

# 数控车床噪声源识别、分析与降噪设计的理论研究

张吉华 马延圣

杭州优加机械有限公司 浙江杭州 310000

**【摘要】**数控车床是装备制造领域的核心加工设备，运行中产生的噪声，既损害操作人员身心健康，又反映设备运行异常、制约加工精度提升。传统噪声控制手段因未系统开展噪声源识别与机理分析，降噪效果欠佳且缺乏针对性。本文依托声学理论与机械振动原理，搭建起“噪声源识别-特性分析-降噪设计”的完整理论架构。深入剖析数控车床主要噪声源的产生机理与传播规律，详述噪声源识别的核心理论方法及信号处理逻辑，构建基于噪声传播路径阻断与振动能量衰减的降噪设计理论框架。研究证实，精准识别噪声源并分析其机理是降噪设计关键，多维度降噪理论协同运用，能有效控制数控车床噪声，为提升设备运行稳定性与作业环境质量提供理论依据。

**【关键词】**数控车床；噪声源识别；噪声分析；降噪设计；声学理论；振动能量衰减

Theoretical Research on Noise Source Identification, Analysis and Noise Reduction Design for CNC Lathe

Zhang Jihua Ma Yansheng

Hangzhou Youjia Machinery Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang Province 310000

**【Abstract】** CNC lathes serve as core processing equipment in manufacturing industries. The operational noise generated not only compromises operators' physical and mental health but also indicates equipment malfunctions and hinders precision improvement. Traditional noise control methods have demonstrated limited effectiveness and lack specificity due to insufficient systematic noise source identification and mechanism analysis. This study establishes a comprehensive theoretical framework encompassing "noise source identification-characteristic analysis-noise reduction design" based on acoustic theory and mechanical vibration principles. Through in-depth analysis of noise generation mechanisms and propagation patterns in CNC lathes, we detail core theoretical methodologies for noise source identification and signal processing logic, while developing a noise reduction design framework grounded in noise propagation path interruption and vibration energy attenuation. Research confirms that accurate noise source identification and mechanism analysis constitute critical elements of noise reduction design. The synergistic application of multidimensional noise reduction theories effectively controls CNC lathe noise, providing theoretical foundations for enhancing equipment operational stability and work environment quality.

**【Key words】** CNC lathe; noise source identification; noise analysis; noise reduction design; acoustic theory; vibration energy attenuation

## 一、引言

数控车床在高速、高精度加工时，会因机械振动、流体扰动、电磁激励等产生复杂噪声。这些噪声既破坏作业环境，损害操作人员听觉健康、降低工作效率，还可能暗藏设备部件磨损、装配偏差等异常信息，影响加工精度与设备寿命。传统被动降噪手段，如加装隔音罩，因缺乏对噪声源的精准定位与机理分析，效果不佳，难以从根源解决问题。当下制造业对作业环境与设备管控要求提高，亟需建立噪声源识别、分析与降噪设计理论体系，实现根源性降噪，这对改善环境和保障健康意义重大，也能为设备优化运维提供参考。

## 二、数控车床噪声源特性与产生机理

### 2.1 数控车床噪声源的分类与核心特性

数控车床噪声源有多源性、耦合性与工况依赖性，按产生机理分机械、流体动力和电磁噪声三类。图 1 用不同颜色分区标注，清晰呈现三类噪声源分布：机械噪声是主要噪声源，对应图中蓝色机械系统，源于主轴等零部件振动与摩擦冲击，特性与部件结构刚度等因素相关；流体动力噪声对应绿色流体动力系统，由流体不规则流动等引发，强度与流体流速等有关；电磁噪声对应红色电磁源，由电机电磁力周期性变化产生，不同噪声源相互耦合，形成复杂噪声场。

## 数控车床结构示意图

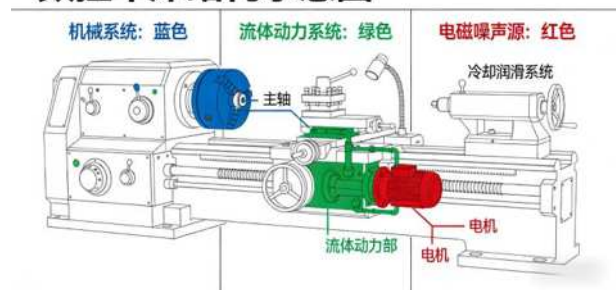


图 1 数控车床结构示意图

### 2.2 主要噪声源的产生机理解析

机械噪声核心机理是“振动激励-结构辐射”。主轴系统中，主轴与轴承间隙偏差、滚动体不规则运动引发周期性振动，经主轴箱辐射噪声，主轴不平衡会增大其幅值；进给传动系统里，滚珠丝杠与螺母啮合间隙、齿轮齿面误差产生摩擦冲击，使传动部件振动生噪，速度提升噪声频率向高频偏移。流体动力噪声与流体状态有关，油液压力脉动引发管路振动生噪；电磁噪声源于电磁力波激励，电机定子铁芯振动及磁致伸缩会加剧噪声。

### 2.3 噪声的传播路径与耦合规律

数控车床噪声传播路径分空气传播与固体传播两类，交织成复杂网络，图 2 用箭头与分区清晰呈现其耦合过程：

空气传播如蓝色箭头所示,噪声借空气扩散,如主轴箱机械噪声、冷却系统流体噪声以此传播,能量随距离衰减且受障碍物反射、衍射影响;固体传播如红色箭头所示,振动能量经零部件、基座传递后辐射到空气中,能量衰减慢、传播远。不同噪声源路径在耦合区叠加,如噪声源1振动经固体传至床身引发二次噪声,噪声源2经固气耦合辐射,让噪声场更复杂。

### 数控车床噪声传播路径示意图



图2 数控车床噪声传播路径示意图

### 2.4 传统噪声控制的局限与理论优化需求

传统数控车床噪声控制多靠被动防护,缺乏对噪声源的系统识别与机理分析,局限明显。加装隔音罩、铺设吸声材料等被动手段,只能衰减空气传播的噪声,难阻断固体传播,效果不佳。且未精准定位主要噪声源,降噪措施缺乏针对性,常“全面覆盖”,成本高,还可能影响设备散热、维护等功能。如今对噪声控制精度要求提高,亟需优化控制逻辑,构建“识别-分析-设计”体系,实现从“被动防护”到“根源控制”的转变,提升效果、降低成本。

## 三、数控车床噪声源识别的理论基础

### 3.1 噪声源识别的核心内涵与理论框架

数控车床噪声源识别的核心,是借助声学测量与信号分析,精准定位噪声源头,明确各噪声源的强度、频率特性及贡献度,为后续分析与降噪设计提供依据。其理论框架以“信号采集-特征提取-源定位-贡献度分析”为逻辑主线;用声学传感器采集噪声信号,全面反映噪声场特性;通过信号处理技术提取频率等特征参数;基于声学理论与算法确定噪声源位置;量化各噪声源对总噪声的贡献比例。此框架突破经验判断局限,保障了识别的精准可靠。

#### 不同信号相干分析结果

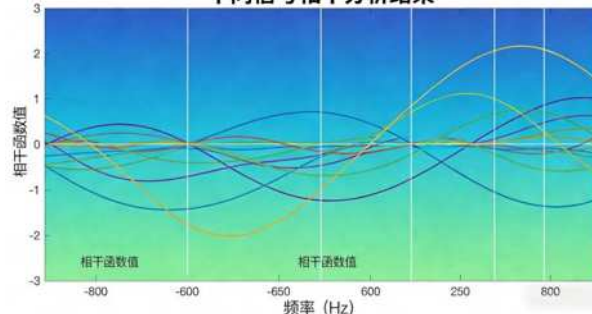


图3 不同信号相干分析结果

### 3.2 噪声源识别的核心理论方法

数控车床噪声源识别综合运用多种声学及信号处理理论方法,核心有声强法、频谱分析法、相干分析法及盲源分离法。图3“不同信号相干分析结果”直观呈现相干分析法:声强法测声强矢量,可精准定位复杂环境中主要噪声源并量

化强度;频谱分析法经傅里叶变换,依特征频率识别噪声类型;相干分析法借相干函数值曲线判断信号关联性,明确传播路径与源头;盲源分离法能在未知噪声源特性时,从混合信号中分离独立噪声源,适用于复杂多源场景。

### 3.3 噪声信号处理的关键理论逻辑

噪声信号处理作为噪声源识别的核心环节,关键理论逻辑围绕“去噪-特征强化-信息提取”展开,旨在从复杂混合信号里提取有效噪声源信息。信号去噪依据滤波理论,用小波滤波、自适应滤波等方法,剔除环境干扰与测量噪声,留存设备噪声相关信号;特征强化借助信号放大、频谱校正等技术,凸显不同噪声源信号特征差异;信息提取通过峰值检测、谱线分析等,提取关键信息,建立映射关系。处理时要兼顾信号完整准确,保障噪声源精准识别。

### 3.4 噪声源识别的精度保障理论

噪声源识别精度对后续分析与降噪设计效果影响显著,其精度保障理论包含测量系统校准、测量点优化布置、信号分析方法适配三个维度。测量系统校准利用标准声源校准声学传感器及数据采集设备,确保数据精准;测量点优化布置依据声场分布理论,结合车床结构,在噪声辐射强、关键部件附近及传播路径合理布点,全面捕捉信号、消除盲区;信号分析方法适配则按噪声源类型与复杂程度选方法,提升识别精度。

## 四、数控车床噪声的分析机理

### 4.1 噪声分析的核心目标与理论逻辑

数控车床噪声分析旨在噪声源识别基础上,深入探究各噪声源的产生机制、影响因素与演化规律,明确噪声强度和与设备运行参数、结构特性的关联,为降噪设计提供理论依据。其理论逻辑以“源特性分析-影响因素建模-演化规律推导”为主线:源特性分析明确噪声本质特征;影响因素建模量化参数对噪声的影响程度;演化规律推导预判噪声变化方向。噪声分析是多维度、系统性机理探究,能为降噪设计提供精准、可靠的理论支撑。

### 4.2 机械噪声的分析机理

机械噪声分析机理聚焦“振动-噪声”耦合关系,核心在于解析振动激励和噪声辐射的内在联系。主轴系统噪声上,分析主轴转速、轴承类型等参数与噪声频率、幅值的关联,明确主轴不平衡、轴承磨损等因素的影响,如转速升高会使噪声频率向高频偏移,轴承间隙增大则噪声幅值明显上升。进给传动系统噪声重点探究滚珠丝杠等参数关联及啮合冲击机制,同时考量结构辐射特性,避免共振致噪声幅值剧增。

### 4.3 流体动力噪声的分析机理

流体动力噪声分析机理基于流体力学理论,核心是解析流体流动状态、压力波动关系及压力波动转化为噪声的过程。对于冷却润滑系统噪声,要分析油液粘度等参数与噪声的关联,探究湍流、冲击产生压力脉动的机理及管路结构影响,如流速、弯头数量对噪声的作用;液压系统噪声重点分析液压泵排量等参数关联及吸排油周期性致噪机制。同时,考虑流固耦合作用,压力脉动引发结构振动辐射二次噪声。

### 4.4 电磁噪声的分析机理

电磁噪声分析机理基于电磁学与振动理论,核心在于解析电磁力激励和结构振动辐射噪声的关联。电机运行时,定子绕组交变磁场产生周期性电磁力,频率取决于电机极对数与转速,会引发定子铁芯振动并经壳体辐射噪声。分析要重

点探究电磁力产生机制及其与噪声强度的量化关系,如电机负载增加会提升电磁力幅值与噪声强度,磁致伸缩效应也会加剧振动噪声,同时还要考量电磁干扰及噪声耦合规律。

## 五、数控车床降噪设计的理论逻辑与实现路径

### 5.1 降噪设计的核心思路与理论依据

数控车床降噪设计遵循“源头控制-路径阻断-终端防护”的协同管控理念,理论依据涉及声学、振动控制及结构优化理论。源头控制直击噪声根源,通过优化设备结构、提高装配精度、改善润滑等方式,减少噪声源的振动激励,降低噪声强度;路径阻断借助优化布局、使用隔振材料、设计降噪屏障等手段,阻断传播路径、衰减能量;终端防护利用吸声材料、隔音罩等,进一步衰减环境噪声,保护操作人员,构建全面稳定的降噪体系。

### 5.2 源头控制的降噪设计机理

源头控制作为降噪设计核心,其机理基于“振动抑制-噪声削减”关联,从根源减少噪声。结构优化上,提升主轴、进给传动系统刚度以减少振动激励;优化齿轮等传动部件齿形、螺距设计,降低啮合冲击与摩擦振动;选用阻尼特性佳的材料增强能量衰减。装配精度控制上,严控主轴与轴承间隙、齿轮啮合精度,减少装配偏差致振。运行参数优化上,合理匹配主轴转速等参数防共振,优化冷却润滑系统油液参数减流体噪声,实现噪声大幅削减。

### 5.3 路径阻断的降噪设计机理

路径阻断的降噪设计机理依据噪声传播规律,在传播路径上设障或用衰减材料实现噪声能量衰减。空气传播路径方面,设计降噪屏障、优化设备布局阻挡噪声直接传播,在噪声辐射强部件表面铺泡沫塑料等吸声材料,利用孔隙结构吸收能量。固体传播路径上,采用橡胶隔振垫等隔振元件阻断振动传递,减少结构辐射噪声,在设备基座与床身间设阻尼层,利用其耗能特性衰减振动传递效率。此方法实施灵活、成本可控,是重要降噪补充手段。

### 5.4 多维度协同降噪的理论逻辑

数控车床噪声是多源、多路径耦合产生的,单一降噪难以理想效果,需构建多维度协同降噪逻辑。其核心是结合噪声源特性与传播规律,有机融合源头控制、路径阻断、终端防护等手段,实现优势互补。如主轴系统机械噪声,优化主轴结构、提升装配精度从源头控制,在主轴箱与床身间设隔振元件阻断路径,箱表面铺吸声材料终端防护;流体动力噪声则优化管路、控流速源头控制,用阻尼管路、隔音罩阻断路径。协同降噪要依噪声分析明确实施优先级与适配场景。

## 六、降噪设计的应用价值与保障体系

### 6.1 核心应用价值:作业环境与设备性能协同提升

### 参考文献

- [1]尹阔,吴慧敏.基于频谱分析的高速车床噪声分析与控制[J].金属加工(冷加工),2023(2).
- [2]曾汉祥.数控车床故障分析及维修措施[J].造纸装备及材料,2022,51(6).
- [3]张建,张帆.数控车床加工工装——工作台的噪音分析与控制[J].科学与信息化,2020(13).
- [4]李鑫,陈帅,何强,等.数控机床快移速度与加速度提升引发噪声设计优化[J].制造技术与机床,2025(6).

数控车床降噪设计核心应用价值在于协同提升作业环境质量与设备运行性能。有效降噪能大幅降低作业环境噪声,保护操作人员听觉健康,提升工作舒适度与效率。同时,优化设备结构、提升装配精度可减少振动激励,增强运行稳定性,降低部件磨损,延长设备寿命。此外,噪声源识别分析能及时发现问题异常,为精细化运维提供依据,减少停机损失,提升加工精度与生产效率,实现“环境优化-设备提质-效率提升”的多赢。

### 6.2 技术保障:降噪设计的实施规范

降噪设计有效实施,要靠完善的技术保障体系,核心有噪声源识别规范、分析方法标准及设计验证流程。识别规范明确声学测量设备校准要求、测量点布置原则与信号采集参数,保障识别精准;分析方法标准规范各类噪声分析流程与建模方式,确保分析科学;设计验证流程借声学仿真,验证降噪效果、评估对设备性能影响,保证方案可行合理。该体系能规范实施、提升结果可靠性,为降噪提供核心支撑。

### 6.3 管理保障:全生命周期的噪声管控

降噪设计效果依赖全生命周期管理保障,需对设计、制造、运行维护全过程进行噪声管控。设计阶段,将降噪需求融入整体方案,建立专项评审机制,保证设计系统性;制造阶段,严控零部件加工精度与装配质量,防止因偏差致噪声反弹,确保降噪设计落地;运行维护阶段,建立噪声状态监测机制,定期评估噪声变化,及时排查异常、调整策略,维持降噪效果。全生命周期管理突破传统模式,实现降噪效果的持续优化与巩固。

## 七、研究结论与展望

### 7.1 研究结论

本文基于声学与机械振动原理,系统研究数控车床噪声源识别、分析及降噪设计理论体系,得出主要结论:一是数控车床噪声源具多源、耦合性,分机械、流体动力、电磁三类,其产生与设备结构振动等相关,传播路径有空气和固体两种;二是噪声源识别按“信号采集-特征提取-源定位-贡献度分析”逻辑,用声强法等定位要保障测量与信号处理精度;三是噪声分析要明确关联规律;四是降噪设计需构建多维度协同体系并协同保障。

### 7.2 研究展望

本文成果为数控车床噪声源识别、分析及降噪设计提供理论支撑,未来可深化以下方向研究:一是融合智能化识别与分析方法,引入机器学习算法构建映射模型,提升噪声源识别精准度与效率,预判噪声变化趋势;二是开展新型降噪材料与结构应用研究,探索新型复合材料、仿生结构应用,兼顾降噪与轻量化;三是进行多设备协同降噪研究,构建车间级整体降噪体系;四是开展绿色低碳降噪设计研究,实现噪声控制与节能降耗协同,推动装备制造绿色发展。