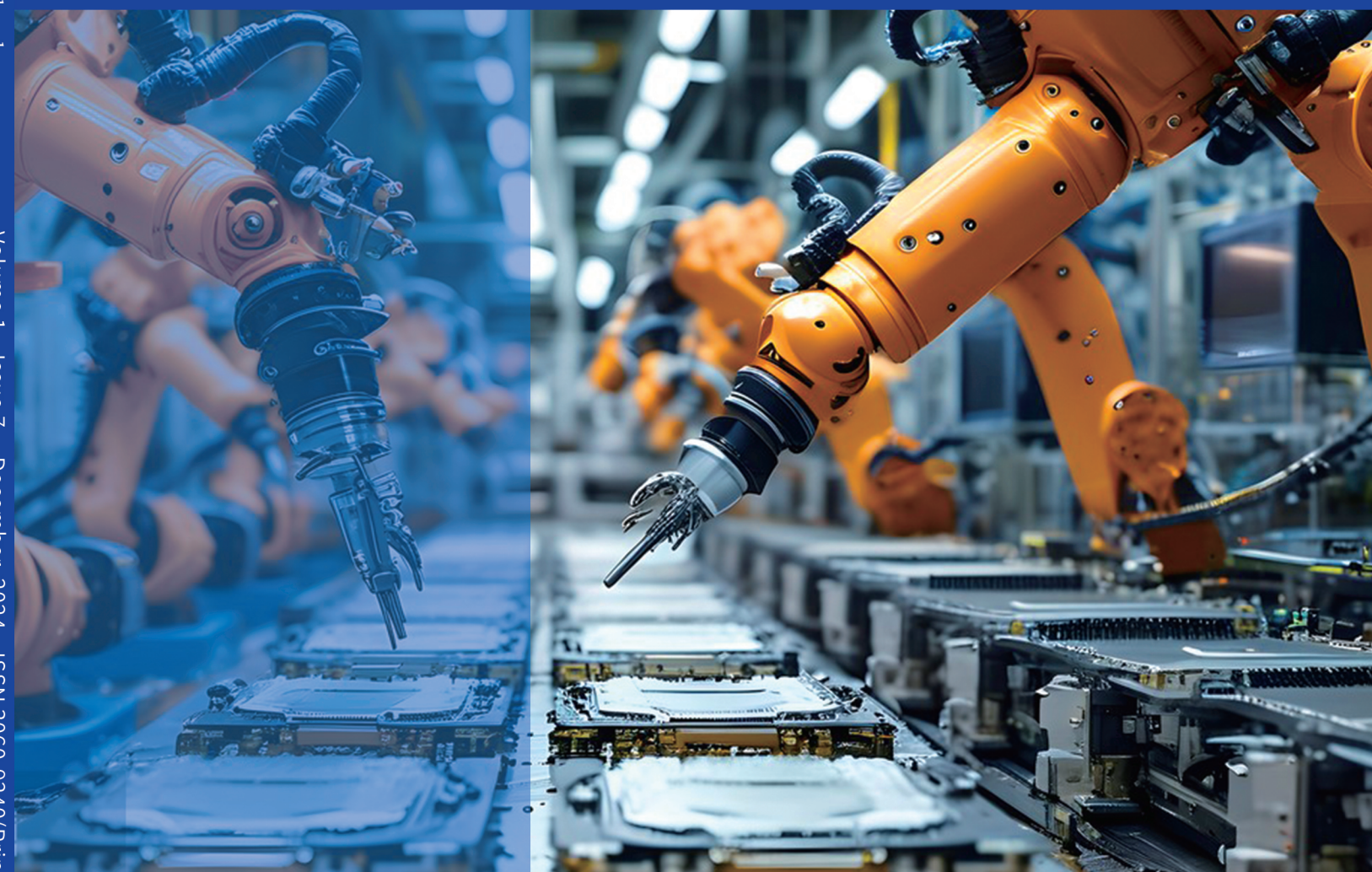


现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1 • Issue 7 • December 2024 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.: +65 62233839

E-mail: contact@nassg.org
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

中文刊名：现代工业与技术

ISSN：3060-9240（纸质） 3060-9259（网络）

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/mit-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Modern Industry and Technology

ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/mit-cn

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《现代工业与技术》征稿函

期刊概况：

中文刊名：现代工业与技术

ISSN：3060—9240（Print） 3060—9259（Online）

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/mit-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word

· 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符

· 测量单位：国际单位

· 论文出版格式：Adobe PDF

· 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）

· 纸质版出刊

· 出版社进行期刊存档

· 新加坡图书馆存档

· 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录

· 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；

· 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；

· 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；

· 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部 and 主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

Database Inclusion



版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.

12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: http://www.nassg.org



现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1·Issue 7· December 2024·ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(online)

编委会

主 编

蒋 晶 郑州大学

编 委

李伟锋 华东理工大学

李 硕 重庆理工大学

李益国 东南大学

高学金 北京工业大学

1	立式钢琴弦锤不回弹原因及解决：键盘高度、锁条、卡钉分析	/ 熊昌 刘野
	/ 何永芳	26 模块化设计在现代机床制造中的作用
4	低温环境下移动加氢站的技术创新与控制方法研究	/ 张显辰 高亮
	/ 王璿磊 张明明	29 重型数控机床装配工艺可靠性保障方法的研究
8	数控机床机械结构设计和制造技术优化探讨	/ 赵永超 申久祝
	/ 曹向东	32 针对高温合金材料的专用涂层刀具在切削中的性能及对加工表面完整性的影响
11	乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头开裂原因分析	/ 梁昊
	/ 康林博	35 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制及成果分析
14	数控机床机械结构设计与制造技术的研究探讨	/ 牛聪
	/ 高亮 张显辰	38 挥发性有机物（VOCs）在线监测技术在工业废气治理中的应用
17	数控机床液压系统分析与装配工艺实践	/ 向文平 蒋杨 刘海洋
	/ 刘野 熊昌	41 物联网与 AI 技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中的运用思考
20	数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试	/ 聂春梅
	/ 申久祝 赵永超	
23	机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨	

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Reasons for Non-rebound of the Hammer in Vertical Piano and Solutions: Analysis of Keyboard Height, Lock Bar and Capstan
/ Yongfang He | 23 | Discussion on the new dynamics of machine tool mechanical structure design and manufacturing technology
/ Chang Xiong Ye Liu |
| 4 | Research on technological innovation and control method of mobile hydrogenation station in low temperature environment
/ Jinlei Wang Mingming Zhang | 26 | The role of modular design in the modern machine tool manufacturing
/ Xianchen Zhang Liang Gao |
| 8 | Discussion on mechanical structure design and manufacturing technology optimization of CNC machine tool
/ Xiangdong Cao | 29 | Study on reliability guarantee method of heavy CNC machine tool
/ Yongchao Zhao Jiuzhu Shen |
| 11 | Analysis of the causes of cracking of welded joints of raw material preheating pipelines of ethylene cracking furnace
/ Linbo Kang | 32 | Performance of specialized coated cutting tools for high-temperature alloy materials in cutting and their impact on surface integrity during machining
/ Hao Liang |
| 14 | Research on mechanical structure design and Manufacturing technology of CNC machine tools
/ Liang Gao Xianchen Zhang | 35 | Quality control and results analysis of P91 high-pressure pipeline welding of ethylene plant
/ Cong Niu |
| 17 | Practice of hydraulic system analysis and assembly process of CNC machine tool
/ Ye Liu Chang Xiong | 38 | Application of volatile organic compounds (VOCs) online monitoring technology in industrial waste gas treatment
/ Wenping Xiang Yang Jiang Haiyang Liu |
| 20 | Assembly process and debugging of mechanical components in CNC machine tool manufacturing
/ Jiuzhu Shen Yongchao Zhao | 41 | Thoughts on the application of Internet of Things and AI technology in real-time monitoring and intelligent early warning of oil and gas pipeline leakage
/ Chunmei Nie |

Reasons for Non-rebound of the Hammer in Vertical Piano and Solutions: Analysis of Keyboard Height, Lock Bar and Capstan

Yongfang He

Xinghai Conservatory of Music, Guangzhou, Guangdong, 510500, China

Abstract

The non-rebound of the hammer in a vertical piano is a common mechanical malfunction, which severely affects the performance effect. Through three key parameters, namely the height of the keyboard, the position of the lock bar, and the status of the capstan, this paper deeply explores the generation mechanism of the non-rebound problem of the hammer and provides effective solutions based on actual maintenance cases. By elaborating on the structure of the action mechanism, this paper intends to provide theoretical basis and practical guidance for piano maintenance, assisting piano users in better understanding and resolving this issue. In addition, this article particularly emphasizes the importance of regular maintenance and inspections to prevent such malfunctions and ensure that the piano remains in good playing condition over the long term.

Keywords

Non-rebound of Hammer; Keyboard Height; Lock Rail Height

立式钢琴弦锤不回弹原因及解决：键盘高度、锁条、卡钉分析

何永芳

星海音乐学院，中国·广东 广州 510500

摘要

立式钢琴弦锤不回弹是常见的机械故障，会严重影响演奏效果。本文通过键盘高度、锁条位置和卡钉状态三个关键参数，深入探讨了弦锤不回弹问题的产生机理，并基于实际维修案例给出了有效的解决对策。通过对击弦机结构的详细探讨，本文旨在为钢琴维护提供理论依据和实践指导，帮助钢琴使用者更好地理解 and 解决这一问题。此外，本文还特别强调了定期维护和检查的重要性，以预防此类故障的发生，确保钢琴长期保持良好的演奏状态。

关键词

弦锤不回弹；键盘高度；锁条高度

1 引言

立式钢琴作为一种广泛使用的乐器，凭借其紧凑的结构与丰富的音色表现力，在家庭、学校及专业演奏场所中占据重要地位。然而，其内部机械结构的复杂性——由击弦机、键盘联动装置、音槌系统等超过 8000 个精密零件组成——使得长期使用中容易出现各种故障。此中，弦锤不回弹是一个常见且影响较大的问题。根据某乐器维修协会的统计，超过 30% 的立式钢琴在使用五年后会出现弦锤不回弹的现象。

这一问题不仅会导致音符延音异常、触键反馈失真，严重影响演奏效果，还可能因运动链失衡而引发击弦机其他

部件（如制音器、攀带等）的进一步损坏，甚至造成击弦机整体校准参数的永久性偏移。因此，深切钻研弦锤不回弹的成因及其对钢琴机械体系的影响，对优化钢琴保护方案具备重要意义。

本文旨在从键盘高度、锁条高度及卡钉调节等关键机械参数入手，结合环境因素与使用强度，系统分析弦锤不回弹的故障机理，为钢琴维护提供科学的理论依据与实践指导，从而延长钢琴的使用寿命，保障演奏性能的稳定性。

2 击弦机工作原理简介

击弦机是立式钢琴的核心机械部件，其作用是将琴键的下压运动转化为弦锤的击弦动作。击弦机由多个精密部件组成，包括键盘、锁条、卡钉、弦锤等。在钢琴机械传动过程中，当琴键受力下压时，卡钉驱动击弦机联动装置，促使弦锤准确击打琴弦；待琴键复位后，弦锤需在重力与弹簧作

【作者简介】何永芳（2004-），女，中国广东肇庆人，本科，从事立式钢琴弦锤不回弹原因及解决方案研究。

用下迅速回弹至初始位置,以确保下一次击弦动作的精准执行。这一机械运动过程的顺畅程度主要取决于键盘高度、锁条位置精度以及卡钉工作状态三个关键参数的协调性。

3 键盘高度参数对弦锤回弹性能的影响机制研究

3.1 原因分析

作为影响弦锤回弹性能的重要参数,键盘高度的设置尤为关键。键盘高度不一致会导致弹奏时手指施加在琴键上的力度不均匀。某些键可能过高或过低,使得手指需要额外用力或无法充分发力,从而影响弦槌击弦的力度。键高参数的差别性将直接致使弦槌击弦角度产生明显的转变。当击弦角度偏离最佳运动范围区间时,会降低弦槌与琴弦的接触效率,这种非理想的力学接触状态将显著影响弦槌的回弹性能,具体表现为回弹速度降低、运动轨迹不稳定,甚至弦锤不回弹处于“空洞”状态等问题。长期的键高不一致会导致弦槌与琴弦接触位置不均匀,加剧弦槌的磨损,进而影响其回弹性能和使用寿命。

3.2 解决办法

①调整键盘高度:使用专业工具(测量尺)测量每个琴键的高度,确保所有琴键的高度符合标准范围(通常白键的上表皮距底板的垂直距离为64~68mm之间)。一般经验谈,先设立一个合适的调整音区,再校准音区内的第一个白键和最后一个白键的高度,之后以基准键的高度校准这音区内其他琴键高度。②垫圈调整:根据测量结果,在键销或中档处添加或更换适当厚度的呢垫圈或纸垫圈,以调整琴键高度。确保垫圈放置平稳,避免使用过多层数的纸圈,以减少间隙和弹簧效应。如果还有轻微高度不一致,可以将不平的琴键拆出,用磨砂纸打磨几下键销。③键平调整:单个键面如果不平行,有左右倾斜度情况出现,就要用厚尺敲击平衡销钉进行调整。④调整卡钉和托木:根据键高变化,调整卡钉的高度,确保弦槌与卡钉的接触位置正确,不影响弦槌的行程和回弹速度。⑤调整托木与弦槌木芯的距离,使弦槌在弹下琴键时,托木能准确托住弦槌木芯,保证弦槌的正确位置和回弹路径。

3.3 预防措施

①避免重压:不要在键盘上放置重物,避免用力按压或敲击键盘,防止键帽或内部结构损坏。②查抄牢固部件:按期查抄键盘的牢固支撑点,确保没有松动或破坏。③适宜的环境:保持环境的干燥和清洁,避免潮湿和灰尘对键盘造成损害。④避免液体溅入:利用键盘时,阔别饮料和水等液体,避免溅入键盘内部致使妨碍。

4 锁条高度参数对弦锤回弹动力学的耦合影响分析

4.1 原因分析

作为击弦机系统的核心导向部件,锁条(亦称轨杆)的高度参数通过以下四个力学机制对弦锤回弹性能产生决定性影响:

机制一:运动轨迹调控:当锁条高度偏离标准值(国

际标准 ISO 9196 规定为 $12.7 \pm 0.05\text{mm}$) 时,弦锤行程将产生一定路径偏差。这种误差会致使弦锤在回程中偏离理想抛物线轨迹。

机制二:摩擦阻尼效应:弦锤在回弹过程中与锁条或相邻部件产生非设计接触,导致摩擦系数显著增加(实测数据显示可提升 0.15-0.25),同时产生额外的运动阻力,这种机械干涉不仅会使回弹速度降低,还会导致运动轨迹出现随机偏移,严重影响击弦机系统的运动平稳性。

机制三:能量传递优化:锁条高度通过调节弦锤击弦角影响能量转换效率。角度偏差超过 1° 时,弦锤动能损失率将增加 7%~9%,这不仅降低音色纯净度,还会加剧回弹相位延迟。

机制四:耦合影响:当锁条高度偏离尺度值($12.7 \pm 0.05\text{mm}$)时,将引发能量传递效率变低、回弹性能劣化、音质均匀性降低等连锁反应。这种力学耦合效应会显著影响演奏表现力,特别是在快速连奏段落中,可能导致音色不连贯和动态响应迟钝等问题。

4.2 解决办法

①测量与调整:使用游标卡尺或专用量规测量锁条的高度,确保其符合标准范围(弦锤击弦后,弦锤与锁条之间应保持约 1~2mm 的间隙)。根据实测数据,使用大缩调扳手精确调整锁条高度,确保其与弦锤的标准运动轨迹相吻合。

②垫片校准:采用专业垫片镊子在锁条底部添加或更换特定厚度的调节垫片,以实现锁条高度的精准调节。确保垫片放置平稳,避免使用过多层数的垫片,以减少间隙和弹簧效应。

其次,如果在做钢琴调修作业时,发现锁条变形或损坏,则需要根据生产商发布的相关网站购买相应型号的锁条,及时更换新的锁条。

4.3 预防措施

4.3.1 定期检查

①检查锁条高度:确保锁条高度适中,使弦槌在击弦后能够顺畅回弹,并与锁条保持适当的间隙(约 1 至 2 毫米)。

②磨损状态检测:系统检查锁条的磨损程度、形变特征及固定状态,重点关注高频使用区域的异常表征。

4.3.2 调整与修复

①高度调整:如果发现锁条高度不当,使用卡钉扳手进行微调,确保弦槌的运动轨迹和回弹距离符合要求。②磨损修复:对磨损严重的锁条,大概必要改换新的部件。

另外,制止钢琴遭到猛烈震荡或撞击也有助于延长锁条的利用寿命。

5 卡钉工作参数对弦锤回弹性能的作用机理研究

5.1 原因分析

卡钉(又称“顶杆”)是连接琴键与击弦机的关键部件,其高度和状态直接影响击弦机的运动效果。卡钉的主要作用是将琴键的运动传递到击弦机,进而推动弦锤击打琴弦。如果卡钉高度不当或磨损严重,会导致击弦机运动不畅,进而影响弦锤的回弹。特别是在长时间使用后,卡钉可能会因磨

损而变短或变形,无法有效推动击弦机。

5.2 解决方案

卡钉高度检测:起首必要确认卡钉的高度参数是不是合适尺度规格。如果发现卡钉高度不当,可以将卡钉扳手的尖端插入卡钉的调节孔中。如果需要提高锁条高度,则可顺时针旋转扳手,如果需要降低锁条高度,则可逆时针旋转扳手,使其高度恢复到合适的位置。

卡钉更换规范:当检测到卡钉磨损量超过允许公差(通常 $>0.2\text{mm}$)时,应实时改换尺度规格的新卡钉。

回弹性能检测:以标准力度(约 50g)匀速按压琴键,通过目视和触觉双重确认弦槌的回弹状态。确保弦槌活动轨迹合适计划请求,与锁条连接 $0.5\sim 1.0\text{mm}$ 的平安间隙,且无异常摩擦或卡滞征象。

5.3 预防措施

定期维护与润滑:定期对卡钉进行润滑,使用石墨粉、铅笔芯粉末或专用润滑剂涂抹在卡钉的接触面上,减少摩擦。保持钢琴的清洁,避免灰尘和杂物进入键盘内部,减少卡钉与异物摩擦造成的磨损。

材料优化策略:在钢琴选购过程中,建议优先考虑采用高性能材料制造的卡钉组件,例如经特殊处理的合金卡钉或复合材料卡钉。这类升级材料可显著提升耐磨性能(使用寿命提升 $40\%\sim 60\%$),同时降低维护频率。

环境调控方案:将使用环境湿度严格控制在 $40\%\sim 60\%\text{RH}$ 的理想范围内(推荐使用数字式湿度计实时监控)。当环境湿度 $>65\%\text{RH}$ 时,木质卡钉将发生 $0.15\sim 0.3\text{mm}$ 的膨胀变形;而湿度 $<35\%\text{RH}$ 时,则可能出现 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 的收缩间隙。这种尺寸变化将直接影响卡钉的配合精度和使用寿命(研究表明,湿度每偏离标准值 10% ,卡钉寿命将减少 $15\%\sim 20\%$)。

6 综合解决办法

要彻底解决立式钢琴弦锤不回弹的问题,需要从键盘高度、锁条高低和卡钉三个方面进行综合调整。首先,检查并调整键盘高度,确保所有琴键在同一水平线上,必要时更换键垫或调整键床螺丝。其次,检查锁条的高低和水平度,确保其与击弦机部件对齐,必要时更换或调整锁条。最后,检查卡钉的高度和磨损情况,确保其与击弦机其他部件协调,必要时更换或调整卡钉。

在实际调校过程中,这些精密调整作业需要具备专业的理论知识和熟练的操作技能。具体而言:①键盘高度调校:使用数字式高度规(精度 $\pm 0.01\text{mm}$)进行多点测量。经由过程增减琴键均衡销下方的调理纸圈来调节键盘高度。②锁条程度校准:利用扭矩扳手调理牢固螺丝。实行多点位同步校准。③卡钉精密调节:使用专用卡钉高度规(量程 $\pm 2\text{mm}$)进行测量。采用卡钉扳(开口精度 0.02mm)进行微调-必要时更换标准规格卡钉(公差 $\pm 0.03\text{mm}$)。如果问题较为复杂,建议请专业技师进行全面检查和调整,以确保钢琴恢复到最佳状态。

7 典型案例分析与故障诊断

为深入探究弦锤回弹失效的成因及其解决对策,本研究选取了两类具有代表性的故障案例(使用年限分别为3年、5年),通过现场检测、数据采集和故障再现等方法进行系统性分析。

案例一:某品牌立式钢琴在潮湿环境中使用三年后出现弦锤不回弹现象,经检查发现键盘键垫受潮膨胀,锁条轻微变形,卡钉高度不均匀。通过更换防潮键垫、调整锁条和卡钉,问题得到改善。

案例二:另一品牌立式钢琴在使用五年后出现弦锤不回弹现象,经检查发现键盘高度不均匀(最大偏差达 2mm),锁条位置偏移(水平度偏差 1.5°),卡钉磨损紧张(长度削减到 0.8mm)。通过调整琴键高度、调整键床螺丝、更换键垫、调整锁条螺丝和更换卡钉,问题得到彻底解决。

这些案例表明,弦锤不回弹的问题通常是由多个因素共同作用引起的,需要从多个方面进行综合调整。通过建立科学的预防性维护体系,包括定期检查(建议每月一次)、参数校准(精度控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内)和预防性更换(基于使用寿命预测),可显著降低故障发生率(实践表明可减少 $60\%\sim 80\%$),确保击弦机系统长期稳定运行。

8 结论

立式钢琴弦锤不回弹是一个复杂的机械故障,其成因通常与键盘高度、锁条高低以及卡钉状态密切相关。通过系统地调整键盘高度、精确校准锁条位置以及调节卡钉水平位置,可有效解决弦锤回弹异常问题,使击弦机系统恢复最佳工作状态。

本钻研通过典范案例分析与故障诊断,验证了上述调整方式的有效性。然而,弦锤不回弹问题的预防与解决不仅依赖于机械参数的精准调节,还需结合环境因素与使用习惯进行综合考量。例如,环境湿度的波动可能导致木质部件形变,而长期高强度使用则可能加速金属部件的疲劳老化。因此,定期维护与检查是预防弦锤不回弹的关键。建议钢琴使用者每半年至一年请专业技师进行全面保养,包括润滑轴钉、检查卡钉磨损情况、校准键盘与锁条位置等,以确保钢琴的长期稳定运行。

尽管本钻研为弦锤不回弹问题提供了系统的解决方案,但仍存在一定局限性。例如,未充分考虑环境湿度、琴弦张力及使用强度等因素对故障的潜在影响。未来研究可以进一步探讨这些变量与机械故障之间的量化关系,并结合更多实际案例进行验证,以构建更加完善的钢琴维护理论体系与实践指南。

参考文献

- [1] Piano: Acoustics and Mechanic. Askenfelt, A; Janson, E. (1991). Sweden: KTH Royal Institute of Technology.
- [2] 美国注册钢琴技师RPT资格考试教材[M]. Travis, J. 吴红江(译). 美国:乐器杂志社, 2019.
- [3] 钢琴调律-工具的使用-修理工具[J]. 陈重生. 南京艺术学院, 2011.

Research on technological innovation and control method of mobile hydrogenation station in low temperature environment

Jinlei Wang¹ Mingming Zhang²

1. Guohua (Fengning Manchu Autonomous County) New Energy Co., Ltd., Chengde, Hebei, 068350, China

2. Zhongtianhua Hydrogen Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226400, China

Abstract

With the rapid development of hydrogen fuel cell vehicles, the construction and operation of hydrogen refueling stations have become a critical link in the hydrogen energy industry chain. This paper introduces a mobile hydrogen refueling station suitable for low-temperature environments and its control methods, aiming to address the issue of low operational efficiency at traditional hydrogen refueling stations in cold climates. Through technological innovation, this mobile hydrogen refueling station can operate efficiently and safely under extreme weather conditions, providing reliable energy supply for hydrogen fuel cell vehicles. The station employs advanced temperature control systems and modular design to ensure stable hydrogen supply and refueling efficiency even in low-temperature environments. Additionally, its mobility allows it to be flexibly deployed in different regions, especially in remote or harsh climates. This technological breakthrough not only enhances the adaptability of hydrogen refueling stations but also provides significant support for the widespread adoption of hydrogen fuel cell vehicles, promoting further improvements in the hydrogen energy industry chain.

Keywords

mobile hydrogen refueling station; low-temperature environment; technological innovation

低温环境下移动加氢站的技术创新与控制方法研究

王璿磊¹ 张明明²

1. 国华(丰宁满族自治县)新能源有限公司, 中国·河北 承德 068350

2. 中天华氢有限公司, 中国·江苏 南通 226400

摘 要

随着氢能源汽车的迅速发展, 加氢站的建设与运营成为氢能源产业链中的关键环节。本文介绍了一种适用于低温环境的移动加氢站及其控制方法, 旨在解决传统加氢站在低温环境下运行效率低的问题。通过技术创新, 该移动加氢站能够在极端气候条件下高效、安全地运行, 为氢能源汽车提供可靠的能源供应。该加氢站采用先进的温控系统和模块化设计, 确保在低温环境下仍能保持稳定的氢气供应和加注效率。此外, 其移动性特点使其能够灵活部署于不同地区, 尤其适用于偏远或气候恶劣的区域。这一技术突破不仅提升了加氢站的适应性, 也为氢能源汽车的普及提供了重要支持, 推动了氢能源产业链的进一步完善。

关键词

移动加氢站; 低温环境; 技术创新

1 引言

在全球能源危机和环境污染问题日益严峻的背景下, 氢能源及其在汽车领域的应用备受关注。氢能源汽车的发展依赖加氢站建设, 然而传统加氢站在低温环境下存在设备结冰、效率降低等问题, 限制了其推广。针对此, 本文提出适用于低温环境的移动加氢站及其控制方法, 以解决传统加氢

站在低温运行时的困难, 保障在极端气候下的可靠性与稳定性。该研究对推动能源转型意义重大, 为氢能源汽车的广泛应用提供了关键的基础设施支撑。

2 背景技术

当前, 移动加氢站运营受低温环境制约, 面临诸多技术挑战。液驱压缩机技术作为主流, 依赖液压泵站驱动液压油压缩氢气。但低温下, 液压油粘度大幅上升, 致使液压泵站启动效率降低, 压缩机运行性能下滑, 增加启动能耗, 影响氢气供应。站内配备的压力、温度等精密仪表, 在低温

【作者简介】王璿磊(1983-), 男, 中国陕西绥德人, 硕士, 经济师, 从事新能源发电及氢能研究。

中灵敏度与准确性受损，敏感元件性能下降、易出现测量误差，甚至因材料脆化而损坏，威胁加氢站安全运行。极端低温还使材料冷缩，引发机械配合间隙，破坏设备结构完整性与密封性，导致管路、阀门等组件失效，显著增加建设与维护成本。

鉴于此，本发明旨在打造适用于低温环境的新型移动加氢站及控制方法。通过优化设计，解决液压油粘度上升、仪表功能受损、材料冷缩等问题，保障加氢站在极端寒冷气候下稳定、安全、经济运行，拓展其适用地理与气候范围，助力氢能全球推广。

3 移动加氢站技术创新

3.1 整体技术方案

为了让移动加氢站适应低温环境、稳定运行，我们推出全面技术创新方案。其核心是集成先进加热系统与智能控制策略，确保极寒条件下加氢站高效、安全运作。方案涵盖：专为水箱防冻液设计的防爆加热器；将加热后防冻液输至各关键部件的闭环循环系统；保障液压系统低温顺畅运行的液压油温度管理系统。三大系统协同，助力移动加氢站在低温环境下稳定运行。

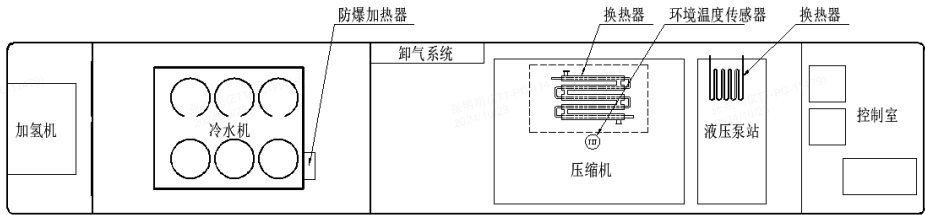


图 1 移动加氢站结构图

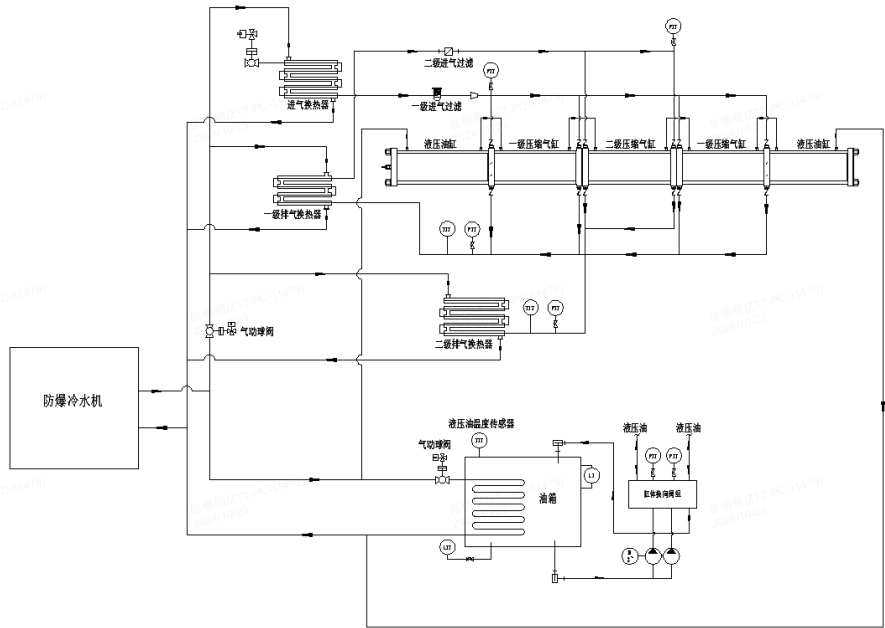


图 2 移动加氢站原理图

3.2 移动加氢站组成及功能

移动加氢站由加氢机、防爆冷水机、卸气系统、液驱压缩机和控制室构成。

加氢机作为与车辆交互的核心，具备计量、计价功能，其控制系统自动把控加氢流程，并与站控系统、汽车加氢通讯接口实时通讯。主要零部件有高压氢气管路、安全附件（气体过滤器、进气阀等）及控制系统、显示器。

防爆冷水机适用于易燃易爆场所，由压缩机组和水冷冷凝器组成。压缩机压缩制冷剂，冷凝器冷却制冷剂，释放热量。

卸气系统负责从长管拖车卸氢，满足外供氢需求。卸气柱有紧急切断功能，可远程控制氢气通断，还能选装质量流量计计量氢气总量。

液驱压缩机借液压油驱动活塞往复运动压缩、输送氢气。液压油由泵提供，经电磁换向阀控制流向。该压缩机结构紧凑、操作与控制简便，成本低。

控制室是加氢站的控制中心，管控所有工艺流程，包含控制机柜等设备，是工业装置控制核心。室内布置设备的控制、信号等装置，设计需保证通风、照明良好，远离强电磁干扰^[1]。

3.3 加热系统设计

3.3.1 防爆加热器的设计

防爆加热器是加热系统核心组件。设计时充分考量安全性与效率：外壳选用高强度材料，配置多重安全阀，具备良好防爆性能，可应对爆炸风险；内部采用高效电热元件，能快速将防冻液加热到所需温度；配备智能温控装置，按需自动调节加热功率，避免能源浪费；经过严格耐寒测试，满足低温环境特殊要求，确保在极端条件下正常运行。

3.3.2 防冻液循环系统

防冻液循环系统的作用是将加热后的防冻液均匀分布到移动加氢站的各个部位，以确保所有关键部件都能得到充分的加热保护。该系统由一组精心设计的管道组成，这些管道连接着防爆加热器、水箱和其他重要设备。当加热器开始工作时，它会先将水箱中的防冻液加热至 5°C ，然后通过循环泵将热防冻液推送至整个系统。为了提高循环效率，我们在关键位置设置了多个分支回路，使得防冻液能够快速到达每一个角落。此外，为了防止热量散失，所有管道都进行了保温处理，并且在接口处使用了高质量的密封材料。这样一来，即便在最寒冷的环境中，防冻液也能保持足够的温度，从而保障整个系统的正常运行。

3.3.3 液压油温度管理

液压油温度管理对于移动加氢站在低温环境下的正常运作至关重要。由于液压油在低温下会变得粘稠，导致泵站启动困难甚至无法启动，因此必须采取措施保持液压油的温度。为此，我们在液压油箱内安装了换热器，当检测到液压油温度低于设定值时（例如 10°C ），换热器入口的气动球阀会自动开启，通过加热后的防冻液将液压油加热至 20°C 以上。同时，我们还设置了温度传感器来实时监测液压油的温度变化。一旦发现异常情况（如温度过高或过低），控制系统会立即发出警报并采取相应的应急措施。此外，为了进一步提高液压系统的可靠性，我们还引入了备用泵和冗余电路设计。这样一来，即使主泵出现故障，备用泵也能立即接管工作任务，确保液压系统的连续运行。通过这些措施，我们可以有效地管理液压油温度，确保移动加氢站在低温环境下始终处于最佳工作状态^[2]。

3.4 工艺流程

3.4.1 当移动加氢站处于长时间不工作状态时

在移动加氢站的压缩机间内，配备了先进的环境温度传感器，以实时监测内部温度。当内部温度降至 -15°C 时，系统会自动激活冷水机的加温程序。此时，内置于冷水机中的防爆加热器将开始对水箱中的防冻液进行加热，以提升整体温度。

随着防冻液温度逐渐升高至 5°C ，冷水机将启动运行，同时，气体换热器管路的气动球阀也会相应打开，而油箱换热器管路的气动球阀则保持关闭。防冻液从水箱流出，依次流经过进气换热器、一级排气换热器、二级排气换热器

以及压缩机缸体，最后再回流至水箱，形成一个闭环的循环系统。

这种精心设计的循环系统不仅能够有效地加热压缩机缸体，提高缸体内液压油的温度，还能确保缸体保持在最佳的工作温度，避免低温对设备造成的潜在损害。同时，流经各换热器的防冻液还能够释放热量，为压缩机间提供温暖，保护其中的仪表和管阀等部件免受金属冷收缩的影响，从而防止泄漏或仪表测量失准的问题。

当压缩机间的温度进一步升高至 5°C 时，冷水机将自动停止运行，同时气体换热器管路的气动球阀也会随之关闭。为了确保温度的稳定性，加热器将延迟 5 分钟关闭。在这 5 分钟内，如果压缩机间的温度再次降至 -15°C ，加热器将继续工作，冷水机和气动球阀将重新启动，防冻液继续循环流动。反之，如果在这 5 分钟内压缩机间的温度能够保持在 -15°C 以上，加热器将关闭。压缩机间的环境温度探测器将持续监测内部温度，一旦温度再次降至 -15°C ，上述加热流程将重复进行，以确保移动加氢站在低温环境下能够稳定、高效地运行。

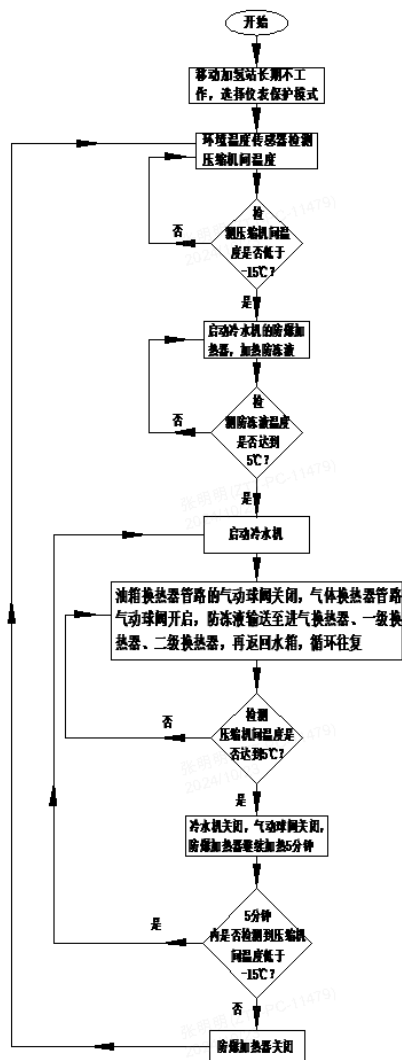


图3 长期不工作时保温流程图

3.4.2 当移动加氢站处于正常工作状态时

当压缩机内的温度传感器检测到温度降至 -5°C 时, 冷水机中的加热程序便会自动启动。此时, 冷水机内部的防爆加热器开始对水箱中的防冻液进行加热。一旦冷水机内的温度传感器检测到防冻液温度升高至 5°C , 冷水机会随即启动, 同时, 气体换热器管路和油箱换热器管路的气动球阀也会同步开启。防冻液从水箱中流出, 分为两路循环。

一路流向进气换热器、一级排气换热器、二级排气换热器，最终环绕压缩机缸体，再循环回流至水箱。这样的循环不仅加热了压缩机缸体，提升了缸体内液压油的温度，还确保了缸体在一个适宜的工作温度下运行，有效防止了低温可能对缸体造成的损伤。同时，流经各换热器的防冻液释放出热量，温暖了压缩机间，保护了其中的仪表和管阀等部件，防止了因金属冷收缩而引起的泄漏或仪表测量失准。当压缩机间的温度回升至 0°C 时，气体换热器管路的气动球阀将自动关闭。

而另一路防冻液则流经油箱换热器，对液压油进行加热。油箱上装有温度传感器，当探测到油温达到 20℃ 时，冷水机会自动关闭，油箱换热器管路的气动球阀也随之关闭，加热器则延迟 5 分钟关闭以保持温度稳定。在这 5 分钟内，如果液压油的温度降至 15℃，加热器将继续工作，冷水机和气动球阀将重新启动，防冻液继续循环。如果液压油的温度保持在 15℃ 以上，加热器将关闭。油箱温度探测器将持续监测油温，一旦温度降至 15℃，上述加热流程将重复执行，确保液压油温度维持在理想状态，从而实现泵站的快速启动和压缩机的顺畅运行^[1]。这一智能温控系统不仅保障了设备在低温环境下的可靠性，也提高了能源利用效率。

4 应用领域

适用于低温环境的移动加氢站，技术意义重大，应用前景广阔。其集成先进防爆加热器与智能温控系统，突破传统加氢站技术瓶颈，能在极端寒冷条件下稳定、高效供应氢气。

在极地及寒带地区，常年低温甚至达 - 40℃，传统固定式加氢站难稳定运行，该移动加氢站却可凭借内置加热与防爆设计，灵活部署，为氢能源车辆持续供能，保障能源供应连续性。高纬度国家如俄罗斯、加拿大，冬季气温极低，常规加氢设施挑战重重，而移动加氢站灵活性高、可快速部署，能随季节与需求迁移调整，实现全年不间断氢气供应。军事和特殊用途场景中，野外作业场所远离常规能源点、环境多变，移动加氢站可依靠自身加热与防爆特性，为设备可靠供氢。应急响应与灾难救援时，传统能源设施易遭破坏，移动加氢站能迅速投入，为救援车辆及关键设备供氢，发挥快速部署与高适应性优势。

总之，此类移动加氢站能满足极地、高纬度国家、特

殊用途及应急响应需求，在极端气候下安全供氢，提升加氢站适应性及可靠性，有力推动氢能全球应用与发展。

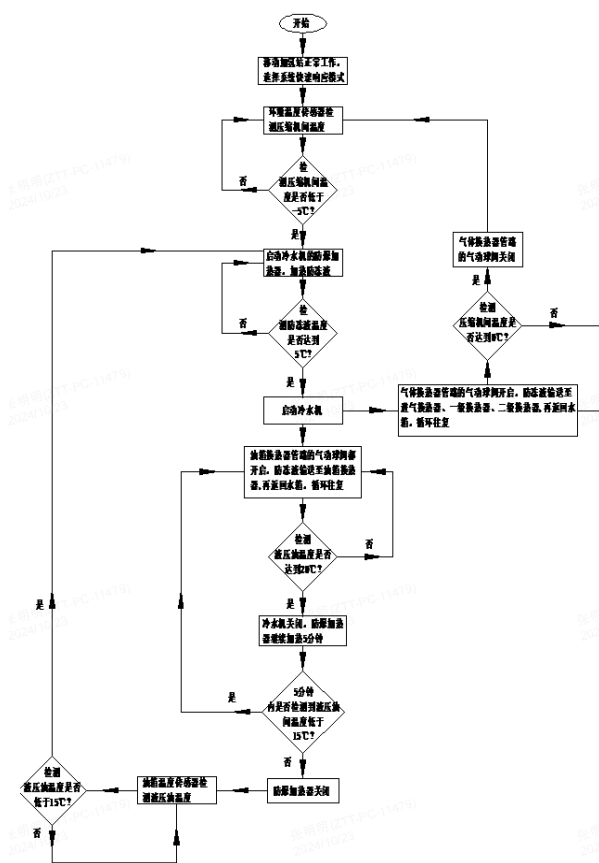


图 4 正常工作时保温流程图

5 结论

通过增设一个防爆加热器，我们能够确保移动加氢站即使在极端低温环境中也能维持正常运行，这一创新举措极大地增强了加氢站的适应性和可靠性。这一巧妙的设计使移动加氢站内部保持在一个适宜的温度范围内，从而降低了对管阀件和仪表件耐低温性能的要求。这不仅简化了选材难度，还显著降低了成本，为客户提供了更为经济高效的解决方案。让设备保持在一个适宜的工作温度，不仅能确保设备始终保持在最佳工作状态，还能显著降低因极寒天气引发的故障率。这不仅延长了设备的使用寿命，也提升了用户的使用体验，进一步增强了移动加氢站在各种气候条件下的竞争力。

参考文献

- [1] 清华大学车辆与运载学院. 氢能出行关键技术研发及冬奥示范[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(1): 1-10.
- [2] 中国航天科技集团六院101所. 液态储氢加氢系统关键技术突破[J]. 航天制造技术, 2023, 42(2): 45-50.
- [3] 中车青岛四方车辆研究所等. 耐低温自动加氢机器人系统开发[J]. 中国铁道科学, 2024, 45(3): 123-129

Discussion on mechanical structure design and manufacturing technology optimization of CNC machine tool

Xiangdong Cao

General Technology Group Shenyang Machine Tool Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

The mechanical structure design and manufacturing technology of CNC machine tools is the key to the performance and reliability of machine tools. This paper expounds the basic principles and common methods of the mechanical structure design of CNC machine tool, and then analyzes the key points in the design, including the transmission system, spindle system, guide rail system and the overall layout of the machine tool. On this basis, put forward the vigorously promote modular design method, actively adopt new materials and new technology, strengthening precision detection and compensation technology and attaches great importance to the reliability design and verification countermeasures and Suggestions, aims to further enhance the technical level of CNC machine tool reference, and promote the CNC machine tool to high-grade, precision, intelligent, green manufacturing direction, provide strong support for the transformation and upgrading of manufacturing industry.

Keywords

CNC machine tool; mechanical structure; manufacturing technology; optimization countermeasures

数控机床机械结构设计和制造技术优化探讨

曹向东

通用技术集团沈阳机床有限责任公司，中国·辽宁 沈阳 110000

摘 要

数控机床的机械结构设计和制造技术是机床性能和可靠性的关键。文章阐述了数控机床机械结构设计的基本原则和常用方法，然后重点分析了设计中需要注意的几个要点，包括传动系统、主轴系统、导轨系统和机床整体布局。在此基础上，提出了大力推广模块化设计方法、积极采用新材料新工艺、强化精度检测和补偿技术以及重视可靠性设计与验证等对策建议，旨在为进一步提升我国数控机床的技术水平提供参考，进而推进我国数控机床向高档、精密、智能、绿色制造方向发展，为制造业转型升级提供有力支撑。

关键词

数控机床；机械结构；制造技术；优化对策

1 引言

数控机床作为现代制造业的重要基础装备，其性能水平直接影响制造业的发展质量。近年来，随着我国工业化、信息化进程不断加快，对高性能、高可靠性数控机床的需求日益增长。机械结构设计和制造技术作为保证数控机床性能和可靠性的关键因素，也备受业界关注。因此，系统分析数控机床机械结构设计和制造技术优化的原则、方法和对策，对于指导数控机床的研发实践具有重要意义。

2 数控机床机械结构设计原则与方法

2.1 设计原则

数控机床的机械结构设计需要遵循一系列基本原则，

以确保机床具有优异的性能和可靠性。首先，设计必须满足机床的功能要求，如工作行程、转速范围、进给速度等，同时要充分考虑工件装夹、上下料及切屑排除等实际工况需求。其次，保证机床精度的稳定性是设计的核心目标之一。设计人员需要通过合理布局结构、优化尺寸配置和选用高品质材料等措施，最大限度地减少机床在受力和温度变化下产生的变形，从而避免加工精度的损失。再者，设计中应采取各种方法提高机床整机及关键部件的刚性，避免共振的发生。优化传动链设计，改善机床的动态响应，对于提升加工质量至关重要。设计还需在满足性能要求的前提下，最大限度地采用标准件和通用件，减少加工难度大的异形零件。最后，先进的设计理念要与成本控制相平衡，以保证机床具有市场竞争力。选用物美价廉的材料和元器件，优化加工工艺，在节约成本的同时还要实现节能环保。

【作者简介】曹向东（1984-），男，中国辽宁沈阳人，本科，助理工程师，从事机床设计与制造研究。

2.2 设计方法

常用的设计方法有参数化设计、模块化设计、拓扑优化设计和可靠性设计等。参数化设计是一种基于产品参数驱动的设计方法。设计人员首先确定机床的关键性能参数和尺寸规格,然后通过计算和优选确定机构方案,再生成三维模型和工程图。该方法可大幅度减少重复劳动,缩短开发周期,特别适用于成熟度高的常规机型设计。模块化设计则是将复杂的机床系统划分为若干功能和制造工艺相对独立的模块,在模块内部进行标准化设计,最后通过预定义接口将模块组合成整机。这种方法使得设计任务系统化、简单化,有利于实现产品族的快速衍生和定制。拓扑优化设计是借助数学模型和优化算法,在约束条件下寻求最优的结构布局形式。可用于实现机床的轻量化设计,在保证强度和刚度的前提下最大限度地减少材料用量,在节约成本的同时改善机床动态性能。拓扑优化设计在大型铸件和焊件的设计中应用日益广泛。可靠性设计强调在设计各个环节引入可靠性分析和控制措施,从源头上提高机床的可靠性水平。常用的方法有失效模式和影响分析(FMEA)、故障树分析(FTA)、可靠性预计等。通过对设计方案进行可靠性评估,识别潜在的薄弱环节,制定针对性地优化措施。在样机试制阶段,还需开展系统的可靠性试验,及早发现问题,持续改进设计。

3 数控机床机械结构设计和制造技术优化要点分析

数控机床机械结构设计和制造技术优化是一项复杂的系统工程,涉及诸多关键要素。设计人员需要重点关注以下几个方面。一是传动系统的优化设计,设计中需要根据机床的类型和功率要求,合理选择齿轮传动、皮带传动或滚珠丝杠传动等方式,并重点提高传动系统的刚度和稳定性。二是主轴系统的设计,作为机床的“心脏”,主轴的转速、功率、刚度等参数决定了机床的切削能力。设计时需要综合考虑轴承配置、防尘防护、冷却润滑等,确保主轴在苛刻工况下能够稳定可靠地运行。三是导轨形式的选择要匹配机床的类型和性能要求,如重载型可选用滚动导轨或静压导轨,高速型可选用滚珠导轨或直线电机。优化导轨的布局和预紧力设计,对提高机床精度至关重要。四是重点强化核心零部件如床身、立柱等的加工精度控制,合理应用铸造、焊接、热处理等工艺,最大限度地消除应力变形。

4 数控机床机械结构设计和制造技术优化的路径探索

4.1 大力推广模块化设计方法

在数控机床行业日益走向数字化、智能化的大背景下,传统的设计和制造模式已经难以适应市场对产品多样化、个性化、快速化的要求。大力推广模块化设计方法,已成为机床企业提升核心竞争力、实现柔性高效生产的必由之路。在数控机床的设计环节,可以将传动系统、主轴系统、导轨系

统、电控系统、安全防护等划分为独立的功能模块,在每个模块内部进行参数化、系列化设计^[1]。例如,在主轴系统的设计中,可以根据不同的功率和转速需求,开发出一系列标准化的主轴单元,包括电主轴、锥度主轴等,每个单元都有统一的安装接口和尺寸规格。就制造和装配环节,模块化生产可以实现标准件的批量化制造,减少加工工序,降低生产成本。如将机床的底座、立柱等结构件设计为标准的铸件模块,采用专用的加工单元进行批量生产。同时,将主轴、刀库、换刀机构等关键功能部件设计为独立的装配单元,在专门的装配线上进行预装和测试,再与机床主体进行集成。模块化设计还有利于产品的在役维护和升级换代。通过合理的模块划分和接口设计,可以实现故障部件的快速诊断和更换,缩短停机时间。当市场需求或技术水平发生变化时,只需对特定的功能模块进行升级或替换,而不需要对整机进行大规模的改动,从而大大延长了产品的使用寿命,降低了用户的使用成本。

4.2 积极采用新材料新工艺

在数控机床的设计和制造中,新材料和新工艺的应用可以说是一个重要的突破口,对于提升机床的性能水平、拓展应用领域具有重要意义。一方面,高强度、高刚性、耐磨损的新型材料可以显著改善机床的动态特性和使用寿命。设计人员应积极追踪材料领域的前沿进展,重点关注高性能合金、复合材料、陶瓷材料等在机床关键功能部件中的应用潜力。例如,采用碳纤维复合材料制造机床导轨,可以大幅降低导轨的动态质量,提高机床的运动速度和加速度,同时还具有良好的减震抑振性能。另一方面,先进的加工制造工艺可以突破传统工艺的瓶颈,实现机床零部件的复杂化、精密化制造^[2]。数控机床生产企业应重点布局增材制造、激光加工、超精密加工等前沿工艺技术,探索其在机床领域的创新应用。例如,采用激光熔覆技术对机床导轨表面进行强化处理,可以显著提高导轨的耐磨性和抗腐蚀性,延长使用寿命。采用3D打印技术制造复杂结构件,可以实现传统工艺难以加工的复杂内部流道和轻量化结构,在降低零件重量的同时提高其性能。此外,材料与工艺的协同创新也是优化数控机床性能的重要路径。设计人员应充分考虑新材料的加工工艺特性,优化零部件的结构设计,实现材料性能的充分发挥。加工工艺的改进和优化也可以扩大新材料的应用范围,突破传统材料的使用局限。例如,采用超声辅助加工、热辅助加工等复合加工工艺,可以显著改善难加工材料的切削性能,提高加工效率和表面质量。

4.3 强化精度检测和补偿技术

在数控机床的精度保障体系中,精度检测和补偿技术可以说是两项最为关键的支撑技术。一则,精度检测是精度控制和改进的基础,只有全面、准确地掌握机床各项误差的来源和规律,才能有针对性地制定优化措施。设计和制造企业应大力强化精度检测技术的研发和应用,建立完善的精度

检测规范和方法体系。例如,采用激光干涉仪、电子水平仪等高精度测量仪器,对机床进行全方位的几何精度测量,并采用球杆仪、R-Test等测量系统测试机床在实际加工过程中的综合误差。在数据处理方面,可以运用机器学习等智能算法,对海量的测量数据进行挖掘分析,准确建立机床误差模型^[3-4]。二则,在获得机床误差规律的基础上,精度补偿技术可以通过主动调节和反馈控制,实时修正机床运动误差,从而显著提升机床的加工精度。数控系统是实现精度补偿的重要载体,设计人员应充分发挥数控系统的软件算法优势,在控制器中集成先进的误差补偿模型和控制策略。例如,针对机床导轨的几何误差,可以采用空间误差补偿技术,通过软件建立机床坐标系与工件坐标系的数学映射关系,实时修正刀具的空间位置坐标。针对主轴热变形引起的刀尖位置漂移,可以采用基于温度场的热误差补偿技术,通过传感器实时采集主轴的温度信号,根据热变形模型动态调整刀尖轨迹,实现纳米级的补偿精度。此外,精度检测与补偿技术的融合创新,也是提升数控机床精度性能的重要方向。设计人员应积极探索在线测量、实时补偿等新型技术,突破传统“测—补—测”的离线补偿模式。如在机床主轴上集成高分辨率编码器,实时测量主轴的角度位置信息,通过闭环控制实现实时补偿。在机床进给轴上集成激光位移传感器,对导轨的实际运动轨迹进行在线测量,通过前馈控制修正进给指令,实现动态跟踪误差的抑制。

4.4 重视可靠性设计与验证

在数控机床领域,确保设备能长期稳定运行的关键所在,便是其可靠性设计与验证环节。此环节贯穿于机床从研发到制造的整个生命周期当中,涵盖了从最初的概念设计一直到最终验证的各个不同阶段,对产品的市场竞争力以及用户满意度有着直接的影响作用。就可靠性设计而言,设计人员可运用故障模式与影响分析(FMEA)的方法,对传动系统、主轴系统、导轨系统等这些关键部件潜在的失效模式予以系统的识别,同时对其严重度、发生频率以及检测难度展开评估,进而制定出具有针对性的预防举措^[5-6]。比如针对主轴轴承这一关键部件,借助FMEA分析能够识别出在高

速运转状况下所出现的温升以及润滑不足等问题,随后在设计环节采用经过优化的冷却通道布局以及自动润滑系统。提高机床可靠性的核心要点在于加强对关键零部件的选型与设计工作。对于像轴承、丝杠、伺服电机等这类对机床可靠性存在影响的关键零部件,应当建立起严格的选型标准以及验证流程。验证设计有效性的重要方式是建立起完善的可靠性试验体系。结合数控机床自身的特点,可以构建起包含加速寿命试验、极限工况试验以及环境适应性试验等在内的综合验证方案。比如能够设计连续切削试验,让其在最大功率以及最高转速的条件下持续运行,以此来模拟在极端使用情形下的性能表现;或者是通过开展温度循环试验,对机床在不同环境温度下的几何精度稳定性以及热变形补偿效果加以验证。

5 结语

数控机床的高性能高可靠性离不开先进的机械结构设计和精益求精的制造工艺。设计人员需要在深入理解机床功能要求的基础上,综合运用各种设计方法和手段,重点做好传动、主轴、导轨系统的设计和优化,合理进行整机布局。在制造环节应大力推广模块化设计、新材料新工艺应用,强化加工精度控制和可靠性验证,不断提升我国数控机床的综合性能,为制造业转型升级提供有力支撑。

参考文献

- [1] 朱士云,仲小敏.数控机床机械结构设计和制造技术优化[J].中国金属报,2021,(09):72-73.
- [2] 连亚宣.数控机床机械结构设计和制造技术优化[J].内燃机与配件,2021,(04):157-158.
- [3] 安红卫,朱健.数控机床机械结构设计和制造技术优化[J].内燃机与配件,2021,(03):75-77.
- [4] 王冠.数控机床机械结构设计和制造技术的创新研究[J].内燃机与配件,2021,(03):71-72.
- [5] 杨文龙.数控机床机械结构设计和制造技术的创新研究[J].内燃机与配件,2020,(11):102-103.
- [6] 张文甲.试论数控机床上下料机械手的机械结构设计[J].设备管理与维修,2021,(22):82-84.

Analysis of the causes of cracking of welded joints of raw material preheating pipelines of ethylene cracking furnace

Linbo Kang

China National Petroleum Sixth Construction Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

This article provides an in-depth analysis of the causes of cracking in the welding joints of the preheating pipeline for ethylene cracking furnace raw materials. Firstly, the characteristics of preheating pipeline welding were introduced, including the properties of pipeline materials and welding requirements, and the possible problems that may occur during the welding process were analyzed. Then, the main factors causing cracking in welded joints were discussed, including mechanical stress, the effects of high temperature environment and medium corrosion, as well as the influence of welding defects on crack initiation. Finally, based on the actual working conditions of the preheating pipeline for ethylene cracking furnace raw materials, the causes of welding joint cracking were analyzed in detail, with a focus on discussing the effects of temperature fluctuations, residual stresses, changes in metallographic structure, and insufficient welding process control on welding joint cracking.

Keywords

ethylene cracking furnace; preheating pipelines; welded joints; causes of cracking; Residual stress

乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头开裂原因分析

康林博

中国石油天然气第六建设有限公司, 中国·广西 钦州 535000

摘 要

本文针对乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头的开裂原因进行了深入分析。首先, 介绍了预热管线焊接的特点, 包括管线材料的特性和焊接要求, 分析了焊接过程中可能出现的问题。然后, 探讨了焊接接头开裂的主要因素, 包括机械应力、高温环境与介质腐蚀的作用, 以及焊接缺陷对裂纹萌生的影响。最后, 结合乙烯裂解炉原料预热管线的实际工况, 详细分析了焊接接头开裂的原因, 重点讨论了温度波动、残余应力、金相组织变化、焊接工艺控制不足等因素对焊接接头开裂的影响。

关键词

乙烯裂解炉; 预热管线; 焊接接头; 开裂原因; 残余应力

1 引言

乙烯裂解炉作为石油化工行业中重要的反应装置, 其原料预热管线承担着传输和加热原料的关键任务。由于该管线在高温、高压以及腐蚀性环境下运行, 焊接接头开裂问题成为影响设备安全性与稳定性的重要因素。焊接接头的开裂不仅可能导致设备停机、生产中断, 还会增加维护成本和安全风险。因此, 研究焊接接头开裂的原因并提出相应的控制措施, 对于提高乙烯裂解炉的运行效率和安全性具有重要意义。

2 乙烯裂解炉原料预热管线焊接概述

2.1 预热管线的工况特点

乙烯裂解原料预热管大多用来加热反应的原料以确保裂解反应的顺利进行, 管道工作条件为高温、高压、腐蚀性工作环境。管道用材应该保证高温和高压、腐蚀性工作环境下的耐高温、耐高压、耐腐蚀性能。管道系统的反应部位一般存在很高的温度, 因为裂解炉存在高温工况, 流体的温度在 700℃以上, 而且流体中可能含有腐蚀介质如氯化物、硫化物等。要求管道能长期保证稳定的运行, 因此管道用材应具有高热稳定性和抗热疲劳性。而由于管道系统存在很高的温度, 会造成管路管道的温度变化、热膨胀和热收缩, 高温管路管道焊接接头容易发生焊接缺陷, 会受到热应力的影响, 因此焊接接头质量要求很高^[1]。

2.2 焊接接头的结构特性技术要求

乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头工作在高温高压的工作环境下, 对焊接接头结构要求较高。焊接接头力学强度、

【作者简介】康林博(1998-), 男, 中国河北石家庄人, 助理工程师, 从事异种钢焊接、裂解炉炉管与工艺管道异种钢焊接研究。

焊接接头抗裂、高温性能要求高；在焊接工艺过程中，材料的选择是非常关键的，必须是适宜高温和有腐蚀性的合金钢或者高温钢材质，必须保证焊接接头长期运转工作中不发生疲劳、裂纹和腐蚀等现象；另外，焊接接头的结构设计要尽量降低应力集中，避免因焊接缺陷或设计不合理导致焊接接头失效；对焊接接头质量要求包含焊缝致密性、焊缝表面平整度、焊接区域金属组织，也就是焊接接头的整体和可靠性。

3 焊接接头开裂的主要因素

3.1 机械应力对开裂的影响

焊接接头在加工制造时必然会产生机械应力，其来源于加工焊接过程中的温度伸长收缩以及外载荷等因素的作用。在焊接过程中，由于各部分的温度差，焊接接头不同位置会有不同的受热时间，故相应的位置会以不同的幅度膨胀，当焊接接头降温冷却后，受热温度较高的区域收缩幅度更大，从而形成残余应力。若这种残余应力得不到有效卸除，便会在焊接接头的位置使接头金属发生形变甚至是开裂。对于壁厚较薄的管道，由于加工焊接过程中产生的机械应力，会在接头部位产生裂纹，而在管道正常的运行过程中又进一步发生扩展开裂。机械应力是造成管道焊接接头开裂的主要应力源之一^[2]。

3.2 高温环境介质腐蚀作用

乙烯裂解炉原料预热管线正常运行的工况条件通常为高温与高腐蚀双重条件。高温对焊接接头金属组织结构产生影响，造成粗晶变形，降低焊接接头金属的力学性能。而且高温条件下金属的抗疲劳性、抗热疲劳性能差，特别在温度波动较大的工况条件下，易出现接头开裂现象。同时腐蚀性介质，如裂解过程中产生的酸性气体、氯化物、硫化物等都会增强焊接接头的腐蚀性。腐蚀性介质不只会焊接接头表面引起腐蚀损伤还会导致应力腐蚀裂纹。高温时焊接接头一般会丧失抗腐蚀能力，腐蚀的叠加与高温会降低管线的使用寿命。

3.3 焊接缺陷裂纹萌生

在焊接过程，因操作不规范或工艺不合理等因素，焊接接头极易出现各种缺陷，如气孔、夹渣、裂纹、未焊透等，这些缺陷都是产生裂纹的源泉，特别是在焊接接头的热影响区附近，这些缺陷会在焊接接头处形成应力集中，使焊接接头处的局部应力增大，产生裂纹进而发生裂解。焊接过程出现气孔、夹渣等缺陷会使焊缝的完整性遭到破坏，焊接接头的强度下降，受外部载荷或温度波动的影响出现开裂。特别是在高温运行情况下，材料的韧性降低，焊接接头微小缺陷裂纹会发展为较大裂纹，接头开裂失效。

4 乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头开裂原因

4.1 温度波动对焊接接头的影响

在乙烯裂解炉的原料预热管线服役期间，其焊缝工作环境多数存在高温、高压交替状态，当加热与冷却循环时，

焊缝部位将承受激烈温度变化，由于高温加热与冷却过程形成的热膨胀和收缩，焊缝材料的热应力作用下将产生很大的热应力，尤其是焊缝热影响区，因材料加热-冷却速率不同产生残余应力，其热应力与管道本身的温度变化相互作用下形成焊缝的应力集中区，这些应力区可作为裂纹源开始形成扩展的过程；而温度的变异性不仅会造成焊缝处产生残余应力，还会对焊缝区域的金属组织产生变化，从而引起材料的力学性能降低，有利于裂纹形成开裂扩展的发生，而温度的变异性又对其焊后冷却过程影响很大。焊缝冷却过程中冷却速度通常很快，而厚壁管道焊接焊缝冷却过程中不同部位温差大极易形成较大的热应力，在金属材料的热膨胀/收缩性变化不一致，导致焊缝接缝处区域出现裂纹/裂纹源，随着时间温度的起伏发生裂纹发展和扩展；并且温度变异性引起的焊缝热影响区金属微观组织变化，使焊缝接头韧性降低、强度下降，这也是裂纹发生的条件。焊缝反复热-冷循环特别是高温反复冲击导致焊缝加速疲劳裂纹及老化^[1]。通过合理控制温度场的方法来控制温度波动对焊接接头产生的影响，焊接前可通过适当预热的方法降低温差，使温度均匀；焊接过程中需控制加热、冷却速度，控制温度梯度过快的变化；焊接完成后进行一定的后热和缓冷，可降低焊接接头中残余应力，降低温度波动产生的不利影响。

4.2 残余应力热疲劳作用

焊接过程中，热影响区因为温度差而导致具有较大程度的残余应力。残余应力通常是在焊接接头的冷却阶段，由热膨胀不均匀引起的，在焊接接头以及周围区域产生拉伸或压缩应力。焊接接头承受着不均匀的内应力，随着时间推移，当进行高温运作时会产生热疲劳。在管道进行较长时间工作之后，热疲劳的过程逐渐反复，在高温条件之下会因为温度和工作应力反复交变的循环作用增加，残余应力的部分裂纹扩展速率增加。最终就会造成焊接接头破裂。热影响区在焊接接头的冷却过程中出现温度梯度，产生应力集中，特别是焊接接头的表面层和内层之间的应力差，整个过程中产生的残余应力。一旦残余应力没有得到有效的控制，在进行高温高压环境下焊接接头与内部的裂纹会形成无法忽视的裂纹源。然后继续运行以及在高温循环的交变条件下，受到高温运行和交变载荷的循环作用，使残余应力反复造成焊接接头的热疲劳反复对裂纹进行扩展。

降低残余应力以及避免热疲劳的方法就是采用低温预热、慢冷却工艺，避免了过大的温差而导致应力过大。焊接过程中避免局部过度加热，减少热应力的集中，适当选用焊接工艺，优化焊接方式，减少焊接过程中累积过多的温差，也能够减少残余应力。焊接结束后进行应力消除退火也是消除残余应力的方法之一，利用一定的应力消除退火工艺可以缓和焊接接头中的残余应力，避免因为热疲劳而使焊接接头中的裂纹有进一步扩大的趋势。结合管道设计上减少热应力的影响，比如管道焊接接头的形状设计，选择优质焊接材料

等,有效减少了热疲劳对焊接接头的影响,使焊接接头的综合质量得到保证。通过减小焊接过程中的温度波动以及应力分布,结合后热工艺处理,可以减少焊接接头中的残余应力,延缓热疲劳对焊接接头产生的不利影响,对控制裂纹的发生、控制裂纹的扩展有很大的帮助,保证了乙烯裂解炉原料预热管线整体的运行安全性。

4.3 金相组织演变对裂纹形成的影响

焊接过程中的焊接温度和冷却速度影响着焊接接头金相组织的形成,而焊接接头热影响区容易受到温度变化的影响,导致在焊接接头产生冷却过快时,使得金属晶粒粗大化而降低了接头的强度和韧性。焊接区域内的金属组织由于熔池冷却的原因,易生成过大的晶粒,接头晶粒过于粗大的导致了接头强度低以及接头的脆性,而且在应力的作用下更容易裂纹的产生。另外在接头中的高温条件下,由于粗大晶粒产生的脆性区域容易成为产生裂纹的起源和路径,同时不均匀的金相组织,特别是热影响区由于晶粒分布的不均匀使得焊接接头中存在局部的力学性能的不均匀,而脆性较大的晶粒部位极易在承受外力的环境下产生碎裂,使得裂纹更加容易扩张。为使焊接接头不发生金相组织的影响首先应选用恰当的焊接用材,焊接用材应与母材兼容,避免因母材和焊接用材的成分不兼容导致焊接接头产生的金相组织的不均匀;其次应控制焊接冷却速度,防止焊接晶粒的增大而产生粗大,通过合理设计焊接工艺参数,从而控制焊接温度保证焊接接头晶粒不产生过大和过小,可采用控制焊接冷却速度,避免焊接晶粒过大导致的裂纹的产生。进行后热处理的工艺后,如接头采取退火的退火工艺可以有效防止晶粒的粗大化,使得接头的力学性能得到改善,从而使接头的强度和韧性有所提升,可以减少接头裂纹的形成和扩散。

4.4 焊接工艺参数控制不足的影响

焊接工艺是焊接接头质量的决定性因素之一,在焊接过程中焊接电流、电压、焊接速度的焊接参数选取和控制决定着焊接接头的质量,焊接参数控制不当会引起焊接接头存在气孔、夹渣、未熔合等焊接缺陷,此类缺陷降低接头的抗裂能力,还会成为裂纹产生源,在高温高压的条件下会快速扩展,影响焊接接头整体性能。焊接工艺参数如电流、电压、焊接速度等的波动对焊接接头熔池形态不均匀,从而产生焊接缺陷,为避免焊接工艺参数不当而导致焊接裂纹产生,在焊接管道的材料特点和焊接环境条件的要求下选用焊接工艺;焊接接头的焊接参数控制稳定,避免焊接电流、电压、速度等参数的大幅度波动。并实现在实际中焊接人员须进行

系统的技术培训,提高操作水平,焊接操作必须实现规范化,检查焊接设备工作状态,保证其精确性,减少因焊接设备工作不稳定和错误操作方法而导致焊接缺陷,提高接头的焊接质量,降低焊接裂纹的产生。

4.5 运行维护过程中的裂纹扩展因素

乙烯裂解炉原料预热管线的焊接接头在长期高温、高压的工作环境中可能发生裂纹扩展。裂纹的扩展通常受外部载荷、温度波动和腐蚀介质的综合影响。特别是在腐蚀性介质的作用下,焊接接头的应力腐蚀裂纹更容易发生,且扩展速度较快,严重时可能导致管道的断裂或设备的失效。腐蚀性气体和高温环境交替作用下,裂纹扩展速度明显加快,裂纹一旦扩展至一定程度,极有可能导致设备发生严重故障,影响生产的安全与稳定。为防止裂纹的扩展,除了焊接过程中的质量控制外,管道的定期检查和维修同样至关重要。通过定期实施无损检测技术,如超声波、射线等检测手段,能够及时发现裂纹并采取修复措施,避免裂纹的继续扩展。此外,管道材料的选择也应考虑抗腐蚀性能,采用高抗腐蚀合金材料可以有效减缓裂纹的发生和扩展。在运行过程中,合理控制管道中的腐蚀性介质浓度,减少腐蚀源的影响,也是防止裂纹扩展的有效措施。对于已经出现裂纹的管道,应采取切除、加固或替换等修复措施,防止裂纹继续扩展,保障管道系统的安全运行。

5 结语

乙烯裂解炉原料预热管线焊接接头的开裂问题,是影响其长期稳定运行的主要隐患之一。通过对焊接接头开裂原因的分析,本文明确了温度波动、机械应力、焊接缺陷等因素对开裂的影响,并提出了相应的控制措施。为确保乙烯裂解炉管线的安全运行,未来应加强焊接工艺的优化、材料选择与管理、应力控制等方面的研究,同时重视设备的维护与检修工作。综合考虑各类因素,可以有效提高焊接接头的质量,延长设备的使用寿命,为石油化工行业的安全生产提供坚实保障。

参考文献

- [1] 刘强, 王明. 乙烯裂解炉管道焊接质量控制与失效分析[J]. 石油化工设备, 2020, 49(06): 85-88.
- [2] 陈峰, 李建华. 高温环境下焊接接头裂纹形成的机理研究[J]. 焊接技术, 2019, 48(04): 19-23.
- [3] 张磊, 赵辉. 乙烯裂解炉焊接接头裂纹分析及其控制措施[J]. 石油炼制与化工, 2021, 50(02): 45-49.

Research on mechanical structure design and Manufacturing technology of CNC machine tools

Liang Gao Xianchen Zhang

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

The beginning of the CNC machine tool relying on the digital instruction driven working principle, according to the movement and control mode of classification, and combined with the current situation of the industry to analyze its high-speed, high precision, intelligent development trend. Subsequently, the principles of precision and stiffness followed by the mechanical structure design were deeply analyzed, and the design of key components such as the main transmission and feed system was discussed. At the level of manufacturing technology, the processing and assembly processes of parts are introduced in detail, and advanced manufacturing technologies such as digitalization and flexibility are introduced. In addition, through the typical case analysis, verify the theoretical results, aiming to improve the performance of CNC machine tools, solve practical problems in the industry, promote the technical progress of the whole CNC machine tool industry to provide theoretical and practical reference.

Keywords

numerical control machine tool; mechanical structure design; manufacturing technology

数控机床机械结构设计与制造技术的研究探讨

高亮 张显辰

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110142

摘 要

开篇阐述数控机床依托数字化指令驱动的工作原理, 依据运动和控制方式等进行分类, 并结合行业现状分析其高速、高精度、智能化的发展趋势。随后, 深入剖析机械结构设计遵循的精度、刚度等原则, 对主传动、进给系统等关键部件设计展开探讨。在制造技术层面, 详细介绍零部件加工、装配工艺, 同时引入数字化、柔性化等先进制造技术。此外, 通过典型案例分析, 验证理论成果, 旨在为提升数控机床性能、解决行业实际问题, 推动整个数控机床行业的技术进步提供理论与实践参考。

关键词

数控机床; 机械结构设计; 制造技术

1 引言

数控机床作为现代制造业的关键装备, 其性能优劣直接影响产品加工质量与生产效率。随着制造业向高精度、高效率、智能化方向迈进, 对数控机床机械结构设计与制造技术提出了更高要求。深入研究这两项技术, 对提升我国数控机床产业竞争力, 推动制造业转型升级具有重要意义。

2 数控机床概述

2.1 工作原理

数控机床依托数字化指令, 实现机床运动的精确控制。操作人员依据加工零件的设计要求, 将刀具轨迹、切削速度、进给量等工艺信息, 按照特定的数控编程语言, 编制成加工

程序, 随后输入数控系统。数控系统接收到程序后, 对其进行译码, 将代码转换为机床可识别的信号, 接着开展运算处理, 计算出各坐标轴的位移量。之后, 数控系统向伺服驱动装置发出精确的控制信号, 驱动电机按预定指令运转, 带动机床各坐标轴有序运动, 由此实现零件从原材料到成品的自动化加工。

2.2 分类

按运动方式, 数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制机床。点位控制机床仅控制刀具从一点移动到另一点的准确位置, 适用于钻孔、镗孔等加工; 直线控制机床除控制位移终点位置外, 还能控制刀具以给定速度沿平行坐标轴方向直线移动, 用于简单的车削、铣削加工; 轮廓控制机床能同时控制两个或多个坐标轴联动, 加工出复杂的曲线和曲面轮廓, 广泛应用于模具制造等领域。按控制方式, 又可分为开环、闭环和半闭环控制数控机床。开环系统结构简单、

【作者简介】高亮 (1983-), 男, 中国辽宁凌源人, 本科, 工程师, 从事机械类 (机床设计) 研究。

成本低,但精度相对较低;闭环系统精度高,但系统复杂、成本高;半闭环系统介于两者之间,应用较为广泛。

2.3 发展趋势

当下,数控机床行业的发展正聚焦于高速、高精度、智能化和复合化。高速化发展趋势下,机床制造商致力于提升主轴转速和进给速度,极大地压缩加工周期,提高生产效率^[1]。高精度化发展通过运用新型的机床结构设计,结合激光干涉仪等先进检测技术,实现对机床运动误差的精准补偿,显著提高定位与加工精度。智能化领域,通过在机床上部署各类传感器,收集实时数据,并运用人工智能算法,实现对加工参数的自适应调控,同时完成故障的智能诊断。复合化方向,机床整合车削、铣削、镗削等多种加工工艺,大幅减少工件装夹次数,不仅降低装夹误差,还显著提升加工效率,全方位推动行业技术进步。

3 数控机床机械结构设计

3.1 总体设计原则

在数控机床机械结构设计中,精度是首要原则,机床需具备高的几何精度、运动精度和定位精度,以满足零件的加工要求。刚度方面,机床的各部件应具有足够的静刚度和动刚度,防止在切削力、重力等作用下产生过大变形,影响加工精度。稳定性要求机床在长期使用过程中,能保持其性能稳定,不受外界因素干扰。可靠性则是保证机床正常运行、减少故障发生的关键。此外,设计还需考虑工艺性,便于零部件的加工和装配,以及人性化设计,提高操作人员的工作效率和舒适度。

3.2 主要机械结构设计

3.2.1 主传动系统设计

主传动系统作为机床的核心部分,其主要功能在于为切削加工提供适配的转速与转矩。在实际应用中,常见的主传动方式包含齿轮传动、带传动和电主轴传动。齿轮传动凭借出色的转矩传递能力,能够适应重载切削工况,因而在大型数控机床中广泛应用;带传动因结构相对简单,且传动过程平稳,多用于中、小型数控机床^[2]。电主轴则将电机与主轴集成一体,显著缩小空间占用,具备高转速、高精度特性,特别适用于高速加工场景。在主轴组件的设计环节,不仅要综合考量加工需求与成本,合理选择主轴的材料,如优质合金钢等,精确确定尺寸,还要适配相应的轴承类型,借此保证主轴具备良好的回转精度与刚度,为机床稳定、高效加工奠定基础。

3.2.2 进给传动系统设计

进给传动系统负责控制机床各坐标轴的运动。滚珠丝杠螺母副和直线滚动导轨副是进给传动系统的关键部件。滚珠丝杠螺母副将回转运动转化为直线运动,具有传动效率高、精度高、摩擦力小等优点。直线滚动导轨副则为工作台等运动部件提供导向,具有运动灵敏度高、定位精度高的特点。在设计时,需根据机床的工作要求,合理选择滚珠丝杠

和直线导轨的规格,并采取措施消除传动间隙,提高进给系统的精度和稳定性。

3.2.3 支承件设计

支承件作为机床床身、立柱、工作台等基础部件,在机床运行时,不仅要承受切削加工产生的切削力,还要承载机床自身以及工件的重力。其结构形式与刚度,对机床加工精度、稳定性等性能起着决定性影响。常见的支承件结构涵盖箱形、框架等结构。在设计环节,需综合考虑成本与性能,合理选择灰铸铁、焊接钢板等材料,优化截面形状,并适当增加筋板数量,以此提升支承件静、动刚度。此外,借助有限元分析方法,模拟支承件在不同工况下的受力情况,对其结构进行优化,确保设计的科学性与合理性。

3.2.4 自动换刀装置设计

自动换刀装置作为提升数控机床加工效率的关键组件,能在加工过程中,依据预设指令,快速自动更换刀具,大幅缩短加工辅助时间。常见类型有刀库式和转塔头式。其中,刀库式换刀装置凭借灵活性和通用性,在各类数控机床中应用广泛。它由刀库和机械手构成,刀库分类存储不同规格刀具,满足多样化加工需求;机械手则精准抓取和交换刀具^[3]。在设计时,要根据加工工艺的复杂程度,合理规划刀库容量,确保能储存所需刀具。同时,优化机械手结构和控制程序,使其动作准确、可靠,从而有效提高换刀效率和可靠性。

4 数控机床机械结构制造技术

4.1 主轴加工工艺

主轴作为数控机床的关键核心部件,通常选用优质合金钢进行制造。制造伊始,通过锻造工艺获得毛坯,这种工艺能有效改善材料的内部组织结构,提升主轴的综合性能。随后依次开展粗加工、半精加工与精加工工序。粗加工主要目的是快速去除大部分余量,提高加工效率;半精加工则为精加工预留合适的加工余量,奠定精度基础;精加工对尺寸精度、形状精度以及表面粗糙度有着严格要求,旨在全方位满足主轴的高精度标准。

4.2 滚珠丝杠加工工艺

滚珠丝杠作为数控机床进给系统的核心部件,通常采用合金钢作为原材料。其加工过程包含车削、螺纹加工、磨削等一系列工序。其中,螺纹加工是决定滚珠丝杠质量的关键环节,常见的有螺纹磨削和滚压两种工艺。螺纹磨削凭借高精度的加工特性,能满足对精度要求极高的滚珠丝杠加工需求;滚压工艺则以高效、低成本的优势,在滚珠丝杠批量生产中广泛应用。在整个加工过程中,操作人员需严格把控各工序的加工参数,如切削速度、进给量等,以此全方位保障滚珠丝杠的精度和表面质量,使其契合数控机床的性能要求。

4.3 支承件加工工艺

数控机床的支承件,诸如床身、立柱等关键部件,多采用铸件或焊接件。其中,铸件的生产需依次历经铸造、时

效处理和机械加工等重要工序。时效处理通过自然或人工方式,消除铸件在铸造过程中产生的内应力,避免加工后出现变形,确保产品质量。焊接件则对焊接技术要求严格,需要通过专业的焊接工艺和质量管控,保证焊接质量,有效控制焊接变形。在机械加工环节,借助大型数控加工中心等高精度设备,对支承件进行精密加工,进一步保障支承件的尺寸精度和形位精度,满足数控机床的设计要求。

4.4 装配工艺

4.4.1 装配流程规划

一套科学合理的装配流程,对提升数控机床的装配效率和质量起着极为关键的作用。装配伊始,通常先开展部件装配,像结构复杂且对精度要求极高的主轴组件,以及决定机床运动精度的进给系统组件等。完成部件装配后,再有条不紊地进行总装配。整个装配过程中,装配人员必须严格遵循装配工艺文件开展作业,细致把控每个装配环节的顺序,精准运用各类装配方法,以此杜绝因装配失误引发的质量问题,顺利达成高效装配与卓越品质的双重目标。

4.4.2 装配精度控制

装配精度无疑是决定机床整体性能的核心要素。在机床的装配过程中,由于零部件存在制造误差,必须通过调整、修配等精细的操作手段,来保障主轴回转精度、坐标轴定位精度等关乎机床加工质量的关键指标。例如,针对主轴部件,合理调整轴承的预紧力,能够有效减小主轴运转时的径向和轴向跳动,大幅提升主轴回转精度。而在工作台装配时,通过对垫片的精心修配,补偿部件间的尺寸偏差,从而确保工作台的垂直度和平行度,为机床稳定、高精度的加工奠定坚实基础。

4.4.3 装配质量检测

装配工作圆满结束后,为确保数控机床的品质,必须对其开展全面且细致的质量检测。在几何精度检测环节,借助专业测量仪器,对机床各部件的直线度、垂直度、平面度等关键指标进行精确测量。在工作精度检测方面,模拟实际加工场景,针对车削外圆、镗孔、铣平面等典型加工操作,严格检测加工精度。此外,还需进行性能检测,测试主轴转速的稳定性、进给速度的准确性以及切削力的变化情况。只有经全方位检测合格的机床,才能交付使用,从而为客户提供可靠的加工保障。

4.5 先进制造技术在数控机床制造中的应用

4.5.1 数字化制造技术

数字化制造技术宛如一条无形的纽带,紧密贯穿于数

控机床设计、制造的每一个环节。在设计阶段,工程师借助计算机辅助设计(CAD)软件,以直观、高效的方式完成机械结构设计,极大提升设计效率与质量。同时,运用计算机辅助工程(CAE)软件模拟分析结构性能,实现设计的优化。进入制造阶段,通过计算机辅助工艺规划(CAPP)软件,制定出科学合理的加工工艺,结合数控加工技术,精确控制机床完成零部件加工,达成生产全过程的数字化控制,全方位提升生产效能。

4.5.2 柔性制造技术

柔性制造系统(FMS)以数控机床作为核心加工单元,搭配自动化物料输送系统实现毛坯、半成品及成品的精准、高效流转,并依靠计算机控制系统下达指令、监控全过程。这种系统打破了传统生产模式的局限,针对多品种、小批量的生产需求,能够灵活调整生产流程。在数控机床生产环节中,引入FMS能极大缩短生产周期,减少设备闲置与人力成本,实现资源的高效利用,全方位提升生产效率,降低生产成本,从而显著增强企业在市场中的竞争力。

4.5.3 绿色制造技术

绿色制造技术,作为实现制造业可持续发展的关键路径,旨在全面减少数控机床制造过程中的能源消耗与环境污染。在降低机床能耗方面,采用节能型电机,可显著减少电力损耗;通过优化加工工艺,能降低切削过程的能量消耗,减少无效做功。在材料选择上,选用可回收、低污染的环保材料,从源头上减少废弃物产生。这些举措,既响应了环保要求,也助力制造业以更绿色、更高效的方式,达成可持续发展的长远目标。

5 结语

本文通过对数控机床机械结构设计与制造技术的研究,深入分析了数控机床的工作原理、结构设计原则和制造工艺。随着科技的不断进步,数控机床机械结构设计与制造技术将持续创新发展。未来,需进一步加强技术研发,推动数控机床向更高性能、更智能化、更绿色环保的方向迈进,为制造业的高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 梁铭祥.数控机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨[J].科技展望,2017,27(22).
- [2] 陈永,陈国华,吴焯龙,等.数控机床机械结构设计与制造技术的研究探讨[J].建筑工程技术与设计,2018(011):4352.
- [3] 陈灏.数控机床机械结构设计与制造技术的优化探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(11):3.

Practice of hydraulic system analysis and assembly process of CNC machine tool

Ye Liu Chang Xiong

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

The article closely around the CNC machine tool hydraulic system to carry out in-depth research. First, the working principle of energy conversion based on Pascal's law is analyzed, and the architecture of the system composed of power, execution, control and other components is disassembled. At the same time, the characteristics of various hydraulic components and the common circuit types are carefully combed. In the assembly process, optimize the assembly process, innovate the assembly process, and build a comprehensive quality control system. In addition, the system discusses the debugging steps and fault diagnosis methods of the hydraulic system. Through the combination of theoretical derivation and practical cases, it can not only effectively improve the assembly quality of hydraulic system, reduce the incidence of failure, but also build a solid technical foundation for the stable operation and efficient production of CNC machine tools.

Keywords

CNC machine tool; hydraulic system; assembly process; fault diagnosis

数控机床液压系统分析与装配工艺实践

刘野 熊昌

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110142

摘 要

文章紧密围绕数控机床液压系统开展深入研究。先是对其基于帕斯卡定律实现能量转换的工作原理进行剖析, 拆解系统由动力、执行、控制等元件组成的架构。同时, 细致梳理各类液压元件特性与常见回路类型。在装配环节, 优化装配流程, 创新装配工艺, 并构建起全面的质量控制体系。此外, 系统探讨液压系统调试步骤与故障诊断方法。通过理论推导与实际案例相结合, 不仅有效提升液压系统装配质量, 降低故障发生率, 也为数控机床稳定运行和高效生产筑牢技术根基。

关键词

数控机床; 液压系统; 装配工艺; 故障诊断

1 引言

数控机床作为现代制造业的关键设备, 其性能优劣直接影响产品加工质量与生产效率。液压系统作为数控机床的重要组成部分, 负责实现主轴变速、刀具交换、工作台运动等关键动作。然而, 液压系统结构复杂, 装配要求高, 在实际运行中易出现泄漏、压力不稳定等故障。因此, 深入研究数控机床液压系统分析与装配工艺, 对提升机床性能、推动制造业发展具有重要意义。

2 数控机床液压系统概述

2.1 液压系统的工作原理与基本组成

数控机床液压系统的运作依托帕斯卡原理, 把液压油当作工作介质, 达成能量的转换与输送。在这一过程中, 液

压泵发挥着关键作用, 它将电动机输出的机械能, 转变为液压油的压力能。随后, 高压油经管路, 被传输到执行元件。执行元件则进行逆向转化, 把压力能重新变回机械能, 以此驱动数控机床的部件运动^[1]。比如, 液压缸能够实现直线往复式的机械运动, 而液压马达可以达成旋转运动。

从系统构成来看, 数控机床液压系统涵盖动力、执行、控制、辅助元件以及工作介质。作为动力元件的液压泵, 源源不断地为系统供应压力油。执行元件承担着将液压能转变为机械能的任务。控制元件包含多种液压阀, 通过它们来调控液压油的压力、流量以及流向。油箱、过滤器等辅助元件, 为系统的平稳运行筑牢根基。液压油作为工作介质, 不仅能够传递能量, 还能对系统起到润滑与冷却的作用。

2.2 液压系统在数控机床中的应用类型与作用

2.2.1 应用类型

液压系统在数控机床多个环节发挥作用, 刀库和换刀装置借助液压驱动实现刀具的快速准确更换; 主轴变速系统

【作者简介】刘野 (1982-), 男, 中国辽宁鞍山人, 本科, 工程师, 从事机械类 (机床装配工艺) 研究。

通过液压控制,实现不同转速的切换;工作台的夹紧与松开,同样依靠液压系统完成。

2.2.2 作用

液压系统显著提升了数控机床的自动化程度,实现了复杂加工动作的精确控制,有效提高加工精度与效率^[2]。同时,液压系统具备过载保护功能,能在机床过载时自动卸荷,保护设备安全。

2.3 液压系统的发展趋势

2.3.1 节能化

随着环保要求的提高,节能成为液压系统发展的重要方向。新型节能液压泵和优化的液压回路不断涌现,通过降低系统能耗,实现绿色制造。

2.3.2 智能化

传感器与计算机控制技术的融合,使液压系统能够实时监测工作状态,自动调整参数,实现智能控制与故障诊断,提高系统的可靠性和稳定性。

2.3.3 集成化

液压元件的集成化设计减少了管路连接,降低了泄漏风险,提高了系统的紧凑性和可靠性,便于安装、维护和调试。

3 数控机床液压系统分析

3.1 液压元件分析

3.1.1 液压泵

液压泵类型多样,在数控机床领域,齿轮泵、叶片泵和柱塞泵较为常见。齿轮泵凭借结构简单、成本投入低的优势,得到一定应用,然而其流量脉动现象较为明显,因此一般应用于对流量稳定性要求相对宽松的场景。叶片泵在运行时,流量输出均匀,产生的噪声较小,契合中低压系统的使用需求。柱塞泵的突出特点是能够承受极高的压力,工作效率较高,所以在需要高压、大流量输出的数控机床场景中,发挥着关键作用。

3.1.2 液压阀

依据功能差异,液压阀可划分为方向控制阀、压力控制阀与流量控制阀三大类别。方向控制阀通过对液压油流向的精准把控,实现执行元件运动方向的切换,确保设备按预定轨迹运作^[3]。压力控制阀肩负着调节系统内部压力的重任,在系统压力过高时及时卸荷,避免因超压对设备造成损坏,为系统的安全稳定运行筑牢防线。流量控制阀则通过调控液压油的流量,改变执行元件的运行速度,满足不同工况下对设备运行速率的要求。

3.1.3 液压缸和液压马达

液压缸根据结构不同分为活塞式、柱塞式等,常用于实现直线运动。液压马达则用于实现旋转运动,按结构可分为齿轮式、叶片式和柱塞式。在选择液压缸和液压马达时,需根据工作负载、运动速度等参数进行合理选型。

3.2 液压回路分析

3.2.1 基本液压回路

基本液压回路可划分为压力控制、速度控制与方向控制回路这三大类型。压力控制回路依托溢流阀、减压阀等元件,达成对系统压力的调控,使系统压力维持在规定范围之内。速度控制回路借助节流阀、调速阀,调节流经执行元件的液压油流量,从而控制执行元件的运动速度,满足多样化的工作需求。方向控制回路则依靠换向阀改变液压油的流向,引导液压油按照既定路径流动,进而实现执行元件的换向操作,推动设备顺利完成各项动作。

3.2.2 典型数控机床液压系统回路分析

以某型号数控机床为例,其刀库液压系统采用了方向控制回路和压力控制回路。在换刀过程中,换向阀控制液压油的流向,使液压缸推动刀库实现刀具的交换;溢流阀则保证系统压力稳定,防止过载。

3.3 液压系统性能分析

在数控机床液压系统运行期间,压力和流量的稳定对系统性能和机床加工效果起着决定性作用。系统压力会因负载的动态变化产生波动,当压力波动幅度过大时,不仅会降低机床的加工精度,还可能引发系统故障。通过安装蓄能器吸收压力冲击,优化液压泵的启停控制逻辑,能有效抑制压力波动。

4 数控机床液压系统装配工艺

4.1 装配前的准备工作

在数控机床液压系统装配前,需做好全面且细致的准备工作。首先,收集液压系统的装配图、原理图及工艺规程等技术文件,深入研读,明确装配细节与质量标准,为装配工作锚定方向。其次,对液压元件、管路、密封件等零部件开展严格检验,杜绝不合格品进入装配环节,随后进行清洗,清除表面油污与杂质,防止系统污染。

4.2 液压元件的装配

在数控机床液压系统关键元件的装配中,每个环节都对系统性能起着决定性影响。装配液压泵时,需借助专业工具,精准校准泵轴与电机轴的同轴度,降低因同轴度偏差引发的振动与噪声;同时,正确安装密封件,防止液压油泄漏。装配液压阀时,着重把控阀芯与阀座的配合精度,确保阀芯能灵活动作;安装电磁铁时,仔细检查接线,保证动作可靠。装配液压缸和液压马达时,严格控制活塞与缸筒、转子与定子间的间隙,确保良好的密封性能与运动精度;正确安装缓冲装置,减缓运动部件冲击,全方位保障系统的稳定运行与高效工作。

4.3 液压管路的装配

在数控机床液压系统中,管路的选择、加工、连接及安装质量,直接影响系统的稳定性与可靠性。在选择管路时,需综合系统的工作压力、流量及工作环境等因素,挑选适配的管路材料与规格。例如,高压环境下,选用无缝钢管保障

安全；有耐腐蚀性需求时，选择不锈钢管。加工管路时，对切割、弯曲、扩口等环节的精度严格把控，防止因加工不当导致管路变形，影响系统性能。

管路连接时，务必确保连接牢固、密封可靠。螺纹连接时，涂抹密封胶增强密封性；法兰连接时，仔细检查法兰面平整度，选用质量上乘的密封垫。安装管路时，进行合理布局，规划管路走向，避免出现交叉、干涉的情况，防止因管路摩擦、挤压导致破损，从各个环节入手，保障液压系统的高效稳定运行。

4.4 液压系统的整体装配

在数控机床液压系统的装配作业中，严格遵循科学的装配顺序与流程，是保障装配质量的关键。装配顺序上，秉持先下后上、先内后外、先粗后精的原则。先将液压泵、油箱等位于底层且对系统起着支撑作用的基础部件安装到位，搭建起系统的基本架构；随后安装液压阀组和执行元件，为系统功能实现提供保障；最后连接管路，完成系统的整体布局。

在装配全过程，需适时对液压系统进行调整和检验。装配时，依据系统设计的要求，对液压泵排量、液压阀压力设定值进行精准调节。同时，细致检查管路连接的准确性，查看密封是否良好，避免出现泄漏隐患。通过装配过程的动态调整与严格检验，及时发现并解决问题，有效提升液压系统的装配质量与运行稳定性。

5 数控机床液压系统装配质量控制

5.1 装配质量控制体系

在数控机床液压系统装配过程中，构建完善的质量控制体系至关重要。首先要明确质量控制目标，将系统泄漏率、压力稳定性、执行元件运动精度等关键性能指标量化，确保其均在规定的范围内。为保障目标达成，需建立健全装配质量控制组织，清晰划分各部门与人员的职责。质量检验部门作为把控装配质量的核心力量，需对装配全程进行严格监督与细致检验；装配部门则必须严格按照既定工艺要求开展装配作业。此外，制定一套覆盖从零部件检验、装配过程监控，再到系统整体验收的全过程质量控制流程，详细规定各环节的质量检验标准与科学检验方法，为质量控制提供明确依据，保障液压系统装配质量稳定可靠。

5.2 装配过程中的质量控制方法

为切实保障数控机床液压系统的装配质量，需从多个关键维度实施严格管控。在零部件进入装配环节前，运用外观检查，查看零部件表面有无瑕疵；借助卡尺、千分尺等工具进行尺寸精度检测；并通过模拟工况开展性能测试，全方位确保零部件质量达标。

5.3 质量追溯与问题处理

为全方位保障数控机床液压系统的装配质量，引入信

息化技术搭建质量追溯系统。在装配流程推进时，系统自动记录零部件的供应来源、具体装配人员、精确装配时间，以及详细的检验记录等关键信息。这使得在后续一旦出现任何质量问题，均可借助追溯系统，快速定位问题环节。

当装配质量问题发生，技术人员运用鱼骨图从人员、设备、材料、方法、环境等多个维度，对质量问题进行深入分析；或通过故障树梳理事件因果关系，找出问题的根本原因。依据分析结果，制定并实施针对性的整改策略，对涉及的流程、工艺等进行优化。在整改完成后，持续跟踪验证，确保问题得到彻底解决，切实提升装配质量与生产的稳定性。

6 数控机床液压系统的调试与故障诊断

6.1 液压系统的调试

在对数控机床液压系统进行调试时，需严格遵循流程开展工作。调试前，对液压系统装配质量开展全面检查，仔细核查管路连接是否密封、正确，液压元件安装是否稳固，电气接线有无短路或断路等情况。完成检查后，启动液压泵进行空载调试，密切监测系统压力、流量、油温等关键参数，查看其是否在正常范围，同时观察执行元件运行状况，判断有无卡滞。空载调试达标后，模拟机床实际工作时的负载工况，开展负载调试，全方位测试系统性能，并针对性地调整系统参数，让液压系统达到最佳工作状态。

6.2 液压系统的故障诊断

在数控机床液压系统故障诊断工作中，可运用直观检查法、仪器检测法、逻辑分析法等工作。直观检查法通过眼观、耳听系统运转，对故障原因进行初步判断；仪器检测法借助压力表、流量计等设备，对系统压力、流量等参数展开精准检测，以此定位故障部位；逻辑分析法依据液压系统工作原理，结合故障现象进行推理，确定故障根源。而液压系统常见的泄漏、压力不足、振动与噪声、执行元件运动异常等故障，需针对性分析处理。

7 结语

本文通过对数控机床液压系统的分析与装配工艺实践研究，提出了一系列优化措施和方法。这些成果有助于提升液压系统的装配质量和可靠性，降低故障发生率，为数控机床的稳定运行提供保障。未来，随着技术的不断进步，还需持续探索创新，推动数控机床液压系统技术的发展。

参考文献

- [1] 刘长志. 液压系统原理图的识别与分析[J]. 时代农机. 2018, (3).
- [2] 王飞, 唐真真. 提高高压变频器运行可靠性的研究[J]. 现代制造技术与装备. 2015, (4).
- [3] 李玉, 魏晓燕, 侯新华, 等. INSTRON 液压试验系统管道安装浅析[J]. 现代制造技术与装备. 2015, (4): 71-72.

Assembly process and debugging of mechanical components in CNC machine tool manufacturing

Jiuzhu Shen Yongchao Zhao

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

Numerical control machine tool is the core equipment of modern manufacturing industry, its performance and accuracy are related to the quality and production efficiency of processed parts. Under the background of the high quality development of manufacturing industry, it is of great significance to explore the assembly technology of CNC machine tools to improve the performance of machine tools, optimize the assembly process and improve the production efficiency. This article deeply discusses the assembly process and debugging of mechanical components in the manufacturing of CNC machine tools. This paper expounds the importance of assembly process debugging in CNC machine tool manufacturing, analyzes the common mechanical component assembly process, and puts forward a series of targeted assembly process and debugging strategies, aiming to improve the assembly quality and performance of CNC machine tool, and provide theoretical support and practical guidance for the production practice in related fields.

Keywords

CNC machine tools; mechanical components; assembly process; debugging

数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试

申久祝 赵永超

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110142

摘要

数控机床是现代制造业的核心设备,其性能与精度关乎加工件的质量与生产效率。在当前制造业高质量发展的背景之下,深入探究数控机床制造中的机械组件装配技术,对于提升机床性能、优化装配工艺、提高生产效率具有重要意义。文章深入探讨数控机床制造中机械组件装配工艺及调试相关内容。详细阐述了装配工艺调试在数控机床制造中的重要性,分析了常见的机械组件装配工艺,并提出了一系列针对性的装配工艺及调试策略,旨在提高数控机床的装配质量与性能,为相关领域的生产实践提供理论支持与实践指导。

关键词

数控机床; 机械组件; 装配工艺; 调试

1 引言

数控机床作为现代装备制造的核心设备,其本身的性能会对产品加工精度及生产率产生关键影响。数控机床的机械部件组装工艺与调试是整个数控机床加工中的重要环节,而精密和有效的组装调试则可以保证数控机床各个部件之间完成协调运动,满足机床本身在设计时所预期的各项精度要求、稳定性等指标。鉴于数控机床越来越多的使用需求与不断增加的精密性要求,深入研究装配工艺及调试技术具有极为重要的现实意义。

2 数控机床制造中的机械组件装配工艺调试的重要性

数控机床加工制造的机械部件装配工艺调试是数控机床精密性和稳定性的关键与先决条件,不仅影响机床设备本身的出厂质量,更直接影响后续使用生产以及生产效率以及加工产品质量。以下将从保证机床精度、提升机床稳定性以及延长机床使用寿命三个方面,详细探讨数控机床制造中机械组件装配工艺调试的重要性。

2.1 保证机床精度: 从丝杠螺母副到坐标轴定位的准确性

数控机床高精度加工能力和精度,很大程度上依靠着各个机械零件的精确组合。丝杠螺母副作为机床坐标轴驱动系统中最基本的组件之一,其装配精度直接影响了机床的定位精度。在装配过程中,若丝杠的安装存在同轴度误差,即便微小的偏差,在机床长时间的运行过程中也会逐渐累积,

【作者简介】申久祝(1986-),男,满族,中国辽宁葫芦岛人,本科,助理工程师,从事机械类(机床装配工艺)研究。

导致工作台在移动时产生不可忽视的偏差,进而使得加工出的零件尺寸精度无法满足设计要求。据相关研究数据显示,丝杠装配超差可能使机床的定位误差达到 $\pm 0.05\text{mm}$ 以上,这对于精密加工而言是致命的^[1]。因此,在装配过程中,必须采用高精度的测量工具和方法,对丝杠螺母副的同轴度、垂直度等关键参数进行精确测量和调整,确保装配精度符合设计要求。同时,还需进行多次试运行和调试,及时发现并纠正装配过程中的微小偏差,从而确保机床的最终精度满足甚至超越设计标准。

2.2 提升机床稳定性: 主轴组件装配的优化与振动控制

机床的整体稳定性是机床长时间正常高效运转的前提。数控机床主轴组件是数控机床进行切削加工的核心部件之一,主轴组件的装配直接影响着数控机床的加工质量和稳定性。主轴轴承预紧力是主轴组件的关键装配参数。若预紧力设置不当,主轴在高速旋转时会产生较大的振动,这不仅会严重影响加工表面的质量,还可能导致主轴部件的过早损坏。因此,在主轴组件的装配过程中,要求严格的调试、测量,使其达到最佳预紧力;调试合理的主轴组件在进行高速旋转的情况下,其振动幅值可降低30%~50%,能够大大提高机床运行的稳定性;另外主轴的动平衡调试的准确性,应保证主轴运转中不会出现较大的离心力,以减小其振动和噪声^[2]。

2.3 延长机床使用寿命: 导轨副装配的精度与磨损控制

数控机床上各个部件的使用寿命很大程度上取决于机械部件的耐磨性和抗疲劳性。导轨副作为机床运动部件的重要支撑,装配精度直接影响机床的刚性与精度精确性。在导轨副的装配过程中,若导轨的安装不平行或存在其他几何误差,滑块在运动过程中会出现偏载现象,导致导轨与滑块的磨损加速。这不仅会降低机床的精度和稳定性,还会缩短机床的使用寿命。因此,在导轨副的装配过程中,必须采用高精度的测量工具和方法,对导轨的平行度、垂直度等关键参数进行精确测量和调整。同时,还需对导轨和滑块的配合间隙进行精确控制,确保其在运动过程中能够保持良好的接触和润滑状态。经过精确装配与调试的导轨副,其使用寿命可延长2-3倍,大大降低了企业的设备更新成本。

数控机床加工制造中的机械组件装配的工艺调试关系到机床的性能、精度以及寿命,需要对机械组件通过测量、调校来完善,保证其装配精度要求符合设计需要,达到其稳定的使用寿命。同时,这一过程也为后续的维护和保养提供了重要的参考依据,有助于降低企业的运营成本和提高生产效率。

3 数控机床制造中的机械组件装配工艺分析

机械性能和机械精度完全取决于机械装配质量及装配

技术,数控机床装配工作流程及调试过程是其主轴箱组件、丝杠螺母副、导轨副等系统各组件之间的装配、并结合精密的检测与调试手段,以确保机床的整体性能达到设计要求。

3.1 主轴组件装配工艺

数控机床主轴组件是机床的心脏,主轴装配的好坏直接关系到机床加工质量和精度。轴承的安装中热装法、冷装法是常用的两种安装方法。主轴上安装轴承一般选用热装法,对于高精密型数控机床主轴使用油浴加热,即将轴承置于油中加热至 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$,使其内径胀开,迅速套装于主轴上,冷却后,使轴承与主轴构成过盈配合,并能保证轴承安装牢固。不至于因装配时轴向应力而损伤轴承。装配好的主轴,需对主轴的径向跳动和轴向窜动检测调整,一般用千分表或百分表测量径向跳动 $0.002\sim 0.005\text{mm}$ 、轴向窜动 $0.001\sim 0.003\text{mm}$;如在某型号高速加工中心主轴装配中,经过多次热装,精确调整达到主轴径向跳动小于 0.003mm ,轴向窜动小于 0.0015mm 的高精度装配,确保了机床的高速、高精度加工能力。

3.2 丝杠螺母副装配工艺

丝杠螺母副是数控机床坐标轴的运动传动装置,丝杠螺母副的装配精度直接影响着机床的定位精度和重复定位精度。在装配过程中,首先要保证丝杠的安装同轴度,通过调整垫铁、刮研床身安装面等方式,确保丝杠的直线度和平行度误差控制在 $0.01\sim 0.02\text{mm/m}$ 以内。然后安装螺母座、调整螺母与丝杠间的间隙,如果间隙过大,则容易造成机床在移动过程中发生爬行现象,影响机床加工精度;间隙过小则会产生较大的摩擦力,增大能耗和磨损,可以通过垫片或螺纹的调隙方式将其调整在 $0.01\sim 0.02\text{mm}$ 的范围内。

3.3 导轨副装配工艺

导轨副作为数控机床运动部件的支撑部件,其装配精度直接影响机床的运动精度和承载能力。在装配直线导轨时,首先要清洁导轨安装面,保持无油污、杂质等,然后将导轨利用螺栓预固定在床身上,利用导轨专用量具检测调整后导轨的直线度(如使用激光干涉仪测量导轨的直线度,直线度精度 $0.005\sim 0.01\text{mm/m}$ 以内),导轨与导轨滑块的配合松紧程度,通过调整滑块的预紧力,使滑块在导轨上移动时手感均匀、无卡滞现象。在某型号的数控加工中心导轨装配中,通过精密的调整和润滑,实现了导轨副的高精度、高刚度装配,为机床的高精度加工提供了坚实的基础。

在完成上述机械组件的装配后,还需进行整机调试。调试过程中,需对机床的各项性能指标进行全面检测,如定位精度、重复定位精度、加工精度等。同时,还需对机床的润滑系统、冷却系统、电气系统等进行检查与调试,确保机床的各项功能正常、运行稳定。通过科学的机床装配工艺技术、精密的调试工艺手段,使数控机床的机械组件实现高精度、高稳定性装配,为现代制造业提供高效、可靠的加工设备。

4 数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试策略

数控机床制造中机械零部件的安装与调校不仅是技术的关键领域,同时也是保证数控机床质量、精度、稳定性的基石。这一过程融合了精密机械技术、电学技术、自动控制技术等多门科技的交叉,对技术的精确性、技术的流程性、技术的应用性等诸多方面有着严格的要求,最终实现高质量、高效率的生产目标^[1]。以下是对数控机床制造中机械组件装配工艺及调试策略的深化探讨。

4.1 建立完善的装配工艺流程:理论与实践的双重保障

装配工艺流程是数控机床制造前期的重要环节,它如同一座桥梁,连接着设计理念与实际生产。这一流程应细致入微地规划从零部件准备到整机调试的每一步操作,确保每一步都精准无误,符合既定的技术要求和质量标准。以机床导轨的装配为例,首先需对导轨面进行精密磨削,确保其表面粗糙度和直线度达到设计要求。随后,采用精密测量工具如激光测距仪检测导轨的安装位置和平行度,确保导轨间的相对位置精度。在导轨与床身固定时,需采用合适的紧固工艺,如预紧力矩控制,以防止因紧固不当导致的导轨变形或松动。最后,通过运行测试,验证导轨的运动平稳性和精度保持性。这一系列标准化的装配流程,不仅减少了装配误差,还提高了装配效率和产品质量,为机床的后续调试和长期使用奠定了坚实的基础。

4.2 采用先进的装配与调试技术:智能化与自动化的深度融合

能制造相关装配和调试技术正逐渐成为数控机床的主要竞争手段,虚拟装配技术就是其中的典型代表,它采用计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)软件,利用计算机模拟装配方式,将机床部件在虚拟软件中进行精确装配。以数控机床的传动系统为例,通过虚拟装配技术,可以预先发现传动链中的干涉问题,对齿轮啮合参数进行优化,保证传动的效率和精度。通过激光干涉仪、三坐标测量机等高精度检测手段实现对机床精度的测试与调试,为机床的装配与调试提供了更高的精度要求。例如激光干涉仪,用于对机床的各轴进行定位精度、重复定位精度进行测量,在此基础上实现机床的误差补偿。智能装配设备如自动拧紧机、机器人装配系统的引入,则进一步提升了装配的自动化水平和精度,确保了机械组件连接的稳定性和可靠性。这些

先进技术的应用,不仅提高了装配效率,还显著提升了机床的整体性能和精度。

4.3 加强装配人员培训与管理:技术与责任的双重提升

数控机床制造中的机械组件装配及调试工作,对装配人员的专业技能和责任心提出了极高的要求。因此,加强装配人员的培训与管理,成为提升装配质量和效率的关键。定期组织装配人员参与专业技能培训,内容包括装配工艺,先进装配技术和装备的操作,质量控制等方面培训,譬如以数控机床中的主轴装配为例,主要培训主轴轴承安装、主轴动平衡调整等装配工艺,以提升主轴装配质量水平。建立完善的装配人员质量考核评价制度,对装配质量实施量化考核,譬如装配质量合格率、返修率等考核制度,将考核结果与装配人员个人报酬相结合,激励装配人员,要求在一定程度上提高装配质量水平,并对装配人员的现场装配过程加强监督,确保装配过程严格按照既定的工艺流程和技术要求进行,避免因人为因素导致的质量问题。通过这一系列措施,可以培养出一支技术精湛、责任心强的装配团队,为数控机床的制造提供坚实的人才支撑。

数控机床制造的机械部件装配技术和调试方法是保障机床运行性能、精度、稳定性的重要措施,通过制定并完善数控机床的装配工艺技术、应用先进的装配调试技术和提高装配人员的专业素养和装配管理工作可以实现提升数控机床的制造质量和竞争力,助推智能制造。

5 结语

数控机床制造过程中的机械件装配工艺以及调试是一项复杂而且重要的工作。重视装配工艺的调试,并进行分析装配工艺,实施科学、合理的装配工艺及调试方法,能够有效提升数控机床的装配质量、性能及使用寿命。随着制造业的发展,装配工艺及调试技术应该不断创新及革新,以匹配制造业中对于越来越高质量的、精密的数控机床制造需求,以促进制造业的发展向高端化、智能化的方向发展。

参考文献

- [1] 周进.数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试[J].今日制造与升级, 2022(9):177-180.
- [2] 郭昱玮.数控机床制造中的机械组件装配探究[J].中国金属通报, 2024(18):95-97.
- [3] 凌思庆.数控机床制造中的机械组件装配研究[J].现代制造技术与装备, 2023, 59(7):85-87.

Discussion on the new dynamics of machine tool mechanical structure design and manufacturing technology

Chang Xiong Ye Liu

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

With the development of China's industrial field, the requirements for a variety of mechanical equipment are constantly improving, the traditional mechanical processing mode has been unable to meet the needs of the current era, accuracy and processing efficiency need to be improved. There are some deficiencies in the design and application of CNC machine tools in China, compared with developed countries, China's research work in this aspect still needs to be improved. This paper discusses the new trends of structural design and manufacturing technology of machine tool. Details the importance of these new dynamic in promoting the development of machine tool industry, analysis of the problems in the application process, and emphasizes its in improving the machine tool performance, meet the diversified market demand of the application significance, aims to provide comprehensive technical reference in the field of machine tool manufacturing practitioners, power industry technology innovation and progress.

Keywords

machine tool machine structure; design technology; manufacturing technology; new dynamics

机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨

熊昌 刘野

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110142

摘要

随着我国工业领域的发展,对各种机械设备的要求在不断的提升,传统的机械加工方式已经不能满足当前的时代需求,精度和加工效率都需要得到改善。我国在数控机床的设计和应用上都存在一定的欠缺,相比于发达国家,我国在这方面的研究工作上还有待提升。文章深入探讨机床机械结构设计和制造技术的新动态。详细阐述这些新动态在推动机床行业发展中的重要性,分析其应用过程中面临的问题,并着重强调其在提升机床性能、满足多样化市场需求等方面的应用意义,旨在为机床制造领域的从业者提供全面的技术参考,助力行业技术革新与进步。

关键词

机床机械结构; 设计技术; 制造技术; 新动态

1 引言

机床作为制造业的核心装备,其性能优劣直接影响产品的加工精度、生产效率和质量。随着制造业的快速发展,对机床的要求不断提高,促使机床机械结构设计和制造技术持续创新。新的设计理念、制造工艺和材料的应用,为机床行业带来了一系列新动态。深入研究这些新动态,对于提升机床制造水平、增强制造业竞争力具有重要的现实意义。

2 机床机械结构设计和制造技术新动态的重要性

在数控机床制造领域,机械组件的装配工艺及调试不仅是确保机床性能与精度的关键环节,更是随着技术的不断

进步,其新动态的重要性愈发凸显。这些新动态不仅提升了机床的整体性能,满足了多样化的市场需求,还推动了整个机床行业的技术革新。

2.1 提升数控机床性能

新的机械结构设计在数控机床中的应用,显著提升了机床的加工性能和精度。例如,采用先进的五轴联动结构,这种结构能够实现复杂曲面的高精度加工,特别适用于航空航天领域中对零部件的精细加工需求。五轴联动加工中心通过同时控制五个轴的运动,可以一次性完成多面体的加工,不仅提高了加工效率,还显著降低了加工误差。在制造技术方面,高速切削技术的引入,通过提高切削速度和进给量,不仅大幅提升了加工效率,还显著改善了加工表面的质量。实践表明,采用高速切削技术的数控机床,其加工效率可比传统加工方式提高 3-5 倍,同时表面粗糙度可降低 20%-50%^[1]。这些新技术的应用,为数控机床的性能提升提供了

【作者简介】熊昌(1982-),男,中国四川广安人,本科,工程师,从事机械类(机床装配工艺)研究。

强有力的支持,使得数控机床在加工精度、效率和表面质量等方面均达到了新的高度。

2.2 满足多样化市场需求

随着市场需求的多样化,数控机床的制造也面临着新的挑战。从普通零部件的加工到高精度、高性能零部件的加工,从单件小批量生产到大规模定制生产,数控机床需要不断适应市场的变化。机械组件装配工艺及调试的新动态,正是为了满足这些多样化需求而不断演进。模块化设计技术的发展,使得数控机床能够根据不同客户的具体需求,快速组合不同的功能模块,实现定制化生产。这种设计方式不仅提高了机床的灵活性,还降低了生产成本,满足了市场对多样化机床产品的需求。此外,增材制造技术(3D打印)在数控机床制造中的应用,也开辟了新的加工方式。通过3D打印技术,可以制造出传统加工方法难以实现的复杂结构零部件,满足特殊领域对机床的特殊需求。这些新技术的应用,使得数控机床能够更好地适应市场的多样化需求,提高了机床的市场竞争力。

2.3 推动行业技术革新

数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试新动态,不仅提升了机床的性能和满足了市场需求,还推动了整个机床行业的技术革新。例如,智能机床的研发,就是机械组件装配工艺及调试新动态的重要体现。智能机床融合了先进的传感器技术、自动化控制技术和机械结构设计,实现了机床的智能化运行、故障自诊断和远程监控等功能。这些功能的实现,不仅提高了机床的自动化水平和生产效率,还降低了机床的维护成本和故障率^[2]。

数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试新动态的重要性不言而喻。这些新动态不仅提升了机床的性能和精度,满足了市场的多样化需求,还推动了整个机床行业的技术革新和产业升级。随着技术的不断进步和市场需求的不断变化,数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试新动态将继续发挥重要作用,为机床制造业的发展注入新的活力和动力。

3 机床机械结构设计和制造技术应用中存在的问题

数控机床作为现代制造业的核心设备,其机械组件的装配工艺及调试环节直接决定了机床的性能和稳定性。然而,在实际操作中,这一环节仍面临着一系列挑战,这些挑战不仅影响了机床的生产效率和质量,也制约了整个制造业的转型升级。以下将详细分析数控机床制造中机械组件装配工艺及调试存在的问题,并深入探讨这些问题出现的根源。

3.1 技术研发投入不足: 制约装配工艺及调试技术创新

数控机床机械组件的装配工艺及调试技术的创新,离不开持续的技术研发投入。然而,当前部分企业对技术研发

的重视程度不够,投入相对不足,这直接制约了装配工艺及调试技术的创新与发展。例如,在装配工艺方面,一些先进的自动化装配设备和智能检测技术的应用,可以显著提高装配精度和效率,但由于研发投入不足,这些技术难以得到广泛应用。

技术研发投入不足的原因,在于企业对技术研发的长期价值认识不足,更倾向于追求短期利益;也在于资金和资源分配的不均衡,导致一些有潜力的创新项目无法得到足够的支持。此外,政策环境和市场环境的变化,也可能影响企业对技术研发的投入决策。

3.2 人才短缺: 影响装配工艺及调试技术实施效果

数控机床机械组件的装配工艺及调试技术,需要一支高素质、专业化的技术人才队伍来支撑。然而,当前掌握先进机械结构设计和制造技术的专业人才相对短缺,这直接影响了装配工艺及调试技术的实施效果。在装配工艺方面,一些复杂、精密的组件装配需要经验丰富的技术人员进行操作和调试,但由于人才短缺,一些企业不得不降低装配标准或依赖外部服务,导致装配质量不稳定。在调试环节,一些新技术、新方法的应用需要专业技术人员进行培训和指导,但由于人才不足,这些新技术难以得到有效推广和应用。

人才短缺的原因,在于高校相关专业的人才培养模式与企业实际需求存在差距,导致毕业生实践能力不足,难以满足企业需求;另一方面,也在于行业内对高端人才的吸引力不够,薪资待遇、职业发展前景等因素影响了人才的留存和引进^[3]。此外,一些企业缺乏完善的人才培养机制,导致员工技能水平难以提升,也加剧了人才短缺的问题。

3.3 技术标准不统一: 增加装配工艺及调试技术合作难度

数控机床机械组件的装配工艺及调试技术,需要遵循统一的技术标准,以确保不同企业之间的产品兼容性和合作效率。然而,当前机床行业缺乏统一的技术标准,不同企业在机械结构设计和制造技术方面各自为政,这使得新技术在推广应用过程中面临兼容性问题,增加了企业之间的合作难度和成本。例如,在装配工艺方面,不同企业采用的装配方法和工艺流程存在差异,导致在合作过程中需要进行大量的协调和沟通工作。在调试环节,不同企业的数控系统、传感器等设备接口标准不一致,导致调试过程中需要进行繁琐的接口适配和调试工作。

技术标准不统一的原因,一方面在于行业内缺乏统一的技术标准和规范制定机构,导致技术标准混乱;另一方面,也在于企业之间的技术壁垒和利益冲突,使得技术标准难以统一^[4]。此外,一些企业对新技术的接受程度和应用水平不同,也影响了技术标准的推广和实施。

数控机床制造中机械组件装配工艺及调试存在的问题,不仅制约了机床性能和稳定性的提升,也影响了整个制造业的转型升级。为了克服这些问题,需要企业、高校、政府等

多方面的共同努力,加大技术研发投入、培养高素质人才、推动技术标准统一等措施的实施,以推动数控机床制造水平的提升和行业的持续发展。

4 机床机械结构设计和制造技术应用

机床作为制造业的核心设备,其机械结构设计和制造技术的应用水平直接决定了产品的生产效率、加工质量以及整个行业的产业升级能力。以下将详细探讨机床机械结构设计和制造技术应用在提高生产效率、保障加工质量以及促进产业升级方面的重要作用,并通过具体实例加以阐述。

4.1 提高生产效率:技术创新引领生产加速

在现代化生产体系中,提高生产效率是企业追求的核心目标之一。机床机械结构设计和制造技术的创新应用,为实现这一目标提供了强有力的支持。以直线电机驱动技术为例,这一技术的引入彻底改变了传统机床的运动方式,实现了坐标轴的快速响应和高加速度运动。在汽车零部件生产线中,配备直线电机的数控机床展现出了惊人的生产效率。例如,某知名汽车制造商在引入直线电机驱动的数控机床后,其零件加工周期显著缩短了40%,这一提升不仅加快了生产线的整体节奏,还有效降低了生产成本,提高了企业的市场竞争力。此外,随着智能制造技术的不断发展,机床的自动化、智能化水平也在不断提升,进一步推动了生产效率的飞跃。

4.2 保障加工质量:精密设计铸就卓越品质

在高端制造业中,加工质量的稳定性是衡量企业技术水平的重要标准。机床机械结构设计和制造技术的应用,为加工质量的提升提供了坚实的基础。优化机床床身结构设计是保障加工质量的关键一环。通过采用有限元分析等先进设计手段,工程师们能够精确评估床身的刚性和抗震性能,从而设计出更加稳固、耐用的机床结构。在实际应用中,这样的设计显著减少了加工过程中的振动和变形,确保了零件的加工精度。同时,先进的制造工艺也发挥着不可或缺的作用。精密磨削、电火花加工等高精度加工技术,能够实现零件表面的微米级加工,满足了对表面质量要求极高的零部件加工需求。例如,在医疗器械制造领域,对零件的表面粗糙度和尺寸精度有着极高的要求,而先进的制造工艺正是实现这一目标的关键所在。

4.3 促进产业升级:高端装备引领制造业变革

机床机械结构设计和制造技术的应用,不仅推动了企业自身的发展,更对整个制造业的产业升级产生了深远的影响。随着全球制造业的转型升级,高端制造业逐渐成为各国竞相发展的重点领域。而高性能机床作为高端制造业的核心设备,其技术水平的提升直接带动了相关产业的发展。以航空发动机叶片加工为例,高性能机床的应用使得叶片的加工精度和质量得到了大幅提升。叶片作为航空发动机的关键部件,其性能的好坏直接影响到发动机的整体性能。通过采用高精度机床进行加工,叶片的几何形状和尺寸精度得到了有效控制,从而提高了发动机的推力和效率。这一技术的突破不仅推动了航空发动机技术的发展,还带动了整个航空航天产业的升级和进步。

机床机械结构设计和制造技术的应用在提高生产效率、保障加工质量以及促进产业升级方面发挥着重要作用。通过不断创新和优化设计制造工艺,我们能够打造出更加高效、精准、可靠的机床设备,为制造业的发展注入源源不断的动力。未来,随着智能制造、工业互联网等新兴技术的不断发展,机床机械结构设计和制造技术的应用将更加广泛和深入,为推动制造业的高质量发展贡献更多力量。

5 结语

机床机械结构设计和制造技术的新动态为机床行业的发展带来了新的机遇和挑战。尽管在应用过程中存在一些问题,但通过加大技术研发投入、培养专业人才、统一技术标准等措施,能够有效解决这些问题,充分发挥新技术的优势。持续关注和应用这些新动态,对于提高机床生产效率、保障加工质量、促进产业升级具有不可忽视的作用,将为制造业的高质量发展提供坚实的支撑。

参考文献

- [1] 梁铭祥.数控机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨[J].科技展望, 2017, 27(22).
- [2] 申林.数控机床机械结构设计和制造技术新动态探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(5):4.
- [3] 安汝伟,王廷猛,张太勇,等.数控机床机械结构设计和制造技术新动态的探讨[J].内燃机与配件, 2019(3):2.
- [4] 高爱松.数控机床机械结构设计和制造技术新动态探讨[J].湖北农机化, 2019(10):1.

The role of modular design in the modern machine tool manufacturing

Xianchen Zhang Liang Gao

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

Modularity is a form of standardization developed in the middle of the 20th century. Modern machine tool modular design concept is based on the majority of users, design a series of different structures and uses, and the function of the same and interchangeable functional modules (including components, components, devices or systems, etc.) and some special parts of the design method. Article elaborated its application in machine tool manufacturing, discusses the problems facing the current application, and combined with the actual application case, modular design how to promote modern machine tool manufacturing to the direction of efficient, flexible, innovation, for the machine tool manufacturing industry technology upgrading and optimization to provide theoretical support and practical reference.

Keywords

modular design; modern machine tool manufacturing; application

模块化设计在现代机床制造中的作用

张显辰 高亮

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110142

摘 要

模块化是20世纪中期发展起来的一种标准化形式。现代机床模块化设计概念是根据广大用户提出的功能要求, 设计出一系列具有不同结构和用途, 而功能相同并可互换的功能模块(包括组件、部件、装置或系统等)和一些专用部件的设计法。文章详细阐述其在机床制造各环节的应用作用, 探讨当前应用中面临的问题, 并结合实际应用案例, 展示模块化设计如何推动现代机床制造向高效、灵活、创新的方向发展, 为机床制造行业的技术升级与优化提供理论支撑与实践参考。

关键词

模块化设计; 现代机床制造; 应用

1 引言

随着制造业的快速发展与市场需求的多样化, 现代机床制造面临着提高生产效率、降低成本、增强产品适应性等诸多挑战。模块化设计作为一种先进的设计理念, 通过将机床分解为具有特定功能的模块, 再进行组合与集成, 为解决这些问题提供了有效途径。它不仅改变了传统机床的设计与制造模式, 还对整个机床行业的发展产生了深远影响。深入研究模块化设计在现代机床制造中的作用, 对于提升机床制造水平、满足市场需求具有重要意义。

2 模块化设计在现代机床制造中的应用作用

模块化设计是现代化的一种新型设计思维, 在当前的机床制造过程中已经得到广泛的应用, 并且改变传统机床的

设计思维, 模块化设计的特性也更加高效地体现在了机床的设计制造效率、成本以及机床设计的灵活性、拓展空间等多个方面。下面就模块化设计在当前机床制造的实践过程中进行详细分析。

2.1 提高设计效率: 加速新产品研发与迭代

模块化设计将机床分解为一系列标准化的功能模块, 这些模块可以独立设计、制造和测试。当需要设计一款新型机床时, 设计人员只需根据具体需求, 从已有的模块库中选取合适的模块进行组合, 即可快速完成设计工作。例如, 在设计一款高精度数控加工中心时, 设计师可以直接选用经过市场验证的高精度主轴模块和稳定的进给模块, 无需从头开始设计这些关键部件^[1]。模块化的优点是设计周期缩短, 通过选择合理的模块进行快速组合设计, 用已经成熟的高精度主轴模块和可靠的进给模块来完成产品的设计, 无须从设计开始就设计关键部件。模块化设计出来的产品性能更稳定可靠。据统计, 设计一种机床新产品一般可缩短 30% ~ 50% 的设计周期, 从而在激烈的市场竞争中让企业能更快地推出

【作者简介】张显辰(1988-), 男, 中国辽宁辽阳人, 本科, 工程师, 从事机械类(机床装配工艺)研究。

新产品进入市场，争取竞争优势。

此外，模块化设计还促进了机床设计的标准化和系列化。通过制定统一的模块接口和通信协议，不同厂商生产的模块可以实现无缝对接，进一步提高了设计效率。例如，某机床制造企业通过引入模块化设计理念，成功开发了一系列具有相同基础架构但功能各异的机床产品。这些产品不仅在设计上保持了高度的一致性，还在制造和装配过程中实现了高度的共享性和互操作性，大大降低了设计和制造成本。

2.2 降低制造成本：实现规模化生产与高效装配

在设计效率方面，机床的设计过程可通过模块设计提高效率，在设计过程中机床的各个部分可独立设计、绘制，在研制过程中也避免了零部件的重复设计。以某一数控机床的导轨模块为例，可以为同种规格型号的导轨设计模块，运用模块化的设计理念，再使用先进的制造技术和制造工艺，从而大量减少企业生产成本，同时加大企业的生产效率及产品的质量稳定性。同时，由于模块之间的通用性和互换性，企业在生产过程中可以灵活地调整生产计划，应对市场需求的变化。

模块化设计在机床的装配过程中也发挥了非常重要的作用，传统的机床装配工作十分复杂，其组装过程较为繁琐。通过引入模块化设计，机床的组装变得十分简便，企业只需要将已经完成生产的模块进行组装与调试，装配的效率有非常明显的提升，而且在装配中错误出现的概率大幅度降低，机床出现故障时维修费用也会下降。例如，在某一机床制造公司中，由于引入了模块化的设计，该公司机床的组装时间下降了 20%，而维修费用则下降了 30%，充分提高了其经济效益与市场竞争力^[2]。

2.3 增强机床的灵活性与可扩展性：满足多样化需求与持续升级

随着用户需求的日益多样化和个性化，机床需要具备更加灵活多变的功能。模块化设计正是满足这一需求的最佳解决方案。依据用户的不同需求，通过增减、更换模块，机床可以快速适应不同的加工任务。比如，原本用于普通铣削加工的机床，用户如果想要增加镗削功能，只需要增加镗削模块即可，这不仅能够实现用户对机床的各种需求，还能使机床使用年限得到延长。

模块化设计还为机床的持续升级提供了便利。随着技术的不断进步和市场的不断发展，机床需要不断引入新的功能模块和技术特性。通过模块化设计，企业可以方便实现机床的升级，将新的功能模块（高速切削模块、智能监控模块）等安装到旧的机床平台中，来提高机床的效率、精度等性能，满足新工艺以及生产的新要求^[3]。例如机床制造企业利用智能监控模块，对机床的运行状况实施监控、预警等，提高机床的可靠性。

模块化设计在当代的机床生产中获得了明显的应用效益，提升了设计效率，缩减了生产成本，提升了机床的适用

性和扩展性，随着科技水平和市场化程度不断提升，在当前机床生产活动中，模块化设计将持续发挥重要的作用。企业需不断采纳模块化设计思想，提升模块化设计系统的完善程度，更好满足市场的变化以及用户需求的变化。

3 模块化设计在现代机床制造中应用存在的问题

3.1 提高生产效率与灵活性

模块化设计在现代机床制造中的首要应用在于显著提高生产效率与灵活性。传统机床制造往往采用一体化设计，一旦发现问题或零部件需升级，将需要将整个机床拆分为零部件，并对机床进行拆卸，其效率和连续性遭到严重的破坏。而模块化设计将一个整体机床拆分为各个独立模块，每个模块为单独的一个零部件，经过拼装后成为了整体机床，每个模块若发生故障，工人只需寻找故障发生对应的模块并进行拆卸，无需对整个机床进行拆解，拆卸出的各模块能够进行维护升级，并重新进行拼装，解决了生产线故障带来的损失^[4]。此外，这种设计还使得机床能够根据生产需求快速调整配置，如更换不同规格的主轴模块以适应不同材质的加工，极大地提升了机床的灵活性和适应性。

3.2 降低制造成本与缩短研发周期

模块化设计可以有效降低制造成本，减少产品的研制周期，在模块化体系下，模块在不同的生产线同步制造，减少了生产线的等待时间与资源浪费，由于模块间标准化的接口设计减少了对特制零件的需求，降低了制造成本。专业化生产高端数控机床的企业，通过对机床模块化的设计，原来复杂的工艺流程被缩短成几个模块工艺制造流程，这些模块的生产不仅可以为公司内部使用，也可以委托生产，借此利用规模效应，降低生产成本。此外，模块化可以缩短新产品的研发周期。只需要在目前的模块进行组合与优化就能制造出新产品，只需要组合与优化的操作，而不是要重新设计整合新机床，大大缩短了产品的研制周期，加快了新产品上市进程。

3.3 促进技术创新与定制化服务

模块化设计不仅有助于创新，同时也可以提供个性化定制服务。在模块化架构下，每个模块都可以作为一个独立的创新单元进行研发和优化，这使得机床制造商能够更快地引入新技术、新材料或新工艺。例如，随着物联网、大数据和人工智能技术的发展，一些机床制造商已经开始在模块化设计中融入智能监控、预测性维护和远程服务等功能，使机床更加智能化。同时，模块化设计还使得机床能够根据客户的具体需求进行高度定制化配置。客户可以根据加工工件的材质、尺寸、精度要求等因素，选择最适合的主轴模块、进给模块、控制系统等，从而构建出完全符合其生产需求的机床。这种高度定制化的能力不仅增强了机床的市场竞争力，也提升了客户满意度和品牌忠诚度。

模块化的现代机床制造设计有效提升了现代机床制造业的生产力以及灵活性,进一步减少了制造成本,缩短研发时间,促进了技术创新与技术定制服务的进一步发展。随着现代制造业的不断革新与智能化方向的加强,模块化的现代机床制造设计将会是现代制造业发展的一个重要主流方向,使整个现代制造业向着现代化、高效化、灵活性发展。

4 模块化设计在现代机床制造中的实际应用

模块化设计作为现代工业设计的重要思想,在机床生产行业中得到了深入应用,在机床设计中采用模块化设计思想,大大增强了机床的适应性和可变性,节约了资源,推动了企业可持续发展。以下将深入探讨模块化设计在柔性制造系统、定制化机床生产以及机床再制造中的实际应用。

4.1 在柔性制造系统中的应用

柔性制造系统(FMS)是现代制造业的重要组成部分,它要求机床能够快速、灵活地适应不同产品的加工需求。模块化设计的机床在这一领域展现出了巨大的优势。以一家汽车零部件生产企业为例,该企业引入了模块化设计的数控机床,构建了高效的柔性制造单元。这些机床通过更换不同的加工模块,如铣削模块、钻孔模块、镗削模块等,能够轻松实现对多种汽车零部件的加工。当市场需求发生变化,或企业需要生产新的汽车零部件时,只需简单调整模块组合,即可迅速适应新的生产需求。这种高度灵活的生产方式,不仅大大提高了企业的生产效率,还显著降低了生产成本,增强了企业的市场竞争力。此外,模块化设计还使得机床的维护和升级变得更加便捷,进一步提升了FMS的整体性能和可靠性。

4.2 在定制化机床生产中的应用

随着市场竞争的加剧和消费者需求的多样化,定制化机床的需求日益增加。模块化设计为定制化生产提供了全新的解决方案。模具制造企业为例,该企业根据客户对模具加工的特殊要求,采用模块化设计的方式,从多个标准模块中选择合适的组件进行组合,定制出满足客户需求的专用机床。这种生产方式不仅满足了客户的个性化需求,还大大降低了定制成本。由于模块之间的通用性和互换性,企业能够快速响应市场变化,缩短交付周期,提高客户满意度。此外,模块化设计还使得机床在后续维护和升级时更加便捷,延长

了机床的使用寿命,降低了企业的长期运营成本。

4.3 在机床再制造中的应用

机床再制造是对旧机床进行升级改造,恢复或提升其性能的过程。模块化设计为机床的再制造提出了明确的方法。以机床再制造企业为例,对一台老旧的普通机床进行了全面的升级改造。通过更换先进的数控系统模块、高精度的主轴模块以及优化的进给模块,机床的性能得到了显著提升。使普通机床达到了高的精密度、高效率加工制造。机床再制造后的多功能机床不但实现了加工过程中的智能化和网络化,而且比购买一套新机床,仅需要原机床的30%-50%成本。另外模块化的机床还可以在再制造过程中调整配置满足不同客户的需求,并且也可以有效地节约生产资料,对企业发展过程的节能减排和可持续发展战略都有良好效果。

现代机床制造过程中对于模块化设计的实际应用,提高了机床生产的灵活性和可变性,促进了资源的有效利用以及企业持续发展,同时也随着不断的发展和更新将发挥其巨大的作用,对今后机床制造行业中在这一领域的应用极为关键。

5 结语

模块化设计在现代机床制造中具有显著的应用作用,尽管目前存在一些问题,但是随着技术进一步发展,其在机床制造企业中应用前景不可限量。目前只需解决模块标准化、接口、模块协同性稳定等问题,进一步实现模块化设计的优势作用,促进现代机床制造进一步提升,更好地满足制造业日趋多样化的、个性化的需要,对制造业转型升级提供强劲推动动力。

参考文献

- [1] 赵中敏.模块化设计在现代机床制造中的作用[J].中国设备工程, 2006(9):2.
- [2] 伍世虔,余兴倬.机床整体结构及其设计思想的发展[J].湖北工学院学报, 1994(3):170-173.
- [3] 李雪晓.在机床制造业中推进模块化设计[C]//河南省青年学术年会.河南省科学技术协会, 2004.
- [4] 殷国富,赵汝嘉,陶钟.机床变速箱计算机辅助设计软件系统[J].机械工业自动化[2025-03-26].

Study on reliability guarantee method of heavy CNC machine tool

Yongchao Zhao Jiuzhu Shen

Shenyang Machine Tool Zhongjie Friendship Factory Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110142, China

Abstract

The beginning of the in-depth analysis of heavy CNC machine tool high precision, large bearing characteristics, as well as the assembly link of the site equipment requirements, precision control difficult particularity. Subsequently, the assembly process process is optimized in turn, the assembly quality control is comprehensively controlled, the assembly process monitoring and fault diagnosis are innovated and explored, and a scientific assembly process reliability evaluation system is constructed. Finally, the effectiveness of the proposed method is verified by combining the actual cases of specific enterprises. The results of this research not only enrich the relevant theories, but also provide practical reference for enterprises in the industry to improve the reliability of assembly process and promote the high-quality development of heavy CNC machine tool industry.

Keywords

heavy-duty CNC machine tool; assembly process; reliability guarantee; fault diagnosis

重型数控机床装配工艺可靠性保障方法的研究

赵永超 申久祝

沈阳机床中捷友谊厂有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110142

摘 要

开篇深入剖析重型数控机床高精度、大承载的特性, 以及装配环节对场地设备要求高、精度控制难度大的特殊性。随后, 依次对装配工艺流程进行优化设计, 对装配质量控制进行全面把控, 对装配过程监测与故障诊断进行创新探索, 并构建科学的装配工艺可靠性评估体系。最后, 结合具体企业的实际案例, 验证所提方法的有效性。本研究成果不仅丰富了相关理论, 也为行业内企业提升装配工艺可靠性, 推动重型数控机床行业的高质量发展提供切实可行的实践参考。

关键词

重型数控机床; 装配工艺; 可靠性保障; 故障诊断

1 引言

重型数控机床作为国家级高精端装备制造业中的重要生产设备, 在航空航天、船舶等领域被大量应用。机床装配工艺的可靠性直接影响了机床的质量和性能。在目前重型数控机床装配还存在装配周期长、装配精度难保证、出现故障等问题, 严重阻碍了行业发展, 因此, 对重型数控机床装配工艺可靠性保证的研究方法进行研究, 对我国高端装备制造业发展, 增强产业核心竞争力有着重要的现实意义。

2 重型数控机床概述

2.1 重型数控机床的特点与应用

2.1.1 结构与性能特点

重型数控机床体型庞大, 床身、立柱等部件采用高刚性设计, 以承受巨大的切削力和重力。其主传动系统功率强

大能实现大切削量, 具有较高的精度, 采用高精度的导轨、丝杠等, 从而保证高的加工精度, 具有上述优点, 重型数控机床在加工大件、复杂零件有突出的优势, 例如航空发动机叶片、船舶螺旋桨的加工。

2.1.2 应用领域

在航空航天领域, 用于加工飞机机身框架、机翼等大型部件; 船舶制造中, 实现螺旋桨、船用曲轴等关键零部件的精密加工; 能源电力行业, 对大型发电机转子、汽轮机叶片进行高效加工, 助推国家重大项目建设^[1]。

2.2 重型数控机床装配的特殊性

2.2.1 装配环境与设备要求

重型数控机床装配需要较大的车间场地, 需要有行车、龙门吊等大型起重机可以满足零件的吊运, 对车间温、湿度等环境条件要严格保证, 以防环境变化影响其装配质量。

2.2.2 装配精度控制挑战

在装配过程中很难定位调整到位。如大型床身、立柱的装配, 小小的误差就会造成机床整体精度降低, 对装配人员的技术水平、装配工艺都有很高要求。

【作者简介】赵永超(1992-), 男, 中国辽宁锦州人, 本科, 助理工程师, 从事机械类(机床装配工艺)研究。

2.2.3 装配过程的复杂性与周期

重型数控机床装配过程中包含大量的部件,装配工序繁多且工序之间存在着互相联系和影响。从部件清洗、部件预装配到部件总装、调试等过程所需时间长,加大了装配过程中所存在的不明确性。

3 重型数控机床装配工艺流程分析

3.1 装配工艺流程设计原则

3.1.1 科学性与高效性结合

装配工艺流程应遵循机械装配的基本原理,合理制定装配工序,尽可能少做多余的工序,提高装配效率,如尽可能采用模块化装配,即将相关的零部件装配成模块,再进行总装配,以缩短总装配周期。

3.1.2 可操作性与质量保障

设计的装配工艺流程要便于装配工人操作,降低劳动强度。同时,明确各装配环节的质量要求和检验标准,确保装配质量。

3.2 典型装配工艺流程分析

3.2.1 部件装配

以主轴部件装配为例,首先对主轴、轴承、齿轮等零部件进行清洗和检查,去除表面油污和杂质。然后进行预装配,调整轴承的间隙和预紧力,确保主轴的回转精度。最后进行正式装配,将主轴部件安装到机床主体上,并进行精度检测^[2]。

3.2.2 总装配

总装时按由下至上的顺序,由内向外安装床身、立柱、工作台等主体构成。在安装的同时采用定位销、螺栓等将各部件连接并使用调整垫铁、楔铁等调节位置确保其间的位置精度。

3.2.3 调试与检测

装配后电气调试,检查电气系统的接线是否无误、参数是否合理。然后进行机械性能调试,测试主轴的转速、进给系统的运动速度等。最后进行精度检测,包括几何精度、运动精度以及工作精度检测,确保机床达到设计要求。

3.3 装配工艺流程的优化

3.3.1 基于工业工程的流程优化

运用流程程序分析方法,对现有的装配工艺流程进行分析,找出不合理环节,如不必要的搬运、等待时间等,并进行优化。通过动作分析,改进装配工人的操作方法,提高装配效率。

3.3.2 并行工程在装配中的应用

在装配设计阶段,采用并行工程的理念,让设计人员、工艺人员和装配工人共同参与,提前考虑装配过程中的各种问题,优化装配设计。例如,设计便于装配的零部件结构,减少装配难度。

4 重型数控机床装配质量控制

4.1 装配质量控制体系

4.1.1 质量目标与组织架构

明确装配质量控制的目标,如机床的各项精度指标、

可靠性指标等。建立质量管理组织架构,明确各质量部门及每个岗位质量人员的职责;制定质量管理体系文件和操作规程;形成全员参与质量管理氛围^[3]。

4.1.2 质量控制流程与标准

制定从原材料采购到成品交付的全过程质量控制流程,包括零部件检验、装配过程检验、成品检验等环节。制定详细的质量检验标准,明确检验项目、检验方法和验收准则。

4.2 装配过程中的质量控制方法

4.2.1 零部件质量检验

对装配过程中进入装配的配件实行外观抽检、尺寸检验、性能检验等严格把关措施,做好配件的质量检查工作,运用抽样检查与质量抽查的工作模式,确保配件的质量达标。

4.2.2 装配精度控制

装配过程中,采用激光干涉仪、三坐标测量仪等高精度测量仪器进行装配过程的测量与控制,通过调整装配工艺参数,包括装配力、装配顺序等,控制装配精度。

4.2.3 关键工序质量控制

确定装配过程中的关键工序,如主轴装配、导轨磨削等,对关键工序进行重点监控。设立质量控制点,对关键工序的操作人员、设备、工艺参数等进行严格管理。

4.3 质量追溯与问题处理

4.3.1 质量追溯系统建立

通过信息化手段建立装配质量追溯系统,对零部件添加二维码或条形码,在零部件上标识零部件的生产批次、供应商、装配人员等信息,对装配过程实现全过程追溯。

4.3.2 质量问题分析与整改

发生质量问题时,利用鱼骨图、故障树等进行分析,分析出问题原因,制定对问题有效的解决方案,及时对质量问题予以整改,跟踪验证整改效果。

5 重型数控机床装配过程监测与故障诊断

5.1 装配过程监测技术

5.1.1 传感器技术应用

装配时安装力传感器、位移传感器、温度传感器等,实时对装配力、装配位置、零部件温度等进行监控,根据参数对装配是否合格进行判断。

5.1.2 视觉检测技术应用

通过机器视觉检测,实现对装配过程的可视化。如通过视觉检测手段检测到装配件的装配姿态、装配间隙等,及时发现装配过程中的异常情况。

5.1.3 数据采集与传输系统

为了实现对大件数控机床装配的全面感知,建立一个完善的传感、采集、传输体系。系统将各类传感器、视觉系统所采集的装配力、装配位置以及零部件装配状态等数据,通过有线以太网或无线 Wi-Fi、蓝牙等传输方式,实时传输至监控中心。在传输过程中采用数据校验、冗余传输等方式,在噪音工业环境下实现传输信息的稳定、可靠,为后续装配过程的数据分析、故障诊断提供可靠的数据。

5.2 装配故障诊断方法

5.2.1 基于数据挖掘的故障诊断

在重数控机床上装配过程中,利用数据挖掘的方法,可以对传感器监测、监视系统获取的装配数据进行分析。在分析时,运用关联规则挖掘、聚类分析等算法,挖掘装配数据中隐藏的关系和模式,梳理数据间的潜在规律。根据分析挖掘的结果,利用机器学习的算法建立符合实际情况的故障诊断模型,从而实时对装配过程进行监视,捕捉可能存在故障的异常数据,进行分析,对装配故障进行预测,在故障发生的时候,能够及时准确地进行诊断,将故障造成的损失降低。

5.2.2 人工智能技术在故障诊断中的应用

在重型数控机床装配故障诊断领域,神经网络和专家系统等人工智能技术发挥着重要作用。神经网络是基于神经元的深度学习,学习大量历史故障样本,构建高度复杂且准确的故障模式与故障原因映射关系模型,借此快速判断新出现的故障情况。专家系统则通过收集、整理领域专家的知识 and 丰富实践经验,搭建规则库。在发生故障时,根据故障信息在故障规则表中进行推理,找出故障原因,有效地指导维修人员对所发生的故障问题进行快速诊断与分析。

6 重型数控机床装配工艺可靠性评估

6.1 装配工艺可靠性评估指标体系

6.1.1 指标体系构建原则

在构建重型数控机床装配工艺可靠性评估指标体系时,严格遵循科学性、完整性和实践性的建立原则。科学性原则要求指标体系的构建基于机械装配原理与可靠性理论,确保逻辑严密、科学合理;全面性原则强调从装配品质、装配效率、装配稳定性等多个方面考虑,包含了装配合格率、装配周期稳定性等多方面不同的评价指标,有效实现了从多角度评价重型数控机床装配工艺的可靠性程度。可操作性原则注重所选取的指标数据易于采集,评估方法简单可行,便于企业在实际生产中运用,借助对采集数据的深入分析,准确评判装配工艺的可靠性。

6.1.2 评估指标选取

在构建重型数控机床装配工艺可靠性评估体系时,精选装配合格率、装配周期稳定性、故障发生率等关键指标。装配合格率指合格装配产品数量占总装配产品数量的比例,直观反映装配过程中产品质量的达标程度,衡量装配质量控制成效。装配周期稳定率反映每次装配耗时变化幅度,其值越小说明该工艺在外界干扰越小,稳定性越强。装配失败率是指单位时间内装配过程中出现产品不合格的频次,装配失败率越低,反映其工艺水平的可靠性越高,三种指标从不同角度全方位体现装配工艺的可靠性水平。

6.1.3 装配工艺可靠性评估方法

(1) 层次分析法确定指标权重。在构建重型数控机床装配工艺可靠性评估体系时,运用层次分析法,对评估指标进行系统分层。将装配工艺可靠性作为目标层,从质量、效

率、稳定性等维度设立准则层,再围绕准则层,细化出装配合格率、装配周期稳定性等具体指标,形成指标层。通过设计成对比较问卷,邀请行业专家针对同一层次各指标的相对重要性进行两两打分。之后,构建判断矩阵,运用特征向量法等数学方法,对判断矩阵进行运算,求解出各指标的权重系数,量化各指标在评估体系中的重要程度。

(2) 模糊综合评价法进行评估。在对重型数控机床装配工艺可靠性进行综合评价时,利用模糊综合评价法。首先,根据行业标准以及实际生产的要求,合理划分评价级数,如可靠、较可靠、一般、不可靠等,建立了易于辨识的评价标准。其次,通过层次分析法,确定各评价指标的权重值,利用大量实验数据和专家经验建立评价矩阵。最后,利用模糊数学运算方法计算出装配工艺可靠性的综合评价结果,实现对装配工艺客观、全面的评判。

6.2 评估结果应用与改进

6.2.1 制定改进措施

在获取装配工艺可靠性评估结果后,运用系统分析方法,深度剖析数据,精准定位装配工艺中诸如装配顺序不合理、关键环节把控不足等各类薄弱环节。对这些问题的出现提出有针对性的解决方案。通过优化装配工艺,消除不合理的装配工序,优化装配流程,减少装配时间,提高装配效率;借助加强质量控制,在关键工序设立质量监测点,严格检验标准,提升装配质量,以此推动装配工艺可靠性的全面提升。

6.2.2 持续优化装配工艺

借助科学合理的装配工艺可靠性评估体系,定期对重型数控机床装配工艺展开全面、深入的评估。基于评估所暴露的流程缺陷、质量隐患、效率瓶颈等问题,制定针对性的改进策略,如完善装配流程、改进装配工装设备、加强装配人员培训。及时解决装配工艺中的技术问题,不断增强和完善装配工艺的工艺和可靠性的评价及水平,减少装配工艺的故障,最终保证了重型数控机床的生产质量和为重型数控机床的实际运行提供了保障,助力机床在实际运行中发挥卓越性能。

7 结语

本文通过对重型数控机床装配工艺可靠性保障方法的研究,提出了一系列有效的措施和方法。这些研究成果有助于提升重型数控机床的装配质量和效率,增强企业的市场竞争力。未来,随着科技的不断进步,还需进一步探索新的装配技术和方法,推动重型数控机床装配工艺的持续发展。

参考文献

- [1] 孙井泉,姜华. 数控机床液压系统分析与装配工艺实践 [J]. 机械研究与应用, 2024, 37 (03): 118-121+125.
- [2] 周进. 数控机床制造中的机械组件装配工艺及调试 [J]. 今日制造与升级, 2022, (09): 177-180.
- [3] 果长明. 重型数控机床装配工艺可靠性保障方法的研究 [J]. 山东工业技术, 2018, (22): 39.

Performance of specialized coated cutting tools for high-temperature alloy materials in cutting and their impact on surface integrity during machining

Hao Liang

AVIC Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd. Shaft Factory, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

High temperature alloys have excellent mechanical properties and high temperature resistance, and have broad application prospects in high-end manufacturing fields such as aerospace and energy. However, high-temperature alloys are extremely difficult to machine, and traditional cutting methods suffer from problems such as rapid tool wear and poor surface quality. In recent years, cutting, as a new type of green manufacturing technology, has received widespread attention. Among them, liquid nitrogen low-temperature cutting technology has shown significant advantages in reducing cutting temperature, minimizing tool wear, and improving machining surface quality. In this context, conducting research on the cutting performance of high-temperature alloy coated cutting tools and their impact mechanism on the integrity of machined surfaces is of great significance for improving machining efficiency, reducing costs, and enhancing product quality.

Keywords

High-temperature alloy; Coated cutting tools; Cut

针对高温合金材料的专用涂层刀具在切削中的性能及对加工表面完整性的影响

梁昊

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司盘轴厂，中国·辽宁 沈阳 110000

摘 要

高温合金具有优良的力学性能及耐高温性能，在航空航天、能源等高端制造领域有着广泛的应用前景。但高温合金是一种极难加工的材料，传统的切削方法存在着刀具磨损过快和表面质量不佳等问题。近几年来，切削作为一种新型的绿色制造技术，受到了广泛的重视。其中，液氮低温切削技术在降低切削温度、减少刀具磨损、提高加工表面质量等方面表现出明显的优势。在这一背景下，开展高温合金涂层刀具切削性能及其对加工表面完整性的影响机理研究，对提高加工效率、降低成本和提高产品质量具有重要意义。

关键词

高温合金；涂层刀具；切削

1 引言

高温合金切削加工一直是加工领域的一大难题，其硬度高、导热系数小、加工硬化等特点决定传统切削方法存在刀具磨损大、加工表面完整性难保证的问题。涂层刀具因其优异的抗冲击性能和化学稳定性，已成为高温合金切削加工的重要工具。然而，切削条件下，涂层工具的性能表现及其对加工表面完整性的影响机制尚不明确。液氮低温切削是一种切削方法，可有效降低切削温度、降低刀具磨损、提高加工表面质量。因此，开展涂层刀具在不同液氮射流温度条件

下的切削性能及表面粗糙度、硬度及残余应力的变化规律研究，对优化加工工艺，提高加工效率与质量具有重要的理论与实际意义。

2 高温合金涂层刀具在切削中的性能

2.1 涂层刀具的耐磨性与抗氧化性

高温合金涂层刀具的耐磨抗氧化性能是其切削性能的重要指标，高温合金切削温度高、切削力大，对刀具耐磨、抗氧化性能要求很高。结果表明：TiAlN 涂层可显著提高刀具的高温抗氧化性能^[1]。TiAlN 涂层可以有效地降低刀具切削时刀具的磨损，同时提高了刀具的耐热性能。另外，AlCrN 涂层具有优异的耐磨、抗氧化性能，在较高温度下仍能保持较高的综合性能。

【作者简介】梁昊（1994-），男，满族，中国辽宁抚顺人，本科，工程师，从事机械加工研究。

2.2 涂层刀具的切削力与切削温度

在切削工艺中，切削力与温度直接影响着切削效率与表面质量。高温合金切削温度高，不仅加速刀具的磨损，也降低加工表面的质量。液氮低温切削能有效地降低切削温度、降低切削力，采用液氮低温切削技术，可以大幅度降低切削温度，降低刀具与工件间的热扩散，降低摩擦，提高切削效率。另外，在低温条件下，涂层工具的性能也有所提高。如 TiAlN 涂层刀具具有切削力小、切削温度稳定等优点，有利于提高刀具表面完整性，提高刀具使用寿命。

2.3 涂层刀具对加工表面完整性的影响

涂层刀具切削性能的好坏不仅体现在刀具自身的耐磨性、切削力等方面，而且还直接关系到已加工表面的完整性。机械加工表面完整性是影响零件性能和服役寿命的重要参数。采用液氮低温切削可以明显改善切削表面的粗糙度，改善加工后的残余应力^[2]。低温切削加工表面粗糙度低，残余应力以压应力为主，有利于提高疲劳寿命。另外，在低温条件下，涂层工具的性能也得到了优化。如 AlCrN 涂层刀具具有表面粗糙度低、残余应力分布均匀等特点，有利于改善已加工表面完整性，提高零件综合性能。

3 提高高温合金涂层刀具切削加工表面完整性的工艺策略

3.1 优化刀具选择与参数设定

选择合适的刀具材料对高温合金加工至关重要。优先选用涂层刀具，如 TiAlN 涂层刀具，其具备良好的高温硬度与抗氧化性能，可有效降低刀具磨损。在刀具几何参数方面，增大前角能减小切削力，降低表面粗糙度，但前角过大可能导致刀具强度下降，一般根据合金材料特性，将前角控制在 8° - 15° 。同时，合理设定切削参数，切削速度不宜过高，过高会加剧刀具磨损，引发积屑瘤，降低表面质量，通常对于镍基高温合金，切削速度控制在 50-150m/min。进给量和切削深度需综合考虑机床功率、刀具寿命与加工精度，保持三者间的合理匹配，避免因切削参数不当引发振动，影响加工表面完整性。

例如，在复杂零件的制造工程，需要多组分高温合金的高精度制造，项目组首先对各种高温合金的特点进行深入的研究，在查阅大量资料与材料供应商交流的基础上，确定各合金在硬度、热导率、加工性能等方面的关键参数。项目组在前期工作基础上，选取 TiAlN 涂层、TiCN 涂层和非涂层硬质合金三种刀具材料开展对比实验。在模拟实际加工环境下，TiAlN 涂层刀具具有优异的高温稳定性及耐磨性能，并能有效减少刀具磨损。在刀具几何参数确定方面，项目组借助专业有限元软件，对不同前角、后角、刃半径等参数的刀具进行模拟分析。在此基础上，对不同高温合金材料进行切削实验。在中等硬度高温合金中，随着前角由 8° 逐渐增加至 15° ，切削力明显降低，表面粗糙度下降。但是，

超过 15° 以后，刀具的强度就会降低，而且在连续切割时还会出现崩刃现象，可综合考虑，确定了该合金的刀具前角为 12° 。在切削参数设置方面，项目组通过多因素正交实验设计，系统地研究切削速度、进给速度、切削深度等因素对加工表面质量的影响规律。在大量实验的基础上，确定一套适合不同合金材料的切削用量组合。在实际生产过程中，严格按预先确定的刀具选择及参数设置方案进行加工，可使已加工表面的平整度、光洁度得到明显提高，刀具更换频率显著减少，大大提高了生产效率。

3.2 运用高效冷却润滑技术

冷却润滑是高温合金切削加工的关键，可采用微量润滑（MQL）技术，在切削区中加入少量润滑油，并以雾状喷射，不仅可以有效降低切削温度，降低刀具磨损，还可以起到润滑、减小切削力、提高加工表面质量的作用^[3]。同时，应根据高温合金的化学特性及加工要求，选用适当的润滑剂，以提高润滑效果。在冷却模式方面，内部冷却可将冷却介质直接送至切削区，比外部冷却效果更好，可有效降低刀具及工件表面温度，降低热变形，抑制加工表面热损伤，提高工件表面质量。

例如，某能源装备制造企业采用传统的冷却润滑方式对热交换器部件进行冷却，导致刀具磨损严重、表面质量差（Ra1.2- Ra1.8 μ m）、刀具寿命只有 20 小时，针对这一问题，企业用微量润滑（MQL）技术及内部冷却模式。针对 MQL 技术的应用，可采用棕榈油作为基础油，加入极压剂 10% 的润滑油配方。在大量实验的基础上，选择了 0.6MPa 的压缩空气和 50mL/小时的润滑剂，将润滑油均匀地喷射到切削区。在内部冷却方式的设计方面，企业可定制一种特殊的内冷工具，以浓度 30% 的乙二醇水溶液作为冷却介质，流量 25 L/min。为验证其冷却与润滑效果，想么可开展微量润滑工艺与内部冷却工艺的对比实验。同时，可采用红外热像仪、扫描电镜、表面粗糙度仪、三坐标测量仪对工件的尺寸精度进行测试。如结果表明，采用微量润滑技术及内部冷却方法，可使切削区温度降低 250 $^{\circ}$ C 左右，刀具磨损量降低 50% 以上，刀具寿命可达 40 小时以上。加工后的表面粗糙度稳定在 Ra0.6 微米左右，远低于传统的外部冷却工艺。与传统的外部冷却方式相比，零件的尺寸误差为 ± 0.01 毫米。同时，微量润滑剂用量小，可降低后续清洗工序成本及环境污染，实现清洁、高效加工，显著提高加工表面完整性。

3.3 实施切削过程振动控制

振动对加工表面质量有很大的影响，因此需要有效地控制切削过程中的振动。对刀具结构进行优化，采用不等齿距刀具，以打破振动周期，降低振动幅度。机床主轴的动平衡试验和调节，保证主轴的平稳运行。同时，通过对工件夹持位置的合理安排，加强工件的夹紧刚度，避免由于装夹不当而引起的振动。另外，可利用在线监测系统对切削力和振动信号进行实时采集，并对其进行分析判断。在检测到振

动信号后,及时调整切削参数,降低切削速度、减少进给量等,有效地抑制振动,保持加工过程的稳定,保证加工表面的完整性。

进行后处理

例如,在高精密高温合金结构件制造过程中,振动是影响加工表面质量与尺寸精度的重要因素。项目组在切削加工过程中应优化刀具结构,可通过改变刀具齿距分布,设计出一种不等齿距铣刀。采用动力学分析软件模拟分析刀具振动特性,确定最优齿距变化规律,使刀具能有效突破振动周期,减小振动幅值。对于机床,要定期检查并调整主轴的动平衡,可采用高精度动平衡仪对主轴转动件进行全面的检测,使之达到最大限度。经过对配重块的更换和精密动平衡调试,使主轴振动降至允许范围之内。同时,将切削力、振动等传感器安装到机床上,构成一套在线监测系统。该系统能实时采集切削力、振动等信号,并经数据分析算法处理、分析。当检测到异常的振动信号时,系统会自动调整切削参数,如减速、进给等。

3.4 开展加工后表面处理

加工后的工件表面经过适当的处理,可进一步提高表面质量,可利用抛光技术消除被加工表面的微观不平整,减小表面粗糙度,提高表面光泽度。根据工件的形状和大小,可选用机械、化学、电解三种抛光方式进一步采用喷丸强化等表面强化技术,利用高速弹丸冲击工件表面,使工件表面发生塑性变形,形成残余压应力,从而提高表面硬度和疲劳强度。通过对抛光时间、喷丸强度等处理参数的严格控制,保证处理效果达到要求,避免因过度处理而影响表面质量。

例如,以某高温合金零件为研究对象,对其表面进行表面处理,以进一步改善零件表面质量及使用性能。在抛光过程中,根据被加工对象的形状、大小,采用机械抛光与电解抛光相结合的方法进行抛光。对形状较规整的零件,可采用机械抛光的方法,去除表面较大的刮痕和凸出物。机械抛光时,应选择适当的抛光轮及抛光膏,并调节抛光轮的转速及压力来控制抛光效果。对形状复杂且不易机械抛光的零件,采用电解抛光法进行精加工。在电解抛光之前,工件要经过严格的表面处理,包括去油和除锈。然后,把被加工的工件置于一种特殊的电解池内,采用不锈钢作阳极,工件作阴极,接上直流电源。在此基础上,通过调节电解液的组成、温度、电流密度等参数,实现对抛光效果的精确控制。表面强化采用喷丸强化,根据工件材料特点及使用要求,对弹丸的材质及尺寸进行选择。在喷丸处理时,通过调节喷丸压力、喷丸时间、喷丸角度等参数,可以有效地控制工件表面的残余压应力及硬化层深度。通过表面处理,可使工件表面粗糙

度减少 80% 左右,表面硬度提高 20% 左右,显著提高疲劳寿命,达到高可靠应用要求。

3.5 构建全面的质量管控体系

建立健全的品质控制体系,从原料检验、生产过程监控到成品检验等全过程的质量控制。原材料方面,严格检测材料的成分和性能,保证满足加工要求。在加工过程中,通过传感器实时获取切削参数和刀具状态等信息,并结合数据分析技术实时评价加工过程,及时发现异常情况并及时调整。在成品检验阶段,利用表面粗糙度测试仪、轮廓仪等设备全面检测加工表面质量,对比检验结果,分析并改善不合格品,持续优化加工工艺,使高温合金涂层刀具切削加工表面完整性稳步提高。

例如,在原材料检测阶段,可利用先进的光谱分析技术,准确地分析高温合金原料的成分;利用拉伸试验机和硬度仪,对材料的机械性能进行测试。只有当原材料的各项性能指标都达到标准后,才能进入生产环节,应对每一批原料建立详细的质量记录,记录原材料的来源和检测结果。此外,可通过在机床上安装多种传感器,实现对切削参数、刀具状态和工件温度的实时监测。数据采集系统将数据传输至数据处理中心,由专门的数据分析软件进行实时分析处理。当检测到参数不正常时,系统会立即报警,提示操作者调整。在成品检验阶段,可采用高精度表面粗糙度仪、轮廓仪、三维测量仪等设备,对被加工表面进行全面的检测。针对不合格产品,对测试数据进行分析,找出根本原因,优化工艺。

4 结语

综上所述,开展高温合金涂层刀具切削性能及其对加工表面完整性的影响机理研究,对促进高温合金切削加工技术的进步具有重要意义。采用液氮低温切削技术,可大幅度提高镀层工具的寿命,并改善其表面质量。未来,可结合切削技术的开发与应用,实现高温合金的绿色、高效、优质加工,不仅有利于降低制造成本,也将为中国高端制造产业的发展提供强有力的支撑。

参考文献

- [1] 徐兴伟,李良成,伍爱江,陈诚,崔俊博,熊计,刘俊波.高性能涂层刀具切削GH4169高温合金的切削性能研究[J].工具技术,2024,58(05):47-52.
- [2] 姜秀丽,楚满福,韩增颂,尹亮,郑光明.涂层刀具高速切削GH2132铁基高温合金加工表面变质层研究[J].工具技术,2023,57(11):25-29.
- [3] 刘海,王明红,刘雪勇.复合涂层刀具钻削高温合金Inconel 718钻削性能研究[J].宇航材料工艺,2023,53(04):75-80.

Quality control and results analysis of P91 high-pressure pipeline welding of ethylene plant

Cong Niu

China National Petroleum Sixth Construction Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

This article delves into the key technologies and implementation methods for quality control in the welding of P91 high-pressure pipelines in ethylene plants. It addresses the special requirements of P91 pipes under high-pressure conditions, analyzes potential quality control issues during welding, and proposes effective quality control measures. After detailing the optimization of welding processes, process monitoring, post-treatment, and inspection methods, it examines the achievements made in actual projects, emphasizing that through scientific quality control measures, the stability of weld joints and the safety of pipelines can be ensured. This study provides important references and practical evidence for the quality control of P91 high-pressure pipeline welding in ethylene plants.

Keywords

ethylene plant; P91 high-pressure pipeline; welding quality; Quality control; Technical Analysis

乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制及成果分析

牛聪

中国石油天然气第六建设有限公司, 中国·广西 钦州 535000

摘 要

本文深入探讨了乙烯装置P91高压管道焊接质量控制的关键技术与实施方法。针对P91管道在高压环境下的特殊要求,分析了焊接过程中可能遇到的质量控制问题,提出了有效的质量控制措施。在详细阐述焊接工艺的优化、过程监控、后期处理及检测手段后,分析了实际工程中取得的成果,强调了通过科学的质量控制措施,确保焊接接头的稳定性和管道的安全性。本研究为乙烯装置P91高压管道的焊接质量控制提供了重要参考和实践依据。

关键词

乙烯装置; P91高压管道; 焊接质量; 质量控制; 技术分析

1 引言

乙烯装置中的 P91 高压管道由于其在高温高压环境下的复杂工况,要求焊接工艺具有更高的精度和更强的可靠性。焊接质量的好坏直接关系到管道系统的安全运行和装置的长期稳定性。

2 乙烯装置 P91 高压管道焊接的基本概述

2.1 P91 高压管道的应用背景

P91 钢是一种高合金钢,广泛应用于高温高压环境中的管道系统,尤其是在石油化工、核能、钢铁等行业中。P91 钢具有优异的耐高温强度和良好的抗氧化性能,特别适用于承受高温和高压的工作条件。在乙烯装置中,P91 高压管道承担着输送反应物和高温介质的关键作用,因此要求管道具

备较高的热稳定性和抗腐蚀性能。随着乙烯生产工艺的不断升级,原材料要求逐渐提高,P91 钢管因其较好的机械性能、耐腐蚀性能及较高的工作温度范围,在乙烯装置中的应用逐步得到广泛推广。

2.2 乙烯装置中的 P91 高压管道焊接特点

在乙烯装置中,P91 高压管道焊接作业具有一定的技术难度和复杂性。由于 P91 钢具有较高的合金含量和较为复杂的金相组织,其焊接时容易发生裂纹、热影响区软化等问题。为了确保焊接质量,焊接时需要精确控制热输入,避免过高的温度对金属基体产生不利影响。此外,由于高温下的操作环境,P91 钢的焊接工艺要求具备较好的热处理能力,以确保焊接接头的韧性和强度。

3 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制中问题

3.1 焊接接头的强度要求

在乙烯装置 P91 高压管道的焊接中,焊接接头的强度是一个至关重要的指标,直接影响到整个管道系统的运行安

【作者简介】牛聪(1998-),男,中国河北秦皇岛人,本科,助理工程师,从事工艺管道焊接研究。

全和使用寿命。P91 高压管道承受着极高的温度和压力，因此焊接接头必须具备足够的强度，确保其在高温、高压工作环境中的可靠性。在焊接过程中，接头处的金属结构发生了局部加热和快速冷却，这会导致焊接接头的组织发生变化，进而影响到其机械性能。为了满足强度要求，必须精确控制焊接的热输入、焊接工艺参数及接头的几何形状。在焊接过程中，接头区域应避免出现过大的应力集中，确保焊接接头与母材的整体性。焊接接头的强度必须至少达到母材的强度，特别是在热影响区（HAZ）和焊缝的结合处，更要确保没有出现明显的薄弱环节^[1]。

3.2 焊接过程中的温控热处理

在 P91 高压管道的焊接过程中，温控与热处理是影响焊接质量的关键因素。P91 钢是一种高合金钢，具有较高的合金含量和较为复杂的组织结构，焊接时需要严格控制温度变化，以避免产生裂纹或热影响区的过度软化。焊接时的热输入过大或过小，都会影响焊接接头的金相结构，可能导致接头区域的硬度过高，进而形成脆性区，影响接头的强度和韧性。因此，在焊接过程中，需要精确控制焊接的热输入，避免过热或冷却过快，从而保证焊缝的质量。热处理是焊接过程中不可忽视的一部分，尤其是在 P91 高压管道的焊接中，热处理的目的是减小热影响区的残余应力，消除焊接应力，改善焊缝金属的性能。焊后应及时进行退火、正火等热处理工艺，以确保焊接接头的韧性和耐高温性能。适当的热处理能够改善焊接区的组织结构，降低脆性，提高耐腐蚀性。尤其在高温工作环境下，热处理后的焊接接头更能确保长时间稳定工作，避免在长期高温条件下出现早期失效。

3.3 焊接材料选择对质量的影响

焊接材料的选择对 P91 高压管道焊接质量至关重要。材料不仅要与母材匹配，还要具备高温高压下的强度、韧性和耐腐蚀性。P91 管道常用的焊接材料包括含钼、铬等元素的低氢型焊条和焊丝，能够与 P91 钢形成良好的冶金结合，确保焊接接头的强度和韧性。焊接材料的化学成分必须严格控制，以避免接头过度硬化或脆化，影响管道安全性。

4 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制成果分析

4.1 焊接工艺的优化控制措施

在乙烯装置 P91 高压管道的焊接过程中，焊接工艺的优化与控制是确保焊接质量的核心环节。P91 材料具有高合金含量和良好的耐高温性能，但其焊接性相对较差，需要通过精确的工艺控制来确保焊接接头的强度、韧性和耐高温性能。因此，在焊接过程中，首先要对焊接参数进行优化，包括电流、电压、焊接速度等，这些都直接影响焊接接头的质量。焊接电流过大或过小，都会导致焊缝成形不良，甚至出现冷裂纹、气孔等缺陷^[2]。电流过大时，焊接热输入过高，容易导致母材过热，而电流过小时，焊缝易产生夹渣等缺

陷。为了确保焊接工艺的稳定性，首先要根据 P91 材料的特性，选择合适的焊接方法。常见的焊接方法包括手工电弧焊（SMAW）、气体保护焊（GMAW）、钨极氩弧焊（TIG）等。对于 P91 钢材，通常推荐使用氩弧焊和 TIG 焊接方法，因为这些方法能够在保持较低热输入的同时，获得高质量的焊接接头。此外，采用 SMAW 与 GTAW 相结合的焊接方法也是一种有效的选择。通过在根部采用氩弧焊（GTAW）以确保焊接质量和接头强度，在覆盖层则使用手工电弧焊（SMAW）以提高焊接效率，能够更好地平衡热输入和焊接质量，确保 P91 高压管道焊接接头的完整性和性能。为了进一步提高焊接接头的质量，必须对焊接过程中的热输入、焊接速度、焊接位置等参数进行严格控制。在多道焊接过程中，要确保每道焊缝的热影响区（HAZ）不重叠，从而避免热应力集中引发裂纹。

4.2 焊接前的准备工作技术要求

首先，材料准备至关重要。管道和焊接材料必须严格按照设计要求进行选择，确保其化学成分、力学性能以及焊接性能符合相关标准和规范。特别是 P91 高压管道，作为一种高强度、耐高温合金钢，要求焊接材料的成分与管材匹配，避免因材料不配套引起接头脆化或性能不足。同时，焊接材料还需进行干燥处理，避免焊接过程中因焊材受潮引发裂纹或其他焊接缺陷。焊材在使用前应根据焊材类型和厂家推荐的温度和时间进行烘烤处理。对于 P91 材料，特别是在湿度较高的环境下，焊条应在烘箱中进行适当温度的烘烤，烘烤时间应根据焊条的具体要求进行，通常为 1-2 小时。烘烤过程中，焊材应避免过度烘烤，以免其表面出现氧化层，影响焊接质量。过度烘烤不仅会使焊材表面氧化，降低焊接质量，还可能改变其化学成分和物理性能，增加裂纹的风险。因此，应严格控制烘烤时间和温度。焊材烘烤后，应在干燥环境下储存，避免重新受潮。值得注意的是，焊材在 300-350℃ 温度下不得重复烘烤，因为反复加热会导致焊材微观结构变化，可能会增加焊接缺陷的发生风险。焊接设备和工具的检查也是不可忽视的一部分，确保焊机的性能稳定，电流、电压和焊接速度等参数可调节且符合要求^[3]。对电极、焊接气体流量计等辅助工具进行仔细检查，确保其功能正常。焊接设备的维护和检修工作也应提前进行，以防止设备故障导致焊接过程中出现问题。

接下来，焊接前要对技术文件 and 设计图纸进行审查，确保焊接工艺符合设计要求，包括焊接接头的类型、焊缝的规格、焊接顺序等，以避免因技术准备不充分导致的焊接缺陷和不合格现象。此外，焊接人员的技术培训至关重要。操作人员必须熟悉 P91 钢的焊接特性，了解合适的焊接方法和工艺要求，特别是对于温控、热处理以及特殊焊接环境的应对措施，确保其能够按照标准操作，避免操作失误造成焊接缺陷。焊接人员还需要具备良好的焊接习惯和丰富的实践经验。最后，焊接工艺的确认和环境控制同样不可忽视。在

进行焊接前,焊接工艺应经过严格确认,采用机械加工方法制备坡口,并使用磁粉检测方法进行外观检查,确保焊接工艺参数的合理性,包括焊接速度、电流、电压等,同时要确保工作环境温度、湿度和通风等条件符合规定,以避免外界环境变化对焊接质量的影响。因此,焊接前必须进行全面的评估和调控,以为后续焊接工作提供理想的条件。此外,风速也是影响焊接质量的重要因素,尤其是在户外或通风较强的环境中。

4.3 焊接过程中的质量监控控制

在 P91 高压管道的焊接过程中,质量监控与控制是保证焊接质量的关键环节。焊接过程中的质量监控主要包括对焊接温度、焊接接头形态、焊接电流和电压的实时监测。温度控制是焊接过程中最重要的监控环节之一,尤其是在高温高压环境下工作的 P91 材料。如果焊接温度控制不当,可能会导致焊接接头的金属组织发生不均匀的变化,影响接头的强度和耐高温性能。因此,焊接过程中必须使用温度监测仪器,实时记录焊接区的温度变化,并通过调整焊接参数来保持稳定的焊接温度。此外,焊接过程中还需要对焊接电流、电压和焊接速度进行控制。电流过高或过低都可能导致焊接质量的下降,影响焊缝的成形与密实度。在焊接过程中,还应使用显微镜等设备对焊缝形态进行监控,确保焊接接头无裂纹、气孔等缺陷,且焊缝表面光滑、均匀。实时的质量检测能够及时发现并纠正焊接缺陷,从而防止不合格焊接接头流入生产环节,减少返修和返工的风险,且工件必须一次焊接完成。

4.4 焊后处理后期检测

焊后处理是保证 P91 高压管道焊接质量的又一重要环节。焊后处理的主要目的是消除焊接过程中产生的残余应力,改善焊接接头的金相组织,提升焊接接头的耐高温性能和抗氧化性能。常见的焊后处理方法包括热处理、去应力退火、正火等。对 P91 钢材的焊接接头进行热处理,能够有效减小焊接接头的硬化现象,避免焊接接头变脆,提高其韧性和疲劳强度。尤其是在高温焊接过程中, P91 钢材的焊接接头可能会发生马氏体转变,形成硬度较高、脆性较大的马氏体组织。通过适当的热处理,如去应力退火,可以有效控制马氏体转变的发生,优化焊接接头的微观组织,使其韧性得到提高,避免因脆性过高导致的裂纹或断裂问题。此外,热处理还可以改善焊接接头的整体力学性能,确保其在高温工作环境下具备足够的强度与稳定性。此外,焊后去应力退火有助于消除焊接过程中产生的残余应力,降低热裂纹的风险,从而提高焊接接头的可靠性。在焊后处理之后,焊接接

头还需要进行一系列的后期检测,包括 X 射线检测、超声波检测、硬度测试、表面检测、光谱检测等。这些检测手段能够有效发现焊接接头中的微小缺陷,如裂纹、气孔、夹渣等,从而确保焊接接头的质量符合标准要求。焊后检测不仅能够检测焊接接头的外观质量,还能够深入检查焊接接头的内部质量,避免由于缺陷导致的安全隐患。通过焊后处理和后期检测的综合运作,可以确保焊接接头的长期稳定性和可靠性,满足高压管道的使用需求。

4.5 焊接质量控制的实际成果分析

通过焊接质量控制措施的实施, P91 高压管道的焊接质量得到了显著提升。在实际操作中,通过精确的焊接工艺控制、严密的焊接材料选择、严格的焊前准备工作、以及全面的焊接过程监控,焊接接头的质量稳定性得到了保障。焊接过程中,通过温控和电流、电压的实时监控,焊接接头的强度和韧性达到了设计要求,避免了焊接缺陷的产生。焊接后,通过热处理和去应力退火等手段,焊接接头的残余应力得到了有效消除,接头的组织结构更加均匀,焊接接头的使用寿命得到了延长。经质量控制后的焊接接头,通过一系列后期检测手段,如 X 射线和超声波检测,确保了焊接接头无缺陷,且能够承受高压和高温环境的挑战。在最终的焊接成果中,所有焊接接头均符合设计和质量标准,未出现裂纹、气孔等缺陷,所有管道在使用过程中均表现出优良的耐高温性能和强度,确保了乙烯装置的正常安全运行。通过严格的质量控制, P91 高压管道的焊接质量得到了保障,所有工程指标均达到了国际标准,为乙烯装置的长期运行提供了坚实的质量保障。

5 结语

通过对乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制的深入分析与技术探讨,本文提出了一系列有效的质量控制措施,这些措施不仅能够有效应对焊接过程中常见的技术问题,还能提高焊接接头的质量与管道的使用寿命。未来,在技术不断进步的背景下,焊接质量控制方法还需继续完善,以适应更多复杂的工业需求,确保乙烯装置及其他高压管道系统的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 王伟,李强,张磊. P91钢管道焊接工艺研究[J]. 焊接技术, 2019, 48(5): 38-42.
- [2] 赵敏,刘洋,陈刚. 乙烯装置P91高压管道焊接质量控制探讨[J]. 石油化工设备, 2020, 49(3): 56-60.
- [3] 周涛,黄明,王鹏. P91钢管道焊接过程中的温控与热处理技术[J]. 焊接学报, 2018, 39(7): 45-49.

Application of volatile organic compounds (VOCs) online monitoring technology in industrial waste gas treatment

Wenping Xiang Yang Jiang* Haiyang Liu

Sichuan Zhonghuan Lianshu Environmental Consulting Services Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610100, China

Abstract

With the continuous acceleration of industrialization, volatile organic compounds (VOCs), as one of the main components of air pollution, have become an important factor affecting the ecological environment and public health. To achieve efficient control of VOCs emissions, the application of online monitoring technology has become one of the core means of industrial waste gas treatment. This article systematically analyzes the sources and hazards of VOCs, sorts out the current mainstream VOCs online monitoring technology system, and combines typical industrial scenarios to explore its practical application effects and optimization strategies in source control, process regulation, and end of pipe treatment. Through data analysis of typical cases, the idea of constructing a "monitoring feedback governance" closed-loop mechanism is proposed to provide technical support and decision-making basis for the VOCs pollution prevention and control system.

Keywords

volatile organic compounds; Online monitoring; Industrial waste gas; Environmental governance; Pollution Control Technology

挥发性有机物 (VOCs) 在线监测技术在工业废气治理中的应用

向文平 蒋杨* 刘海洋

四川中环联蜀环境咨询服务有限公司, 中国·四川 成都 610100

摘 要

随着工业化进程的不断加快, 挥发性有机物 (VOCs) 作为大气污染的主要成分之一, 已成为影响生态环境与公众健康的重要因素。为实现对 VOCs 排放的高效管控, 在线监测技术的应用成为当前工业废气治理的核心手段之一。本文系统分析了 VOCs 的来源与危害, 梳理了当前主流的 VOCs 在线监测技术体系, 并结合典型工业场景探讨其在源头控制、过程调节及末端治理中的实际应用效果与优化策略。通过对典型案例的数据分析, 提出构建“监测—反馈—治理”闭环机制的思路, 以期 VOCs 污染防治体系提供技术支持与决策依据。

关键词

挥发性有机物; 在线监测; 工业废气; 环境治理; 污染控制技术

1 引言

挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 是指在常温常压下易挥发的有机化合物, 其化学性质复杂, 广泛存在于石化、制药、喷涂、印刷、电力等行业的生产过程中。VOCs 不仅对环境空气质量构成严重威胁, 还可与氮氧化物在阳光照射下发生光化学反应, 生成臭氧与细颗粒物 (PM_{2.5}), 对人类呼吸系统造成直接危害。为实现对 VOCs 排放的高效、实时、精准管控, 构建科学的在线监测

系统显得尤为关键。我国近年来在环保政策层面持续加码, 《“十四五”生态环境保护规划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》《重点行业挥发性有机物综合治理方案》等政策文件均将 VOCs 纳入重点监管对象, 推动企业安装在线监测装置。与传统间歇式采样相比, 在线监测技术具有响应快速、监测连续、自动化程度高等优点, 在工业废气治理中具有广阔应用前景。

2 VOCs 的来源与环境危害分析

2.1 VOCs 的主要来源

挥发性有机物的工业来源具有高度多样性与行业依赖性, 主要分为原料使用过程、工艺生产过程与末端废气治理过程三大类。在不同工业门类中, VOCs 的成分、浓度、排放模式各具特点, 呈现出较强的异质性与波动性。在石化化

【作者简介】向文平 (1994–), 男, 中国四川广元人, 本科, 工程师, 从事环境监测研究。

【通讯作者】蒋杨 (1991–), 中国四川遂宁人, 本科, 工程师, 从事环境监测研究。

工行业中，VOCs 排放主要来自催化裂化、加氢裂化、芳构化等炼油与精细化工工艺环节，非甲烷总烃（NMHC）与烯烃类为主要组分。在原油储运、装卸过程，因封闭不严或温度波动，烷烃类、苯类化合物等大量逸散至大气中。据中国石油化工行业协会统计，2022 年该行业 VOCs 年排放总量约占全国工业源排放量的 30% 以上。在涂装与印刷行业，VOCs 主要来源于溶剂型涂料、油墨与稀释剂的使用和干燥过程，排放成分以芳香烃类（如甲苯、二甲苯）、酯类（如乙酸乙酯）和醛类（如甲醛、丙烯醛）为主。喷涂操作过程中，由于粒径分布不均、喷房密闭性不足等问题，大量有机溶剂未能充分利用，直接进入车间空气并排放至外部环境^[1]。

2.2 环境与健康影响

VOCs 作为典型的空气污染因子，其环境危害体现在臭氧形成、颗粒物前体、温室效应及生态系统干扰等多个层面。第一，VOCs 是近地面臭氧（O₃）生成的前体物。在阳光照射下，VOCs 与氮氧化物（NO_x）发生光化学反应，生成臭氧及有机自由基，诱发光化学烟雾污染。臭氧在大气中的过量积累不仅破坏作物光合作用、损伤叶片，还可能腐蚀橡胶、塑料与金属材料，造成隐性经济损失。据生态环境部《2023 年中国环境状况公报》数据，地级及以上城市中约 64% 的夏季臭氧污染事件与工业 VOCs 排放有关。第二，部分 VOCs 作为 PM_{2.5} 的二次前体物，在大气中氧化形成低挥发性的有机气溶胶，进而凝结为细颗粒物。这一过程通常发生在高温强光与稳定气象条件下，增强灰霾污染的持续性与区域性。研究表明，在城市高臭氧日中，VOCs 对 PM_{2.5} 生成贡献率可达 40% 以上。第三在健康方面，VOCs 通过呼吸道进入人体，可引发急性与慢性毒性反应。低浓度暴露可造成头晕、咽痛、皮肤过敏等症状；高浓度或长期暴露则可能诱发肝脏毒性、神经系统损伤甚至癌变。因此系统、精准、实时的监测技术是科学识别污染特征、评估健康风险与制定治理策略的必要前提。

3 VOCs 在线监测技术体系分析

针对 VOCs 具有组分复杂、浓度波动大、排放方式多样的特点，传统的间歇式人工采样法在时效性、代表性及准确性方面存在显著局限。相比之下，在线监测技术凭借其连续性、高频率、自动化和实时报警等优势，成为实现 VOCs 精细化、智能化监管的关键工具。目前常见的在线监测技术主要包括：傅里叶变换红外光谱（FTIR）、气相色谱-质谱联用技术（GC-MS）、紫外差分吸收光谱（DOAS）、光离子化检测器（PID）、激光拉曼光谱（LRS）及电子鼻（E-nose）等。

3.1 傅里叶变换红外光谱（FTIR）与气相色谱-质谱联用技术

FTIR 技术基于不同 VOCs 分子在中红外波段对特定频率光的选择性吸收，通过采集吸收光谱进行反演计算，从而

实现多组分定性与定量分析。其具有非接触、响应快、可多组分同步分析等优势。FTIR 适用于苯类、烷烃、酮类、酯类等常见 VOCs 组分，尤其适合在高温、高湿、有腐蚀性气体存在的复杂环境中运行。国内某钢铁企业在烧结环节采用 FTIR 进行氨、苯胺及甲苯等组分同步检测，监测精度在 ±5% 以内。其缺点在于水汽与二氧化碳背景干扰较大，需通过光路补偿与算法校正提升数据准确性^[2]。

GC-MS 是实验室分析级监测系统中最精确的技术之一，GC 部分负责对 VOCs 样品进行预分离，MS 部分进行分子质量与碎片识别，具有极强的定性能力和痕量检测能力，可识别低至 ppb 级浓度的有机物。GC-MS 特别适用于排放成分复杂、浓度较低的精细化工、医药行业，其高分辨率使其成为污染溯源、环境执法取证的权威工具。然而，其价格昂贵、体积较大、维护成本高、对现场环境要求较高，限制其在日常在线运行中的推广，更多应用于移动应急监测或固定监测站点。

3.2 紫外差分吸收光谱（DOAS）与光离子化检测器（PID）

DOAS 技术依赖于气体对紫外光的差分吸收特性，能实现对多组分的定量分析，且具备远程、非接触测量优势，适合布设在厂区边界、烟道出口或大气走航监测系统中。该技术可有效识别苯、甲苯、甲醛、苯乙烯等 VOCs，对环境影响评价与排放总量监测具有重要意义。其不足在于谱线重叠易导致组分误判，同时背景噪声较强时精度下降，常需结合气象修正算法与边界识别技术协同应用。

光离子化检测器（PID）技术通过高能紫外光源将有机气体分子电离，产生电流信号以反映 VOCs 总浓度水平。其结构简单、成本低廉、响应迅速、维护简便，广泛应用于车间环境监测、泄漏报警与趋势监控等场景。PID 检测限一般在 ppb 至 ppm 量级，可快速响应突发排放。但 PID 技术无法区分具体组分，且受温度、湿度、交叉干扰影响较大，常作为总量监控与趋势预警工具，而非用于精确定性分析^[3]。部分高端 PID 系统通过更换灯源与结合色谱前处理，可扩展一定的组分识别能力。激光拉曼光谱（LRS）通过检测气体分子的拉曼散射效应实现无接触、高分辨率的实时识别，具有高选择性、抗干扰能力强等优点，适用于某些特征性 VOCs 如苯类化合物的识别。但设备造价高、维护复杂，尚处于工业应用推广初期。电子鼻（E-nose）模拟人类嗅觉机制，通过多个金属氧化物半导体（MOS）传感器对气体混合物响应并结合模式识别算法，适合多组分趋势判断及快速报警。近年来与神经网络算法结合后，在制药与包装车间有较好应用前景。

4 在线监测技术在典型工业场景中的应用实践

4.1 石油化工行业：管控链条长、系统集成度高

某大型石化联合体在其原油蒸馏、催化裂化、芳构化、

储罐区等关键工艺节点设置了 32 个 VOCs 固定在线监测点位。系统采用 FTIR 与 DOAS 协同布设,前者部署于装置区间监控关键反应过程排放水平,后者布设于厂区围栏,监测企业无组织排放与大气扩散趋势。数据采集终端连接中央数据服务器,通过 Modbus TCP/IP 协议接入企业 DCS 系统,实现 VOCs 浓度的动态可视化。2023 年 9 月,系统在高温运行阶段实时监测到 C6~C8 芳烃浓度连续三天超标,立即启动活性炭吸附塔并同步调低反应釜温度,排放浓度从峰值 74.2 mg/m³ 降至 30 mg/m³ 以内。通过与风速风向仪、气象站数据融合,企业构建了排放扩散模型,对污染物扩散路径进行仿真预测,协助政府部门科学划定风险防控区。此类集成度的系统不仅强化了企业的环境自律,也提高了政府监管效率。

4.2 汽车涂装行业,环节明确、系统响应快

在某年产 30 万辆整车的汽车制造企业,其喷涂车间因使用大量溶剂型涂料,VOCs 排放量高。该车间通过安装密闭喷涂线、低温等离子体+活性炭组合治理设备,并同步布设 PID 在线监测探头实现实时浓度监测。监测点主要位于喷漆室出口、烘干线排气口及吸附装置前后端。在治理设备前段,PID 监测显示日均 VOCs 浓度波动在 300 ~ 450 mg/m³,经治理后下降至 80 mg/m³ 以内,处理效率稳定在 85% 以上。系统联动机制设计合理,若浓度超过设定阈值(如 500 mg/m³),设备自动切换吸附单元并提醒人员检查前端作业流程。而该企业还利用 DOAS 技术对车间外排风口进行边界监测,结合视频监控实现“可视化排放管理”,并将排放数据上传至当地生态环境局监管平台,接受实时监督。

4.3 制药化工行业:组分复杂、技术组合多样

某医药中间体企业在抗生素合成、结晶干燥与溶剂回收环节 VOCs 排放复杂,排放组分主要包括氯仿、乙腈、丙酮与乙酸乙酯等。该企业引入 GC-MS 作为核心在线监测平台,重点布设在合成反应釜排口及有机溶剂储罐呼吸阀出口。为弥补 GC-MS 采样周期较长的缺陷,企业在各关键点位同时部署 PID 传感器,实现浓度趋势变化的秒级监控。一旦 PID 读数波动超阈值,系统自动触发 GC-MS 进行精准采样分析,并联动视频监控确认操作环节是否异常。通过 2023 年全年监测数据统计显示,该系统共识别异常排放事件 28 起,其中 23 起为储罐阀门未及时关闭导致,系统及时报警与干预,有效避免了污染事件扩大。此类“定性+定量”

“趋势+溯源”的组合策略,大幅提升了治理精准度。

4.4 包装印刷行业,规模小、成本敏感型应用

针对包装印刷行业中存在的中小企业数量多、设备简陋、治理资金有限的问题,某省印刷工业园区试点建立集中在线监测平台。系统采用性价比高的 PID 阵列模块与简易光谱模块组合安装于各企业排气筒,平台统一收集数据并通过无线传输上传至园区云端数据库。每家企业仅需承担探头与初级数据采集模块费用,系统运行成本低,适合大范围推广应用。监测数据显示,70% 以上企业 VOCs 排放主要集中于工作日 10:00 ~ 16:00 期间,治理装置负荷集中、运行压力大。园区据此优化排产计划,实施轮流错峰印刷策略,实现区域 VOCs 总量控制。该模式显示了 VOCs 在线监测技术在中小微企业中的普适性与可扩展性,未来可与碳排放因子测算、绩效评估体系相结合,推动区域性污染治理精细化管理。

5 结语

VOCs 是工业大气污染的关键治理对象,其排放具有组分复杂、波动性强等特点。在线监测技术以其实时性和高效性,已成为提升 VOCs 治理水平的核心工具。本文结合多种监测技术原理及典型行业应用,说明了 FTIR、GC-MS、DOAS 与 PID 等技术在实际工况中的优势互补和应用效果,验证了构建“监测—反馈—治理”闭环机制的可行性与必要性。在实践中应推动在线监测系统与智能化手段融合,提升污染预警与响应效率,同时加强标准建设和中小企业推广力度,形成精准、高效、可持续的 VOCs 治理体系,为改善环境空气质量提供有力支撑。

参考文献

- [1] 周洁婷,高敏,徐红梅,等.陕北煤化工园区VOCs污染状况及其对居民健康风险的贡献[J/OL].生态毒理学报,1-13[2025-03-30].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5470.X.20250319.1806.004.html>.
- [2] 张翼翔,贾岳清,姚志泉,等.我国东部某港口城市夏季大气挥发性有机物(VOCs)污染特征及来源解析[J/OL].环境化学,1-13[2025-03-30].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1844.x.20250317.1140.002.html>.
- [3] 梁缉攀,余塘,江伟武,等.T-C复合吸附管应用于室内空气中低沸点挥发性有机物测定[J].分析测试学报,2025,44(03):527-533.

Thoughts on the application of Internet of Things and AI technology in real-time monitoring and intelligent early warning of oil and gas pipeline leakage

Chunmei Nie

Sichuan Guotai Minan Safety and Environmental Protection Technology Service Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

The application of IoT and AI technologies in real-time monitoring and intelligent early warning of oil and gas pipeline leaks can better enhance the capability to detect and respond to various risk issues. It is essential to appropriately optimize and adjust application strategies based on the actual needs of oil and gas pipeline leak detection and the technical characteristics of IoT and AI technologies. This article focuses on this issue, discussing the application and challenges of IoT and AI technologies in real-time monitoring and intelligent analysis of oil and gas pipeline leaks, as well as the measures to ensure their effectiveness. It aims to provide more references and insights for relevant organizations, improving the early warning and response capabilities for oil and gas pipeline leaks, and ensuring the stability and reliability of pipeline operations.

Keywords

Internet of Things technology; AI technology; oil and gas pipeline leakage; real-time monitoring

物联网与 AI 技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中的运用思考

聂春梅

四川国泰民安安全环保技术服务有限公司，中国·四川 成都 610000

摘 要

物联网与AI技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中应用可以更好地提高各类风险问题的发现响应能力，结合油气管道泄漏监测的实际需求及物联网技术与AI技术的技术特性对应用策略作出适当优化和调整是十分必要的，本篇文章也将目光集中于此，从物联网技术及AI技术在油气管道泄漏实时监测与智能分析中的应用和应用挑战及保障措施三个方面展开论述，希望可以为相关单位提供更多的参考与借鉴，提高油气管道泄露预警、响应能力，保障管道运行的稳定性和可靠性。

关键词

物联网技术；AI技术；油气管道泄露；实时监测

1 引言

油气管道作为能源输送的重要支点，其运行安全对于能源安全和生态环境稳定都会起到至关重要的影响，而传统的监测技术存在响应滞后、误报率高等相应问题，这时则可通过物联网技术与 AI 技术的有效应用来提高油气管道管理能力，实现实时监测、智能预警。

2 物联网技术在油气管道泄漏实时监控与智能预警中的应用

在物联网技术应用的过程中可抓住如下几个关键要点构建全域感知网络，收集更加完整全面的信息数据，及时的了解管道实际情况为后续的管理及应对策略分析提供更多帮助。

首先，可通过多模态传感器的有效应用收集更加完整全面的信息数据，在油气管道运行的过程中影响管道运行稳定性和可靠性的因素是相对较多的，因此需引入多种类别的传感器，例如光纤传感器、压力传感器、红外热成像仪器等等，其中振动传感器传感器可以更好地监测管道周边土体扰动情况，分析客观环境对于管道运行稳定性和可靠性所产生的影响，光纤传感器可更好地明确管道存在的形变问题，并

【作者简介】聂春梅（1984-），女，中国重庆人，工程师，从事安全评价、安全技术服务研究。

监测形变状态,红外热成像仪可以更好地检测管道的温度情况,若管道出现泄漏问题管道温度也会发生明显的变化,超声波传感器可更好地捕捉泄漏产生的空化效应声波,配合压力传感器、流量传感器可以在监测管道本体的同时完成对环境的监测和介质参数的监测,以此来获得更加完整全面的信息数据,如图1所示,传感器技术的有效应用可以更好的保障数据信息的时效性,有效解决传统管道管理滞后性相对较强的问题。此外为确保数据信息的真实性和可靠性,还需通过边缘计算网关的应用完成数据降噪及特征处理,降低数据传输压力的同时提高数据传输效率而,在边缘计算网关部署的过程中应紧抓阀室、泵站等相应关键区域。

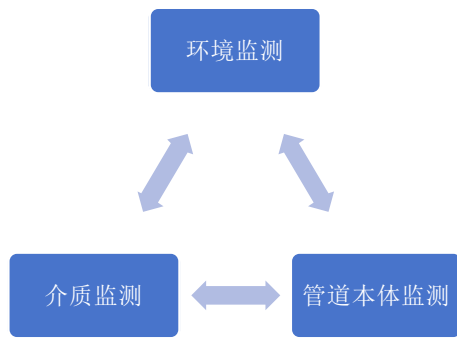


图1：传感器监测要点

其次,需通过通信架构优化及调整的方式为数据信息传输提供更多的帮助,例如可引入LoRAWAN、NB-IoT等相应低能耗广域网技术,为数据信息的长距离传输提供更多的助力,这样相关工作人员就可以借助手机、电脑等相应智能终端设备实时获取传感器监测数据,更好的明确管道的实际情况,提高各类问题的发现及响应能力。

再次,在物联网技术应用的过程中相关工作人员也可以借助物联网技术可以实时采集数据的优势,结合管道运行的实际情况来动态调整数据采集方案,例如相关工作人员可借助互联网平台来更好地明确管道输量、压力波动等相应的工况数据,在此基础上调节采样频率,如通过物联网平台数据分析工作人员发现管道存在异常情况,这时则需通过提升采样器采样频率的方式更好的了解管道工况,并分析相应的解决对策和处理方案^[1]。

最后,在数据传输及通信网络构建的过程中还需充分考量数据安全的问题,在该过程中可引入区块链技术完成对传感器收集数据的哈希加密,避免数据篡改、丢失等相应情况的出现,配合防火墙等相应网络安保技术的应用保障数据安全。例如,在阿尔及利亚Sonatrach管道项目中就应用了传光纤传感器技术收集管道实时数据,配合人工智能技术可自动完成数据类别的区分和预警,其误报率低至0.012次/公里/天,定位误差小于10米,为管道泄漏防护工作的开展提供了更多的助力和便捷。

3 AI技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中的应用

在油气管道泄漏实时监测与智能预警中物联网技术主要应用于数据收集,而AI技术则需通过算法调节的方式为数据分析和处理提供更多的帮助,进而实现自动预警、智能预警,在AI技术应用的过程中可抓住如下几个关键点做出优化和调整。

首先,可通过时间序列预测来更好地明确管道运行趋势,油气管道泄漏对于生态环境及相关产业的经济效益会起到至关重要的影响,而油气管道泄露并非是毫无征兆的,可借助时间序列预测来更好地明确管道的运行趋势,分析管道可能存在的问题,为管道修理、维护等相应工作落实提供更多的信息参考与数据支持,在这个过程中可借助LSRM、Prophet等相应模型构建收集整合历史数据和实时数据来更好的预测管道运行趋势,在此基础之上可借助异常检测算法,例如locAtIon Forest、One-ClAss SVM来提高各种风险问题的识别能力,实现自动诊断,配合图像识别技术代替人工巡检在大大降低管道巡检管理维修所需要消耗的成本同时,提高各类风险问题的预见能力和响应能力^[2],如图2所示。



图2：AI技术应用过程中的关键算法

其次,在AI系统构建及技术应用的过程中可通过设计多级预警机制的方式明确不同程度泄露问题的应对方案和外化显示方式,这就需要相关工作人员结合油气管道的实际情况,确定不同级别的安全阈值范畴,系统则会根据实时信息提取关键词来触发相应算法,完成发生发光报警、阀门关闭、运维人员通知等相应工作内容,为更好地提高管道维修管理及泄漏处理的效率和质量,在数据分析的过程中可借助卷积神经网络,更好地明确管道运行过程中存在的时空异常问题。例如在某一具体的时间点油气管道存在局部温度骤升的情况,在此基础之上工作人员可配合GIS地理信息技术来完成空间定位,这样工作人员则可快速抵达现场对管道进

行维修处理,大大降低了在泄漏点锁定上所需要消耗的时间和精力^[3]。

最后,可借助数字孪生技术来构建虚拟模型,数字模型可模拟管道泄漏时泄漏气体的扩散路径,分析在管道运行过程中可能引发管道泄漏的因素及不同因素导致泄漏问题所产生的影响,在此基础上相关工作人员可以根据分析数据利用 AI 技术建立应急预案,并结合单位的资源持有情况和实践能力对应急预案作出适当调整,为应急能力的提升及应急预案针对性和可靠性的提升提供更多的助力。AI 技术除了可以辅助应急预案生成以外,还可以为应急预案启用提供更多的帮助, AI 技术在收集整合物联网技术收集到的数据信息后会自动完成数据分析,若数据信息超过安全阈值范围,人工智能技术则会自动提取关键词,明确问题所属类别并对接专家系统和应急预案分析相应的解决对策,将解决对策推送给相关工作人员,帮助相关工作人员快速作出反应^[4]。

4 物联网技术与 AI 技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中的应用挑战及应对策略

物联网技术与 AI 技术在油气管道泄漏实时监测与智能预警中应用可以更好地提高各项工作的工作效率和工作质量,提升风险应对能力和数据处理能力,避免管道泄漏带来较大的损失,但是在实践应用的过程中仍旧面临着如下几点挑战。

首先,存在数据融合挑战,因在油气管道泄漏监测的过程中所应用到的传感器相对较多,不同传感器生成的数据格式、内容存在着一定的差异,进而导致了在数据格式转换的过程中很有可能会出现数据泄漏、丢失等相应问题,为更好地解决该类问题,工作人员可通过统一数据标准、配合降噪技术有效应用来提升数据的可用性。此外在 AI 技术和物联网技术应用的过程中还很有可能会因泄露样本稀缺进而导致缺乏足够的信息作为参考,影响最终的应用效果,为更好地解决该类问题则可通过数据增强技术的应用配合迁移学习合成泄露的音频数据,为基础应用方案优化调整及 AI 数据分析提供更多的信息参考。

其次,物联网技术可以更好地连接传感器,收集更多的数据信息,为管道实际情况监测和分析提供更多的帮助,但是传感器技术在实践应用的过程中很容易会受温度、压力

等多重因素影响,导致检测结果与实际情况存在着一定的偏差,为了更好的解决这些问题,则可通过温度补偿设计、冗余部署等多种方式优化传感器布置方式和布置结构。此外部分传感器的购买成本是相对较高的,较具代表性的则是分布式光纤传感器,这时则可以引入 MEMS 传感器和无线传感器 WSN 或和现有通信光缆复用来更好地降低部署成本。

最后,在系统应用的过程中还需充分考量系统安全性问题,避免因网络攻击等多重因素影响出现数据泄露、丢失,影响最终的工作效果,为此在网络系统构建的过程中可引入入侵检测系统、零信任架构来有效避免数据丢失。在此基础上还可通过加强对相关工作人员培训引导的方式帮助相关工作人员更好地掌握物联网技术、传感器技术、大数据技术等相应现代化技术,避免因人员操作问题导致数据泄露丢失等相应情况的出现^[5]。

5 结语

物联网技术与 AI 技术在油气管道泄漏监测中应用可以更好地提高监测效率和监测水准,有效解决传统巡检工作时效性相对较差、滞后性相对较强的问题,应当引起关注和重视,相关单位可结合物联网技术与 AI 技术的技术特性对油气管道监测体系作出适当调整和优化,更好地发挥物联网技术与 AI 技术的技术优势,在此基础上还可通过数据标准统一、网络安保建设、传感器优化调整等多种方式更好地降低油气管道泄漏监测所需要消耗的成本,提高监测质量和监测效能,及时的发现油气管道存在的问题和不足,并分析相应的解决对策和处理方案。

参考文献

- [1] 范效礼,柴楠,时亚南,等. 电磁检测技术在油气管道焊缝缺陷检测中的应用与进展 [J]. 无损检测, 2025, 47 (01): 79-85.
- [2] 陈绪兴. 一种大跨度海底油气管道泄漏点实时定位方法 [J]. 成都信息工程大学学报, 2024, 39 (06): 712-717
- [3] 路敬祎,张辉,张勇,等. 一种新的油气管道泄漏信号检测方法研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2024, 51 (06): 1023-1027
- [4] 贺文章,杜楠楠,张彦妮. 油气管道泄漏事故致因机理与防控体系研究 [J]. 石化技术, 2024, 31 (09): 297-298.
- [5] 康健,苏韬,张翔宇,等. 油气管道事故致因和监测模拟研究现状与展望 [J]. 北京石油化工学院学报, 2024, 32 (03): 50-57.