

过辐射, 对流, 传动等方式传递给机床零部件, 引起机床零部件的温升 ΔT , 使得相应的零部件发生变形 Δ , 导致机床在加工过程中刀具和工件之间产生相对位移 δ , 从而使工件的加工精度下降。主要表现为主轴在热膨胀后发生轴向和径向的位移, 床身温度不均匀会导致整体结构变形, 导轨和滚珠丝杆的热膨胀会导致运动部件的定位精度下降, 工件在加工过程中吸收切削热, 导致尺寸和形状发生变化。以上表现都会引起加工尺寸误差和形状误差。研究表明, 热变形对精密机床精度的影响尤为显著, 占总制造误差的 40% 左右。

3 减少热变形的措施

温度控制通过调节机床温度场, 减少热变形。主要方法包括:

冷却系统优化: 如采用喷雾冷却、主轴水冷等技术, 丝杆中空冷却, 螺母冷却, 甚至是机床铸件液体冷却, 也可以在主轴发热集中的滑枕附件加装轴流风扇来快速将热量带离机床部件, 从而减少热变形, 提高加工精度。

辅助热源补偿: 通过附加人工热源, 调整机床温度场分布, 抵消热变形, 比如配备带加热功能的油冷机等。

环境温度控制: 保持车间环境温度稳定, 避免外部热源对机床的影响, 比如恒温车间, 远离冷热源, 比如远离通风口和大功率电机等。

热平衡: 在加工前进行预热, 使机床达到热平衡状态, 也就是单位时间内输入机床部件的热量与向周围散发的热量保持相等, 物体处于热平衡状态, 从而减少加工过程中的热变形。这个形式是目前比较多采用的方式, 有一定效果, 而且几乎没有成本, 缺点是会占用机床有效加工时间, 一般需要 1 个小时或更多。

热态特性优化设计

通过结构优化设计, 减少热变形提高热亲和性降低对加工精度的影响。例如: 热对称设计: 依据热对称面理论, 优化机床结构, 减少温度场不均匀性。新材料应用: 将热膨胀系数低材料 (如大理石, 复合材料) 注入机床基础件, 减少热变形。

4 温度补偿技术的原理方法及案例

由于上述减少热变形的方式受客观条件制约不容易实现, 比如恒温车间, 结构改变及新材料等且存在上述办法效果有限等原因, 可以实时进行的温度补偿就体现其重要价值。但是由于机床的各种误差有着复杂的特性, 误差的产生是一个动态的过程, 具有分步参数非线性, 时滞的特点, 它的大小从统计角度分析, 其分布是非正态和不平稳的, 误差也往往不是孤立出现的, 而是伴随着热, 力等众多因素, 误差还具有多维度坐标耦合效应, 一个方向发生变化, 其他也会发生变化, 比如当机床滑枕出现热变形产生翘曲, 也就是刀具轴姿态发生了变化, 不是一个单一的刀具轴方向上的位

移量补偿能够完全解决的。本案例主要在工程领域能够快速部署解决现场实际问题, 简化了参考量和模型最大程度兼顾实施效果和效率。

4.1 热误差建模是温度补偿的基础, 常用的方法包括

多元线性回归: 通过建立温度与热误差之间的线性关系, 预测热变形量。

神经网络模型: 利用神经网络的自学习能力, 提高热误差预测的准确性。

鲁棒建模方法: 上海交通大学提出的鲁棒建模方法, 能够有效处理温度场的不确定性。

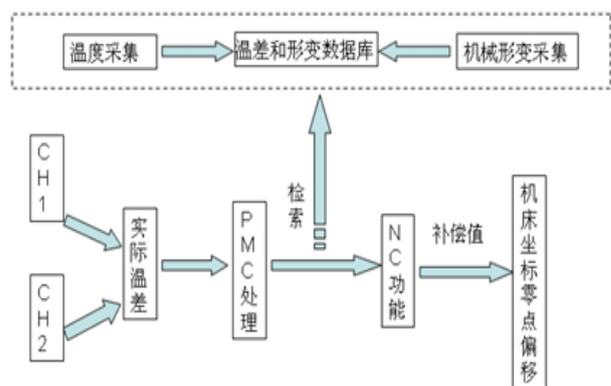
4.2 温度补偿技术的实际应用案例

案例: 立式加工中心 Z 轴热补偿

立式加工中心中, 采用 Pt100 型热电阻实时监测 Z 轴温度变化, 并通过 PLC 的外部零点偏移程序实现自动热补偿, 显著提高了加工精度。本案例是为使用多元线性回归, 建立温度和热误差之间的线性关系, 预测热变形量进行的补偿。

硬件构成: 1: 热敏电阻 2 个。热精度为 0.03 摄氏度。常用的温度传感器有热电阻式温度传感器, 热电偶温度传感器, 数字式温度传感器。其中热电偶式温度传感器的测量精度高, 性能稳定, 使用方便测量范围广, 在高精度常温测量中发挥重要作用。

2: 温度采集模块: 具备多通道最多可以同时采集 6 个温度传感器, 带有实时温度显示功能。支持两线制或三线制的连接方式, 2 个字节, 14 位用于温度采集, 其他用于温度采集状态的监控, 比如温度是否异常是否断开等状态并且通过 I/OLINK 总线和数控机床进行通讯。作用是将热敏电阻的模拟量信号转化成数字量信号, 可以被 PLC 寄存器进行数据处理。



上图所示: 为整体温度补偿方案原理 (温度 - 形变模型), 其中 CH1, CH2 分别为检测室温和机械温度的两个温度传感器。通过温度模块采集温度数据及电涡流传感器或侧头采集主轴端 Z 方向的位移量, 建立温度和位移量的拟合曲线建立温度与形变模型。在进行数据采集前需要分析多种变量的分布, 比如温度传感器的安装位置, 主轴类型, 移动

速度，环境温度，机械特性等等。

D2800主轴前方传感器	D2804主轴侧边传感器	D2808打刀缸	D2812立柱后方传感器单位0.1度	位移输出量/单位um	主轴转速/转/分钟	相对时间/单位分钟	备注 (访录日期, 2022年09月08日)
32.5	32.5	32.7	32.5	0	4000	0	起始值
32.6	32.6	32.8	32.5	0	4000	2	
32.7	32.6	32.9	32.5	2	4000	4	
32.9	32.7	33	32.5	2	4000	6	
33.3	32.7	33.1	32.5	4	4000	8	
33.5	32.8	33.1	32.5	4	4000	10	
33.7	32.9	33.2	32.5	6	4000	12	
33.8	33	33.4	32.5	8	4000	14	
33.8	33.1	33.4	32.5	10	4000	16	
33.9	33.2	33.5	32.5	10	4000	18	
34	33.2	33.6	32.5	11	4000	20	
34.1	33.3	33.7	32.5	12	4000	22	
34.2	33.4	33.7	32.5	13	4000	24	
34.3	33.4	33.8	32.5	14	4000	26	
34.4	33.5	33.8	32.5	15	4000	28	
34.5	33.6	33.9	32.5	16	4000	30	
34.5	33.7	34	32.5	17	4000	32	
34.6	33.7	34	32.5	18	4000	34	
34.7	33.8	34	32.5	18	4000	36	
34.7	33.9	34	32.5	18	4000	38	
34.8	33.9	34.1	32.5	18	4000	40	
34.9	34	34.1	32.5	18	4000	42	
35	34.1	34.2	32.5	18	4000	44	
35.1	34.2	34.3	32.5	18	4000	46	
35.1	34.2	34.3	32.5	18	4000	48	
35.1	34.2	34.3	32.5	18	4000	50	
35.1	34.2	34.3	32.5	18	4000	52	
35	34.3	34.3	32.5	18	4000	54	
35	34.3	34.3	32.5	19	4000	56	
35.2	34.5	34.3	32.5	19	4000	58	总时间1小时6分
35.2	34.5	34.3	32.5	19	4000	60	连续跑30分钟记录数据
35.7	35	34.6	32.4	20	4000	62	

图一：数据采集表

本文采用的是传统的数据表格记录法，优点是系统简单，准备时间短，缺点就是需要人为记录，时间长。后续考虑探头配合宏程序的方式自动记录。

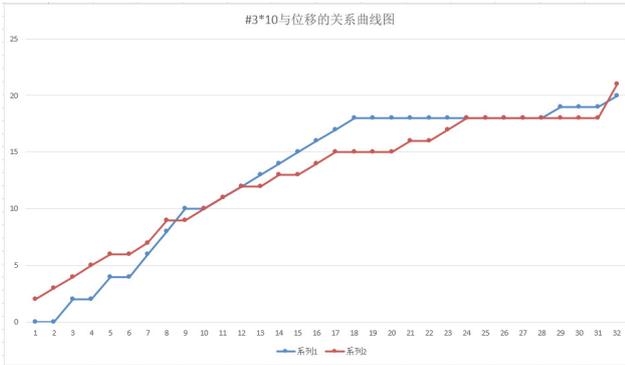


图 2：描点法拟合曲线

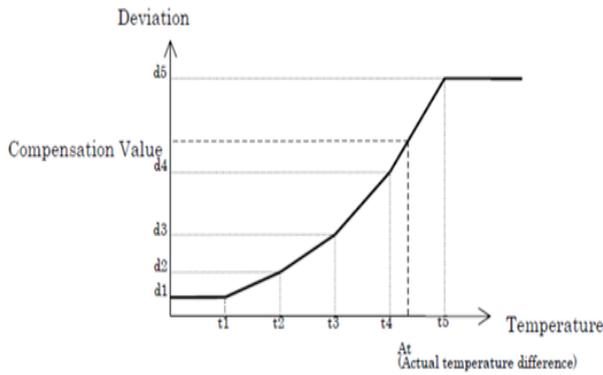


图 3：最后建立温度变化与误差量的函数

$$A d = \frac{(d_5 - d_4) \times (A t - t_4)}{t_5 - t_4} + d_4$$

这里需要特别强调在首台测试时，需要布置对各传感器在机床的不同位置，找出温度变化和热变形量最相关的位置。通多多个位置的热传感器布置，最后发现在主轴箱后侧的温度变化对刀具轴方向的热延伸最敏感，在立上安装温度传感器开关，作为环境的温度的参考量，该温度作为模型偏移的参考量，来应对由于环境温度变化而带了模型调整参数，从而在最大限度下保证模型的适用于各种温度条件。然后建立温度量为横轴，变形量为纵轴的坐标系，通过描点法，在温度 - 变形量坐标系中进行描点，再通过多个点拟合出温度 - 形变曲线，采集的点越多，曲线越精确。通过曲线可以归纳出补偿计算公式，然后再通过 PLC 进行逻辑表达。最后通过机床原点偏置的方式，即通过 i/o 接口平移控制系统的参考原点，并加到伺服环的控制信号中以实现误差量的补偿，这种误差的补偿方式既不影响坐标值也不影响 CNC 控制器上执行的工件程序，不影响操作者的使用习惯。该方案能很好的对机床的加工精度进行补偿。最终通过激光干涉仪检测以及对国标件的实际加工，再进行三坐标测量等过程进行交叉验证，实现了既定目标，整体加工精度可以提升 65% 以上。

5 结论与展望

温度补偿技术在机床热变形控制中具有重要应用价值。通过热误差建模、温度控制和结构优化设计，能够显著减少热变形，提高加工精度。未来在多误差高效检测方法比如现存方法调整困难测量时间长或者测量结构辨识不唯一难于适应现场在线高效高精度的快速检测需求；多误差的综合补偿例如影响加工精度的因素众多且相互影响故需要不同性质误差的综合数学模型并能实现上述误差的解耦补偿；多轴误差的实时补偿比如目前的温度补偿技术多在 3 轴机床上实施，为获得更好的加工精度和补偿结果，多轴机床特别是带有回转工作台或摆头的五轴机床其动态实时补偿的实施和应用必不可少；实时补偿系统的网络化，群控化方向发展例如随着机床数量的不断扩大，传统的误差补偿都是单机版的形式再加上所以的数据采集校验和建模都需要人为完成，工作量巨大能够有一种更灵活，或者快速调整补偿模型的方法会变的迫切需要。相信随着智能化和数字化技术的发展，温度补偿技术将更加精准和高效，为高精度加工提供有力支持。

参考文献

- [1] 基于能量输入与耗散关系的机床一维轴热变形预报研究. 范晋伟;张哲;杨磊;刘栋.航空精密制造技术,2007(03)
- [2] 数控机床的创新. 成宇.百科知识,2006(23)
- [3] 数控机床热误差补偿技术的发展状况[J]. 傅建中;姚鑫骅;贺永;沈洪垚.航空制造技术,2010(04)

Analysis on the safe operation and management of sewage treatment mechanical equipment

Tang Cong¹ Xu Feng² Chen Miao³

1. Wuxi Xishan Environmental Protection Energy Group Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

2. Wuxi Xishan Longting Sewage Treatment Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract

With the continuous strengthening of the country's efforts in environmental protection and the rapid development of the modern sewage treatment industry, the number of sewage treatment plants is constantly increasing. As the fundamental condition for maintaining the good operation of sewage treatment plants, the safety control and management of sewage treatment equipment have become crucial. To further enhance the safety management of mechanical equipment in sewage treatment plants, this article takes a certain sewage treatment plant as an example, analyzes and studies the types of equipment and the causes of faults, and proposes control measures and maintenance suggestions for the safe operation of sewage treatment mechanical equipment.

Keywords

mechanical equipment; fault analysis; safety operation strategy

污水处理机械设备的安全运行管理分析

唐聪¹ 徐峰¹ 陈淼²

1. 无锡市锡山环保能源集团有限公司, 中国·江苏 无锡 214000

2. 无锡市锡山区龙亭污水处理有限公司, 中国·江苏 无锡 214000

摘要

随着国家对环保工作力度的不断加大,以及现代化污水处理行业的快速发展,污水处理厂数量不断增加,污水处理设备作为污水处理厂维持良好运行状况的基础性条件,设备的安全控制与管理成为至关重要的内容。为进一步加强污水处理厂机械设备的安全管理,本文以某污水处理厂设备故障及维修数据为基础,通过对高频故障率机械设备种类和多发频次故障原因进行统计分析,同时对设备可能发生的生产安全事故进行研究,进而提出污水处理机械设备安全运行的管控措施及维护建议。

关键词

机械设备; 故障分析; 安全运行策略

1 引言

随着国家对环保工作力度的不断加大,以及现代化污水处理行业的快速发展,污水处理厂数量不断增加,污水处理设备作为污水处理厂维持良好运行状况的基础性条件,设备的安全控制与管理成为至关重要的内容。目前污水处理厂的设备种类多,机械化、自动化程度高,保障设备的安全正常运行,是实现污水处理厂稳定运转的重要手段和关键因素。

2 污水处理过程的主要设备类型

某污水厂污水处理过程涉及机械设备种类近 75 种,大体可分为专用设备、电气设备和通用设备三类^[1]。

专用设备包括潜水排污泵、干式排污泵、回转式粗格栅、

转鼓式(精)细格栅、螺旋输送压榨机、无轴螺旋输送机、罗茨鼓风机、桁车式吸泥机、立式浆叶搅拌机、污泥螺杆泵、潜水搅拌机、潜水推流器、硝化液回流泵、中心转动刮吸泥机、中心传动浓缩机、进泥螺杆泵、絮凝剂投加泵、刮渣机、生物除臭装置、除臭风机等。

电气设备包括干式电力变压器、高压柜、低压柜、交直流电动机、照明设备、启动开关设备、避雷设备等。

通用设备包括立式多级离心泵、卧式离心泵、卧式稳压罐、计量泵、起重机、电动葫芦、安全阀、离心机、手(电)动闸阀、蝶阀、止回阀、手(电)动堰门等。

3 污水处理机械设备故障及原因统计分析

根据某污水厂 2023-2024 年的故障及检维修记录,归纳统计出故障设备共计 25 项,设备故障问题共计 68 项,总计设备故障发生频次为 207 次。

【作者简介】唐聪(1989-),女,中国辽宁锦州人,硕士,注册安全工程师,从事设备安全管理研究。