

加工中心自动换刀装置的故障诊断与维修研究

顾健

一汽解放汽车有限公司动力总成事业部, 江苏 无锡 241000

DOI: 10.61369/SSSD.2026030011

摘 要 : 加工中心自动换刀装置 (ATC) 作为连接切削加工与刀具存储的核心模块, 其运行是否稳定直接影响了生产效率与加工精度。当前, 随着科学技术的不断发展, 加工中心自动换刀装置系统也在不断更新, 但其遇到的故障也呈现出了复杂化、多样化的特点。基于此, 本文在分析加工中心自动换刀装置常见问题的同时, 就其有效的诊断方法和维修策略进行了探讨与分析, 旨在为相关人士提供一些参考借鉴。

关 键 词 : 加工中心; 自动换刀装置; 故障诊断; 设备维修

Research on Fault Diagnosis and Maintenance of Automatic Tool Changer (ATC) in Machining Centers

Gu Jian

Powertrain Division of FAW Jiefang Automotive Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 241000

Abstract : As the core module connecting cutting processing and tool storage, the stable operation of the Automatic Tool Changer (ATC) in machining centers directly affects production efficiency and machining accuracy. Currently, with the continuous development of science and technology, the ATC system of machining centers is constantly updated, but the faults it encounters also show the characteristics of complexity and diversification. Based on this, while analyzing the common problems of the automatic tool changer in machining centers, this paper discusses and analyzes its effective diagnostic methods and maintenance strategies, aiming to provide some reference for relevant personnel.

Keywords : machining center; automatic tool changer (ATC); fault diagnosis; equipment maintenance

在现代加工中心, 自动换刀装置作为“中枢神经”, 具备自动存储、检索与交换等功能, 能够有效提高加工生产效率^[1]。而随着科学技术的不断发展, 加工中心自动换刀装置的结构也逐渐向着复杂化、集成化等方向发展, 这也使得其常常面临各种故障。而在应对这些故障的过程中, 部分人员存在过度依赖经验的问题, 这也导致故障诊断不精确与维修不到位, 影响着加工中心的生产效率。对此, 在新时期, 深入探究加工中心自动换刀装置的故障诊断与维修策略势在必行、正当其时。

一、加工中心自动换刀装置的常见故障

(一) 刀库相关故障

在加工中心自动换刀装置中, 刀库作为刀具的存储载体, 其故障发生率较高。具体来说, 主要表现为定位偏差、存取异常以及结构卡滞等^[2]。首先, 定位偏差的问题经常发生于圆盘以及链式刀库。前者由于分度机构故障等因素导致齿轮磨损等问题, 进而使得其出现误差情况; 后者由于链条张紧度不足等问题, 导致跳齿情况出现, 进而产生误差问题。其次, 存取异常主要表现为刀具无法取出或者在取出过程中出现掉落的情况^[3]。以刀具掉落为例, 其主要是因为刀套翻转缸密封件损坏, 导致液压驱动不足, 刀具在翻转中没有支撑, 进而出现掉落情况。而刀库结构卡滞, 则多是因为润滑不足的问题而导致的, 如导轨如果不够润滑的话, 会出现生锈等问题, 使得刀库转移过程中遇到更大的阻力, 进而影响到电机的正常运转。

(二) 换刀机构故障

换刀机构 (以换刀臂为主) 是实现刀具交换的核心执行单元, 其故障主要表现为动作卡滞以及抓刀不稳等类型。前者主要指的是由于机械卡阻与驱动等问题, 导致换刀臂伸缩或者是旋转出现故障; 液压系统出现问题 (如气动系统漏气、压力不足等) 也会使得其伸缩速度出现异常, 进而影响到系统的正常运转, 进而出现动作卡滞的情况; 后者主要指的是由于弹簧疲劳、夹爪磨损以及气压不足等问题导致换刀机构出现抓刀不稳的问题^[4]。其中, 弹簧疲劳的问题会使得抓刀机构出现夹爪无法完全闭合的情况, 进而导致刀具脱落, 严重时还会撞击工作台导致机械设备故障甚至报废。同时, 夹爪也是有一定的使用寿命的, 其在长期使用过程中必然会产生磨损情况, 进而出现刀口磨损问题, 而当这一磨损量大于 0.3mm 时, 其抓刀的夹紧力就会明显下降, 进而影响了设备的正常运转。此外, 换刀臂的同步带松动或者是原点丢失时, 其工作精准度也会大大降低, 导致对刀不准等情况出现。

（三）驱动与控制系统故障

在加工中心自动换刀装置中，驱动与控制系统故障有着较强的隐蔽性和伤害性特征。通常来说，该类故障主要表现为以下两个方面：一是电气驱动故障（以电机故障为主），如当伺服电机因为运转时间长而出现异响与过热情况、步进电机出现电机轴承等驱动损坏情况时，刀库分度会受到直接影响，进而出现定位不准确的故障；二是控制单元故障，该类故障主要包括接口模块故障、继电器故障以及 PLC 程序故障等类型^[9]。其中，接口模块故障主要体现在 I/O 模块故障方面，如传输路线使用寿命过长导致接触不良等等，这也会影响到系统的判断；继电器故障则表现为线圈烧毁以及触点氧化等原因，导致刀库持续移动，进而出现故障超程报警；PLC 程序故障则主要表现为，程序的逻辑错误或者是数据丢失等方面，如当相关信号逻辑错误时，程序会出现中断或者是无法正确识别等情况，进而影响到系统的正常运转。此外，当电压出现骤降时，也会影响 PLC 程序的正常运行，引发控制系统的故障。

二、加工中心自动换刀装置的故障诊断方法

（一）传统诊断方法

结合现实情况来看，以往的加工中心自动换刀装置的故障诊断有着明显的“经验主义”特征。相关人员主要结合自己的工作经验，通过感官分析、设备观察以及参数检查等方式来对故障进行诊断。其中，感官分析法主要是通过观看设备运转状态（如指示灯是否正常、设备是否正常运转以及有没有铁屑堆积等）、听辨设备是否存在运转异常声音（如机械臂出现“咔哒咔哒”的异响）、触摸设备是否出现振动异常、温度过高等问题，以此来判断 ATC 系统的运转情况；设备观察主要是对系统运转的各个环节进行观察分析，及时缩小故障范围或发现故障点，然后进行诊断排除处理；参数检查则主要是对比系统运转参数（如换刀速度参数、刀库的原点坐标等），以此来实现故障诊断的目标^[6]。上述传统诊断方法虽然有着一定的科学性，但局限性也比较明显，如其对于工作人员的经验有着较强的依赖性，同时也有一定的误差问题，如在观察系统“换刀臂不动作”时，其既有可能是电机方面的问题，也有可能是 PLC 程序方面的问题，所以，在 ATC 系统不断发展的今天，传统的故障诊断方法弊端较为突出，企业方面应当立足数字化时代背景，对 ATC 系统故障诊断方法进行优化和创新。

（二）现代智能诊断方法

现代智能诊断是一种契合于 ATC 系统数字化转型的故障诊断方法，它能够借助先进的数字技术和算法来及时发现和解除故障问题。首先，是 FTA 故障树分析法。该方法依托数字化技术来构建“顶事件—中间事件—底事件”的“故障树”逻辑模型，如将“换刀失败”作为顶事件，然后中间事件设定为换刀臂故障、刀库故障等，再向下细化成为轴承磨损、传感器失效等底事件，以此来有效诊断故障类型并及时做出故障维修^[7]。其次，是振动检测法。该方法主要是在特定的位置（如换刀臂旋转轴、刀库导轨

等）安装振动传感器，实时采集设备的振动数据，及时发现异常情况并进行故障识别与报警。例如，在换刀臂轴承部位安装传感器，当其出现磨损时，设备会及时进行检测识别并发出预警，以此来有效避免故障停机等问题的出现。再者，是智能算法诊断。该方法主要利用人工智能技术（如神经网络、机器学习）等来构建智能模型，然后对 ACT 系统的压力、电流以及温度等数据进行分析，从而有效诊断设备故障^[8]。相较于传统诊断方法而言，这些智能诊断方法不但能够早期预警，而且精度较高，但同时其对人员的专业能力有着较高要求。因此，在 ATC 系统诊断过程中，一方面要加强人员培训，提升人员专业能力，另一方面可以采用“传统+智能”的混合式方式来诊断故障，从而在保证诊断准确率与效率的同时，有效降低诊断的成本。

三、加工中心自动换刀装置的故障维修

（一）刀库故障维修技术

刀库的故障维修应当本着“机械为主，电气为辅”的原则，重点围绕刀具故障的三大类型进行科学处理。首先，在定位偏差类故障维修中，应当区别其具体的原因（机械或电气），机械方面，链式刀库调链条张紧度、换磨损链轮，保证下垂量 $\leq 10\text{mm}$ ；圆盘刀库调分度盘齿间间隙至 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ，必要时换齿轮；电气方面，编码器故障需换件并标定原点，接近开关故障清理或更换，确保 $2 \sim 5\text{mm}$ 感应距离^[9]。其次，在刀具存取异常类故障维修中，如果刀套夹紧装置失效，则需要对夹紧块以及弹簧等进行更换，装配后确保其夹紧力在合格范围之内（ $50 \sim 80\text{N}$ ），同时涂抹上耐高温的润滑油；如果刀套翻转故障则针对性处理，液压型换密封件并调至 $0.4 \sim 0.6\text{MPa}$ ，气动型排查漏气点更换老化部件。再者，在结构卡滞类故障维修中，应当及时拆解设备，对其中的污渍、铁屑等进行处理，然后涂上锂基润滑脂并调整丝杠预紧力。此外，在刀库故障维修之后，应当运用专门设备来对刀位重复定位，以此来确保设备正常运转。

（二）换刀机构故障维修技术

在换刀机构维修过程中，应当首先进行拆解检查，然后对出现故障的部件进行及时更换，最后再对换刀机构进行校准处理，以此来保证换刀机构的正常工作。首先，在面对动作卡之类故障时，可在机械上换磨损轴承、调限位块防干涉；液压型查泵压换过滤器，气动型换密封圈、清三联件。其次，在面对抓到不稳的故障时，应当对夹爪和弹簧进行及时更换，同时保证其后续的夹紧力在 $100 \sim 150\text{N}$ 区间；启动系统调至 $0.5 \sim 0.7\text{MPa}$ 并查气管降压。再者，针对换刀位置偏差故障时，应当首先重设原点参数，同时更换皮带、齿轮等设备，最后进行校准检验，在确定其合格之后再正常加工生产。

（三）驱动与控制系统故障维修技术

驱动与控制系统故障的维修应当遵循“断电检查—分段测试—参数校准”原则，避免带电操作引发二次故障。例如，在面对伺服电机类故障时，应当先进行断电检查，测试绝缘电阻情况，如果小于 $50\text{M}\Omega$ ，那么可进行烘干或换绕组处理；轴承故障

则先进行断电，再进行检查分析，最后换件处理并做动平衡。步进电机查驱动器电压电流，换损坏件并调细分参数^[10]。其次，在面对故障单元故障时，要先进行程序备份，再进行修改，继电器换损坏件并查触点，I/O 模块用替换法排查。再者，对于接口线路方面的故障，应当先进行断电检查，然后进行电压测试，如果出现异常就换线或更换稳压器。在这，在维修后模拟换刀全流程联调，确保动作与信号正常。

（四）维修后的检测与维护优化

ATC 故障的维修并非“终点站”，在维修流程之后，相关人员也要充分做好日常的检测与维护工作，以此来确保系统的运转效率。例如，在维修之后，应当及时展开负载测试、精度测试以及功能测试等，如在精度测试方面运用专业设备来对刀库的定位精度进行测试，保证其符合专业标准等。其次，应当完善日常维

护优化环节，加快建立相应的维护流程 and 标准，包括定期对系统设备进行清洁、润滑以及参数检查等等。例如，当刀库导轨运行超过 48 小时之后，应当及时进行润滑处理；换刀臂旋转轴则可以每月进行一次润滑处理；每天要对刀套内部进行杂物清理，及时清除油污、铁屑，以此来保证其运转寿命，减少故障问题；每月对系统参数等进行故障排查，及时发现异常问题并进行处理，以此来通过预防性的维护来有效减少系统的故障发生率。

总的来说，加工中心自动换刀装置的故障诊断与维修是保障装备制造企业高效生产的核心技术环节，其故障的多源性与复杂性决定了诊断与维修工作需融合传统经验与现代智能技术。对此，相关人员应当在明确其故障类型的同时，采用科学的诊断方法和维修模式，有效解决加工中心自动换刀装置故障问题，从而全面提升其运行可靠性，为企业加工生产的高质量推进奠基。

参考文献

[1] 张莹, 张晓明. 加工中心换刀装置与圆盘式刀库自动控制系统研究 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(06): 24-26.
[2] 冷启顺. 高速加工中心自动换刀系统的研究与设计 [D]. 北华航天工业学院, 2024.
[3] 黄林祥, 冯昊, 方韶剑, 等. 利用 Unity3D 模型实现自动换刀装置的教具设计 [J]. 科学技术创新, 2023, (20): 97-100.
[4] 汪满新, 卞程飞, 韩军, 等. 刀库及其自动换刀装置的换刀精度检测方法和衰退规律研究 [J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(11): 172-181.
[5] 赵新爽, 韩军, 汪满新, 等. 自动换刀装置及其空间复合凸轮精度检测 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021, (11): 96-100+104.
[6] 张晓光, 李莹莹, 李香飞, 等. 自动换刀装置教具设计 [J]. 南方农机, 2021, 52(10): 158-160.
[7] 滕昊, 韩军, 汪满新, 等. 基于振动特征的自动换刀装置到位精度状态诊断 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021, (05): 86-91+95.
[8] 滕昊. 链式刀库及自动换刀装置关键性能检测和可靠性技术研究 [D]. 南京理工大学, 2021.
[9] 张鑫. 经济型数控车床自动换刀原理与维修 [J]. 冶金管理, 2020, (11): 118+120.
[10] 房拴娃. 基于 PLC 自动换刀装置结构优化设计与控制研究 [D]. 陕西科技大学, 2020.