，2007.

[3] 人力资源和社会保障部教材办公室. 加工中心操作工（高级）[M]. 北京：中国劳动社会保障出版社，2008.

MW 20250206