

主轴夹刀系统优化方案的探讨

李俊江

成都领克汽车有限公司 四川成都 610100

摘要：以DM500 II型卧式加工中心所采用的DM50S4B型机械主轴为实例，介绍了机械主轴的结构、功能、工作参数、原理及运动过程。针对该型主轴出现的夹刀错误而不报警的现象进行了分析，对主轴本身结构及运动方式进行了优化和改造，为弥补主轴设计缺陷提供了解决思路。

关键词：主轴；控制；夹刀；液压

1 序言

随着生产技术的进步，汽车行业逐渐向大规模、大批量及高精度的方向发展。加工中心由于能实现集成加工产品，可以有效地提高劳动生产率，稳定和提高产品质量，降低生产成本，以及缩短生产周期，因而得到了广泛的使用。

主轴是加工中心的主要加工部件，对产品的加工质量起着至关重要的作用。通常主轴分为机械主轴和电主轴两种，区别在于电主轴是将主轴与电动机集成在一起，因此具有体积小、精度好及转速高等特点，但缺点是不能承受较大的切削力；机械主轴由于在结构上主轴与电动机分开，增加了一级动力传输，所以导致精度与最高转速都不如电主轴，但是却能够承载较大的切削力。由于两种主轴各自的特点，因而它们在生产活动中有着不同的应用。

2 设备介绍

DM500 II型卧式加工中心是缸体机加线所用的设备，合格件的年加工量为11万件缸体，持续生产1000件缸体的工废废品率 $<0.5\%$ ，单机的设备开动率为96%，单件零件的加工工时 $<72s$ ，设备加工能力值为：CAM ≥ 1.33 、CPK ≥ 1.1 。

DM50S4B型直联式机械主轴，是DM500 II型卧式加工中心的配套产品，结构简单、维护方便，主轴允许的最大转速为6000r/min。该主轴由中空伺服电动机、联轴器、夹刀系统和旋转机构组成。同时该主轴还配备了主轴轴承冷却恒温装置、主轴轴承油气润滑装置、主轴气密封，换刀吹气的清洁气源、刀具内冷的高压切削液，以及外部循环冷却水、松拉刀液压缸所需的液压系统。

主轴的内部结构如图1所示。该型主轴锥孔内的

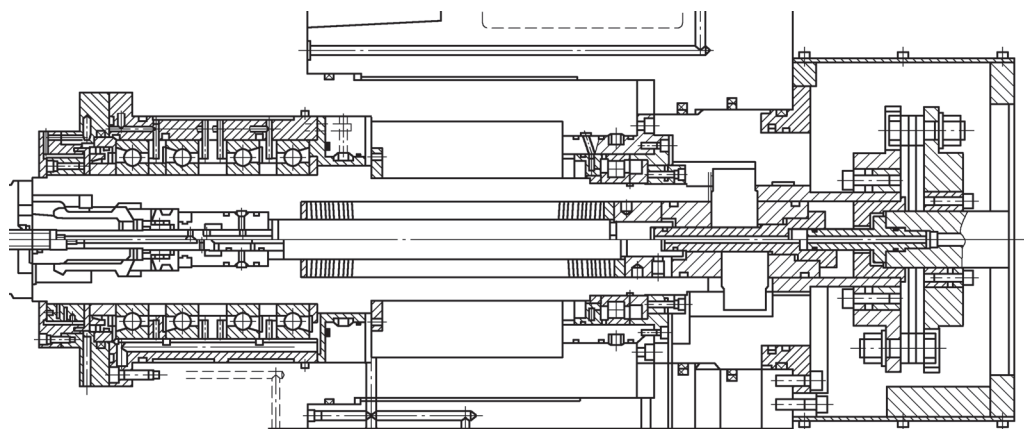


图1 机械主轴的内部结构

径向圆跳动值为0.003mm，距主轴端面300mm处量棒上的径向圆跳动值为0.01mm，轴端面的轴向圆跳动值为0.002mm。

3 主轴存在的问题

3.1 主轴在换刀过程中的动作

该型主轴在换刀过程中的动作如下。

- 1) 主轴定向。
- 2) 电磁换向阀的阀头YV9得电，主轴松刀液压缸活塞杆克服拉刀杆碟簧的弹力向前运动至行程极限，使主轴处于松刀状态；同时换刀臂将刀具插入到主轴当中，电磁换向阀头YV9失电。液压原理如图2所示。
- 3) 电磁换向阀的阀头YV10得电，松刀液压缸活塞杆退回，主轴利用拉刀杆碟簧的弹力将刀具锁紧，电磁换向阀头YV10失电。
- 4) 换刀过程完成，主轴进行正常的切削加工。

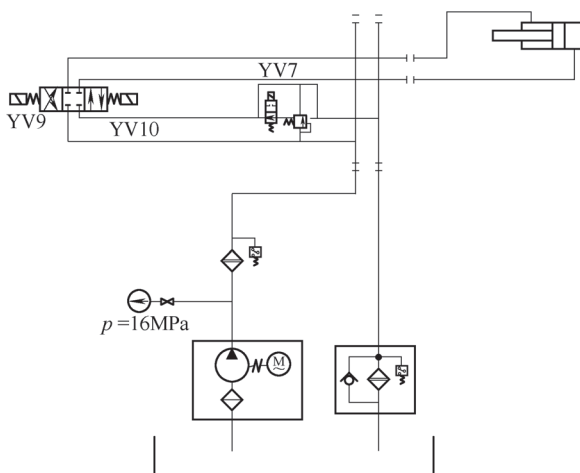


图2 原松刀机构液压原理

3.2 主轴存在的缺陷

由图3可以看出，主轴并没有设计对拉刀杆位置的直接检测，而是采用接近开关检测固定在松刀液压缸上发令杆位置的方式来确定主轴的工作状态。在主轴的设计理念里，只要检测到松刀液压缸活塞杆的前后两个极限位置，就可以判定主轴究竟是处于松刀状态还是夹刀状态。

主轴拉刀杆在实际生产中的工作状态应当有4种，分别是主轴松刀、主轴有刀夹紧、主轴无刀夹紧及主轴有刀未夹紧。这4种状态中，前3种是正常的工作状态，第4种为故障状态。按照主轴出厂时的

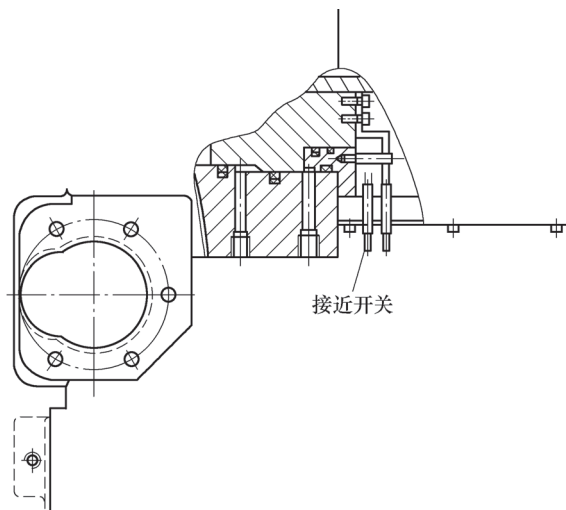


图3 拉刀检测

设计，松刀液压缸的活塞杆只有两个位置状态，由于只能检测活塞的前后两个极限位置，主轴是否处于后3种状态，设备根本无法识别。在这种情况下，就可能出现：当主轴进行换刀时，如果主轴未能将刀具夹紧，甚至是刀具在加工过程中掉落，设备将无法得到正确的报警信号，使加工的零件报废。这种现象的出现次数随着产量的增加而增加，特别是在进行大批量生产时尤为凸显。

4 主轴的优化方案

4.1 优化思路

通过不断的分析和研究，考虑了以下几种优化思路。

思路一：在主轴轴身上通过钻孔等方式增加传感器，通过直接检测拉刀杆的位置来确定主轴的夹刀状态。

思路二：在主轴前端增加传感器，通过直接检测刀柄的位置来判定夹刀的状态。

思路三：将主轴前端用作换刀吹气的清洁气源变更为气检装置，通过压缩气体的压力值来判断夹刀的状态。

思路四：优化主轴拉刀杆与活塞杆的结构及功能。

以上几种思路在理论上都有一定的可操作性，并且可以在很大程度上避免出现刀具未夹紧却继续加工生产的情况，但是通过现场试验，发现了很多问题。

1) 主轴的轴身存在较多的内置管路，包括冷却管路、润滑管路及液压管路，由于主轴的生产加工工艺对于生产厂家来说属于商业机密，所以生产

厂家不同意提供主轴的内部结构图样。如果采用思路一,就很有可能出现因破坏轴身内置管路而导致主轴损坏的情况,并且这种破坏无法修复。经过权衡,认为思路一风险太大,因此放弃该思路。

2) 在现场观察中发现,主轴前端的工况较为恶劣。设备采用的加工方式为湿式加工,切削液在喷出的过程中具有较大的压力及流量,按照以往的经验并咨询传感器制造商,判定传感器的工作寿命不足以满足使用需求。同时在加工过程中切屑纷飞,极有可能频繁出现传感器误报警的情况。基于以上原因,最终放弃了思路二。

3) 思路三中主轴的清洁压缩空气从主轴内冷孔中吹出,该思路只适用于无内冷的刀具,而该加工中心存在钻孔和攻螺纹等加工工序,在加工过程中必须一直喷出内冷切削液,因此思路三只能保证主轴在装夹部分刀具的情况下具备刀具未夹紧的报警功能,因此也被排除。

通过现场试验及论证,确定以思路四为基础制定优化方案。

4.2 优化方案

(1) 方案设计 主轴原设计中只有两个传感器对松刀液压缸的极限位置进行检测,这两个极限位置中,一个是松刀位置,一个是松刀液压缸卸油位置。而目前需要监测的点包括:主轴松刀位置、主轴有刀夹紧位置、主轴无刀夹紧位置及松刀液压缸卸油位置。因此,首先需要增加两个传感器,分别对主轴有刀夹紧位置、主轴无刀夹紧位置进行检测。

由于无法对拉刀杆的位置进行监控,只能监控松刀液压缸活塞杆的位置,因此必须保证在刀具装夹的过程中,松刀液压缸活塞杆与拉刀杆的相对位置不能发生变化,只有在这种情况下,活塞杆的位置才能等同于拉刀杆的位置。根据这一思路,还需要对液压系统及电气控制系统进行优化。

(2) 方案实施 过程如下。

1) 在液压缸活塞上,在原有发令杆的结构旋转 90° 的位置新增加一根发令杆,新增加的发令杆的作用是感应主轴有刀夹紧位置、主轴无刀夹紧位置。这样可以避免活塞杆位置检测传感器因布置过于密集而产生的信号不稳定。

2) 更改液压系统,将主轴松刀油路上的电磁换

向阀由以前的O形阀(见图2)替换为同类型的Y形阀,并且在松刀油路的回油管路上增加一个可调式溢流阀。液压系统改造完毕后的液压原理如图4所示。

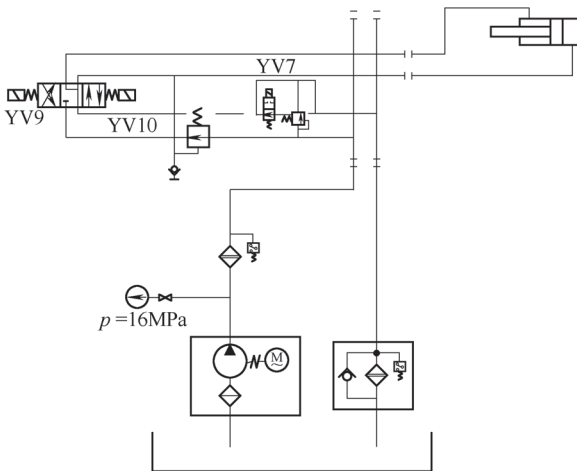


图4 松刀机构改造后的液压原理

3) 更改控制程序,将电磁换向阀的阀头得电顺序做出调整。刀具被插入主轴之前的得电顺序不变,在换刀臂将刀具插入到主轴当中且电磁换向阀头YV9失电之后,不允许阀头YV10得电,这时电磁换向阀处于中位状态。由于该阀更换为Y形阀,松刀液压缸此时处于自由状态。这时,拉刀杆依靠自身的碟簧弹力推动松刀液压缸的活塞向后移动,在此期间,拉刀杆与液压缸活塞紧密贴合,直到拉刀杆处于拉刀状态;同时,在回油管路上增加的溢流阀起背压作用,可以在最大程度上避免活塞在拉刀杆停止运动后因为惯性继续向前运动。通过计算和在加工中心上的实际验证,得出:当拉刀杆的拉刀力为48kN时,回油管路上的溢流阀的溢流压力调整为1.8MPa较为合适,此时既能避免活塞的惯性运动,又不影响液压系统的正常工作。当机床得到主轴有刀夹紧位置或者无刀夹紧位置的信号后,电磁换向阀的阀头YV10得电,松刀液压缸退回原位,此时一个换刀过程完成。

4) 液压系统改造完成后,当拉刀杆处于拉刀状态时,松刀液压缸活塞杆的位置即为主轴的夹紧位置,对主轴在有刀和无刀状态下的位置不断地进行试验,通过检测新增加的发令杆的位置,得到主轴的有刀夹紧位置和无刀夹紧位置。

5) 在主轴后端的钟形罩上增加两个传感器,分别用来感应两个夹刀位置的信号。加工过程中,

在有刀存在的情况下，如果有刀夹紧位置及无刀夹紧位置均未检测到信号，则说明刀具未正确装夹；如果无刀夹紧位置检测到信号，则说明刀具掉落，未能装夹。当出现以上情况时，设备会得到报警信息，机床立即停止加工。在无刀存在的状态下，如果机床在无刀夹紧位置未检测到信号，那么说明拉刀杆本身可能出现了故障，为避免故障的扩大以及出现更大的损失，应当尽快安排检修。

5 结束语

主轴优化改造完成后，通过近8个月的生产及观察，再未出现过因刀具未夹紧而不报警的情况，使改造优化达到了预期效果。由于新增加了在无刀时对拉刀杆的检测，成功地提前判断出一次拉刀杆生锈发卡的故障，因而为现场生产节约了宝贵的时间，该项功能超出了预期目标。

对一些无法进行直接性改造的设备或部件，如

果避开困难点，采用迂回的思路，对设备进行综合的思考和判断，也可达到预定的目标。

参考文献：

- [1] 东风装备制造厂. EC5-CB缸体加工组合机使用说明书[Z]. 2012.
- [2] 东风装备制造厂. DM500 II型卧式加工中心使用说明书[Z]. 2012.
- [3] 黄红武, 熊万里, 陆名彰, 等. 高速大功率精密电主轴中的关键技术[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2002(5): 49-54.
- [4] 肖曙红, 张伯霖, 李志英. 高速机床主轴/刀具联结的设计[J]. 机械工艺师, 2000(3): 8-10.
- [5] 沙志宏, 陈子辰, 傅建中. 高速切削加工及其机床发展[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(11): 6-8.

MW 20210210

金属加工视频号开通了，欢迎关注！

金属加工视频号是装备制造领域的专业视频号，由创刊于1950年的《金属加工》（包括冷加工和热加工两刊）和金属加工在线（mw1950.com）共同运营，开通以来陆续形成系列栏目，包括金属加工要闻、金属加工对话、金属加工新闻速递、金属加工在线论坛、加工真奇妙、机制过人和刀具小讲堂等。



扫描下方二维码，
关注金属加工视频号

