

老旧组合铣床、镗床精度劣化成因及综合校正技术

毛金龙 方智杰

一拖(洛阳)柴油机有限公司 河南 洛阳 471000

摘要: 针对LR缸体生产线老旧组合铣床、镗床长期服役出现的精度衰退、尺寸波动及位置度超差问题,本文开展精度检测与系统性故障溯源。全面剖析机械磨损、工装定位偏差、工艺参数不适配及设备结构疲劳等劣化诱因,配套实施主轴修复、导轨间隙校正、夹具基准调整与工装优化等综合校正工艺。通过多部门协同不停产施工落地应用,有效恢复设备加工精度,稳定零件加工质量,为同类老旧机床精度治理提供工程参考。

关键词: 老旧组合铣床、镗床;精度劣化成因;综合校正技术

引言: LR缸体各生产线铣床、镗床服役年限久,长期承受交变切削载荷与切削热作用,设备基础结构与传动系统逐步老化。机床普遍出现主轴窜动、导轨镶条磨损、定位基准偏移等故障,造成工件平面度、尺寸精度及孔系位置度超标,严重影响生产质量。老旧设备精度劣化诱因复杂,常规调试无法根治问题。本文结合现场检测数据,系统分析劣化机理,研究适配的综合校正技术,保障生产线高质稳定运行。

1 老旧组合铣床、镗床精度劣化现状与检测分析

1.1 生产线设备概况与精度问题统计

LR缸体生产线(四缸线2006年投产,六缸线2014年技改完成)设备普遍老旧,粗加工与半精加工环节精度衰退明显,零件最终精度高度依赖精加工设备。识别出四缸线20序、40序、65序、75序、105序、255序、265序、275序、280序、335序,六缸线40序、95序、205序、220序、225序及副线多台设备需精度提升。

1.2 关键设备精度检测方案设计

确定主轴轴向窜动、导轨镶条间隙、丝杠传动磨损为核心检测指标,采用百分表检测主轴窜动与滑台间隙、三坐标测量平面度与平行度、划线验证定位精度,结合批量零件手检数据采集,统计尺寸偏差规律。

1.3 典型精度劣化故障表现

铣床故障: 20序铣床出现底面扫刀(凸凹 $>0.1\text{mm}$)、顶底面尺寸偏差达 0.22mm 且呈倾斜状态、平面度呈波浪状(塞尺 $>0.1\text{mm}$);40序铣床加工尺寸不稳定,波动范围 $0\sim0.4\text{mm}$ 。镗床故障: 95序/105序镗床泵孔、曲孔、凸轮轴位置度超差(TP达 0.563),X/Z向坐标偏移 $0.1\sim0.25\text{mm}$ 。共性故障: 镶条聚四氟乙烯层磨损导致滑台间隙超差(0.18mm),定位销套间隙达 0.2mm ,重复加工精度差,数据离散度高^[1]。

2 老旧铣床、镗床精度劣化成因系统性分析

2.1 机械结构磨损劣化成因

(1) 主轴系统磨损。 主轴精度劣化是影响加工质量的核心因素。20序铣床东侧铣刀盘主轴存在 0.17mm 轴向窜动,远超正常范围。排查确认锁紧状态及轴承压紧螺母无松动,判定窜动源于轴承滚动体磨损及滚道疲劳剥落,导致径向游隙增大、轴向约束失效。加垫 0.2mm 铜皮后轴向间隙恢复至 0.03mm 。95序镗床泵轴镗头轴承(型号32213)保持架及外圈明显损坏,需更换并重新预紧至有载荷感。主轴窜动降低刀具切削稳定性,引发每齿切削量不均,加剧刀具磨损与表面质量恶化^[2]。

(2) 导轨与镶条磨损。 导轨镶条摩擦副磨损是组合机床精度丧失的最普遍成因。20序铣床西南侧镶条聚四氟乙烯层大面积脱落,滑台横向间隙达 0.18mm (正常 $0.02\sim0.05\text{mm}$)。镶条容纳空间最大空隙 13.5mm ,有效厚度仅 12.42mm ,调整至极限仍存在间隙,滑动面失去补偿作用。40序铣床西南侧镶条聚四氟乙烯板完全磨失,滑动面磨损约 0.05mm ;东南侧尾部仅略见贴片痕迹。导轨面因铁屑侵入与润滑不良产生拉伤,形成台阶状磨损带,滑台移动时产生俯仰与偏摆复合运动误差。铜皮或钢片补偿仅为应急措施,最终需重新贴覆聚四氟乙烯耐磨材料并刮研恢复接触精度。



磨损的导轨滑动面,使用铜材料补偿

(3) 传动机构老化。丝杠传动副长期承受交变切削载荷,丝杠螺母副间隙逐步扩大。20序铣床打表检测丝杠滑台横向间隙量为 0.18mm ,滑台移动过程中存在明显空行程,进给运动与切削力作用不同步,造成刀具相对工件的实际切削位置偏离编程轨迹。此外,通过调整丝

杠滑台减速器挂轮降低工进速度,可在一定程度上抑制传动间隙引发的振动,但无法根除精度损失根源。

2.2 工装定位系统偏差成因

(1) 定位销套磨损与过盈配合失效。夹具定位销套是保证工件在夹具中重复安装位置一致性的关键元件。40序铣床南侧圆柱销套因过盈量过大,采用焊接、敲击、拉拔等近乎破坏的方式才得以取出更换。更换前测量缸体轴向和横向仅插销状态的间隙量为0.2mm,计算可导致位置度达0.5mm的加工误差,与实测理论误差相符。前后销套间隙量使缸体零件定位基准发生位移,加工尺寸在0~0.4mm范围内无规则波动^[3]。(2) 夹具紧固松动与导向套座偏移。95序镗床后端曲孔凸孔导向套座发生整体偏移,导致曲孔后端X向坐标正向偏差0.26mm、凸孔正向偏差0.13mm。检测时拆除定位销,松动紧固螺钉,将夹具整体向东侧敲动0.28mm进行补偿校正。校正后还需对设备主轴箱钻模板水孔、泵孔支撑套和夹具导向套进行换新,以重建夹具定位基准的稳定性。



图1 矫正缸体后端X尺寸数据验证

(3) 毛坯基准误差叠加效应。LR缸体毛坯由多家铸造厂供应,毛坯基准面因铸造工艺差异存在较大离散性。5序加工以毛坯基准面定位,划线验证精度仅不小于0.5mm,毛坯自身偏差直接传递至后续加工工序,与设备精度缺陷形成叠加放大效应,使最终加工尺寸难以稳定受控。

2.3 工艺与运行环境成因

(1) 长期重载运行致结构疲劳。四缸线自2006年投产,六缸线自2014年技改完成,设备已服役11~19年。铸铁机体在长期切削热与交变切削力作用下产生结构性蠕变,床身、立柱、主轴箱等基础件几何精度发生不可逆时效变形,装配基准面贴合度下降,各运动轴垂直度、平行度原始精度丧失。(2) 加工进给参数不合理。20序铣床降低工进速度后扫刀有所改善但刀纹加深,表明进给参数与刀具切削状态不匹配。原工艺参数基于新机状态制定,设备精度衰退后切削力与动态响应特性已改变,沿用原参数加剧切削振动与让刀现象,形成误差

恶性循环。(3) 多标准样件加工增加适配压力。为满足YTN线鉴定件与调试件需求,需同时应对德国BW加工中心与大连设备供应方的不同样件标准,对基准选择、余量分配、检测方法要求各异。老旧设备频繁切换加工状态,缺乏充分热机与精度恢复时间,进一步加剧精度适配压力^[4]。



图2 调整设备尾部旋转导向

3 老旧组合铣床、镗床精度综合校正关键技术与应用

3.1 铣床精度综合校正技术

(1) 主轴精度修复。针对20序铣床东侧底面铣刀盘主轴0.17mm轴向窜动,在确认主轴锁紧状态及轴承内环压紧螺母无松动后,于主轴前端外环补偿垫处加垫0.2mm铜皮,轴向间隙恢复至0.03mm正常范围。同时调整东侧主轴箱及刀盘倾斜角度以解决扫刀问题——拔出主轴箱后端定位销,以前销为轴心敲击转动箱体,最大转动量0.45mm,对应倾斜角调整极限0.1mm。倾斜角调整后台面扫刀改善但刀纹加深,后期通过回调至初始状态取得平衡。经综合修复,顶底面平行度稳定满足 425.85 ± 0.1 mm工艺要求。



图3 加工状态前后调整照片

(2) 导轨间隙校正。20序铣床西南侧镶条滑动面严重磨损,原聚四氟乙烯层脱落,滑台横向间隙达0.18mm。精确测量镶条容纳空间最大空隙13.5mm,镶条有效厚度12.42mm,调整至极限仍存在间隙。在镶条背部垫1mm铜质垫板,调整后横向间隙控制在0.02~0.05mm,经三次空车移动验证间隙均匀性。40序铣床西南及东南两侧镶条采用钢片补偿,理论计算应补偿厚度分别为1.4mm和

1.6mm, 预留0.05mm间隙避免咬死, 安装时压紧螺母压紧后向后移出10mm。(3) 进给系统优化。通过调整丝杠滑台减速器挂轮降低工进速度, 抑制传动间隙引发的切削振动, 改善工件表面质量。

3.2 镗床精度偏差矫正技术

(1) 镗头系统检修。95序镗床泵轴镗头轴承(型号32213)保持架及外圈损坏, 两套轴承全部更换, 预紧至拌动有载荷感, 恢复镗头旋转精度与刚性。(2) 夹具基准矫正。105序镗床后端曲孔凸孔导向套座偏移——曲孔后端X向正向偏差0.26mm、凸孔正向偏差0.13mm。拆除定位销、松动紧固螺钉, 将夹具整体向东侧敲动0.28mm校正。95序镗床尾部旋转导向横向向西调整0.13mm, 松动8条M16内六角螺栓、拔出定位销10mm后轻敲观察百分表变化, 压紧螺钉后量表回位0.02mm, 确认向西位移量0.13mm。(3) 浮动卡头调试。检修浮动卡头确认径向浮动量1.5~2mm, 保证镗杆微量偏移时仍能自适应补偿, 提升孔系加工位置度^[5]。

3.3 工装定位系统优化改造

(1) 高难度销套拆卸与更换。40序铣床南侧圆柱销套因过盈量过大无法正常取出, 采用焊接、敲击、拉拔组合方式破坏性取出, 更换新销套后轴向和横向间隙由0.2mm降至<0.05mm。



更换定位销导向套

(2) 夹具、钻模板与支撑套换新。对设备主轴箱钻

模板水孔、泵孔支撑套及夹具导向套系统换新, 消除长期磨损累积的基准漂移, 重构精准加工定位体系。(3) 耐磨材料贴片预处理。铜皮与钢片补偿属应急措施, 最终方案为滑动面重新贴覆聚四氟乙烯耐磨材料并刮研恢复接触精度, 实现设备精度长效保障。

3.4 多部门协同校正实施体系

(1) 机加车间统筹落地。机加车间作为项目主导单位, 负责设备改造整体统筹、人员调配与现场施工推进, 按设备单元划分、依工作时间顺序落实精度提升。

(2) 三方技术协同。技术工艺部提供工装、夹具、刀具工艺优化及标准核定; 装备保障部参与方案确定与检修技术支持; 质量保障部负责检测方法指导及三坐标数据验证, 形成“工艺—装备—质量”闭环管控。(3) 不停产施工管控。所有校正工作均在保障生产线正常运行前提下推进, 利用设备间隙与换型时段实施精度修复, 确保日常生产任务不受影响。

结束语

本文系统探究老旧组合铣床、镗床精度劣化核心成因, 落实多项精准校正与工装优化技术, 有效解决设备加工精度离散、尺寸超差等现场难题。本次改造采用不停产检修模式, 在保障正常生产的前提下, 显著提升机床加工精度与运行稳定性。后续可建立常态化精度维保机制, 持续优化设备结构状态, 延长老旧设备服役寿命, 持续夯实生产线加工质量与生产效能基础。

参考文献

- [1] 张磊, 王鹏, 刘军. 老旧镗铣床几何精度劣化机理及误差校正方法研究[J]. 机床与液压, 2024, 52(11): 156-161.
- [2] 李洪岩, 赵鑫. 长期服役组合铣床精度衰退规律及修复技术[J]. 机械设计与制造, 2023(09): 289-292.
- [3] 陈曦, 杨明辉. 数控镗铣床热误差与几何误差耦合劣化及补偿策略[J]. 制造技术与机床, 2024(08): 89-94.
- [4] 王浩宇, 孙伟. 老旧机床导轨精度劣化检测与修复校正工艺[J]. 机械工程师, 2025(03): 102-105.
- [5] 刘长福, 周凯. 老旧镗铣床整机精度衰退成因及技改升级方案[J]. 装备制造技术, 2024(05): 134-137.