

数控机床主轴维修的策略探究

王国旭¹ 茹秋生²

1 上海工程技术大学高职学院, 上海, 200437;

2 上海市高级技工学校, 上海, 200437;

摘要: 数控机床主轴作为数控机床的核心部件, 其性能直接影响加工精度、加工效率和使用寿命。因此, 主轴的维修策略对于保障机床的高效运行至关重要。本文系统总结了数控铣床主轴维修的方法与策略, 从主轴拆卸前的准备工作、拆装维修过程及要点, 到主轴动平衡校验方法, 进行了全面探讨。通过对主轴拆卸前的外观检查、制定合理的拆装方案、拍照记录外观细节以及拆前检测等环节的细致分析, 本文为维修人员提供了科学的指导。同时, 结合实际维修案例, 详细阐述了主轴拆卸、清洗、安装及动平衡校验过程中的关键要点, 为提高主轴维修质量和降低维修成本提供了实用的方法。研究表明, 科学合理的维修策略不仅能显著提升主轴的性能和使用寿命, 还能有效降低维修成本, 对数控机床的维护保养具有重要的参考价值。

关键词: 主轴; 轴承; 预紧; 动平衡

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.043

引言

数控机床主轴是数控机床的核心部件, 对于加工精度、加工效率和使用寿命具有重要影响^[1]。维修主轴的重要性主要体现在以下几个方面。首先, 维修主轴可以提高加工精度, 避免由于主轴偏差或松动导致的加工精度下降问题^[2]。其次, 维修主轴能够提高加工效率, 确保主轴的运转速度和稳定性, 避免因主轴不平稳或转速低下而引发的振动和卡刀问题, 从而提高加工效率^[3]。此外, 维修主轴还能延长机床的使用寿命, 避免主轴长期处于不良状态导致的寿命缩短和故障发生^[4]。最后, 维修主轴可以降低维修成本, 避免主轴不良状态引起其他零部件的磨损和损坏, 减少维修成本^[5]。因此, 数控机床主轴维修对于提高加工精度、加工效率, 延长机床使用寿命和降低维修成本具有重要意义, 是数控机床维护保养中不可忽视的一环。科学的数控机床主轴维修方法是数控机床售后市场的关键之一^[6], 本文基于此对数控铣床主轴的维修方法与策略进行了探究。

1 主轴修理前应注意的事项

1.1 主轴拆卸前的外观检查

主轴在修理前切忌立刻拆卸和分解, 而是应该对主轴外部进行认真和仔细的观察。通常情况下, 对主轴外部进行细致的查看, 往往是能够发现一些问题的蛛丝马迹, 例如主轴轴端有凹陷说明主轴可能被撞过; 主轴某处有水渍说明主轴存在漏水问题等。细致的观察不仅有助于了解待修主轴的基本情况, 而且对主轴后续的维修有着非常强的指引作用。特别是在主轴维修后续的安装

环节, 拆前的检查可以有效确保主轴维修不会有遗漏的故障。因此环节不可或缺。

1.2 制定合理的拆装方案

根据相关资料认真分析主轴的结构和装配工艺, 制定最优的拆装方案, 并准备好相应的拆装工具和设备, 比如轴承加热工具、压装设备和轴承锁母专用工装等。通常情况下, 主轴的零件精度要求相对较高, 如果拆装方案不合理, 那就为后续维修主轴留下了隐患。因此精度要求较高的零件, 在拆装的时候务必小心, 因为不恰当的拆装可能会造成零件精度的下降甚至零件报废。例如拆卸轴承锁母, 没有配套的工装而用冲子敲击以达到快速的拆卸目的, 就容易造成轴承前锁母平行误差超差, 最终导致主轴跳动过大, 影响整个主轴的维修质量。

1.3 拍照记录主轴外观细节

拆卸之前, 拍照记录主轴的每个外观细节并做好标志, 标志大小做到肉眼近距离能够识别即可。做标志的目的是防止安装时位置出错, 例如一个没有局部特征的圆形零件安装位置偏的话可能会对主轴的动平衡带来较大的影响。做标志的笔尽量用细尖的微画针, 而不是用普通的记号笔, 主要原因是在主轴解体后清洗时标志不至于被清洗掉。标志位置原则一般尽量在肉眼直接看不到的地方做, 这样做的目的是维修后的主轴外表面没有明显的印记。对于实在不能在隐藏位置做的标志, 则应该尽量在不显眼的地方做, 从而在最大程度上保证主轴的美观。图1为对某机床的主轴进行拆解。



图1 对某主轴进行拆解

1.4 主轴拆之前的检测

主轴拆之前应该进行检测一般包括：

- (1) 主轴锥孔的跳动精度；主轴的轴向窜动精度等；
- (2) 拉刀机构工作是否正常；拉刀力值的大小；
- (3) 拉刀位置传感器、温度传感器是否正常。

这些检测完成后做好记录并和相关人员确认，特别是要同使用主轴的相关技术人员和操作人员进行确认，这样做的目的方面主轴维修后精度就容易把控，不会出现维修后精度下降的问题；另一方面有效地沟通潜在的故障，不会出现主轴在保修期内可能又让返工维修。

2 主轴的拆卸和清洗

2.1 主轴拆卸

拆主轴时特别是对第一次拆的主轴，每个零件都要拍照做标记，这是因为主轴是高精度部件，有了拆卸步骤拍照，主轴在安装的时候就不容易出错。

主轴拆的时候要仔细观察其内部结构并思考如何安装，及时修改和完善拆卸方案，需要做标志的地方，务必做好标志。盲目的拆卸往往会在主轴安装的时候，准备不充分，导致主轴安装的顺序和工艺无法达到最优方案，最终主轴维修效果不理想。拆卸时，需要考虑的问题主要包括以下几个方面：

- (1) 先安装主轴前半部分还是先安装后半部分；
- (2) 主轴立着安装还是卧着安装；
- (3) 前后轴承何时预紧，预紧力矩值应该是多少？

主轴安装对操作人员技能要求较高，从某种程度上讲，高精主轴维修其实就是个高危行业，因为越是精密的东西，精度要求越高，安装不成功的风险越大。

目前数控机床主轴多数采用精度较高的角接触轴承，轴承转速通常较高，因此在拆装时要倍加注意。所以主轴轴承拆装的任何情况下禁止敲击，因为敲击轴承

会导致内外圈同时受力，从而使轴承滚道拉伤。甚至不小心轴承坠落，都会造成轴承损坏。新的主轴轴承安装上去有问题，如果再拆的话，基本上轴承就会报废，从而带来不必要的损失。因此轴承一定要加热到工艺温度，之后压装，这样就能够保证装配质量。曾经某公司一工程师在安装主轴轴承的过程中不小心把轴承从桌子上碰到地上了，当时也很担心轴承会损坏，拿着轴承用手转动感受其声音觉得还好就侥幸把轴承安装上了。待主轴安装完成后做高速动平衡的时候发现主轴声音一直不太正常，且频谱分析数据也是显示轴承故障。最后将拆了重新换，由于在拆的过程中必须拉轴承外圈才能把轴承拆掉，这样其他的几个轴承也一起报废了，这个小小的失误给公司造成数万元直接损失。

除上述之外，在拆的过程中还应考虑到后期的水路的密封测试等环节。

2.2 主轴清洗

正常情况下在寿命周期内主轴内部零件是不会生锈的，如果发现某个零件生锈基本上可以断定是不正常的。在零件清洗的过程中如发现零件生锈一定不要盲目清洗，要观察其生锈的原因，从根本上排除零件生锈的现象。在清洗过程中不能破坏零件的基准面，可以用酒精或者没腐蚀的液体进行辅助清洗，因为主轴的精度就是靠这些零件的基准面精度保持的。清洗完成后应该对零件的尺寸进行精密测量，发现零件精度超差要及时进行处理或更换。零件清洗完成后应立即用无纺布包裹起来，防止清洗后的零件遭受灰尘污染。摆放零件时，尽量按着装配顺序进行摆放，这样可以有效防范装配错误的发生。

3 主轴的安装

3.1 提前预定的拆装方案

主轴在装配的时候，要严格遵守提前预定的拆装方案进行安装。安装人员如果不按照拆装方案安装，仅仅依靠经验装配，往往会导致主轴装配质量无法保证的结果。装配前应把前后轴承预压刚性有关的东西都配合好，测量并记录现在的轴承钢性数据。将原始的轴承刚性数据跟现在的轴承钢性数据进行对比，再根据主轴实际加工用途进行轴承钢性的优化。轴承之间的隔套上下两个表面的平行度通常情况下要严格控制 0.005mm 以内，隔套安装前要经过平行度测试，低于工艺要求的隔套应该予以修理或更换。隔套安装时不应承受过大的力，避免用金属敲击，一般采用尼龙棒轻敲，就可以保证隔圈在安装时不会发生变形。

3.2 轴承的预紧

轴承安装到主轴上以后要进行预紧，预紧之前，应将轴承隔套在轴承端面进行压正，保证主轴轴承和隔套端面有较大的贴合面积。如果在轴承预紧的时候，轴承隔套倾斜超标或者端面贴合面积小，就会造成轴承承受圆周受力不均匀，从而会对轴承的滚道造成伤害。轴承预紧后应对安装精度进行测量和调整，之后再行下一步安装。

维修主轴时锥孔还需要进行磨削修复，保证维修后的锥孔精度。对于一些 HSK 系列的主轴锥孔还要进行电镀等工艺。

4 主轴动平衡

主轴安装完成后，应首选让主轴低速运转一个工作日左右，进行磨合。磨合过程中，要定时观察主轴的温升，发现温升异常，必须及时检查处理。磨合完成后，就可以为主轴做动平衡试验了，原因如下：轴承自身的滚道和滚珠之间要进行预热研磨，轴承的润滑系统和轴承的油脂要前期充分的浸润，轴承和其相关的零件的装配应力要释放。如果不提前磨合直接做动平衡实验，测出来的数据是一般不太准确。动平衡实验完成后还应继续磨合 5-6 小时左右，速度控制一般中高速各运行一半的时间，之后再做一次动平衡实验，验证磨合后主轴动平衡数据是否仍在要求的范围内。图 2 为主轴修理后在动平衡机作动平衡测试的图片。



图 2 主轴在做作动平衡测试

如果主轴在做动平衡后的数据满足要求，需要把动平衡孔用塑料顶丝封住，防止后期进灰尘会影响动平衡的精度。由于动平衡的螺栓孔深浅不一样，因此塑料顶丝的长度也不一样。顶丝封堵完成后，还应再做一次动平衡实验进行微调，如无异常，用螺纹胶打胶拧紧防止其松动。

5 结论

数控机床主轴维修是保障设备综合性能的关键环节。本文研究表明，科学的维修策略应贯穿于维修全过程。首先，严谨的维修前准备是基础。通过外观检查、方案制定与精度检测，可有效规避潜在风险，为后续维修提供明确指引。其次，精细化的拆解与清洗是核心。采用规范操作和基准面保护，能最大限度防止精密零件的二次损伤，保障原有精度。最后，科学化的装配与动平衡是保障。精确控制轴承预紧等关键参数，并通过“磨合-测试-再验证”的迭代式动平衡工艺，是恢复主轴高速稳定性的最终关键。综上所述，建立从准备、拆解到装配与动平衡的全流程标准化维修体系，是提升主轴维修质量、延长其使用寿命、降低综合成本的有效路径，对推动数控机床售后服务技术进步具有重要实践价值。

参考文献

- [1] 梁泽明, 周盛, 张新宸, 等. 基于多源信息融合的机床主轴状态评估[J/OL]. 机床与液压, 1-10[2025-11-14]. <https://link.cnki.net/urlid/44.1259.TH.20251029.1900.172>.
- [2] 王正建. 基于智能诊断系统的数控机床主轴电机故障维修技术研究[J]. 家电维修, 2025, (06): 107-109.
- [3] 程永丰, 刘亚玲. 浅析高精数控机床主轴维修[J]. 设备管理与维修, 2024, (04): 47-50.
- [4] 杨波. 加工中心电主轴预测性维修[J]. 装备制造技术, 2022, (04): 257-259.
- [5] 徐俊. 浅谈数控车床主轴故障维修[J]. 内燃机与配件, 2020, (04): 128-129.
- [6] 杨晋. 数控机床主轴故障判断与维护保养[J]. 机械管理开发, 2018, 33(10): 280-281.

作者简介：王国旭(2006.02-)，男，汉族，安徽宿州人，大专，研究方向：机电一体化技术。

茹秋生(1970.09-)，男，汉族，山西临汾人，正高级讲师，硕士研究生，研究方向为：机电设备的可靠性研究。

基金项目：上海市教育科学研究 2024 年项目《职业院校研学交互赋能混合式教学模式研究—以数控机床故障诊断与维修为例》(项目编号：C2024168)