

# 数控设备故障诊断与预防性维护技术探析

赵江飞

中车北京南口机械有限公司 北京 102202

**摘要:** 数控设备是机械加工生产的核心装备,长期连续工况下容易出现机械损耗、电气异常、伺服偏移等各类故障,直接影响加工精度与生产稳定性。本文结合数控设备的结构组成与运行工况,梳理设备各类故障的滋生机理与演变特征,阐释信号采集、参数识别、专项排查的故障诊断技术原理。结合设备运维实际需求,搭建分层分类的预防性维护体系,细化常规养护、动态调控、部件专项管护及多模块协同运维方式,有效改善设备运行状态,延缓性能退化,为数控设备稳定长效运行提供技术支持。

**关键词:** 数控设备;故障诊断;运行状态监测;预防性维护

**引言:** 机械加工行业智能化升级进程持续推进,数控设备的应用覆盖各类精密加工生产场景。设备集成机械传动、电气控制与伺服驱动等多个功能单元,结构体系复杂,运行环节易受负载波动、环境干扰及持续损耗影响。各类隐性故障会逐步累积,破坏加工精度,拖慢生产进度。传统故障处置多以事后维修为主,难以适配现代化生产的高效运维需求。依托科学的故障诊断技术与前置维护理念,规范设备运维流程,能够有效控制故障发生概率,保障生产体系平稳有序推进。

## 1 数控设备整体构成与运行特征

### 1.1 数控设备机械结构组成与运行逻辑

数控设备机械结构是设备完成加工动作的物理载体,整体结构涵盖床身、导轨、主轴、刀架及传动部件等关键构件。各构件按照加工动作逻辑完成装配组合,支撑设备切削、进给、换刀等全部作业行为。床身作为基础承载结构,维持设备整体结构刚性与作业稳定性,削弱加工过程震动带来的结构波动。导轨与进给结构限定工作台移动轨迹,保障加工位移的精准推进。主轴结构承担高速旋转作业,为工件切削提供稳定动力输出<sup>[1]</sup>。刀架结构实现刀具切换与固定,适配多工序加工的刀具更替需求。整套机械结构按照固定动作逻辑逐级配合,完成原材料切削塑形,构成数控设备加工运行的物理基础。

### 1.2 数控设备电气控制系统架构与运行模式

电气控制系统是数控设备的指挥中枢,依托多层次控制架构统筹设备全部作业流程。系统主要包含数控控制单元、输入输出模块、检测单元与供电模块,各模块分工明确且相互配合。控制单元接收加工程序指令,完成动作解析与运算处理,输出对应的作业控制信号。输入输出模块负责信号传输与指令对接,打通控制终端与执行结构的信息链路。检测单元持续采集设备运行位

置、转速、状态等信息,为动作修正提供数据支撑。供电模块稳定设备电压与电流输出,保障控制系统持续稳定运转。整套控制架构以程序指令为导向,完成设备加工动作的精准调度与有序管控。

### 1.3 数控设备伺服传动系统工作机制

伺服传动系统是数控设备动力执行的核心模块,承担动力输出与精准位移调控的核心任务。系统由伺服电机、驱动单元、位置反馈组件组成,负责转化电气控制信号为机械运动。驱动单元接收控制指令后调节电机运转转速与输出扭矩,匹配不同工序的加工负载需求。伺服电机输出精准动力,带动导轨、主轴等结构完成设定位移与旋转动作。位置反馈组件实时捕捉机械运动行程与位置偏差,辅助系统完成动态微调。这套工作机制可以适配高精度加工需求,弱化机械运动偏差,维持设备加工精度的稳定性。

### 1.4 数控设备长期连续运行的工况特征

工业生产场景下的数控设备多保持长时间连续作业状态,运行工况具备持续性、高强度与稳定性需求突出的特点。设备启停频次较少,单次运行时长偏长,各结构模块长期处于持续负载状态。加工负载会随工件材质、工序类型产生动态波动,机械结构与电气系统需要适配多变的作业负荷。长期不间断运转会让各部件持续产生工作损耗,结构疲劳、电气元件老化等问题逐步累积<sup>[2]</sup>。持续的工况状态会慢慢改变设备初始运行性能,让设备运行状态随作业时长逐步发生变化,对日常运维与故障防控提出较高要求。

## 2 数控设备常见故障类型与形成机理

### 2.1 机械传动部位故障的滋生机制与演变规律

数控设备机械传动部位长期承担切削负载与往复运动,是故障滋生的主要区域。导轨、轴承、丝杠等构件在持续摩擦作用下,表面金属结构会逐步产生磨损损

耗,改变构件原始配合精度。润滑养护不到位会加剧摩擦损耗速度,让传动间隙出现非正常扩张,引发设备进给卡顿、位移偏移等问题。加工负载的频繁波动,会让传动构件承受交替应力作用,逐步诱发结构疲劳、微量形变等隐性缺陷。这类故障发展速度较为平缓,初期仅存在轻微运行偏差。缺陷会随设备运行时长不断积累放大,逐步演变为明显的机械故障,影响设备加工运行精度。

## 2.2 电气控制模块故障的诱发成因与发展特征

电气控制模块依托各类电子元件、线路与控制板卡完成运行管控,故障多源于元件老化、线路损耗与工况环境影响。设备长期通电运行,电子元件会出现性能衰减,运算处理与信号输出精度持续下降。生产现场粉尘堆积、温度波动会干扰线路与板卡的运行状态,造成信号传输紊乱、指令识别异常等问题。线路长期受震动影响,会出现接口松动、线路氧化等隐患,逐步引发电路通断异常。电气故障具备隐匿性较强的特点,初期无明显运行异常,隐患积累到一定程度后会突然爆发,造成设备停机、指令失效等问题。

## 2.3 伺服系统运行异常的产生机理

伺服系统负责设备动力输出与位移调控,运行异常多和动力匹配、信号反馈与元件损耗存在关联。驱动单元长期承载动态负载,内部运行参数会逐步出现漂移,造成扭矩输出、转速调控出现偏差。伺服电机持续高速运转,内部磁路与绕组结构会出现性能衰减,动力输出稳定性持续下降。位置反馈组件长期采集运行数据,元件灵敏度会逐步退化,采集数据存在偏差,造成系统微调动作出现失误。各类细微缺陷持续累积,会让伺服系统定位精度下降、运行抖动,逐步引发进给偏差、加工尺寸超差等运行异常问题。

## 2.4 多系统耦合引发的复合型故障形成逻辑

数控设备各系统保持紧密联动,单一模块出现异常后,会逐步传导至其他结构,诱发复合型故障问题。机械传动精度下降,会增大伺服系统的调控负荷,加速伺服元件损耗,干扰电气控制系统的指令匹配精度。电气信号传输异常,会造成伺服动力输出紊乱,加剧机械结构摩擦与形变损耗。不同系统的隐性缺陷相互叠加、相互影响,打破设备整体运行平衡。故障表现形式更为复杂,不再局限于单一模块的异常特征,提升故障排查与处置难度,对设备整体运行稳定性形成持续性负面影响。

# 3 数控设备故障诊断技术与应用原理

## 3.1 设备运行状态信号采集技术原理

数控设备故障诊断需要依托真实、实时的运行数据作为分析基础,传感采集技术是获取设备工况信息的核

心手段。工业现场会在设备关键结构位置布设传感装置,针对主轴运转、导轨进给、伺服驱动、电控运行等重点环节开展数据捕捉。采集内容涵盖机械振动、工作温度、运转转速、电流电压等多项物理与电气指标,覆盖设备运行的核心状态维度。结构部件出现磨损、松动或形变问题时,振动数据会产生明显变化。电气元件负载异常、线路工况不稳,也会体现在电气参数的波动变化中。持续的数据采集模式可以全程记录设备在不同加工工序、不同负载强度下的运行状态,积累充足的原始数据素材,为后续异常识别和故障研判筑牢基础条件<sup>[3]</sup>。

## 3.2 运行参数异动识别与故障判别技术路径

数控设备稳定加工阶段的各项运行参数,会维持在相对固定的波动区间,参数出现异常偏移能够直观反映设备内部工况变化。参数异动识别以现场采集的原始数据为依据,对比设备标准运行参数与长期稳定运行形成的正常数据区间,筛选数值偏移、波形紊乱、参数漂移等异常特征。对海量原始信号开展分层筛选与深度提纯,剔除环境干扰、正常切削负载波动带来的无效数据,保留具备诊断价值的特征信息。结合设备结构特点与加工运行规律,辨析短时工况波动与部件老化、结构损耗带来的持续性参数偏差,依托波动幅度、持续时长和变化趋势判定隐患位置与缺陷程度,搭建完整的故障判别分析流程。

## 3.3 机械部件故障专项诊断技术原理

机械部件故障诊断依托振动分析、温度监测、位移检测等多种技术手段落地实施,适配传动结构的故障发展特点。丝杠、导轨、轴承等核心传动构件长期承受往复摩擦与交变载荷,运行过程会逐步产生磨损老化、配合间隙增大等各类缺陷。结构状态出现异常后,设备运行振动的频率和幅值会发生规律性改变,成为机械故障识别的重要依据。技术人员通过拆解振动信号的特征变化,精准判断传动构件的损耗程度与隐患点位。异常摩擦和结构形变会造成局部热量堆积,轴承运行温度超65℃可判定存在异常磨损,温度监测可辅助印证机械故障的发展态势。位移检测技术能够捕捉进给行程偏差、定位精度偏移等细微问题,精准识别机械配合精度下降引发的加工异常。

## 3.4 电气与伺服系统故障排查技术方式

电气控制系统与伺服系统的故障排查工作,围绕电气参数稳定性、信号传输质量、动力输出品质三个维度有序推进。电气控制模块重点检查线路导通状态、元件功耗变化、信号传输完整程度,排查线路氧化、板卡性能衰减、接口接触不良等隐性隐患问题。伺服系统检

测聚焦扭矩输出平稳性、转速控制精度、位置反馈准确度,甄别动力输出不稳、信号反馈滞后等运行缺陷。利用专业检测设备读取系统运行日志,梳理驱动器、电机、反馈元件的性能衰减规律。按照电气回路、控制模块、伺服执行单元的层级逐级排查,精准锁定故障所属结构模块,切实提升数控设备电气与伺服故障排查的整体效率与准确性。

#### 4 数控设备预防性维护技术与实施方式

##### 4.1 数控设备周期性常规养护技术方法

周期性常规养护是数控设备日常运维的核心环节,按照固定时间节奏开展标准化养护作业,维持设备基础运行状态。养护工作主要包含整机清洁、部件润滑、结构紧固与参数核验等基础内容。生产过程产生的粉尘与金属碎屑容易滞留于导轨缝隙、传动结构及电控柜内部,每3天开展一次整机除尘清洁可保障设备散热通畅,减少杂质堆积带来的机械磨损。结合设备运行工况选用适配的润滑介质,精密传动部位每7天补油、每30天彻底换油,减小部件摩擦阻力,保证机械传动过程平稳顺畅。设备长期处于震动工况,各类连接螺栓、装配接头及固定基座容易出现松动,定时检查紧固能够规避结构松动引发的加工偏差<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 设备运行状态动态维护调控方法

设备运行状态动态维护打破固定周期养护的固化模式,结合设备实时工况灵活调整运维内容与养护频次。部件损耗速度会随加工负载强度、连续运行时长和参数波动状态发生改变。生产任务密集、高负载切削持续进行的阶段,构件损耗速度明显加快,适当缩短重点部位养护间隔,及时排查并处理隐性损耗问题。设备开展轻量加工或处于待机状态时,部件损耗进度相对平缓,运维工作可侧重状态监测与数据记录,稳固设备运行基础工况。依托长期积累的运行数据判断部件损耗趋势,针对性开展精度校准、参数修正与性能补偿,让运维工作贴合设备实际损耗特征,提升运维工作的实用性与有效性。

##### 4.3 关键零部件针对性维护技术方法

数控设备关键零部件承担整机主要切削载荷与运动任务,损耗累积更为明显,需要匹配专属的维护方案。丝杠、直线导轨、轴承等传动构件,直接决定设备进给精度,日常运维重点监测磨损程度与配合间隙,根据

精度损耗情况开展调校修复,对磨损超标的构件及时完成更换。主轴作为核心切削部件,定期检测运转跳动、温升变化与转速稳定性,配合动平衡校正作业,保障加工精度持续稳定。伺服电机与驱动元件重点监测运行温升、信号响应速度与动力输出质,及时疏导设备积热,延缓元件性能衰减,减少电气与伺服系统运行异常的出现概率。

##### 4.4 多模块协同预防性维护实施方法

数控设备由多个功能模块共同组成,各系统运行状态相互关联,单一模块养护不到位会逐步造成整机运行失衡。多模块协同预防性维护整合机械传动、电气控制、伺服驱动及辅助系统的运维内容,构建完整的运维体系。结合各模块的结构关联与运行特性,合理排布养护工序,规避单一模块运维滞后引发的连锁损耗问题。梳理各系统耦合运行的损耗特点,对交叉联动部位开展联合检测与统一调校,平衡各模块的运行状态。统一各模块运维标准与作业节奏,弱化系统之间的运行匹配偏差,稳步提升数控设备整体运行稳定性,延长设备实际服役年限。

#### 结束语

数控设备故障问题源于结构损耗、电气老化、参数偏移及多系统耦合失衡等多重因素,故障发展具备渐进性与隐蔽性特点。精准掌握各类故障的形成机制,依托专业化诊断技术捕捉运行异常,可实现隐患的精准定位与科学判别。通过分层落实常态化养护、动态化调控、部件专项维护与多模块协同运维,能够持续优化设备运行工况,抑制故障滋生,提升数控设备运行可靠性,为机械加工生产线长效稳定运行提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]唐前军.数控机床设备管理应用中的故障诊断与维修探究[J].内燃机与配件,2026(2):118-120.
- [2]陈超峰.数控机电设备的故障诊断与维修策略[J].时代汽车,2025(5):28-30.
- [3]杨仕平.数控机床常见故障分析与预防措施研究[J].设备管理与维修,2025(17):46-49.
- [4]蒋良兵.机床数控系统常见故障诊断与维修管理[J].造纸装备及材料,2026,55(3):79-81.