

基于数控机床主轴松刀故障的液压系统设计改进

李晓会, 高红, 戴玉红

北京工研精机股份有限公司 北京 100102

摘要: 通过分析主轴结构和液压系统工作状态, 得出主轴松刀不到位的原因是液压系统工作效率较低引起的油温过高, 进而导致松拉刀液压缸内泄过大, 影响松刀动作; 改进后系统采用双级压力、双级流量的油泵控制方式及流量传感器在线监控等手段, 实现系统针对性满足不同液压负载的压力、流量需求; 经机床运行验证, 新系统工作效率明显提高, 能耗显著降低, 油液温升合理, 有效解决了主轴松刀问题, 并对松拉刀故障进行预判, 提高机床整体工作效率。

关键词: 主轴; 松刀; 液压站; 数控机床

1 序言

主轴作为数控机床刀具夹持与旋转的核心部件, 由于其松拉刀系统的稳定性和可靠性直接影响着机床的安全性与加工效率^[1], 因此对主轴松拉刀系统的故障分析、排除与预判具有显著的实用价值和广阔的应用前景。

2 故障现象

某数控机床周期性出现开机工作数小时后, 主

轴刀具松开不到位, 引起机床无法正常换刀, 发生报警停止工作; 但断电停机若干小时后再开机, 机床又恢复正常。此故障严重影响到厂家生产的加工效率。

3 故障原因分析

3.1 主轴松拉刀结构特点

主轴松拉刀结构如图1所示, 刀具的松开与拉紧是通过液压缸活塞杆向不同方向运动与碟簧复位

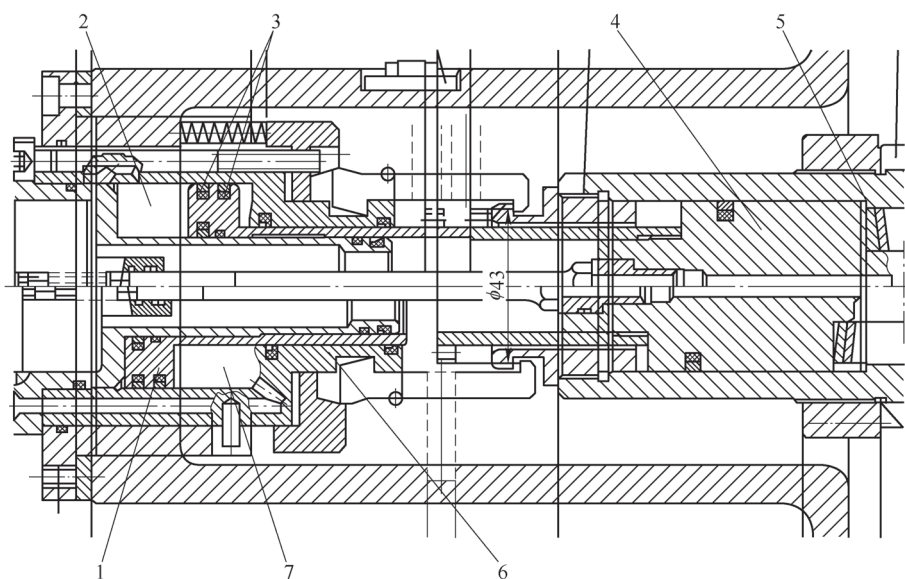


图1 主轴松拉刀结构

1—活塞 2—松刀油腔 3—密封圈 4—拉刀杆 5—碟簧 6—活塞杆 7—拉刀油腔

来完成。碟簧处在压缩状态时被安装在拉刀机构内部，当主轴需要松开刀具时，高压油进入松刀油腔，活塞杆伸出并推动拉刀杆带动刀具远离主轴锥孔，此时碟簧被进一步压缩，实现刀具松开；当刀具需要被拉紧时，高压油进入拉刀油腔，活塞杆缩回，同时碟簧在复位作用下推动拉刀杆带动刀具进入主轴锥孔，实现刀具拉紧。

本机床松拉刀机构要求松刀压强14~16MPa，拉刀压强5~16MPa，流量4.5L/min。当松刀故障出现时，即使将系统压强升至18MPa，故障依然存在，加之主轴可间断性松开刀具，说明故障原因不是由主轴内部机械卡死造成，同时发现液压站温升较高，于是分析因油温过高而导致液压缸活塞处内泄漏增大，进而影响到松刀动作，因此将故障排查重点放在液压站及其控制回路。

3.2 原液压系统分析

图2是机床原液压站及主轴松拉刀控制简图，其中泵1属压力补偿变量泵，其输出最大压力21MPa，最大流量21.5L/min，因为刀库、转台等其他液压执行机构要求压力较低（4.5~5MPa），所以油液通过减压阀降低压强至5MPa以供其他元器件使用。

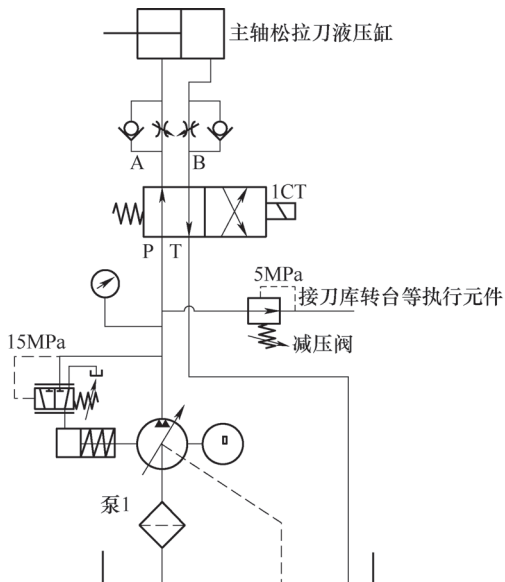


图2 原液压站及控制简图

根据压力补偿变量泵工作原理^[2, 3]，当系统压力超过泵的设定值时，流量自动减小，图3所示主轴松刀时泵1工作点在A点，刀库、转台等液压执行元件动作时泵1工作点在B点，机床无液压执行机构动作时泵1工作点在C点，此时流量大小取决于泵的

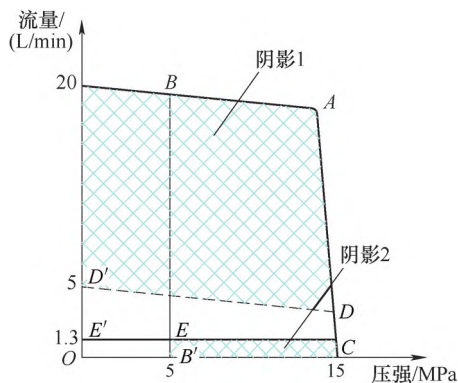


图3 泵1压强-流量曲线

内泄量多少。

从图3可看出，当主轴拉紧刀具时，泵1在阴影1部分的属于不必要的无用功，几乎是有用功（图3中OCDD'部分）的3倍；当机床待机或无液压动作时，泵1在阴影2部分的功同样属于无用功，几乎是有用功（图3中OB'EE'部分）的2倍。由此可见，系统输出压力、流量与负载所需要压力以及流量不匹配，造成系统工作效率较低，且无用功基本上转化为热量存在于油液和箱体中，从而引起油液温度上升，黏度降低^[4, 5]，致使主轴松拉刀液压缸内泄漏增大，无法实现正常松刀动作。

4 液压系统改进设计

系统改进虽然可通过液压站增加外置温控设备来降低油温过度上升，但是增加了机床成本与占地面积，更重要的是浪费了能源，增加了碳排放。于是本文通过对机床液压负载力变化规律、负载位移变化关系及结构特点与使用要求的深入分析，采用改变液压站及其回路控制方式来解决此问题。

图4是改进后液压站及控制回路简图，泵将负载压力通过换向阀反馈至变量泵多级不同的控制阀腔，使压力裕度（系统压力与负载压力之差）闭环控制，实现系统流量供需平衡，减少能量损失与系统发热。图4中泵2输出两档压力、两档流量，高压15MPa和低压5MPa，大流量21L/min和小流量5L/min。流量大小可通过旋钮设定，压力高低可通过电磁铁0CT是否通电进行选择，其压强-流量关系如图5所示。

图5中D点是主轴松刀时泵2工作点，此时电磁铁0CT通电；E点是机床在非松刀状态下其他液压机构动作时泵2工作点，此时电磁铁0CT不通电；F点

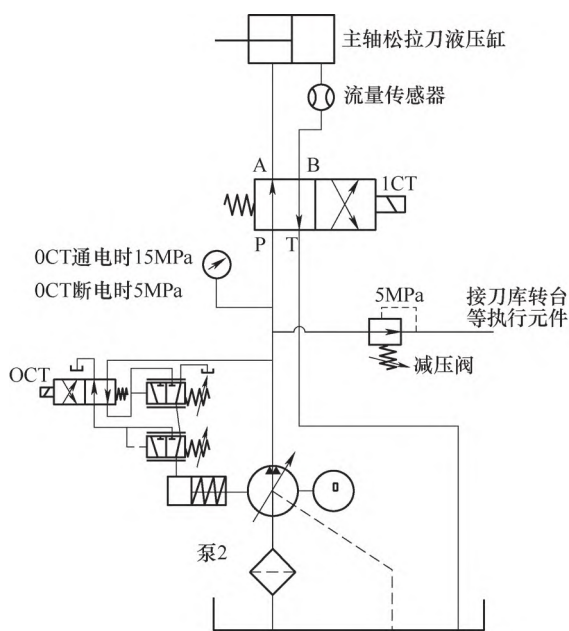


图4 改进后液压站及控制简图

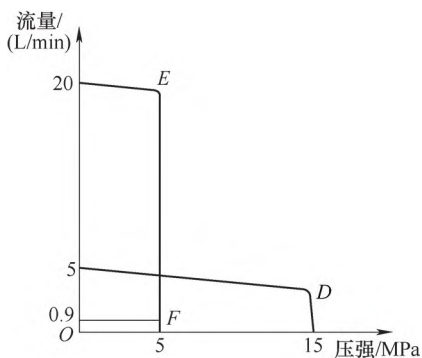


图5 泵2压强-流量曲线

是机床待机时泵2的工作点，电磁铁OCT不通电，图5中可见泵2待机压力低于泵1待机压力，泵2内泄漏明显低于泵1，造成的非必要功率损失较小。改进后的液压系统，无论泵2在任何工作或待机状态，其输

出功率基本上正好满足负载需求，而无过多供给。

此外，在主轴松刀回路增加了双向流量传感器（见图4），可实时监测液压缸分别在松、拉刀过程中松刀油腔流入或流出油液的总量，当测量值超过正常油量较多时，说明液压缸内泄漏较大，反之说明液压缸松、拉刀过程中存在机械卡死现象，从而对主轴运行状态在线预判。

5 结束语

机床在液压系统改进后，经过长时间运行，观察到液压站温度保持在合理范围内，油液温升得到有效控制，松、拉刀液压缸内泄漏明显减少，主轴松、拉刀动作可靠性得到显著提高。

总之，数控机床液压系统无论在设计研发阶段或改型升级阶段，均需在深入分析系统各实时工作状态的基础上，选择合理的控制方式，最大化提高系统运行效率，降低非必要能耗，减少油液发热量，避免因油液温升而造成的各种液压故障。

参考文献：

- [1] 白颖, 莫莉萍, 蒋庆斌, 等. 基于TRIZ理论的数控镗铣床主轴松拉刀系统分析与优化[J]. 制造技术与机床, 2020 (2): 23-26.
- [2] 胡春宝, 张素巧. 数控机床液压系统故障机理分析[J]. 机床与液压, 2011 (4): 126-127.
- [3] 唐开勇. 机床液压系统油温过高现象及其防止措施[J]. 现代制造技术与装备, 2006 (6): 68-70, 79.
- [4] 雷天觉. 新编液压工程手册[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
- [5] 张利平. 液压站设计与使用[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.

MW 20240416

一季度工业经济较快增长 高质量发展稳步推进

2024年一季度，随着宏观组合政策效应持续释放，工业生产稳步增长，企业效益继续改善，工业品出口由降转增，景气水平和企业预期向好，工业经济发展质量持续提升，实现良好开局。

工业生产继续加快。一季度，全国规模以上工业增加值同比增长6.1%，增速较2023年四季度加快0.1个百分点，继续保持回升向好态势。其中，制造业增加值增长6.7%，较2023年四季度加快0.4个百分点。

行业和产品增长面扩大。一季度，在工业41个

大类行业中，37个行业增加值同比实现增长，增长面达90.2%，较2023年四季度扩大24.3个百分点。在统计的619种主要工业产品中，406种产品产量实现增长，增长面为65.6%，较2023年四季度扩大5.4个百分点。

新质生产力引领转型升级。一季度，高技术制造业增加值同比增长7.5%，高于全部规模以上工业平均水平1.4个百分点，较2023年四季度加快2.6个百分点。

（来源：中国机械联统计与信息工作部）